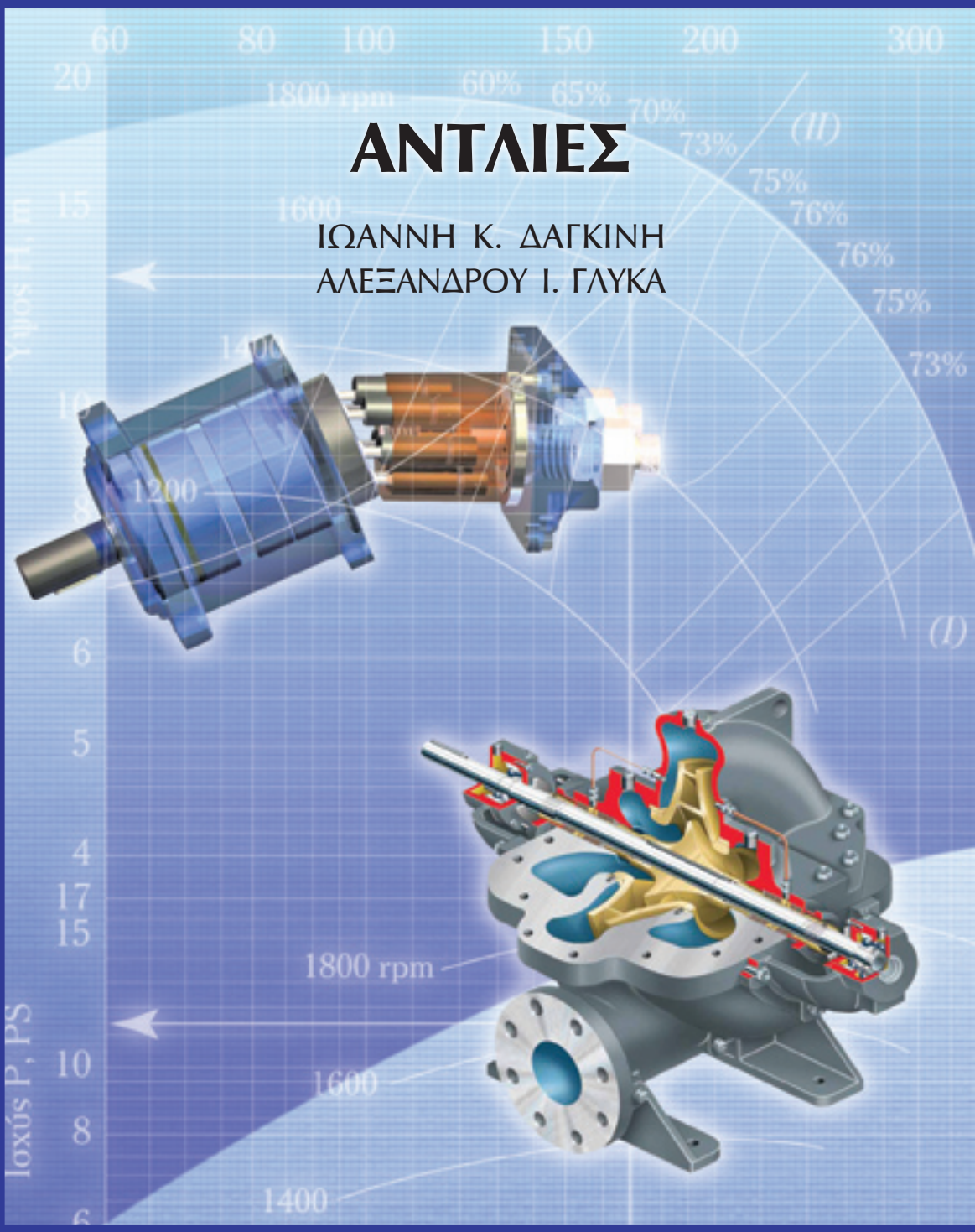
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
1954

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΑΝΤΛΙΕΣ

ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΔΑΓΚΙΝΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ Ι. ΓΛΥΚΑ



ΑΘΗΝΑ 2016

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ

ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Α′ ΕΚΔΟΣΗ 2016
ISBN: 978-960-337-064-2

Copyright © 2016 Ίδρυμα Ευγενίδου
Απαγορεύεται η ολική ή μερική ανατύπωση του βιβλίου και των εικόνων με κάθε μέσο καθώς και η διασκευή, η προσαρμογή, η μετατροπή και η κυκλοφορία του (Άρθρο 3 του ν. 2121/1993).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Το 1952 ο Ευγένιος Ευγενίδης (1882-1954) όρισε με τη διαθήκη του τη σύσταση του Ιδρύματος Ευγενίδου, του οποίου ως μοναδικό σκοπό έταξε «νὰ συμβάλῃ εἰς τὴν ἐκπαίδευσιν νέων ἑλληνικῆς ὑπηκοότητος ἐν τῷ ἐπιστημονικῷ καὶ τεχνικῷ πεδίῳ». Ο ιδρυτής και χορηγός του Ιδρύματος Ευγενίδου ορθά προέβλεψε ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο της Ελλάδος αποτελεί η άρτια κατάρτιση των Ελλήνων τεχνιτών κατά τα πρότυπα της επαγγελματικής εκπαιδεύσεως άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

Την 23η Φεβρουαρίου του 1956 εγκρίθηκε η σύσταση του κοινωφελούς Ιδρύματος Ευγενίδου, την διαχείριση του οποίου κατά την ρητή επιθυμία του ιδρυτή του ανέλαβε η αδελφή του Μαριάνθη Σίμου (1895-1981). Τότε ξεκίνησε η υλοποίηση του σκοπού του Ιδρύματος και η εκπλήρωση μιας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου από την Μαριάνθη Σίμου και τους επιστημονικούς συνεργάτες της.

Το έργο της Μαριάνθης Σίμου συνέχισε από το 1981 ο πολύτιμος συνεργάτης και διάδοχος του Ευγενίου Ευγενίδη, Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης (1920-2000). Από το 2000 συνεχιστής του έργου του Ιδρύματος Ευγενίδου έχει αναλάβει ο Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης.

Μία από τις πρώτες δραστηριότητες του Ιδρύματος Ευγενίδου, ευθύς μετά την ίδρυσή του, υπήρξε η συγγραφή και έκδοση κατάλληλων διδακτικών εγχειριδίων για τους μαθητές των τεχνικών σχολών, καθώς διαπιστώθηκε ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν τα ορθά θεμέλια για την παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό. Καρπός αυτής της δραστηριότητας είναι η Βιβλιοθήκη του Τεχνίτη (1957-1975), η οποία αριθμεί 32 τίτλους, η Βιβλιοθήκη του Τεχνικού (1962-1975), που περιλαμβάνει 50 τίτλους, η Τεχνική Βιβλιοθήκη (1969-1980) με 11 τίτλους και η Βιβλιοθήκη του Τεχνικού Βοηθού Χημικού (1971-1973) με 3 τίτλους. Επί πλέον, από το 1977 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί 171 τίτλοι για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων και 16 για τους μαθητές των Σχολών Μέσης Τεχνικής και Επαγγελματικής εκπαιδεύσεως.

Ξεχωριστή σειρά βιβλίων του Ιδρύματος Ευγενίδου αποτελεί η Βιβλιοθήκη του Ναυτικού (1967 έως σήμερα), η οποία είναι το αποτέλεσμα της συνεργασίας του Ιδρύματος Ευγενίδου με την Διεύθυνση Εκπαιδεύσεως Ναυτικών του Υπουργείου Ναυτιλίας. Η συγγραφή και έκδοση των εκπαιδευτικών εγχειριδίων για τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ανετέθη στο Ίδρυμα Ευγενίδου με την υπ' αριθμ. 61288/5031/8.8.1966 απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και λειτούργησε η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων, η οποία είχε συσταθεί ήδη από το 1958. Η συνεργασία Ιδρύματος Ευγενίδου και Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας ανανεώθηκε με την υπ. αριθμ. Μ2111.1/2/99 υπουργική απόφαση όπως τροποποιήθηκε από την Μ3611.2/05/05/16-12-2005, με την οποία το ΥΕΝ ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή διδακτικών εγχειριδίων για τις Ακαδημίες Εμπορικού Ναυτικού.

Στην Βιβλιοθήκη του Ναυτικού περιλαμβάνονται συνολικά 118 τίτλοι μέχρι σήμερα: 27 τίτλοι για τις Δημόσιες Σχολές Εμπορικού Ναυτικού (1967-1979), 42 τίτλοι για τις Ανώτατες Δημόσιες Σχολές Εμπορικού Ναυτικού (1981-2001), 34 τίτλοι για τις Ακαδημίες Εμπορικού Ναυτικού, 9 εγχειρίδια κατευθυνόμενης εκπαιδεύσεως επί πλοίου και 15 μεταφράσεις ναυτικών εγχειριδίων.

Όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Ναυτικού, εκτός του ότι έχουν συγγραφεί σύμφωνα με τα αναλυτικά προγράμματα διδασκαλίας των σχολών και ανταποκρίνονται στις ανάγκες των σπουδαστών, είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία. Επί πλέον οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων

καταβάλλουν κάθε προσπάθεια ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και στις δυνατότητες των σπουδαστών.

Την περίοδο 2012-2013 το ΥΝΑ με το υπ' αριθμ. Μ3616/01/2012/26-09-2012 έγγραφο ανέθεσε στην Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου την σύσταση ειδικής ομάδας εργασίας εμπειρογνωμόνων για την επικαιροποίηση των αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών για τις ΑΕΝ, τα ΚΕΣΕΝ και τα ειδικά σχολεία Πλοιάρχων και Μηχανικών, εφαρμόζοντας τις νέες απαιτήσεις εκπαιδεύσεως και πιστοποιήσεως ναυτικών της Διεθνούς Συμβάσεως STCW '78 (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers – Manila amendments 2010). Με βάση τα νέα αναλυτικά προγράμματα για τις ΑΕΝ, τα οποία εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά την χρονιά 2013-2014, ξεκίνησε από το 2014 και η επικαιροποίηση των υφισταμένων διδακτικών εγχειριδίων, προκειμένου αυτά να είναι συμβατά με τις νέες διεθνείς απαιτήσεις.

Με την προσφορά των εκδόσεών του στους καθηγητές, στους σπουδαστές των ΑΕΝ και σε όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα Ευγενίδου συνεχίζει να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση της Ελλάδος, υλοποιώντας επί 60 και πλέον χρόνια το όραμα του ιδρυτή του, αείμνηστου ευεργέτη Ευγενίου Ευγενίδου.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Εμμανουήλ Δρης, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.
Αχιλλέας Ματσάγγος, Αντιναύαρχος Λ.Σ. (ε.α.).
Βενετία Καλλιπολίτου, Αντιπλοίαρχος Λ.Σ. Δ/ντρια Ναυτ. Εκπαιδ. Υπ. Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής.
Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Αγγ. Μανάφης,** Ομ. Καθηγ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Ελευθερία Τελειώνη**.

Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο «Αντλίες» ο κ. **Νικόλαος Τσίτσος**, Ναυπηγός Μηχανολόγος ΕΜΠ, καθ. ΑΕΝ Ασπροπύργου.

Διατελέσαντα μέλη της Επιτροπής

Γ. Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Καλογεράς* (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Παππάς* (1955-1983) καθηγητής ΕΜΠ, *Χ. Καβουνίδης* (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, *Μ. Αγγελόπουλος* (1970-2003) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, *Σπ. Γουλιέλμος (1958)* Αντ/ρχος, *Ξ. Αντωνιάδης* (1959-1966) Αντ/ρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Γ. Τσακίρης* (1967-1969) Πλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ελλ. Σίδερης* (1967-1969) Υποναύαρχος, *Π. Φουστέρης* (1969-1971) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Αλ. Μοσχονάς* (1971-1972) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Χρυσανθακόπουλος* (1972-1974) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Αθαν. Σωτηρόπουλος* (1974-1977) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Σπαριώτης* (1977) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., προσωρινός Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Θ. Πουλάκης* (1977-1979) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Λυκούδης* (1979-1981) Πλοίαρχος Λ. Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ανασ. Δημαράκης* (1981-1982) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Τσαντήλας* (1982-1984) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Σταυρόπουλος* ομ. καθηγητής Πειραιώς (2003-2008) Ε. Τζαβέλας (1984-1986) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Γρηγοράκος* (1986-1988) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Μπαρκατσάς* (1988-1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Παπανασταίου* (1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Λάμπρου* (1989-1992) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Κοκορέτσας* (1992-1993) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μαρκάκης* (1993-1994) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Ζουμπούλης* (1994-1995) Πλοίαρχος Λ.Σ., *Φ. Ψαρράς* (1995-1996) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Γ. Καλαρώνης* (1996-1998) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Θ. Ρενιζεπέρης* (1998-2000) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Στεφανάκης* (2000-2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μαρίνος* (2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Εξαρχόπουλος* (2001-2003) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μπριλάκης (*2003-2004) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ν. Θεμέλαρος* (2003-2004) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Κουβέλης* (2004-2005) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Δ. Βασιλάκης* (2005-2008) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Πετρόπουλος* (2008-2009) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Ματσάγγος* (2009-2011) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Σέργης* (2011-2012) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Τζαβάρας*, (2004-2013) Αντιναύαρχος Λ.Σ. (Ε.Α.), *Ι. Τεγόπουλος* (1988-2013) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Θεοφανόπουλος* (2012-2014) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ..

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΑΝΤΛΙΕΣ

ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΔΑΓΚΙΝΗ
Α′ Μηχανικού Ε.Ν.
Ε.Δι.Π. Πανεπιστημίου Αιγαίου
Τμήμ. Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ Ι. ΓΛΥΚΑ
Ναυπηγού Μηχ. Μηχανικού ΕΜΠ
Δρ Πανεπιστημίου Γλασκώβης
Επίκουρου Καθηγητή
Ναυτιλιακής Τεχνολογίας

ΑΘΗΝΑ
2016

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
1954

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

Το βιβλίο Ανιλίες στόχο έχει να παρέχει στους σπουδαστές των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού (Σχολές Μηχανικών) και σε κάθε χρήστη ανιλιών τις απαραίτητες γνώσεις σχετικά με τα είδη και τις εφαρμογές των ανιλιών στα πλοία, καθώς και με την πρόληψη, διάγνωση και επίλυση προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη χρήση τους.

Το βιβλίο, που είναι σύμφωνο με το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, χωρίζεται στις ακόλουθες τρεις θεματικές ενότητες:

*Η **πρώτη ενότητα** αποτελείται από τα κεφάλαια 1 έως 3, στα οποία περιέχεται η γενική ταξινόμηση των ανιλιών, οι τύποι και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν.*

*Η **δεύτερη ενότητα** περιλαμβάνει τα κεφάλαια 4 έως 6, όπου αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των συστημάτων ανιλήσεως, η ροή και οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δυναμικών ανιλιών, καθώς και η επίδραση στη λειτουργία τους από τα ρευστά που διακινούν.*

*Στην **τρίτη ενότητα** περιέχονται τα κεφάλαια 7 έως 10. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι ανιλίες που συναντώνται συνήθως στα πλοία, οι ανιλίες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το σύστημα προώσεως του πλοίου, η στεγανοποίησή τους, τα έδρανα, η εκκίνηση και η λειτουργία τους. Τέλος, με συνοπτικό τρόπο παρατίθενται οι βασικές αρχές που διέπουν την μελέτη και τον σχεδιασμό των συστημάτων ανιλήσεως.*

Έτσι, το περιεχόμενο του βιβλίου καλύπτει όχι μόνο τις ανάγκες των σπουδασιών των ΑΕΝ, αλλά και των αξιωματικών του Εμπορικού Ναυτικού.

Από τα 10 κεφάλαια του βιβλίου, τα 1, 2, 3, 4, 7, 8 και 9 εκπονήθηκαν αυτοτελώς από τον Ι. Δάγκινη, ενώ τα κεφάλαια 5 και 6 συνεγράφησαν από τον Ι. Δάγκινη και τον Α. Γλύκα. Στην συγγραφή του βιβλίου συνέβαλε σημαντικά το περιεχόμενο του διδακτικού εγχειριδίου Μηχανική Ρευστών του Ν. Πάντζαλη (εκδ. Ίδρυμα Ευγενίδου, 2008).

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Επιτροπή Εκδόσεων και το Ίδρυμα Ευγενίδου για την ανάθεση της συγγραφής του βιβλίου, τον κ. Νικόλαο Τσίτσο, καθ. ΑΕΝ Ασπροπύργου, ο οποίος συνετέλεσε με ουσιαστικές παρεμβάσεις στην αρτιότητα του βιβλίου, καθώς και το προσωπικό του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την συνεργασία και συμβολή του στην άρτια παρουσίαση του βιβλίου.

Θεωρώντας ότι η βελτίωση αυτού του βιβλίου είναι έργο δημιουργικής και καλόπιστης κριτικής, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε εκ των προτέρων τους αναγνώστες που θα απευθύνουν παρατηρήσεις, υποδείξεις ή σχόλια, τα οποία θα βοηθήσουν στη βελτίωσή του σε επόμενη έκδοση.

Οι συγγραφείς

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
1954

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή. . . . 1
1.2 Διακίνηση ρευστών και μηχανήματα διακινήσεως ρευστών. . . . 2
1.3 Βασικές έννοιες αντλίας και συστήματος αντλήσεως. . . . 4
1.4 Ταξινόμηση των αντλιών. . . . 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
Αντλίες Θετικής Εκτοπίσεως

Γενικά . . . 9
2.1 Παλινδρομικές (εμβολοφόρες) αντλίες . . . 9
2.1.1 Αναρροφητική αντλία. . . . 11
2.1.2 Καταθλιπτική αντλία. . . . 11
2.2 Τα βασικά μέρη εμβολοφόρου αντλίας. . . . 12
2.3 Αεροκώδωνες. . . . 16
2.4 Καμπύλες ροής εμβολοφόρων αντλιών. . . . 18
2.5 Θεωρητική και πραγματική παροχή εμβολοφόρων αντλιών. . . . 21
2.6 Μετάδοση ενέργειας κινήσεως εμβολοφόρων αντλιών. . . . 21
2.6.1 Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως – Λειτουργίας. . . . 21
2.6.2 Στροφαλοκίνητες αντλίες. . . . 26
2.6.3 Αντλίες με διαφράγματα. . . . 32
2.7 Περιστροφικές αντλίες. . . . 35
2.8 Παροχή περιστροφικών αντλιών. . . . 48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
Δυναμικές Αντλίες

Γενικά . . . 51
3.1 Δυναμικές αντλίες. . . . 52
3.2 Ταξινόμηση των αντλιών σύμφωνα με τη διεύθυνση ροής του υγρού. . . . 53
3.2.1 Αντλίες φυγοκεντρικής ή ακτινικής ροής . . . 53
3.2.2 Αντλίες αξονικής ροής ή ελικοφόρες . . . 55
3.2.3 Αντλίες μεικτής ροής . . . 56
3.2.4 Αντλίες περιφερειακής ροής ή στροβιλαντλίες. . . . 57
3.3 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με το σχήμα κατασκευής του κελύφους. . . . 58
3.3.1 Αντλίες με σπειροειδές κέλυφος ή ελικόφρακτες. . . . 58
3.3.2 Αντλίες με κέλυφος σταθερών πτερυγίων ή στροβιλοφυγόκεντρες . . . 60
3.3.3 Αντλίες με κέλυφος μεικτού τύπου ή ελικόφρακτες στροβιλοφυγόκεντρες. . . . 60
3.4 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με την εισαγωγή του υγρού στην αντλία. . . . 61
3.5 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με το είδος του στροφείου – πτερωτής . . . 62
3.6 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με τον αριθμό των βαθμίδων τους. . . . 64
3.7 Δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου. . . . 65
3.7.1 Αντλίες ακροφυσίου. . . . 65

3.7.2 Αντλίες υδραυλικού εμβόλου. 67
3.7.3 Αντλίες ανυψώσεως με αέρα 68
3.7.4 Ηλεκτρομαγνητικές αντλίες 69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων αντλήσεως

4.1 Βασικά στοιχεία μηχανικής ρευστών και υδραυλικών συστημάτων. 71
4.2 Ροή των φυσικών υγρών. 73
4.2.1 Η παροχή του σωλήνα. 74
4.2.2 Απώλειες λόγω αντιστάσεως στη ροή. 74
4.2.3 Ροή υγρών από σίφωνα. 74
4.3 Οι Νόμοι Διατηρήσεως μάζας και ενέργειας σε σύστημα αντλήσεως. 75
4.3.1 Εξίσωση της Συνέχειας. 76
4.3.2 Εξίσωση της Ενέργειας. 77
4.4 Το υδραυλικό κτύπημα 79
4.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων αντλήσεως και αντλιών. 79
4.5.1 Ενεργειακά ύψη. 79
4.5.2 Ογκομετρική παροχή 83
4.5.3 Ισχύς ή ιπποδύναμη αντλιών 84
4.5.4 Βαθμοί αποδόσεως αντλιών. 85
4.6 Αναρρόφηση της αντλίας 87
4.7 Κατάθλιψη της αντλίας. 89
4.8 Επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων του υγρού στην αντλία. 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
Ροή στις δυναμικές αντλίες

Γενικά 91
5.1 Η ροή στη φυγοκεντρική αντλία. 91
5.2 Απώλειες ύψους. 96
5.2.1 Κυκλοφοριακή ροή ρευστού στα πτερύγια. 96
5.2.2 Τριβές στην πτερωτή. 97
5.2.3 Απώλειες κρούσεων. 97
5.2.4 Απώλειες ισχύος. 98
5.3 Βαθμός αποδόσεως της αντλίας. 99
5.4 Διαστατική ανάλυση και ομοιότητα αντλιών. 101
5.5 Ειδική ταχύτητα. 103
5.5.1 Ορισμός. 103
5.5.2 Η ειδική ταχύτητα στη βιομηχανική πρακτική. 104
5.6 Σπηλαίωση. 108
5.6.1 Αναρρόφηση δυναμικών αντλιών. 108
5.6.2 Σπηλαίωση αντλιών. 109
5.6.3 Ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως. 112
5.7 Ο αέρας στην αντλία. 113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ
Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών

6.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών. 115
6.1.1 Η καμπύλη $H = f_1 (\dot{V})$ ή $H - \dot{V}$ (ή καμπύλη στραγγαλισμού). 116
6.1.2 Η καμπύλη $P_a = f_2 (\dot{V})$ ή $P_a - \dot{V}$ (αξονικής ισχύος-παροχής). 117
6.1.3 Η καμπύλη $\eta = f_3 (\dot{V})$ ή $\eta - \dot{V}$ βαθμού αποδόσεως-παροχής και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας 117
6.1.4 Η καμπύλη $NPSHr = f_4 (\dot{V})$ ή $NPSHr - \dot{V}$. 118

6.1.5 Σύνθετο διάγραμμα καμπυλών δυναμικών αντλιών. 119
6.2 Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες. 121
6.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών θετικής εκτοπίσεως. 128
6.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συστήματος αντλήσεως 129
6.4.1 Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος. 129
6.4.2 Σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως. 131
6.4.3 Υπολογισμός συστήματος αντλήσεως. 132
6.4.4 Οι καμπύλες NPSH – V̇ και οι συνθήκες σπηλαιώσεως. 136
6.5 Σύνδεση αντλιών. 138
6.5.1 Παράλληλη σύνδεση αντλιών. 138
6.5.2 Σύνδεση σε σειρά δύο ομοίων αντλιών. 142
6.5.3 Τροφοδοσία από μία αντλία δύο σωληνογραμμών. 143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ
Αντλίες που συναντώνονται στα πλοία

Γενικά 145
7.1 Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως που χρησιμοποιούνται σε πλοία 145
7.2 Δυναμικές αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία 149
7.2.1 Μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες απλής αναρροφήσεως. 150
7.2.2 Πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες με ηλεκτροκινητήρα. 152
7.2.3 Φυγοκεντρικές αντλίες με ατμοστρόβιλο. 153
7.2.4 Κάθετης διατάξεως φυγοκεντρικές αντλίες δύο βαθμίδων. 159
7.2.5 Φυγοκεντρικές αντλίες αυτόματης πληρώσεως 162

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ
Αντλίες πλοίων ανάλογα με το σύστημα προώσεως

8.1 Εισαγωγή. 165
8.2 Εγκατεστημένες αντλίες σύμφωνα με το σύστημα προώσεως του πλοίου. 166
8.2.1 Πλοία με πρόωση από ατμοστρόβιλο. 166
8.2.2 Πλοία με πρόωση από Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ). 175
8.2.3 Πλοία κινούμενα με αεριοστρόβιλο. 179
8.3 Αντλίες δικτύων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων 181
8.3.1 Αντλίες στροβιλογεννητριών 181
8.3.2 Αντλίες ηλεκτροπαραγωγών ζευγών με ΜΕΚ (ηλεκτρομηχανές) 183
8.4 Αντλίες βοηθητικών δικτύων (βοηθητικές αντλίες) 185
8.4.1 Αντλίες μεταγγίσεως καυσίμων 185
8.4.2 Αντλίες παροχής θαλάσσης 186
8.4.3 Αντλία μεταγγίσεως ελαίου λιπάνσεως 189
8.4.4 Αντλία λιπάνσεως χοάνης του τελικού ελικοφόρου άξονα. 191
8.4.5 Αντλία κυκλοφορίας νερού λέβητα καυσαερίων 191
8.4.6 Αντλίες υδραυλικού ελαίου υψηλής πιέσεως. 192
8.4.7 Αντλίες πυροσβέσεως. 198
8.4.8 Αντλίες σεντινών. 199
8.4.9 Αντλίες αποβλήτων. 200
8.4.10 Αντλίες έρματος. 200
8.5 Αντλίες βοηθητικών υπηρεσιών. 201
8.5.1 Αντλίες συστήματος παραγωγής αποσταγμένου νερού 201
8.5.2 Αντλίες πόσιμου νερού. 202
8.5.3 Αντλίες ανακυκλοφορίας Ζεστού Νερού Χρήσεως (ΖΝΧ). 202
8.5.4 Αντλίες υγιεινής. 203
8.5.5 Αντλίες βιολογικών λυμάτων. 203

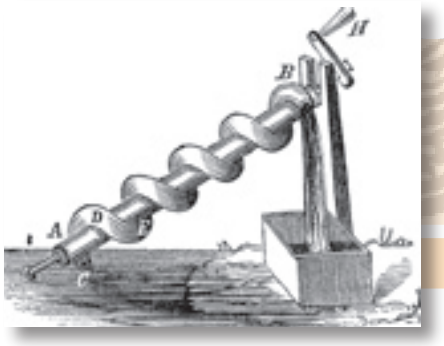
8.5.6 Αντλίες στο σύστημα κλιματισμού με κρύο νερό 203
8.6 Αντλίες φορτίου και συναφών συστημάτων. 203
8.6.1 Φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου. 204
8.6.2 Αντλίες φορτίου βαθέος φρεατίου. 207
8.6.3 Βυθιζόμενες ή καταδυόμενες αντλίες φορτίου κινούμενες από υδραυλικό κινητήρα. 210
8.6.4 Βυθιζόμενες αντλίες φορτίου κινούμενες με ηλεκτροκινητήρα. 214
8.6.5 Περιστροφικές αντλίες φορτίου. 215
8.6.6 Παλινδρομικές αντλίες φορτίου. 216
8.6.7 Αντλίες συστήματος αδρανούς αερίου 216
8.6.8 Αντλίες καθαρισμού δεξαμενών φορτίου. 216

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ
Στεγανοποίηση, έδρανα, εκκίνηση και λειτουργία αντλιών

9.1 Στεγανοποίηση αντλιών. 217
9.1.1 Στεγανοποίηση εμβολοφόρων αντλιών. 221
9.1.2 Στεγανοποίηση περιστροφικών αντλιών. 222
9.1.3 Στεγανοποίηση φυγοκεντρικών αντλιών. 222
9.2 Έδρανα αντλιών 224
9.3 Μετάδοση κινήσεως αντλιών. 227
9.3.1 Σύνδεσμοι άμεσης συζεύξεως αξόνων κινήσεως. 230
9.3.2 Ευθυγράμμιση συνδέσμων μεταδόσεως της κινήσεως. 232
9.4 Φθορά αντλιών. 234
9.5 Εκκίνηση και λειτουργία αντλιών γενικά. 236
9.5.1 Εκκίνηση αντλιών. 236
9.5.2 Λειτουργία αντλιών. 237
9.6 Συντήρηση αντλιών 237

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ
Μελέτη συστήματος αντλήσεως

10.1 Εισαγωγή. 243
10.2 Κριτήρια επιλογής αντλιών. 244
10.3 Σχεδιασμός της αναρροφήσεως. 250
10.4 Σχεδιασμός-υπολογισμός της καταθλίψεως. 252
10.5 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής. 256
Πίνακας συμβόλων 258
Ευρετήριο 259
Βιβλιογραφία 262



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή.

Από την αρχαιότητα η εξασφάλιση του νερού (π.χ. από πηγές, ποτάμια και λίμνες) ήταν από τα σημαντικότερα κριτήρια στην επιλογή ενός τόπου ως μόνιμης κατοικίας διαβιώσεως, εφόσον αποτελούσε αναγκαία προϋπόθεση στην ανάπτυξη των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Ο φυσικός φιλόσοφος Θαλής ο Μιλήσιος (640-546 π.Χ.) χαρακτήριζε το νερό ως αρχετυπικό στοιχείο, πρωταρχικό συστατικό όλων των πραγμάτων και ο μέγας λυρικός ποιητής Πίνδαρος (552-443 π.Χ.) τόνιζε την αξία του αναφέροντας «ἐκ τῶν στοιχείων τοῦ κόσμου τό ὕδωρ εἶναι τό ἄριστον...». Η ύδρευση λοιπόν θεωρούνταν από τις κυριότερες υποδομές κάθε οργανωμένης κοινότητας και η εξασφάλιση ποσοτήτων νερού για τις καθημερινές ανάγκες αποτυπώνεται σε πλήθος ανασκαφικών ευρημάτων. Όταν οι αρχαίοι οικισμοί άρχισαν να οργανώνονται σε επίπεδο πόλεως, η απλή γειτνίαση με τις υδροφόρες εστίες έπαψε να επαρκεί. Η ανάγκη για τη δημιουργία δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού κατέστη επιτακτική ώστε να διασφαλιστεί η ανάπτυξη των οργανωμένων πόλεων. Τη δημιουργία δικτύων συμπλήρωσε η ανάπτυξη μηχανισμών, που εκμεταλλεύονταν τις ιδιότητες των ρευστών. Οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για τη διακίνηση του νερού.

Ένας τέτοιος μηχανισμός ήταν ο ***κοχλίας*** ή ***υδραυλικός ατέρμονας κοχλίας*** του Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.) του μεγάλου μαθηματικού, φυσικού, μηχανικού, εφευρέτη και αστρονόμου της ελληνιστικής περιόδου. Ο κοχλίας του Αρχιμήδη (σχ. 1.1α) αποτελούνταν από έναν ξύλινο άξονα που έφερε περιελίξεις από λεπτά και εύκαμπτα κλαδιά ιτιάς ή λυγαριάς, συνδεδεμένα το ένα με το άλλο, ώστε να δημιουργείται ένας ατέρμονας κοχλίας. Ο κοχλίας εφαπτόταν εσωτερικά ενός ξύλινου κυλίνδρου. Η μηχανή τοποθετούνταν με κλίση 30° στο νερό και με την περιστροφή του κοχλία το εγκλωβισμένο νερό στις σπείρες ανυψωνόταν και έρεε από το στόμιο του ξύλινου κυλίνδρου. Ήταν ένας μηχανισμός αντλήσεως

Σχ. 1.1α
Ο κοχλίας του Αρχιμήδη.

νερού μεγάλης παροχής, αλλά μικρής υψομετρικής διαφοράς, που χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε πολλές περιοχές του αρχαίου κόσμου. Η αρχή λειτουργίας του εφαρμόζεται ακόμη και σήμερα σε τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ρευστών ή κονιορτοποιημένων υλικών.

Άλλος μηχανισμός, ήταν η ***εμβολοφόρος αντλία του Κτησιβίου*** (285-222 π.Χ.) του μαθηματικού, μηχανικού και εφευρέτη των ελληνιστικών χρόνων και ιδρυτή της Αλεξανδρινής Σχολής. Η αντλία του Κτησιβίου αποτελείται από δύο όμοιους κυλίνδρους, στο εσωτερικό των οποίων υπάρχουν έμβολα που κινούνται παλινδρομικά με τη βοήθεια μοχλού (σχ. 1.1β). Οι κύλινδροι είναι βυθισμένοι σε νερό.

Σχ. 1.1β
Αντλία του Κτησιβίου (αντίγραφο).

Με την κίνηση των εμβόλων και την υποπίεση που δημιουργείται στο εσωτερικό των κυλίνδρων αναρροφάται νερό, το οποίο ωθείται και μέσω σωλήνα μεταφέρεται έξω από τον χώρο, στον οποίο είναι βυθισμένη η αντλία.

Επίσης, ο Φίλων ο Βυζάντιος (περ. το 250 π.Χ.), κατασκεύασε μια αντλία με αλυσίδες, βαρούλκο και κουβάδες (μαγγάνι), καθώς και ένα είδος αεραντλίας (φυσερό). Η ***πυροσβεστική αντλία*** (σχ. 1.1γ) του Ήρωνος (περ. τον 1ο αι. μ.Χ.), μαθητή του Κτησιβίου ήταν μια δίδυμη καταθλιπτική εμβολοφόρος αντλία συνεχούς ροής νερού, τα έμβολα της οποίας παλινδρομούσαν αντίθετα, με τη βοήθεια ενός αρθρωτού κοινού χειρομοχλού μέσα σε δύο κατακόρυφα κυλινδρικά δοχεία βυθισμένα σε, πιθανότατα, τροχοφόρα δεξαμενή. Η αντλία αυτή θεωρείται ως η πρώτη εμβολοφόρος καταθλιπτική αντλία της ανθρωπότητας. Αντίστοιχες ή πιο απλές μηχανές είναι λογικό να είχαν αναπτυχθεί και σε άλλους αρχαιότερους πολιτισμούς (π.χ. Βαβυλώνιους, Ασσύριους κ.ά.), που λόγω της ελλείψεως γραπτών μαρτυριών δεν μας είναι γνωστές.

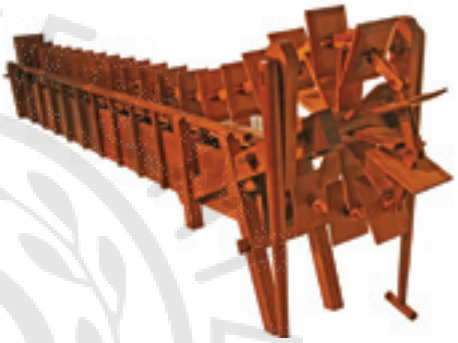
Σχ. 1.1γ
Η πυροσβεστική αντλία του Ήρωνος (αντίγραφο).

Η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία αυτών των πρώτων μηχανημάτων διακινήσεως του νερού (κυρίως πόσιμου και αρδεύσεως), παρεχόταν από τη μυϊκή δύναμη ανθρώπων ή ζώων. Αργότερα, αξιοποιήθηκε –σε περιορισμένο βαθμό– και η αιολική ενέργεια, καθώς και η δυναμική ενέργεια του ρέοντος νερού, για άντληση από ποτάμια.

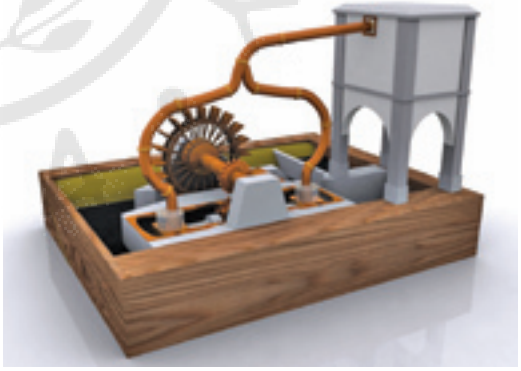
Γενικά, η αντλία που χρησιμοποιήθηκε ευρύτερα πριν τη βιομηχανική επανάσταση ήταν αυτή με τροχό, αλυσίδα και προσαρμοσμένα δοχεία ή πτερύγια (chain pump). Τη συναντάμε στην Ρωμαϊκή αυτοκρατορία, στο Βυζάντιο, στην Ευρώπη, αλλά και στην Κίνα τον Ιο αι. μ.Χ. (σχ. 1.1δ). Βελτιωμένα συστήματα αντλήσεως νερού συναντάμε και στον αραβικό χώρο (Al-Jazari, 1200, σχ. 1.1ε).

Οι απαιτήσεις στη διακίνηση των ρευστών αυξήθηκαν κατακόρυφα με τη βιομηχανική επανάσταση, και πλέον δεν περιορίζονταν μόνο στο νερό. Παράλληλα με την τεχνολογική πρόοδο, αναπτύσσονταν όλο και πιο σύνθετα μηχανήματα που εξυπηρετούσαν αυτόν το σκοπό.

Στις αρχές του 18ου αι., κατασκευάστηκε η πρώτη φυγόκεντρη αντλία και η αεραντλία (Nτ. Παπέν 1647-1712), τον 19ο αι. η παλινδρομική αντλία με ατμό Η. Worthington, (1860), η στροβιλοαντλία Osborne Reynolds, (1875) κ.ά..



Σχ. 1.1δ
Σύστημα αντλήσεως με προσαρμοσμένα πτερύγια (Κίνα) (αντίγραφο).



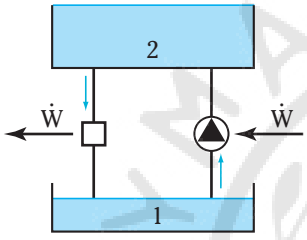
Σχ. 1.1ε
Αραβικό βελτιωμένο σύστημα αντλήσεως (αντίγραφο).

1.2 Διακίνηση ρευστών και μηχανήματα διακινήσεως ρευστών.

Για την ροή ενός ρευστού πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, το νερό μιας δεξαμενής (φυσικής ή τεχνητής) που βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο ρέει προς μια δεξα-

μενή που βρίσκεται σε χαμηλότερο, λόγω της διαφοράς στη δυναμική ενέργεια (έχομε δηλ. ροή λόγω βαρύτητας $2 \rightarrow 1$, παραγωγή ισχύος) (σχ. 1.2α).

Η αντίστροφη όμως πορεία, δηλ. από χαμηλότερο προς υψηλότερο επίπεδο, επιτυγχάνεται μόνο αν στο νερό δοθεί η αναγκαία δυναμική ενέργεια από μια εξωτερική πηγή ($1 \rightarrow 2$, απορρόφηση ισχύος). Το ίδιο συμβαίνει και με την ενέργεια πίεσεως. Δηλαδή, όταν ένα δοχείο, στο οποίο επικρατεί υψηλή πίεση συνδέεται με ένα δοχείο στο οποίο επικρατεί χαμηλότερη πίεση, το ρευστό που περιέχεται στο δοχείο, ρέει προς τον χώρο όπου επικρατεί χαμηλότερη πίεση. Για να προκληθεί όμως αντίστροφη ροή (δηλ. από έναν χώρο χαμηλής προς ένα χώρο υψηλής πιέσεως), θα πρέπει να δοθεί στο ρευστό ενέργεια.



Σχ. 1.2α
Ροή υγρού μεταξύ δεξαμενών με υφομετρική διαφορά.

Πέρα όμως από τη διαφορά ενέργειας μεταξύ των δύο χώρων διακινήσεως του ρευστού, υπάρχουν οι απώλειες ενέργειας λόγω τριβών, τις οποίες παρουσιάζουν τα ρευστά κατά τη ροή τους και πρέπει να αντιμετωπισθούν.

Εάν στις προηγούμενες ενεργειακές απαιτήσεις για τη ροή των ρευστών, προστεθεί η ανάγκη αυξήσεως της παροχής και της αντίστοιχης ταχύτητας στα διάφορα συστήματα (δίκτυα) ροής, τότε καθίσταται φανερή η ανάγκη μεταβιβάσεως στα ρευστά επί πλέον ενέργειας για τη διακίνησή τους.

Για τη μεταβίβαση της επί πλέον ενέργειας με σκοπό τη διακίνηση των ρευστών χρησιμοποιούνται μηχανήματα, ο σχεδιασμός και η λειτουργία των οποίων εξαρτώνται από τη φύση του ρευστού. Έτσι τα μηχανήματα ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1) Στα ***μηχανήματα για τη διακίνηση ασυμπιέστων ρευστών (υγρών)***, που ονομάζονται ***αντλίες*** και

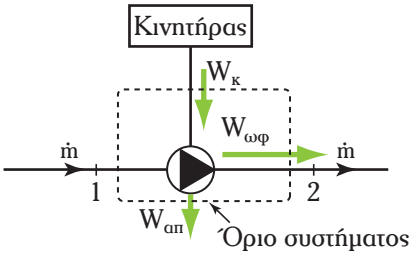
2) στα ***μηχανήματα για τη διακίνηση συμπιεστών ρευστών (αερίων)***, τα οποία είναι οι ***ανεμιστήρες***, οι ***φυσητήρες*** και οι ***συμπιεστές***. Επίσης μηχανήματα διακινήσεως των αερίων είναι οι αντλίες κενού ή αεραντλίες, οι οποίες αναρροφούν τον αέρα ή άλλα αέρια (π.χ. ψυκτικά ρευστά) από έναν χώρο, με σκοπό την επίτευξη πολύ χαμηλής πιέσεως (κενού).

Και στις δύο περιπτώσεις για τη διακίνηση του ρευστού μεταβιβάζεται ενέργεια από τα μηχανήματα (μηχανικό έργο), η οποία έχει ως τελικό αποτέλεσμα, ή την αύξηση της παροχής, άρα και της ταχύτητας (κινητική ενέργεια), την αύξηση της πιέσεως (ενέργεια πιέσεως), είτε –στην περίπτωση των υγρών– την ανύψωση της στάθμης του ρευστού (δυναμική ενέργεια).

Ο διαχωρισμός αυτός δεν μπορεί να θεωρηθεί απόλυτος, εφόσον υπάρχουν ορισμένοι τύποι αντλιών (όπως εκχυτήρες ή τζιφάρια), που διακινούν και υγρά και αέρια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μηχανικό έργο που μεταβιβάζεται από τα μηχανήματα στο ρευστό, δεν παράγεται από αυτά. Πρόκειται δηλαδή για *ενεργειακούς διαμεσολαβητές*, οι οποίοι παραλαμβάνουν ενέργεια προερχόμενη είτε από θερμική μηχανή είτε από ηλεκτροκινητήρα και τη διαβιβάζουν σε κατάλληλη μορφή στο ρευστό, με βαθμό αποδόσεως (η), ο οποίος εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ***διαμεσολαβητή***. Στις πιο απλές περιπτώσεις, η αναγκαία ενέργεια παρέχεται μυϊκά, π.χ. χειροκίνητες αντλίες ή συμπιεστές.

Όπως συμβαίνει σε όλα τα μηχανήματα, μέρος της ενέργειας που παραλαμβάνουν, δεν δύναται να μεταδοθεί στο ρευστό, επειδή υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών. Γι' αυτό η ποιότητα του μηχανήματος από ενεργειακής πλευράς, καθορίζεται από τον βαθμό αποδόσεως, δηλαδή το ωφέλιμο ποσοστό της παρεχόμενης ενέργειας, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η ενέργεια που φθάνει στο διακινούμενο ρευστό. Για παράδειγμα, το μηχάνημα (ή η συσκευή) του σχήματος 1.2β, παραλαμβάνει το



Σχ. 1.2β
Τυπικό διάγραμμα ενεργειακής μεταδόσεως κατά την διακίνηση του ρευστού.

ρευστό στην κατάσταση (1) και το καταθλίβει στην κατάσταση (2), η οποία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο.

Δηλαδή, το ρευστό κατά τη διέλευσή του από το μηχάνημα παρέλαβε ενέργεια. Η συσκευή (σχ. 1.2β) λειτούργησε ως διαμεσολαβητής: Παρέλαβε έργο W_K από την κινητήρια μηχανή και απέδωσε έργο $W_{ωφ}$ στο ρευστό. Η διαφορά $W_{απ} = W_K - W_{ωφ}$, αποτελεί τις απώλειες λόγω τριβών. Ο βαθμός απόδοσεως (η), του μηχανήματος είναι:

$$\eta = \frac{W_{ωφ}}{W_K}.$$

Δύο είναι οι γενικές μέθοδοι μεταδόσεως της ενέργειας στο ρευστό: Η ***μέθοδος της θετικής εκτοπίσεως*** (ωθήσεως) και η ***μέθοδος της δυναμικής μεταβολής*** (ή γενικότερα, της αυξήσεως της κινητικής ενέργειας του ρευστού). Αντίστοιχα, διακρίνομε δύο κύριες κατηγορίες μηχανημάτων διακινήσεως των ρευστών:

1) Τα ***μηχανήματα θετικής εκτοπίσεως***, με τα οποία ασκείται άμεσα πίεση στο ρευστό. Η πίεση ασκείται είτε με παλινδρομικές μηχανές (παλινδρομικές αντλίες και συμπιεστές), είτε με περιστροφικές μηχανές (αντλίες με λοβό, με ατέρμονα κοχλία, ανεμιστήρες κ.ά.).

2) Τα ***μηχανήματα δυναμικής μεταβολής***, τα οποία μεταδίδουν ενέργεια (ασκώντας δύναμη) στο ρευστό μεταβάλλοντας τη θέση ή την κατάστασή του. Τα μηχανήματα αυτά κατά κύριο λόγο αυξάνουν την κινητική ενέργεια (όπως συμβαίνει σε φυγόκεντρες αντλίες, σε περιστροφικούς συμπιεστές, σε φυσητήρες κ.ά.). Οι δυναμικής μεταβολής συσκευές (φυγοκεντρικής) δράσεως είναι περιστροφικές (με ελάχιστες εξαιρέσεις) και χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες περιστροφής.

Στην εποχή μας, τα μηχανήματα διακινήσεως των ρευστών είναι πολύ διαδεδομένα, τόσο στην καθημερινή ζωή, όσο και στην παραγωγική διαδικασία. Τα συναντάμε στα δίκτυα υδρεύσεως, αρδεύσεως, πυροσβέσεως, στα συστήματα κεντρικής θερμάνσεως (κυκλοφορητές, αντλίες καυσίμου), στις κλιματιστικές συσκευές, στις ψυκτικές εγκαταστάσεις, στα συστήματα εξαερισμού, στα αυτοκίνητα, στα πρατήρια υγρών καυσίμων κ.λπ., ενώ σημαντικότατος είναι ο ρόλος τους στη βιομηχανία.

Στα ***πλοία*** υπάρχουν εκατοντάδες μηχανήματα διακινήσεως ρευστών και ο ρόλος τους είναι καθοριστικός για τη λειτουργία των διαφόρων συστημάτων, για την ασφάλεια, την άνεση, τη φόρτωση κ.ά.. ***Όλα τα δίκτυα που αναπτύσσονται σε ένα πλοίο ή στην ξηρά έχουν ως κύριο συστατικό τους στοιχείο την αντίστοιχη συσκευή που μεταδίδει την αναγκαία ενέργεια στο ρευστό για την κυκλοφορία του, διαφορετικά, το δίκτυο δεν λειτουργεί.***

1.3 Βασικές έννοιες αντλίας και συστήματος αντλήσεως.

Τα μηχανήματα που καταναλώνοντας μηχανικό έργο, πραγματοποιούν τη μεταφορά ενός υγρού από έναν χώρο σε άλλο μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων, ονομάζονται ***αντλίες*** (pumps). Η διαδικασία ονομάζεται ***άντληση*** (pumping), ενώ το σύστημα που αναπτύσσεται ονομάζεται ***σύστημα αντλήσεως*** (pumping system). Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της αντλήσεως πρέπει να πραγματοποιείται ***αναρρόφηση*** (suction) από τον ένα χώρο και ***κατάθλιψη*** (discharge) στον άλλο, ενώ ταυτόχρονα στο ρευστό που μετακινείται πρέπει να προσδίδεται ενέργεια.

Χωρίς την ύπαρξη της αντλίας, η ροή του υγρού είναι αδύνατη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3α(α) σε σύστημα δύο δεξαμενών, συνδεμένων με σωλήνα (σύστημα συγκοινωνούντων δοχείων), με τις ελεύθερες επιφάνειές τους στο ίδιο επίπεδο και σε ίδια πίεση, καμιά ροή δεν είναι δυνατή. Το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση στατικής ισορροπίας.

Για να υπάρξει ροή από τη δεξαμενή Α στη Β, πρέπει να τοποθετηθεί αντλία, η οποία θα αναρροφά υγρό από τη δεξαμενή Α και θα το καταθλίβει στη δεξαμενή Β, παρέχοντάς του την αναγκαία ενέργεια για την αντιμετώπιση των απωλειών λόγω τριβών, αλλά και για την αύξηση της δυναμικής του ενέργειας, καθώς η στάθμη της δεξαμενής Β θα ανέρχεται [σχ. 1.3α(β)].

Όπως είναι λογικό, η αναγκαιότητα της αντλίας, αλλά και η παρεχόμενη απ' αυτήν ποσότητα ενέργειας στο ρευστό, είναι μεγαλύτερη σε δύο περιπτώσεις. Η μία είναι η περίπτωση κατά την οποία η ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής Β βρίσκεται υψηλότερα απ' την επιφάνεια της Α, και η άλλη όταν η ελεύθερη επιφάνεια της Β έχει μεγαλύτερη πίεση απ' αυτήν που ασκείται στην ελεύθερη επιφάνεια της Α.

Αν η επιφάνεια της δεξαμενής Β βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της Α (είτε έχει μικρότερη πίεση), το υγρό θα ρέει από τη δεξαμενή Α προς την Β, ακόμα και αν δεν υπάρχει αντλία, λόγω διαφο-

ράς ενεργειακού ύψους[1]. Αλλά και σ' αυτήν την περίπτωση, πιθανόν η παροχή να είναι μικρότερη από αυτήν που χρειάζεται, οπότε η διακίνηση του υγρού μέσω μιας αντλίας θα αυξήσει την παροχή στα επιθυμητά επίπεδα.

Γενικά, η ροή ρευστού από χώρο υψηλής προς χώρο χαμηλής ενεργειακής στάθμης γίνεται χωρίς την αναγκαία παρεμβολή εξωτερικής μονάδας παροχής ενέργειας. Αλλά αν η ενεργειακή διαφορά είναι μικρή και οι απώλειες ενέργειας μεγάλες (λόγω μικρής διαμέτρου ή λόγω μεγάλου μήκους του αγωγού ροής), η παροχή που εξασφαλίζεται με φυσική ροή είναι μικρή και απαιτείται συνήθως η χρήση αντλιών.

Έτσι, η χρήση της αντλίας είναι αναγκαία όταν επιδιώκονται:

1) ***να υπάρξει ροή υγρού από χαμηλότερη προς υψηλότερη*** (ή ίση) ***ενεργειακή στάθμη*** και

2) ***να αυξηθεί η παροχή της υφιστάμενης ροής.***

Η αντλία τότε παρεμβάλλεται στη σωλήνωση και αναρροφά ρευστό από τη μια πλευρά καταθλίβοντάς το στην άλλη (σχ. 1.3β).

Το σύστημα αντλήσεως συνήθως είναι ***ανοικτό***, όταν το υγρό, μετά την κατάθλιψη και εφόσον διέλθει από τον εξοπλισμό χρήσεως απορρίπτεται στο περιβάλλον. Υπάρχουν όμως και κάποια συστήματα αντλήσεως, στα οποία το υγρό κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα, όπως σε ένα σύστημα ψύξεως κύριας μηχανής (Κ/Μ).

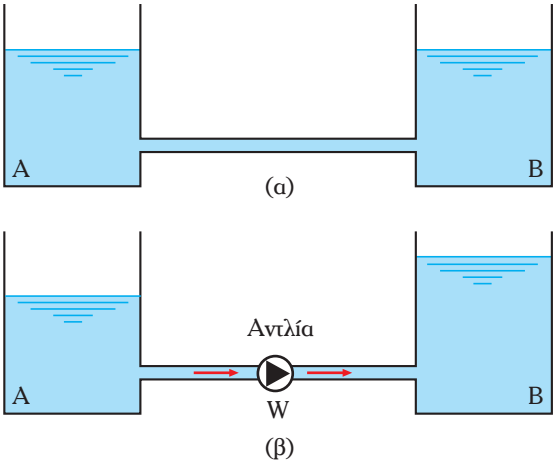
Κλειστό είναι το σύστημα αντλήσεως όταν το υγρό, μετά την κατάθλιψη και εφόσον διέλθει από τον εξοπλισμό χρήσεως επανακυκλοφορεί στον σωλήνα αναρροφήσεως. Σ' αυτά τα συστήματα, οι αντλίες καλούνται να αντιμετωπίσουν τις ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών.

Ένα ***σύστημα αντλήσεως*** αποτελείται επομένως από τρία τμήματα (σχ. 1.3β):

1) Το ***τμήμα αναρροφήσεως*** (σωλήνας αναρροφήσεως) (suction pipe), ο οποίος μεταφέρει το υγρό στην εισαγωγή της αντλίας (αναρρόφηση της αντλίας).

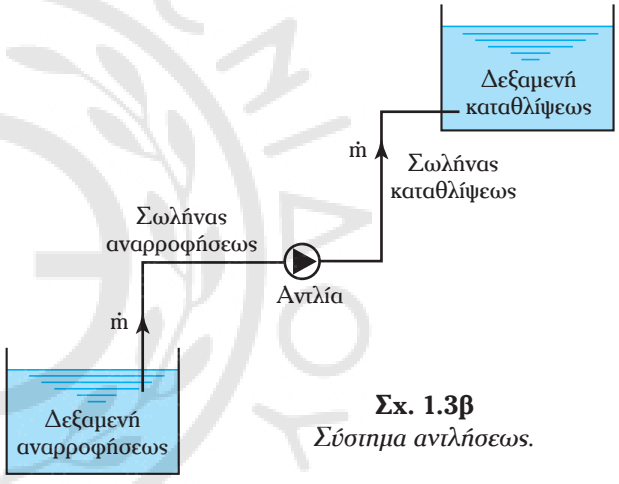
2) Την ***αντλία*** (ή το αντλητικό συγκρότημα, δηλ. σύνολο αντλιών που συνεργάζονται για την άντληση του υγρού) και

3) το τμήμα ***καταθλίψεως*** (σωλήνας καταθλίψεως) (discharge pipe), στο οποίο διοχετεύει η αντλία



Σχ. 1.3α

(α) Καταίσιαση στατικής ισορροπίας και (β) ροή υγρού με τη βοήθεια αντλίας.



Σχ. 1.3β

Σύστημα αντλήσεως.

το υγρό (αφού του προσδώσει ενέργεια) και μέσω του οποίου το υγρό συνεχίζει τη ροή του.

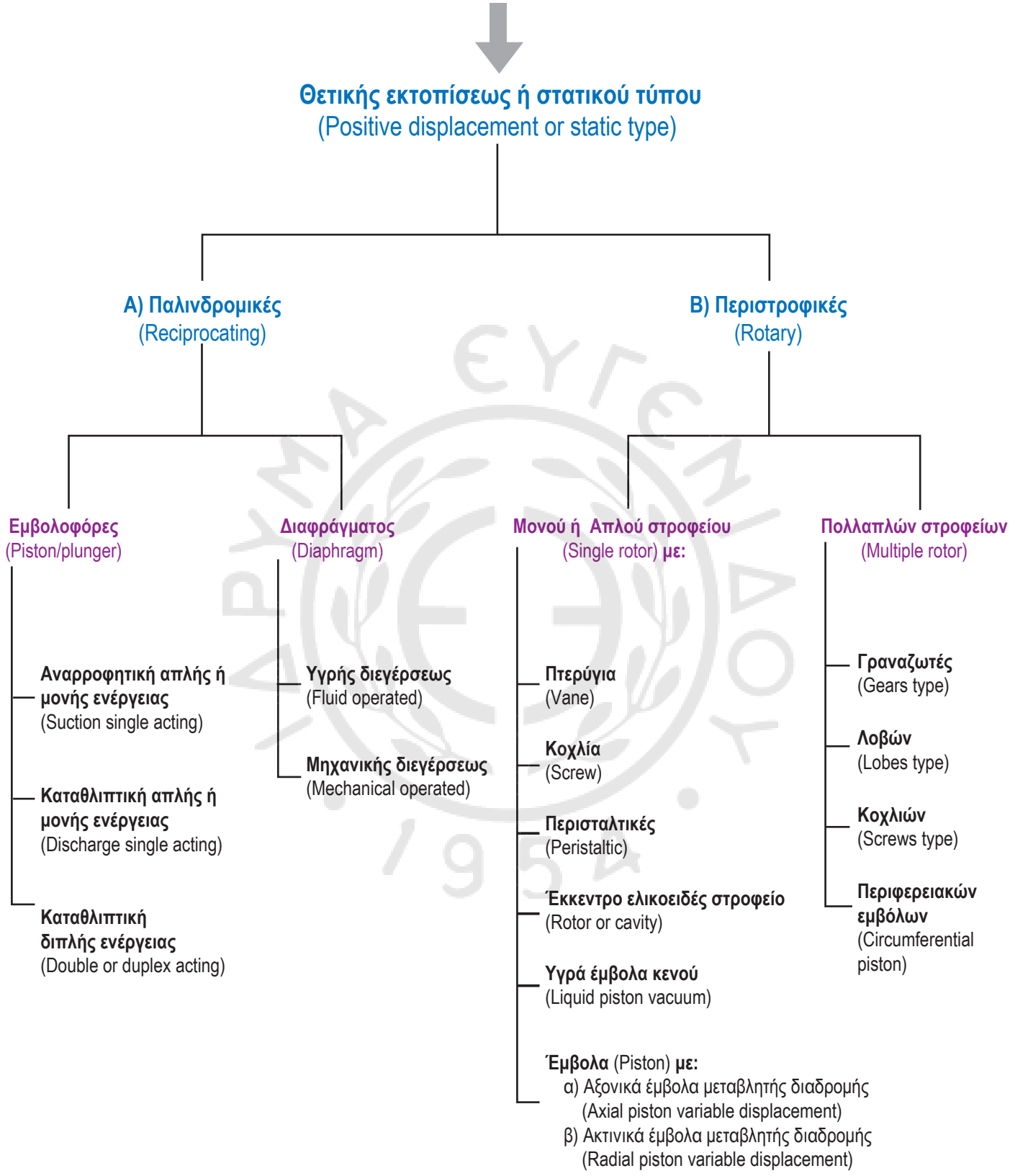
1.4 Ταξινόμηση των αντλιών (σελ. 6-7).

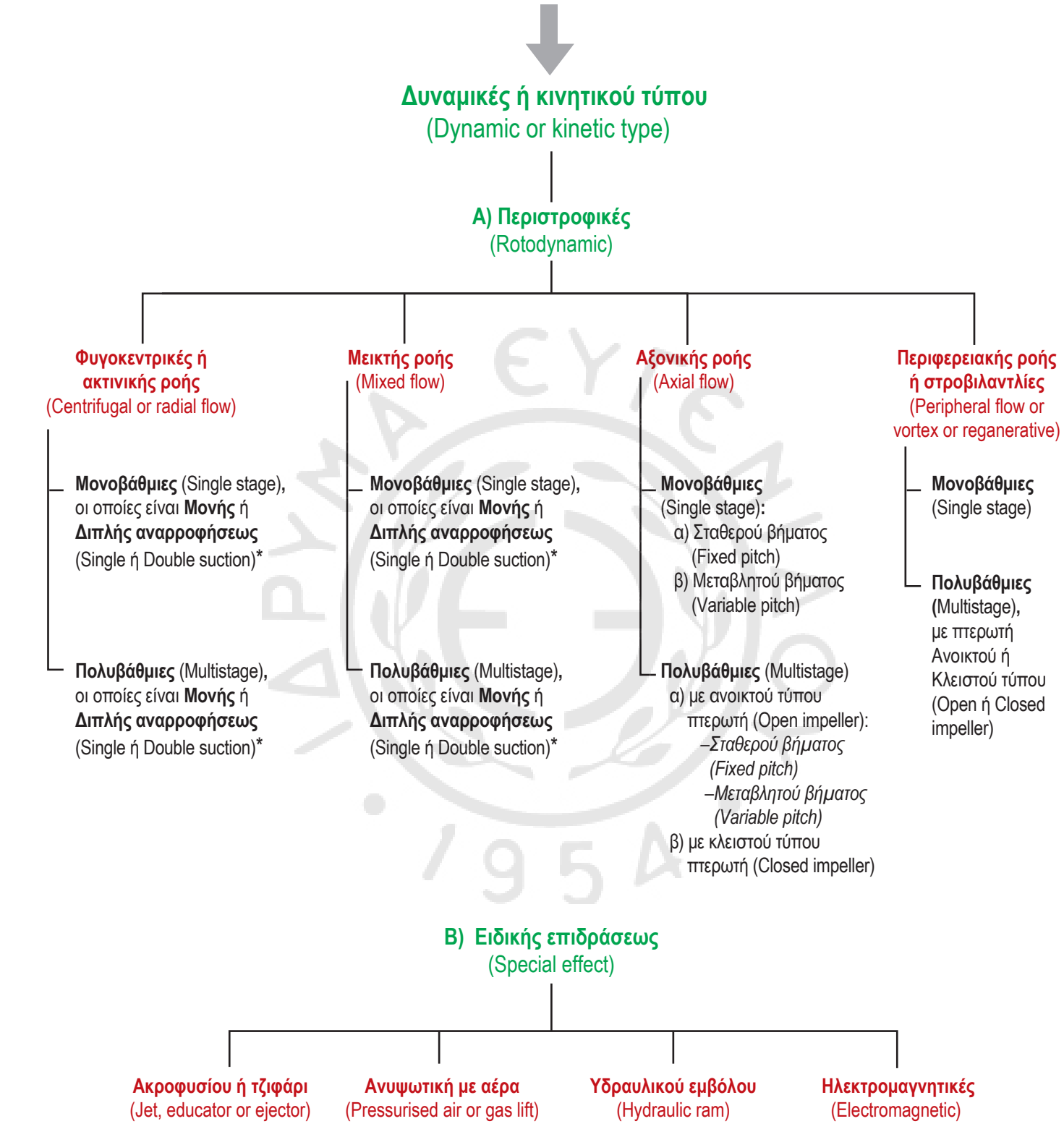
Υπάρχουν διάφορα κριτήρια, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη των πολλών και φαινομενικά εντελώς διαφορετικών αντλιών, που συναντώνται σε εκατοντάδες εφαρμογές.

Με κριτήριο για παράδειγμα το ***διακινούμενο ρευστό***, οι αντλίες θα μπορούσαν να διακριθούν σε αντλίες διακινήσεως παχυρρεύστων υγρών (high viscosity fluids), για υγρά μέσου και χαμηλού κινηματικού ιξώδους, για διαβρωτικά υγρά, για νερό, για λύματα κ.λπ..

[1] Το ***ενεργειακό ύψος*** ενός ρευστού ορίζεται από την δυναμική ενέργεια του ρευστού, λόγω της καθ' ύψος θέσεώς του.

Ταξινόμηση των αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας τους





* *Διακρίνονται σε: Ανοικτού τύπου πτερωτή (Open impeller), ημίκλειστου τύπου πτερωτή (Semi-closed/open impeller), κλειστού τύπου πτερωτή (Closed impeller)*

Με κριτήριο τον ***προσανατολισμό στον χώρο***, διακρίνονται σε οριζόντιες, κατακόρυφες και σε κεκλιμένες (σπάνια). Με κριτήριο τον ***τρόπο λειτουργίας***, θα μπορούσαν να διακριθούν σε παλινδρομικές και περιστροφικές. Υπάρχουν φυσικά και άλλα κριτήρια, όπως οι ***χρήσεις***, τα υλικά κατασκευής, η ισχύς την οποία αποδίδουν κ.λπ..

Το σημαντικότερο όμως κριτήριο που επιτρέπει τη συστηματική ταξινόμηση και μελέτη των αντλιών, είναι η ***μέθοδος*** με την οποία ***μεταβιβάζουν μηχανικό έργο*** (μεταβίβαση ενέργειας υπό μορφή μηχανικού έργου) στο υγρό. Η μέθοδος μεταβιβάσεως του μηχανικού έργου στο υγρό, αποτελεί και την αρχή λειτουργίας της αντλίας.

Επομένως, η παραπέρα ταξινόμηση βασίζεται στον ιδιαίτερο τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η μεταβίβαση ενέργειας στο υγρό, καθώς και στην γεωμετρία του συστήματος.

Με βάση λοιπόν αυτό το κριτήριο, δηλαδή την αρχή λειτουργίας τους, οι αντλίες ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1) στις ***θετικής εκτοπίσεως*** (ή στατικού τύπου),

2) και στις ***δυναμικές αντλίες*** (ή κινητικού τύπου) (σελ. 6-7).

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
Αντλίες θετικής εκτοπίσεως

Γενικά.

Στις ***αντλίες θετικής εκτοπίσεως*** (positive displacement pumps) ή ***στατικού τύπου*** (static pumps) η μεταβίβαση μηχανικού έργου από την αντλία στο υγρό γίνεται με άσκηση δυνάμεως, η οποία το αναγκάζει να μετακινηθεί.

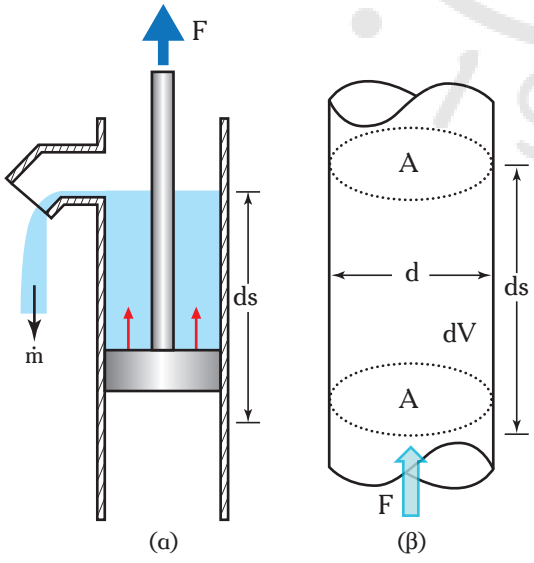
Αν σε στοιχειώδη όγκο του ρευστού (σχ. 2) ασκηθεί δύναμη F και υπό την επίδρασή της αυτός ο όγκος μετακινηθεί κατά ds, τότε το προσδιδόμενο σε αυτό έργο ισούται με:

$$dW = F \cdot ds$$

Το έργο αυτό dW μετατρέπεται σε ενέργεια πιέσεως, αφού η δύναμη, ασκούμενη στην επιφάνεια Α του ρευστού ασκεί πίεση ίση με:

$$p = \frac{F}{A}$$

Σημειώνεται ότι η αρχή λειτουργίας των αντλιών θετικής εκτοπίσεως, μοιάζει αρκετά με την αρχή λειτουργίας των πρώτων απλών συστημάτων αντλήσεως. Όταν για παράδειγμα, βυθίζεται ένα δοχείο σε πηγάδι, και στη συνέχεια έλκεται μαζί με το νερό που περιέχει, μεταβιβάζεται έργο στο νερό του δοχείου, αυξάνοντας τη δυναμική του ενέργεια. Η ίδια ενεργειακή μετατροπή (μετατροπή έργου σε δυναμική ενέργεια) παρουσιάζεται στον κοχλία του Αρχιμήδη και στις αντλίες με τροχό, δοχεία, πτερύγια και αλυσίδες.



Σχ. 2

(α) Σχηματική και (β) γραμμική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας αντλιών θετικής εκτοπίσεως.

Οι σύγχρονες αντλίες θετικής εκτοπίσεως είναι εντελώς διαφορετικές. Πρόκειται για σύνθετα μηχανήματα με συνεχή ή περιοδική λειτουργία, που προσαρμόζονται σε δίκτυα σωληνώσεων, στα οποία και η ενεργειακή μετατροπή είναι διαφορετική: το μηχανικό έργο που παραλαμβάνουν από το κινητήριο μηχάνημα και μεταδίδεται στο υγρό, μετατρέπεται αρχικά σε ενέργεια πιέσεως. Μετά τη διέλευση του υγρού από την αντλία, η ενέργεια πιέσεως μετατρέπεται στις μορφές που απαιτεί το σύστημα αντλήσεως.

2.1 Παλινδρομικές (εμβολοφόρες) αντλίες.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση των αντλιών που παρουσιάστηκε στις σελίδες 6 και 7, η οποία έγινε με βάση το ***κριτήριο της μέθοδου μεταβιβάσεως*** του μηχανικού έργου και την μετατροπή του σε ενέργεια πιέσεως, αλλά και γενικότερα, τον τρόπο λειτουργίας τους, οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως, ανάλογα με τον τρόπο κινήσεως των εξαρτημάτων που δημιουργούν την πίεση υποδιαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Αυτές είναι οι ***παλινδρομικές*** (ή γενικώς ***εμβολοφόρες)*** (reciprocating) και οι ***περιστροφικές*** (rotary). Αναλυτικότερα:

1) Οι ***παλινδρομικές*** (reciprocating) είναι οι αντλίες οι οποίες εκτοπίζουν το ρευστό που τις διαρρέει με την επαναληπτική κίνηση μηχανικού μέσου σε θάλαμο ορισμένου όγκου. Το μέσο αυτό δημιουργεί δύο νέες διακριτές κατηγορίες παλινδρομικών αντλιών (οι οποίες αναλύονται στις επόμενες παραγράφους) και ενδέχεται να είναι:

α) ***Έμβολο*** (plunger or piston) δημιουργώντας την κατηγορία των εμβολοφόρων αντλιών (plunger or piston pumps).

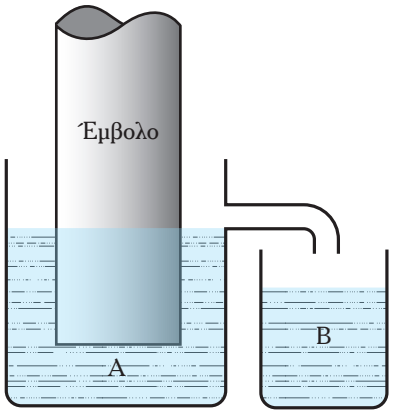
β) ***Διάφραγμα*** (diaphragm), στο οποίο η παλινδρομική κίνηση επιτυγχάνεται άμεσα ή έμμεσα από έμβολο δημιουργώντας την κατηγορία αντλιών διαφράγματος (diaphragm pumps).

2) Οι ***περιστροφικές*** (rotary), στις οποίες το υγρό πιέζεται μέσα στον κύλινδρο ή στο κέλυφος της αντλίας από κατάλληλα διαμορφωμένους περιστρεφόμενους λοβούς, έμβολα, πτερύγια κ.λπ..

Η δυνατότητα αντλήσεως των ***εμβολοφόρων αντλιών*** (reciprocating pumps), βασίζεται στη σταδιακή μείωση και αύξηση του όγκου ενός θαλάμου, από τον οποίο διέρχεται το υγρό. Δεν βασίζεται στην μεταβολή της ταχύτητας του ρευστού για την ανάπτυξη της πιέσεως, διότι η ταχύτητα λειτουργίας τους είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τις δυναμικές αντλίες. Επίσης δεν προσπαθούν να αυξήσουν το μανομετρικό ύψος, αλλά την πίεση καταθλίψεως, η οποία αντικαθιστά τη διαφορά μανομετρικού ύψους εφόσον δεν επηρεάζεται από την πίεση αναρροφήσεως. Ως εκ τούτου, οι εμβολοφόρες αντλίες πρέπει να αναπτύξουν επαρκή πίεση στην κατάθλιψη, προκειμένου να αναγκάσουν το υγρό να ρέει προς το δίκτυο. Σε γενικές γραμμές, οι εμβολοφόρες αντλίες πιέζουν προς την κατάθλιψη το υγρό που αναρροφάται, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί σε οποιαδήποτε ταχύτητα, ενώ οι πιέσεις που αναπτύσσονται τείνουν να είναι πολύ μεγάλες εάν συγκριθούν με τις φυσικές διαστάσεις των αντλιών.

Η λειτουργία της εμβολοφόρου αντλίας στηρίζεται στην Αρχή του Αρχιμήδη, με βάση την οποία ένα σώμα εκτοπίζει όγκο υγρού ίσο με τον όγκο του. Έτσι, αν ένα κυλινδρικό στερεό, π.χ. ένα έμβολο βυθιστεί μέσα σε ένα δοχείο Α, το οποίο περιέχει υγρό, ο όγκος του υγρού που εκτοπίζεται στο μικρότερο δοχείο Β είναι ίσος με το τμήμα του κυλινδρικού στερεού που βυθίστηκε στο υγρό του δοχείου Α (σχ. 2.1α). Αντίστοιχα σε μία εμβολοφόρο αντλία, σε κάθε εμβολισμό, ορισμένος όγκος υγρού έλκεται εντός και αποβάλλεται από τον κύλινδρο, σχεδόν ανεξάρτητα από την διαφορά της πιέσεως κατά την είσοδο και την έξοδο του υγρού. Ο όγκος αυτός εξαρτάται από τον όγκο που δημιουργείται από τη μετατόπιση του εμβόλου μέσα στον όγκο σαρώσεως του κυλίνδρου και το μέγεθος του κυλίνδρου.

Αν ο κύλινδρος είναι συνδεμένος σε ένα δίκτυο, τότε με την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου άλλοτε εισέρχεται το υγρό (αναρροφάται) στον κύλινδρο και άλλοτε εξέρχεται (καταθλίβεται). Η διέλευση του υγρού από τον κύλινδρο της αντλίας πραγματοποιείται μέσω ανεπιστρόφων βαλβίδων, οι οποίες αντίστοιχα ονομάζονται ***βαλβίδες αναρροφήσεως*** και ***καταθλίψεως***, και οι οποίες είναι εγκατεστημένες στο πώμα (ή καπάκι) του κυλίνδρου.



Σχ. 2.1α

Δοχεία στα οποία μεταφέρεται ο όγκος του υγρού.

Οι εμβολοφόρες αντλίες διακρίνονται σε:

1) ***Αναρροφητικές*** ή ***καταθλιπτικές***, ανάλογα με τον τρόπο αντλήσεως και παροχής του υγρού.

2) ***Απλής*** ή ***διπλής ενέργειας*** (single or double acting pumps) (η διάκριση που αφορά μόνο στις καταθλιπτικές αντλίες). Απλής ενέργειας, ονομάζονται οι αντλίες όταν το υγρό κατά την αναρρόφηση και την κατάθλιψη έρχεται σε επαφή μόνο με την μια πλευρά του εμβόλου, ενώ όταν το ρευστό συμπιέζεται και από τις δύο όψεις του εμβόλου ονομάζονται ***διπλής ενέργειας***.

3) Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων χωρίζονται σε ***μονοκύλινδρες***, ***δικύλινδρες***, ***τρικύλινδρες*** κ.ο.κ. ή γενικά ***πολυκύλινδρες*** όταν διαθέτουν πολλούς κυλίνδρους.

4) Ανάλογα με τη διάταξη στο χώρο κατατάσσονται σε ***οριζόντιες*** ή ***κάθετες***.

5) Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της λειτουργικής τους ισχύος χωρίζονται σε ***χειροκίνητες***, ***ατμοκίνητες***, ***πετρελαιοκίνητες***, ***ηλεκτροκίνητες υδραυλικής*** και ***μαγνητικής κινήσεως***. Αυτές ονομάζονται και ***ανεξάρτητες***, ενώ όσες κινούνται από ένα κινητό τμήμα της κύριας μηχανής ονομάζονται ***εξαρτημένες***.

6) Ανάλογα με το μέσο μεταδόσεως της ισχύος για την κίνηση, χωρίζονται σε ***απευθείας*** ή ***άμεσης μεταδόσεως*** και ***στροφαλοκίνητες***. Απευθείας ή άμεσης μεταδόσεως ονομάζονται οι αντλίες στις οποίες το έμβολο κινείται κατευθείαν από το κινητήριο μηχάνημα, ενώ στροφαλοκίνητες ή στροφαλοφόρες όταν το έμβολο κινείται μέσω συστήματος

στροφάλου – διωστήρα – ζυγώματος και βάκτρου.

Οι εμβολοφόρες αντλίες διακρίνονται επίσης σε ***απλής διατάξεως*** (simplex) και ***συζευγμένης διατάξεως*** (duplex). Η διάκριση αυτή αφορά στον σύρτη διανομής[1] ατμού των ατμοκινήτων αντλιών. Ως απλής διατάξεως χαρακτηρίζονται όταν ο σύρτης διανομής-παροχής του ατμού, κινείται από το βάκτρο του εμβόλου, στο οποίο διανέμει τον ατμό, ενώ ως διπλής διατάξεως χαρακτηρίζονται όταν κάθε σύρτης διανομής-παροχής του ατμού κινείται από το βάκτρο του εμβόλου του άλλου συγκροτήματος. Με τον όρο ***συγκρότημα*** ορίζομε το σύνολο ***βάκτρο-έμβολο-κύλινδρος*** της αντλίας. Για παράδειγμα μια αντλία η οποία αποτελείται από δύο κυλίνδρους με έμβολα ατμού και αντίστοιχα δύο κυλίνδρους με έμβολα για τη διακίνηση του υγρού έχει δύο συγκροτήματα.

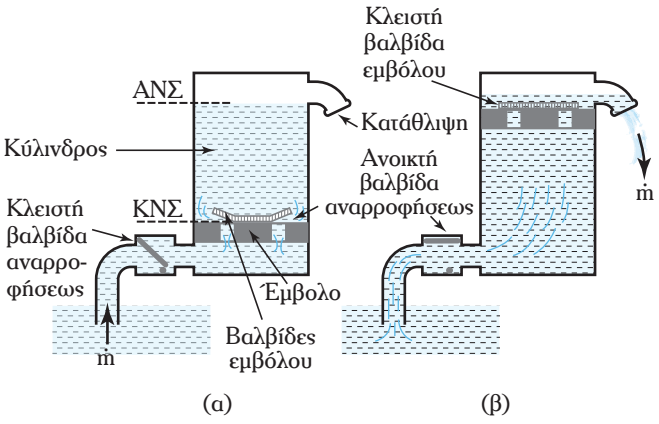
2.1.1 Αναρροφητική αντλία.

Η ***αναρροφητική αντλία*** (junction pump) σε έναν κύκλο λειτουργίας της, δηλαδή από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) (top dead center) στο Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) (bottom dead center) και ξανά στο ΑΝΣ, αναρροφά το υγρό και μέσω βαλβίδας το ανυψώνει, ενώ στη συνέχεια αυτό ρέει μόνο του. Γι' αυτόν το λόγο ονομάζεται και ***ανυψωτική***. Η καταθλιπτική αντλία (βλ. παράγρ. 2.1.2) αποτελεί επέκταση της ανυψωτικής διότι αναρροφά το υγρό μέσω βαλβίδας, το ανυψώνει και στη συνέχεια το καταθλίβει μέσω βαλβίδας υπερνικώντας μία εξωτερική αντίσταση.

Η αναρροφητική αντλία αποτελείται από τον κύλινδρο στον οποίο συνδέεται ο σωλήνας της αναρροφήσεως, με τη βαλβίδα της αναρροφήσεως και το έμβολο πάνω στο οποίο υπάρχουν βαλβίδες επιτρέποντας τη διέλευση του υγρού από τη μία όψη του εμβόλου στην άλλη.

Ο κύλινδρος στο επάνω μέρος, όπου γίνεται η κατάθλιψη του υγρού, είναι ανοιχτός στο περιβάλλον, οπότε εκεί ασκείται πίεση ίση με την ατμοσφαιρική (σχ. 2.1β).

Στο σχήμα 2.1β(α) φαίνεται το έμβολο στο κάτω σημείο της διαδρομής του (ΚΝΣ), με τη βαλβίδα αναρροφήσεως κλειστή, ενώ οι βαλβίδες στην επιφάνεια του εμβόλου είναι ανοικτές και ο κύλινδρος γεμάτος με υγρό. Καθώς το έμβολο κινείται προς το



Σχ. 2.1β

Αναρροφητική αντλία.

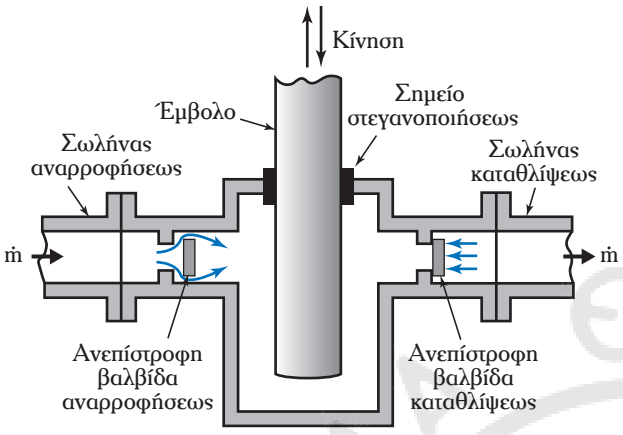
ΑΝΣ, η πίεση του ρευστού κλείνει τις βαλβίδες του εμβόλου δημιουργώντας κενό στο εσωτερικό του κυλίνδρου στο χώρο που δημιουργείται στην κάτω πλευρά του εμβόλου. Το κενό σημαίνει συνθήκες πιέσεως χαμηλότερες της ατμοσφαιρικής ή πίεση χαμηλότερη από αυτή που ασκείται στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού εάν το υγρό βρίσκεται σε μια κλειστή δεξαμενή. Τότε, ανοίγει η βαλβίδα αναρροφήσεως και το υγρό εισέρχεται στον κύλινδρο πληρώνοντας τον χώρο μεταξύ της κάτω πλευράς του εμβόλου και του κυλίνδρου. Το υγρό που υπάρχει ήδη στην πάνω πλευρά του εμβόλου, διατηρεί τις βαλβίδες που βρίσκονται στην επιφάνειά του κλειστές, ώστε η ποσότητα του υγρού που φτάνει στη θυρίδα εξαγωγής με την κίνηση του εμβόλου να ρέει έξω από τον κύλινδρο [σχ. 2.1β(β)]. Όταν ολοκληρωθεί η διαδρομή προς τα πάνω και το έμβολο αρχίσει να κατεβαίνει προς το ΚΝΣ, οι βαλβίδες στην επιφάνεια του εμβόλου ανοίγουν, ενώ σχεδόν ταυτόχρονα η βαλβίδα αναρροφήσεως κλείνει λόγω της πιέσεως που δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο από το υπάρχον υγρό. Μέσω των βαλβίδων στην επιφάνεια του εμβόλου η επάνω πλευρά γεμίζει ξανά με υγρό, μέχρι το έμβολο να φτάσει στο ΚΝΣ της διαδρομής του. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται και σε κάθε διαδρομή του εμβόλου ανυψώνεται ποσότητα υγρού ίση με τον ελεύθερο όγκο του χώρου μέσα στον κύλινδρο.

2.1.2 Καταθλιπτική αντλία.

Η ***καταθλιπτική αντλία*** (discharging pump)

[1] ***Σύρτης διανομής*** ατμού είναι η συσκευή με έμβολο και θυρίδες που με την κίνηση του εμβόλου που διαθέτει είτε αποκαλύπτονται οι θυρίδες και ο ατμός διέρχεται στον ατμοκύλινδρο κινήσεως της αντλίας είτε αποκρύπτονται διακόπτοντας τη διέλευση του ατμού.

(σχ. 2.1γ) είναι αντλία απλής ενέργειας. Αποτελείται από τον κύλινδρο, το έμβολο, τις σωληνώσεις δικτύου αναρροφήσεως και καταθλίψεως όπου αντίστοιχα τοποθετούνται η βαλβίδα αναρροφήσεως και η βαλβίδα καταθλίψεως.



Σχ. 2.1γ
Καταθλιπτική αντλία απλής ενέργειας.

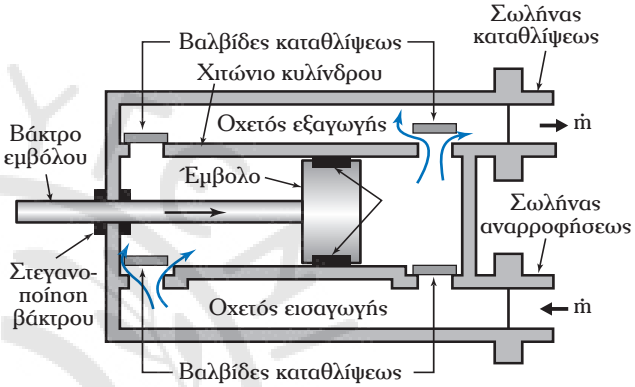
Καθώς το έμβολο κινείται προς ΑΝΣ η βαλβίδα καταθλίψεως παραμένει κλειστή, ώστε με το κενό που δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο επιτυγχάνεται η εισαγωγή υγρού από τη βαλβίδα αναρροφήσεως. Η αναρρόφηση συνεχίζεται ως το τέλος της διαδρομής του εμβόλου προς το ΑΝΣ. Στη συνέχεια, το έμβολο αρχίζει να κινείται προς το ΚΝΣ με αποτέλεσμα το υγρό που υπάρχει μέσα στον κύλινδρο, λόγω της πιέσεως που δέχεται από το έμβολο, να κλείσει τη βαλβίδα αναρροφήσεως. Ταυτόχρονα, λόγω του ότι τα υγρά είναι ασυμπίεστα, ανοίγει η βαλβίδα καταθλίψεως και με πίεση υπό την ενέργεια της κινήσεως του εμβόλου το υγρό διοχετεύεται μέσα στον σωλήνα καταθλίψεως, υπερνικώντας την αντίσταση του ολικού ύψους καταθλίψεως.

Η κατάθλιψη συνεχίζεται μέχρι το ΚΝΣ, όπου η διαδρομή του εμβόλου αντιστρέφεται και δημιουργώντας κενό στο χώρο του κυλίνδρου κλείνει η βαλβίδα καταθλίψεως, ώστε νέο υγρό να εισέρχεται στον κύλινδρο μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως επαναλαμβάνοντας έναν νέο κύκλο λειτουργίας.

Για καταθλιπτικές αντλίες διπλής ενέργειας ο κύκλος λειτουργίας είναι ο ίδιος. Η διαφορά (σχ. 2.1δ) έγκειται στο ότι το υγρό έρχεται σε επαφή και με τις δύο όψεις του εμβόλου, καθώς και στη διάταξη των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως όπου ένα ζεύγος τοποθετείται σε κάθε πλευρά του κυλίνδρου επιτρέποντας την αναρρόφηση και την κατάθλιψη στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ της διαδρομής του εμβόλου.

Οι βαλβίδες τοποθετούνται με τέτοιον τρόπο ώστε, όταν το έμβολο κινείται προς τη μία διεύθυνση να αναρροφάται υγρό από την μία πλευρά και ταυτόχρονα να καταθλίβει από την άλλη και αντίθετα.

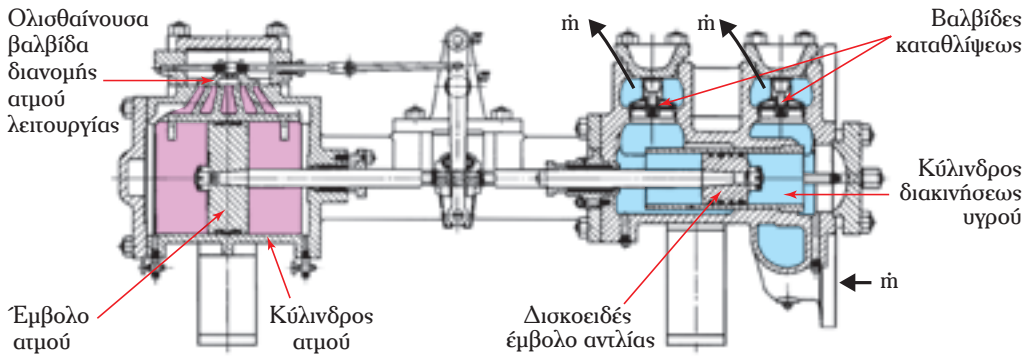
Η πίεση καταθλίψεως, λόγω της διακυμάνσεως της πιέσεως από την παλινδρόμηση του εμβόλου, δεν είναι σταθερή. Γι' αυτόν το λόγο τοποθετείται στο δίκτυο καταθλίψεως μία ειδική συσκευή που λέγεται αεροκώδωνας (βλ. παράγρ. 2.3), εξομαλύνοντας αυτές τις διακυμάνσεις.



Σχ. 2.1δ
Καταθλιπτική αντλία διπλής ενέργειας.

2.2 Τα βασικά μέρη εμβολοφόρου αντλίας.

Μια εμβολοφόρος αντλία, αποτελείται από το ***σώμα των κυλίνδρων*** (cylinder body)· κάθε κύλινδρος διαθέτει το ***χιτώνιο*** (cylinder liner), το ***καπάκι*** (πώμα) (cylinder head), το ***έμβολο*** (piston) και τις ***βαλβίδες*** (valves), μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η εκτόπιση του υγρού. Δεν είναι σπάνιο το σώμα μιας αντλίας να αποτελεί και το χώρο όπου παλινδρομεί το έμβολο χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη ιδιαίτερου χιτωνίου, κάτι που συνήθως συμβαίνει σε μικρού μεγέθους αντλίες. Η ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας παρέχεται από το κινητήριο μηχάνημα. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η μετάδοση της κινήσεως διαθέτει βάκτρο, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με το κινητήριο μηχάνημα π.χ. έναν κύλινδρο ατμού (σχ. 2.2α) ή διωστήρα με τριβείς (κουζινέτα) και στρόφαλο όταν το έμβολο κινείται μέσω στροφάλου (σχ. 2.2β). Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους, οι εμβολοφόρες αντλίες σπάνια κατασκευάζονται για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Συνήθως είναι κατασκευασμένες έτσι, ώστε να έχουν τη δυνατότητα, σε ορισμένες λειτουργικές συνθήκες, να χρησιμοποιούνται σε ευρύ φάσμα



Σχ. 2.2α

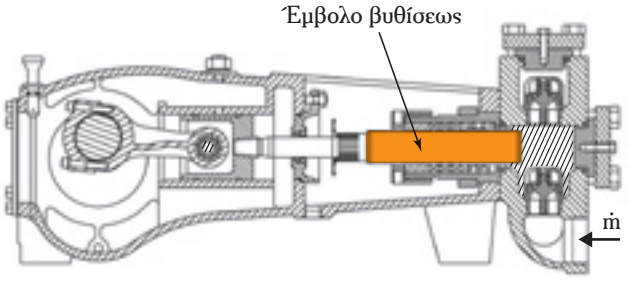
Τομή βοηθητικής αντλίας σε οριζόντια διάταξη που κινείται από κύλινδρο ατμού.

εφαρμογών για παράδειγμα μία αντλία που χρησιμοποιείται για τη μετάγγιση πετρελαίου σε ένα άλλο δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιείται για τη μεταφορά άλλου ρευστού ή για την εξυπηρέτηση-τροφοδοσία ενός μηχανήματος.

Τα κύρια μέρη των εμβολοφόρων αντλιών είναι:

1) Ο ***κύλινδρος με το χιτώνιο*** ή ***το σώμα των κυλίνδρων,*** όπου πραγματοποιείται η αύξηση της πιέσεως καταθλίψεως, με αποτέλεσμα να λειτουργεί συνεχώς σε συνθήκες κοπώσεως. Στο σώμα των κυλίνδρων, σε πολλές αντλίες, συνήθως οριζόντιας διατάξεως, υπάρχουν θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως, ενώ στις κάθετες αντλίες οι θυρίδες ή οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως τοποθετούνται στο καπάκι του κυλίνδρου.

Το σώμα των κυλίνδρων συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή ορείχαλκο και χυτοχάλυβα όταν οι αντλίες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες πιέσεις. Για αντλίες με περισσότερα από ένα έμβολα το σώμα των κυλίνδρων είναι κατασκευασμένο με πολλές εισόδους, ίσες με τον αριθμό των εμβόλων. Όταν χρησιμοποιούνται χιτώνια, εφαρμόζονται εσωτερικά στο σώμα των κυλίνδρων και έχουν μήκος ελαφρώς μεγαλύτερο από τη διαδρομή του εμβόλου,



Σχ. 2.2β

Αντλία που κινείται από στρόφαλο.

επιτυγχάνοντας την ομαλή λειτουργία της αντλίας. Τα χιτώνια κατασκευάζονται από ορείχαλκο, Ni-resist ή άλλα ανθεκτικά στη διάβρωση υλικά.

2) Τα ***έμβολα***, που ανάλογα με το σχεδιασμό ή τον τρόπο λειτουργίας, διακρίνονται σε:

α) ***Έμβολα βυθίσεως*** που έχουν μήκος πολύ μεγαλύτερο απ' τη διάμετρό τους και κατασκευάζονται συμπαγή ή κοίλα. Η στεγανότητα των εμβόλων αυτών, λόγω του μεγάλου μήκους τους, εξασφαλίζεται με την εφαρμογή κατάλληλου στυπειοθλίπτη (βλ. παράγρ. 9.1.1) που βρίσκεται επάνω στον κύλινδρο στην πλευρά εισόδου του εμβόλου. Το υλικό κατασκευής τους είναι ο ορείχαλκος ή ο ανοξείδωτος χάλυβας.

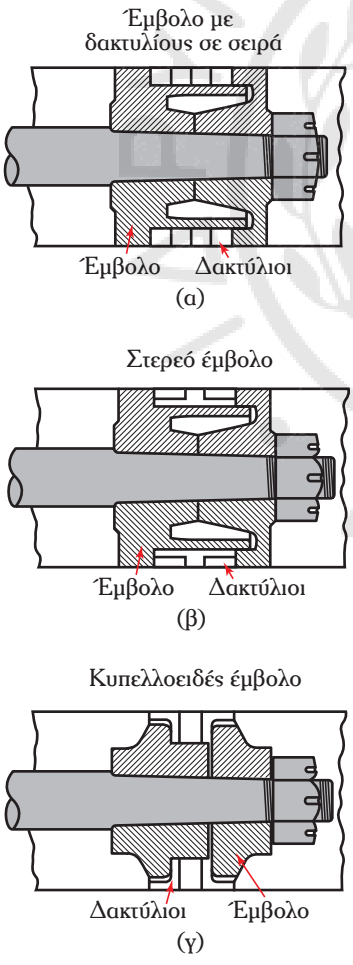
β) ***Δισκοειδή έμβολα*** που έχουν μικρότερο μήκος από τη διάμετρό τους και οφείλουν το όνομά τους στο σχήμα τους. Σχεδιάζονται σε διάφορους τύπους, αλλά αυτοί που συνήθως συναντώνται είναι:

- Ο τύπος ***εμβόλου με δακτυλίους σε σειρά*** (body and follower) [σχ. 2.2γ(α)]. Για τη λειτουργία και τη στεγανοποίηση του εμβόλου, τοποθετούνται σε υποδοχή στο σώμα του δακτύλιοι σε σειρά από ινώδες μαλακό υλικό ή από σκληρό συνθετικό (π.χ. εβονίτη).
- Ο τύπος ***στερεού εμβόλου*** (solid piston) [(σχ. 2.2γ(β)], όπου οι δακτύλιοι αποτελούνται από χυτοσίδηρο, ορείχαλκο ή κράμα άλλου μετάλλου. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε αντλίες που διακινούν πετρέλαιο, λάδι ή άλλους υδρογονάνθρακες. Η φυσική τάση του υλικού κατασκευής, μαζί με τη βοήθεια της πιέσεως του υγρού κάτω από τους δακτυλίους, διατηρεί την επαφή τους με τα χιτώνια δημιουργώντας την απαραίτητη στεγανότητα.
- Ο τύπος ***κυπελλοειδούς εμβόλου*** (cup piston)

[σχ. 2.2γ(γ)], που αποτελείται από το σώμα και τους δακτυλίους σε σχήμα κυπέλλου. Οι δακτύλιοι κατασκευάζονται από ελαστικό ενισχυμένο με ίνες ή άλλο συνθετικό υλικό.

3) Οι ***βαλβίδες***, που ελέγχουν τη ροή του υγρού που διακινείται από την αντλία και οι οποίες διακρίνονται σε ***αναρροφήσεως*** και ***καταθλίψεως***. Οι βαλβίδες είναι ανεπίστροφες, δηλαδή επιτρέπουν τη ροή του υγρού προς τη μια διεύθυνση, κλείνοντας όταν το υγρό κινηθεί προς την αντίθετη. Η διατήρηση των βαλβίδων στην κλειστή θέση επιτυγχάνεται είτε από την πίεση του υγρού που υπάρχει στο δίκτυο, είτε από την ένταση ελατηρίου που εφαρμόζεται στην επιφάνεια της βαλβίδας και παραμένει σταθερή μέσω κατάλληλης διατάξεως. Στην πιο απλή μορφή τους, δηλαδή όταν ανοιγοκλείνουν με την πίεση του υγρού, λειτουργούν:

α) Με τη δημιουργία κενού, που ανοίγει τη βαλβίδα αναρροφήσεως.



Σχ. 2.2γ
Τύποι δισκοειδών εμβόλων.

β) Με την πίεση του υγρού που αυξάνεται, καθώς συμπιέζεται από το έμβολο ανοίγοντας τη βαλβίδα καταθλίψεως.

γ) Μένουν κλειστές και οι δύο βαλβίδες όταν δεν υπάρχει πίεση.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2δ μία βαλβίδα είναι κλειστή, όταν οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω και κάτω απ' αυτήν βρίσκονται σε ισορροπία. Η ισορροπία εκφράζεται από τη σχέση:

$$p_1 \cdot p_1 = p_2 \cdot A_2 + S_f + M \qquad (2.1)$$

όπου: p_1 η πίεση στο κάτω μέρος της βαλβίδας, A_1 η επιφάνεια στο κάτω μέρος της βαλβίδας όπου ασκείται η πίεση p_1, p_2 η πίεση στο πάνω μέρος της βαλβίδας, A_2 η επιφάνεια στο πάνω μέρος της βαλβίδας όπου ασκείται η πίεση p_2, S_f η δύναμη από την ένταση του ελατηρίου, αν υπάρχει, και M το άθροισμα του βάρους της βαλβίδας με το μισό από το βάρος του ελατηρίου.

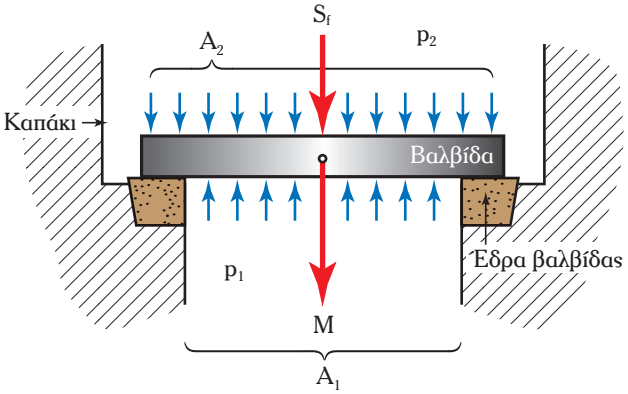
Η παράπλευρη επιφάνεια του κυλίνδρου που σχηματίζεται με την ανύψωση της βαλβίδας ονομάζεται ***περιοχή διαρροής*** (spill area) και αποτελεί την επιφάνεια μέσω της οποίας διέρχεται το υγρό. Ορίζεται από τον κατασκευαστή και εξαρτάται από την ανύψωση (h) της βαλβίδας. Θεωρητικά είναι ίση με το ¼ D όπου: D η διάμετρος της έδρας της, οπότε για:

$$E_s = \pi \cdot D \cdot h \qquad (2.2)$$

$$E_\varepsilon = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \qquad (2.2\alpha)$$

$$\text{από } (2.2)(2.2\alpha) \Rightarrow \pi \cdot D \cdot h = \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow h = \frac{D}{4} \qquad (2.2\beta)$$

όπου E_s η παράπλευρη επιφάνεια της βαλβίδας και E_ε η επιφάνεια της έδρας της.



Σχ. 2.2δ
Λειτουργία βαλβίδας.

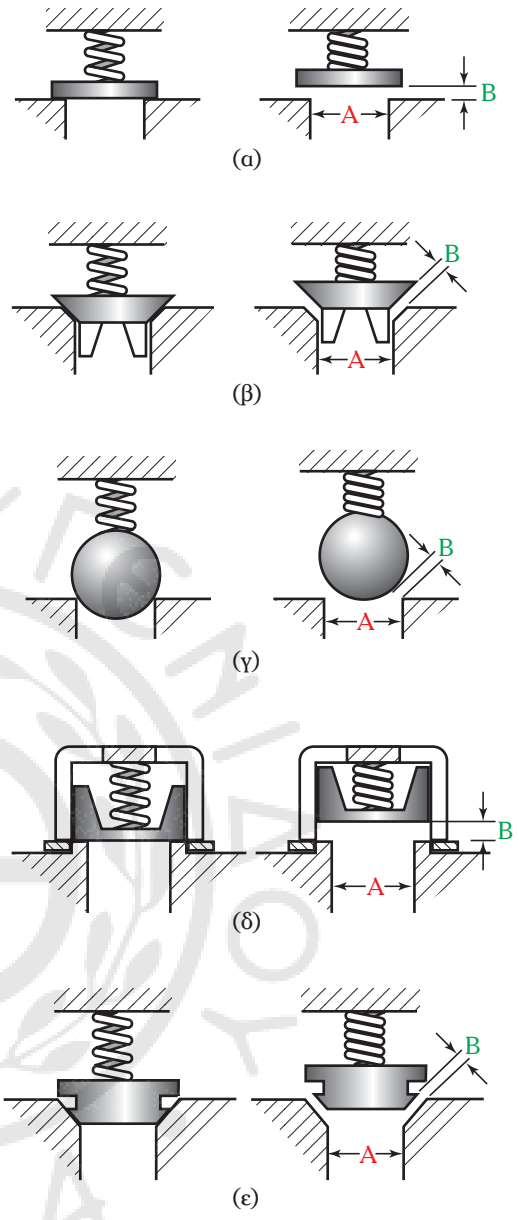
Μεταξύ των διαφόρων τύπων βαλβίδων η περιοχή διαρροής διαφέρει (σχ. 2.2ε).

Για την απόσβεση των απωλειών λόγω της τριβής και του στροβιλισμού που παρουσιάζει το υγρό με την εκτροπή της φλέβας της ροής του, καθώς αυτό διέρχεται από την περιοχή διαρροής, η ανύψωση της βαλβίδας υπολογίζεται μεγαλύτερη διευκολύνοντας τη ροή του υγρού και ανάλογα με τον τύπο της είναι ίση με $0{,}36 \cdot D$ έως $0{,}40 \cdot D$, αντί του $0{,}25 \cdot D$ της σχέσεως (2.2β).

Οι εμβολοφόρες αντλίες ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος του ρευστού μπορεί να είναι εφοδιασμένες με διαφορετικού τύπου βαλβίδες (σχ. 2.2ε)· αναλυτικότερα οι τύποι των βαλβίδων αυτών είναι:

α) Οι ***δισκοειδείς*** (plate) βαλβίδες γενικής χρήσεως [σχ. 2.2ε(α)], που προορίζονται για τη διακίνηση καθαρών υγρών. Οι βαλβίδες αυτές μπορεί να λειτουργούν σε χαμηλή καθαρή θετική πίεση εισαγωγής NPIPr[2] (Net Positive Inlet Pressure – Καθαρή Θετική Πίεση Εισαγωγής), ενώ είναι κατάλληλες για ταχύτητες περιστροφής του άξονα κινήσεως των εμβόλων άνω των 300 rpm. Η πίεση λειτουργίας τους περιορίζεται σε 350 barg[3] και η διάθεσή τους μπορεί να γίνεται από μαζική παραγωγή. Οι οριζόντιες αντλίες, με ενιαίο πώμα συνήθως διαθέτουν δισκοειδείς βαλβίδες διελεύσεως του υγρού.

β) Οι βαλβίδες με ***οδηγητικά πτερύγια*** (wing guide) [σχ. 2.2ε(β)], που σχεδιάζονται ως ελαφρού ή βαρέος τύπου και έχουν αντίστοιχες εφαρμογές. Οι βαλβίδες αυτές μπορεί να λειτουργούν με χαμηλή NPIPr και είναι κατάλληλες για όλες τις ταχύτητες περιστροφής των αξόνων των αντλιών[4]. Η πίεση λειτουργίας τους μπορεί να φτάνει τα 550 barg και μερικές μπορεί να είναι κατασκευασμένες με ελαστομερές υλικό στα σημεία επαφής επιτυγχάνοντας καλύτερη στεγανοποίηση όταν χρησιμοποιούνται στη διακίνηση ρευστών, που περιέχουν αιωρούμενα στερεά σωματίδια σε ποσοστό 5% κατ' όγκο.



Σχ. 2.2ε

Βαλβίδες εμβολοφόρων αντλιών. Περιοχή διαρροής για κάθε τύπο βαλβίδας. (όπου: A = Διατομή έδρας, B = Περιοχή διαρροής).

[2] Η ***Καθαρή Θετική Πίεση Εισαγωγής***, αναφέρεται στις συνθήκες που επικρατούν στην αναρρόφηση των αντλιών θετικής εκτοπίσεως. Είναι ισοδύναμη με την έννοια του Καθαρού Θετικού Ύψους Αναρροφήσεως που χρησιμοποιείται για τις δυναμικές αντλίες, αλλά σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται μανομετρικό ύψος διότι η απόδοση, καθώς και όλες οι παράμετροι των αντλιών θετικής εκτοπίσεως εκφράζονται σε πίεση. Αντίστοιχα με το απαιτούμενο και το διαθέσιμο Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεως υπάρχει και η απαιτούμενη και διαθέσιμη Καθαρή Θετική Πίεση Εισαγωγής, η οποία συμβολίζεται ως NPIPr και NPIPa αντίστοιχα (Net Positive Inlet Pressure required και Net Positive Inlet Pressure available).

[3] Το ***Barg*** (Bar gage) χρησιμοποιείται ως ένδειξη πιέσεως σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση. Ο δείκτης g σημαίνει πίεση που δείχνει το μανόμετρο (gage). Ισχύει η σχέση $p_{abs} = p_g + p_{atm}$ ή $p_g = p_{abs} - p_{atm}$ όπου p_{abs} η απόλυτη πίεση. Η μέτρηση της απόλυτης πιέσεως αναφέρεται ως bara (Bar Absolute).

[4] Δεν διατίθενται σε μαζική παραγωγή, αλλά από τους κατασκευαστές των συγκεκριμένων αντλιών.

γ) Οι ***σφαιρικού*** (ball) ***τύπου*** βαλβίδες [σχ. 2.2ε(γ)], που είναι κατάλληλες για καθαρά υγρά και για πιέσεις που φτάνουν τα 2.000 barg. Πρέπει να λειτουργούν σε στροφές περιστροφής του άξονα κάτω από 300 rpm.

δ) Οι βαλβίδες ***τύπου εμβόλου*** (plug) [σχ. 2.2ε(δ)], που είναι βαρέος τύπου βαλβίδες για καθαρά υγρά, με χαρακτηριστικά μέσης NPIPr. Συνήθως χρησιμοποιούνται για αντλίες με στροφές περιστροφής του άξονα κάτω των 350 rpm και σε εφαρμογές όπου η πίεση φτάνει έως 550 barg.

ε) Οι ***βαλβίδες για τη διακίνηση παχυρρεύστων υγρών*** και ***υδαρών κονιαμάτων*** [σχ. 2.2ε(ε)], που χρησιμοποιούνται ειδικά σε αντλίες για τη μεταφορά λάσπης, λυμάτων και πετρελαίου. Παρουσιάζουν υψηλή NPIPr, ενώ θα πρέπει να λειτουργούν σε αντλίες με στροφές περιστροφής του άξονα κάτω από 200 rpm και πιέσεις έως 150 barg.

Σε μερικούς τύπους βαλβίδων στην επάνω επιφάνειά τους υπάρχει μία σταθερή προεξοχή, που ονομάζεται ***αναστολέας*** (inhibitor) (σχ. 2.2στ). Σκοπός της υπάρξεως του αναστολέα είναι να ρυθμίζεται το μέγιστο άνοιγμα της βαλβίδας στα επιθυμητά όρια, μέσω προσθήκης και κοχλία που είναι κατάλληλα εγκατεστημένα εξωτερικά στο πώμα-καπάκι των κυλίνδρων. Στην κάτω πλευρά τους, ενδέχεται να υπάρχει οδηγός είτε με τη μορφή κεντρικού άξονα, ο οποίος κινείται μέσα σε κυλινδρική υποδοχή, είτε με τη μορφή πτερυγίων τοποθετημένων περιφερειακά στην κάτω πλευρά της, ή έχουν κυρτή επιφάνεια, με σκοπό να διατηρείται η βαλβίδα στην επιθυμητή θέση και να εξασφαλίζεται η στεγανότητα όταν είναι κλειστή (σχ. 2.2στ).

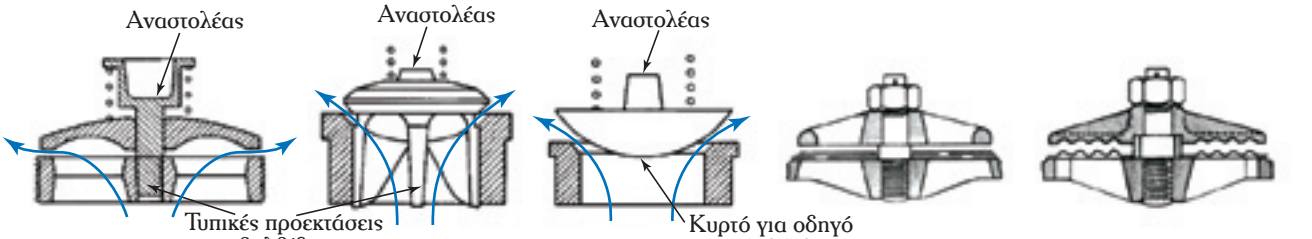
Το υλικό κατασκευής των βαλβίδων αυτών είναι ο ορείχαλκος, ενώ οι δισκοειδείς βαλβίδες ενδέχεται να κατασκευάζονται από ελαστικό υλικό ή δέρμα σε διάφορες μορφές.

2.3 Αεροκώδωνες.

Με σκοπό την εξομάλυνση των διακυμάνσεων στη ροή, που δημιουργούνται στο δίκτυο όταν για τη μεταφορά του ρευστού χρησιμοποιούνται εμβολοφόρες αντλίες, υπάρχουν εγκατεστημένες ειδικές συσκευές που ονομάζονται ***αεροκώδωνες*** (air chambers ή accumulator tanks) που επιτρέπουν τη ροή ενός υγρού στο δίκτυο ενός υδραυλικού συστήματος, όταν πάψει να ενεργεί η δύναμη της αντλίας που το ωθεί. Η διακοπή της ροής του υγρού προς το δίκτυο από την ενέργεια της αντλίας προκύπτει όταν το έμβολο κινείται για παράδειγμα από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ σε μια εμβολοφόρο καταθλιπτική αντλία απλής ενέργειας. Όταν όμως στο δίκτυο υπάρχει εγκατεστημένος αεροκώδωνας, αποτρέπεται η απότομη μείωση της πίεσεως από την ξαφνική διακοπή της ροής, ενώ ταυτόχρονα αποφεύγονται οι απώλειες μέρους της ενέργειας που δίδεται στο υγρό σε κάθε αποδοτική διαδρομή του εμβόλου. Ως αποδοτική διαδρομή του εμβόλου ορίζεται η διαδρομή, στην οποία υφίσταται κατάθλιψη υγρού προς το δίκτυο.

Ο αεροκώδωνας αποτελείται από ένα μεταλλικό δοχείο επαρκούς όγκου, που περιέχει αέρα υπό ελεγχόμενη πίεση και τοποθετείται είτε μεταξύ της βαλβίδας καταθλίψεως και του στομίου συνδέσεως του δικτύου καταθλίψεως μίας αντλίας, είτε μεταξύ του στομίου αναρροφήσεως και της βαλβίδας αναρροφήσεως (όταν το υγρό στην πλευρά της αναρροφήσεως είναι υπό πίεση), ή μπορεί να τοποθετηθεί και στις δύο πλευρές. Μέσα στον αεροκώδωνα υπάρχει υγρό που δύναται να αυξομειώνεται με την είσοδο και την έξοδό του από το κάτω μέρος του δοχείου, που είναι συνδεμένο με το δίκτυο.

Με την κατάθλιψη από την αντλία, κατά τη λειτουργία της, το υγρό που παρέχεται συναντάει κάποια αντίσταση, η οποία οφείλεται είτε στην πλήρωση του δικτύου από το ίδιο το υγρό (λόγω της πεπερασμέ-

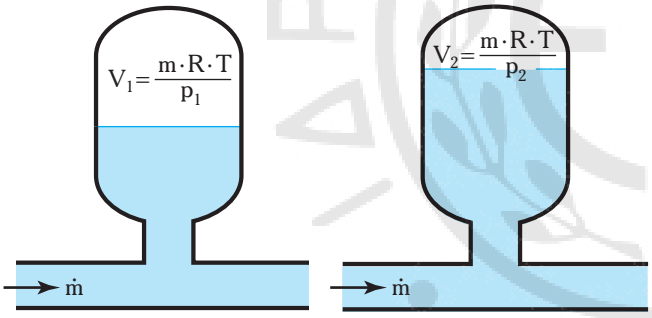


Σχ. 2.2στ
Τύποι βαλβίδων.

νης διατομής των σωλήνων και του όγκου σε υγρό που μπορούν να περιέχουν), είτε στο ύψος στο οποίο πρόκειται να πραγματοποιηθεί η κατάθλιψη, ή στην πίεση που μπορεί να υπάρχει στο χώρο καταθλίψεως. Έτσι, λόγω της αντιστάσεως (από τριβές ή εξαρτήματα) που συναντά δεν περνάει όλο προς το δίκτυο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ανάλογα και η πίεση καταθλίψεως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία ποσότητα του υγρού, όταν η πίεση καταθλίψεως υπερβεί την πίεση στο εσωτερικό του αεροκώδωνα, να οδηγείται προς τον αεροκώδωνα και όχι προς το δίκτυο, υπερνικώντας την πίεση του αέρα που υπάρχει στο δοχείο του αεροκώδωνα. Η αύξηση της πιέσεως του αέρα στον αεροκώδωνα γίνεται σε τιμή ανάλογη με την πίεση στη βαλβίδα καταθλίψεως (σχ. 2.3α). Η μεταβολή του όγκου του αέρα σε συνάρτηση με την πίεση δίνεται από την εξίσωση:

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{p} \qquad (2.3)$$

όπου: V ο όγκος του αέρα, p η πίεση του αέρα, m η μάζα του αέρα, R η σταθερά του αερίου[5] (αέρα), και T η απόλυτη θερμοκρασία του αέρα.



Σχ. 2.3α

Μεταβολή της στάθμης του υγρού στον εσωτερικό αεροκώδωνα και η μεταβολή του όγκου του αερίου σε σχέση με τη μεταβολή της πιέσεως όπου $p_1 < p_2$.

Με τη διακοπή της ροής από την αντλία, καθώς το έμβολο έχει φτάσει στο τέρμα της αποδοτικής διαδρομής του και θα αρχίσει να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση, ο αέρας που βρίσκεται υπό πίεση εκτονώνεται και το συγκεντρωμένο υγρό από τον αεροκώδωνα επιστρέφει στο δίκτυο, επιτυγχάνοντας συνεχή ροή. Η ροή αυτή υπάρχει μέχρι τη στιγμή που η πίεση στο εσωτερικό του αεροκώδωνα να εξισωθεί με την πίεση του ύψους στήλης υγρού του δικτύου καταθλίψεως. Σε ένα ανοικτό δίκτυο η ροή συνεχίζεται μέχρι η πίεση να εξισωθεί με την πίεση της ελεύθερης επιφάνειας της δεξαμενής που βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση ή σε κλειστό δίκτυο εξισωθεί με την πίεση του δικτύου όπου καταθλίβεται το υγρό.

Σε αεροκώδωνες, η πίεση λειτουργίας των οποίων ρυθμίζεται με την παροχή συμπιεσμένου αέρα στο θάλαμο της συσκευής, η πίεση του αέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει την πίεση της στήλης υγρού του δικτύου, διότι ο αέρας κάτω από αυτές τις συνθήκες εισέρχεται στο δίκτυο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση της αντλίας.

Με την προσθήκη του αεροκώδωνα στην κατάθλιψη της αντλίας επιτυγχάνεται ομαλή και συνεχής ροή, προστατεύοντας το δίκτυο από το υδραυλικό κτύπημα ή πλήγμα (βλ. παράγρ. 4.4) που θα δημιουργούσαν οι απότομες διακυμάνσεις στην πίεση του υγρού. Ενώ όταν τοποθετείται στην πλευρά της αναρροφήσεως επιτυγχάνεται η ομαλή εισαγωγή του υγρού στον κύλινδρο της αντλίας, αποτρέποντας το κτύπημα των βαλβίδων[6] και των καταπονήσεων στα καπάκια της.

Η στάθμη του υγρού σε μεγάλους αεροκώδωνες ελέγχεται από υδροδείκτη, ο οποίος είναι ένας γυάλινος ή από ενισχυμένο συνθετικό διαφανής σωλήνας κάθετα τοποθετημένος στο πλευρικό τοίχωμα του θαλάμου του αεροκώδωνα. Το ένα άκρο του σωλήνα συνδέεται στην επάνω πλευρά του θαλάμου σε σημείο, όπου να εισέρχεται αέρας στο σωλήνα, ενώ το άλλο σε χαμηλότερο σημείο απ' το οποίο εισέρχεται νερό. Έτσι, στο σωλήνα εμφανίζεται μια στάθμη, η οποία αντιστοιχεί στη στάθμη, που έχει το υγρό στο εσωτερικό του αεροκώδωνα [σχ. 2.3β(α)]. Επί πλέον για να μετρείται η πίεση φέρουν μανόμετρο ελέγχου της πιέσεως, καθώς και εξαεριστικό κρουνό, που μέσω ενός ελατηρίου με ρυθμιζόμενη ένταση θα ανοίξει όταν η πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου αυξηθεί πέραν της επιθυμητής. Σημειώνεται ότι η πίεση ρυθμίσεως του εξαεριστικού κρουνού δεν πρέπει να υπερβαίνει την πίεση καταθλίψεως της αντλίας, διότι μπορεί να προκληθούν βλάβες στην αντλία και στο δίκτυο από την υπερβολική αύξηση της πιέσεως.

---

[5] ***Σταθερά του αερίου*** (R), είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην καταστατική εξίσωση των αερίων.

[6] ***Κτύπημα της βαλβίδας*** ονομάζεται το φαινόμενο που οφείλεται στην απότομη διακύμανση της πιέσεως του ρευστού που τη διαρρέει και έχει ως αποτέλεσμα η βαλβίδα να κλείνει με ορμή πάνω στην έδρα παράγοντας ένα χαρακτηριστικό ήχο.

Ο ολικός όγκος του αεροκώδωνα είναι 2-4 φορές μεγαλύτερος από τον όγκο του κυλίνδρου της αντλίας ή μπορεί να εξαρτάται και από το μήκος του δικτύου στο οποίο εγκαθίσταται. Ο αεροθάλαμος είναι συνήθως 1,2–1,5 φορές μεγαλύτερος από τον όγκο που προέρχεται από το έμβολο όταν κινείται μέσα στον κύλινδρο. Το μέγεθος των αεροκωδώνων που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα που εξυπηρετούνται από φυγοκεντρικές αντλίες εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου. Επειδή δεν υφίσταται η ανάγκη της διακυμάνσεως λόγω της ασυνέχειας στη ροή, ***χρησιμοποιούνται για να διατηρούν πίεση στο δίκτυο χωρίς η αντλία να βρίσκεται σε λειτουργία***. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της ενέργειας από τη συνεχή λειτουργία της αντλίας και μείωση της φθοράς της. Οι αεροκώδωνες χρησιμοποιούνται επίσης προκειμένου να εγκαθίστανται μικρότερης ισχύος αντλίες σε δίκτυα με σκοπό την παροχή υγρού σε μεγάλο ύψος με πίεση (σχ. 2.3β).

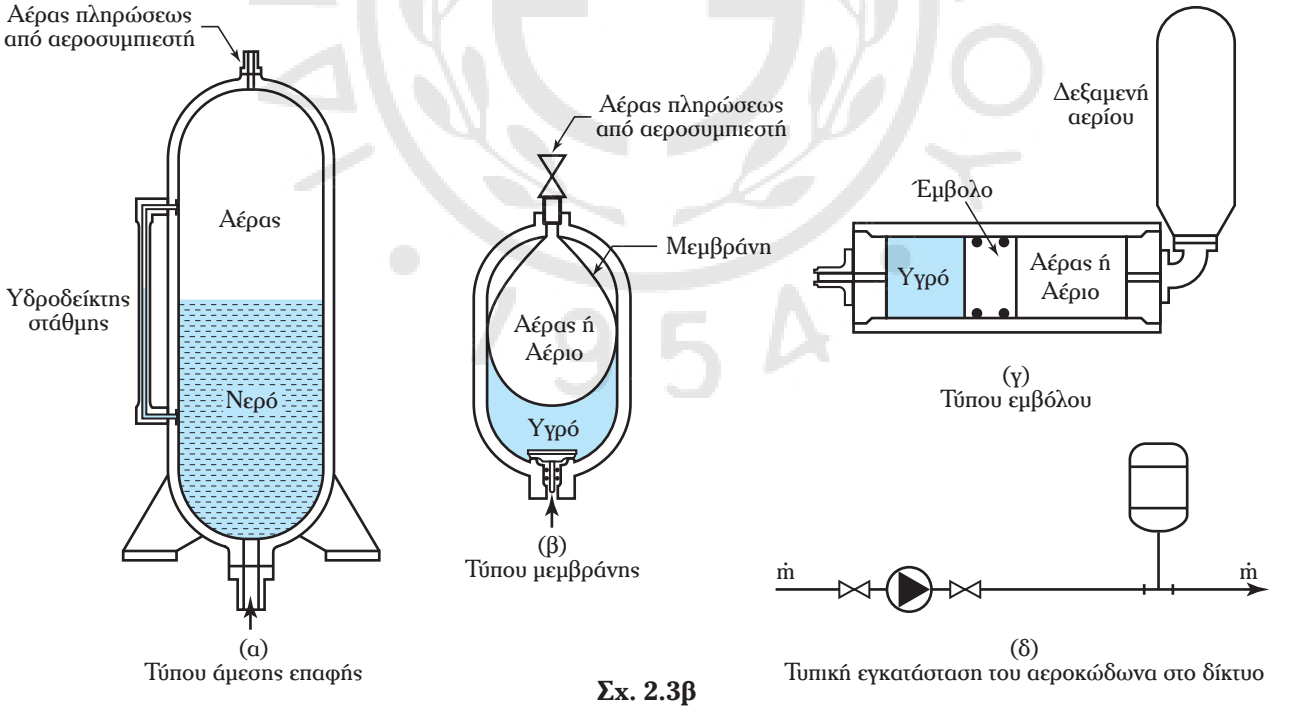
2.4 Καμπύλες ροής εμβολοφόρων αντλιών.

Οι εμβολοφόρες αντλίες χρησιμοποιούνται σε δίκτυα όπου απαιτείται μεγάλη πίεση καταθλίψεως ή μεταφορά του υγρού σε μεγάλο ύψος, ενώ ταυτόχρονα η παροχή του κυμαίνεται από πολύ χαμηλά έως πολύ υψηλά επίπεδα.

Η παλμική ροή του υγρού στην κατάθλιψη της αντλίας και στις σωληνώσεις του δικτύου, δημιουργείται από την παλινδρομική κίνηση που χαρακτηρίζει τις εμβολοφόρες αντλίες, και επηρεάζεται σημαντικά από τον αριθμό των εμβόλων ή τον τύπο της αντλίας που χρησιμοποιείται π.χ. άμεσης μεταδόσεως ή στροφαλοκίνητες.

Η διακύμανση της ροής στην κατάθλιψη οφείλεται στο υψηλό ενεργειακό δυναμικό που παράγεται, με τη λειτουργία της αντλίας σε συνθήκες κανονικής ταχύτητας, όταν η αντίσταση του συστήματος που διοχετεύεται το υγρό αντιδρά με τη ροή στη δημιουργία πιέσεως. Δεδομένου όμως ότι η συχνότητα αυτών των διακυμάνσεων επηρεάζεται από τον αριθμό των εμβόλων, η αύξηση του αριθμού τους έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συχνότητας των διακυμάνσεων[7].

Παράλληλα, η μείωση στην ένταση των διακυμάνσεων επιτυγχάνεται με την προσθήκη αεροκώδωνα στο δίκτυο καταθλίψεως της αντλίας. Με την εφαρμογή του αεροκώδωνα εξομαλύνεται η πτώση



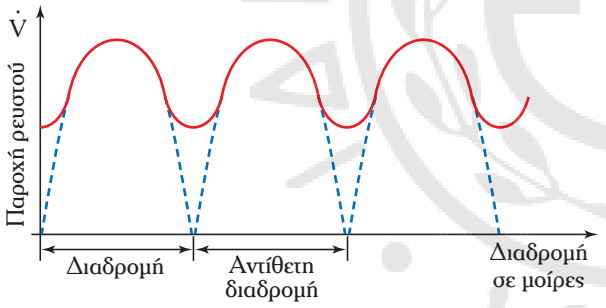
Σχ. 2.3β
Τύποι αεροκώδωνα.

[7] Για παράδειγμα με ένα έμβολο οι διακυμάνσεις είναι μεγάλες λόγω διακοπής της καταθλίψεως όταν το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, με δύο έμβολα μειώνεται διότι όταν σταματήσει η κατάθλιψη του ενός εμβόλου αρχίζει η κατάθλιψη από το δεύτερο, με τρία μειώνεται ακόμα περισσότερο κ.ο.κ..

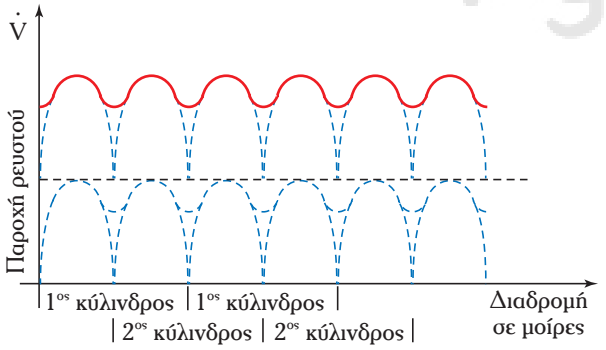
της ροής, η οποία θεωρητικά θα σταματούσε με την ολοκλήρωση της καταθλίψεως από την αντλία λόγω αναστροφής της πορείας του εμβόλου.

Στις εμβολοφόρες αντλίες απευθείας μεταδόσεως με ένα ***έμβολο διπλής ενέργειας*** (simplex pump), που λειτουργούν σε κανονικές συνθήκες ταχύτητας, η ροή του υγρού είναι σταθερή μέχρι το τέλος σχεδόν της διαδρομής του εμβόλου, όπου το έμβολο της αντλίας σταματά και αναστρέφει την πορεία του. Η ροή του υγρού στην κατάθλιψη χωρίς την ύπαρξη αεροκώδωνα θα έχει τη μορφή της διακεκομμένης (μπλε) γραμμής στο σχήμα 2.4α(α). Η διακύμανση της ροής θα συνεχίζεται μέχρι να μηδενιστεί, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται λόγω της καταθλίψεως του υγρού από την άλλη όψη του εμβόλου. Όμως, με την ύπαρξη αεροκώδωνα στην κατάθλιψη, η ροή ακολουθεί την κόκκινη συνεχή γραμμή του σχήματος 2.4α(α) με τη διακύμανση να παρουσιάζεται αισθητά μικρότερη.

Για αντλίες με συζευγμένη διάταξη ***διπλής ενέργειας εμβόλων*** (duplex pump), λόγω διαφοράς φάσεως της καταθλίψεως του υγρού από τους κυλίνδρους κατά μισή διαδρομή, το διάγραμμα της ροής θα είχε τη μορφή του σχήματος 2.4α(β). Οι καμπύλες καταθλίψεως ροής των δύο κυλίνδρων αποτελούν το



(α) Ροή σε αντλία με έμβολο διπλής ενέργειας



(β) Ροή σε αντλία με έμβολα διπλής ενέργειας με συζευγμένη διάταξη

Σχ. 2.4α
Παροχή ρευστού σε εμβολοφόρες αντλίες.

άθροισμα καθ' ύψος των καμπύλων με αποτέλεσμα η ροή να ακολουθεί τη συνεχή γραμμή του διαγράμματος και οι διακυμάνσεις με την εφαρμογή αεροκώδωνα να μειώνονται ακόμα περισσότερο.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα του σχήματος 2.4α, η καμπύλη της αντλίας με δύο έμβολα ενώ παρουσιάζει διπλάσιες διακυμάνσεις από την αντλία με ένα έμβολο, το ελάχιστο σημείο κάθε διακυμάνσεως είναι πάντα υψηλότερο από το σημείο της αντλίας με ένα έμβολο.

Για τις εμβολοφόρες στροφαλοκίνητες αντλίες η διακύμανση της ροής οφείλεται στην χαρακτηριστική κίνηση που μεταδίδεται από τον περιστρεφόμενο στρόφαλο στο έμβολο μέσω του διωστήρα. Λαμβάνοντας υπόψη τις στιγμιαίες μετακινήσεις του εμβόλου παρατηρείται ότι δεν είναι ανάλογες με τις στιγμιαίες γωνίες περιστροφής του στροφάλου. Τότε η κίνηση του στροφάλου, ο οποίος κινείται με σταθερές στροφές, καθώς μετατρέπεται σε γραμμική κίνηση του εμβόλου, δημιουργεί πάντα μια μεταβαλλόμενη ταχύτητα ροής, καθώς η κίνηση του εμβόλου επιταχύνεται και επιβραδύνεται.

Η φύση του στροφαλοφόρου άξονα οδηγεί το έμβολο να ξεκινάει με χαμηλή ταχύτητα, στη συνέχεια να επιταχύνει φτάνοντας τη μέγιστη ταχύτητα στο μέσο της διαδρομής και να επιβραδύνει μέχρι το μηδέν στα ακραία σημεία της διαδρομής του.

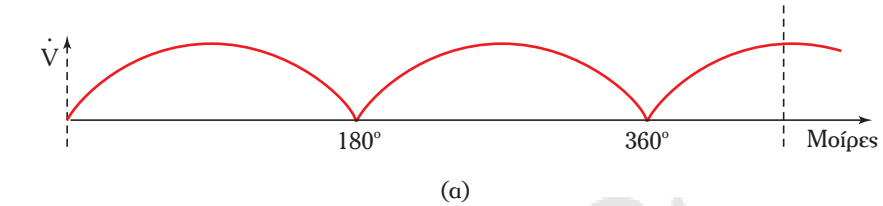
Η επιτάχυνση και η ταχύτητα του εμβόλου καθορίζουν τον ρυθμό, με τον οποίο το ρευστό εκκενώνει τον κύλινδρο.

Έτσι η ποσότητα του υγρού – παροχή – που καταθλίβεται από μία εμβολοφόρο αντλία με ***ένα έμβολο διπλής ενέργειας*** (simplex double – acting pump) έχει τη μορφή του σχήματος 2.4β(α). Για μονοκύλινδρες αντλίες απλής ενέργειας το διάγραμμα καταθλίψεως της ροής είναι ανάλογο, με τη διαφορά ότι μετά από κάθε διαδρομή καταθλίψεως ακολουθεί η διαδρομή αναρροφήσεως με μηδενική ροή, η οποία στο διάγραμμα θα συμπίπτει με την οριζόντια γραμμή του διαγράμματος.

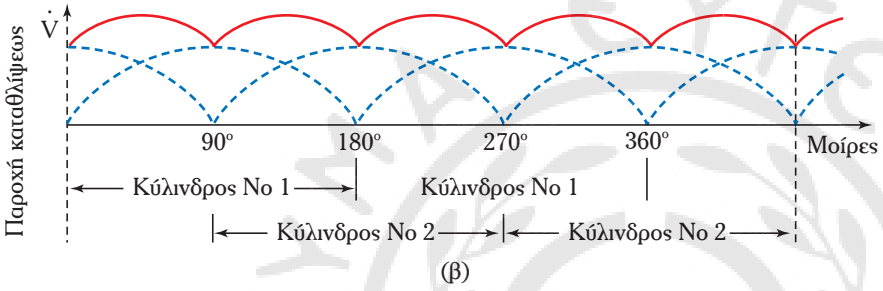
Αντίστοιχα, μια εμβολοφόρος αντλία με ***δύο έμβολα διπλής ενέργειας*** (duplex duble – acting pump), λόγω διαφοράς στη φάση καταθλίψεως του υγρού έχει τη μορφή της συνεχούς γραμμής, η οποία αποτελείται από το άθροισμα της καμπύλης καταθλίψεως των δύο κυλίνδρων του σχήματος 2.4β(β).

Για αντλία με ***τρία έμβολα απλής ενέργειας*** (triplex single – acting pump) εγκατεστημένα σε τρεις παράλληλους κυλίνδρους και τους διωστήρες συνδεδεμένους στον κοινό στροφαλοφόρο άξονα με

διαφορά φάσεως 120° [σχ. 2.4γ(α)], η παροχή στην κατάθλιψη έχει τη μορφή της συνεχούς γραμμής του διαγράμματος του σχήματος 2.4γ(β). Η κατάθλιψη από την κίνηση του κάθε εμβόλου, σε κάθε διαδρομή του, αντιπροσωπεύεται από τις καμπύλες που έχουν ***ημιτονοειδή*** μορφή. Όμως, από τον ετεροχρονισμό των κυλίνδρων (λόγω της διαφοράς των 120°) η συνολική παροχή της αντλίας παρουσιάζει πολύ μικρή διακύμανση. Ανάλογης μορφής είναι το διάγραμμα στο σχήμα 2.4δ, το οποίο αναφέρεται στις διακυμάνσεις της παροχής όταν τα έμβολα της αντλίας είναι διπλής ενέργειας όπως επίσης και το διάγραμμα του σχήματος 2.4γ όπου λειτουργούν τρία έμβολα απλής ενέργειας. Ως εκ τούτου, διαπιστώνεται ότι με περισ-

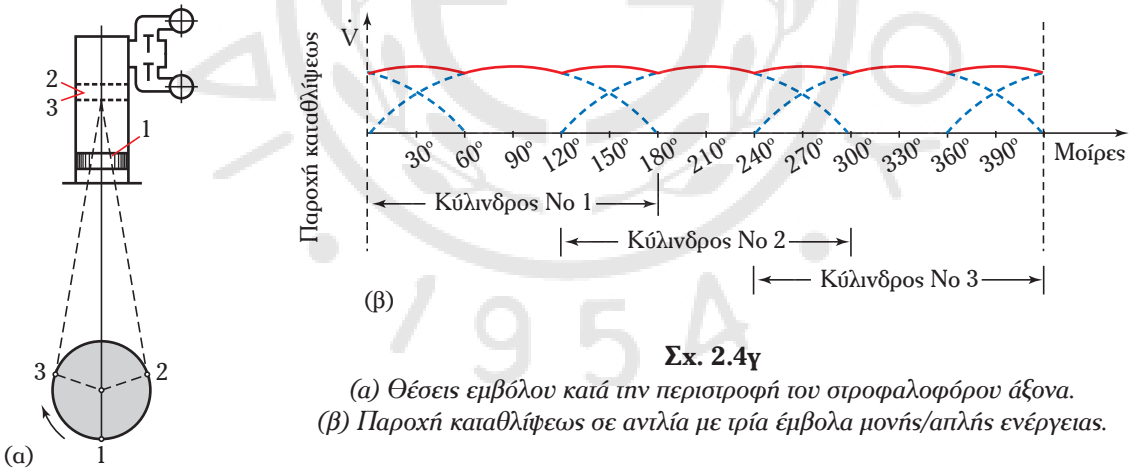


(α)

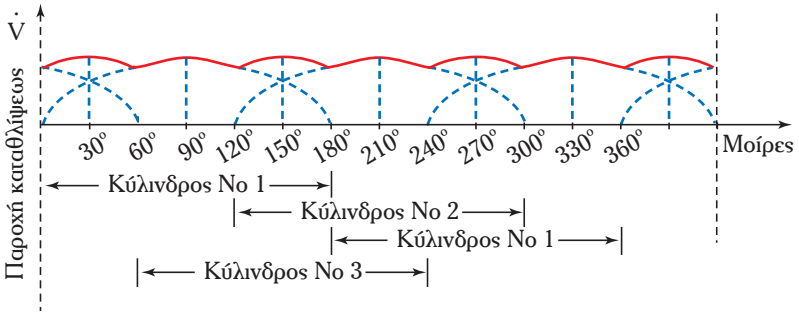


(β)

Σχ. 2.4β
Παροχή σε σιροφαλοκίνητες εμβολοφόρες αντλίες.



Σχ. 2.4γ
(α) Θέσεις εμβόλου κατά την περιστροφή του σιροφαλοφόρου άξονα.
(β) Παροχή καταθλίψεως σε αντλία με τρία έμβολα μονής/απλής ενέργειας.



Σχ. 2.4δ
Παροχή καταθλίψεως σε αντλία με τρία έμβολα διπλής ενέργειας.

σότερους κυλίνδρους η καμπύλης της ροής της καταθλίψεως του υγρού είναι ομαλότερη, ώστε η εγκατάσταση αεροκώδωνα να μην είναι απαραίτητη.

2.5 Θεωρητική και πραγματική παροχή εμβολοφόρων αντλιών.

Η ***θεωρητική παροχή όγκου*** (theoretical flow rate) μιας εμβολοφόρου αντλίας εξαρτάται από τον τύπο και τον αριθμό των εμβόλων. Έτσι:

1) Η θεωρητική παροχή $\dot{V}_\theta$ σε μια αντλία απλής ενέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{V}_\theta = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \cdot n \qquad (2.4)$$

όπου: D η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου, s η διαδρομή του εμβόλου και n ο αριθμός παλινδρομήσεων του εμβόλου. Το $\pi/4 \cdot D^2 = A$, αντιπροσωπεύει την ενεργό επιφάνεια του εμβόλου, η οποία μπορεί να γραφεί στη σχέση (2.4) ως A, ώστε η παροχή δίνεται ως:

$$\dot{V}_\theta = A \cdot s \cdot n \qquad (2.5)$$

Σε εμβολοφόρες αντλίες, που κινούνται με στρόφαλο, το s στη σχέση (2.5) ισούται με 2R και η σχέση (2.4) δίνεται ως:

$$\dot{V}_\theta = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot 2R \cdot n$$

ή

$$\dot{V}_\theta = \frac{\pi}{2} \cdot D^2 \cdot R \cdot n \qquad (2.6)$$

2) Για εμβολοφόρες αντλίες διπλής ενέργειας, ο όγκος του μετατοπιζόμενου υγρού σε κάθε εμβολισμό είναι:

$$V_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \qquad (2.6α)$$

κατά τη μια φορά (από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ), ενώ στην αντίθετη φορά λόγω του διωστήρα του εμβόλου ο όγκος του μετατοπιζόμενου υγρού είναι:

$$V_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot s \qquad (2.6β)$$

όπου *d* η διάμετρος του διωστήρα εμβόλου, ώστε η ενεργός επιφάνεια του εμβόλου

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (2D^2 - d^2) \cdot s \qquad (2.6γ)$$

και η θεωρητική παροχή δίνεται απ' τη σχέση:

$$\dot{V}_\theta = \frac{\pi}{4} \cdot (2D^2 - d^2) \cdot s \cdot n \qquad (2.7)$$

ή

$$\dot{V}_\theta = (2A - a) \cdot s \cdot n. \qquad (2.7α)$$

όπου a το εμβαδόν της διατομής του βάκτρου του εμβόλου.

3) Η συνολική παροχή των αντλιών με περισσότερους κυλίνδρους, τα έμβολα των οποίων κινούνται από τον ίδιο στροφαλοφόρο άξονα, υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη σχέση της παροχής του ενός κυλίνδρου-εμβόλου με τον αριθμό των εμβόλων.

Η θεωρητική παροχή της αντλίας προκύπτει από τα γεωμετρικά της στοιχεία, χωρίς να υπολογίζονται διάφορες απώλειες, οι οποίες υπάρχουν από διαρροή στις βαλβίδες διότι στην πραγματικότητα δεν είναι απόλυτα στεγανές, στα έμβολα, στους στυπειοθλίπτες κ.ά.. Επομένως η πραγματική παροχή $\dot{V}$, είναι μικρότερη της θεωρητικής $\dot{V}_\theta$, λόγω των διαρροών.

Οι απώλειες αυτές μετρώνται από τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως της αντλίας, ο οποίος είναι ο λόγος της πραγματικής προς τη θεωρητική παροχή [σχέση (2.8)]. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως η_V, η ***πραγματική παροχή της αντλίας*** δίνεται ως:

$$\eta_V = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_\theta}$$

ή

$$\dot{V} = \eta_V \cdot \dot{V}_\theta \qquad (2.8)$$

Ο βαθμός αποδόσεως κυμαίνεται μεταξύ 0,7 και 0,97 και εξαρτάται από το μέγεθος και τον τύπο της αντλίας.

2.6 Μετάδοση ενέργειας κινήσεως εμβολοφόρων αντλιών.

Οι εμβολοφόρες αντλίες που συνήθως χρησιμοποιούνται στα πλοία, σύμφωνα με τη διαθέσιμη ενέργεια που καταναλώνεται από το μηχανισμό κινήσεως διακρίνονται σε ***εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως*** που κινούνται με ατμό, ***εμβολοφόρες αντλίες με σύστημα*** στρόφαλου – διωστήρα – ζυγώματος – βάκτρου, οι οποίες συνήθως είναι ηλεκτροκίνητες και οι ***αντλίες με διαφράγματα*** που κινούνται μηχανικά ή με αέρα.

2.6.1 Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως – Λειτουργία.

Η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία των εμβολοφόρων αντλιών άμεσης ή απευθείας μεταδόσεως παρέχεται από τον ατμό που εισέρχεται σε κύλινδρο ατμού μέσα στον οποίο παλινδρομεί το αντίστοιχο έμβολο ατμού (σχ. 2.2α). Ο κύλινδρος ατμού αποτελεί και το μηχανισμό κινήσεως (κινητήρα) της αντλίας. Το έμβολο ατμού, μέσω του βάκτρου του,

συνδέεται με το έμβολο συμπιέσεως του υγρού της αντλίας, το οποίο με τη σειρά του παλινδρομεί σε αντίστοιχο κύλινδρο, εσωτερικά του οποίου επιτυγχάνεται η αναρρόφηση και η κατάθλιψη για τη μεταφορά του υγρού. Τα μέρη από τα οποία αποτελούνται οι εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως είναι:

1) Ο ***κύλινδρος ατμού*** (steam cylinder) σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη, στο σώμα του οποίου βρίσκονται οι κατάλληλες συνδέσεις των σωλήνων εισαγωγής και εξαγωγής του ατμού για την κίνηση του εμβόλου. Όταν όμως χρησιμοποιούνται περισσότεροι κύλινδροι ατμού για την κίνηση της αντλίας τότε αυτοί είναι σε παράλληλη διάταξη μεταξύ τους και εγκατεστημένοι οριζόντια ή κάθετα στο χώρο, ενώ κάθε κύλινδρος διαθέτει τις αντίστοιχες συνδέσεις παροχής και απαγωγής του ατμού.

2) Το ***έμβολο ατμού*** (steam piston) με τα περιφερειακά εγκατεστημένα ελατήρια για τη στεγανοποίηση του χώρου συμπιέσεως του κυλίνδρου.

3) Το ***βάκτρο άμεσης μεταδόσεως*** (direct transmission rod), στο ένα άκρο του οποίου συνδέεται το έμβολο ατμού του κυλίνδρου κινήσεως και στο άλλο το έμβολο συμπιέσεως του υγρού (υγρέμβολο) του κυλίνδρου της αντλίας.

4) Οι ***βαλβίδες εισαγωγής*** και ***εξαγωγής*** (inlet and outlet valves) του ατμού λειτουργίας.

5) Ο ***μηχανισμός χειρισμού*** (control unit) για την παροχή του ατμού λειτουργίας, που μετακινεί τη βαλβίδα ατμού στη σωστή σειρά για την παραγωγή της παλινδρομικής κινήσεως.

6) Ο ***κύλινδρος μεταφοράς υγρού*** (cylinder of liguid transfer) της αντλίας, ο οποίος είναι σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα με τα έμβολα του ατμού δύο ή περισσότερα έμβολα για τη μεταφορά του υγρού, οι κύλινδροι, μέσα στους οποίους παλινδρομούν τα έμβολα, είναι παράλληλα εγκατεστημένοι, σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη.

7) Το ***έμβολο συμπιέσεως του υγρού*** (piston) με τα αντίστοιχα ελατήρια.

8) Οι ***βαλβίδες αναρροφήσεως*** και ***καταθλίψεως*** (sunction discharge valves) της αντλίας.

9) Οι ***στυπειοθλίπτες*** (stuffing boxes) με τα στυπεία για τη στεγανοποίηση του βάκτρου στα σημεία εισόδου του στον κύλινδρο ατμού και στον κύλινδρο της συμπιέσεως του υγρού.

Κατά τη λειτουργία μίας αντλίας ατμού με έμβολο ατμού διπλής ενέργειας, η κίνηση του εμβόλου επιτυγχάνεται με την παροχή επαρκούς πιέσεως ατμού στη μία πλευρά του εμβόλου, ενώ ταυτόχρονα εξέρχεται από τον κύλινδρο ο ατμός που υπάρχει στην άλλη πλευρά του. Η εκτόνωση του ατμού, η οποία θα επηρέαζε την απόδοση της αντλίας, είναι πολύ μικρή κατά την είσοδό του στο χώρο του κυλίνδρου, διότι η παροχή του γίνεται με σταθερό ρυθμό σε όλη τη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας.

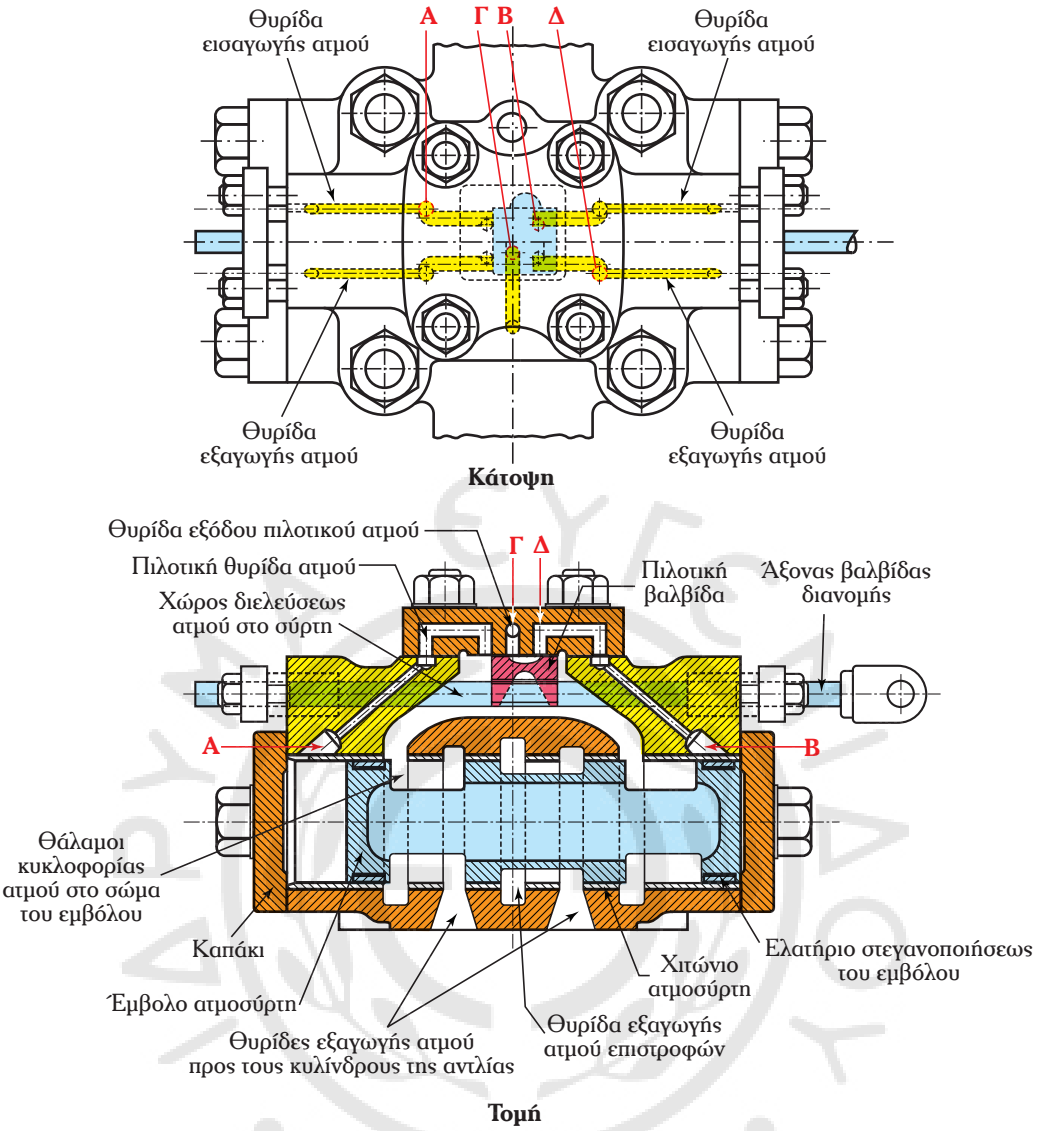
Η σύγκρουση των κινουμένων μερών στα σταθερά (δηλ. του εμβόλου ατμού ή του εμβόλου υγρών, καθώς και του βάκτρου άμεσης συνδέσεώς τους, με τα σταθερά τμήματα των κυλίνδρων ή με το καπάκι) που θα συνέβαινε λόγω ελλείψεως μηχανικού τέρματος στο τέλος κάθε διαδρομής του εμβόλου, αποτρέπεται με τη ρύθμιση της διανομής του ατμού στον κύλινδρο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μείωση της εντάσεως στην κίνηση του εμβόλου, η οποία πραγματοποιείται με την κάλυψη από το έμβολο των θυρίδων εξαγωγής του ατμού στο τέλος κάθε διαδρομής του, ώστε μέρος του ατμού να παγιδεύεται μεταξύ του εμβόλου και του σώματος του κυλίνδρου.

Έτσι στον ατμό που εγκλωβίζεται αυξάνεται η πίεση με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως φρένο στην κίνηση του εμβόλου έως ότου αυτό σταματήσει. Μετά τη σύντομη παύση της κινήσεως του εμβόλου στο τέλος της διαδρομής, ο νέος ατμός που παρέχεται μέσω της βαλβίδας εισαγωγής του ατμού αρχίζει να πιέζει το εμβόλου αναγκάζοντάς το να κινηθεί προς την αντίθετη διεύθυνση.

Η παροχή στις βαλβίδες ατμού ελέγχεται από το ***μηχανισμό διανομής*** (distribution control) (σχ. 2.6α), ο οποίος ρυθμίζει την παλινδρομική κίνηση. Η λειτουργία των μηχανισμών διανομής ατμού διαφέρει μεταξύ των τύπων των αντλιών και εξαρτάται απ' τον αριθμό κυλίνδρων. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι:

1) Ο ***μηχανισμός διανομής ατμού στη βαλβίδα απλής διατάξεως*** (simplex). Σ' αυτόν η βαλβίδα παροχής ατμού στον κύλινδρο ελέγχεται με τον άξονα της πιλοτικής βαλβίδας του μηχανισμού διανομής συνδεδεμένο στο βάκτρο του εμβόλου του ίδιου κυλίνδρου. Κατά συνέπεια, ο έλεγχος της κύριας βαλβίδας διανομής του ατμού δεν γίνεται άμεσα από την κίνηση του βάκτρου του εμβόλου, αλλά το βάκτρο με συζευγμένη σύνδεση λειτουργεί από μία πιλοτική βαλβίδα. Η πιλοτική βαλβίδα μετακινείται σε τακτά χρονικά διαστήματα ελέγχοντας τη ροή του ατμού, ώστε να παρέχεται εναλλάξ στα δύο άκρα της ***κύριας βαλβίδας***. Η διάταξη που εικονίζεται στο σχήμα 2.6α αποτελεί έναν από τους διαθέσιμους μηχανισμούς αυτής της λειτουργίας.

Με την πιλοτική βαλβίδα στη δεξιά θέση όπως εικονίζεται στο σχήμα 2.6α, ο ατμός λειτουργίας από



Σχ. 2.6α

Μηχανισμός διανομής ατμού.

το δίκτυο ρέει μέσω της θυρίδας Α και μετατοπίζει το έμβολο του ατμοσύρτη της κύριας βαλβίδας στη δεξιά θέση, ενώ ταυτόχρονα η πιλοτική βαλβίδα διακόπτει την εξαγωγή του ατμού από τη θυρίδα Γ. Μετακινώντας το έμβολο της κύριας βαλβίδας δεξιά επιτυγχάνεται η συγκοινωνία των θαλάμων που υπάρχουν στο σώμα της, ώστε ο ατμός διερχόμενος από τους θαλάμους να εισέρχεται στον κύλινδρο από την αριστερή θυρίδα του μηχανισμού προς τον κύλινδρο ατμού.

Ταυτόχρονα, η πιλοτική βαλβίδα διακόπτει τη ροή του ατμού από τη θυρίδα Β και συνδέει το θάλαμο που υπάρχει δεξιά της κύριας βαλβίδας με τη θυρίδα εξαγωγής Δ, ώστε να ελευθερωθεί ο παγιδευμένος ατμός και να επιτραπεί στο έμβολο της κύριας βαλβίδας να κινηθεί προς τα δεξιά.

Με το έμβολο σε αυτήν τη θέση από την κάτω αριστερή θυρίδα ο ατμός παρέχεται στον κύλινδρο για την κίνηση του εμβόλου του κυλίνδρου ατμού. Επίσης σε αυτήν τη θέση το έμβολο της κύριας βαλβίδας λόγω του σχήματος που έχει δημιουργεί θαλάμους διελεύσεως που συνδέουν τη δεξιά κάτω θυρίδα με τη θυρίδα εξαγωγής του ατμού, μέσω της οποίας απομακρύνεται ο ατμός που υπάρχει στον κύλινδρο. Το έμβολο στον κύλινδρο του ατμού της αντλίας κινείται προς τα δεξιά, ενώ μέσω της συζευγμένης συνδέσεως με το βάκτρο του εμβόλου η πιλοτική βαλβίδα κινείται αριστερά.

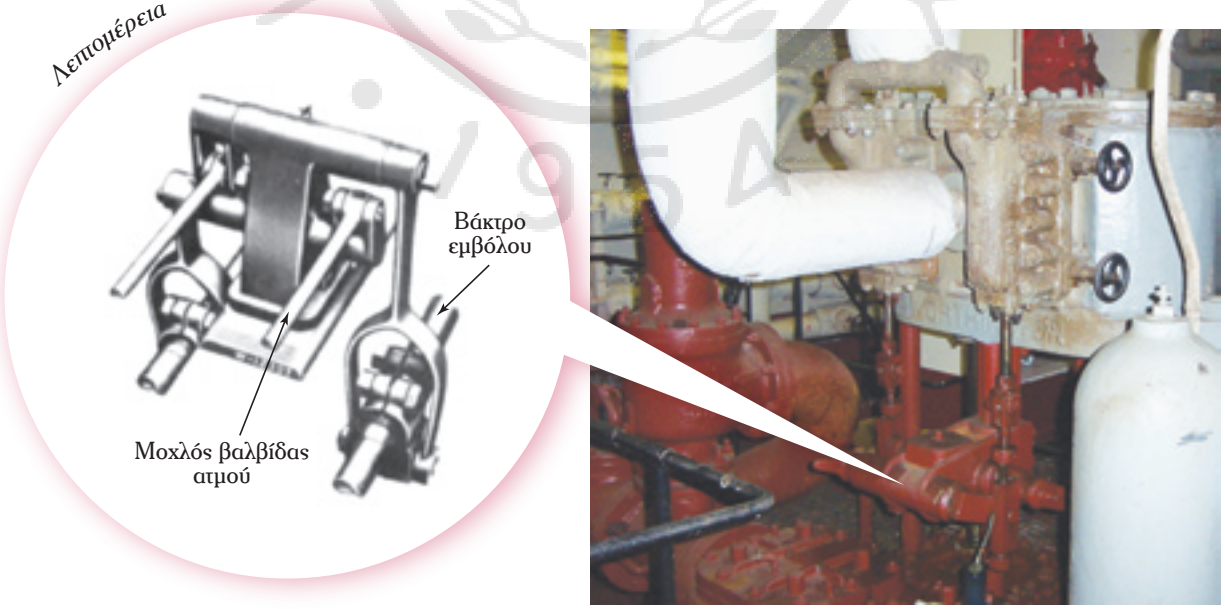
Σε αυτήν τη θέση, ο προηγούμενος κύκλος, με την πιλοτική βαλβίδα αυτήν τη φορά προς την αριστερή πλευρά του σχήματος 2.6α, επαναλαμβάνεται. Ο ατμός ρέει προς το δεξί άκρο της κύριας βαλβίδας και ο ατμός λειτουργίας διέρχεται από τις θυρίδες, ώστε να κινηθεί το έμβολο του κυλίνδρου ατμού της αντλίας στην αντίθετη διεύθυνση. Επειδή η κύρια βαλβίδα λειτουργεί με την παροχή ατμού, που ελέγχεται από την πιλοτική βαλβίδα, το έμβολο της κύριας βαλβίδας έχει μόνο δύο θέσεις λειτουργίας, δεξιά ή αριστερά μέσα στο σώμα του κυλίνδρου της χωρίς κάποιο ενδιάμεσο νεκρό σημείο. Έτσι, ο ατμός ρέει προς τη μία ή προς την άλλη πλευρά του εμβόλου του κυλίνδρου ατμού της αντλίας ανάλογα με τη θέση του εμβόλου της κύριας βαλβίδας. Η ρύθμιση όλων των βαλβίδων γίνεται εξωτερικά από το σώμα των βαλβίδων, μέσω των ρυθμιστικών παξιμαδιών που υπάρχουν εγκατεστημένα και κοχλιώνουν στο σπείρωμα του άξονα ελέγχου της πιλοτικής βαλβίδας. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα η ρύθμιση της αντλίας να πραγματοποιείται ακόμα και κατά τη διάρκεια που βρίσκεται σε λειτουργία.

2) Ο ***μηχανισμός διανομής ατμού στη βαλβίδα συζευγμένης διατάξεως*** (duplex) αφορά σε αντλίες με δύο κυλίνδρους σε παράλληλη διάταξη που λειτουργούν σε συνδυασμό, ως ενιαία μονάδα.

Το βάκτρο του εμβόλου σε έναν κύλινδρο της αντλίας, κατά τον κύκλο λειτουργίας του, επιδρά στην βαλβίδα ατμού ελέγχοντας την εισαγωγή ή την εξαγωγή του ατμού στον άλλο κύλινδρο της αντλίας (σχ. 2.6β).

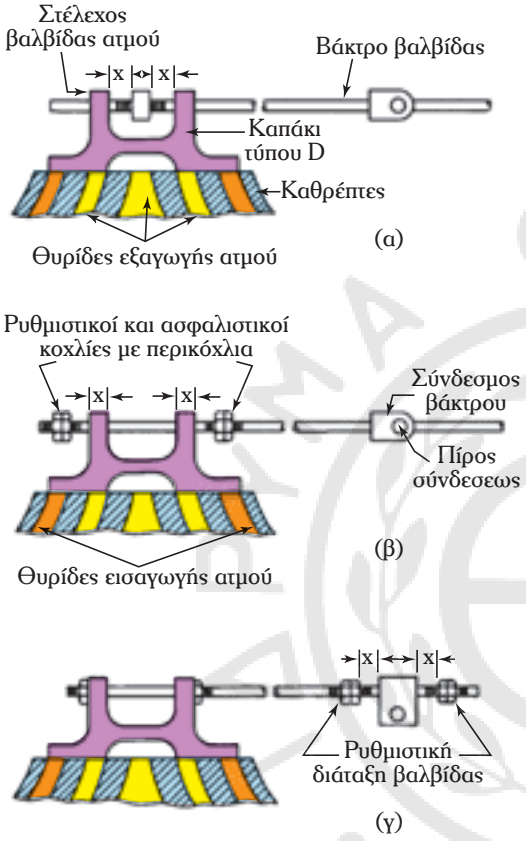
Ο ***μοχλός σχήματος Y*** (wish bone –shaped) χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της κινήσεως από το βάκτρο των εμβόλων της αντλίας στον άξονα του μηχανισμού διανομής. Ο μοχλός Υ του βάκτρου του ενός κυλίνδρου είναι συνδεδεμένος με τον άξονα ελέγχου της βαλβίδας παροχής ατμού στον δεύτερο κύλινδρο και μέσω άλλου μοχλού Υ γίνεται η αντίστοιχη σύνδεση με το βάκτρο του πρώτου κυλίνδρου. Έτσι, όταν το πρώτο έμβολο έχει ολοκληρώσει τη διαδρομή του, πρέπει να σταματήσει έως ότου η δική του βαλβίδα παροχής ατμού ενεργοποιηθεί απ' την κίνηση του βάκτρου του δεύτερου εμβόλου. Επειδή μία από τις δύο βαλβίδες ατμού είναι πάντα ανοικτή, δεν υπάρχει νεκρό σημείο, ώστε η αντλία να ξεκινάει άμεσα με την παροχή ατμού. Οι κινήσεις των δύο εμβόλων είναι συγχρονισμένες, παρέχοντας στρωτή ροή του υγρού χωρίς υπερβολικές δονήσεις και διακοπές.

3) Ο μηχανισμός των ***επιπέδων ολισθαινουσών βαλβίδων διανομής*** (flat slide steam valves). Σε αυτόν ο ατμός εισέρχεται στην αντλία μέσω δύο εξωτερικών θυρίδων στην κορυφή του κυλίνδρου ατμού, ενώ η εξαγωγή επιτυγχάνεται μέσω των κεντρικών θυρίδων (σχ. 2.6γ). Ο μηχανισμός με τις βαλβίδες αυτού του τύπου χρησιμοποιείται στις περισσότερες αντλίες διπλής ενέργειας. Το καπάκι τύπου D των



Σχ. 2.6β
Σύζευξη βάκτρων εμβόλων.

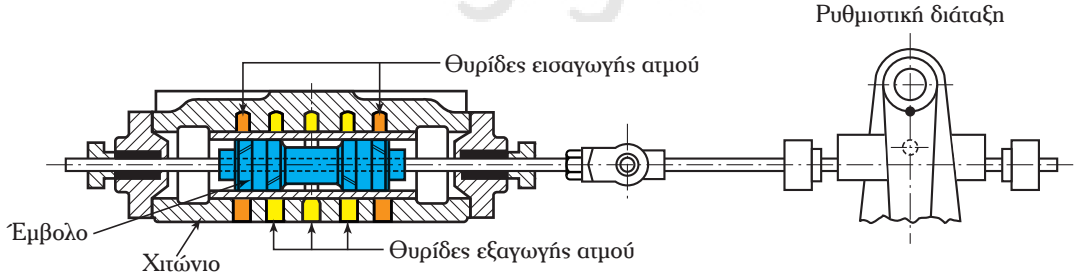
θυρίδων ατμού (ατμοθυρίδων) ολισθαίνει πάνω στο επίπεδο τμήμα (καθρέπτη) του μηχανισμού της βαλβίδας διανομής ατμού. Στη βαλβίδα διανομής του ατμού βρίσκονται οι θυρίδες, ώστε το ***ζύγωμα***[8] του κυλίνδρου από το βάκτρο του εμβόλου της αντλίας να κινεί τον ατμοσύρτη του άλλου κυλίνδρου (σχ. 2.6β). Η πίεση η οποία ασκείται στο επάνω μέρος της βαλβίδας απ' τον ατμό διατηρεί το καπάκι τύπου D των θυρίδων σε επαφή με τον καθρέπτη.



Σχ. 2.6γ
Ολισθαίνουσα βαλβίδα διανομής ατμού.

Οι επίπεδες ολισθαίνουσες βαλβίδες διανομής ατμού χρησιμοποιούνται σε πιέσεις ατμού λειτουργίας έως 17 bar και η ρύθμισή τους επιτυγχάνεται από τον άξονα που διαθέτει σπείρωμα και ρυθμιστικά περικόχλια (σχ. 2.6γ). Η διάρκεια αποδοτικής λειτουργίας τους λόγω της τριβής των επιφανειών μπορεί να επεκταθεί όταν επιτραπεί η λίπανση των εφαπτομένων επιφανειών. Σε μεγάλες αντλίες, όπου οι απαιτήσεις της πίεσεως του ατμού λειτουργίας τους αυξάνεται, είναι επόμενο να αυξάνεται ανάλογα και η δύναμη που απαιτείται για την κίνηση αυτού του τύπου της βαλβίδας προκαλώντας αστάθεια στη λειτουργία τους. Για τον λόγο αυτό σε μεγάλες αντλίες χρησιμοποιούνται βαλβίδες των άλλων τύπων μηχανισμών διανομής που παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα.

Στις ***αντλίες δύο κυλίνδρων σε σύζευξη*** (duplex steam pumps), στις οποίες λόγω του μεγάλου μεγέθους τους η ολισθαίνουσα βαλβίδα διανομής του ατμού (σχ. 2.6δ) δεν παρέχει την απαραίτητη ισορροπία στην κίνηση των εμβόλων, χρησιμοποιείται βαλβίδα εξισορροπήσεως. Το σώμα του εμβόλου της βαλβίδας είναι διαμορφωμένο με τέτοιον τρόπο, ώστε ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται να συγκοινωνεί τις κατάλληλες θυρίδες για την παροχή και την απομάκρυνση του ατμού στον κύλινδρο. Η λειτουργία της βαλβίδας ενδέχεται να γίνεται χωρίς λίπανση σε πιέσεις άνω των 17 bar και θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 250°C αντίστοιχα. Σε πολύ μεγάλες πιέσεις ένα μηχανικό σύστημα χρησιμοποιείται, ώστε να διακόπτεται η παροχή του ατμού, το οποίο



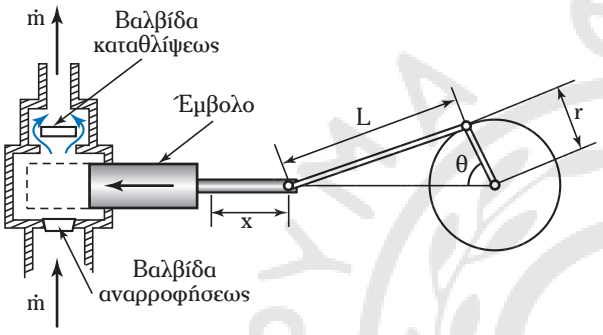
Σχ. 2.6δ
Ολισθαίνουσα βαλβίδα διανομής ατμού υψηλής πίεσεως.

[8] Ζύγωμα, ονομάζεται ο σύνδεσμος ή ο άξονας που χρησιμοποιείται για τη συνένωση ή προσαρμογή τμημάτων σε έναν μηχανισμό (π.χ. το ζύγωμα των τμημάτων της μηχανής).

λειτουργεί σε συνάρτηση με το έμβολο, καθώς κατά τη διαδρομή του περνάει απ' τις θυρίδες ατμού.

2.6.2 Στροφαλοκίνητες αντλίες.

Οι αντλίες στις οποίες το έμβολο που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του υγρού κινείται μέσω στροφάλου, διωστήρα και βάκτρου ονομάζονται ***στροφαλοκίνητες αντλίες*** (crank piston pumps) (σχ. 2.6ε). Η περιστροφική κίνηση του στροφάλου γίνεται γραμμική στο βάκτρο του εμβόλου, ενώ το έμβολο μπορεί να είναι ***απλής ενέργειας***, ***διπλής ενέργειας***, ***δισκοειδές*** ή ***έμβολο βυθίσεως*** (plunger), ανάλογα με τον τύπο της αντλίας.



Σχ. 2.6ε
Στροφαλοκίνητη αντλία.

Η ροή του ρευστού μέσω μίας αντλίας θετικής εκτοπίσεως πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια μιας επαναλαμβανόμενης μεταβατικής καταστάσεως, που ονομάζεται ***δυναμικός κύκλος αντλήσεως***. Το γεγονός που εκκινεί αυτόν τον κύκλο είναι η γραμμική κίνηση του εμβόλου και η μετατόπισή του σχετίζεται με την απόδοση της αντλίας.

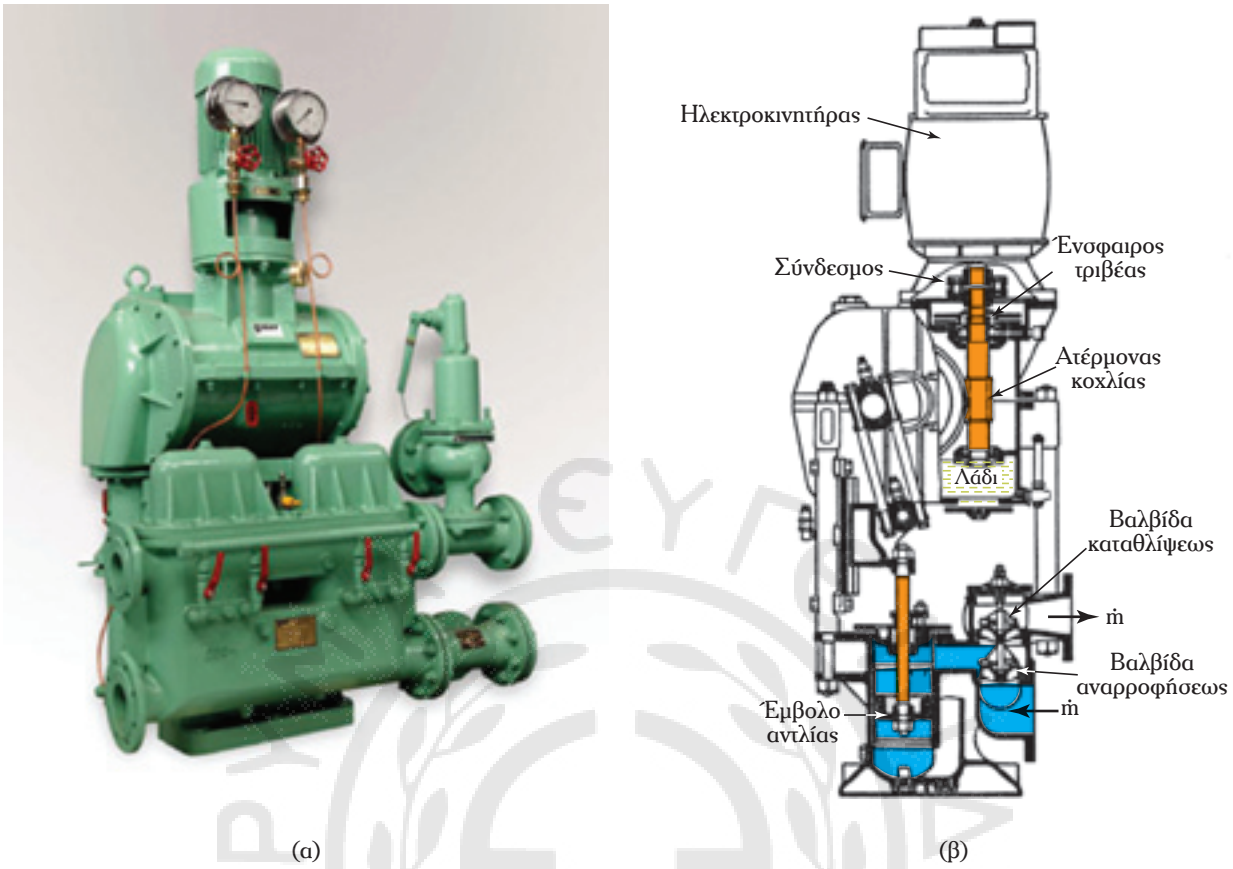
Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας, καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ και «απομακρύνεται» από τον κύλινδρο διακινήσεως του ρευστού, ο όγκος του θαλάμου που δημιουργείται στο εσωτερικό του κυλίνδρου αυξάνεται. Η απομάκρυνση του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της πιέσεως στο εσωτερικό του κυλίνδρου καθώς αυξάνει ο όγκος του. Δεδομένου ότι τα περισσότερα από τα ρευστά που διαχειρίζονται με τις αντλίες θετικής εκτοπίσεως είναι σχετικά ασυμπίεστα, απαιτείται πολύ μικρή μετακίνηση του εμβόλου για να προκαλέσει την μείωση της πιέσεως. Όταν η πίεση του κυλίνδρου μειωθεί επαρκώς, κάτω από την πίεση αναρροφήσεως, η διαφορά της πιέσεως ενεργεί, ώστε να αρχίσει να ανοίγει η βαλβίδα αναρροφήσεως. Η βαλβίδα ανοίγει σταδιακά και ομαλά κατά την έναρξη της διαδρομής αναρροφήσεως, διότι η ταχύτητα και η επιτάχυνση του εμβόλου είναι μικρή. Το υγρό ρέει μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως και ακολουθώντας την κίνηση του εμβόλου γεμίζει το κενό που δημιουργείται στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Καθώς η κίνηση του εμβόλου επιβραδύνεται, όταν πλησιάζει στο τέλος της διαδρομής αναρροφήσεως, η βαλβίδα αναρροφήσεως επιστρέφει σταδιακά προς την έδρα της, διακόπτοντας τη ροή του ρευστού. Ιδανικά, η βαλβίδα αναρροφήσεως είναι εντελώς κλειστή, καθώς το έμβολο φτάνει στο τέρμα της διαδρομής αναρροφήσεως (ΚΝΣ) και ***σταματάει*** να κινείται.

Η κίνηση μέσω του μηχανισμού ολισθήσεως και του στροφάλου προκαλεί την αναστροφή στην κατεύθυνση της κινήσεως του εμβόλου. Μετά τη σύντομη διακοπή στο ΚΝΣ θα αρχίσει να κινείται προς το ΑΝΣ για την κατάθλιψη του υγρού. Το υγρό, το οποίο έχει παγιδευτεί στο εσωτερικό του κυλίνδρου συμπιέζεται μέχρι που η πίεση στον κύλινδρο υπερβεί την πίεση καταθλίψεως σε επαρκή τιμή, ώστε να αρχίσει να ανοίγει η βαλβίδα καταθλίψεως.

Η βαλβίδα καταθλίψεως συνεχίζει να ανοίγει μέχρις ότου το έμβολο φθάσει στο όριο που θα ολοκληρωθεί η διαδρομή του ή μέχρι την τιμή που η ταχύτητα του ρευστού μέσω της βαλβίδας να είναι σταθερή εφόσον η πίεση θα εξισωθεί με την πίεση του δικτύου καταθλίψεως. Καθώς η ταχύτητα του εμβόλου επιβραδύνεται, ακολουθώντας την περιστροφική κίνηση του στροφάλου με τον οποίο είναι συνδεμένο, η βαλβίδα καταθλίψεως κινείται πίσω προς την έδρα της μέχρι να κλείσει και να διακοπεί η κατάθλιψη του υγρού. Όπως και με τη βαλβίδα αναρροφήσεως, η βαλβίδα καταθλίψεως ιδανικά θα κλείσει όταν η κίνηση του εμβόλου σταματήσει, μόλις αυτό φτάσει στο ΑΝΣ.

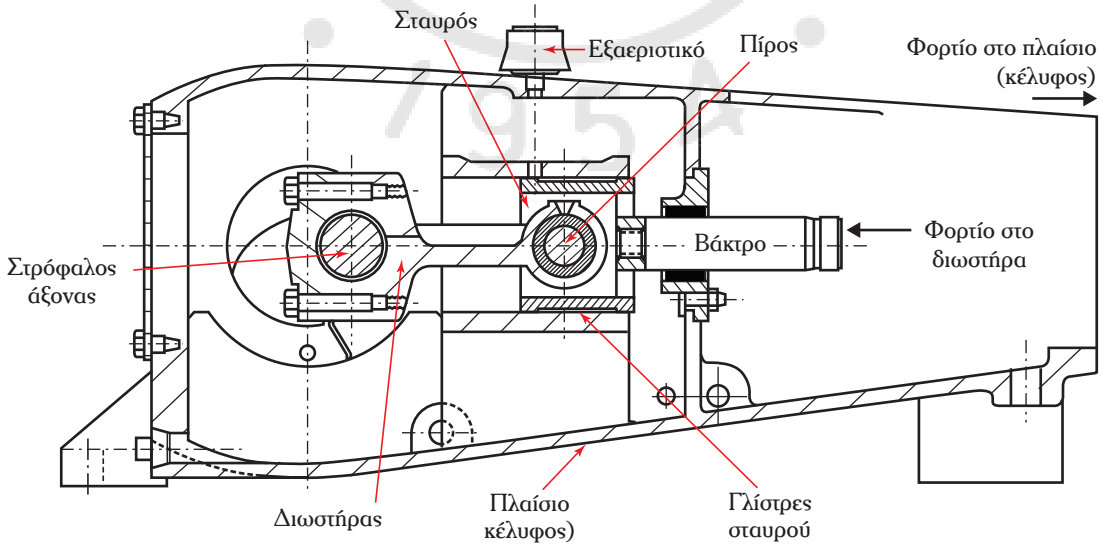
Ο αριθμός των ***κύκλων αντλήσεως*** σε μία μόνο περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα είναι ο ίδιος με τον αριθμό των κυλίνδρων που διαθέτει μια αντλία, με τη σειρά αντλήσεως από κάθε κύλινδρο να καθορίζεται από τη σειρά που τα έμβολα είναι συνδεμένα στον στροφαλοφόρο άξονα.

Ως εκ τούτου οι αντλίες μπορεί να είναι μονοκύλινδρες ή πολυκύλινδρες, με τους κυλίνδρους σε παράλληλη διάταξη, ενώ ο στροφαλοφόρος άξονας δύναται να είναι τοποθετημένος οριζόντια πάνω από τους κυλίνδρους (σχ. 2.6στ) ή οριζόντια στο πλάι των κυλίνδρων σε οριζόντια εγκατεστημένους κυλίνδρους (σχ. 2.6ζ). Η κατάθλιψη πραγματοποιείται σε κοινή πολλαπλή εξαγωγή καταθλίψεως του υγρού, στην οποία συνδέεται ο σωλήνας του δικτύου.



Σχ. 2.6στ

(α) Στροφαλοκίνητη αντλία με άξονα εγκαισιτημένο οριζόντια πάνω από τους κυλίνδρους και (β) σχηματική απεικόνιση και τα μέρη της.



Σχ. 2.6ζ

Άκρο ισχύος σε οριζόντιας διατάξεως αντλία.

Ένας συνηθισμένος τρόπος προσδιορισμού των στροφαλοκινήτων αντλιών στη βιομηχανία γίνεται σύμφωνα με τον αριθμό των εμβόλων που συνδέονται στον στροφαλοφόρο άξονα (πίν. 2.6.1).

Πίνακας 2.6.1
Προσδιορισμός στροφαλοκινήτων αντλιών σύμφωνα με τον αριθμό των εμβόλων.

Αριθμός εμβόλων	Προσδιορισμός της αντλίας
1	Simplex
2	Duplex
3	Triplex
4	Quadruplex
5	Quintuplex
6	Sextuplex
7	Septuplex
9	Nonuplex

Τα έμβολα κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο, ορείχαλκο ή χάλυβα με δακτυλίους στεγανοποιήσεως από ενισχυμένο ελαστομερές ή άλλο συνθετικό υλικό π.χ. βακελίτη[9]. Τα χιτώνιά τους αποτελούνται από μέταλλο Ni-resist[10], το οποίο διαθέτει ιδιότητες που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις πιέσεως και θερμοκρασίας, στις οποίες λειτουργούν. Για την ευθυγράμμιση της κινήσεως των εμβόλων συνήθως υπάρχουν αρθρώσεις στα σημεία συνδέσεως των διωστήρων με τα βάκτρα των εμβόλων (κοινώς σταυρός), οι οποίες είναι κατάλληλα διαμορφωμένες, προκειμένου να ολισθαίνουν μέσα σε οδηγητικούς κυλίνδρους.

Όπως έχει αναφερθεί, η κίνηση των εμβόλων στις στροφαλοκίνητες αντλίες πραγματοποιείται μέσω του βάκτρου, του σταυρού, του διωστήρα, των τριβέων του στροφαλοφόρου άξονα και των τριβέων στα σημεία συνδέσεως των διωστήρων με το στροφαλοφόρο άξονα. Όλα μαζί περικλείονται από ένα κέλυφος, ώστε το σύνολο μπορεί να ονομαστεί και ως ***άκρο ισχύος*** (power end) (σχ 2.6ζ). Το φορτίο που ασκείται στα στοιχεία (εξαρτήματα) απ' τα οποία αποτελείται το άκρο ισχύος ονομάζεται ***φορτίο από το βάκτρο*** (rod load) ***του εμβόλου*** και ισούται με το γινόμενο της επιφάνειας διατομής του εμβόλου πολλαπλασιασμένη με τη μέγιστη πίεση καταθλίψεως.

Σε έναν αεροσυμπιεστή ή σε μία μηχανή, αυτό το φορτίο αυξάνεται από τις 90° έως τις 180° περιστροφής του στροφάλου πριν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση. Σε μία αντλία όμως, η μέγιστη φόρτιση επιτυγχάνεται σε λιγότερες από 30° της περιστροφής του στροφάλου λόγω της σχετικά ασυμπίεστης ιδιότητας του υγρού κατά την άντληση. Δεδομένου ότι αυτός ο ***κύκλος φορτίσεως*** (load cycle) επαναλαμβάνεται με κάθε κύκλο λειτουργίας του εμβόλου, το φορτίο στην αντλία εμφανίζεται ως μια στιγμιαία αύξηση του φορτίου μεγάλης εντάσεως και δεν πρέπει να λαμβάνεται ως μία απλή αντοχή σε κόπωση των στοιχείων (εξαρτημάτων), που δέχονται το φορτίο. Επομένως στα κριτήρια σχεδιασμού των στοιχείων (εξαρτημάτων) της αντλίας, που δέχονται το φορτίο απ' το βάκτρο του εμβόλου, θα πρέπει να περιλαμβάνεται η ικανότητα των υλικών να απορροφούν τη μεγάλη στιγμιαία αύξηση του φορτίου με ***συντελεστή ασφαλείας***[11] σε αντοχή των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών μεγαλύτερο του 3:1.

Ένας ακόμα κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την ικανότητα των στοιχείων (εξαρτημάτων) του άκρου ισχύος να χειριστούν το φορτίο που ασκείται από το βάκτρο του εμβόλου είναι ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται αυτό το φορτίο. Έτσι ανάλογα με τη διάταξη της αντλίας, δηλαδή αν είναι κάθετη ή οριζόντια, λόγω διαφοράς στην εφαρμογή του φορτίου, θα πρέπει η επιλογή του υλικού και ο συντελεστής ασφαλείας να τροποποιηθούν αναλόγως. Για την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα και κατ' επέκταση των εμβόλων, χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες που μεταδίδουν την κίνηση στον στροφαλοφόρο άξονα μέσω συστήματος ατέρμονα κοχλία σε δίσκο με οδόντωση περιφερειακά (γρανάζι) ή μέσω τροχαλίας με ιμάντες. Οι εφαρμογές των στροφαλοφόρων αντλιών στα πλοία απαντώνται στα δίκτυα πόσιμου νερού, υγιεινής, απαντλήσεως κυτών κ.λπ..

– Λειτουργικοί και κατασκευαστικοί παράγοντες των στροφαλοκινήτων αντλιών.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση κατά την επιλογή για την εγκατάσταση μιας

---

[9] ***Βακελίτης*** (bacelite) είναι πολυμερής ρητίνη που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία λόγω της υψηλής αντοχής του στη θερμότητα και στα χημικά, ενώ αποτελεί και εξαιρετικό υλικό για ηλεκτρική μόνωση.

[10] ***Ni-resist***, είναι μη-μαγνητικό κράμα χυτοσίδηρου που περιέχει 14 έως 25 % νικέλιο και άλλα κραματικά στοιχεία (συνήθως χρώμιο, χαλκό ή μολυβδαίνιο) για να αυξηθεί η αντοχή του σε κοπώσεις και για τη διευκόλυνση της θερμικής επεξεργασίας.

[11] Ο συντελεστής ασφαλείας SF (safety factor) είναι ένας όρος που περιγράφει την ικανότητα ενός σώματος ή ενός υλικού να διαχειρίζεται/δέχεται φορτία πέρα από τα αναμενόμενα ή πραγματικά.

στροφαλοκίνητης αντλίας ή που επηρεάζουν την απόδοσή της κατά τη λειτουργία της είναι:

1) Η ***ισχύς*** (power). Ως συνάρτηση της παροχής, της διαφοράς πίεσεως και της μηχανικής αποδόσεως της αντλίας, αποτελεί ένα απαραίτητο κριτήριο στην επιλογή του κινητήριου μηχανήματος, αλλά όχι στην επιλογή της αντλίας, διότι ενδέχεται η παροχή που αποδίδεται από την εγκατάσταση μίας αντλίας μεγάλης ισχύος σ' ένα δίκτυο να επιτυγχάνεται και από μια μικρότερης ισχύος αντλία που λειτουργεί με υψηλότερες στροφές. Για τον λόγο αυτόν, εάν στην αντλία που εγκαθίσταται στο δίκτυο δεν απαιτείται μείωση των στροφών περιστροφής της, η επιλογή της αντλίας σύμφωνα με την ανώτερη κλίμακα των χαρακτηριστικών της αποτελεί την πιο οικονομική λύση στην προσπάθεια μειώσεως του κόστους της εγκαταστάσεως.

2) Η ***παροχή της αντλίας*** (pump flow rate), δηλαδή ο συνολικός όγκος του ρευστού που καταθλίβεται στη μονάδα χρόνου. Το ρευστό που καταθλίβεται περιλαμβάνει τα υγρά, τα διαλυμένα μέσα σε αυτά αέρια και τα διαλυμένα στερεά στις συγκεκριμένες συνθήκες αντλήσεως.

3) Το ***εκτόπισμα*** (D_v, displacement), δηλαδή η εκτιμώμενη παροχή της αντλίας χωρίς ***απώλειες ολισθήσεως***. Για αντλίες με έμβολα απλής ενέργειας το εκτόπισμα είναι:

$$D_v = A \cdot m \cdot n \cdot s \qquad (2.9)$$

όπου: $D_v = \dot{V}$, A το εμβαδόν της διατομής του εμβόλου, m ο αριθμός των εμβόλων, n οι στροφές της αντλίας και s το μήκος της διαδρομής του εμβόλου της αντλίας (το μισό της γραμμικής αποστάσεως από την κίνηση του εμβόλου σε μία στροφή).

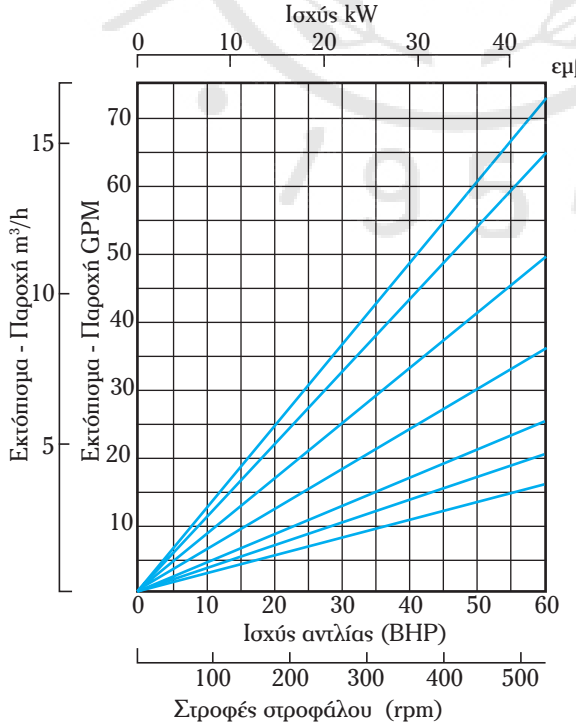
Για αντλίες με έμβολα διπλής ενέργειας το εκτόπισμα είναι:

$$D_v = (2A - a) \cdot m \cdot n \cdot s \qquad (2.10)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{και} \quad a = \frac{\pi d^2}{4}$$

όπου d η διάμετρος του βάκτρου του εμβόλου, D η διάμετρος του εμβόλου και a το εμβαδόν της διατομής του βάκτρου του εμβόλου.

4) Η ***πίεση*** (pressure) δηλαδή για την ακρίβεια η ***διαφορά πιέσεως Δp***, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ισχύος και είναι η διαφορά της πιέσεως καταθλίψεως από την πίεση αναρροφήσεως. Στις περισσότερες εφαρμογές, η πίεση αναρροφήσεως είναι μικρότερη σε σχέση με την πίεση καταθλίψεως. Εντούτοις, κατά την άντληση κάποιων υγροποιημένων αερίων, όπως το μεθάνιο και το προπάνιο, η πίεση αναρροφήσεως μπορεί να φτάνει το 20 έως 30% της πιέσεως καταθλίψεως. Ανεξάρτητα όμως απ' τις συνθήκες που επικρατούν, για την ακρίβεια στον υπολογισμού της ισχύος, θα πρέπει πάντα να περιλαμβάνεται η πίεση αναρροφήσεως. Στο σχήμα 2.6η παρουσιάζεται μια τυπική καμπύλη αποδόσεως για μια στροφαλοκίνητη αντλία.



Διάμετρος εμβόλου IN (mm)	pg LB/IN²	pg (BAR)
2⅛" (54)	1.265	(87)
2" (51)	1.425	(98)
1¾" (44)	1.865	(129)
1½" (38)	2.500	(172)
1¼" (32)	3.650	(252)
1⅛" (29)	4.510	(311)
1" (25)	5.700	(393)

pg: Η πίεση του μανομέτρου

Σχ. 2.6η
Τυπική καμπύλη αποδόσεως μίας στροφαλοκίνητης αντλίας, βασισμένη σε μπδενική ολίσθηση.

5) Η ***ολίσθηση*** (slip), δηλαδή οι απώλειες στην παροχή λόγω διαρροής στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό της αντλίας. Εσωτερική διαρροή είναι κατά κύριο λόγο η αντίστροφη ροή μέσω των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως, ενώ η εξωτερική διαρροή εμφανίζεται κυρίως μέσω του στυπειοθλίπτη λόγω διαρροής των στυπείων στεγανοποιήσεως. Αντιστροφή στη ροή μπορεί να εμφανίζεται για ένα κλάσμα του δευτερολέπτου από τις βαλβίδες, όταν μένουν ανοικτές κατά την αλλαγή στη διεύθυνση της κινήσεως του εμβόλου στο τέλος της διαδρομής του. Σε έμβολα διπλής ενέργειας μικρή διαρροή μπορεί να εμφανίζεται από την πλευρά συμπιέσεως προς την πλευρά αναρροφήσεως. Η ολίσθηση εκφράζεται ως εκατοστιαίο ποσοστό των απωλειών στην παροχή που τυπικά είναι περίπου 4%. Το ιξώδες του ρευστού, η ταχύτητα της αντλίας και η πίεση καταθλίψεως μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην ολίσθηση, όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 2.6.2 και 2.6.3.

Η ολίσθηση δίνεται ως:

$$S = B + V + L \qquad (2.11)$$

όπου: *S*, η ολίσθηση, *B*, η εξωτερική διαρροή μέσω της στεγανοποιήσεως ή αντίστοιχη μονάδα παροχής, *V*, η αντιστροφή στη ροή μέσω των βαλβίδων και *L*, η εσωτερική διαρροή.

6) Ο ***μηχανικός βαθμός αποδόσεως*** (mechanical efficiency), στροφαλοκίνητης αντλίας δηλαδή το άθροισμα όλων των απωλειών στην ισχύ που προσδίδεται στο ρευστό από το κινητήριο μηχάνημα και οφείλεται στις τριβές των μηχανικών μερών μεταδόσεως της ισχύος. Στα εξαρτήματα περιλαμβάνονται τα έμβολα, οι σταυροί, τα υλικά στεγανοποιήσεως των αξόνων και οι τριβείς του στροφαλοφόρου άξονα. Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως των στροφαλοκινήτων αντλιών δίνεται ως:

$$\eta_m = \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (2.12)$$

όπου P_{out} και P_{in} η ισχύς που αποδίδεται από την αντλία και η ισχύς που εισέρχεται από το κινητήριο μηχάνημα αντίστοιχα. Με $P_{out} = P_{in} - P_{απ}$ αποδίδεται η μείωση της ισχύος λόγω απωλειών ($P_{απ}$) κατά τη μετάδοση. Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως μιας αντλίας απλής ενέργειας συχνά υπερβαίνει το 90%, ενώ μία διπλής ενέργειας εμβολοφόρος αντλία φτάνει το 88% λόγω των απωλειών από την τριβή της πρόσθετης στεγανοποιήσεως στο βάκτρο του εμβόλου. Αν η αντλία είναι εξοπλισμένη με εσωτερικό γρανάζι μεταδόσεως της ενέργειας, υπάρχουν επιπρόσθετες απώλειες περίπου 2%. Οι περισσότερες στροφαλοκίνητες αντλίες έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να δέχονται μία σειρά από διαφορετικά μεγέθη εμβόλων. Όμως στα μεγαλύτερα έμβολα είναι επόμενο να χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα στοιχεία στεγανοποιήσεως, καθώς και να δημιουργούνται μεγαλύτερες επιφάνειες επαφής που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών λόγω τριβών. Κατά κανόνα, ο διπλασιασμός της διαμέτρου των εμβόλων οδηγεί σε μείωση του μηχανικού βαθμού αποδόσεως κατά 8%. Επίσης, ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως επηρεάζεται από την ταχύτητα και σε μικρότερο βαθμό από την αύξηση της πιέσεως (πίν. 2.6.4 και 2.6.5).

Πίνακας 2.6.2
Ολίσθηση σε αντλία με βαλβίδα δισκοειδούς τύπου (plate valve).

Ιξώδες σε cSt	100	1.000	2.000	6.000	10.000	12.000
Ολίσθηση, %	8	8,5	9,5	20	41	61

Πίνακας 2.6.3
Ολίσθηση ως συνάρτηση της ταχύτητας της αντλίας και της πίεσεως.

	Ολίσθηση %		
Πίεση σε bar	440 rpm	390 rpm	365 rpm
275	11	22	34
207	9	20	31
138	7	18	30
69	7	15	27,5

Πίνακας 2.6.4
Η επίδραση της ταχύτητας στην μηχανική απόδοση σε πίεση αυξανόμενη με σταθερό ρυθμό.

% αύξηση της ταχύτητας	44	50	73	100
% η_m, (μηχανικός βαθμός αποδόσεως)	93,3	92,5	92,5	92,5

Πίνακας 2.6.5
Η επίδραση της πιέσεως στον μηχανικό βαθμό αποδόσεως σε ταχύτητα αυξανόμενη με σταθερό ρυθμό.

% αύξηση της πιέσεως	20	40	60	80	100
% η_m, (μηχανικός βαθμός αποδόσεως)	82	88	90,5	92	92,5

7) Η ***ταχύτητα λειτουργίας*** (speed, velocity), η οποία αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα κριτήρια επιλογής για τις στροφαλοκίνητες αντλίες. Τα περιστρεφόμενα τμήματα, καθώς και αυτά που παλινδρομούν, συμπεριλαμβανομένου και του άκρου ισχύος, είναι συνήθως σε θέση να λειτουργούν σε ταχύτητα διπλάσια της πραγματικής που έχει οριστεί για την αντλία. Ανεξάρτητα όμως από την αντοχή των περιστρεφομένων μερών, η μέγιστη ταχύτητα της αντλίας καθορίζεται από:

α) Τις δυνατότητες που προσδίδονται κατά τη σχεδίαση της πλευράς στην οποία διακινείται το ρευστό,

β) τη δυνατότητα αναρροφήσεως του ρευστού από το δίκτυο και

γ) την επιθυμητή χρονική διάρκεια λειτουργίας των εμβόλων, των εξαρτημάτων στεγανοποιήσεως και των βαλβίδων με τη μικρότερη δυνατή φθορά.

Οι προδιαγραφές των περισσοτέρων αντλιών περιορίζουν την ταχύτητα των εμβόλων σε 0,71 έως 1,42 m/s (140 με 280 ft/min). Η ταχύτητα του εμβόλου δίνεται από τη σχέση:

$$v_p = s \cdot n \qquad (2.13)$$

όπου: v_p, η ταχύτητα του εμβόλου, s, η διαδρομή του εμβόλου και n, οι στροφές της αντλίας.

Όλες οι αντλίες έχουν ένα ελάχιστο όριο ταχύτητας λειτουργίας, το οποίο συνήθως προσδιορίζεται, ώστε να υπάρχει επαρκής λίπανση των εδράνων στη διάταξη μεταδόσεως της ισχύος.

8) Η ***ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως*** η_V (volumetric efficiency) δηλαδή ο λόγος του όγκου καταθλίψεως του ρευστού προς τον όγκο αναρροφήσεως, που εκφράζεται ως ποσοστό (%), λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες από την ολίσθηση (S). Δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_V = \frac{\dot{V}_{out}}{\dot{V}_{out} + \dot{V}_s} \qquad (2.14)$$

όπου $\dot{V}_{out}$ ο όγκος στην έξοδο της αντλίας και $\dot{V}_s$ η παροχή απωλειών από ολίσθηση.

9) Η ***ροπή*** (torque, moment M). Η μέση ροπή που απαιτείται από μια στροφαλοκίνητη αντλία είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα της αντλίας, αν υποτεθεί ότι η πίεση αναρροφήσεως και καταθλίψεως ***διατηρούνται σταθερές***. Αυτό σημαίνει ότι μια στροφαλοκίνητη αντλία αποτελεί μια συσκευή με σταθερή ροπή, που σε αντίθεση με τις φυγοκεντρικές αντλίες, η καμπύλη που θα εμφανίζεται σε ένα διάγραμμα ταχύτητας-ροπής θα είναι επίπεδη ευθεία γραμμή[12].

Ροπή εκκινήσεως, ονομάζεται η ροπή που απαιτείται για να ξεκινήσει η αντλία και να μπορέσει να επιταχυνθεί φτάνοντας μία σταθερή ταχύτητα. ***Εάν η εκκίνηση της αντλίας γίνεται με ανοικτή μια παράκαμψη (by-pass) από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση, η απαιτούμενη ροπή εκκινήσεως είναι το 25% σε σχέση με τη ροπή λειτουργίας της: Όταν η εκκίνηση πραγματοποιείται σε πίεση καταθλίψεως, η απαιτούμενη ροπή είναι το 125% της ροπής λειτουργίας.*** Γι' αυτό, όταν η εκκίνηση της αντλίας γίνεται υπό φορτίο, απαιτούνται ηλεκτροκινητήρες με υψηλή ροπή. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως από τον κινητήρα προς την αντλία, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες στη ροπή που τελικά αποδίδεται στην αντλία.

10) Η ***μείωση της ισχύος*** (derating) που εκφράζει την λειτουργία μίας συσκευής σε χαμηλότερη από ό,τι την μέγιστη ισχύ της. Εφαρμόζεται προκειμένου να παραταθεί η λειτουργική «ζωή» της αντλίας. Σε αντλίες θετικής εκτοπίσεως μπορεί να είναι απαραίτητη η μείωση της ισχύος λειτουργίας τους με σκοπό είτε να επιτευχθεί βελτίωση της αποδόσεως μίας αντλίας, είτε να μειωθεί η φθορά σε κάποια από τα εξαρτήματά της κατά την άντληση ρευστών σε μια ποικιλία εφαρμογών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Η πιο συνηθισμένη τακτική στη μείωση της ισχύος μιας αντλίας, είναι να μειωθεί η ισχύς, που παρέχεται από το κινητήριο μηχάνημα, ώστε να μειωθεί η ταχύτητα περιστροφής της. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η αποδοτική λειτουργία σε εξαρτήματα της αντλίας, τα οποία έρχονται σε επαφή με το ρευστό, όπως τα έμβολα, τα υλικά στεγανοποιήσεως και οι βαλβίδες, μπορεί να παραταθεί και να περιοριστεί η φθορά τους, εάν η ταχύτητα της αντλίας και κατ' επέκταση των παλινδρομήσεων του εμβόλου μειωθεί κατά την άντληση ορισμένων υγρών. Επίσης για την άντληση υψηλού ιξώδους υγρών, μπορεί να απαιτείται η μείωση στην ταχύτητα της αντλίας, ενώ εάν η αντλία έχει σχεδιαστεί ειδικά για την άντληση υγρών υψηλού ιξώδους, μπορεί να απαιτείται μέτρια μείωση της ταχύτητας.

11) Οι ***διακυμάνσεις στη ροή*** (pulsations), οι

[12] Η ροπή που απαιτείται στον στροφαλοφόρο άξονα της αντλίας δίνεται ως εξής: $M = 9.554 \cdot P/n$, όπου: M, η ροπή στην αντλία σε $N \cdot m$, n είναι οι στροφές σε rpm και P, η ισχύς σε kW.

οποίες είναι αποτέλεσμα των κύκλων αντλήσεως των εμβόλων και ανάλογα με την κατεύθυνση του εμβόλου δημιουργούν τη ροή αναρροφήσεως και καταθλίψεως του ρευστού από την αντλία. Η ένταση των διακυμάνσεων στη ροή επηρεάζεται σημαντικά από τον αριθμό των εμβόλων και ιδιαίτερα από τις διακυμάνσεις καταθλίψεως, λόγω του υψηλού δυναμικού ενέργειας που παράγεται όταν η αντίσταση από το δίκτυο καταθλίψεως είναι μεγάλη, ώστε να δημιουργηθεί πίεση. Με δεδομένο ότι το μέγεθος των διακυμάνσεων καταθλίψεως επηρεάζεται κυρίως από τον αριθμό των εμβόλων, αυξάνοντας τον αριθμό τους και κατ' επέκταση τον αριθμό των κυλίνδρων, θα μειωθούν οι διακυμάνσεις της παροχής.

12) ***Διαχωρισμός του υγρού από το έμβολο***. Όπως έχει αναφερθεί, το υγρό ρέει μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως προκειμένου να γεμίσει τον όγκο του κυλίνδρου που αυξάνεται. Εάν η επιτάχυνση του εμβόλου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της ροής του εισερχόμενου υγρού, το υγρό θα χάσει την επαφή με την επιφάνεια του εμβόλου με αποτέλεσμα το κενό που δημιουργείται να έχει τη χαμηλότερη πίεση απ' οποιοδήποτε άλλο σημείο στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Τότε, το υγρό που εισέρχεται στο θάλαμο της αντλίας εάν συμπαρασύρει αέρια, αυτά θα διαχωριστούν από το υγρό διάλυμα και θα συγκεντρωθούν στην περιοχή με τη χαμηλή πίεση. Οι φυσαλίδες του αερίου όμως, κατά τη διαδρομή του εμβόλου, θα συμπιεστούν με αποτέλεσμα να σπάσουν λόγω της πιέσεως και να προκαλέσουν σπηλαίωση (cavitation) και βλάβες, που θα εμφανιστούν στην επιφάνεια του εμβόλου και του κυλίνδρου.

Η γεωμετρία του ολισθαίνοντα μηχανισμού μεταδόσεως της κινήσεως του στροφάλου επηρεάζει το σημείο, στο οποίο πραγματοποιείται ο διαχωρισμός υγρού και εξαρτάται από τον λόγο του μήκους του διωστήρα προς την ακτίνα του στροφάλου, σε σχέση με τις στροφές περιστροφής. Καθώς ο λόγος του μήκους του διωστήρα με την ακτίνα του στροφάλου αυξάνεται, οι στροφές περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα της αντλίας, στην οποία εμφανίζεται ο διαχωρισμός του υγρού από την επιφάνεια του εμβόλου θα μειωθεί. Δεδομένου ότι ο διαχωρισμός του υγρού μπορεί να είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την Πίεση Εισαγωγής NPSHr, κατά το σχεδιασμό της αντλίας θα πρέπει να αξιολογηθεί προσεκτικά η γεωμετρία του ολισθαίνοντα μηχανισμού μεταδόσεως της κινήσεώς του και του στροφάλου, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η υδραυλική απόδοση της αντλίας.

13) ***Μη ζυγοσταθμισμένες δυνάμεις.*** Λόγω της σχετικά αργής ταχύτητας μίας εμβολοφόρου αντλίας, τα φορτία που αναπτύσσονται λόγω αδράνειας των περιστρεφομένων ή των παλινδρομούντων μερών της είναι αρκετά χαμηλά σε σύγκριση με τα φορτία που αναπτύσσονται στις φυγοκεντρικές αντλίες, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται προβλήματα τα οποία μπορεί να οφείλονται σε κραδασμούς. Γι' αυτόν το λόγο οι στροφαλοφόροι άξονες δεν είναι συνήθως ζυγοσταθμισμένοι με μεγάλη ακρίβεια. Όταν όμως η αντλία είναι συζευγμένη με υψηλών στροφών ηλεκτροκινητήρα, ή η σύζευξη της αντλίας με τον κινητήρα πραγματοποιείται μέσω μειωτήρα, μπορεί να απαιτείται η ανάλυση των ροπών των κινουμένων μερών της αντλίας, αλλά και του μηχανισμού μεταδόσεως της κινήσεως. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι οι εξής:

α) ***Μη ζυγοσταθμισμένες δυνάμεις παλινδρομούντων εξαρτημάτων της αντλίας*** (Unbalanced Reciprocating Parts Force – F_{rec}). Τα εξαρτήματα αυτά αποτελούν συνήθως το ένα τρίτο του βάρους του διωστήρα, ο σταυρός με τους τριβείς του, ο πίρος συνδέσεως του εμβόλου και το έμβολο. Σε αντλίες με κάθετη διάταξη σ' αυτά τα εξαρτήματα περιλαμβάνονται το βάκτρο και το παξιμάδι του εμβόλου.

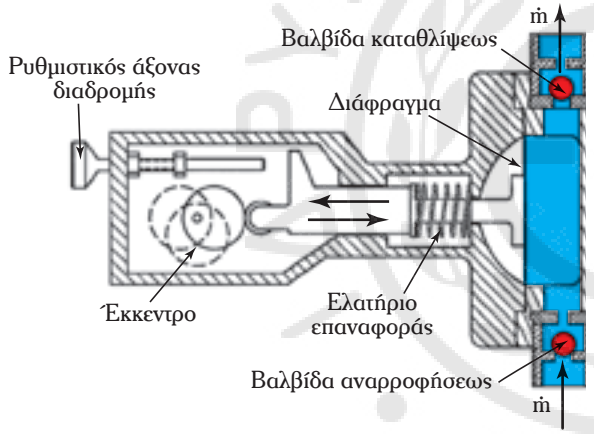
β) ***Μη ζυγοσταθμισμένες δυνάμεις περιστρεφομένων εξαρτημάτων*** (Unbalanced Rotating Parts Force – F_{rot}). Τα εξαρτήματα αυτά συνήθως αποτελούν περίπου τα δύο τρίτα του βάρους του διωστήρα, του στροφάλου των τριβέων του και του πείρου του στροφάλου.

2.6.3 Αντλίες με διαφράγματα.

Οι αντλίες με διαφράγματα είναι θετικής εκτοπίσεως με αρχή λειτουργίας ίδια με αυτή των εμβολοφόρων παλινδρομικών. Τα έμβολα σε αυτές αντικαθίστανται από διαφράγματα δηλαδή εύκαμπτες μεμβράνες, συνήθως ελαστικές ή από τεφλόν οι οποίες κινούνται είτε μηχανικά, είτε υδραυλικά, ή πνευματικά (δηλ. με αέρα) χαρακτηρίζοντας έτσι τους τύπους των αντλιών με διαφράγματα. Ειδικότερα διακρίνονται:

1) Στις ***μηχανικά κινούμενες***, στις οποίες το διάφραγμα παλινδρομεί από το έμβολο που κινείται μέσω έκκεντρου. Με την ώθηση του διαφράγματος από το έμβολο αυξάνεται η πίεση στο υγρό που υπάρχει στο θάλαμο ο οποίος δημιουργείται από το κέλυφος της αντλίας. Με την αύξηση της πιέσεως ανοίγει η ανεπίστροφη βαλβίδα καταθλίψεως ή εξαγωγής

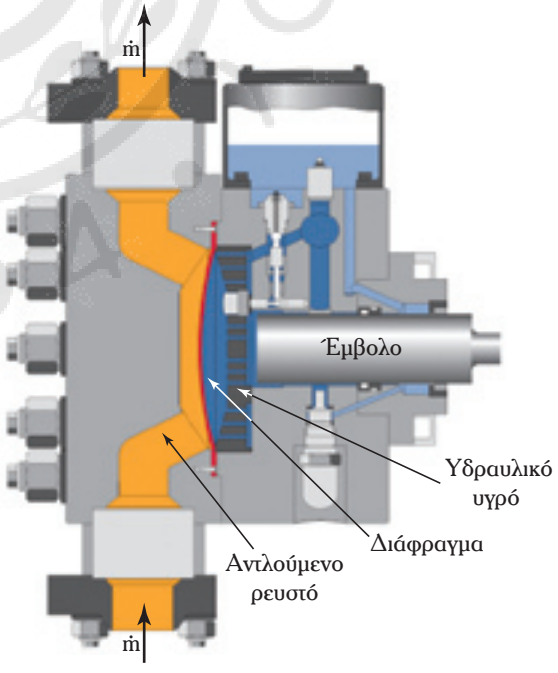
και το υγρό καταθλίβεται προς το δίκτυο. Με τη συνεχή περιστροφή του έκκεντρου και τη βοήθεια του ελατηρίου επαναφοράς, το έμβολο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση με αποτέλεσμα το διάφραγμα να επανέρχεται στην αρχική του θέση. Σ' αυτό το διάστημα, στο θάλαμο της αντλίας δημιουργείται υποπίεση, η οποία προκαλεί το κλείσιμο της βαλβίδας καταθλίψεως και το άνοιγμα της ανεπίστροφης βαλβίδας αναρροφήσεως, ώστε νέα ποσότητα από το υγρό να εισέλθει στο θάλαμο. Με την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου που προκαλείται καθώς το έκκεντρο περιστρέφεται και μέσω των ανεπιστρόφων βαλβίδων, επιτυγχάνεται η συνεχής αναρρόφηση και κατάθλιψη από την αντλία (σχ. 2.6θ). Στα πλοία, οι αντλίες διαφράγματος συναντώνται ως δοσομετρικές αντλίες διότι μετατοπίζουν προϋπολογισμένη ποσότητα υγρού σε κάθε εμβολισμό. Η ποσότητα καταθλίψεως της αντλίας μπορεί να μεταβάλλεται σύμφωνα με την επιθυμητή, μέσω του ρυθμιστικού άξονα διαδρομής του εμβόλου.



Σχ. 2.6θ
Αντλία διαφράγματος με μηχανική κίνηση διαφράγματος.

2) Στις ***υδραυλικά κινούμενες*** αντλίες διαφράγματος που αποτελούνται από το σώμα της αντλίας μέσα στο οποίο υπάρχει το διάφραγμα, το υδραυλικό υγρό και το έμβολο που παλινδρομεί (σχ. 2.6ι). Σε αντλίες αυτού του τύπου η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου εφαρμόζεται στο υδραυλικό ρευστό, το οποίο αναγκάζει το διάφραγμα να κάμπτεται μπροστά και πίσω αυξομειώνοντας τον όγκο του θαλάμου, χωρίς το έμβολο να έρχεται σε επαφή με το διάφραγμα. Επομένως το διάφραγμα ακολουθώντας την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου, μέσω του υδραυλικού ρευστού, δημιουργεί τις συνθήκες αναρροφήσεως και καταθλίψεως από τις αντίστοιχες βαλβίδες. Στις υδραυλικές αντλίες διαφράγματος η πίεση λειτουργίας μεταξύ του υδραυλικού και του αντλούμενου υγρού συνήθως είναι η ίδια. Αυτό εξαλείφει τις κοπώσεις του διαφράγματος, αφού η πίεση είναι ουσιαστικά ίση και στις δύο πλευρές, ανά πάσα στιγμή. Για την ομαλή λειτουργία της αντλίας υπάρχουν εγκατεστημένες ανακουφιστικές βαλβίδες και βαλβίδες αυτόματης πληρώσεως, με τις οποίες ελέγχεται η ροή και η πίεση του υδραυλικού υγρού. Επίσης, μία αυτόματη βαλβίδα εξαερώσεως εγκαθίσταται, ώστε να απομακρύνεται συνεχώς ο αέρας που τυχόν παρασύρεται από το υδραυλικό υγρό λειτουργίας.

Τα διαφράγματα κατασκευάζονται από ανθεκτικό υλικό, όπως το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE, κοινώς τεφλόν), αλλά και από μέταλλο όταν οι αντλίες διαφράγματος χρησιμοποιούνται στο χειρισμό υγρών σε υψηλή πίεση, υψηλή θερμοκρασία ή με ιδιαίτερα διαβρωτικές ιδιότητες. Λόγω του μειωμένου αριθμού εξαρτημάτων της αντλίας που έρχονται σε επαφή με το αντλούμενο υγρό, όπου εκτός από το διάφραγμα τα μόνα κινούμενα μέρη της που έρχονται σε επαφή με το υγρό είναι οι ειδικά σχεδιασμένες βαλβίδες για την είσοδο και την έξοδό του, μια αντλία διαφράγματος απαιτεί λιγότερη συντήρηση σε σύγκριση με μια εμβολοφόρο αντλία.



Σχ. 2.6ι
Αντλία διαφράγματος με υδραυλική κίνηση διαφράγματος.

3) Στις ***πνευματικές αντλίες*** με διαφράγματα (κοινώς πομόνες) [σχ. 2.6ια(α, β)], οι οποίες αποτελούνται από:

α) Το **σώμα** της αντλίας με κατάλληλη διαμόρφωση για τη διακίνηση του υγρού.

β) Τη ***βαλβίδα*** διανομής του αέρα λειτουργίας.

γ) Τα εύκαμπτα ***διαφράγματα*** (ή μεμβράνες) από ελαστικό ή τεφλόν.

δ) Το ***βάκτρο*** επάνω στα άκρα του οποίου συνδέονται τα δύο διαφράγματα και

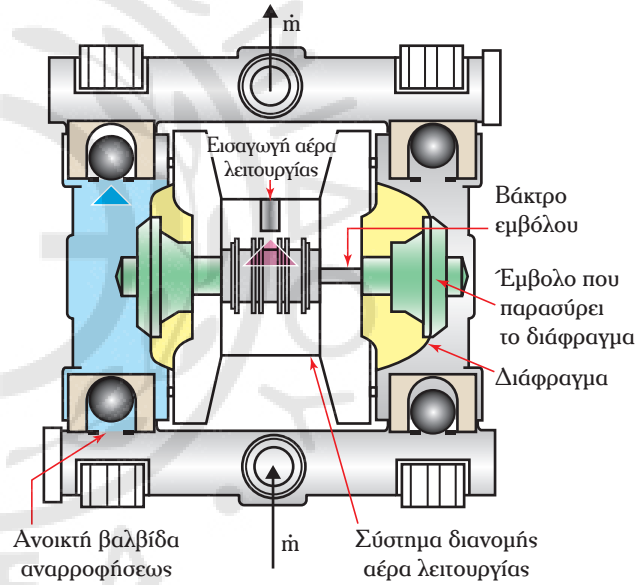
ε) τις ανεπίστροφες ***βαλβίδες*** αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

Κάθε διάφραγμα βρίσκεται μέσα σε έναν κλειστό θάλαμο που δημιουργείται από το σώμα της αντλίας, ώστε όταν παλινδρομεί να αυξομειώνει τον όγκο του θαλάμου, άρα και την πίεση στο εσωτερικό του.

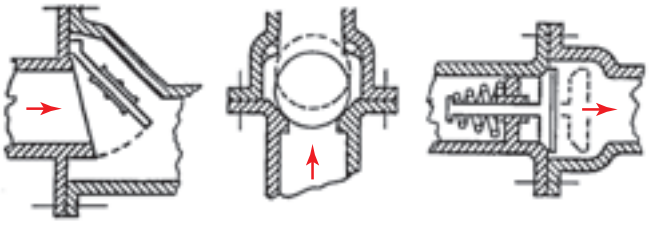
Ο αέρας λειτουργίας για την κίνηση των διαφραγμάτων παρέχεται μέσω βαλβίδας διανομής που βρίσκεται εγκατεστημένη στο σώμα της αντλίας. Καθώς εισέρχεται στο θάλαμο, που δημιουργείται από το διάφραγμα και το σώμα της αντλίας, το διάφραγμα διεγείρεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση που ωθεί το υγρό του θαλάμου στην άλλη πλευρά του διαφράγματος. Με την αύξηση της πιέσεως του υγρού, ανοίγει η ανεπίστροφη βαλβίδα εξαγωγής και επιτυγχάνεται κατάθλιψη. Ταυτόχρονα το δεύτερο διάφραγμα μέσω του βάκτρου, το οποίο κινείται αξονικά, διεγείρεται ώστε τα δύο διαφράγματα να παλινδρομούν παράλληλα εφόσον είναι συνδεμένα στο ίδιο βάκτρο.

Με αυτόν τον τρόπο όταν με το ένα διάφραγμα μειώνεται ο όγκος του θαλάμου υγρών επιτυγχάνεται η κατάθλιψη, ενώ ταυτόχρονα με το άλλο διάφραγμα αυξάνεται ο όγκος του θαλάμου επιτυγχάνοντας την αναρρόφηση από το δίκτυο. Στη συνέχεια με κατάλληλη διάταξη, μέσω άξονα που ενεργοποιείται απ' την κίνηση του διαφράγματος, μετατοπίζεται η βαλβίδα διανομής του αέρα, ώστε ο αέρας να ενεργεί στο δεύτερο διάφραγμα δημιουργώντας εναλλάξ την αναρρόφηση και την κατάθλιψη από τις δύο πλευρές της αντλίας. Οι βαλβίδες που χρησιμοποιούνται στις πνευματικές αντλίες είναι: 1) με ***πτερύγια*** (κλαπέ) (flap) οι οποίες επιτρέπουν την άντληση υγρών που περιέχουν στερεά σωματίδια με μέγεθος που πλησιάζει τη διάμετρο της βαλβίδας, 2) ***σφαιρικές βαλβίδες*** (ball) οι οποίες εξασφαλίζουν καλύτερη στεγανότητα και αντοχή και 3) ***δισκοειδείς βαλβίδες*** που κλείνουν από την επίδραση της εντάσεως ***ελατηρίου*** (poppet) [σχ. 2.6ια(γ)].

(α)



(β)



(γ)

Σχ. 2.6ια

(α) Αντλία διπλού διαφράγματος, (β) σχηματική απεικόνιση και τα μέρη της και (γ) τύποι βαλβίδων.

Οι πνευματικές αντλίες με διαφράγματα, λόγω της κατασκευής τους, έχουν την δυνατότητα να εργάζονται δίχως την ύπαρξη υγρού (ξηρές) χωρίς να καταστρέφονται. Είναι κατάλληλες για την άντληση παχυρρεύστων υγρών. Η παροχή τους ρυθμίζεται με την παροχή του αέρα λειτουργίας στη βαλβίδα διανομής, έχουν αυτόματη αναρρόφηση και καταθλίβουν σε μεγάλο ύψος που εξαρτάται από την πίεση του αέρα λειτουργίας.

2.7 Περιστροφικές αντλίες.

Οι ***περιστροφικές αντλίες*** (rotary pumps) εκτοπίσεως ή ***ογκομετρικού τύπου*** (volumetric type), είναι μία κατηγορία αντλιών θετικής εκτοπίσεως, που αναγκάζουν το υγρό να ρέει με πίεση. Βασίζουν τη λειτουργία τους σε ένα ή δύο περιστρεφόμενα ***στροφεία*** (ή ***ρότορες***) (rotors) στον κλειστό θάλαμο που ορίζεται από το ***κέλυφος*** της αντλίας.

Το αντλούμενο ρευστό εγκλωβίζεται σε κατάλληλα σχεδιασμένους μικρότερους θαλάμους που σχηματίζονται μεταξύ των στροφείων και του κελύφους, ώστε καθώς τα στροφεία περιστρέφονται το ρευστό να μεταφέρεται από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Οι περιστροφικές αντλίες διαθέτουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις εμβολοφόρες παλινδρομικές, εφόσον η πίεση στην έξοδο της αντλίας αυξάνεται με την αύξηση του ενεργειακού φορτίου της σωληνώσεως καταθλίψεως, με τη διαφορά ότι το κινητό μέρος στις εμβολοφόρες εκτελεί παλινδρομική κίνηση, ενώ στις περιστροφικές το κινητό μέρος περιστρέφεται εκτοπίζοντας σε κάθε περιστροφή του κινητήριου άξονα μια πεπερασμένη ποσότητα υγρού.

Οι περιστροφικές αντλίες αποτελούνται από το ***κέλυφος*** (ή ***σώμα***) (body), πάνω στο οποίο υπάρχουν οι ***θυρίδες*** (gates) της εισαγωγής (inlet) και εξαγωγής (outlet) του υγρού. Το κέλυφος μαζί με τα ***καπάκια*** (chamber covers) (ένα σε κάθε πλευρά) και τα κινητά μέρη της αντλίας, δημιουργούν τους ***θαλάμους*** (chambers) που περιέχουν το μεταφερόμενο υγρό. Τα κινητά μέρη ή το στροφείο έχουν μικρά διάκενα με το σταθερό κέλυφος και τα καπάκια, ώστε να επιτυγχάνεται η ελεύθερη περιστροφή του στροφείου.

Το είδος του στροφείου εξαρτάται απ' τον ειδικό τύπο που χρησιμοποιείται σε κάθε περιστροφική αντλία, και το οποίο ανάλογα μπορεί να αποτελείται από πτερύγια, κοχλίες, λοβούς, οδοντωτούς τροχούς, έμβολα που ολισθαίνουν κ.ά. διακρίνοντας τις περιστροφικές αντλίες σε ανάλογους τύπους.

Το στροφείο προσαρμόζεται σε άξονα, ο οποίος στηρίζεται με κατάλληλη διάταξη στεγανοποιήσεως στα καπάκια του κελύφους, ώστε να μεταδίδει την αναγκαία για την περιστροφή του στροφείου ροπή από το κινητήριο μηχάνημα. Η στεγανοποίηση στο σημείο των καπακιών απ' όπου διέρχεται ο άξονας περιστροφής για να συνδεθεί με το κινητήριο μηχάνημα, επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ***θαλάμων στεγανότητας*** (seal chambers), στους οποίους τοποθετούνται ή μηχανικός ***στυπειοθλίπτης*** (mechanical seal) ή ***παρεμβύσματα – σαλαμάστρες*** (packing's) ή συνθετικοί ενισχυμένοι με μέταλλο δακτύλιοι στεγανοποιήσεως (τσιμούχες – oil seals-simmering).

Κατά τη λειτουργία της αντλίας για τη μεταφορά του υγρού, αυτό παγιδεύεται μέσα στους μικρούς περιστρεφόμενους θαλάμους μεταβλητού όγκου που σχηματίζονται μεταξύ των κινητών και των σταθερών τμημάτων της. Καθώς αυτοί οι θάλαμοι διέρχονται από τη θυρίδα εισαγωγής, αποκαλύπτεται ο μέγιστος όγκος τους και γεμίζουν με υγρό. Στη συνέχεια, με την περιστροφή του στροφείου, ο όγκος σταδιακά μειώνεται με αποτέλεσμα το υγρό να εξέρχεται με πίεση προς το δίκτυο μέσω της θυρίδας εξαγωγής.

Λόγω της απουσίας στεγανοποιητικού υλικού μεταξύ των κινουμένων και των σταθερών μέρών των αντλιών (δηλ. μεταξύ στροφείου, κελύφους και καπακιών), το ***διάκενο*** θα πρέπει να είναι πολύ μικρό, ώστε να εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση της διαρροής, αλλά αρκετό για να περιστρέφεται ελεύθερα το στροφείο. Έτσι, η ποσότητα του υγρού που διαρρέει μεταξύ των περιστρεφομένων θαλάμων θα είναι τόσο μικρή που δεν θα έχει την δυνατότητα να επηρεάσει την απόδοση των περιστροφικών αντλιών. Άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον έλεγχο του διακένου ελευθερίας περιστροφής είναι η θερμική διαστολή των εξαρτημάτων, η οποία μπορεί να προκαλέσει τη μείωση του διακένου κατά τη λειτουργία της αντλίας, περιορίζοντας την ελεύθερη περιστροφή του στροφείου. Γι' αυτό, κατά την επιθεώρηση ή την επισκευή θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη συναρμολόγηση, ώστε να διατηρούνται τα διάκενα που προβλέπονται από τον κατασκευαστή.

Το πεδίο εφαρμογής, των περιστροφικών αντλιών, εκτείνεται σε κάθε είδους υγρό που έχει κάποια λιπαντική ικανότητα και επαρκές ιξώδες, ώστε να αποτρέπεται η υπερβολική διαρροή μέσα από τα διάκενα στην πίεση που απαιτείται για να λειτουργεί η αντλία.

Τα ***λειτουργικά χαρακτηριστικά*** των περιστροφικών αντλιών είναι:

1) Το ***εκτόπισμα της αντλίας*** $\dot{V}_d$, (displacement) δηλαδή ο ολικός όγκος (V) του υγρού που εκτοπίζεται σε n περιστροφές του άξονα. Αποτελεί τη θεωρητική παροχή της αντλίας, προϋποθέτοντας ότι όλοι οι θάλαμοι της αντλίας, που δημιουργούνται από το στροφείο έχουν γεμίσει τελείως με υγρό και δεν υπάρχουν απώλειες μεταξύ τους.

$$\dot{V}_d = V \cdot n \qquad (2.15)$$

2) Η ***ολίσθηση*** (slip) $\dot{V}_s$, που αντιπροσωπεύει την παροχή του υγρού που διαρρέει από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση μέσω των διακένων των θαλάμων, που δημιουργούνται από το στροφείο της αντλίας.

$$\dot{V}_s = (V \cdot n) - S \qquad (2.16)$$

Η ολίσθηση αυξάνεται με την πίεση καταθλίψεως και μειώνεται με την αύξηση στο ιξώδες του υγρού.

3) Η ***παροχή*** $\dot{V}$ (flow rate). Δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\dot{V} = \dot{V}_d - \dot{V}_s \qquad (2.17)$$

Με αυτήν υπολογίζεται ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως, που ορίζεται ως το πηλίκο της πραγματικής προς την θεωρητική παροχή.

Όπως έχει αναφερθεί, οι συνθήκες αναρροφήσεως και καταθλίψεως επιδρούν στην παροχή της αντλίας. Έτσι το ιξώδες του υγρού, η τάση για τη δημιουργία ατμών στην αναρρόφηση, η ποσότητα του αέρα που εγκλωβίζεται ή του αέρα που είναι διαλυμένος στο υγρό, όπως και το μεγάλο ολικό ύψος είναι παράγοντες που προκαλούν τη μείωση της παροχής.

Οι περιστροφικές αντλίες χρησιμοποιούνται για μικρές παροχές και μέσες πιέσεις, αντιμετωπίζοντας διάφορα μανομετρικά ύψη χωρίς σοβαρή μεταβολή στην παροχή τους. Η μείωση στην παροχή των περιστροφικών αντλιών εμφανίζεται όταν το ολικό ύψος που απαιτείται για την κατάθλιψη του υγρού υπερβαίνει τη μέγιστη πίεση, στην οποία η αντλία μπορεί να διατηρήσει τη στεγανότητα των θαλάμων της.

– Τύποι περιστροφικών αντλιών.

Οι περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, με βάση τη μορφή τους και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες του στροφείου τους, διακρίνονται σε:

1) ***Απλού στροφείου*** (single rotor), που είναι οι πτερυγιοφόρες ή με σύρτες (vane), οι υγρών εμβόλων (liquid piston), οι αντλίες με έμβολα μεταβλητής διαδρομής ακτινικά ή αξονικά (radial or axial pistons), οι έκκεντρου ελικοειδούς ρότορα (eccentric rotor) και οι περισταλτικές αντλίες (peristaltic).

2) ***Πολλαπλού στροφείου*** (multiple rotor) στις οποίες ανήκουν είναι οι γραναζωτές (gear), με λοβούς (lobe), με κοχλίες (screw).

Ανάλογα με τον τρόπο κινήσεώς τους, μπορεί να είναι:

1) ***Εξαρτημένες*** όταν η κίνησή τους παρέχεται από κινούμενο μέλος άλλης μηχανής, το οποίο μεταδίδει την κίνηση στις αντιλίες με γρανάζια.

2) ***Ανεξάρτητες*** όταν κινούνται από ηλεκτροκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα.

Στα πλοία χρησιμοποιούνται ως αντλίες πετρελαίου λεβήτων, σε δίκτυα λιπάνσεως ή ψύξεως ηλεκτρομηχανών, στη μετάγγιση ή αποστράγγιση δεξαμενών ελαίου λιπάνσεως, βενζίνης ή νερού για την κίνηση των υδραυλικών πηδαλίων, την κίνηση των βαρούλκων κ.λπ..

Στην επιλογή των υλικών κατασκευής τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής ιδιότητες των υλικών:

1) Το μέτρο ελαστικότητας, με σκοπό την αντοχή στην παραμόρφωση από τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη λειτουργία του.

2) Ο συντελεστής θερμικής διαστολής, ο οποίος λόγω της διακυμάνσεως στη θερμοκρασία του υγρού που μεταφέρεται, επηρεάζει άμεσα τα διάκενα των στροφείων με το κέλυφος άρα και την ομαλή και αποδοτική λειτουργία της αντλίας.

3) Ο συντελεστής τριβής, που επηρεάζει την αντοχή στη φθορά μεταξύ των επιφανειών οι οποίες ολισθαίνουν ή σύρονται, καθώς έρχονται σε επαφή.

Έτσι ανάλογα με τον προορισμό, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των περιστροφικών αντλιών εκτοπίσεως είναι:

1) Για το ***κέλυφος***: ο χυτοσίδηρος, ο χυτοχάλυβας ή ο ορείχαλκος.

2) Για το ***στροφείο***: το συνθετικό ελαστικό, ο χυτοχάλυβας ή σφυρήλατος χάλυβας ή ορείχαλκος.

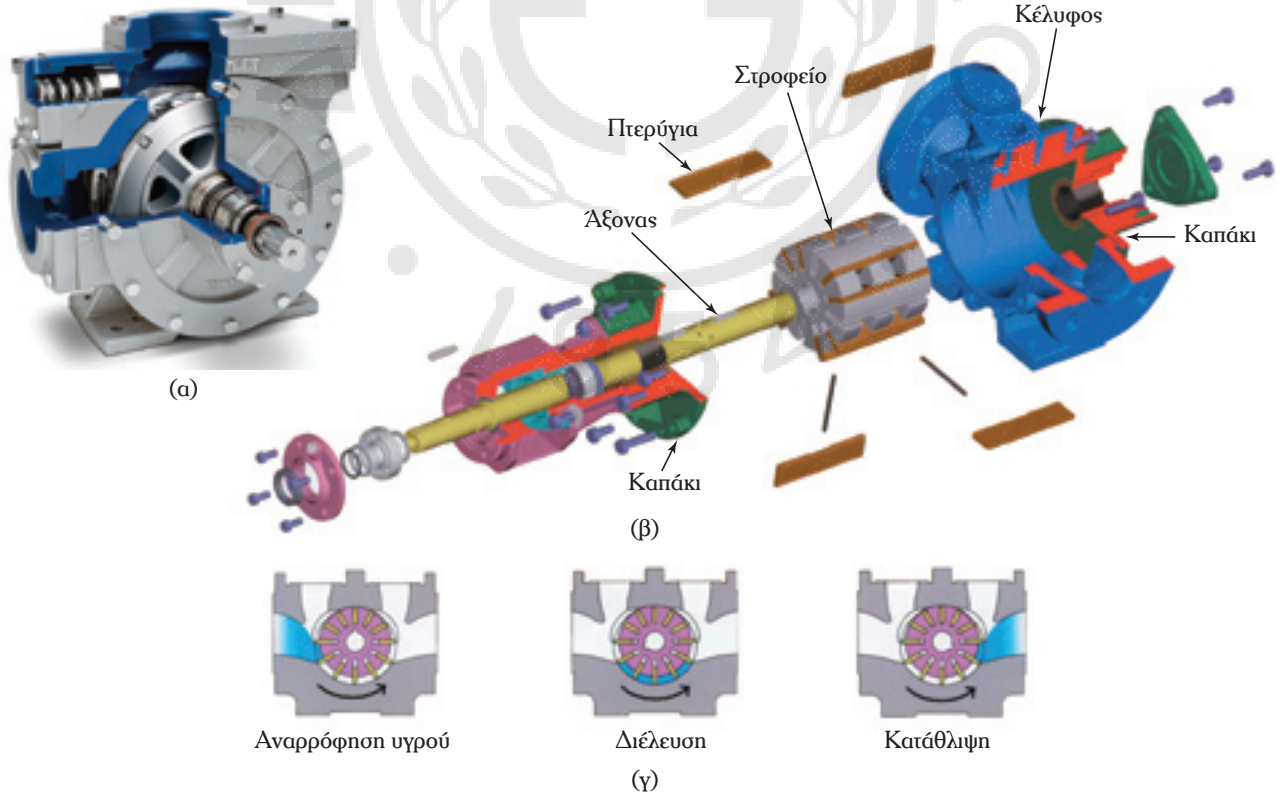
3) Για τις ***βαλβίδες***: ο χυτοχάλυβας,ο φωσφορούχος ορείχαλκος, το κράμα χαλκού-κασσίτερου, ο ανοξείδωτος χάλυβας ή το μέταλλο Monel.

Οι περιστροφικές αντλίες που συναντώνται συνήθως στα πλοία από τις δύο κατηγορίες απλού ή πολλαπλού στροφείου είναι οι:

1) ***Πτερυγιοφόρες αντλίε***s (vane pump) (σχ. 2.7α). Οι αντλίες αυτού του τύπου αποτελούνται από το κυλινδρικό κέλυφος μέσα στο οποίο περιστρέφεται το στροφείο. Πάνω στην κυλινδρική πλευρά του

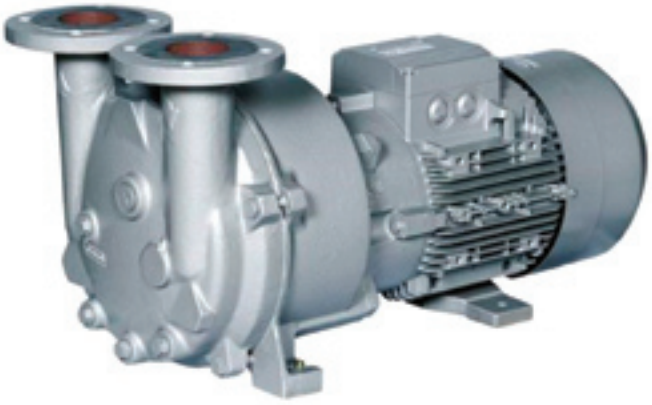
στροφείου υπάρχουν ακτινικά υποδοχές και σε κάθε υποδοχή ολισθαίνουν ελεύθερα πτερύγια, συνήθως κατασκευασμένα από μη μεταλλικό υλικό (π.χ. βακελίτη). Καθώς το στροφείο περιστρέφεται τα ολισθαίνοντα πτερύγια λόγω της φυγόκεντρου δυνάμεως παρασύρονται διατηρώντας την επαφή τους με την εσωτερική επιφάνεια του κυλινδρικού κελύφους. Όμως το κέντρο περιστροφής του στροφείου δεν συμπίπτει με το κέντρο του κυλινδρικού κελύφους, αφού το στροφείο είναι έκκεντρα τοποθετημένο. Με την έκκεντρη περιστροφή του στροφείου σε σχέση με τον κυλινδρικό θάλαμο της αντλίας, τα ολισθαίνοντα πτερύγια που εφάπτονται στην εσωτερική περιφέρεια του κελύφους αναγκάζονται να παλινδρομούν μέσα στις υποδοχές και σε κάθε σημείο της περιστροφής να μεταβάλλεται η επιφάνεια του πτερυγίου που αποκαλύπτεται. Έτσι, μεταξύ των πτερυγίων του κελύφους και των καπακιών δημιουργούνται θάλαμοι μεταβαλλόμενου όγκου. Καθώς το στροφείο κινείται με τη φορά του βέλους [σχ. 2.7α(γ, δ, ε)], τα πτερύγια απομακρύνονται από το κέντρο και ο θάλαμος που δημιουργείται αυξάνεται. Η αύξηση αυτή προκαλεί τη δημιουργία κενού με αποτέλεσμα την αναρρόφηση του υγρού, το οποίο εισέρχεται στο θάλαμο, καθώς αυτός διέρχεται από την θυρίδα εισαγωγής.

Στη συνέχεια προοδευτικά ο όγκος του θαλάμου που δημιουργείται λόγω της μεταβολής της αποστάσεως του στροφείου από την εσωτερική περιφέρεια του κελύφους αρχίζει να μειώνεται. Αποτέλεσμα της μειώσεως στον όγκο του θαλάμου είναι η πίεση του αντλούμενου ρευστού που υπάρχει στο θάλαμο και η κατάθλιψή της από τη θυρίδα καταθλίψεως. Για να διευκολυνθεί η παλινδρομική κίνηση των πτερυγίων και η επαφή τους με την περιφέρεια του κελύφους όταν οι στροφές περιστροφής του στροφείου είναι χαμηλές και δεν αναπτύσσεται ικανοποιητική φυγόκεντρος δύναμη, στο εσωτερικό της υποδοχής των πτερυγίων τοποθετούνται ελατήρια που τα ωθούν προς την περιφέρεια. Η εγκατάσταση τριών ή τεσσάρων ολισθαινόντων πτερυγίων μεταξύ της αναρροφήσεως και της καταθλίψεως εμποδίζει την επιστροφή του υγρού στη χαμηλής πιέσεως αναρρόφηση, ειδικά σε αντλίες με χαμηλές στροφές περιστροφής, ενώ για αντλίες που διακινούν ρευστά χαμηλού ιξώδους οι στροφές λειτουργίας στις 1000 rpm δίνουν ικανοποιητικές για την κατηγορία παροχές.

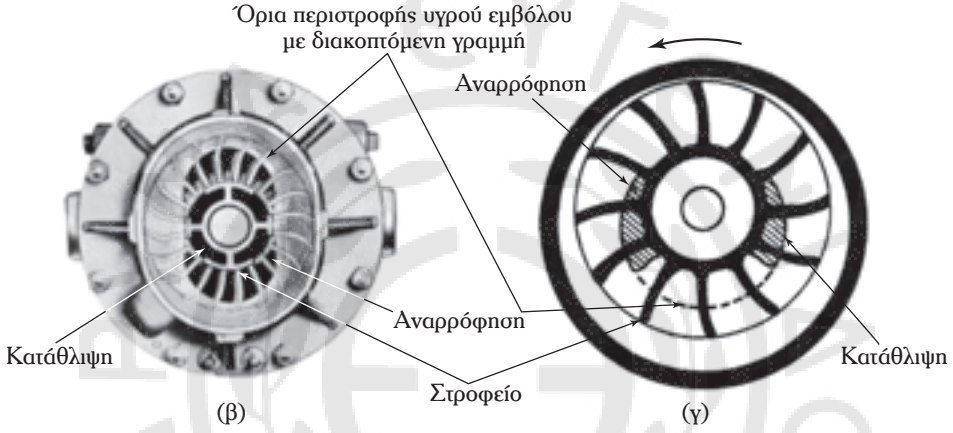


Σχ. 2.7α

(α) Πτερυγιοφόρος αντλία, (β) ανάπτυξη των μερών της, (γ) ροή του υγρού.



(α)



Σχ. 2.7β

(α), (β) Αντλία υγρών εμβόλων και (γ) σχηματική απεικόνιση.

Οι πτερυγιοφόρες αντλίες έχουν υψηλό βαθμό αποδόσεως, χαμηλή στάθμη θορύβου και μεγάλη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται στη μετάγγιση πετρελαίου από μία δεξαμενή σε άλλη, ενώ οι υψηλών στροφών πτερυγιοφόρες αντλίες χρησιμοποιούνται στην αύξηση της πιέσεως λειτουργίας του ελαίου σε υδραυλικά δίκτυα, και τα πτερύγιά τους κατασκευάζονται από κράμα μετάλλου, υψηλής αντοχής. Συνήθη κράματα είναι αυτά του χάλυβα με προσμείξεις νικελίου, μαγνησίου και άνθρακα.

2) ***Αντλίες υγρών εμβόλων*** (liquid pumps).Οι αντλίες με υγρά έμβολα κατασκευάζονται σε δύο τύπους:

α) Με ***ελλειπτικό κέλυφος***, που έχουν θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως στην εσωτερική πλήμνη και ονομάζονται αντλίες ***τύπου ακροφυσίου*** (nozzle type pumps) και

β) τις αντλίες με ***εκκεντρικό κυκλικό κέλυφος***, στις οποίες η αναρρόφηση και η κατάθλιψη πραγματοποιούνται, από θυρίδες στην παράπλευρη εγκάρσια πλάκα του κελύφους και ονομάζονται ***τύπου πλάκας*** (plate type pump).

Το στροφείο και στους δύο τύπους αντλιών αποτελείται από πτερύγια που δημιουργούν τους θαλάμους αναρροφήσεως και καταθλίψεως του υγρού. Η στεγανότητα μεταξύ των θαλάμων πραγματοποιείται με την παροχή νερού, που περιστρέφεται μαζί με το στροφείο. Το νερό ακολουθώντας το σχήμα του κελύφους εισέρχεται και εξέρχεται στους θαλάμους μεταξύ των πτερυγίων αυξομειώνοντας τον όγκο τους (σχ. 2.7β).

Κάθε φορά που το νερό εξέρχεται δημιουργεί αύξηση του όγκου στο εσωτερικό του θαλάμου αυξάνοντας το κενό αναρροφήσεως αέρα από τις θυρίδες εισαγωγής, ενώ εισερχόμενο δημιουργεί τη μείωση του όγκου στο εσωτερικό του θαλάμου και πίεση για την κατάθλιψή του. Η αντλία αυτή λόγω των απωλειών του νερού (ή άλλου υγρού λειτουργίας), που

παρασύρεται με τον αέρα στην κατάθλιψη, εφοδιάζεται με μία ρυθμιστική διάταξη σταθερής παροχής της ακριβούς ποσότητας νερού που απαιτείται.

Οι αντλίες υγρών εμβόλων χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα και τη δημιουργία κενού αναρροφήσεως σε αντλίες, που η αναρρόφηση βρίσκεται υψηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του αντλούμενου υγρού. Η λειτουργία τους διαρκεί μέχρι να απομακρυνθεί όλος ο αέρας από το σωλήνα αναρροφήσεως και να αρχίσει η αναρρόφηση από την κύρια αντλία.

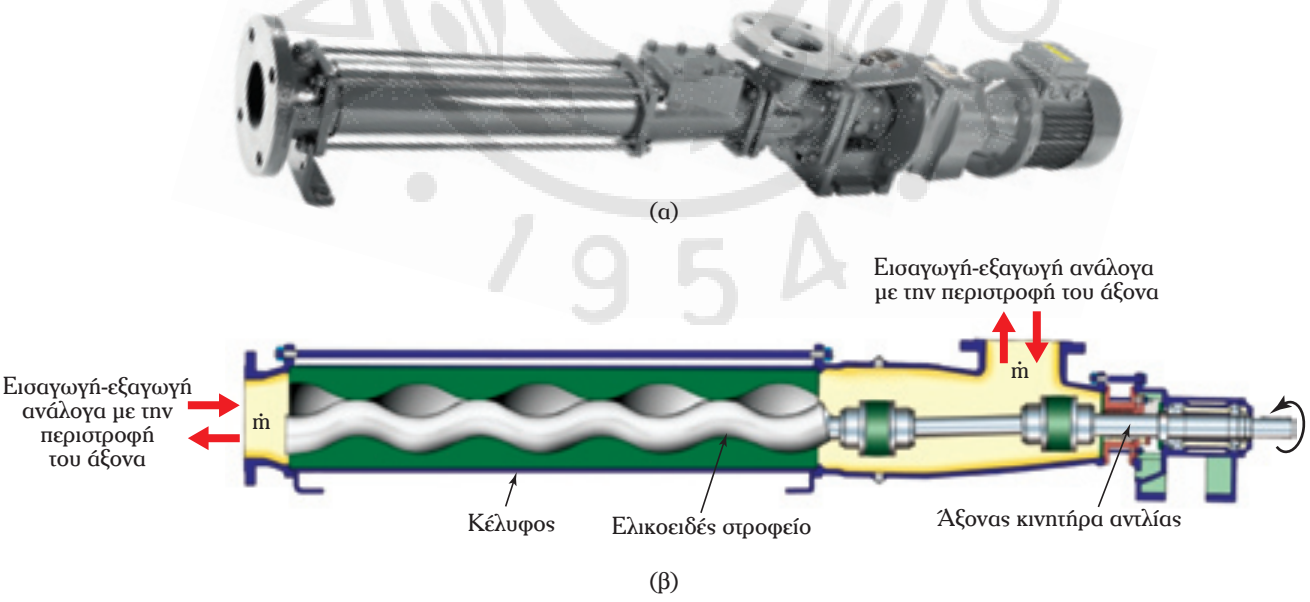
3) ***Αντλίες έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου*** (roto pumps). Με αυτές εξασφαλίζεται η ομαλή μεταφορά του υγρού χωρίς στροβιλισμούς ή παλμούς. Η παροχή είναι συνεχής, ενώ με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του στροφείου επιτυγχάνεται η αντιστροφή της ροής.

Η αντλία αποτελείται από ένα χαλύβδινο ελικοειδές στροφείο, ενώ το κέλυφος κατασκευάζεται εσωτερικά από ελαστομερές υλικό[13] (σχ. 2.7γ). Η γεωμετρία και οι διαστάσεις αυτών των τμημάτων είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να σχηματίζεται μία διπλή σειρά των σφραγισμένων θαλάμων (ή κοιλότητες) όταν το στροφείο στρέφεται μέσα στο κέλυφος. Το στροφείο έχει τη μορφή μονής σπείρας με κυκλική διατομή και καθώς περιστρέφεται, δημιουργείται ένας κάθετος κύκλος που κινείται κατά μήκος της ευθείας που περνάει από το κέντρο περιστροφής του στροφείου. Το στροφείο περιστρέφεται μέσα στο σταθερό κέλυφος, ενώ ταυτόχρονα εφάπτεται στο εσωτερικό του, ώστε ο κύκλος που διαγράφεται κινούμενος κατά μήκος του στροφείου, αντιστοιχεί με τη μετατόπιση των θαλάμων που περιέχουν το ρευστό. Έτσι δημιουργείται η ροή του υγρού από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση που απαιτείται να αναπτύξει η αντλία τόσο αυξάνεται και το μήκος της, ώστε να επιτευχθεί αυτή η πίεση.

Οι αντλίες έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου είναι κατάλληλες για μεταγγίσεις παχυρρεύστων υγρών, όπως τα υπολείμματα δεξαμενών ελαίου ή πετρελαίου (sludge) και υγρών με μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά σωματίδια, ινώδη υλικά, αέρια και ρευστά που δημιουργούν αφρό.

4) Οι ***γραναζωτές*** ή ***οδοντωτές αντλίες*** (geared pumps), ανήκουν στις περιστροφικές αντλίες πολλαπλού στροφείου και διακρίνονται σύμφωνα με την κατασκευή και τη λειτουργία των στροφείων τους σε δύο κατηγορίες:

α) Στις ***αντλίες με εξωτερικά γρανάζια*** ή ***με εξωτερικής οδοντώσεως τροχούς*** (external gear



Σχ. 2.7γ

(α) Αντλία ελικοειδούς στροφείου και (β) σχηματική απεικόνιση και ανάπτυξη των μερών της.

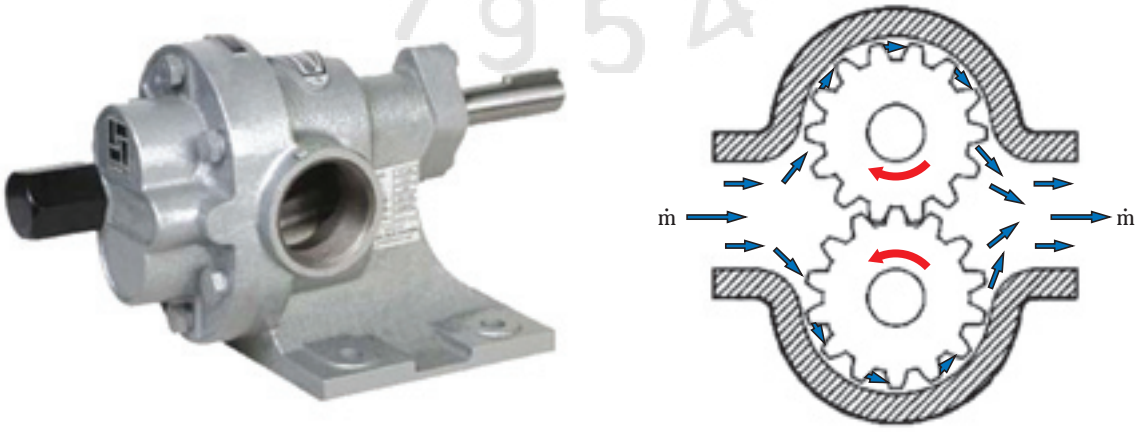
[13] Ως ***ελαστομερές*** χαρακτηρίζεται ένα πολυμερές υλικό που έχει ταυτόχρονα ιξώδες και ελαστικότητα, πολύ ασθενείς διαμοριακές δυνάμεις και γενικά χαμηλό μέτρο ελαστικότητας καθώς και πολύ μεγάλη έλλειψη τάσεως συγκρινόμενο με άλλα υλικά.

pumps) που αποτελούνται από δύο άξονες, οι οποίοι φέρουν οδοντωτούς τροχούς – γρανάζια. Οι δύο οδοντωτοί τροχοί έχουν την ίδια διάμετρο, τον ίδιο αριθμό δοντιών και το ίδιο βήμα. Η περιστροφή τους πραγματοποιείται στο εσωτερικό ενός κελύφους που περιβάλλει και τους δύο τροχούς, ενώ οι δύο παράπλευρες πλάκες, οι οποίες τοποθετούνται στο κέλυφος δημιουργούν τον θάλαμο κυκλοφορίας του ρευστού. Η στήριξη των αξόνων των οδοντωτών τροχών πραγματοποιείται σε κατάλληλα διαμορφωμένες υποδοχές των πλευρικών πλακών, πάνω στις οποίες βρίσκεται και η έξοδος του άξονα για τη σύνδεση με το κινητήριο μηχάνημα περιστροφής. Η στεγανοποίηση του κινητήριου άξονα περιστροφής στην έξοδο από τις πλευρικές πλάκες, συνήθως επιτυγχάνεται με ***τσιμούχες*** (oil seals).

Η κίνηση για την περιστροφή των οδοντωτών τροχών παρέχεται από το κινητήριο μηχάνημα στον ένα από τους δύο άξονες και καθώς τα δόντια συμπλέκονται μεταδίδεται η κίνηση από τον έναν τροχό στον άλλο. Οι τροχοί στρέφονται με αντίθετη φορά, μεταφέροντας το υγρό από την αναρρόφηση σε θαλάμους που δημιουργούνται περιφερειακά με το κέλυφος της αντλίας. Όταν τα δόντια συμπλέκονται πάλι, το υγρό ωθείται προς την κατάθλιψη με πίεση (σχ. 2.7δ).

Η πίεση που αναπτύσσεται λόγω της στεγανότητας μεταξύ των γραναζιών είναι πολύ υψηλή, δημιουργώντας καταπονήσεις στα γρανάζια και στους τριβείς (έδρανα) της αντλίας, με αποτέλεσμα την ακτινική φόρτισή τους. Για τη μείωση της ακτινικής φορτίσεως είτε ανοίγονται διαμετρικές αυλακώσεις στα γρανάζια που επιτρέπουν αντιδιαμετρικά την επικοινωνία των θαλάμων είτε συνδέονται οι περιοχές υψηλής πιέσεως με την πλευρά της αναρροφήσεως και οι περιοχές χαμηλής πιέσεως με την πλευρά της καταθλίψεως μέσω αγωγών επικοινωνίας στο κέλυφος. Ορισμένοι τύποι αντλιών με αγωγούς επικοινωνίας στο κέλυφος διαθέτουν και ρυθμιστικές βαλβίδες για τον έλεγχο της πιέσεως. Επίσης οι καταπονήσεις που οφείλονται στο υγρό που παγιδεύεται, καθώς η οδόντωση του ενός γραναζιού συμπλέκεται μεταξύ των δύο οδοντώσεων του άλλου εξαλείφονται με τη δημιουργία εγκοπών στις πλευρικές πλάκες ή στα έδρανα. Τα γρανάζια κατασκευάζονται από χρωμονικελιούχο χάλυβα και υπόκεινται σε σκλήρυνση με επιφανειακή βαφή, το κέλυφος αποτελείται από χυτοσίδηρο ή ντουραλουμίνιο, ενώ οι παράπλευρες πλάκες από φωσφορούχο ορείχαλκο ή άλλο ειδικό κράμα. Το σχήμα των οδοντώσεων των γραναζιών του στροφείου ανάλογα με την κατασκευή τους, εκτός από ευθύ μπορεί να είναι ελικοειδές ή μορφής ψαροκόκαλου.

Οι γραναζωτές αντλίες αυτομάτου αναρροφήσεως, έχουν σχετικά μικρό μέγεθος, αλλά δίνουν μικρή παροχή, η οποία εξαρτάται από τον όγκο των διακένων και την ταχύτητα περιστροφής. Η πίεση που επιτυγχάνεται φτάνει τα 17 bar, γι' αυτό στην πλευρά της καταθλίψεως εγκαθίστανται εκτονωτικές βαλβίδες. Οι στροφές λειτουργίας κυμαίνονται από 800 έως 3.600 rpm, με την παροχή στις μέγιστες στροφές να φτάνει σε υψηλές τιμές. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της υψηλής στάθμης του θορύβου και των καταπονήσεων των αντλιών, οι στροφές περιστροφής στην πράξη δεν ξεπερνούν το όριο των 1.500 rpm. Οι αντλίες αυτού του τύπου δύναται να λειτουργήσουν και κατά την αντίθετη κατεύθυνση ροής, αρκεί να αντιστραφεί η περιστροφή από το κινητήριο μηχά-



(α) (β)

Σχ. 2.7δ

(α) Γραναζωτή αντλία και (β) σχηματική απεικόνιση της ροής του υγρού.

νημα. Προκειμένου να επιτευχθεί η χρήση αυτή με ασφάλεια πρέπει να υπάρχουν εγκατεστημένες εκτονωτικές βαλβίδες και στις δύο πλευρές της αντλίας. Η δυνατότητα αντιστροφής της λειτουργίας των αντλιών σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που επιτυγχάνονται, αξιοποιείται στην τροφοδότηση υδραυλικών συστημάτων για τη λειτουργία βοηθητικών μηχανημάτων.

Η απόδοση των αντλιών αυτών επηρεάζεται από το διάκενο μεταξύ των δοντιών του στροφείου και το διάκενο μεταξύ αυτών και του κελύφους, ώστε όσο μικρότερα είναι, τόσο αυξάνεται ο βαθμός αποδόσεώς τους.

Σε ορισμένους τύπους αντλιών με εξωτερικά γρανάζια η μετάδοση της κινήσεως πραγματοποιείται πάνω στον ένα άξονα, και στη συνέχεια μεταδίδεται η κίνηση στα στροφεία για τη μεταφορά του υγρού. Σε αυτού του τύπου τις κατασκευές το διάκενο μεταξύ των δοντιών του στροφείου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το διάκενο των δοντιών στους τροχούς κινήσεως, ώστε να μην εφάπτονται οι τροχοί του στροφείου μεταξύ τους, παρέχοντας ελευθερία κινήσεως χωρίς να επηρεάζεται ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας.

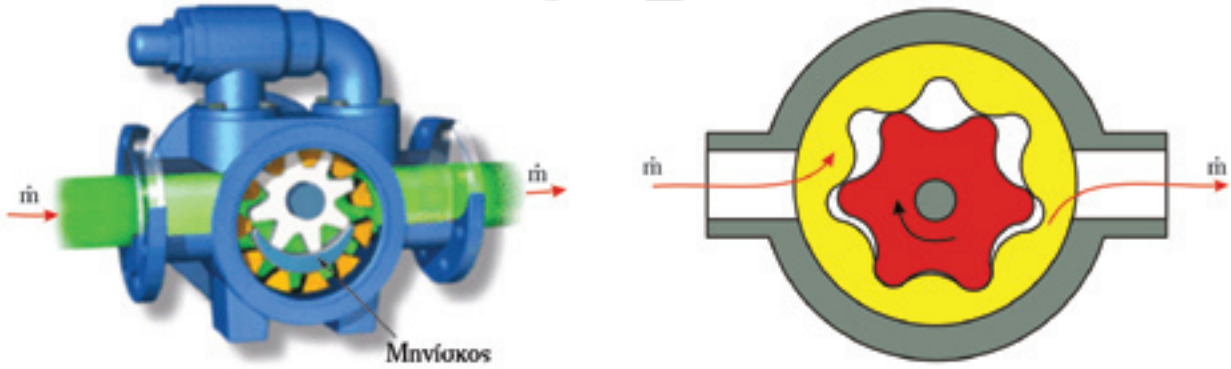
β) Στις ***αντλίες με εσωτερικό γρανάζι*** (internal gear pumps) (σχ. 2.7ε), που αποτελούνται από ένα γρανάζι με εξωτερική οδόντωση, το οποίο περιβάλλεται από έναν άεργο (ελεύθερο) δακτύλιο με εσωτερική οδόντωση. Η κίνηση συνήθως μεταδίδεται στο γρανάζι με την εξωτερική οδόντωση, που κατασκευάζεται με λιγότερα δόντια απ' τις εσοχές (εσωτερικές οδοντώσεις) του δακτυλίου με αποτέλεσμα λόγω της διαφοράς του αριθμού δοντιών και εσοχών, οι στροφές του δακτυλίου να είναι λιγότερες από τις στροφές του γραναζιού.

Καθώς το γρανάζι με την εξωτερική οδόντωση περιστρέφεται με τη φορά του σχήματος 2.7ε(β), παρασύρει τον εξωτερικό δακτύλιο με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος των θαλάμων υγρού, δημιουργώντας κενό για την αναρρόφηση του υγρού. Στη συνέχεια οι οδοντώσεις εισέρχονται στις εσοχές του δακτυλίου, έτσι ώστε το υγρό να οδηγείται στην κατάθλιψη. Το σύστημα γρανάζι και δακτύλιος περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος, ενώ παράπλευρα του κελύφους υπάρχουν πλάκες που δημιουργούν το θάλαμο κυκλοφορίας του υγρού.

Σε άλλους τύπους αντλίας με εσωτερικό γρανάζι στο χώρο μεταξύ των δοντιών των δύο τροχών υπάρχει μηνίσκος (ημισεληνοειδές διάφραγμα), διατηρώντας στεγανούς θαλάμους ανάμεσα στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη [σχ. 2.7ε(α)]. Το ημισεληνοειδές διάφραγμα είναι απαραίτητο διότι εμποδίζει την επιστροφή του υγρού από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση. Τα διάκενα μεταξύ των τμημάτων που αποτελούν την αντλία είναι μικρά, ώστε η επαρκής στεγανοποίηση μεταξύ των θαλάμων να διατηρεί την απόδοση της αντλίας σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Οι στροφές λειτουργίας των αντλιών αυτών φτάνουν τις 1.200 rpm για υγρά χαμηλού ιξώδους, ενώ όταν χρησιμοποιούνται στην άντληση υγρών υψηλού ιξώδους οι στροφές περιστροφής είναι μικρές, ώστε να υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος να εισέλθει το παχύρρευστο υγρό στους θαλάμους που δημιουργούνται μεταξύ των γραναζιών.

5) Οι ***αντλίες με λοβούς*** (σχ. 2.7στ), κατασκευάζονται και λειτουργούν όπως οι γραναζωτές, αλλά κάθε στροφείο έχει δύο ή περισσότερους λοβούς. Οι επιφάνειες των στροφείων έχουν τέτοια μορφή, ώστε



(α) (β)

Σχ. 2.7ε

(α) Γραναζωτή αντλία με εσωτερικό γρανάζι και μηνίσκο και (β) με εσωτερικό γρανάζι.

να συνεργάζονται εξασφαλίζοντας συνεχώς στεγανότητα μεταξύ τους, καθώς και με την εσωτερική περιφέρεια στο εσωτερικό του κελύφους της αντλίας.

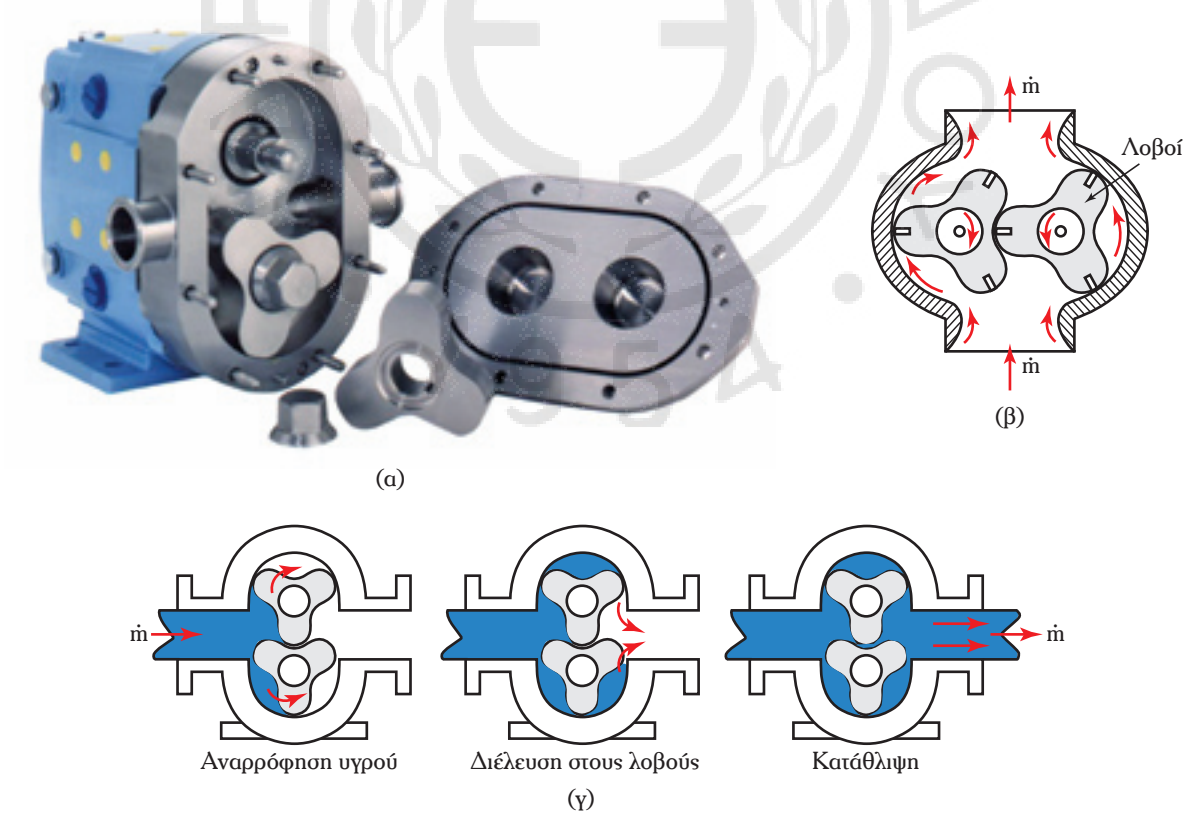
Στην κορυφή κάθε λοβού, ανάλογα με τον τύπο της αντλίας εφαρμόζονται μεταλλικές ακτίνες, που ωθούνται εσωτερικά από εντατικά ελατήρια, ενισχύοντας την επαφή των ακτίνων με το εσωτερικό του κελύφους αυξάνοντας τη στεγανοποίηση κατά την περιστροφή των λοβών. Ο χρονισμός των στροφείων πραγματοποιείται εξωτερικά από το κέλυφος της αντλίας, με γρανάζια που τοποθετούνται στους άξονες περιστροφής των στροφείων. Λόγω του μικρού αριθμού των λοβών ενδέχεται να παρουσιάζονται διακυμάνσεις της παροχής κατά τη λειτουργία των αντλιών, ενώ παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις οδοντωτές αντλίες διότι τα μεταλλικά μέρη των λοβών στα σημεία επαφής τους, συνήθως, καλύπτονται από προστατευτικό επίθεμα. Η χρήση τους ενδείκνυται στη μετάγγιση υγρών υψηλού ιξώδους και υγρών, που περιέχουν μεγάλη ποσότητα αιωρουμένων στερεών σωματιδίων, με την προϋπόθεση ότι η λειτουργία τους πραγματοποιείται σε χαμηλές στροφές.

Σύνηθες υλικό κατασκευής αντλιών με λοβούς είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας, το πλαστικό ή τα κεραμικά υλικά.

6) Οι ***αντλίες με κοχλίες*** αποτελούνται από το κέλυφος και τους ατέρμονες κοχλίες που περιστρέφονται μέσα σε αυτό. Ανάλογα με τη διάταξη και τον τρόπο λειτουργίας τους διακρίνονται σε δύο τύπους:

α) Τις ***αντλίες με χρονιζόμενους*** ή ***σύγχρονους κοχλίες*** (timed screw pumps), που κατασκευάζονται με δύο άξονες, έναν με δεξιόστροφο και έναν με αριστερόστροφο κοχλία (σχ. 2.7ζ). Ο ένας από τους δύο άξονες συνδέεται στο κινητήριο μηχάνημα και παρέχει την κίνηση στον άλλο με εξωτερικά γρανάζια, έτσι ώστε οι κοχλίες ενώ εμπλέκονται με ακρίβεια δεν έρχονται σε επαφή. Οι κοχλίες με το κέλυφος σχηματίζουν θαλάμους που μετακινούνται παράλληλα προς τους άξονες, καθώς αυτοί περιστρέφονται μεταφέροντας το υγρό από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη.

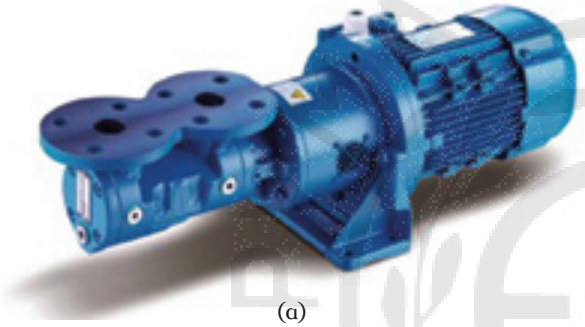
β) Τις ***αντλίες με ακρόνιστους*** ή ***ασύγχρονους κοχλίες*** (untimed screw pumps), που κατασκευάζονται με τρεις άξονες (σχ. 2.7η). Οι αντλίες αυτές δεν έχουν γρανάζια μεταδόσεως της κινήσεως σε κάθε άξονα, αλλά ο κεντρικός κοχλίας παίρνει την κίνηση



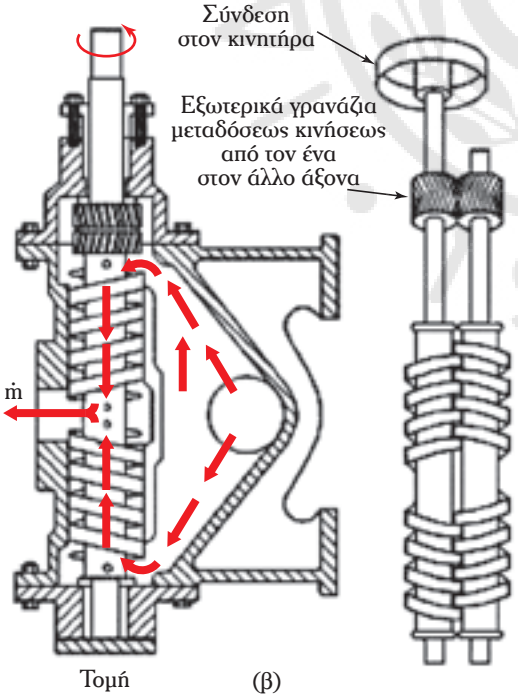
Σχ. 2.7στ

(α) Αντλία με λοβούς, (β) σχηματική απεικόνιση αντλίας με μεταλλικές ακτίνες στους λοβούς και (γ) ροή του υγρού.

και τη μεταδίδει στους πλευρικούς κοχλίες άμεσα με επαφή. Η αρχή μεταφοράς του υγρού είναι η ίδια με τους σύγχρονους μέσω των θαλάμων που δημιουργούνται από τους κοχλίες με το κέλυφος. Η στήριξη των αξόνων πραγματοποιείται σε κατάλληλα διαμορφωμένο σημείο στο κέλυφος διατηρώντας τους στην επιθυμητή θέση. Αυτού του τύπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται στην άντληση μόνο απόλυτα καθαρών υγρών, διότι οι κοχλίες έρχονται σε άμεση επαφή με πίεση και τυχόν στερεά σωματίδια μέσα στο υγρό θα προκαλούσαν την καταστροφή των επιφανειών και πτώση της αποδόσεως της αντλίας. Επίσης διαθέτουν υψηλή αναρροφητική ικανότητα και επιτυγχάνουν ομαλή διακίνηση του υγρού χωρίς να το ανακατεύουν, αποτρέποντας τη δημιουργία γαλακτωμάτων.



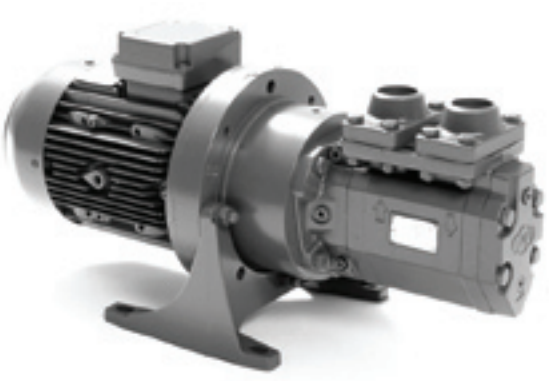
(α)



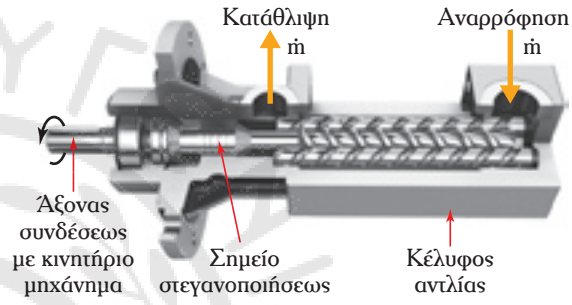
(β)

Σχ. 2.7ζ

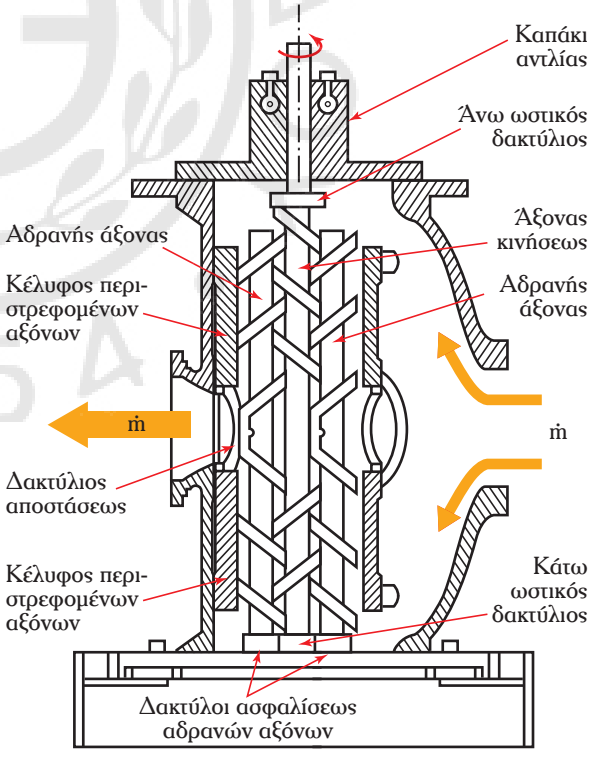
(α) Αντλία με σύγχρονους (ή χρονιζόμενους) κοχλίες και (β) σχηματική απεικόνιση.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 2.7η

(α) Αντλία με ασύγχρονους κοχλίες, (β) τομή και (γ) σχηματική απεικόνιση.

7) ***Περιστροφικές αντλίες με έμβολα μεταβλητής διαδρομής*** (rotary pumps with variable piston strake). Οι αντλίες αυτές μπορούν να αναπτύξουν μεγάλη πίεση. Η ιδιαιτερότητά τους έγκειται στην ικανότητα να αναπτύσσουν πολλές στροφές περιστροφής, παρά το γεγονός ότι η αναρρόφηση και η κατάθλιψη δημιουργούνται με την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων.

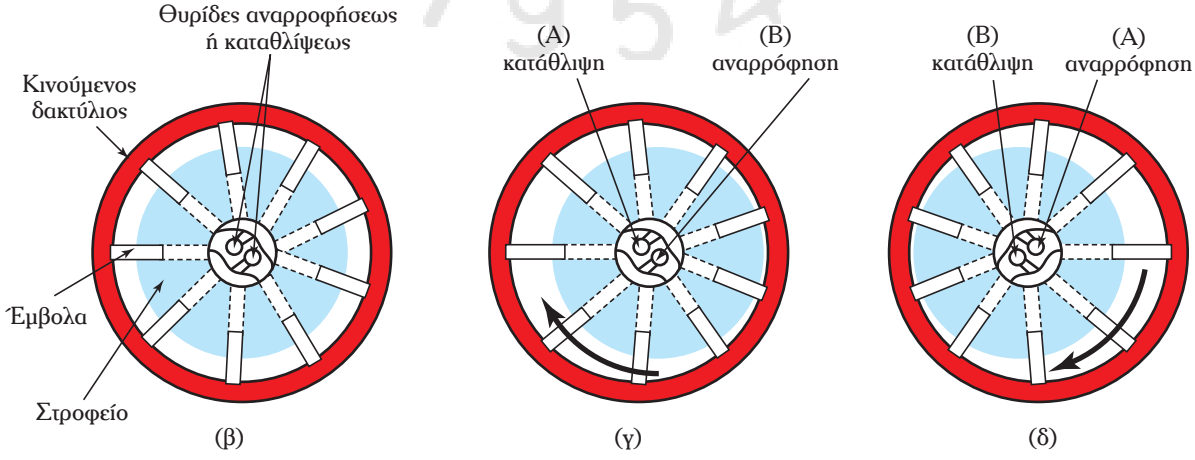
Κατά τη λειτουργία τους τα έμβολα παλινδρομούν μέσα σε ανάλογο αριθμό κυλίνδρων διατεταγμένων είτε ακτινικά (κάθετα), είτε παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής της αντλίας. Εξαιτίας της διατάξεως αυτής διακρίνονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες:

α) Σε ***εμβολοφόρες αντλίες ακτινικών εμβόλων***, όπου οι κύλινδροι των εμβόλων των αντλιών που αποτελείται το στροφείο, είναι κάθετα διαταγμένοι προς τον άξονα της αντλίας και περιστρέφονται στο εσωτερικό ενός δακτυλίου, το οποίο μπορεί και μετατοπίζεται μέσα στο κυλινδρικό κέλυφος της αντλίας. Αντίστοιχα, τα έμβολα που τοποθετούνται στους κυλίνδρους, με την περιστροφή του στροφείου ωθούνται προς την περιφέρεια λόγω της φυγοκεντρικής δυνάμεως, με τον άξονά τους κάθετο στον άξονα περιστροφής του στροφείου. Στο κέντρο του στροφείου βρίσκονται οι θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως της αντλίας (σχ. 2.7θ).

Με τη λειτουργία της αντλίας, τα έμβολα ωθούνται περιφερειακά ολισθαίνοντας στο δακτύλιο διατηρώντας την ίδια απόσταση από το κέντρο περιστροφής του στροφείου, εφόσον το κέντρο του δακτυλίου συμπίπτει με το κέντρο του στροφείου [σχ. 2.7θ(β)]. Αν ο δακτύλιος μετατοπιστεί προς το κέλυφος της αντλίας, τα έμβολα που ολισθαίνουν πάνω σε αυτόν αναγκάζονται σε παλινδρομική κίνηση. Έτσι μεταβάλλεται ο όγκος στο εσωτερικό των κυλίνδρων, ώστε να επιτυγχάνεται η αναρρόφηση και η κατάθλιψη. Όταν ο δακτύλιος βρίσκεται στην αριστερή θέση [σχ. 2.7θ(γ)], η αναρρόφηση πραγματοποιείται από τη θυρίδα Β και η κατάθλιψη από τη θυρίδα Α. Αντίστοιχα με το δακτύλιο στη δεξιά πλευρά [σχ. 2.7θ(δ)], η αναρρόφηση πραγματοποιείται από τη θυρίδα Α και η κατάθλιψη από τη θυρίδα Β.

Το στροφείο σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της αντλίας, περιστρέφεται προς την ίδια διεύθυνση, ώστε η κατάθλιψη να επιτυγχάνεται μόνο από τη μετατόπιση του δακτυλίου χωρίς να απαιτείται η διακοπή της περιστροφής της αντλίας. Με τον ίδιο τρόπο επιτυγχάνεται και η μεταβολή της παροχής, η οποία πραγματοποιείται με τη μεταβολή της σχετικής θέσεως του κέντρου του στροφείου με το κέντρο του δακτυλίου, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ανάλογα το εκτόπισμα των κυλίνδρων, άρα και η ποσότητα καταθλίψεως του υγρού από την αντλία.

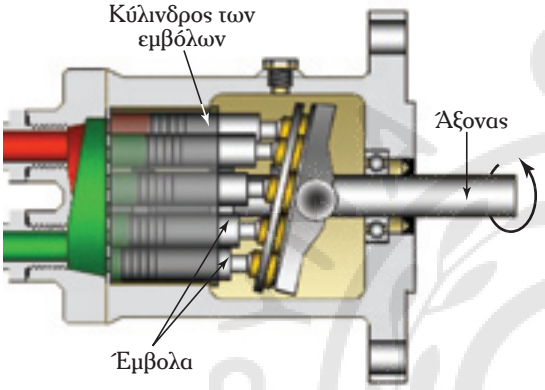
(α)



Σχ. 2.7θ

(α) Εμβολοφόρος αντλία ακτινικών εμβόλων, (β), (γ) και (δ) οι φάσεις λειτουργίας της.

β) Σε ***εμβολοφόρες αντλίες αξονικών εμβόλων***, όπου τα έμβολα είναι σε παράλληλη διάταξη γύρω από τον άξονα περιστροφής του στροφείου (σχ. 2.7ι). Το στροφείο αποτελείται από τους κυλίνδρους των εμβόλων και περιστρέφεται από τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα που δίνει την κίνηση στην αντλία. Οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής του ρευστού, βρίσκονται στο σώμα της αντλίας που αποτελεί το καπάκι των κυλίνδρων. Έτσι με την περιστροφή του στροφείου, καθώς οι κύλινδροι διέρχονται από τις θυρίδες αντίστοιχα αναρροφούν ή καταθλίβουν το ρευστό.



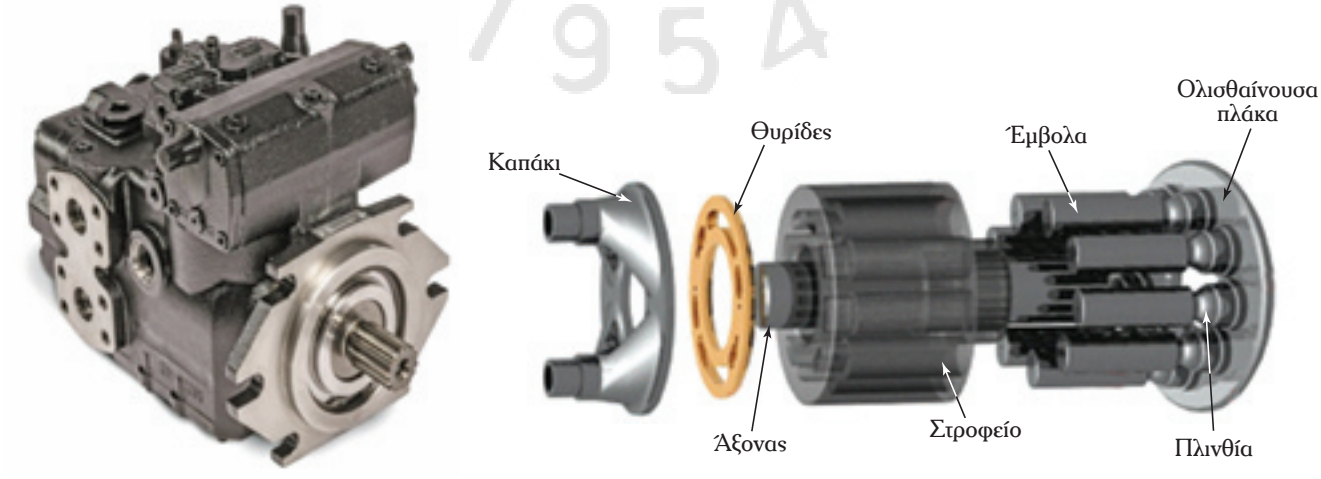
Σχ. 2.7ι
Εμβολοφόρος αντλία αξονικών εμβόλων.

Η ελεύθερη άκρη του βάκτρου των εμβόλων, εφάπτεται σε κατάλληλα διαμορφωμένα πλινθία που ολισθαίνουν στην επιφάνεια δίσκου (λεκάνης) με επίπεδο κάθετο στον άξονα περιστροφής του στροφείου. Ο δίσκος διαθέτει τη δυνατότητα να μεταβάλει την κλίση του προς τον άξονα περιστροφής, υπό την επίδραση εξωτερικού μηχανισμού ελέγχου, ορίζοντας το μήκος της ενεργής διαδρομής των εμβόλων άρα και την παροχή του ρευστού που διακινείται.

Με την περιστροφή του συστήματος κυλίνδρων-εμβόλων και του δίσκου στην κάθετη θέση προς τον κινητήριο άξονα, τα έμβολα ολισθαίνουν χωρίς να παλινδρομούν και δεν γίνεται αναρρόφηση ή κατάθλιψη (σχ. 2.7ια). Όταν μεταβληθεί η θέση του δίσκου, προς τον άξονα περιστροφής, τα έμβολα που συνεχώς ολισθαίνουν στην επιφάνειά του αρχίζουν να παλινδρομούν μεταβάλλοντας τον εσωτερικό χώρο των κυλίνδρων. Με την απομάκρυνση των εμβόλων, σε σχέση με το καπάκι της αντλίας, επιτυγχάνεται η αναρρόφηση και αντίστοιχα όσο αυτά το πλησιάζουν ακολουθώντας την κλίση του δίσκου καταθλίβεται το ρευστό από τη θυρίδα στο δίκτυο. Έτσι η παροχή της αντλίας, καθώς μεταβάλλεται ανάλογα με την κλίση του δίσκου, παρέχει στο δίκτυο ανάλογα μεγαλύτερη ή μικρότερη ποσότητα απ' το ρευστό.

Λόγω του μεγάλου αριθμού στροφών περιστροφής που δύναται να αναπτυχθεί από την αντλία και της μεγάλης πιέσεως καταθλίψεως από τα έμβολά της, αναπτύσσονται οι κατάλληλες προϋποθέσεις χρήσεως των αντλιών αυτών για την παροχή υδραυλικού ελαίου σε έμβολα στρέψεως του πηδαλίου, σε υδραυλικά βαρούλκα κ.ά..

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των αντλιών η κλίση για τη μεταβολή της παροχής μπορεί να δίνεται, εκτός από το δίσκο που ολισθαίνουν τα πλινθία των εμβόλων, στο στροφείο της αντλίας επιτυγχάνοντας τα ίδια αποτελέσματα. Επίσης, τα έμβολα των



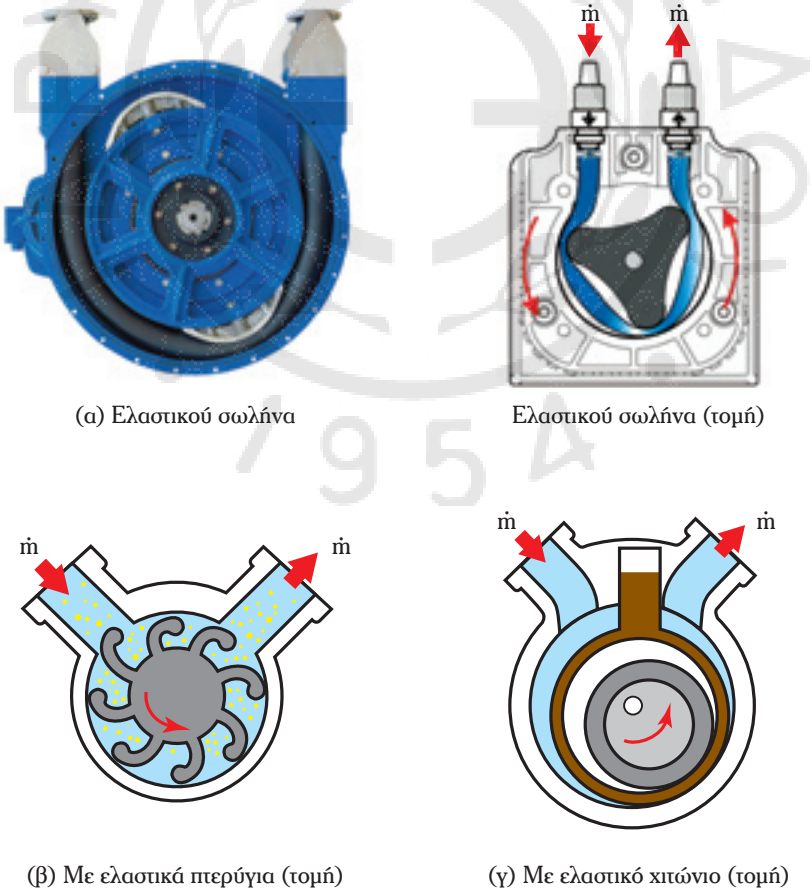
Σχ. 2.7ια
(α) Αντλία με επιμήκυνση στα έμβολα και (β) τα μέρη της.

αντλιών μπορεί να διαθέτουν βάκτρο ή να επιμηκύνεται το σώμα τους και να δημιουργούνται σφαιρικά άκρα που εφάπτονται με τα πλινθία ολισθήσεως στο δίσκο μεταβαλλόμενης κλίσεως.

8) ***Περισταλτικές αντλίες*** (peristaltic pumps) (σχ. 2.7ιβ). Οι αντλίες αυτές αποτελούν έναν ακόμα τύπο περιστροφικών αντλιών θετικής εκτοπίσεως. Η άντληση, όπως και η πρόληψη διαρροής, είτε από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση είτε μεταξύ των θαλάμων υψηλής και χαμηλής πιέσεως κατά τη μεταφορά του υγρού, βασίζεται στην ελαστικότητα του εύκαμπτου μέλους τους. Αυτό μπορεί να είναι ελαστικός σωλήνας, μια ελαστική πτερωτή ή ένα ελαστικό χιτώνιο διακρίνοντας τις αντλίες σε:

α) ***Αντλίες με ελαστικό σωλήνα*** [σχ. 2.7ιβ(α)], οι οποίες αποτελούνται από το στροφείο, το κέλυφος και τον ελαστικό σωλήνα εγκατεστημένο περιφερειακά στο εσωτερικό του κελύφους της αντλίας. Το κινητήριο μηχάνημα μεταδίδει την κίνηση στο στροφείο, που είναι κατασκευασμένο με περιφερειακά διάκενα. Τα διάκενα, ως σκοπό έχουν να δημιουργήσουν κατά μήκος του ελαστικού σωλήνα τους θαλάμους για τη μεταφορά του ρευστού. Με την περιστροφή πιέζεται ο ελαστικός σωλήνας σταδιακά, επιτυγχάνοντας την άντληση και τη μεταφορά του υγρού. Λόγω της συγκεκριμένης ποσότητας που μεταφέρεται σε κάθε μετατόπιση του στροφείου σε σχέση με το σωλήνα, οι αντλίες με ελαστικό σωλήνα χρησιμοποιούνται ως δοσομετρικές, που παρέχουν σταθερή ποσότητα από το αντλούμενο υγρό σε κάθε περιστροφή του στροφείου.

β) ***Αντλίες με ελαστικά πτερύγια*** [σχ. 2.7ιβ(β)], στις οποίες η αναρρόφηση και η κατάθλιψη επιτυγχάνεται με στροφείο που αποτελείται από εύκαμπτα ελαστικά πτερύγια εγκατεστημένα σε ακτινική διάταξη γύρω από τον άξονα μεταδόσεως της κινήσεως. Το κέλυφος, που περιβάλλει το στροφείο, μαζί με τα ελαστικά πτερύγια δημιουργούν τους θαλάμους για τη μεταφορά του υγρού από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη, οι οποίες βρίσκονται στην περιφέρεια του κελύφους. Συνήθως είναι εξαρτημένες αντλίες, διότι ο κινητήριος άξονας του



(α) Ελαστικού σωλήνα

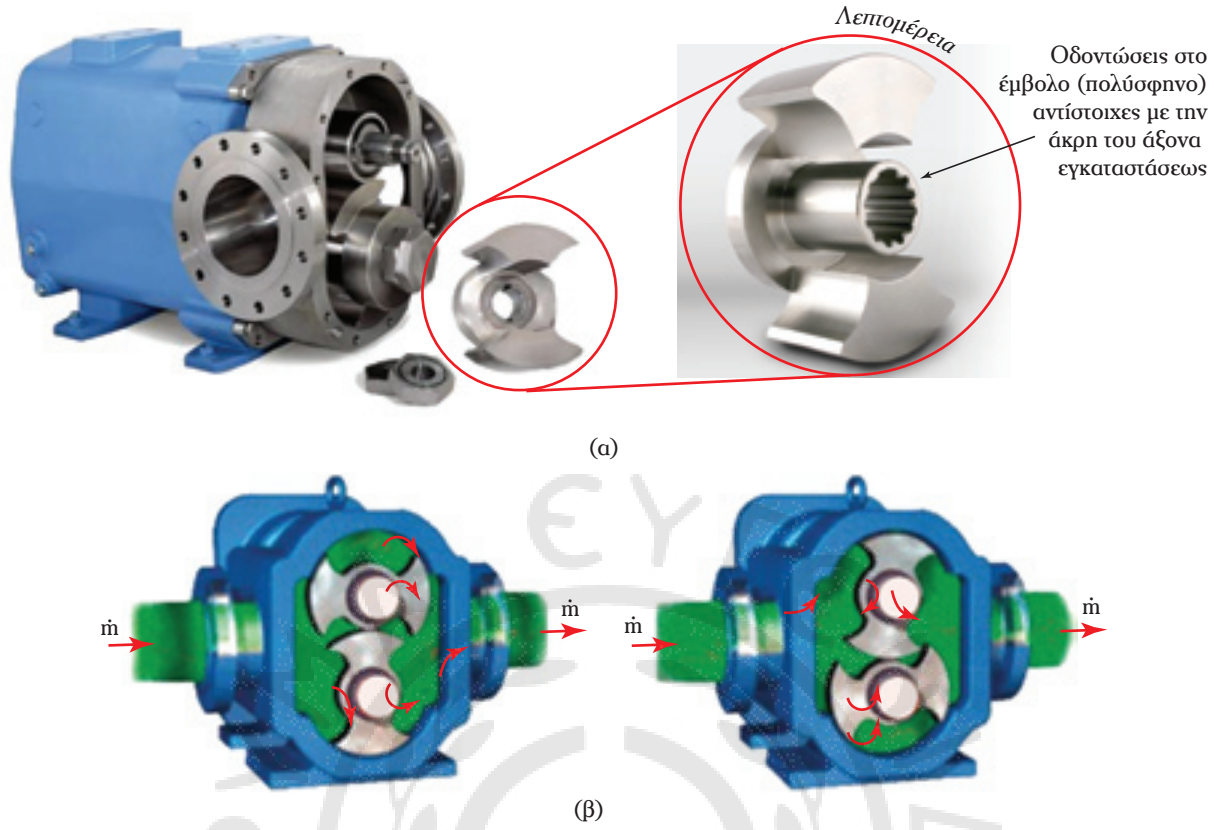
Ελαστικού σωλήνα (τομή)

(β) Με ελαστικά πτερύγια (τομή)

(γ) Με ελαστικό χιτώνιο (τομή)

Σχ. 2.7ιβ

Τύποι περισταλτικών αντλιών.



Σχ. 2.7ιγ

(α) Αντλία περιφερειακών εμβόλων, (β) φάσεις λειτουργίας της.

στροφείου κινείται μέσω κατάλληλης διατάξεως από το μηχάνημα που εξυπηρετούν. Χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του νερού στο δίκτυο ψύξεως των κυλίνδρων σε μικρής ιπποδυνάμεως μηχανές, σε αεροσυμπιεστές κ.ά..

γ) ***Αντλίες με ελαστικό χιτώνιο***, που αποτελούνται από το έκκεντρο μεταλλικό ή από σκληρό συνθετικό υλικό στροφείο, που περιστρέφεται μέσα στο ελαστικό χιτώνιο [σχ. 2.7ιβ(γ)]. Το ελαστικό χιτώνιο είναι εγκατεστημένο στο εσωτερικό του κελύφους, έτσι ώστε μεταξύ χιτωνίου και κελύφους να δημιουργείται ένας περιφερειακός θάλαμος για τη μεταφορά του υγρού. Με την περιστροφή του έκκεντρου στροφείου, πιέζεται εσωτερικά το ελαστικό χιτώνιο επάνω στην εσωτερική περιφέρεια του κελύφους, με αποτέλεσμα σε κάθε μία περιστροφή να εκτοπίζεται μία ποσότητα του αντλούμενου υγρού, από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη που βρίσκονται στην περιφέρεια του κελύφους. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την παροχή συγκεκριμένης ποσότητας χημικών υγρών (δοσομετρικές) και λειτουργούν με χαμηλές στροφές για μικρές απαιτήσεις παροχής.

9) ***Αντλίες περιφερειακών εμβόλων (circumferential piston pumps)***. Πρόκειται για αντλίες που αποτελούνται από δύο μόνο κινούμενα στροφεία στο εσωτερικό του κελύφους διακινήσεως του ρευστού (σχ. 2.7ιγ). Πάνω στα στροφεία είναι τοποθετημένα τα έμβολα που η κίνησή τους επιτυγχάνεται από δύο περιστρεφόμενους άξονες. Τα έμβολα είναι κατασκευασμένα από μεταλλικά κράματα κατάλληλα για το ρευστό που διακινείται, και εγκατεστημένα σταθερά στους άξονες κινήσεως σε κατάλληλες οδοντώσεις στην άκρη των αξόνων (πολύσφηνο). Αντίστοιχες οδοντώσεις υπάρχουν στο έμβολο, ώστε να κινούνται με τις ίδιες στροφές. Οι άξονες εξέρχονται από το κέλυφος με τον ένα από αυτούς να συνδέεται στον κινητήρα. Η κίνηση στον άλλο άξονα επιτυγχάνεται με εξωτερικά γρανάζια χρονισμού. Ως εκ τούτου δεν υπάρχει καμία επαφή μεταξύ των επιφανειών των εμβόλων, όπως συμβαίνει στις αντλίες με λοβούς και με κοχλίες, καθιστώντας τις αντλίες περιφερειακών εμβόλων αξιόπιστες για την άντληση ρευστών με μικρά αιωρούμενα σωματίδια.

Η άντληση επιτυγχάνεται από τα περιφερειακά έμβολα που καθώς περιστρέφονται, αυξάνεται ο όγκος που δημιουργείται μεταξύ των εμβόλων και του κελύφους. Τότε το ρευστό εισέρχεται από την αναρρόφηση. Στη συνέχεια, καθώς συνεχίζεται η περιστροφή των εμβόλων, ο όγκος αυτός μειώνεται σταδιακά αναγκάζοντας το υγρό να εξέλθει με πίεση από την κατάθλιψη.

Η στεγανοποίηση που απαιτείται μεταξύ των εμβόλων, της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους και των καπακιών, επιτυγχάνεται με πολύ μικρά διάκενα (ελευθερίες). Ενώ, η στεγανοποίηση των αξόνων στην έξοδό τους από το κέλυφος διακινήσεως του ρευστού επιτυγχάνεται με μηχανικούς στυπειοθλίπτες για τη στήριξη των αξόνων χρησιμοποιούνται ένσφαιροι τριβείς κατάλληλα εγκατεστημένοι στο κέλυφος της αντλίας.

Οι αντλίες αυτές είναι χρησιμοποιούνται σε ευρύ φάσμα εφαρμογών λόγω των σχετικά χαμηλών απαιτήσεων σε ταχύτητες περιστροφής, ενώ είναι κατάλληλες για την άντληση παχυρρεύστων υγρών και την επίτευξη μεγάλης πιέσεως καταθλίψεως σε σχέση με άλλες αντλίες. Επίσης είναι απλές στο σχεδιασμό και στη συντήρησή τους.

2.8 Παροχή περιστροφικών αντλιών.

Οι περιστροφικές αντλίες, όπως περιγράφονται στις προηγούμενες παραγράφους, κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους. Ο υπολογισμός της παροχής του υγρού είναι συνάρτηση των γεωμετρικών στοιχείων του στροφείου της αντλίας. Έτσι:

1) Για γραναζωτή ή οδοντωτή αντλία με δύο οδοντωτούς τροχούς (ευθείς ή ελικοειδείς), ο όγκος του υγρού (V) που μετακινείται από το στροφείο σε μια στροφή του κάθε τροχού είναι το γινόμενο της επιφάνειας διατομής του διαστήματος μεταξύ δύο συνεχομένων δοντιών (A), του μήκους των δοντιών (ℓ) και του αριθμού των δοντιών του κάθε τροχού (z). Η επιφάνεια διατομής του διαστήματος μεταξύ δύο συνεχομένων δοντιών (A), είναι το γινόμενο του τόξου της βασικής περιφέρειας μεταξύ δύο συνεχομένων δοντιών και του ύψους του δοντιού (σχ. 2.8).

Επειδή η αντλία έχει δύο τροχούς τότε, ο μετακινούμενος όγκος υγρού δίνεται από τη σχέση:

$$V = 2 \cdot A \cdot \ell \cdot z \qquad (2.18)$$

Τότε η θεωρητική παροχή $\dot{V}_\theta$ της αντλίας για αριθμό στροφών (n), προκύπτει από τη σχέση:

$$\dot{V}_\theta = V \cdot n \qquad (2.19)$$

2) Για κοχλιοειδή αντλία, η θεωρητική παροχή υπολογίζεται από το γινόμενο του όγκου που μεταφέρεται και του αριθμού των στροφών. Αλλά από τη μορφή των στροφείων, ο ελικοειδής δακτυλιοειδής μεταφερόμενος όγκος του υγρού δίνεται ως:

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \beta \qquad (2.20)$$

όπου: D η εξωτερική διάμετρος του κοχλία σε m, d η εσωτερική διάμετρος του κοχλία σε m και β το βήμα σε m.

Έτσι η θεωρητική παροχή για (n) αριθμό στροφών, δίνεται απ' τη σχέση:

$$\dot{V}_\theta = 2 \cdot V \cdot n$$

Με την αντικατάσταση του όγκου η θεωρητική παροχή μπορεί να γραφεί και ως:

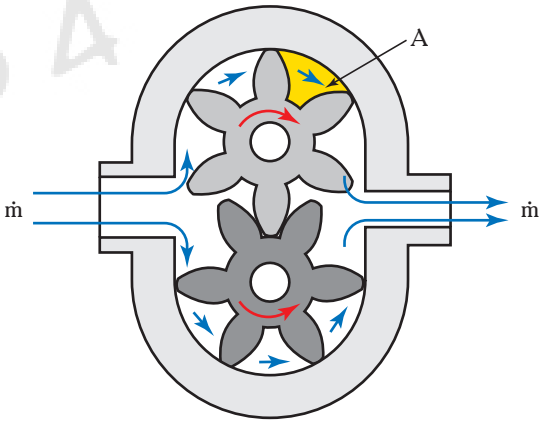
$$\dot{V}_\theta = 2 \cdot \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \beta \cdot n \qquad (2.21)$$

Η πραγματική παροχή των αντλιών, λόγω των απωλειών δίνεται απ' το γινόμενο της θεωρητικής παροχής $\dot{V}_\theta$ και του ογκομετρικού βαθμού αποδόσως (η_V) από τη σχέση:

$$\dot{V} = \dot{V}_\theta \cdot \eta_V \qquad (2.22)$$

όπου: $\dot{V}_\theta$ είναι η θεωρητική παροχή και η_V ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως.

Στον πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι των περιστροφικών αντλιών με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.



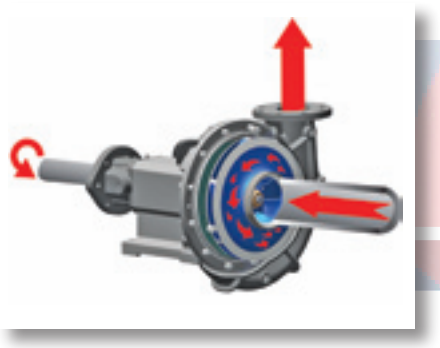
Σχ. 2.8
Επιφάνεια διατομής μεταξύ δύο συνεχομένων δοντιών (A).

Πίνακας 2.8
Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα περιστροφικών αντλιών.

Τύπος αντλίας	***Πλεονεκτήματα***	***Μειονεκτήματα***	***Αντλούμενα ρευστά***
Γραναζωτές.	Αποτελούνται από λιγότερα κινούμενα μέρη και έχουν πιο απλή κατασκευή σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους.	Δεν έχουν την ικανότητα να αντλήσουν υγρά που περιέχουν αιωρούμενα στερεά σωματίδια.	Καθαρά ρευστά και υψηλού ιξώδους.
Με λοβούς.	Ενδείκνυνται ως αντλίες βιολογικών λυμάτων και έχουν ήπια αντλητική ικανότητα.	Παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση για την ανύψωση υγρών μικρού ιξώδους.	Ρευστά μεγάλου ιξώδους με περιεκτικότητα σε μικρά στερεά.
Περισταλτικές.	Δεν απαιτείται στεγανοποίηση του άξονα μεταδόσεως της κινήσεως μειώνοντας τις πιθανότητες ρυπάνσεως από διαρροή, έχουν χαμηλό κόστος συντηρήσεως.	Δεν ενδείκνυνται για την άντληση ρευστών με σχετικά μεγάλο ιξώδες.	Διαβρωτικά υγρά, μεγάλου ιξώδους, που περιέχουν μικρά στερεά.
Με κοχλίες.	Ενδείκνυνται για υψηλές απαιτήσεις παροχής, παρέχουν στρωτή ροή και το ρευστό κατά την άντληση δεν σχηματίζει γαλακτώματα.	Είναι υψηλού κόστους και απαιτείται να είναι μεγάλου μεγέθους για την επίτευξη υψηλών πιέσεων.	Μεγάλου ιξώδους ρευστά που δεν περιέχουν αιωρούμενα ρευστά.
Πτερυγιοφόρες.	Είναι αποδοτικές στη δημιουργία κενού και έχουν καλή απόδοση ακόμα και χωρίς λιπαντικό μέσο.	Το στροφείο αποτελείται από πολλά εξαρτήματα, δεν ενδείκνυται η χρήση τους για ρευστά με σχετικά μεγάλο ιξώδες, δεν αναπτύσσουν υψηλή πίεση.	Υγρά μικρού ιξώδους, αέρια, διαλύτες, υδατικά διαλύματα, αλκοόλες, αεροζόλ κ.ά..
Με έμβολα.	Έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσουν μεγάλη πίεση, ενώ λειτουργούν με υψηλή ταχύτητα. Έχουν την δυνατότητα αντιστροφής της ροής στο δίκτυο χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία τους.	Αντλίες με πολλά εξαρτήματα στροφείου, υψηλό κόστος.	Υδραυλικά έλαια και διακίνηση ρευστών μικρού ιξώδους σε υψηλή πίεση.
Υγρών εμβόλων.	Ενδείκνυνται για την αφαίρεση του αέρα από το δίκτυο αναρροφήσεως ή από το εσωτερικό φυγοκεντρικής αντλίας.	Παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση, ενώ δεν έχουν την δυνατότητα να αντλήσουν διαφορετικά υγρά, διότι το αντλούμενο υγρό αναμειγνύεται με το υγρό λειτουργίας.	Αέρια.

(συνεχίζεται)

Τύπος αντλίας	***Πλεονεκτήματα***	***Μειονεκτήματα***	***Αντλούμενα ρευστά***
Έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου.	Είναι αποδοτικές στη δημιουργία κενού και στην άντληση παχυρρεύστων υγρών, ενώ έχουν καλή απόδοση ακόμα χωρίς λιπαντικό μέσο.	Δεν ενδείκνυται για την άντληση με λειαντικές ιδιότητες.	Ρευστά μεγάλου ιξώδους, με περιεκτικότητα σε μικρά στερεά.
Περιφερειακών εμβόλων	Έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσουν μεγάλη πίεση, λειτουργούν με υψηλή ή χαμηλή ταχύτητα.	Δεν ενδείκνυται για την άντληση ρευστών με λειαντικές ιδιότητες.	Ρευστά μεγάλου ιξώδους, με περιεκτικότητα σε μικρά στερεά.



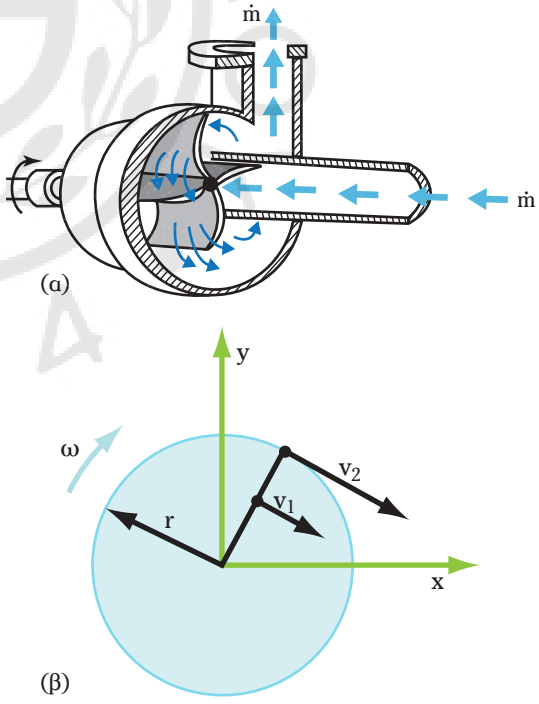
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
Δυναμικές αντλίες

Γενικά.

Στούς συνηθέστερους τύπους ***δυναμικών αντλιών*** ή ***αντλιών κινητικού τύπου***, ένα ή περισσότερα στροφεία με πτερύγια εδράζονται σε έναν άξονα που περιστρέφεται μέσα σε ένα περίβλημα (κέλυφος της αντλίας) (pump body). Το στροφείο μαζί με τα τοποθετημένα σ' αυτό πτερύγια ονομάζεται ***πτερωτή*** (impeller). Το υγρό εισέρχεται συνήθως στο κέντρο της πτερωτής και ωθούμενο από τα πτερύγια αποκτά κινητική ενέργεια. Στους φυγοκεντρικούς τύπους αυτών των αντλιών, που είναι και οι πιο διαδεδομένοι, με τη λειτουργία της αντλίας αυξάνεται η απόσταση της στοιχειώδους μάζας από τον άξονα περιστροφής, δηλαδή αυξάνεται η ακτίνα περιστροφής (σχ. 3). Σύμφωνα με τους νόμους της κυκλικής κινήσεως, η γραμμική ταχύτητα της περιστρεφόμενης στοιχειώδους μάζας είναι ανάλογη της ακτίνας περιστροφής η οποία εκφράζεται από τον τύπο $v = \omega \cdot r$. Επομένως, η κινητική ενέργεια του υγρού αυξάνεται, καθώς απομακρύνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια του περιβλήματος. Ο σχεδιασμός είναι τέτοιος, ώστε, πριν το υγρό εξέλθει από την αντλία, αυξάνεται η κάθετη στη ροή διατομή [με απλές ή σύνθετες διατάξεις που σχηματίζουν οχετούς ροής τους λεγόμενους ***διαχυτήρες*** (diffusers)], με αποτέλεσμα τη μετατροπή σημαντικού μέρους της κινητικής ενέργειας σε ενέργεια πιέσεως. Σε αυτούς τους τύπους δυναμικών αντλιών, το υγρό κινείται από το κέντρο προς την περιφέρεια, δηλαδή ακτινικά. Γι' αυτό οι δυναμικές αντλίες ονομάζονται ***φυγοκεντρικές*** ή ***ακτινικής ροής*** (radial flow pumps). Υπάρχουν όμως και περιστροφικές αντλίες, στις οποίες η πτερωτή και το περίβλημα είναι έτσι σχεδιασμένα, ώστε το υγρό να κινείται κατά τη διεύθυνση του άξονα της αντλίας (***αντλίες αξονικής ροής***) (axial flow pumps), καθώς και άλλες ενδιάμεσου τύπου (αντλίες μεικτής ροής). Ως ειδική κατηγορία αναφέρονται οι στροβιλαντλίες, στις οποίες το υγρό εισέρχεται στην περιφέρεια και κινείται κατά βάση σ' αυτήν (περιφερειακή ροή).

Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των δυναμικών αντλιών, είναι η αρχική μετατροπή του μηχανικού έργου που μεταβιβάζει η αντλία στο ρευστό, κυρίως σε κινητική ενέργεια (εντός της αντλίας) και στη συνέχεια, σε ενέργεια πιέσεως (στην έξοδο της αντλίας). Αυτό το χαρακτηριστικό, εντάσσει στις δυναμικές αντλίες και μη περιστροφικά μηχανήματα, όπως οι ***αντλίες εκχύσεως*** ή ***ακροφυσίου*** (jet pumps).

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των δυναμικών αντλιών είναι ότι η παροχή στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη είναι συνεχής και σταθερή. Στις παραγράφους που ακολουθούν σύμφωνα με την ταξινόμηση που έγινε στις σελίδες 6 και 7 παρουσιάζονται και τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντλιών αυτών.



Σχ. 3

(α) Σχηματική και (β) γραμμική απεικόνιση της αναλογίας γραμμικής ταχύτητας και ακτίνας περιστροφής όπου η γραμμική ταχύτητα μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η ακτίνα.

3.1 Δυναμικές αντλίες.

Η ταξινόμηση των δυναμικών αντλιών με βάση τον τρόπο μετατροπής του μηχανικού έργου σε κινητική ενέργεια (και στη συνέχεια σε ενέργεια πιέσεως), παρουσιάζεται στις σελίδες 6 και 7.

Οι δυναμικές αντλίες υποδιαιρούνται σε δύο υποκατηγορίες τις ***περιστροφικές*** (rotodynamic) και τις ***ειδικής επιδράσεως*** (special effect).

Οι περιστροφικές δυναμικές αντλίες αποτελούν μία από τις κύριες κατηγορίες αντλιών σύμφωνα με το βασικό διαχωρισμό τους. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη μεταβολή της κινητικής καταστάσεως του υγρού με τη μετατροπή της ενέργειας που του προσδίδεται. Αρχικά, το μηχανικό έργο μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του ρευστού και στη συνέχεια μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε ενέργεια πιέσεως στην εξαγωγή (κατάθλιψη της αντλίας). Έτσι, η μεγάλη ταχύτητα ροής που αρχικά προσδίδεται στο υγρό από το στροφείο, σύμφωνα με το ***θεώρημα του Bernoulli***[1], μετατρέπεται σε πίεση. Το μέγεθος αυτής της μετατροπής εξαρτάται από τις διαστάσεις της αντλίας, το σχήμα και την υφή της επιφάνειας του θαλάμου απ' τον οποίο διέρχεται το υγρό, και την ταχύτητα λειτουργίας του στροφείου.

Η ταχύτατη ανάπτυξη των περιστροφικών δυναμικών αντλιών και το πλήθος των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται οφείλεται:

1) Στην υψηλή απόδοση που επιτυγχάνεται με αντλίες μικρού όγκου και βάρους, σε σχέση με τη δυνατότητα της ποσότητας του υγρού που μεταφέρεται.

2) Στο σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής τους.

3) Στη συνεχή και ομοιόμορφη περιστροφική τους κίνηση χωρίς να παρουσιάζονται διακυμάνσεις στην πίεση και την παροχή (όπως συμβαίνει με τις εμβολοφόρες παλινδρομικές αντλίες).

4) Στην απλότητα σχεδιασμού τους.

5) Στη δυνατότητα εύκολης συνδέσεως με διάφορους τύπους κινητήρων.

6) Στην δυνατότητά τους να διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες υγρών.

Για τους λόγους αυτούς οι περιστροφικές δυναμικές αντλίες, ειδικά οι φυγοκεντρικές, αποτελούν το 80–90% των εγκατεστημένων αντλιών στην πετρελαϊκή βιομηχανία. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί, ότι η ευρεία χρήση τους κατέστη δυνατή μετά από τις σημαντικές κατασκευαστικές εξελίξεις που επιτεύχθηκαν στους τομείς των ηλεκτροκινητήρων, των ατμοστροβίλων και των μηχανών εσωτερικής καύσεως. Πριν από αυτές τις εξελίξεις το εύρος στη χρήση των αντλιών θετικής εκτοπίσεως, λόγω της ανταποκρίσεως των χαρακτηριστικών τους στις τότε λειτουργικές απαιτήσεις, ήταν μεγαλύτερο.

Μια αντλία αποτελείται από σταθερά και κινητά μέρη. Τα σταθερά είναι το ***κέλυφος*** (volute casing), ο ***στυπειοθλίπτης*** (gland ή retainer) για τη στεγανοποίηση του άξονα του στροφείου και οι ***ένσφαιροι τριβείς εδράσεως*** (στηρίξεως) (bearings) του άξονα του στροφείου εγκατεστημένοι στο κέλυφος της αντλίας εσωτερικά ή εξωτερικά. Τα κινητά μέρη είναι το ***στροφείο*** ή ***πτερωτή*** (impeller) και ο ***άξονας περιστροφής*** (shaft) του στροφείου.

Το ελεύθερο άκρο του άξονα του στροφείου συνδέεται κατάλληλα στο μηχανισμό κινήσεως της αντλίας. Καθώς το στροφείο περιστρέφεται, εκτοπίζει το υγρό που υπάρχει στο εσωτερικό του κελύφους της αντλίας και νέο υγρό διέρχεται από το στροφείο αντικαθιστώντας την ποσότητα που εκτοπίστηκε. Το στροφείο περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος, πάνω στο οποίο βρίσκονται η αναρρόφηση και η κατάθλιψη. Υπό την επίδραση του στροφείου αυξάνεται η ταχύτητα μέσω της μηχανικής δράσεως στο αντλούμενο υγρό, δημιουργώντας μια σταθερή ροή από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη.

Η πίεση διατηρείται στην αντλία με κατάλληλη στεγανοποίηση στα σημεία συναρμολογήσεώς της, και στο σημείο εισόδου του άξονα στο κέλυφος με τον στυπειοθλίπτη. Στη συνέχεια, το υγρό διοχετεύεται στο δίκτυο από την κατάθλιψη.

Οι περιστροφικές δυναμικές αντλίες ταξινομούνται με διάφορους τρόπους, όπως:

1) Την διεύθυνση ροής του υγρού υπό την επίδραση του στροφείου.

2) Το σχήμα κατασκευής του κελύφους της αντλίας.

3) Την είσοδο του υγρού στο στροφείο της αντλίας.

4) Το είδος του στροφείου.

Επί πλέον υποδιαίρεση των εν λόγω αντλιών πραγματοποιείται με βάση:

1) Τις βαθμίδες οι οποίες εξαρτώνται από τον αριθμό των στροφείων που περικλείονται σε μια αντλία και κατά τη λειτουργία της αποδίδουν ενέργεια στο υγρό (μονοβάθμιες όταν έχουν ένα στροφείο, διβάθμιες με δύο, τριβάθμιες και πολυβάθμιες).

---

[1] Το ***θεώρημα Bernoulli*** αφορά στην Αρχή Διατηρήσεως της Ενέργειας για τα ρευστά, καθορίζοντας πώς μεταβάλλονται τα ενεργειακά μεγέθη (πίεση, ταχύτητα, ύψος) κατά την κίνησή τους.

2) Τη θέση διατάξεως του άξονα περιστροφής (οριζόντιες και κάθετες).

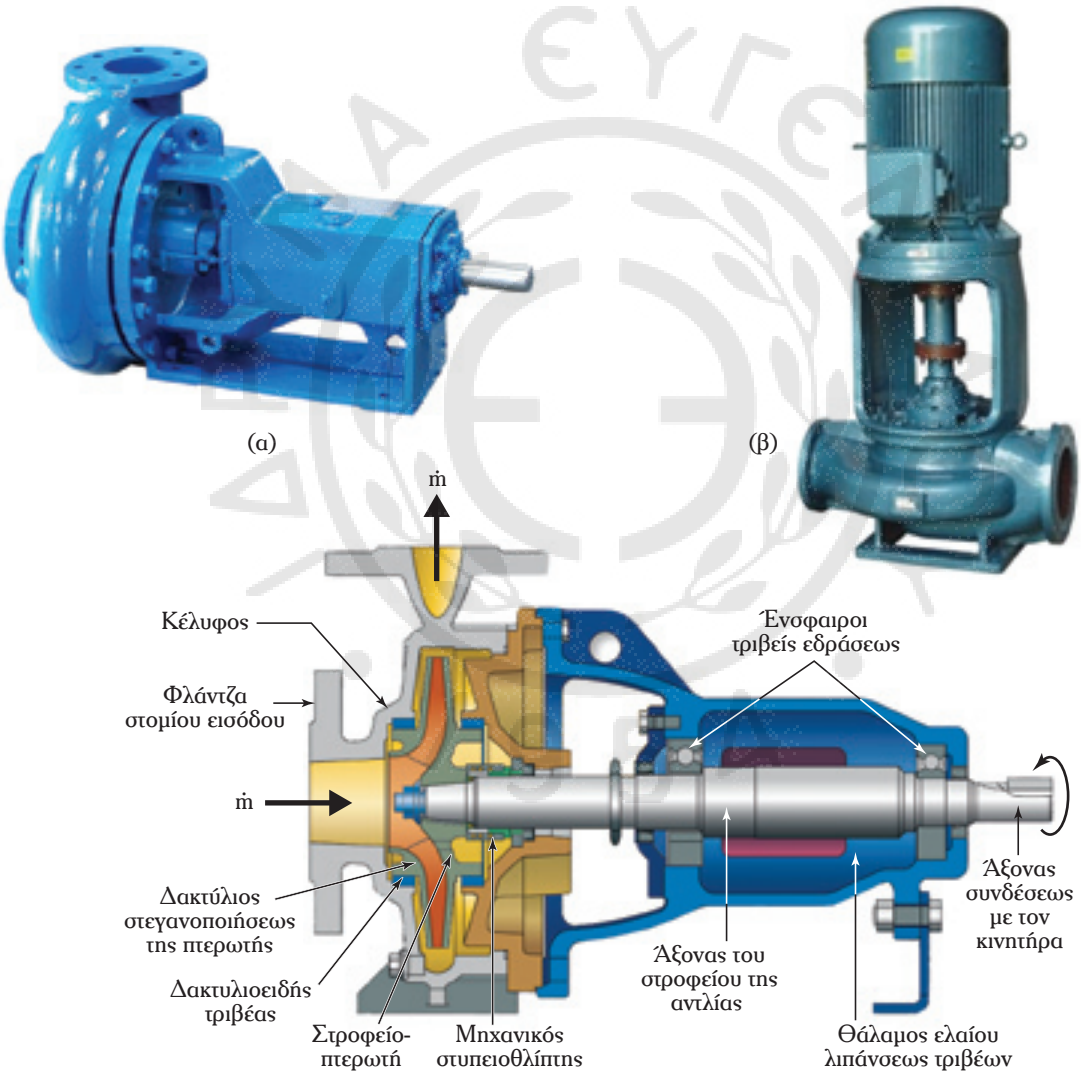
3) Τον τύπο του κινητήριου μηχανήματος που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία τους (ατμοκίνητες, πετρελαιοκίνητες, ηλεκτροκίνητες, και υδραυλικής ενέργειας).

3.2 Ταξινόμηση των αντλιών σύμφωνα με τη διεύθυνση ροής του υγρού.

Οι δυναμικές αντλίες σύμφωνα με τη διεύθυνση ροής του υγρού ταξινομούνται σε φυγοκεντρικές ή ακτινικής ροής, αξονικής ροής ή ελικοφόρες, μεικτής ροής και περιφερειακής ροής ή στροβιλαντλίες.

3.2.1 Αντλίες φυγοκεντρικής ή ακτινικής ροής.

Οι ***φυγοκεντρικές αντλίες*** (centrifugal flow pumps) (σχ. 3.2α) αποτελούν τον πιο διαδομένο τύπο δυναμικών αντλιών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Το πλήθος των εφαρμογών τους οφείλεται στην δυνατότητα να συνδυάζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα πλεονεκτήματα των δυναμικών αντλιών, όπως η υψηλή παροχή και η σχετικά απλή κατασκευή τους, με το ***αποδιδόμενο ύψος*** (μανομετρικό ύψος)[2]. Το ***στροφείο*** των αντλιών αυτών φέρει πτερύγια και πε-



Σχ. 3.2α

(α) Φυγοκεντρική αντλία οριζόντια, (β) κάθετη και (γ) διάκριση των μερών της.

[2] Μανομετρικό ύψος (h) ονομάζεται το κατακόρυφο ύψος, στο οποίο έχει την δυνατότητα μία αντλία να καταθλίψει (βλ. παράγρ. 4.5).

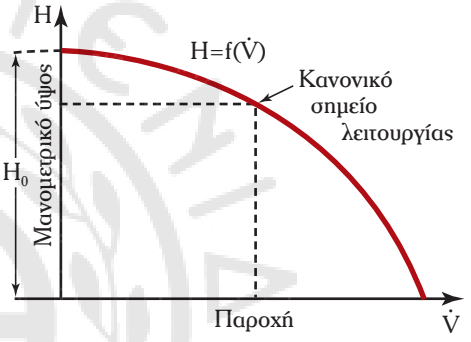
ρικλείεται μέσα στο κέλυφος (σχ. 3.2α). Το στροφείο τοποθετείται στον περιστρεφόμενο άξονα της αντλίας που κινείται από το κινητήριο μηχάνημα. Καθώς το στροφείο περιστρέφεται, το υγρό εισέρχεται από το κέντρο του (μάτι), ενώ στη συνέχεια επιταχύνεται ωθούμενο από την επιφάνεια των πτερυγίων σε ταχύτητα εξαρτώμενη από την ταχύτητα περιστροφής και το σχήμα των πτερυγίων. Στις φυγοκεντρικές αντλίες το υγρό υπό την επίδραση του στροφείου εκτινάσσεται, λόγω της φυγοκέντρου δυνάμεως, προς το σπειροειδές κέλυφος, το οποίο βρίσκεται στην περιφέρεια της αντλίας για να οδηγηθεί στη συνέχεια στο σωλήνα καταθλίψεως. Η άντληση του υγρού επιτυγχάνεται διότι η μετακίνησή του προς την εξωτερική περιφέρεια του στροφείου υπό την επίδραση των πτερυγίων απ' τα οποία αποτελείται, αναπτύσσει γύρω από το κέντρο του συνθήκες κενού (χαμηλή πίεση – υποπίεση). Το κενό συμπληρώνεται με την αναρρόφηση νέας ποσότητας υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως προς το σημείο χαμηλής πιέσεως. Το νέο υγρό διέρχεται ξανά από το στροφείο με διεύθυνση προς την περιφέρεια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται σταθερή ροή από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Λόγω της διευθύνσεως της ροής του αντλούμενου υγρού, οι φυγοκεντρικές αντλίες ονομάζονται και ***ακτινικής ροής***.

Η πίεση και το μανομετρικό ύψος που δύναται να αναπτύξει μία φυγοκεντρική αντλία έχουν άμεση σχέση με τη διάμετρο του στροφείου, τον αριθμό των στροφείων, το μέγεθος του κέντρου από το οποίο το υγρό εισέρχεται στο στροφείο (μάτι) και τις στροφές περιστροφής του άξονα όπου το στροφείο είναι εγκατεστημένο. Επίσης, η παροχή της αντλίας προσδιορίζεται από το πλάτος εξόδου του στροφείου (κεφ. 6). Γι' αυτό ανάλογα με τις απαιτήσεις αντλήσεως, το μανομετρικό ύψος και η παροχή είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το μέγεθος της ιπποδυνάμεως του κινητήρα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Ως αποτέλεσμα, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του υγρού που πρόκειται να αντληθεί τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που απαιτείται.

Επίσης, μία φυγοκεντρική αντλία όταν λειτουργεί με σταθερό αριθμό στροφών (n) έχει μία ορισμένη παροχή με το ελάχιστο μανομετρικό ύψος (ελάχιστο μανομετρικό ύψος είναι όταν λαμβάνονται υπόψη οι αντιστάσεις τριβών στο εσωτερικό της αντλίας). Τότε από την αύξηση ή την μείωση του αριθμού στροφών του στροφείου της αντλίας, προκύπτει αντίστοιχη αύξηση ή μείωση της παροχής του υγρού που αποδίδει στο σύστημα. Εάν ο αριθμός των στροφών είναι n_1 και n_2 θα έχει αντίστοιχη μεταβολή η παροχή σε $\dot{V}_1$ και $\dot{V}_2$, και θα ισχύει η σχέση:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \qquad (3.1)$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, εάν έχομε σταθερό αριθμό στροφών (n) και μεταβληθεί το μανομετρικό ύψος λειτουργίας της αντλίας παρατηρείται μεταβολή της παροχής (σχ. 3.2β). Δηλαδή, σε ένα μανομετρικό ύψος (h_0) λειτουργίας της αντλίας, η παροχή μηδενίζεται. Το ύψος αυτό καλείται ***ύψος μηδενικής παροχής*** ($\dot{V}_0$). Αντίστοιχα εάν μειωθεί το μανομετρικό ύψος, η παροχή αυξάνεται.



Σχ. 3.2β
Μεταβολή παροχής
σε σχέση με την αύξηση του μανομετρικού ύψους.

Το μανομετρικό ύψος έχει σχέση με την πίεση η οποία αναπτύσσεται από την αντλία. Διότι κατά τη λειτουργία των αντλιών έχομε ένα γεωμετρικό ύψος ανυψώσεως (z_γ), το οποίο είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του προς άντληση υγρού και του σημείου εκροής του. Η υψομετρική διαφορά (z_γ) θα προκαλέσει στο κατώτερο σημείο του εσωτερικού του σωλήνα πίεση, ίση με την πίεση της στήλης νερού (z_γ). Επομένως, για να κυκλοφορήσει το νερό μέσα στο σωλήνα πρέπει να υπάρχει πρόσθετη πίεση η οποία θα μπορεί να υπερνικήσει:

1) Τις αντιστάσεις στη ροή του νερού στο εσωτερικό του σωλήνα και επιπρόσθετα τις αντιστάσεις που εμφανίζονται από τα εξαρτήματα των σωλήνων (π.χ. βαλβίδες αναρροφήσεως, επιστόμια εγκατεστημένα στο δίκτυο, γωνίες της σωληνώσεως του δικτύου κ.λπ.) και

2) τις αντιστάσεις της ροής του νερού στα εξαρτήματα της αντλίας.

Έτσι για σταθερό αριθμό στροφών (n_1) εάν με-

ταβληθεί το μανομετρικό ύψος της αντλίας θα παρατηρηθεί αντίστροφη μεταβολή της παροχής της αντλίας. Παριστάνοντας τις τιμές αυτές στο σύστημα των συντεταγμένων με τετμημένες τις παροχές και τεταγμένες τα αντίστοιχα μανομετρικά ύψη, η μορφή της καμπύλης που θα πάρομε $[H = f(\dot{V})]$ είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2β.

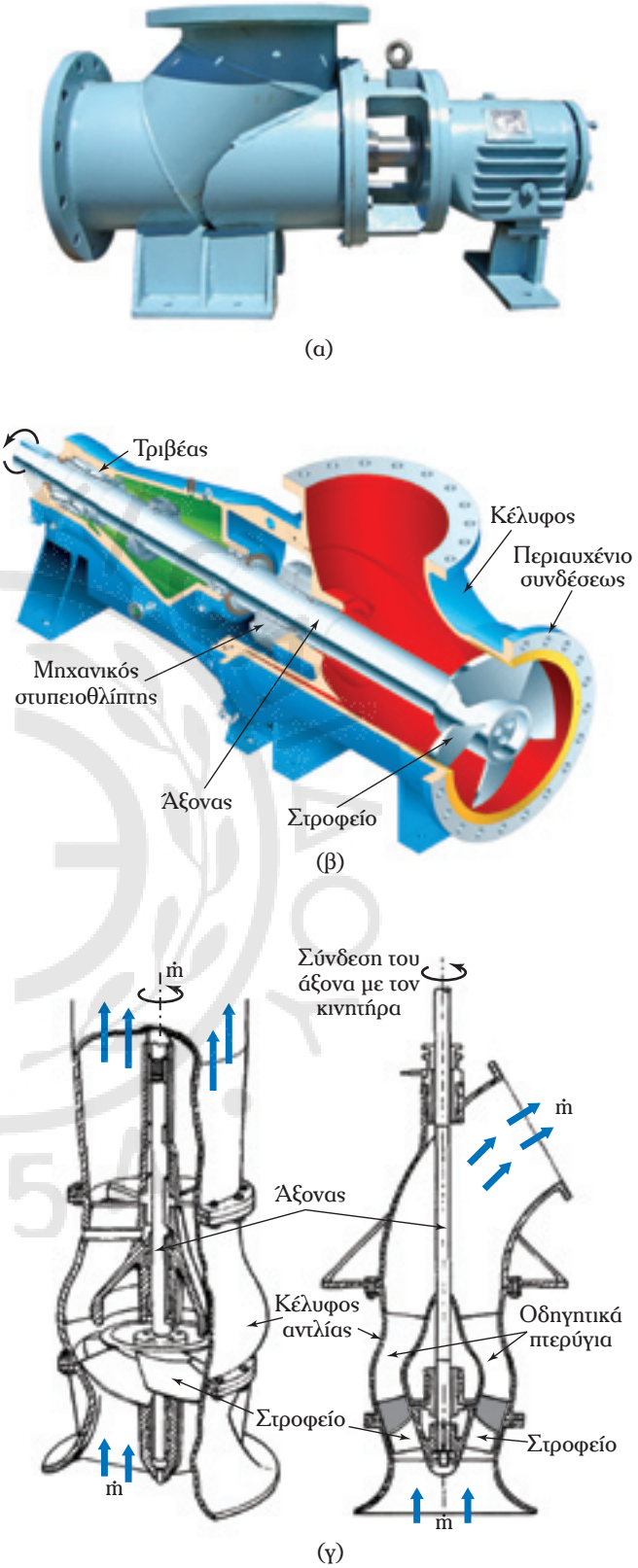
Ως δυναμικές, οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν έχουν σταθερό όγκο αντλήσεως, αλλά αυτός εξαρτάται από το βάθος της αναρροφήσεως του υγρού και την πίεση καταθλίψεως (κεφ. 6). Αντίστοιχα, όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος που αναρροφά η αντλία τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα που διέρχεται απ' αυτήν, ενώ όταν η κατάθλιψη της αντλίας πραγματοποιείται σε δίκτυο ή δεξαμενή εντός του οποίου υπάρχει πίεση η ποσότητα του υγρού που αντλείται μειώνεται όσο η πίεση αυξάνεται. Η επίτευξη μεγαλυτέρων πιέσεων καταθλίψεως από τις φυγοκεντρικές αντλίες μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε χρησιμοποιώντας αντλίες που έχουν μεγάλο αριθμό στροφών περιστροφής και δύναται να υπερβαίνουν τα 10 bar, είτε από πολυβάθμιες αντλίες στις οποίες χρησιμοποιούνται στροφεία σε σειρά και η κατάθλιψη του ενός αποτελεί την αναρρόφηση του επόμενου.

Γι' αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητο η αντλία που πρόκειται να εγκατασταθεί σε ένα δίκτυο να είναι σχεδιασμένη έτσι, ώστε να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες συνθήκες αντλήσεως. Επίσης, το σχήμα των υδραυλικών διόδων διελεύσεως υγρών από το στροφείο και το κέλυφος είναι σημαντικό, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα της αντλίας.

Σε κανονικές συνθήκες, οι στροφές λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών κυμαίνεται από 1500 rpm έως 3000 rpm, ενώ ορισμένοι τύποι αντλιών είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε στροφές της τάξεως των 5.000–25.000 rpm.

3.2.2 Αντλίες αξονικής ροής ή ελικοφόρες.

Το ***στροφείο της αντλίας αξονικής ροής*** (axial flow pump) μοιάζει με έλικα εφόσον αποτελείται από πτερύγια στερεωμένα σε πλήμνη που τοποθετείται στον άξονα περιστροφής (σχ. 3.2γ). Η θέση των πτερυγίων είναι υπό γωνία στο κάθετο επίπεδο του άξονα περιστροφής, ενώ το όλο σύστημα περιστρέφεται μέσα σε οχετό που αποτελεί και το κέλυφος της αντλίας. Το υγρό δεν φυγοκεντρίζεται, αλλά εισερχόμενο από την αναρρόφηση, ωθείται



Σχ. 3.2γ

(α) Αντλία αξονικής ροής, (β) τομή οριζόντιας αντλίας και (γ) τομή κάθετης διατάξεως αντλίας αξονικής ροής.

από τα περιστρεφόμενα πτερύγια αυξάνοντας την κινητική του ενέργεια, ώστε να κινείται σε παράλληλη διεύθυνση με τον άξονα περιστροφής, γι' αυτό οι αντλίες αυτές ονομάζονται αξονικής ροής ή ελικοφόρες λόγω του σχήματος του στροφείου.

Το κέλυφος της αντλίας κατασκευάζεται με ελαφρώς μικρότερη διάμετρο στην αναρρόφηση πριν την έλικα, με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας του υγρού προς αυτή. Μετά την έλικα η διάμετρος διευρύνεται ελαφρώς, με αποτέλεσμα η ταχύτητα του υγρού να ελαττώνεται, με αντίστοιχη αύξηση της πίεσεως λόγω της μετατροπής μέρους της ταχύτητάς του σε πίεση.

Η ταχύτητα περιστροφής του ελικοειδούς στροφείου είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα το αντλούμενο υγρό, παρά την αξονική διεύθυνση, να αναπτύσσει έντονους στροβιλισμούς που προκαλούν μείωση στην απόδοση της αντλίας. Προκειμένου να μειωθεί η στροβιλώδης ροή και να αυξηθεί η απόδοση της αντλίας, τοποθετούνται στην αναρρόφηση σταθερά οδηγητικά πτερύγια (σχ. 3.2γ) με κλίση αντίθετη από αυτήν των πτερυγίων της έλικας που εξασφαλίζουν την ομαλή διέλευση του υγρού επιτυγχάνοντας τη μείωση των στροβιλισμών. Τα σταθερά αυτά πτερύγια ονομάζονται ***πτερύγια διαχύσεως***.

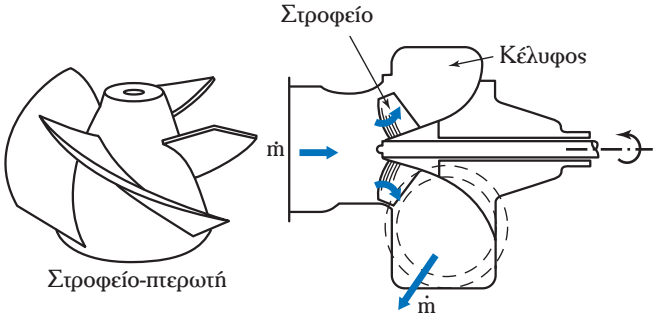
Οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται σε συστήματα με απαιτήσεις μεγάλης παροχής σε μικρό μανομετρικό ύψος καταθλίψεως (π.χ. ως αντλίες εισαγωγής και εξαγωγής θαλασσίου έρματος στις αντίστοιχες δεξαμενές). Λόγω κατασκευής, η αναρρόφηση της αντλίας επιτυγχάνεται μόνο όταν είναι τοποθετημένη χαμηλότερα από την ελεύθερη στάθμη του υγρού που πρόκειται να αντληθεί, ενώ η κατάθλιψή της φτάνει σε πίεση έως 1,5 bar.

Η λειτουργία της είναι δυνατόν να αναστραφεί και επιτυγχάνεται με την αναστροφή της περιστροφής του άξονα από το κινητήριο μηχάνημα ή με τη χρήση έλικας μεταβλητού βήματος ρυθμίζοντας τη θέση των αναστρεφομένων πτερυγίων. Έτσι, η αναρρόφηση μετατρέπεται σε κατάθλιψη και εναλλάξ, επιτυγχάνοντας με γρήγορο χειρισμό και μεγάλη ακρίβεια την επιθυμητή ποσότητα που παρέχεται σε μια δεξαμενή. Για παράδειγμα, όταν οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται ως ***αντλίες έρματος*** (βλ. κεφ. 8) (ballast pump), υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζεται με ακρίβεια τη διαγωγή του πλοίου με την ταχεία αυξομείωση της παροχής. Η εγκατάστασή τους δύναται να είναι κάθετη ή οριζόντια, διατηρώντας τα ίδια λειτουργικά χαρακτηριστικά.

3.2.3 Αντλίες μεικτής ροής.

Η λειτουργία και η μορφή των αντλιών ***μεικτής ροής*** (mixed flow pumps) συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των δύο προηγουμένων τύπων αντλιών. Η αντλία αποτελείται από το στροφείο, με πτερύγια τοποθετημένα υπό γωνία προς τον άξονα περιστροφής. Το υγρό εισέρχεται αξονικά στην αντλία και εξέρχεται ωθούμενο από τα πτερύγια του στροφείου σε μια διαγώνια συνιστώσα, κινούμενο δηλαδή αξονικά και ακτινικά ταυτόχρονα (σχ. 3.2δ). Με αυτόν τον τρόπο, η αύξηση της πίεσεως του υγρού δημιουργείται από την ώθηση των πτερυγίων ταυτόχρονα και υπό την επίδραση της φυγοκέντρου δυνάμεως, λόγω της διευθύνσεως προς την περιφέρεια του κελύφους. Κατά την απομάκρυνση του υγρού από το στροφείο, αυξάνεται η ταχύτητά του αλλά η αύξηση αυτή είναι μικρότερη σε σύγκριση με την ταχύτητα που αναπτύσσεται από τις αντλίες ακτινικής ροής.

(α)



(β)

Σχ. 3.2δ

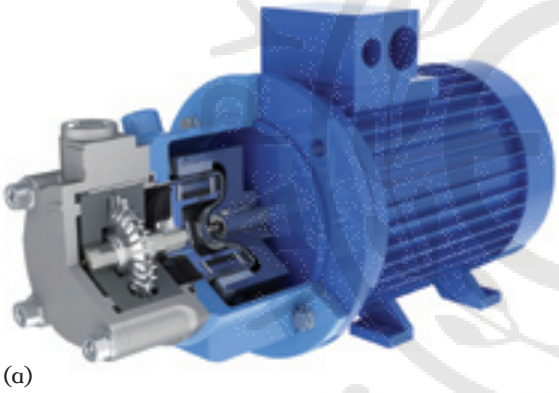
(α) Αντλία μεικτής ροής και (β) σχηματική απεικόνιση.

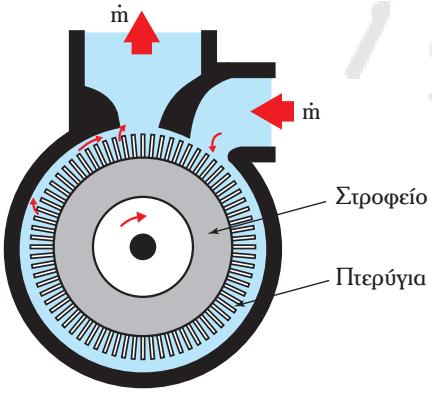
Η αναρρόφηση πραγματοποιείται από οχετό, αλλά η κατάθλιψη πραγματοποιείται είτε σε κέλυφος, είτε σε οχετό με μεγαλύτερη διάμετρο και κατάλληλα σταθερά οδηγητικά πτερύγια (ή πτερύγια διαχύσεως), τα οποία μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ενέργεια πιέσεως.

Με την εγκατάσταση οδηγητικών πτερυγίων παρέχεται η δυνατότητα να τοποθετούνται στον ίδιο άξονα περισσότερα στροφεία, επιτυγχάνοντας την αύξηση της ενέργειας που αποδίδεται στο υγρό εφόσον το κάθε στροφείο τροφοδοτείται από το προηγούμενο. Έτσι, δημιουργούνται πολυβάθμιες αντλίες μεικτής ροής, που έχουν ικανοποιητικό ύψος καταθλίψεως και μεγάλη ογκομετρική παροχή.

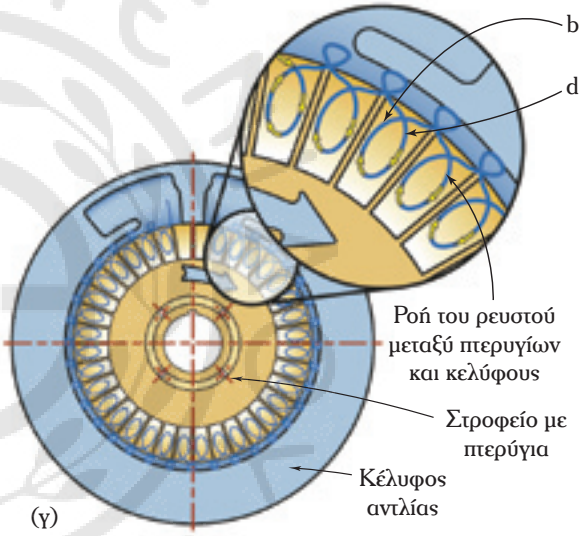
3.2.4 Αντλίες περιφερειακής ροής ή στροβιλαντλίες.

Οι αντλίες ***περιφερειακής ροής*** ή ***στροβιλαντλίες*** (vortex pumps) χαρακτηρίζονται από την συνεχή κίνηση του υγρού από την περιφέρεια του στροφείου προς το κέλυφος και από το κέλυφος προς την περιφέρεια του στροφείου. Η διάταξη του κελύφους και του στροφείου παρουσιάζονται στο σχήμα 3.2ε. Το στροφείο διαθέτει πτερύγια που είναι επίπεδα και τοποθετημένα περιφερειακά στην άκρη του και σε ακτινική διάταξη. Το αντλούμενο υγρό στροβιλίζεται στο χώρο που δημιουργείται μεταξύ δύο πτερυγίων και περιστρέφεται μαζί με το στροφείο. Η στροβιλιζόμενη αυτή μάζα μεταξύ των πτερυγίων, καθώς το στροφείο περιστρέφεται, εξέρχεται στον στενό περιφερειακό οχετό που υπάρχει μεταξύ στροφείου και κελύφους και στη συνέχεια εισέρχεται ξανά στο χώρο μεταξύ των πτερυγίων. Έτσι, το υγρό διαγράφει ταυτόχρονα δύο κινήσεις, την κίνηση b και d

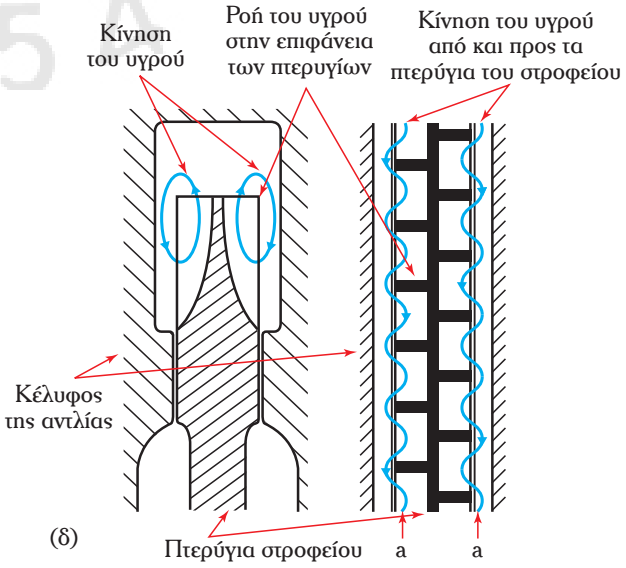

(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχ. 3.2ε

(α) Στροβιλαντιλία (β) κίνηση του υγρού σε αυτήν, (γ) τομή με ροή του υγρού μεταξύ πτερυγίων και κελύφους, και (δ) κίνηση του υγρού.

από και προς τα πτερύγια του στροφείου και την κίνηση a κατά μήκος του κελύφους.

Ο στροβιλισμός αυτός και η εισαγωγή και εξαγωγή του υγρού από τα πτερύγια επαναλαμβάνεται μέχρι το υγρό που παρασύρεται από το στροφείο να φτάσει από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη της αντλίας.

Σημειώνεται ότι σε κάθε είσοδο του υγρού ανάμεσα στα πτερύγια, λόγω του στροβιλισμού, αυξάνεται η κινητική του ενέργεια, με αποτέλεσμα να είναι πολύ υψηλότερη σε σύγκριση με την κινητική ενέργεια που προσδίδεται στο υγρό σε μια φυγοκεντρική αντλία. Με την λειτουργία της αντλίας, καθώς το υγρό φτάνει στην κατάθλιψη, λόγω της σταδιακής μειώσεως στη διατομή του κελύφους, η ταχύτητά του μειώνεται με αποτέλεσμα (από το θεώρημα Bernoulli) να μετατρέπεται σε πίεση προς το δίκτυο.

Η λειτουργική ιδιαιτερότητα αυτού του τύπου αντλιών τους επιτρέπει να αναπτύσσουν μεγάλη πίεση, ώστε να καταθλίβουν το υγρό σε μεγάλο ύψος και να λειτουργούν με ικανοποιητική απόδοση όταν στο αντλούμενο υγρό συμπαρασύρονται ποσότητες αερίων που φτάνουν έως 20% κατ' όγκο. Όμως μειονεκτούν σε σχέση με τις υπόλοιπες δυναμικές αντλίες διότι δεν έχουν μεγάλη παροχή, όταν στη μάζα του υγρού υπάρχουν στερεά σωματίδια και όταν το υγρό έχει μεγάλο ιξώδες (παχύρρευστο).

3.3 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με το σχήμα κατασκευής του κελύφους.

Η αντλία, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελείται από τα κινητά και τα σταθερά μέρη. Το υγρό εισέρχεται στην αντλία υπό την επίδραση του στροφείου (κινητό) το οποίο καθώς περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος (σταθερό) πραγματοποιεί την αναρρόφηση. Στη συνέχεια, το υγρό ωθούμενο από τα πτερύγια του στροφείου εκτινάσσεται προς το κέλυφος που το περιβάλει, για να πραγματοποιηθεί η κατάθλιψη μέσω του κατάλληλου σημείου εξόδου του υγρού στην περίμετρο του κελύφους.

Το κέλυφος εσωτερικά έχει σχήμα οχετού, συνήθως, κυκλικής διατομής που αναπτύσσεται περιμετρικά του στροφείου στο οποίο δύναται να υπάρχουν εγκατεστημένα και οδηγητικά πτερύγια. Το υγρό, μετά την απομάκρυνσή του από τα πτερύγια του στροφείου, οδηγείται στον περιμετρικό οχετό. Ανάλογα με την κατασκευή του οχετού η ταχύτητα του υγρού ελαττώνεται βαθμιαία, ενώ αντίστοιχα σύμφωνα με την εξίσωση συνέχειας της ροής και την εξίσωση του Bernoulli, αυξάνεται η πίεσή του μέχρι την έξοδο προς τον σωλήνα καταθλίψεως.

Επομένως, το σχήμα του κελύφους επηρεάζει την ομαλή λειτουργία και την απόδοση της αντλίας, διότι ανάλογα με την μορφή του επηρεάζεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ρευστού σε ενέργεια πιέσεως και αντίστροφα. Γι' αυτό, ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί η αντλία, το υγρό που τη διαρρέει και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της, το κέλυφος θα πρέπει να κατασκευάζεται ώστε, συνεργαζόμενο με το στροφείο να βελτιστοποιεί την απόδοσή της και να καθιστά ομαλή τη λειτουργία της χωρίς τη δημιουργία κραδασμών. Σύμφωνα με το σχήμα του κελύφους οι αντλίες ταξινομούνται σε ***σπειροειδείς***, ***σταθερών πτερυγίων*** και σε ***αντλίες με κέλυφος μεικτού τύπου***.

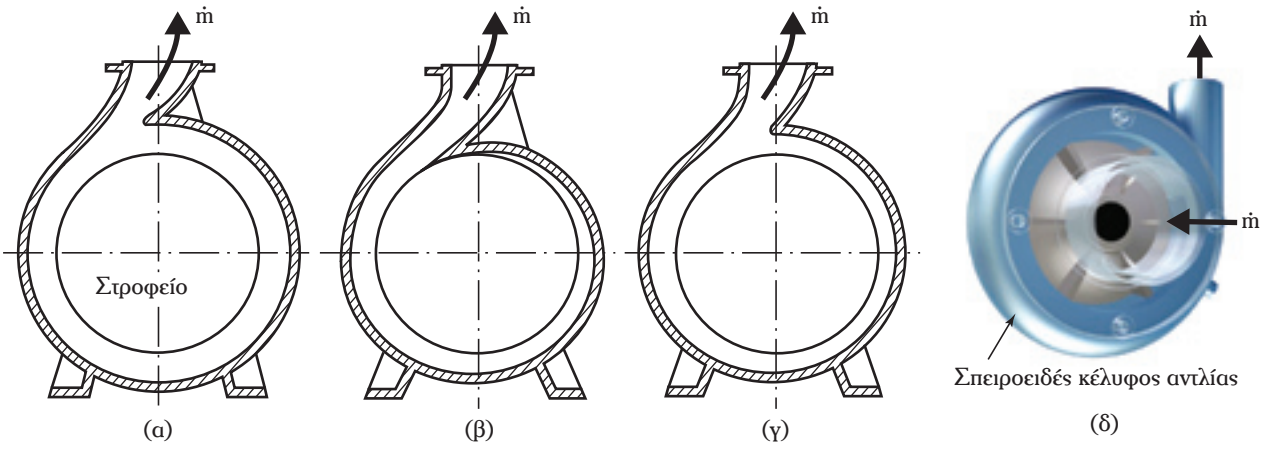
3.3.1 Αντλίες με σπειροειδές κέλυφος ή ελικόφρακτες.

Στις ***σπειροειδείς*** ή ***ελικόφρακτες αντλίες*** (volute casing pumps) η διάμετρος του οχετού που αποτελεί το κέλυφος της αντλίας και περιβάλλει το στροφείο αυξάνεται προοδευτικά δημιουργώντας έναν σπειροειδή αγωγό. Λόγω της αυξήσεως στο εμβαδόν διατομής του αγωγού, η ταχύτητα του υγρού που τον διαρρέει ελαττώνεται βαθμιαία μέχρι την έξοδο προς το σωλήνα καταθλίψεως, ενώ η πίεση αυξάνεται. Το στροφείο ενδέχεται να είναι τοποθετημένο στο κέντρο ή έκκεντρα του κελύφους, ενώ μεταξύ του στροφείου και του κελύφους υπάρχει διάκενο αποτρέποντας την επαφή κινητών και σταθερών μερών όταν η αντλία λειτουργεί. Έτσι, ανάλογα με τη θέση του στροφείου σε σχέση με το κέλυφος, η αντλία αποκτά και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Οι θέσεις αυτές είναι:

1) Το στροφείο των αντλιών είναι συγκεντρικό προς το κυκλικό κέλυφος και ονομάζονται ***κυκλικού κελύφους*** (cycle casing pumps). Η απόσταση της περιφέρειας του στροφείου από το κέλυφος είναι σταθερή περιμετρικά [σχ. 3.3α(α)].

2) Το στροφείο να είναι έκκεντρα τοποθετημένο και ονομάζονται ***αντλίες κοχλιοειδούς κελύφους*** (volute casing pumps). Σε αυτές, η απόσταση του στροφείου από το κέλυφος μεταβάλλεται περιμετρικά, ώστε κοντά στο σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία να ελαχιστοποιείται, καθώς από το κέλυφος σχηματίζεται μια αιχμή. Το σημείο αυτό, λόγω του σχήματός του, ονομάζεται ***αιχμή αποκοπής*** του υγρού (cutwater ή tongue) [σχ. 3.3α(β) και 3.3β].

3) Το στροφείο να είναι τοποθετημένο με τέτοιο τρόπο, ώστε οι αντλίες να αποτελούν έναν ενδιάμεσο τύπο αντλιών, ο οποίος συνδυάζει τα χαρακτηριστικά



Σχ. 3.3α

(α), (β), (γ) Τύποι αντλιών σπειροειδούς κελύφους και (δ) τρισδιάστατη απεικόνιση.

των δύο προηγουμένων, κυκλικού και κοχλιοειδούς κελύφους [σχ. 3.3α(γ)].

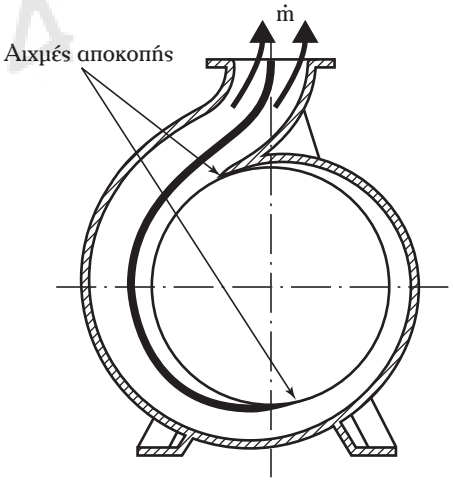
Με τη λειτουργία των ελικοφράκτων αντλιών, η κατανομή της πίεσεως του υγρού γύρω από το στροφείο, όπως και η πίεση που αναπτύσσεται στην κατάθλιψη, δεν είναι ομοιόμορφη αλλά εξαρτάται από τις στροφές του στροφείου και το άνοιγμα της βαλβίδας καταθλίψεως, ώστε να δημιουργούνται συνθήκες λειτουργίας που πρέπει να αντιμετωπιστούν διότι επηρεάζουν την απόδοση της αντλίας. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

1) Η ***άνιση κατανομή της πίεσεως στο εσωτερικό της αντλίας***, η οποία γύρω από το στροφείο δημιουργεί ακτινική ώση. Η ακτινική ώση ασκείται στα έδρανα του άξονα περιστροφής και του στροφείου, προκαλώντας γρήγορη φθορά των εδράνων και κάμψη του άξονα περιστροφής, καθώς και τη φθορά σε μηχανικούς στυπειοθλίπτες με αποτέλεσμα την απώλεια της στεγανότητας.

Στις αντλίες έκκεντρης περιστροφής του στροφείου η ακτινική ώση ελαχιστοποιείται όταν η αντλία λειτουργεί στις συνθήκες σχεδιασμού της (σημείο βέλτιστης παροχής), ενώ αυξάνεται όταν αποκλίνει από αυτές, σε τιμές κάτω από 30% ή πάνω από 120%. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ακτινική ώση, το κέλυφος κατασκευάζεται με διαχωριστικό τοίχωμα, ώστε το διπλό κέλυφος που προκύπτει να ζυγοσταθμίζει τα υδραυλικά φορτία με τον διαχωρισμό της ροής. Οι αντλίες με αυτού του τύπου το κέλυφος ονομάζονται ***αντλίες διπλού σπειροειδούς κελύφους*** (double volute casing pumps). Σε αυτήν την περίπτωση το διαχωριστικό τοίχωμα δημιουργεί δύο αντιδιαμετρικά σημεία αποκοπής του υγρού, διατηρώντας την ισορροπία στην ακτινική ώση που ασκείται προκαλώντας έτσι τη μείωσή της (σχ. 3.3β).

Αντίθετα στις συγκεντρικές αντλίες, όπου η απόσταση της περιφέρειας του στροφείου από το κέλυφος είναι σταθερή περιμετρικά, η ακτινική ώση μεγιστοποιείται στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας της αντλίας. Γι' αυτό, καθώς η ακτινική ώση εμφανίζεται στις συνθήκες σχεδιασμού των αντλιών η κατασκευή τους γίνεται με τρόπο τέτοιο, ώστε να αντιμετωπίζονται οι ακτινικές ώσεις και να καλύπτονται όλες οι υπόλοιπες πιθανές περιοχές λειτουργίας, στις οποίες οι ακτινικές ώσεις μπορεί να προκαλέσουν βλάβη.

2) Ο ***αριθμός των στροφών με μεταβολή στη θέση της βαλβίδας*** (ανοικτή ή κλειστή). Όταν ο



Σχ. 3.3β

Αντλία με αντιδιαμετρικές αιχμές αποκοπής του υγρού.

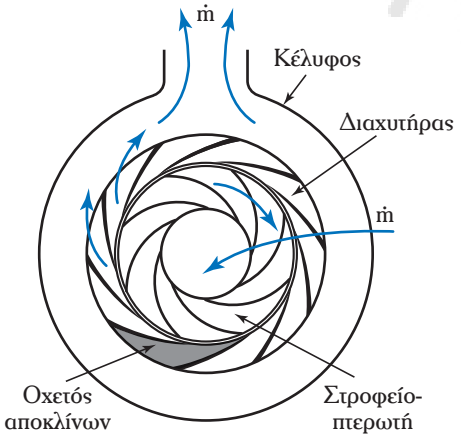
αριθμός στροφών του στροφείου είναι σταθερός, η πίεση καταθλίψεως θα ελαττωθεί όταν ανοίξει η βαλβίδα καταθλίψεως αυξάνοντας αντίστοιχα την παροχή του υγρού. Αντίθετα, όταν κλείνει η βαλβίδα καταθλίψεως η πίεση θα αυξηθεί και θα μειωθεί η παροχή, η οποία θα μηδενιστεί όταν κλείσει τελείως η βαλβίδα.

Το κλείσιμο της βαλβίδας προκαλεί την εσωτερική κυκλοφορία του υγρού, εφόσον μια μικρή ποσότητα καταθλίβεται στο εσωτερικό από το στροφείο και επιστρέφει μέσω των διακένων στην αναρρόφηση. Η κυκλοφορία αυτή απορροφά ενέργεια από την περιστροφή του άξονα και την μετατρέπει σε κινητική, η οποία δαπανάται σε στροβιλισμούς και τριβές μέσα στην αντλία και τελικά καταλήγει σε απώλεια, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση της αντλίας.

3) ***Η θέση της βαλβίδας καταθλίψεως σε μεταβλητή ταχύτητα περιστροφής***. Όταν το άνοιγμα της βαλβίδας καταθλίψεως είναι σταθερό αυξάνοντας τις στροφές του στροφείου αυξάνει η πίεση, ενώ όταν ελαττώνονται οι στροφές συμβαίνει το αντίθετο.

3.3.2 Αντλίες με κέλυφος σταθερών πτερυγίων ή στροβιλοφυγόκεντρες.

Στις αντλίες με κέλυφος σταθερών πτερυγίων (turbine ή diffuser type centrifugal pumps) το κέλυφος διαθέτει εσωτερικά σταθερά οδηγητικά πτερύγια, που σχηματίζουν αποκλίνοντες οχετούς με προοδευτικά αυξανόμενο εμβαδόν διατομής. Καθώς το υγρό εκτινάσσεται από το στροφείο με πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια, διέρχεται από τους οχετούς με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητά του άρα και η κινητική του ενέργεια, η οποία μετατρέπεται ομαλά σε ενέργεια πιέσεως (Bernoulli) (σχ. 3.3γ).



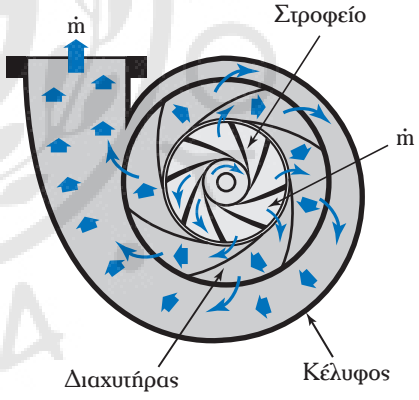
Σχ. 3.3γ
Αντλία με κέλυφος σταθερών πτερυγίων.

Το σχήμα του κελύφους είναι κυλινδρικό, ενώ το στροφείο είναι τοποθετημένο στο κέντρο του. Τα πτερύγια του κελύφους περιβάλλονται από δακτυλιοειδή οχετό σταθερής διατομής που οδηγεί το υγρό προς την κατάθλιψη.

Οι οχετοί με την προοδευτικά αυξανόμενη διατομή ονομάζονται ***διαχυτήρες*** (diffusers) και συντελούν στην αύξηση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας όταν λειτουργεί στις συνθήκες σχεδιασμού της. Η αύξηση του βαθμού αποδόσεως μπορεί να φθάσει μέχρι και το 90%. Όταν όμως οι συνθήκες λειτουργίας αποκλίνουν από τις συνθήκες σχεδιασμού, προκαλείται αποκόλληση της ροής από την επιφάνεια των σταθερών πτερυγίων με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του βαθμού αποδόσεως.

3.3.3 Αντλίες με κέλυφος μεικτού τύπου ή ελικόφρακτες στροβιλοφυγόκεντρες.

Οι ***αντλίες με κέλυφος μεικτού τύπου*** (mixed flow ή volute turbine pumps) αποτελούνται από σταθερά πτερύγια μέσα σε κέλυφος το οποίο εξωτερικά περιβάλλεται από σπειροειδή οχετό καταθλίψεως (σχ. 3.3δ).



Σχ. 3.3δ
Αντλία μεικτού τύπου.

Η αύξηση της πίεσεως του υγρού πραγματοποιείται με το συνδυασμό των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των δύο προηγουμένων τύπων. Έτσι, στις ελικόφρακτες στροβιλοφυγόκεντρες αντλίες το υγρό εισέρχεται στο κέντρο του στροφείου και εκτινάσσεται ωθούμενο από τα περιστρεφόμενα πτερύγια. Μετά την εξαγωγή από το στροφείο, το υγρό διέρχεται από τους σταθερά εγκατεστημένους διαχυτήρες, όπου προκαλείται η σταδιακή πτώση της ταχύτητάς του και η αύξηση της πίεσεως.

Οι διαχυτήρες με το στροφείο δημιουργούν ένα σύστημα που είναι έκκεντρα τοποθετημένο μέσα στον σπειροειδή οχετό που το περιβάλλει. Καθώς το εμβαδόν του σπειροειδούς οχετού αυξάνεται βαθμιαία, η ταχύτητα του υγρού που διέρχεται μέσω αυτού, μετά τους διαχυτήρες, μειώνεται ακόμα περισσότερο επιτυγχάνοντας τη μετατροπή επί πλέον κινητικής ενέργειας σε ενέργεια πίεσεως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω βελτίωση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας.

3.4 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με την εισαγωγή του υγρού στην αντλία.

Άλλος τρόπος ταξινομήσεως των αντλιών σχετίζεται με τον τρόπο εισαγωγής του υγρού σε αυτές. Ειδικότερα λοιπόν έχομε:

1) Τις αντλίες ***απλής εισόδου*** ή ***μονόπλευρης αναρροφήσεως*** (single ή center suction pumps). Στις αντλίες αυτές, το υγρό οδηγείται από το σωλήνα αναρροφήσεως μέσα στο στόμιο εισόδου στο κέντρο του στροφείου μόνο στη μία πλευρά του. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4α η αναρρόφηση πραγματοποιείται από τη μια πλευρά του κελύφους, που είναι κατάλληλα διαμορφωμένο για να οδηγεί το υγρό στο κέντρο του στροφείου (μάτι).

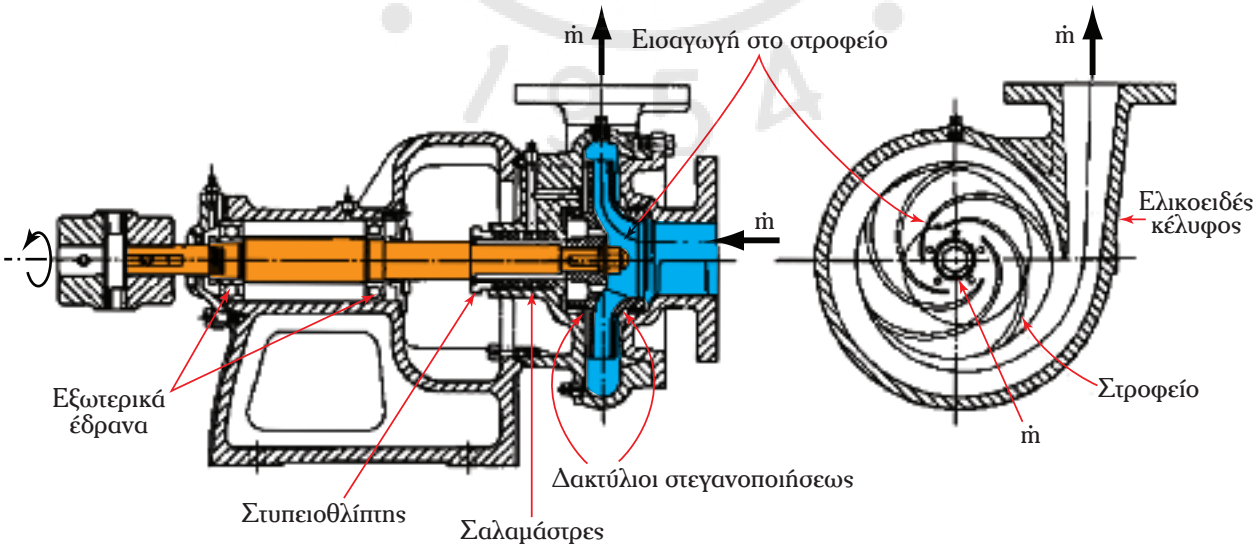
Η στήριξη του άξονα της αντλίας γίνεται σε εξωτερικά έδρανα-τριβείς, ενώ η στεγανοποίηση του στροφείου μεταξύ του χώρου αναρροφήσεως και καταθλίψεως πραγματοποιείται από δακτυλίους τοποθετημένους στο εσωτερικό του κελύφους. Στο κέλυφος για την πρόληψη διαρροών υπάρχει είτε διαμορφωμένος στυπειοθάλαμος μέσα στον οποίο τοποθετούνται οι σαλαμάστρες που συμπιέζονται από το στυπειοθλίπτη, είτε εφαρμόζεται με κατάλληλη διάταξη μηχανικός στυπειοθλίπτης.

Κατά την λειτουργία της αντλίας, με την αναρρόφηση δημιουργείται αξονική ώση στο στροφείο. Η εμφάνιση της ώσεως οφείλεται στο κενό υποπίεση που τείνει να μετατοπίσει το στροφείο προς το στόμιο της αναρροφήσεως και στη διαφορά πιέσεως που δημιουργείται εξωτερικά στις δύο πλευρές του. Όταν η αξονική ώση είναι μικρή, παραλαμβάνεται από τα έδρανα της αντλίας. Διαφορετικά η μεγαλύτερη ώση αντισταθμίζεται με οπές στο δίσκο του στροφείου (σχ. 3.4β) ή με συγκοινωνία των θαλάμων αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

Η συγκοινωνία δημιουργείται συνδέοντας την πάνω πλευρά του στροφείου (στο σημείο συνδέσεως με τον κινητήριο άξονα) και της αναρροφήσεως κάτω από το στροφείο, μέσω ενός σωλήνα εξισορροπήσεως της πιέσεως.

Η παροχή των αντλιών κυμαίνεται από 15 έως 6.000 m^3/h σε μανομετρικό ύψος από 10 έως 180 m ανάλογα με τον τύπο, ενώ η διάταξη του άξονα μπορεί να είναι κάθετη ή οριζόντια.

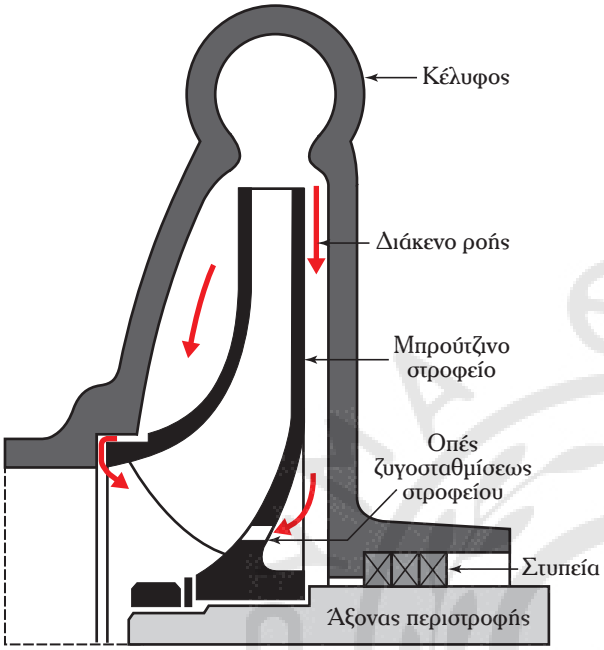
2) Στις ***αντλίες διπλής*** ή ***αμφίπλευρης αναρροφήσεως*** (twin volute casing pumps) (σχ. 3.4γ). Στις αντλίες αυτές η είσοδος του υγρού πραγματοποιείται και στις δύο πλευρές του στροφείου, μέσω του κατάλληλα διαμορφωμένου κελύφους, που είναι



Σχ. 3.4α
Αντλία απλής εισόδου.

συμμετρικό ως προς το μεσοκάθετο επίπεδο στον άξονα της αντλίας.

Το κέλυφος διαιρείται αξονικά σε δύο ημικελύφη και δεν έχει σταθερά πτερύγια. Ο άξονας μπορεί να είναι κάθετος ή οριζόντιος. Σε αντλίες οριζόντιας διατάξεως, στο κάτω ημικέλυφος είναι ενσωματωμένες οι θυρίδες εισόδου και εξόδου του υγρού, ενώ στις αντλίες κάθετης διατάξεως οι θυρίδες τοποθετούνται στο σταθερό τμήμα του διαιρούμενου κελύφους διευκολύνοντας τις επισκευές και τους ελέγχους της.



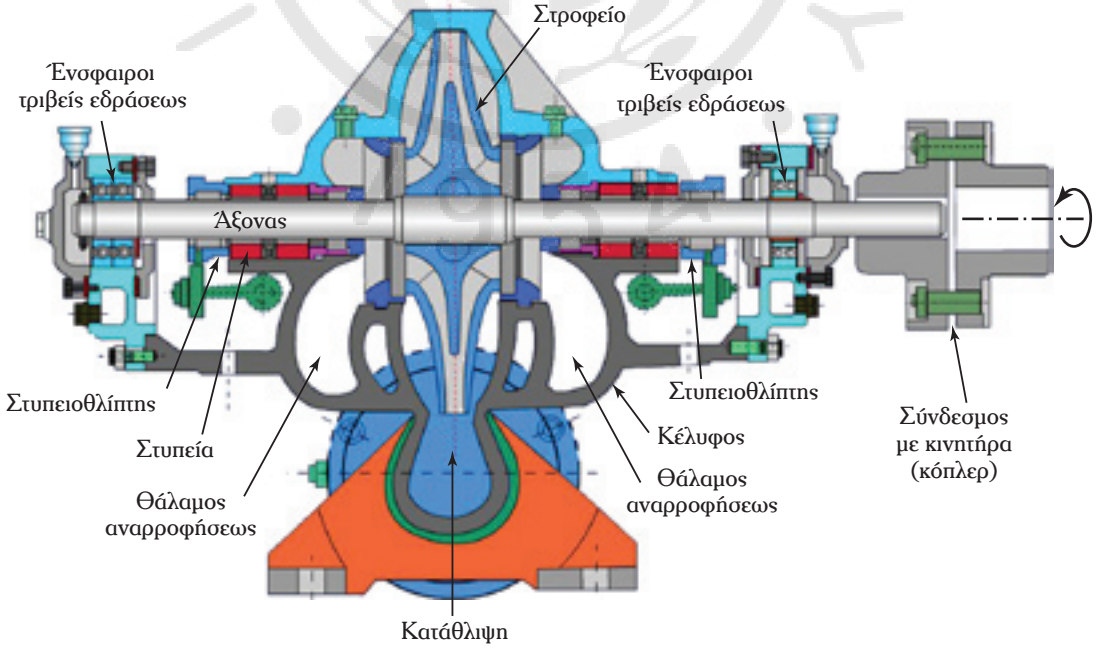
Σχ. 3.4β
Οπές εξισορροπήσεως της πιέσεως στο στροφείο.

Λόγω της συμμετρίας που παρουσιάζεται στην κατασκευή της αντλίας, η πίεση που αναπτύσσεται στις δύο πλευρές του στροφείου είναι θεωρητικά η ίδια, ώστε να παρουσιάζουν υδραυλική εξισορρόπηση χωρίς να εμφανίζεται αξονική ώση κατά τη διέλευση του υγρού από το στροφείο. Στην πράξη όμως, λόγω των αναποφεύκτων κατασκευαστικών ατελειών και τις άνισες φθορές των εξαρτημάτων εμφανίζεται πολύ μικρή αξονική ώση κατά τη λειτουργία της αντλίας, που δεν είναι ικανή να προκαλέσει λειτουργικές ανωμαλίες.

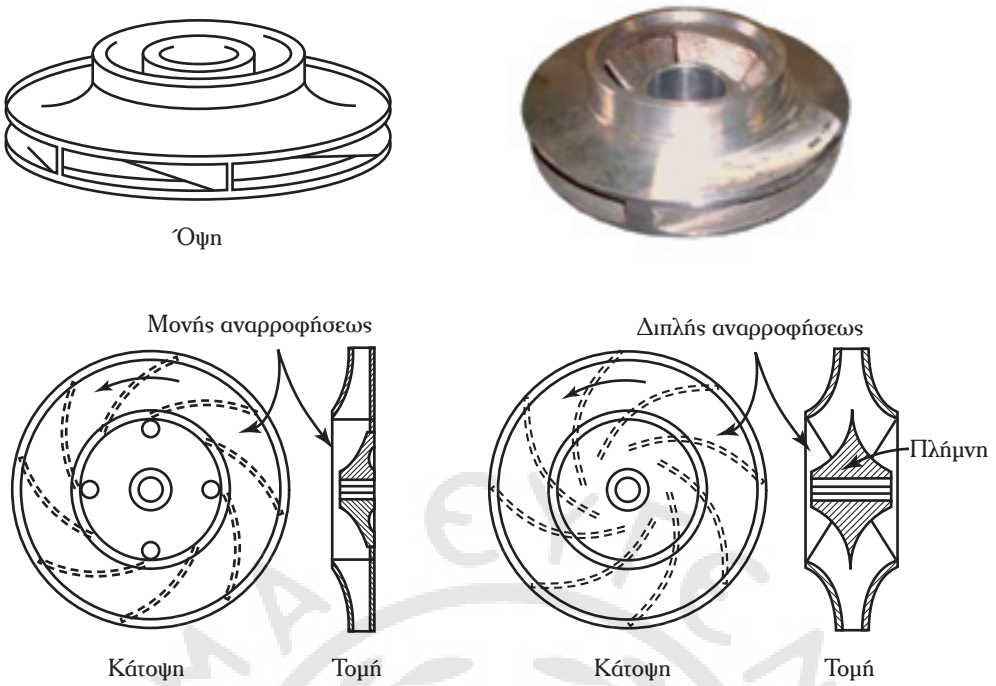
Οι αντλίες αυτές (σχ. 3.4γ) χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετούν μεγάλες παροχές και κατασκευάζονται με στροφεία διαμέτρου ανάλογης με το υγρό και το επιθυμητό ύψος καταθλίψεως, ενώ η παροχή τους φτάνει και τα 12.000 m^3/h.

3.5 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με το είδος του στροφείου – πτερωτής.

Άλλος τρόπος ταξινομήσεως των αντλιών σχετίζεται με το είδος του στροφείου-πτερωτής που διαθέ-



Σχ. 3.4γ
Αντλία διπλής εισόδου.

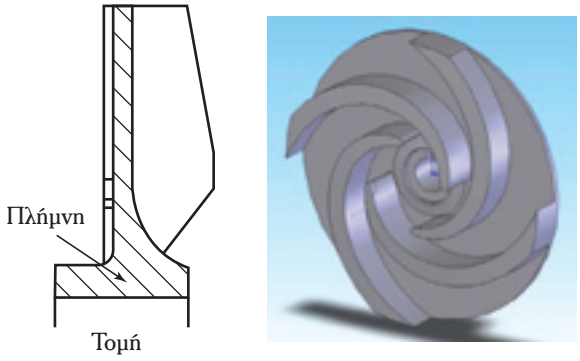


Σχ. 3.5α
Στροφεία κλειστού τύπου.

τουν. Το είδος του ***στροφείου*** ή ***πτερωτής*** (impeller), χαρακτηρίζεται από τον τρόπο κατασκευής του. Υπάρχουν τριών ειδών στροφεία: τα στροφεία ***κλειστού τύπου***, ***ημίκλειστου*** και τα ***ανοικτού τύπου*** και ανάλογα χαρακτηρίζονται οι αντλίες. Αναλυτικότερα:

1) ***Στροφεία κλειστού τύπου*** (closed impellers) (σχ. 3.5α). Τα στροφεία αυτά αποτελούνται από δύο δίσκους μεταξύ των οποίων υπάρχουν, συνήθως, από 3 έως 7 πτερύγια. Για τις αντλίες απλής εισόδου στον δίσκο της μίας πλευράς υπάρχει ένα κυκλικό άνοιγμα (μάτι – eye of impeller) στο κέντρο του στροφείου, ώστε να εισέρχεται το υγρό στα πτερύγια, ενώ στις αντλίες διπλής εισόδου το κυκλικό άνοιγμα υπάρχει στους δίσκους και των δύο πλευρών. Η διάμετρος του ανοίγματος συμπίπτει με την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα αναρροφήσεως της αντλίας, επιτυγχάνοντας την ομαλή είσοδο του υγρού στα πτερύγια. Η στεγανοποίηση, για να διαχωριστεί η αναρρόφηση από την κατάθλιψη, πραγματοποιείται με έναν ***δακτύλιο τριβής*** (wear ring) μεταξύ του στροφείου και του κελύφους της αντλίας με πολύ μικρό διάκενο. Τα στροφεία αυτού του τύπου έχουν μεγάλο βαθμό αποδόσεως, αναπτύσσουν υψηλή πίεση, ενώ εμφανίζουν μικρή αξονική ώση.

2) ***Ημίκλειστα στροφεία*** ή ***στροφεία ημίκλειστου τύπου*** (semi-open impellers) (σχ. 3.5β). Στα ημίκλειστα στροφεία δεν υπάρχει δίσκος στην πλευρά της αναρροφήσεως του στροφείου αλλά μόνο στην κάτω πλευρά, αποτελώντας προέκταση της πλήμνης. Τα στροφεία ημίκλειστου τύπου έχουν μεγαλύτερη απόδοση απ' ό,τι τα στροφεία κλειστού τύπου, διότι απαλείφονται οι τριβές στον δίσκο της πλευράς εισαγωγής του υγρού, και χρησιμοποιούνται ακόμη και όταν το υγρό μπορεί να περιέχει αιωρούμενα σωματίδια ή ίνες. Λόγω της ελεύθερης πλευράς των πτερυγίων, η απόσταση του στροφείου από το κέλυφος στην ανοικτή πλευρά του στροφείου πρέπει να είναι ελάχιστη, επιτυγχάνοντας τη μείωση των διαφυγών του υγρού μεταξύ των πτερυγίων. Τα στροφεία αυτά μειονεκτούν σε σχέση με τα στροφεία κλειστού τύπου, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξονική ώση.



Σχ. 3.5β
Ημίκλειστο στροφείο.

3) ***Ανοικτά στροφεία*** ή ***ανοικτού τύπου*** (open impellers) (σχ. 3.5γ). Στα στροφεία αυτά τα πτερύγια είναι τοποθετημένα στην πλήμνη του στροφείου χωρίς να υπάρχουν δίσκοι. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας υγρού σε αντλίες αξονικής ροής, χωρίς να έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν μεγάλο μανομετρικό ύψος καταθλίψεως λόγω της ελλείψεως διαχωρισμού μεταξύ αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Επίσης, είναι ιδανικά για αντλίες μεγάλου αριθμού στροφών ή αντλίες που μεταφέρουν υγρά με μεγάλα αιωρούμενα σωματίδια.

Σχ. 3.5γ
Ανοικτό στροφείο.

Η παροχή του υγρού στην έξοδο της αντλίας (κεφ. 4) καθορίζεται από μια σημαντική παράμετρο, την ειδική ταχύτητα της αντλίας N_s, η οποία δεν ε ξαρτάται από τον τύπο και τη φύση του αντλούμενου υγρού ή το μέγεθος της αντλίας, αλλά μόνο από τον τύπο, το σχήμα και τον αριθμό των στροφείων.

Η ειδική ταχύτητα (βλ. παράγρ. 5.5) για μονοβάθμια αντλία δίνεται από τη σχέση:

$$N_s = \frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{H^{\frac{3}{4}}} \qquad (3.2)$$

όπου: n οι στροφές της αντλίας, $\dot{V}$ η παροχή στο σημείο μέγιστης αποδόσεως και H, το ολικό ύψος καταθλίψεως (total discharge head) στο σημείο μέγιστης αποδόσεως.

Για πολυβάθμιες αντλίες η σχέση (3.2) γίνεται:

$$N_s = \frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{\left(\frac{H}{i}\right)^{\frac{3}{4}}} \qquad (3.3)$$

όπου: *i* ο αριθμός των βαθμίδων πιέσεως, διότι το ολικό ύψος που αναπτύσσεται σε κάθε στροφείο είναι H/i .

Για αντλία με στροφείο διπλής εισόδου η σχέση (3.2) γίνεται:

$$N_s = \frac{n \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \qquad (3.4)$$

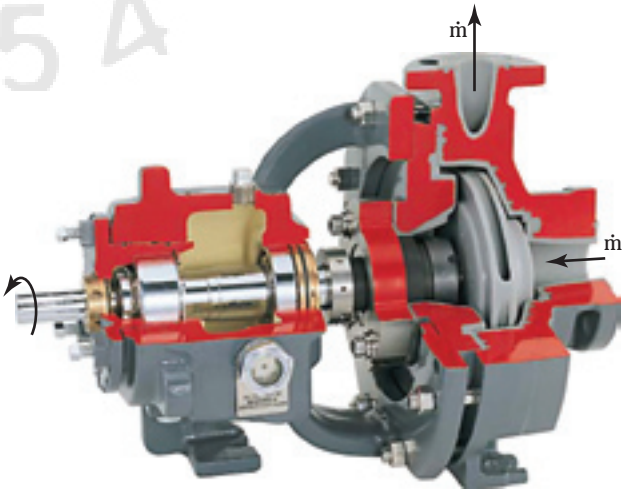
διότι κάθε πλευρά του στροφείου παρέχει το μισό της συνολικής παροχής $\dot{V}$.

Καθώς η ειδική ταχύτητα εξαρτάται από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας, όταν οι απαιτήσεις στην απόδοση αυξάνονται, καθίσταται αναγκαία η αλλαγή στην κατασκευή του στροφείου – πτερωτής από ακτινικού τύπου σε αξονικού τύπου. Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να πούμε ότι για χαμηλή ειδική ταχύτητα, μικρές παροχές και μεγάλο ύψος καταθλίψεως, χρησιμοποιούνται κλειστού τύπου ή ακτινικά στροφεία, ενώ για υψηλή ειδική ταχύτητα, μεγάλη παροχή και χαμηλό ύψος καταθλίψεως χρησιμοποιούνται ανοικτού τύπου ή αξονικά στροφεία.

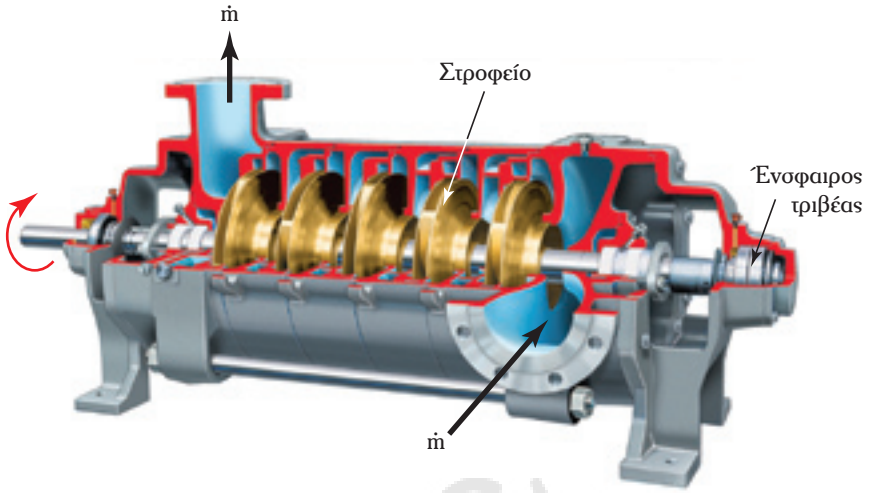
3.6 Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με τον αριθμό των βαθμίδων τους.

Ως ***βαθμίδα*** δυναμικής αντλίας ορίζεται ο συνδυασμός μιας πτερωτής, με τη διάταξη που οδηγεί τη ροή του υγρού, επιτυγχάνοντας το ολικό ή μέρος του ολικού μανομετρικού ύψους που αναπτύσσεται από το στροφείο. Η οδηγητική διάταξη μπορεί να είναι περίβλημα σταθερών πτερυγίων, σπειροειδές ή δακτυλιοειδές κέλυφος ή περισσότερα σε συνδυασμό. Οι δυναμικές αντλίες διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1) ***Μονοβάθμιες*** ή ***μονοσταδιακές αντλίες*** (single stage centrifugal pumps) (σχ. 3.6α) που



Σχ. 3.6α
Μονοβάθμια αντλία.



Σχ. 3.6β
Πολυβάθμια αντλία.

ονομάζονται οι αντλίες εκείνες στις οποίες το ολικό μανομετρικό ύψος αναπτύσσεται από μια πτερωτή (στροφείο) μέσα στο κέλυφος. Η πίεση εξαρτάται από τη διάμετρο της πτερωτής ή τις στροφές της ή και από τα δύο, επομένως για να αναπτυχθεί μεγαλύτερη πίεση πρέπει να αυξηθούν ανάλογα. Όμως, λόγω της ταυτόχρονης αυξήσεως των απωλειών είναι προτιμότερο η αύξηση της επιθυμητής πιέσεως να επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλιών με περισσότερες βαθμίδες (πολυβάθμιες).

2) ***Πολυβάθμιες*** ή ***πολυσταδιακές αντλίες*** (multistage pumps) (σχ. 3.6β), λέγονται οι αντλίες, στις οποίες το ολικό μανομετρικό ύψος αναπτύσσεται από δύο ή περισσότερες πτερωτές σε σειρά, μέσα σε ένα κοινό κατάλληλα διαμορφωμένο κέλυφος. Αποτελούνται από τον άξονα πάνω στον οποίο τοποθετούνται δύο ή περισσότερες πτερωτές (στροφεία) σε εναλλαγή, με σταθερά οδηγητικά πτερύγια στο κέλυφος. Έτσι, η κατάθλιψη της μιας πτερωτής αποτελεί την αναρρόφηση της επόμενης κ.ο.κ.. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων που προκύπτει από την ποικιλία των πτερωτών ή του κελύφους. Η αξονική ώση στις πολυβάθμιες αντλίες είναι μεγαλύτερη από τις μονοβάθμιες, λόγω της υπάρξεως πολλών πτερωτών στη σειρά. Για την εξισορρόπηση των αξονικών ώσεων χρησιμοποιούνται πτερωτές διπλής εισόδου του υγρού ή τοποθετούνται απλής εισόδου αντίθετα κατά ζεύγη. Με αυτήν τη διάταξη επιτυγχάνεται αντίθετη ώση των πτερωτών, με αποτέλεσμα την εξισορρόπηση των αξονικών δυνάμεων. ***Οι πολυβάθμιες αντλίες επιτυγχάνουν μεγάλες παροχές με μεγάλη πίεση καταθλίψεως και χρησιμοποιούνται ως τροφοδοτικές αντλίες για την εισαγωγή νερού στους λέβητες παραγωγής ατμού, υπερνικώντας την πίεση στο εσωτερικό του ατμοϋδροθαλάμου***.

Συνήθως κατασκευάζονται σε οριζόντια διάταξη και το κέλυφός τους είναι αξονικά διαιρούμενο στο επίπεδο του άξονα σε δύο ημικελύφη. Η στήριξη του άξονα γίνεται σε ***ένσφαιρους τριβείς*** (ball bearings) εξωτερικά του κελύφους. Η στεγανοποίησή τους επιτυγχάνεται με παρεμβύσματα σε κατάλληλα διαμορφωμένο στυπειοθλίπτη ή ***μηχανικούς στυπειοθλίπτες*** (mechanical seals), όταν αντλούνται υγρά σε μεγάλες πιέσεις και θερμοκρασίες.

3.7 Δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου.

Οι δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου ταξινομούνται σε αντλίες ακροφυσίου, υδραυλικού εμβόλου, ανυψώσεως με αέρα και ηλεκτρομαγνητικές.

3.7.1 Αντλίες ακροφυσίου.

Οι ***αντλίες ακροφυσίου*** (jet pumps) ή ***εκχυτήρες*** που είναι γνωστές και ως ***τζιφάρια*** (από το όνομα του Γάλλου μηχανικού Giffard που πρώτος τις σχεδίασε), δεν είναι περιστροφικές. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ενέργεια, η οποία μεταδίδεται από ένα ρευστό (υγρό ή αέριο) που ονομάζεται ***ρευστό λειτουργίας*** ή ***βοηθητικό*** σε ένα άλλο ρευστό το οποίο καλείται ***αντλούμενο ρευστό***. Αυτό ουσιαστικά αποτελεί το γενικό χαρακτηριστικό των αντλιών ακροφυσίου. Η άντληση με αντλίες ακροφυσίου-εκχυτήρες επιτυγχάνεται από τη δημιουργία υποπίεσεως σε αγωγό, για την αναρρόφηση του υγρού, με τη βοήθεια του ρευστού λειτουργίας που παρέχεται στον εκχυτήρα από διαφορετικό αγωγό. Η κατάθλιψη και των δύο ρευστών γίνεται σε κοινό αγωγό, το διαχυτήρα, γι' αυτό και οι εφαρμογές

των εκχυτήρων ως αντλιών έχουν περιορισμούς κατά τη χρήση. Αυτοί οι περιορισμοί δεν αποτελούν πρόβλημα εάν χρησιμοποιούνται για την άντληση ομοίων υγρών που συμπίπτουν τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. το ρευστό λειτουργίας και το αντλούμενο ρευστό να είναι νερό).

Σύμφωνα με τις παραπάνω απαιτήσεις, τα κύρια εξαρτήματα απ' τα οποία αποτελείται μια αντλία εκχυτήρα είναι το ***ακροφύσιο***, ο ***αγωγός αναρροφήσεως*** και ο ***διαχυτήρας*** (σχ. 3.7α), ενώ η λειτουργία του όλου συστήματος βασίζεται στην εξίσωση του Bernoulli και τη λειτουργία του σωλήνα Venturi. Για τη μελέτη της ροής μέσω των αντλιών εκχυτήρων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η μεταβολή της πιέσεως και της ταχύτητας, που θα δημιουργήσουν τις συνθήκες υποπιέσεως στο εσωτερικό του εκχυτήρα, άρα και την άντληση. Έτσι, εάν η διάμετρος στην είσοδο του ρευστού λειτουργίας στο ακροφύσιο είναι d_1, η ταχύτητά του v_1 και η πίεση p_1 και τα αντίστοιχα μεγέθη στην έξοδο του ακροφυσίου d_2, v_2 και p_2, ισχύει ότι: $p_2<p_1$. Πιο συγκεκριμένα, αν το ρευστό λειτουργίας είναι υγρό, σύμφωνα με την εξίσωση της συνέχειας ισχύει:

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot v_1 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot v_2$$

ή

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \qquad (3.5)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli:

$$z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} = h_f$$

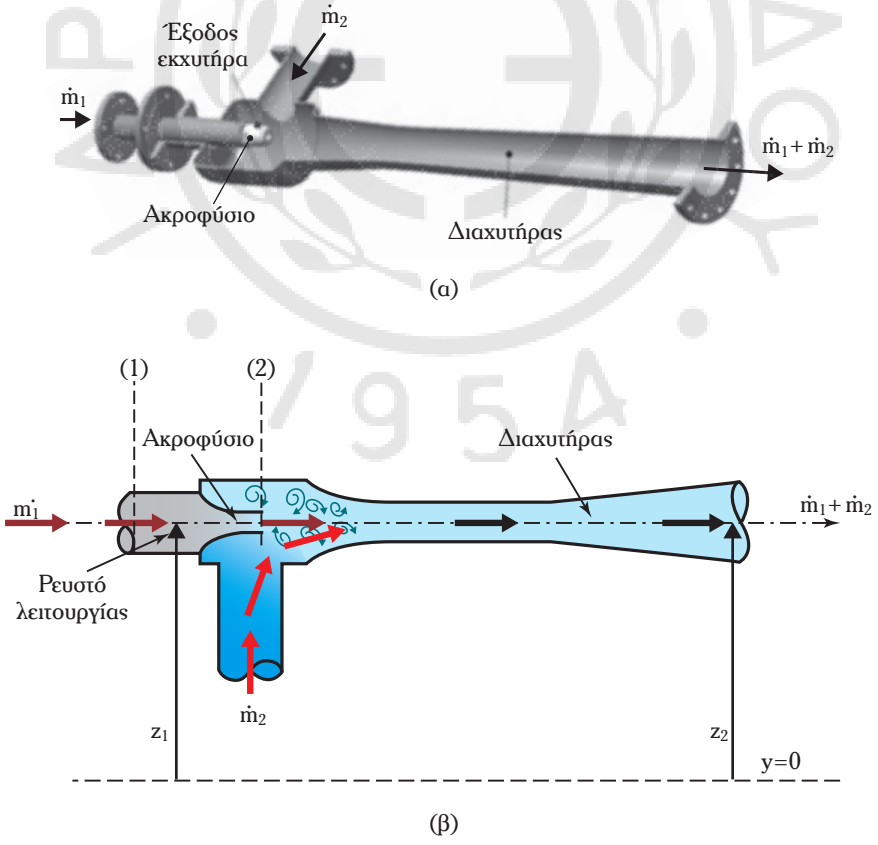
Επειδή $z_1 = z_2$, ισχύει:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} = h_f$$

ή

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{2} + \gamma \cdot h_f \qquad (3.6)$$

όπου: p είναι η πίεση, v, η ταχύτητα, ρ, η πυκνότητα του υγρού, h_f, το ύψος απωλειών και g, η επιτάχυνση της βαρύτητας.



Σχ. 3.7α

(α) Τομή εκχυτήρα και (β) αρχή λειτουργίας αντλίας ακροφυσίου.

Και λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (3.5) η διαφορά πιέσεως γίνεται:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \cdot \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right] + \gamma \cdot h_f \qquad (3.7)$$

Η εξίσωση (3.6) δείχνει την πτώση πιέσεως[3] που παρουσιάζεται στην έξοδο του ακροφυσίου, λαμβάνοντας υπόψη το ύψος απωλειών h_f. Αν για παράδειγμα, το υγρό λειτουργίας είναι νερό, το οποίο εισέρχεται στο ακροφύσιο με ταχύτητα 1 m/s και ο λόγος των διαμέτρων του ακροφυσίου είναι $(d_1/d_2 = 4)$, ακόμα και αν οι απώλειες θεωρηθούν αμελητέες, από την εξίσωση (3.6) υπολογίζεται ότι η πτώση της πιέσεως είναι: $p_1 - p_2 = 255$ kPa.

Η πτώση πιέσεως στην έξοδο του ακροφυσίου του σχήματος 3.7α(β) οδηγεί σε αναρρόφηση του αντλούμενου ρευστού ($\dot{m}_2$) από το σωλήνα αναρροφήσεως, με παροχή και ταχύτητα οι οποίες εξαρτώνται από τη διαφορά πιέσεως και τα μεγέθη του σωλήνα αναρροφήσεως. Το αντλούμενο ρευστό αναμειγνύεται με το ρευστό λειτουργίας στο θάλαμο που περιβάλλει το ακροφύσιο και αποκτούν κοινή ταχύτητα, η οποία στο αποκλίνον τμήμα του αγωγού (διαχυτήρα), μειώνεται και αυξάνει η πίεση του ρευστού.

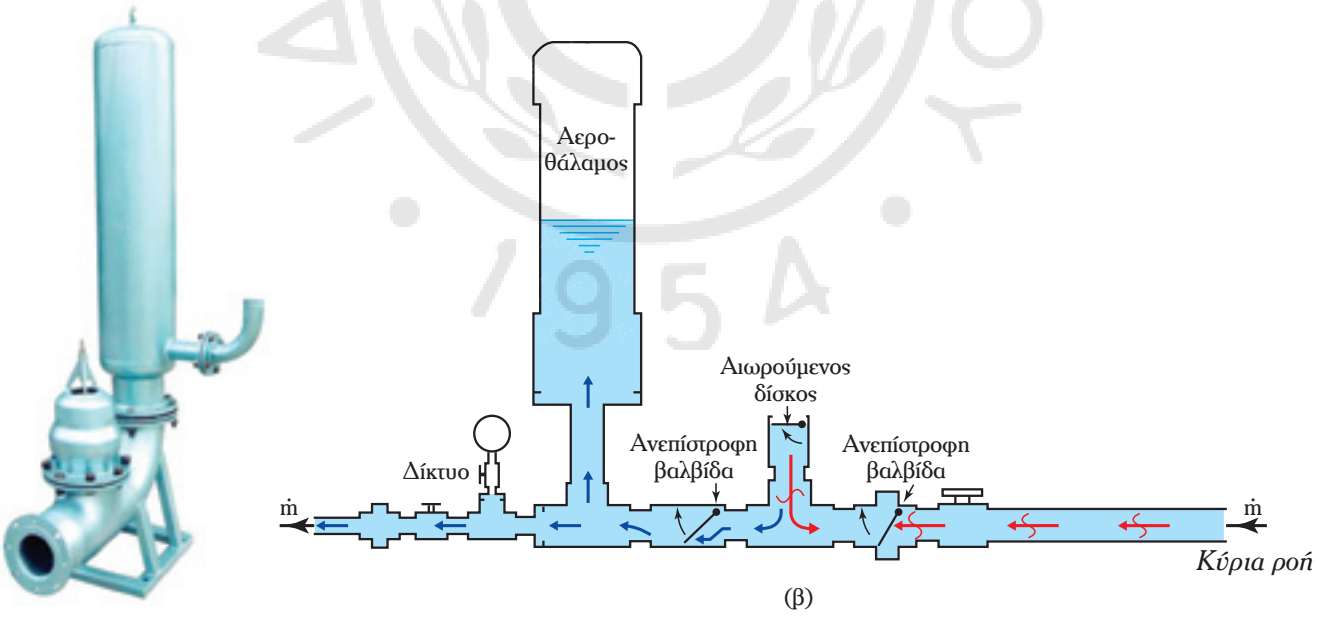
Σημαντικό πλεονέκτημα των εκχυτήρων είναι ότι δεν διαθέτουν κινητά μέρη (στροφείο ή έμβολο), αλλά λαμβάνουν την ενέργεια για την άντληση από ρευστό λειτουργίας και όχι απευθείας από κινητήριο μηχανισμό. Ως ρευστό λειτουργίας δύναται να χρησιμοποιείται ατμός, πεπιεσμένος αέρας ή νερό υπό πίεση.

Στα μειονεκτήματα των αντλιών του τύπου αυτού, εκτός από τον περιορισμό της συμβατότητας των ρευστών που χρησιμοποιούνται, περιλαμβάνεται και η μείωση της αποδόσεως σε περίπτωση που η κατάθλιψη γίνεται σε περιβάλλον με πίεση.

Οι εκχυτήρες χρησιμοποιούνται για την άντληση υγρών, τα οποία δύναται να περιέχουν και αέρια λόγω της δυνατότητάς τους να αναρροφούν τον αέρα όταν χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κενού κ.ά.. ***Στα πλοία συναντάμε εκχυτήρες εξαντλήσεως κυτών***, ***έρματος***, ***ακαθάρτων***, ***προπλπρώσεως των σωλήνων αναρροφήσεως των φυγοκεντρικών αντλιών κ.λπ..***

3.7.2 Αντλίες υδραυλικού εμβόλου.

Η ***αντλία υδραυλικού εμβόλου*** (hydram pump) ή πιεστικού θαλάμου (σχ. 3.7β), αποτελεί μια αυτό-



Σχ. 3.7β
(α) Αντλία υδραυλικού εμβόλου και (β).

[3] Αν το αρχικό ύψος ταχύτητας $(v_1^2/2g)$ και το ύψος απωλειών (h_f) θεωρηθούν αμελητέα, από την εξίσωση (3.6) προκύπτει η σχέση (η οποία χρησιμοποιείται για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της πτώσεως πιέσεως): $p_1 - p_2 = \rho \cdot v_2^2/2$.

ματη διάταξη αντλήσεως, που έχει την ικανότητα να αντλεί υγρά τα οποία βρίσκονται μόνο υψηλότερα από το σημείο όπου βρίσκεται η αντλία και αυτό χωρίς τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ή οποιασδήποτε άλλης πηγής ενέργειας. Χρησιμοποιεί λίγα κινούμενα μέρη και ως εκ τούτου είναι πολύ απλή κατασκευή, με υψηλή αξιοπιστία και ελάχιστες απαιτήσεις συντηρήσεως για μεγάλες χρονικές περιόδους λειτουργίας.

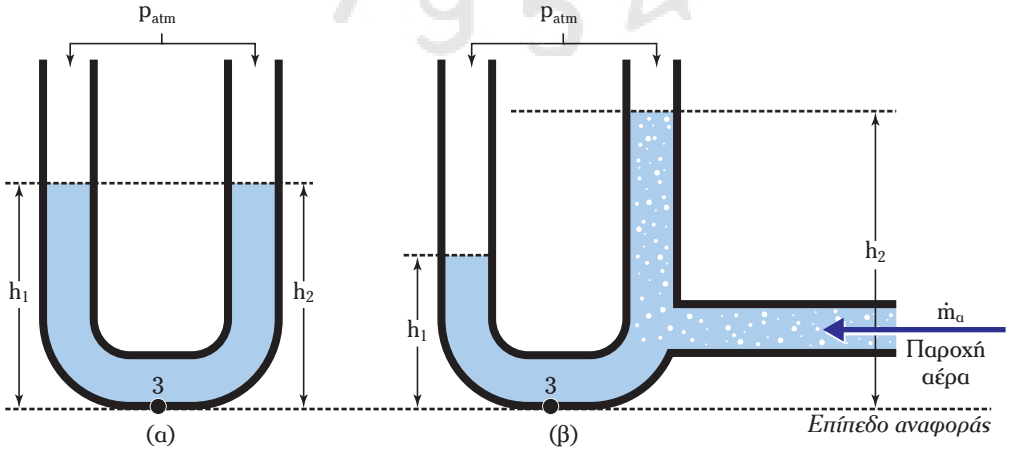
Η λειτουργία της αντλίας βασίζεται στο φαινόμενο του υδραυλικού κτυπήματος (πλήγματος) με αποτέλεσμα να δημιουργείται πίεση νερού. Χρησιμοποιώντας αυτήν την πίεση, η αντλία είναι σε θέση να καταθλίψει το υγρό σε σημείο που βρίσκεται πολύ υψηλότερα από την αντλία.

Το υγρό, συνήθως νερό, κατά τη λειτουργία της αντλίας υδραυλικού εμβόλου (σχ. 3.7β) διέρχεται από το σωλήνα αναρροφήσεως μέσω μιας ανεπίστροφης βαλβίδας, ενώ μια ποσότητα εξέρχεται από έναν αιωρούμενο δίσκο. Η ταχύτητα που αποκτά το νερό διερχόμενο από τον αιωρούμενο δίσκο τον αναγκάζει να κλείσει απότομα. Με το κλείσιμο του δίσκου το νερό διαθέτει ακόμα ενέργεια από την ταχύτητα που έχει αναπτύξει, με αποτέλεσμα η απότομη μείωση της ταχύτητας (Θεώρημα Bernoulli) να δημιουργήσει αύξηση της πίεσης, η οποία εφόσον δεν δύναται λόγω της ανεπίστροφης βαλβίδας να επιστρέψει προς το δίκτυο αναρροφήσεως αναγκάζει το νερό να ρέει προς το δίκτυο καταθλίψεως μέσω μίας άλλης ανεπίστροφης βαλβίδας.

Στο δίκτυο είναι εγκατεστημένος και ένας θάλαμος που περιέχει αέρα και λαμβάνει τις απότομες διακυμάνσεις της πίεσης με την αυξομείωση της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του. Για όσο χρονικό διάστημα το νερό έχει πίεση, από το απότομο κλείσιμο της βαλβίδας, ρέει προς το θάλαμο και το δίκτυο. Μόλις αρχίσει να μειώνεται η εκτόνωση του συμπιεσμένου αέρα στο θάλαμο το νερό υπερισχύει της πιέσεώς του που έρχεται από την πλευρά της αναρροφήσεως, με αποτέλεσμα να αναγκάσει την ανεπίστροφη βαλβίδα να κλείσει και να αρχίσει εκ νέου ένας κύκλος με την εισαγωγή του νερού από την ανεπίστροφη βαλβίδα. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται περιοδικά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ροής προς το δίκτυο. ***Οι αντλίες αυτού του τύπου δεν συναντώνται στις εγκαταστάσεις των πλοίων***.

3.7.3 Αντλίες ανυψώσεως με αέρα.

Η αντλία ανυψώσεως με αέρα (gas lift pumps) λόγω της δυνατότητάς της να διακινεί υγρά, δεν είναι ένα μηχάνημα αλλά πρόκειται ουσιαστικά για μια μέθοδο ***αντλήσεως***, που χρησιμοποιείται για την άντληση νερού ή πετρελαίου από γεωτρήσεις μικρού βάθους, θερμών υπογείων νερών, ανύψωση διαβρωτικών υγρών ή υγρών που περιέχουν στερεά σωματίδια (π.χ. άμμο κ.ά.). Η αρχή λειτουργίας των αντλιών ανυψώσεως με αέρα βασίζεται στο θεμελιώδη Νόμο της Υδροστατικής ($P = \rho \cdot g \cdot h$), στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων [σχ. 3.7γ(α)] και στην διαφορά της πυκνότητας του ρευστού. Σύμφωνα με αυτά παρατηρείται ότι στις αντλίες ανυψώσεως με αέρα από την βύθιση των σωλήνων μέσα στο προς άντληση υγρό δημιουργείται ένας σωλήνας τύπου U, στον οποίο θα ισχύει η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων. Το ένα σκέλος του σωλήνα περιέχει μόνο το υγρό προς άντληση, ενώ το άλλο περιέχει μείγμα του υγρού με αέρα [σχ. 3.7γ(β)]. Στην ελεύθερη επιφάνεια στα δύο σκέλη του σωλήνα ασκείται η ίδια πίε-



Σχ. 3.7γ

(α) Σωλήνας τύπου U με υγρό, (β) σωλήνας τύπου U με παροχή αέρα στο ένα σκέλος.

στη P_{atm} (ατμοσφαιρική). Με την παροχή του αέρα, μεταξύ των δύο σκελών θα δημιουργηθεί διαφορά στην πυκνότητα του υγρού που περιέχουν, ώστε από το θεμελιώδη Νόμο της Υδροστατικής για κάθε σκέλος θα ισχύει:

$$p_{υδ1} = \rho_1 \cdot g \cdot h_1, \text{ σκέλος με υγρό (1)} \quad (3.8)$$

$$p_{υδ2} = \rho_2 \cdot g \cdot h_2, \text{ σκέλος με μείγμα υγρού και αέρα (2)} \quad (3.9)$$

όπου: $p_{υδ1}$, $p_{υδ2}$ είναι οι υδροστατικές πίεσεις στην ελεύθερη επιφάνεια κάθε σκέλους του σωλήνα U, στο επίπεδο αναφοράς σημείο 3, g, η επιτάχυνση της βαρύτητας, h_1 και h_2, το ύψος σε κάθε σκέλος του σωλήνα ρ_1 και ρ_2, η πυκνότητα του προς άντληση υγρού και η πυκνότητα του μείγματος υγρού και αέρα αντίστοιχα.

Λόγω του αέρα, εφόσον στις επιφάνειες του ρευστού στα δύο σκέλη του σωλήνα U υφίσταται p_{atm} από τις σχέσεις (3.8), (3.9) και για την ολική πίεση στο ίδιο επίπεδο (3) ισχύει ότι:

$$p_{atm} + p_{υδ1} = p_{atm} + p_{υδ2}$$

ή $$p_{atm} + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = p_{atm} + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

ή $$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

ή $$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2 \text{ ή } \frac{h_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{\rho_1} \text{ ή } \frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

ή $$h_2 = h_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (3.10)$$

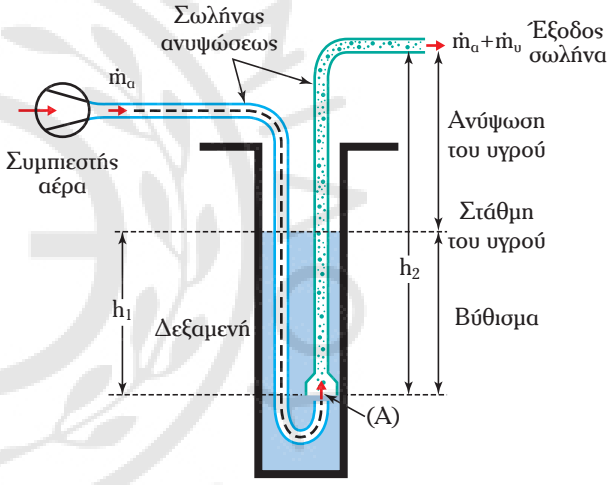
Επειδή $\frac{\rho_1}{\rho_2} > 1$, λόγω της υπάρξεως αέρα στο σκέλος του σωλήνα U, τότε από την εξίσωση (3.10) προκύπτει ότι $h_2 > h_1$.

Η απόδοση της αντλίας εξαρτάται από το βύθισμα των σωλήνων μέσα στο προς άντληση υγρό, ενώ είναι ανάλογο της στατικής πίεσεως στην ελεύθερη επιφάνεια των υγρών και της περιεκτικότητάς του σε αέρα στο υγρό.

Οι αντλίες ανυψώσεως με αέρα πλεονεκτούν στην απλότητα κατασκευής και λειτουργίας, αλλά μειονεκτούν λόγω του μικρού βαθμού αποδόσεως (η=20 έως 35%). Η όλη εγκατάσταση της αντλίας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.7δ, όπου ο σωλήνας ανυψώσεως του νερού είναι βυθισμένος μέσα στη δεξαμενή με το νερό. Αέρας από το συμπιεστή καταθλίβεται μέσω του σωλήνα και εισέρχεται με πίεση στο σημείο (Α) που είναι κατάλληλα διαμορφωμένο, ώστε να αναμειγνύεται με το νερό ο αέρας και να εισέρχεται στο σωλήνα ανυψώσεως. Το μείγμα αέρα και νερού που σχηματίζεται μέσα στο σωλήνα ανυψώσεως έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό που βρίσκεται εξωτερικά του σωλήνα. Λόγω της αρχής των συγκοινωνούντων δοχείων η στήλη του μείγματος ανυψώνεται, με αποτέλεσμα την κατάθλιψη από την έξοδο του σωλήνα ανυψώσεως.

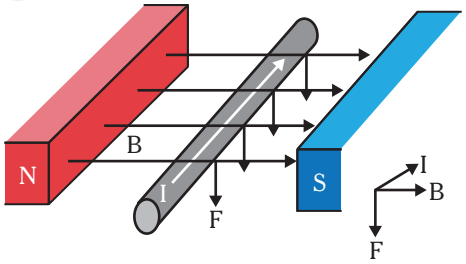
3.7.4 Ηλεκτρομαγνητικές αντλίες (electromagnetic pumps).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται μόνο για την άντληση υγρών που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια με των ηλεκτροκινητήρων (Νόμος του Faraday). Δηλαδή, όπως ένας αγωγός επηρεάζεται από το μαγνητικό ή το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (σχ. 3.7ε), στις ηλεκτρομαγνητικές αντλίες η επίδραση του μαγνητικού



Σχ. 3.7δ

Αντλίες ανυψώσεως με αέρα.



B, Μαγνητικό πεδίο
I, Ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό
F, Δύναμη (Laplace) που ασκείται στον αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα I.

Σχ. 3.7ε

Δύναμη Laplace σε αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

πεδίου ασκείται στο αγώγιμο ρευστό που αντιπροσωπεύει τον αγωγό.

Για τη λειτουργία της ηλεκτρομαγνητικής αντλίας (σχ. 3.7στ) είναι απαραίτητα:

1) Ο αγωγός-σωλήνας που διαρρέεται από το αγώγιμο ρευστό.

2) Οι μαγνήτες για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου, και

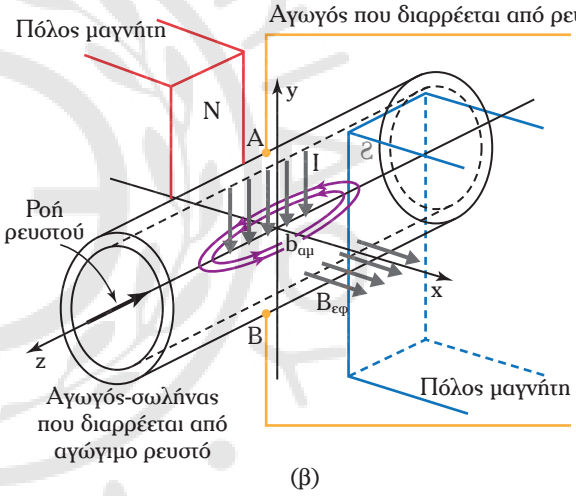
3) η πηγή ρεύματος που παρέχει ρεύμα σε αγωγό και συνδέεται στο σωλήνα με το αγώγιμο ρευστό.

Το μαγνητικό πεδίο $B_{εφ}$ που παράγεται από τους μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλη διάταξη, διέρχεται κάθετα από τον αγωγό-σωλήνα που διαρρέεται με το αγώγιμο ρευστό. Παράλληλα συνεχές ρεύμα εφαρμόζεται στα σημεία Α και Β από την εξωτερική πηγή (π.χ. μια μπαταρία). Το παρεχόμενο ρεύμα στα σημεία Α και Β διέρχεται και αυτό από το αγώγιμο ρευστό ως ρεύμα I δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο από επαγωγή και μπορεί να οριστεί ως «μαγνητικό πεδίο αντιδράσεως» $\boldsymbol{b_{αμ}}$. Καθώς τα δυο μαγνητικά πεδία $\boldsymbol{B_{εφ}}$ και $\boldsymbol{b_{αμ}}$ τείνουν να ευθυγραμμιστούν επιδρούν στο αγώγιμο ρευστό προκαλώντας την κίνησή του μέσα στο σωλήνα.

Ως εκ τούτου, το μαγνητικό πεδίο, το οποίο μπορεί να δημιουργείται με διάφορους τρόπους (π.χ. από μπαταρία ή πηγή ηλεκτρικού ρεύματος σε ηλεκτρομαγνήτες), επιδρά στο ρευστό προκαλώντας τη ροή μέσα στο σωλήνα.

Οι ηλεκτρομαγνητικές αντλίες χρησιμοποιούνται για την άντληση υγρών μετάλλων, για την ψύξη των πυρηνικών αντιδραστήρων και για τη χύτευση με τη διακίνηση μετάλλων σε τήξη που διαρρέουν σωλήνες από κατάλληλο υλικό π.χ. κεραμικό.

(α)

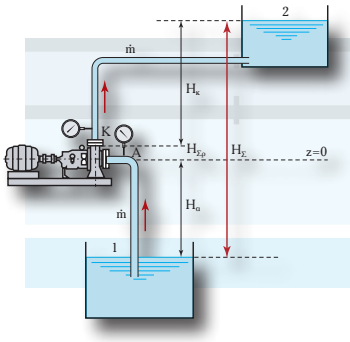


(β)

$B_{εφ}$, Εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο
I, Ροή ρεύματος μεταξύ των ηλεκτροδίων
$b_{αμ}$, Η αντίδραση του μαγνητικού πεδίου λόγω της ροής του ρεύματος I

Σχ. 3.7στ

(α) Τύποι ηλεκτρομαγνητικής αντλίας και
(β) σχηματική παράσταση της λειτουργίας της.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων αντλήσεως

4.1 Βασικά στοιχεία μηχανικής ρευστών και υδραυλικών συστημάτων.

Ως ***ρευστό***, χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε ουσία παρουσιάζει ροή ολισθαίνοντας ελεύθερα έτσι, ώστε να παίρνει το σχήμα του χώρου που καταλαμβάνει ή του μέσου διά του οποίου κινείται, χωρίς να παρατηρείται κατάτμηση της μάζας του όταν ασκούνται σε αυτήν εξωτερικές δυνάμεις. Αντίθετα, αντιδρά ολισθαίνοντας συνεχώς ή μετατοπίζεται εξ' ολοκλήρου, ανεξάρτητα και συνεχώς. Τα ρευστά χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω ιδιότητες:

1) Τη ***δυνατότητα να συμπιέζονται*** (συμπιεστότητα).

2) Το ***ιξώδες***, το οποίο χαρακτηρίζει την αντίσταση που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους[1].

3) Τη ***συνάφεια***, η οποία είναι η ελκτική δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ των προσκειμένων μορίων (διαμοριακή) διαφορετικών ουσιών ή υλικών, όπως η συνάφεια του υγρού με τα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει.

Με βάση τα παραπάνω, τα ρευστά, τα οποία είναι υγρά ή αέρια, διακρίνονται σε:

1) ***Ιδανικά*** ή ***τέλεια ρευστά*** τα οποία είναι τελείως ασυμπίεστα, ενώ καμιά εσωτερική τριβή δεν αναπτύσσεται μεταξύ των μορίων τους κατά τη ροή τους. Είναι προφανές ότι αυτά αποτελούν θεωρητική κατάσταση και λαμβάνονται υπόψη στις έρευνες και μελέτες των Νόμων των ρευστών, διευκολύνοντας την εξαγωγή συμπερασμάτων με τους αντίστοιχους υπολογισμούς.

2) ***Φυσικά ρευστά***, τα οποία εμφανίζουν ιδιότητες που διαφοροποιούνται από τις ιδιότητες των ιδανικών ρευστών, όπως η δυνατότητα να συμπιέζονται, η ανάπτυξη εσωτερικής τριβής και η συνάφεια.

Οι δυνάμεις που ενεργούν στα ρευστά διακρίνονται σε:

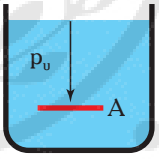
1) ***Εξωτερικές*** δηλαδή η βαρύτητα, η φυγόκεντρος δύναμη και η ατμοσφαιρική πίεση και

2) ***εσωτερικές*** δηλαδή οι πιέσεις, όπως η υδροστατική πίεση και το στατικό ύψος.

Από τις δυνάμεις που ενεργούν στα ρευστά, κατά τη διακίνησή τους, είτε πρόκειται για εσωτερικές, είτε για εξωτερικές, έχουν προκύψει όροι, νόμοι και εξισώσεις, οι οποίοι διευκρινίζουν τον τρόπο λειτουργίας μιας αντλίας ή ενός συστήματος αντλήσεως. Αναφορικά αυτοί είναι:

1) ***Ατμοσφαιρική πίεση*** (atmospheric pressure) ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα με το βάρος της στην επιφάνεια της θάλασσας. Σύμφωνα με τη μέτρηση του Torricelli είναι ίση με 760 mm Hg (χιλιοστά στήλης υδραργύρου).

2) ***Υδροστατική πίεση*** (hydrostatic pressure) ονομάζεται η πίεση την οποία ασκεί ένα υγρό σε αντικείμενο ή επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σε αυτό (σχ. 4.1α).



Σχ. 4.1α
Υδροστατική πίεση που ασκείται σε βυθισμένη επιφάνεια.

Η πίεση οφείλεται στην εξωτερική δύναμη της βαρύτητας, δηλαδή στο βάρος του υγρού που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια ή το αντικείμενο. Έτσι αν χαρακτηριστεί ως $p_υ$ η υδροστατική πίεση, F η δύναμη που παριστάνει το βάρος του υγρού και βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια, και A η επιφάνεια πάνω στην οποία ασκείται η πίεση p, τότε η υδροστατική πίεση ισούται με το πηλίκο:

$$p_υ = \frac{F}{A} \qquad (4.1)$$

3) ***Υδροστατικό*** ή ***θλιπτικό ύψος*** (h) (hydrostatic pressure ή pressure head) ενός σημείου που

[1] Η αντίσταση αυτή οφείλεται στις εσωτερικές τριβές των μορίων τους από δυνάμεις συνοχής, σε βαθμό που το ίδιο το ιξώδες να αποτελεί μέτρο αντιστάσεως του υγρού στη ροή ή μέτρο της ρευστότητάς του.

βρίσκεται μέσα σε υγρό ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση του σημείου αυτού από την ελεύθερη επιφάνεια της υγρής μάζας. Έτσι, αν ρ είναι η πυκνότητα του υγρού, τότε η δύναμη F που ασκείται στην επιφάνεια Α θα δίνεται από τη σχέση:

$$F = V \cdot \rho \cdot g = A \cdot h \cdot \rho \cdot g \qquad (4.1\alpha)$$

Τότε λόγω του $p_υ = \frac{F}{A}$ η (4.1α) γίνεται

$$p_υ = \frac{A \cdot h \cdot \rho \cdot g}{A} \text{ ή } p_υ = \rho \cdot g \cdot h = \gamma \cdot h \qquad (4.2)$$

Άρα $$h = \frac{p_υ}{\rho \cdot g} \quad \text{ή} \quad h = \frac{p_υ}{\gamma} \qquad (4.3)$$

Έτσι, το στατικό ύψος αποτελεί το μέτρο της υδροστατικής πίεσης, στο σημείο που βρίσκεται μέσα στο υγρό και μεταβάλλεται σύμφωνα με τη μεταβολή της πίεσης σε αναλογία με τη μεταβολή του βάθους.

4) ***Αρχή του Αρχιμήδη*** (Archimedes principle). Σύμφωνα με αυτή, κάθε σώμα βυθισμένο μέσα σε ένα ρευστό δέχεται άνωση ίση με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζει, ώστε αν Β (buoyancy) είναι η άνωση, τότε εκφράζεται από τον τύπο:

$$B = \rho \cdot g \cdot V \qquad (4.4)$$

όπου: ρ, η πυκνότητα του ρευστού, g, η επιτάχυνση της βαρύτητας και V, ο όγκος του βυθισμένου σώματος (εκτοπιζόμενος όγκος ρευστού).

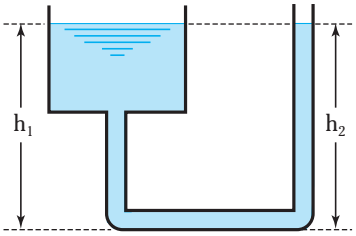
Έτσι, αν $V_υ$ ο όγκος του σώματος και $ρ_υ$ η πυκνότητά του, τότε το βάρος G του σώματος δίδεται από τη σχέση:

$$G = V_υ \cdot \rho_υ \cdot g \qquad (4.5)$$

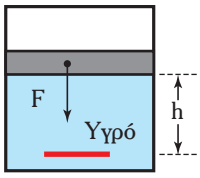
5) Η ***αρχή του Πασκάλ*** (Blaise Pascal, 1623 – 1662 γάλλος φυσικομαθηματικός), είναι μία από τις τρεις βασικές Αρχές της υδροστατικής και καθορίζει ότι οποιαδήποτε πίεση ασκείται στην επιφάνεια ενός υγρού μεταδίδεται ομοιόμορφα σε αυτό προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλο του το βάθος. Η εφαρμογή της Αρχής αυτής βρίσκεται στις αντλίες και τα υδραυλικά πιεστήρια.

6) Η ***αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων*** (communicating vessels principle) (σχ. 4.1β), όταν δύο ή περισσότερα δοχεία οποιουδήποτε σχήματος περιέχουν το ίδιο υγρό και συγκοινωνούν μεταξύ τους, η στάθμη στις ελεύθερες επιφάνειες του υγρού σε όλα τα δοχεία βρίσκεται στο ίδιο ύψος.

7) Η ***θεμελιώδης εξίσωση*** ή ο ***θεμελιώδης Νόμος της Υδροστατικής*** (σχ. 4.1γ), αποτελείται από το συνδυασμό της υδροστατικής πίεσης και της



Σχ. 4.1β
Αρχή συγκοινωνούντων δοχείων.



Σχ. 4.1γ
Απεικόνιση του Θεμελιώδους Νόμου της Υδροστατικής.

Αρχής του Πασκάλ. Σύμφωνα με αυτήν προκύπτει ότι, σε ένα σημείο που βρίσκεται μέσα σε ένα υγρό και στην επιφάνειά του εφαρμόζεται εξωτερική πίεση $p_ε$ (από τη δύναμη F), ενώ ασκούνται και δυνάμεις της γήινης βαρύτητας, η συνολική πίεση $p_σ$ που ασκείται στο σημείο αυτό ισούται με το άθροισμα της εξωτερικής πίεσης $p_ε$ και της αντίστοιχης υδροστατικής πίεσης $p_υ$.

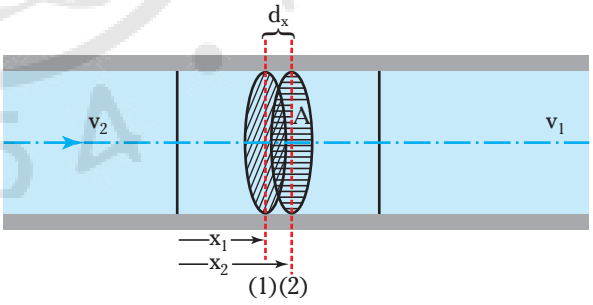
Όπου: $p_σ = p_ε + p_υ$ και επειδή

$$p_υ = h \cdot \rho_υ g \quad \text{τότε} \quad p_σ = p_ε + (h \cdot \rho_υ g) \qquad (4.6)$$

8) Ο ***Νόμος*** ή η ***εξίσωση της συνέχειας της ροής*** (σχ. 4.1δ). Ο Νόμος αυτός καθορίζει ότι η παροχή μάζας του αγωγού παραμένει σταθερή κατά μήκος του σε οποιαδήποτε διατομή του που διαρρέεται από υγρό. Από τη Μηχανική Ρευστών είναι γνωστό ότι:

$$m_1 = \dot{m}_2 \quad \text{ή} \quad A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \qquad (4.7)$$

όπου: Α η διατομή του σωλήνα και v η ταχύτητα του υγρού.



Σχ. 4.1δ
Απεικόνιση της εξισώσεως της συνέχειας της ροής.

Έτσι όταν έχομε έναν σωλήνα, με μεταβαλλόμενη διατομή στα διάφορα σημεία του μήκους του είτε λόγω της μορφής του, είτε λόγω της εναποθέσεως αλάτων, η σταθερή παροχή $\dot{V}$ στα διάφορα σημεία καθώς το υγρό ρέει προς μία διεύθυνση μέσα στο σωλήνα, θα ισούται με:

$$\dot{V}_1 = A_1 \cdot v_1, \quad \dot{V}_2 = A_2 \cdot v_2, \quad \dot{V}_3 = A_3 \cdot v_3,$$

όπου: A_1, A_2, A_3……., A_v οι διάφορες διατομές, ενώ v_1, v_2, v_3……., v είναι οι αντίστοιχες ταχύτητες του υγρού σε αυτές.

Τότε θα έχομε:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = A_3 \cdot v_3 = \ldots\ldots\ldots = c = \text{(σταθερό)}$$

ή γενικά $$A \cdot v = \text{σταθερό} \qquad (4.8)$$

Από τη σχέση αυτή καθορίζεται ότι όταν η διατομή του σωλήνα αυξάνεται, η ταχύτητα του υγρού ελαττώνεται και αντίστροφα, ώστε το γινόμενο της διατομής επί την ταχύτητα να παραμένει πάντοτε το ίδιο και ίσο προς τη σταθερή παροχή του αγωγού. Η εξίσωση αυτή είναι άμεση συνέπεια της Αρχής Διατηρήσεως της μάζας $(\dot{m})$ και ο νόμος εφαρμόζεται στην κατασκευή δικτύων και διακλαδώσεων, στην παρεμβολή συστολών ή διαστολών κ.λπ..

$$m_1 = \dot{m}_2 = \ldots = \dot{m}_v = c \qquad (4.8\alpha)$$

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 \dot{V}_2 = \ldots = \rho_v V_v = c \qquad (4.8\beta)$$

για ασυμπίεστα ρευστά:

$$\rho_1 = \rho_2 = \ldots\ldots\ldots = \rho_v$$

ή $$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \ldots \dot{V}_v$$

ή $$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \ldots = A_v v_v = c$$

9) Η ***παροχή αγωγού μέσα στον οποίο ρέει υγρό***, δίνεται από τη σχέση

$$\dot{V} = A \cdot v \qquad (4.9)$$

10) Ο ***θεμελιώδης νόμος*** ή η ***εξίσωση της υδροδυναμικής*** (equation in fluid dynamics), διατυπώθηκε από τον Ελβετό Daniel Bernoulli. Είναι το αποτέλεσμα της Αρχής Διατηρήσεως της ενέργειας σε κινούμενο υγρό ή ***Αρχή του Bernoulli***. Σύμφωνα με αυτή (η οποία αναλύεται στη Μηχανική Ρευστών), με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν απώλειες όταν η ταχύτητα ενός ρευστού αυξάνεται, η πίεση μειώνεται και αντίστροφα.

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 =$$

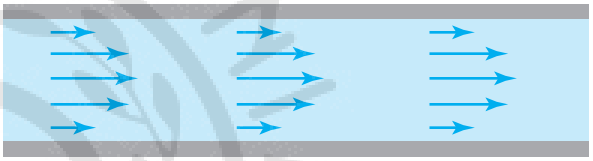
$$= \ldots\ldots\ldots = \frac{p_v}{\rho_v} + \frac{v_v^2}{2} + g \cdot z_v = c \ \text{(σταθερό)} \qquad (4.10)$$

4.2 Ροή των φυσικών υγρών.

Η διαφορά της ροής των φυσικών υγρών από εκείνη των ιδανικών υγρών είναι ότι τα φυσικά ρευστά επηρεάζονται από τη συμπιεστότητά τους, τη συνοχή των μορίων και τη συνάφεια. Σημειώνεται ότι, η συμπιεστότητα ελάχιστα επηρεάζει τη ροή διότι τα υγρά θεωρούνται πρακτικά ασυμπίεστα, σε αντίθεση με τα αέρια όπου η επιρροή είναι μεγάλη.

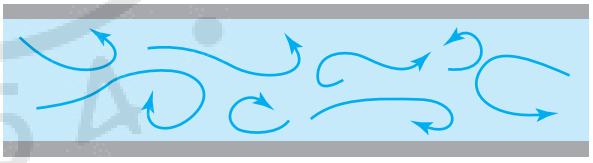
Η συνοχή των μορίων του φυσικού υγρού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικής τριβής. Η συνάφεια με τη δύναμη επαφής μεταξύ του υγρού με τα τοιχώματα του αγωγού, εκδηλώνεται με τέτοιον τρόπο, ώστε τα μόρια του υγρού, που βρίσκονται σε επαφή με τα τοιχώματα (οριακό στρώμα υγρού), να παρουσιάζουν μηδενική ταχύτητα, ενώ τα μόρια του υγρού τα οποία κινούνται στο κέντρο του αγωγού να παρουσιάζουν τη μέγιστη ταχύτητα. Έτσι, η ροή των φυσικών υγρών χαρακτηρίζεται ως ακολούθως:

1) ***Στρωτή*** ή ***παράλληλη*** (laminar flow), όταν στην εγκάρσια τομή καθώς διαρρέουν τον αγωγό με διατομή Α, η κατανομή των μορίων έχει τη μορφή του σχήματος 4.2α.



Σχ. 4.2α
Παράλληλη ροή.

2) ***Τυρβώδης*** (turbulent), όταν στην εγκάρσια τομή, καθώς διαρρέουν τον αγωγό με διατομή Α, η κατανομή των μορίων και οι γραμμές ροής (flow lines) έχουν τη μορφή του σχήματος 4.2β.

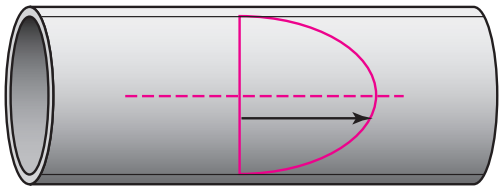


Σχ. 4.2β
Τυρβώδης ροή.

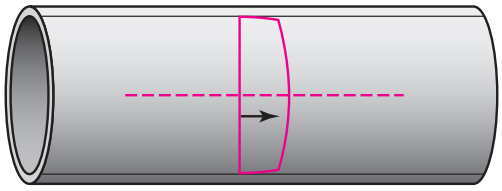
Παρατηρώντας τις δύο μορφές ροής διαπιστώνεται ότι η ταχύτητα των μορίων του υγρού που βρίσκονται σε επαφή με τα τοιχώματα του αγωγού είναι μηδενική, ενώ η μέγιστη ταχύτητα παρουσιάζεται στα μόρια του υγρού που βρίσκεται στο κέντρο του αγωγού. ***Η ταχύτητα κινήσεως για όλη την έκταση της διατομής Α του αγωγού υπολογίζεται ως μία μέση ταχύτητα που συμβολίζεται με*** v_μ.

Η ταχύτητα αυτή δεν είναι η ίδια στη στρωτή ροή, αλλά έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2γ(α) για στρωτή ροή, ενώ κατανέμεται διαφορετι-

κά μέσα στον αγωγό όταν η ροή είναι τυρβώδης [σχ. 4.2γ(β)].



(α) Στρωτή ροή



(β) Τυρβώδης ροή

Σχ. 4.2γ

Κατανομή της ταχύτητας του υγρού.

4.2.1 Η παροχή του σωλήνα.

Ο απλούστερος τρόπος του υπολογισμού της παροχής είναι, ακολουθώντας τον γενικό τύπο παροχής και χρησιμοποιώντας τη μέση ταχύτητα v_μ δηλαδή:

$$\dot{V} = A \cdot v_\mu \qquad (4.11)$$

όπου: A είναι η επιφάνεια της διατομής και v_μ η μέση ταχύτητα ροής, ισχύει $v_\mu = 1/2\, v_{max}$, όπου v_{max} η μέση ταχύτητα.

Η παράλληλη ροή του υγρού μετατρέπεται σε τυρβώδη μέσα στο σωλήνα, όταν σύμφωνα με τον Reynolds (Osborne Reynolds, Φυσικομαθηματικός 1842 – 1912), η ταχύτητα ροής του υγρού υπερβεί ορισμένη τιμή που ονομάζεται ***κρίσιμη ταχύτητα ροής*** (v_k), και προσδιορίζεται από τον ***αριθμό Reynolds*** (Re).

Ο αριθμός Reynolds είναι καθαρός αριθμός που προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε περίπτωση και χαρακτηρίζει τη ροή υπό πίεση.

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{A \cdot \nu} \qquad (4.12)$$

ή

$$Re = \frac{v_\mu \cdot D_h}{\nu} \qquad (4.13)$$

όπου: ν είναι το κινηματικό ιξώδες του υγρού (m^2/s), $\dot{V}$, η παροχή (m^3/s), A, η διατομή (m^2) και D_h, η υδραλική διάμετρος σε m και v_μ η μέση ταχύτητα.

4.2.2 Απώλειες λόγω αντιστάσεως στη ροή.

Μέρος της ενέργειας που δίδεται από την αντλία σε ένα υγρό το οποίο ρέει μέσα σε έναν σωλήνα, καταναλώνεται σε απώλειες λόγω αντιστάσεως στη ροή. Το σύνολο των απωλειών ενέργειας, εξαρτάται από τη διατομή, την εσωτερική κατάσταση των σωλήνων και των εξαρτημάτων που συνδέονται στο δίκτυο, την ταχύτητα, το ιξώδες του υγρού, τις τριβές και τους στροβιλισμούς που προκαλούνται στις αλλαγές διευθύνσεως, τα ***επιστόμια*** (valves) και άλλους παράγοντες που σταθμίζονται πειραματικά.

Οι απώλειες ενέργειας προκαλούνται από:

1) Την αντίσταση, που προβάλλεται από τις σωληνώσεις στη ροή του υγρού λόγω της τριβής του με την επιφάνεια του σωλήνα με τον οποίο έρχεται σε επαφή, και του είδους της ροής που αναπτύσσεται. Το μέγεθος των απωλειών εξαρτάται από την ταχύτητα ροής του υγρού, τη θερμοκρασία του και την κατάσταση της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα (τραχύτητα). Η αντίσταση τριβής, επίσης εξαρτάται από το ιξώδες του ρέοντος υγρού και από την υφή της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα, ώστε όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες ή η τραχύτητα της επιφάνειας τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη ροή του υγρού.

2) Την αντίσταση λόγω απότομης διακυμάνσεως της διατομής του σωλήνα και της υπάρξεως διαφόρων αρμών στις συνδέσεις, όπου λόγω της παρεμβολής εγκάρσιου τοιχώματος και διαφοροποιήσεως της εσωτερικής επιφάνειας, στο υγρό δημιουργούνται στροβιλισμοί που έχουν ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ροής του.

3) Την αντίσταση λόγω αλλαγής της διευθύνσεως του σωλήνα, η οποία εξαρτάται από τη διάμετρο του σωλήνα, την ακτίνα καμπυλότητας, η πυκνότητα του υγρού και το ιξώδες του.

4) Την αντίσταση λόγω παρεμβολής διαφόρων εξαρτημάτων και οργάνων, όπως βαλβίδες, επιστόμια, θερμόμετρα, θλιβόμετρα κ.λπ.. Αυτά δημιουργούν εκτροπές στη συνέχεια της ροής και στροβιλισμό, με αποτέλεσμα να επιβραδύνουν ανάλογα την κίνηση του υγρού.

4.2.3 Ροή υγρών από σίφωνα.

Η ροή υγρών από σίφωνα αντιπροσωπεύει τη ροή που δημιουργείται από ένα δοχείο σε ένα άλλο το οποίο βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο. Σ' αυτήν την περίπτωση για τη μεταφορά του υγρού, χρησιμοποιείται ένας σωλήνας (σίφωνας), που γεμίζει με υγρό και στη συνέχεια κάθε ένα από τα δύο άκρα του τοποθετείται σε κάθε δοχείο.

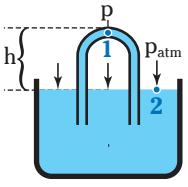
Η διαφορά βάρους της στήλης των υγρών σε κάθε σκέλος του σωλήνα (σίφωνα) που συνδέει τα δύο δο-

χεία δημιουργεί τη ροή. Η ροή διατηρείται λόγω της συνοχής των μορίων του υγρού, της διαφοράς στο βάρος του υγρού και της πίεσεως στην ελεύθερη επιφάνεια των υγρών στα δύο δοχεία. Για να διαπιστωθεί η ροή μέσα από σίφωνα υποθέτομε ότι ένας σωλήνας τύπου U είναι ανεστραμμένος και βυθισμένος σε ένα δοχείο με υγρό, ενώ ο ίδιος σωλήνας είναι γεμάτος με υγρό.

Τραβώντας τον σωλήνα έξω από το υγρό (σχ. 4.2δ) παρατηρείται ότι το υγρό δεν τρέχει από τον σωλήνα τύπου U, διότι υπάρχει ατμοσφαιρική πίεση (p_{atm}) στην επιφάνεια του υγρού, ενώ στο ανώτερο μέρος εσωτερικά του σωλήνα η πίεση p είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής, διότι:

$$\left.\begin{aligned} p_2 &= p_1 + \rho\cdot g\cdot h \\ p_2 &= p_{atm} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{aligned} &p_{atm} = p_1 + \rho\cdot g\cdot h \\ &\text{ή} \quad p_1 = p_{atm} - \rho\cdot g\cdot h \\ &\text{και} \quad p_{atm} > p_1 \end{aligned} \qquad (4.14)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του υγρού, g, η επιτάχυνση της βαρύτητας και h, το ύψος στο οποίο ο σωλήνας είναι έξω απ' το υγρό.



Σχ. 4.2δ
Ροή υγρών από σίφωνα με ανεστραμμένο σωλήνα τύπου U σε δοχείο με υγρό.

Έτσι η ατμοσφαιρική πίεση ωθεί το υγρό προς το εσωτερικό του ανεστραμμένου σωλήνα U.

Εάν ο σωλήνας U συνδέει δύο δοχεία με υγρό τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικό ύψος (σχ. 4.2ε), τότε στο εσωτερικό του σωλήνα στο ανώτερο σημείο (1) θα υπάρχει πίεση p_1 και στο κατώτερο (2) p_2 για τις οποίες θα ισχύει:

$$p_{atm} = p_1 + \rho\cdot g\cdot h_1 \Rightarrow p_1 = p_{atm} - \rho\cdot g\cdot h_1 \qquad (4.15\alpha)$$

$$p_{atm} = p_2 + \rho\cdot g\cdot h_2 \Rightarrow p_2 = p_{atm} - \rho\cdot g\cdot h_2 \qquad (4.15\beta)$$

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (4.15α) και (4.15β) προκύπτει:

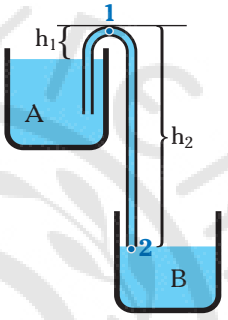
$$p_1 + \rho\cdot g\cdot h_1 = p_2 + \rho\cdot g\cdot h_2 \Rightarrow p_1 - p_2 = \rho\cdot g\cdot h_2 - \rho\cdot g\cdot h_1$$

ή $\quad p_1 - p_2 > O \quad$ διότι $\quad h_2 > h_1$

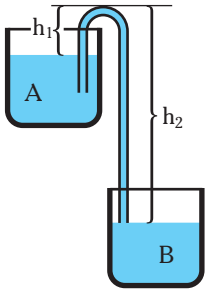
ή $\quad p_1 > p_2$

Η διαφορά αυτή οφείλεται στη διαφορά βάρους του υγρού σε κάθε σκέλος του σωλήνα U, διότι το ύψος της στήλης h_1 είναι μικρότερο της στήλης h_2, άρα το βάρος υγρού που περιέχεται στο σωλήνα h_2 είναι μεγαλύτερο από το βάρος του υγρού που περιέχει ο σωλήνας h_1, ενώ λόγω της συνοχής των μορίων παρασύρει το υγρό από το δοχείο Α στο δοχείο Β (σχ. 4.2ε).

Για τη λειτουργία του σίφωνα δεν απαιτείται η ύπαρξη ατμοσφαιρικής πίεσεως, όπως μπορεί να αποδειχθεί σε ένα κλειστό κύκλωμα (σχ. 4.2στ). Σε αυτό, παρέχοντας την απαραίτητη κλίση στο σύστημα, ώστε να μεταφερθεί το υγρό περιεχόμενο των δύο δοχείων στο δοχείο Α και στη συνέχεια κλίνοντας το σύστημα προς την αντίθετη πλευρά, δηλαδή προς το δοχείο Β, δημιουργείται αρχική ροή που συνεχίζεται από το δοχείο Α προς το Β όταν επανέλθει το σύστημα στην κατακόρυφη θέση.



Σχ. 4.2ε
Ροή υγρών από σίφωνα με P_{atm} στις ελεύθερες επιφάνειες.



Σχ. 4.2στ
Ροή υγρών από σίφωνα σε κλειστά δοχεία.

4.3 Οι Νόμοι Διατηρήσεως μάζας και ενέργειας σε σύστημα αντλήσεως.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία, ο ρόλος, τα πιθανά προβλήματα κατά τη χρήση, αλλά και να διαμορφωθούν τα κριτήρια επιλογής των αντλιών και του συστήματος αντλήσεως που πρόκειται να εγκατασταθούν, είναι αναγκαίο να διερευνηθούν στο περιβάλλον εργασίας τους. Αυτό είναι οποιοδήποτε σύστημα αντλήσεως στο οποίο εφαρμόζονται οι νόμοι διατηρήσεως της μάζας ως εξίσωση της συνέχειας και της ενέργειας από την εξίσωση του Bernoulli για ασυμπίεστα ρευστά.

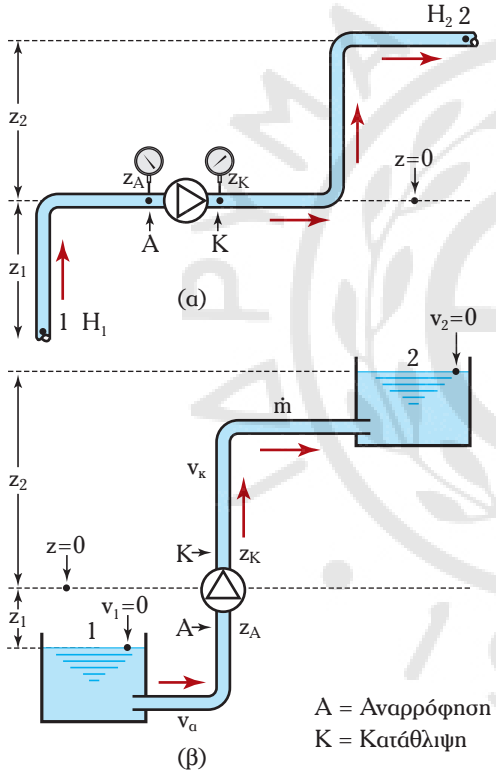
Ένα γενικό σύστημα αντλήσεως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3α(α), το οποίο αποτελείται από τρία υποσυστήματα:

1) Τον σωλήνα αναρροφήσεως 1–Α.
2) Τον σωλήνα καταθλίψεως Κ–2 και
3) την αντλία, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο σωλήνων.

Η αντλία αναρροφά υγρό από την κατάσταση 1, η οποία ενεργειακά χαρακτηρίζεται από το υψόμετρο z_1, την πίεση του υγρού p_1 και την ταχύτητα v_1 και το

καταθλίβει στην κατάσταση 2 με τα αντίστοιχα μεγέθη z_2, P_2, v_2.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα σημεία 1 και 2 δεν είναι υποχρεωτικά σημεία των σωλήνων αναρροφήσεως και καταθλίψεως, αλλά στη μελέτη ενός συστήματος μπορούν να ληφθούν υπόψη διαφορετικά σημεία. Αν υπάρχουν δεξαμενές αναρροφήσεως και καταθλίψεως [σχ. 4.3α(β)], τα σημεία 1 και 2 αντιστοιχούν στις ελεύθερες επιφάνειες των δύο δεξαμενών και έχουν μηδενική ταχύτητα (δηλ. $v_1 = v_2 = 0$), ενώ οι ταχύτητες εντός των σωλήνων ορίζονται ως $v_α$ και $v_κ$ και είναι διάφορες του μηδενός. Στην περίπτωση ενός κλειστού συστήματος αντλήσεως (π.χ. η ανακυκλοφορία σε ένα δίκτυο ψύξεως πλοίου με γλυκό νερό), τα σημεία 1, 2 ταυτίζονται.



Σχ. 4.3α
Σύστημα αντλήσεως.

4.3.1 Εξίσωση της Συνέχειας.

Σύμφωνα με την Εξίσωση της Συνέχειας, σε ένα σύστημα αντλήσεως μόνιμης λειτουργίας, η παροχή παραμένει σταθερή.

Μόνιμη λειτουργία σημαίνει ότι δεν αλλάζει καμιά παράμετρος στις σωληνώσεις. Για παράδειγμα, κάποια μεταβολή, όπως το άνοιγμα της βαλβίδας καταθλίψεως, τροποποιεί τον συντελεστή τοπικών απωλειών και κατά συνέπεια αλλάζει η παροχή. Το ίδιο θα συμβεί αν αλλάξουν οι συνθήκες λειτουργίας της αντλίας π.χ. αν αυξηθούν οι στροφές σε μία φυγόκεντρη αντλία.

Πρέπει επίσης να διευκρινιστεί τι συμβαίνει με την παροχή του συστήματος στην περίπτωση των παλινδρομικών αντλιών απλής ενέργειας. Σ' αυτές, η αντλία αναρροφά στη μία φάση και καταθλίβει στην επόμενη. Άρα η παροχή δεν είναι συνεχής. Η χρήση αεροκωδώνων μειώνει το πρόβλημα, αλλά δεν το εξαλείφει. Πιο ισορροπημένη παρουσιάζεται η κατάσταση στις παλινδρομικές αντλίες διπλής ενέργειας, αλλά το πρόβλημα των μικρών αυξομειώσεων των στιγμιαίων τιμών της παροχής συνεχίζει να υπάρχει. Σημειώνεται ότι η στιγμιαία παροχή στις παλινδρομικές αντλίες μεταβάλλεται περιοδικά γύρω από μία μέση τιμή, η οποία είναι σταθερή και αποτελεί την παροχή του συστήματος αντλήσεως. Αντίστοιχο πρόβλημα όμως δεν παρουσιάζεται στους υπόλοιπους τύπους αντλιών, στις οποίες η παροχή είναι σταθερή.

Επίσης, σύμφωνα με την Εξίσωση της Συνέχειας της ροής, σε οποιαδήποτε διατομή του συστήματος κάθετη στη ροή ισχύει:

$$\dot{V} = A \cdot v = \text{σταθ.} \qquad (4.16)$$

όπου: $\dot{V}$ η παροχή όγκου, A το εμβαδόν της διατομής κάθετης στη ροή και v η ταχύτητα ροής στο σημείο της διατομής.

Για τους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως με εμβαδόν $A_α = π \cdot d_α^2/4$, $A_κ = π \cdot d_K^2/4$ αντίστοιχα η εξίσωση (4.16) γίνεται:

$$V = A \cdot v = \frac{\pi \cdot d_\alpha^2}{4} \cdot v_\alpha = \frac{\pi \cdot d_\kappa^2}{4} \cdot v_\kappa \qquad (4.16\alpha)$$

$$d_\alpha^{\,2} \cdot v_\alpha \le d_\kappa^2 \cdot v_\kappa \qquad (4.16\beta)$$

όπου: $v_α$ και $v_κ$ είναι οι ταχύτητες του υγρού στους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως αντίστοιχα.

Συνήθως, ο σωλήνας καταθλίψεως έχει ελαφρά μικρότερη διάμετρο από το σωλήνα αναρροφήσεως. Επομένως, η ταχύτητα ροής είναι λίγο μεγαλύτερη στο σωλήνα καταθλίψεως ώστε:

$$v_\kappa = v_\alpha \frac{d_\alpha^2}{d_k^2},\ \frac{d_\alpha}{d_k} > 1 \ \text{άρα}\ v_\kappa > v_\alpha,\ \text{για}\ \dot{V} = c \qquad (4.16\gamma)$$

Στο εσωτερικό της αντλίας η κάθετη στη ροή διατομή δεν είναι κυκλική (όπως στο σωλήνα), αλλά εξαρτάται από τον τύπο και το σχεδιασμό της αντλίας. Προς το παρόν, για την αντλία, εφαρμόζεται η γενική σχέση (4.16). Η συγκεκριμένη εφαρμογή της εξισώ-

σεως συνέχειας στο εσωτερικό των φυγοκεντρικών αντλιών, θα αναπτυχθεί στο πέμπτο κεφάλαιο.

4.3.2 Εξίσωση της Ενέργειας.

Ο Νόμος Διατηρήσεως της Ενέργειας στα ασυμπίεστα ρευστά εκφράζεται με την εξίσωση Bernoulli.

Για την ενεργειακή μελέτη του συστήματος αντλήσεως του σχήματος 4.3α, η εξίσωση Bernoulli εφαρμόζεται[2] μεταξύ των σημείων 1 και 2.

Έτσι, το ολικό ύψος ενέργειας (Η) του ρευστού σε κάποιο σημείο, ισούται με το άθροισμα του ύψους ή φορτίου θέσεως (Z), του ύψους ή φορτίου πιέσεως $[p/(\rho \cdot g)]$ και του ύψους ή φορτίου ταχύτητας $(v^2/2g)$, οπότε:

$$H_1 = \frac{p_1}{\rho_1 \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \qquad (4.17\alpha)$$

$$H_2 = \frac{p_2}{\rho_2 \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + z_2 \qquad (4.17\beta)$$

Ισχύει για το νερό $\rho_1 = \rho_2$

Κατά τη ροή του υγρού στους σωλήνες αναρροφήσεως (1-Α) και καταθλίψεως (Κ-2) με παροχή $\dot{V}$, το ύψος ενεργειακών απωλειών Σh_f είναι:

$$\Sigma h_f = h_{f\alpha} + h_{fk} \qquad (4.17\gamma)$$

Καθώς το υγρό περνά από την αντλία, παραλαμβάνει ύψος ενέργειας $\boldsymbol{H_o}$ το οποίο καλείται ***αποδιδόμενο*** ή ***ολικό ύψος*** αντλίας.

Το ισοζύγιο ενέργειας είναι:

$$H_1 + H_o = H_2 + \Sigma h_f \Rightarrow H_o = (H_2 - H_1) + \Sigma h_f \quad (4.17\delta)$$

Αντικαθιστώντας τα H_1 και H_2 προκύπτει η εξίσωση ενέργειας για αντλίες:

$$H_o = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma h_f \qquad (4.17\varepsilon)$$

Στατικό ή ***γεωμετρικό ύψος του συστήματος αντλήσεως*** $\boldsymbol{H_\Sigma}$ ονομάζεται η υψομετρική διαφορά $z_2 - z_1$. Αντίστοιχα, ***στατικό ύψος αναρροφήσεως*** $\boldsymbol{H_{\Sigma\alpha}}$ καλείται η υψομετρική διαφορά $z_A - z_1$ (ώστε να έχομε ροή στον σωλήνα αναρροφήσεως) και ***στατικό ύψος καταθλίψεως*** $\boldsymbol{H_{\Sigma\kappa}}$, η υψομετρική διαφορά $z_2 - z_K$ (ώστε να έχομε ροή στον σωλήνα αναρροφήσεως) [σχ. 4.3α(α)]. Άρα το στατικό ύψος ενός συστήματος αντλήσεως είναι:

$$H_\Sigma = z_2 - z_1 \quad \text{ή} \quad H_\Sigma = H_{\Sigma\alpha} + h_{\Sigma\kappa} + H_{\Sigma p} \quad (4.17\sigma\tau)$$

όπου: $H_{\Sigma p} = z_K - z_A$ το στατικό ύψος της αντλίας, το οποίο είναι συνήθως αμελητέο.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (4.17ε) το ολικό ή αποδιδόμενο ύψος της αντλίας γίνεται:

$$H_o = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma h_f \qquad (4.17)$$

Η εξίσωση (4.17) δείχνει σε τι μορφές ενέργειας μετατρέπεται το μηχανικό έργο που αποδίδει η αντλία στο σύστημα αντλήσεως, όταν:

1) Αυξάνει τη δυναμική ενέργεια, δίνεται ως στατικό ύψος ή φορτίου θέσεως:

$$H_\Sigma = z_2 - z_1$$

2) Αυξάνει την ενέργεια πιέσεως, δίνεται ως μεταβολή ύψους πιέσεως ή φορτίου πιέσεως:

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g}$$

3) Αυξάνει την κινητική ενέργεια, δίνεται ως μεταβολή ύψους ταχύτητας ή φορτίου ταχύτητας:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

4) Καλύπτει τις απώλειες λόγω τριβών, δίνεται ως ύψος απωλειών: $\Sigma h_f = H_{f1A} + H_{fAK} + H_{fK2}$ [σχ. 4.3α(α)].

Από τους 4 ενεργειακούς όρους του δεύτερου σκέλους της εξισώσεως (4.17), θετική τιμή έχει πάντα το ύψος απωλειών Σh, ενώ από τους υπόλοιπους όρους κάποιοι μπορεί να μηδενίζονται ή και να έχουν αρνητική τιμή. Πιο συγκεκριμένα:

1) ***Οι απώλειες λόγω τριβών είναι υπαρκτές (αναπόφευκτες) σε όλα τα συστήματα αντλήσεως.*** Και ιδιαίτερα στα κλειστά συστήματα αντλήσεως, (αφού τα σημεία 1 και 2 ταυτίζονται).

2) ***Η αύξηση της δυναμικής ενέργειας*** είναι ο βασικός ενεργειακός στόχος των αντλητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση των υγρών (π.χ. άντληση νερού από γεώτρηση, από θάλασσα κ.ά.). Στην αρκετά συνηθισμένη περίπτωση ανυψώσεως υγρού από μία δεξαμενή σε άλλη (σχ. 4.3β), αν στην επιφάνεια των δύο δεξαμενών επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση (όπου $p_1 = p_2$ και $v_1 = v_2$), η εξίσωση (4.17) γίνεται:

$$H_o = H_\Sigma + \Sigma h_f \qquad (4.17\zeta)$$

[2] Τονίζεται ότι τα ενεργειακά ύψη εκφράζονται σε ύψος στήλης του εξεταζόμενου υγρού.

Στην περίπτωση που το σημείο 1 βρίσκεται υψηλότερα από το 2, το στατικό ύψος είναι αρνητικό (και μειώνει το φορτίο της αντλίας).

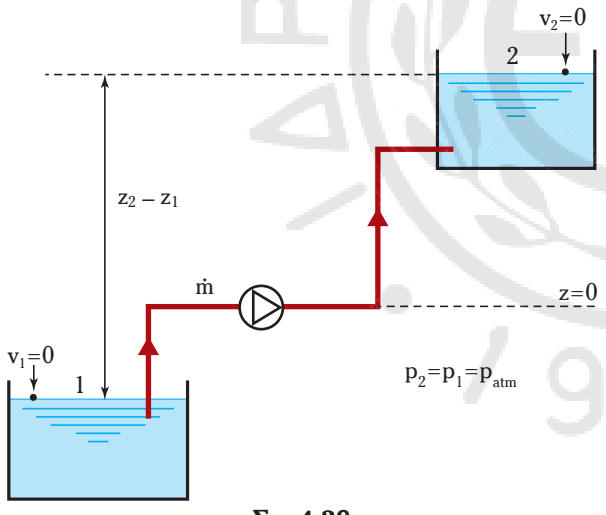
3) ***Η αύξηση της ενέργειας πίεσεως*** αποτελεί τη σημαντικότερη ενεργειακή μεταβολή στην περίπτωση, κατά την οποία το σύστημα αντλήσεως μεταφέρει υγρό σε χώρο υψηλής πίεσεως. Έτσι, το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας τροφοδοσίας ατμολεβήτων, μετατρέπεται κατά κύριο λόγο σε ύψος πίεσεως. Αν η υψομετρική διαφορά και η μεταβολή ταχύτητας είναι αμελητέες, τότε:

$$H_o = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \Sigma h_f \qquad (4.17n)$$

Σημαντική επίσης είναι η μεταβολή της ενέργειας πίεσεως στα συστήματα, στα οποία δεξαμενή καταθλίψεως είναι κάποιο πιεστικό δοχείο.

4) ***Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας*** στις περισσότερες περιπτώσεις είναι σχετικά μικρή. Συγκεκριμένα σε ένα σύστημα αντλήσεως:

α) Είναι ίση με μηδέν όταν το σύστημα αντλήσεως έχει δεξαμενές αναρροφήσεως και καταθλίψεως (σχ. 4.3β), αφού στις ελεύθερες επιφάνειες των δεξαμενών η ταχύτητα είναι πρακτικά μηδενική.



Σχ. 4.3β
Σύστημα αντλήσεως.

β) Είναι αμελητέα ή μηδενική, όταν το σύστημα που μελετάμε ξεκινά και τελειώνει σε σωλήνες παραπλήσιας ή ίσης διαμέτρου (σωλήνες ίσης διαμέτρου σε σύστημα σταθερής παροχής έχουν ίση ταχύτητα, όπως προκύπτει από την Εξίσωση της Συνέχειας).

γ) Είναι μικρή (αλλά υπολογίσιμη), όταν το σύστημα αντλήσεως ξεκινά από δεξαμενή αναρροφήσεως ($v_1 = 0$) και τελειώνει σε σωλήνα ($v_2 \neq 0$).

Η μοναδική περίπτωση, στην οποία το ύψος κινητικής ενέργειας αποτελεί αποφασιστικό ενεργειακό παράγοντα, είναι εκείνη κατά την οποία, στόχος του συστήματος αντλήσεως είναι η αύξηση της ταχύτητας του υγρού. Αυτό συναντάται στα συστήματα πυροσβέσεως και επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση συγκλίνοντος ακροφυσίου στην έξοδο του συστήματος (σημείο 2), οπότε η διάμετρος d_2 μειώνεται, και κατά συνέπεια, η ταχύτητα v_2 αυξάνεται.

Η παροχή του συστήματος αντλήσεως επηρεάζει άμεσα το ύψος απωλειών (το οποίο, σύμφωνα με την εξίσωση Darcy-Weisbach[3], είναι ανάλογο του τετραγώνου της παροχής), αλλά και το ύψος ταχύτητας του συστήματος αντλήσεως. Η τροποποίηση της εξισώσεως του υπολογισμού του αποδιδόμενου ύψους της αντλίας (4.17), αντικαθιστώντας το ύψος απωλειών και της κινητικής ενέργειας συναρτήσει της παροχής δίνει την εξίσωση:

$$H_o = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2 \qquad (4.18)$$

όπου: $$\alpha = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g}$$

είναι συντελεστής που ισούται με το άθροισμα του στατικού ύψους και του ύψους πιέσεως ενώ (β) είναι ο συντελεστής που εξαρτάται από τα δεδομένα των σωλήνων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη οι διαφοροποιήσεις στην ταχύτητα του υγρού και οι απώλειες στην αναρρόφηση και την κατάθλιψη.

Η εξίσωση (4.18) δείχνει ότι το αποδιδόμενο ύψος που απαιτεί το σύστημα αντλήσεως από την αντλία, εξαρτάται από το τετράγωνο της παροχής.

Στην πράξη, πολύ σημαντικότερη από την ενέργεια ανά μονάδα βάρους είναι το έργο ανά μονάδα χρόνου που αποδίδει η αντλία στο ρευστό, δηλαδή η ***αποδιδόμενη ισχύς P_o***.

Η αντλία αποδίδει στο ρευστό ύψος H_o, το οποίο υπολογίζεται από την εξίσωση (4.17). Αν από την αντλία διέλθει ποσότητα υγρού $G = m \cdot g$, το αποδιδόμενο από την αντλία έργο θα είναι: $W_o = H_o \cdot m \cdot g$

Επομένως, η αποδιδόμενη ισχύς (έργο στη μονάδα του χρόνου) είναι:

[3] Από τη Μηχανική των Ρευστών, η εξίσωση Darcy-Weisbach (από τα ονόματα των Henry Darcy και Julius Weisbach) αφορά στην απώλεια του ενεργειακού ύψους του ρευστού, ή απώλεια πίεσεως, λόγω της τριβής κατά μήκος ενός αγωγού δεδομένου μήκους, με τη μέση ταχύτητα της ροής του ρευστού.

$$P_o = \frac{W_o}{t} = \frac{H_o \cdot m \cdot g}{t} = H_o \cdot m \cdot g$$

Η παροχή μάζας $(\dot{m})$ συνδέεται με την παροχή όγκου μέσω της πυκνότητας:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V \quad \text{ή} \quad m = \rho \cdot V$$

Αντικαθιστώντας και λαμβάνοντας υπόψη ότι $\rho \cdot g = \gamma$, προκύπτει η σχέση υπολογισμού της ισχύος που αποδίδει στο ρευστό η αντλία:

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o \qquad (4.19)$$

όπου: γ είναι το ειδικό βάρος του υγρού, $\dot{V}$ η παροχή όγκου του συστήματος και H_o το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας.

4.4 Το υδραυλικό κτύπημα.

Το ***υδραυλικό κτύπημα*** ή ***πλήγμα*** (water hammer ή fluid hammer), είναι ένα μη μόνιμο φαινόμενο που παρουσιάζεται στα υδραυλικά συστήματα. Η δημιουργία του οφείλεται στην απότομη μεταβολή της ταχύτητας του υγρού ή στην ισχυρή διακύμανση της πίεσεως στον αγωγό, η οποία συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερη από την πίεση που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της μόνιμης ροής του υγρού μέσα σε αυτόν.

Το υδραυλικό κτύπημα παρουσιάζεται όταν η συνεχής ροή ενός υγρού διακοπεί απότομα κλείνοντας έναν διακόπτη (επιστόμιο) στο δίκτυο των αγωγών. Τότε η ταχύτητα στη ροή μηδενίζεται, με αποτέλεσμα η κινητική ενέργεια του υγρού να μετατραπεί σε δυναμική αυξάνοντας απότομα την πίεσή του, προκαλώντας ισχυρή κρούση στον αγωγό.

Η κρούση αυτή ονομάζεται ***υδραυλικό κτύπημα*** με σημαντικές καταπονήσεις στον αγωγό, εφόσον για ένα μικρό χρονικό διάστημα αναπτύσσονται ισχυρές εναλλασσόμενες τάσεις εφελκυσμού και θλίψεως, που είναι δυνατό να προκαλέσουν τη θραύση του αγωγού ή άλλη σοβαρή βλάβη στο δίκτυο.

Το υδραυλικό κτύπημα παρατηρείται στις εμβολοφόρες αντλίες, των οποίων η λειτουργία δεν είναι συνεχής αλλά εναλλάσσεται, όπως συμβαίνει κατά τη διακοπή της ροής του υγρού μέσω των σωλήνων ή μέσω των βαλβίδων στην αναρρόφηση ή την κατάθλιψη. Η πρόληψη του φαινομένου επιτυγχάνεται:

1) Με ομαλό κλείσιμο των επιστομίων στο δίκτυο των αγωγών και

2) στις εμβολοφόρες αντλίες με την προσθήκη αεροκώδωνα στη σωλήνωση της αναρροφήσεως ή της καταθλίψεως ή και των δύο.

Στον ***αεροκώδωνα*** ο αέρας καθώς συμπιέζεται ή εκτονώνεται, ανάλογα με τις πιέσεις που δέχεται από το υγρό, λειτουργεί ως ελατήριο απορροφώντας την κρούση των αποτόμων μεταβολών πιέσεως και ταχύτητας καθιστώντας ομαλή τη ροή.

4.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων αντλήσεως και αντλιών.

Η αντλία αποτελεί την καρδιά του συστήματος αντλήσεως, αντιμετωπίζοντας τις ενεργειακές του ανάγκες και μεταβιβάζοντας, όπως έχει αναφερθεί, στο υγρό το αναγκαίο για τη διακίνησή του μηχανικό έργο. Ο υπολογισμός του συστήματος εισάγει μια σειρά ενεργειακών μεγεθών και μεγεθών ροής, τα οποία σχετίζονται με την αντλία και χαρακτηρίζουν τη δράση ή τις δυνατότητές της. Διακρίνομε τις εξής τέσσερεις ομάδες χαρακτηριστικών μεγεθών του συστήματος αντλήσεως (και κατ' επέκταση της αντλίας): τα ***ενεργειακά ύψη***, την ***παροχή***, την ***ισχύ*** και τους ***βαθμούς αποδόσεως***.

4.5.1 Ενεργειακά ύψη.

Πρόκειται για τα ακόλουθα ενεργειακά μεγέθη:

1) Ενεργειακά ύψη συστήματος αντλήσεως.

Η αντλία καλείται να αντιμετωπίσει τα ενεργειακά ύψη του συστήματος αντλήσεως, στο οποίο τοποθετείται (σχ. 4.5α). Σύμφωνα με την Εξίσωση Ενέργειας (4.17) αυτά είναι:

α) Το ***στατικό (ή γεωμετρικό) ύψος*** (static head) ***του συστήματος αντλήσεως, (H_Σ),*** που εκφράζει τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας, από την αρχή ως το τέλος του συστήματος αντλήσεως. Ισούται με την υψομετρική διαφορά μεταξύ αρχής και τέλους του συστήματος και γι' αυτό ονομάζεται και ***γεωμετρικό ύψος***. Αποτελείται από το ***στατικό ύψος αναρροφήσεως H_a*** ($= z_a$), το ***στατικό ύψος καταθλίψεως H_κ*** ($= z_\kappa$) και το ***στατικό ύψος $H_{\Sigma p}$*** ($= z_\kappa - z_a$) ***της αντλίας***. Το στατικό ύψος αποτελεί το άθροισμα της κατακόρυφης αποστάσεως μεταξύ των ελευθέρων επιφανειών του υγρού στις δεξαμενές αναρροφήσεως και καταθλίψεως [σχ. 4.5α(α)] και εκφράζεται ως:

$$H_\Sigma = H_a + H_\kappa + H_{\Sigma p} \qquad (4.20)$$

Οι τιμές που λαμβάνει το στατικό ύψος αναρροφήσεως είναι θετικές ή αρνητικές και εξαρτώνται απ' τη θέση, που έχει η αντλία σε σχέση με αυτό.

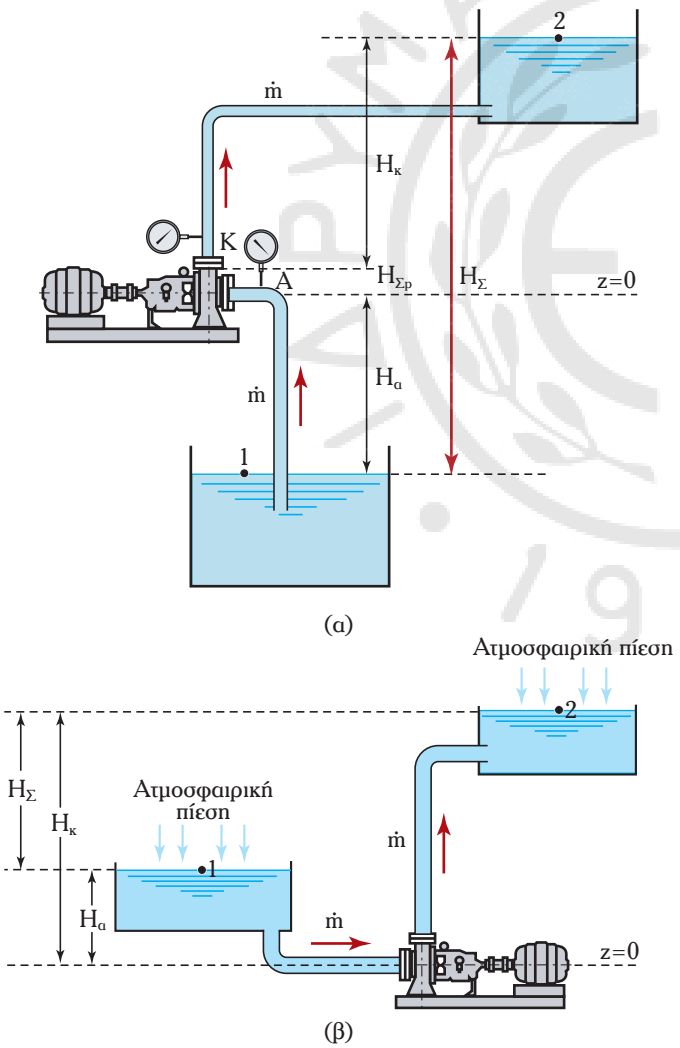
Όταν η αντλία βρίσκεται χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού της δεξαμενής που αναρροφά,

στους υπολογισμούς του ολικού στατικού ύψους, το στατικό ύψος αναρροφήσεως παίρνει αρνητική τιμή, διότι το υγρό ρέει προς την αντλία υπό την επίδραση της βαρύτητας [σχ. 4.5α(β)]. Αντίθετα όταν βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως η τιμή είναι θετική [σχ. 4.5α(α)]. Κάποιο μικρό στατικό ύψος $H_{\Sigma p}$ παρουσιάζει και η αντλία (και αποτελεί κατασκευαστικό της χαρακτηριστικό), αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αμελητέο. Επομένως η σχέση του στατικού ύψους δίνεται ως:

$$H_{\Sigma} = H_{\alpha} + H_{\kappa} + H_{\Sigma p} = z_2 - z_1 \qquad (4.21)$$

διότι $H_{\Sigma p} = 0$

όπου: z_1 το υψόμετρο του επιπέδου αναρροφήσεως και z_2 το υψόμετρο του επιπέδου καταθλίψεως.



Σχ. 4.5α

Στατικά ύψη συστήματος αντλήσεως.

β) Το ***ύψος πιέσεως*** (pressure head) που γενικά καλείται η ενέργεια πιέσεως (p/γ).

Ύψος πιέσεως του συστήματος αντλήσεως καλείται η μεταβολή του ύψους πιέσεως μεταξύ αρχής και τέλους του συστήματος. Ισούται με τη μεταβολή της πιέσεως προς το ειδικό βάρος του αντλούμενου υγρού:

$$H_p = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \qquad (4.22)$$

Αν η αναρρόφηση και η κατάθλιψη του συστήματος έχουν ίδια πίεση ($p_1 = p_2$), όπως στο σύστημα που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.5β, το ύψος πιέσεως του συστήματος αντλήσεως ισούται με μηδέν.

Και σ' αυτήν την περίπτωση διακρίνεται το ύψος πιέσεως αναρροφήσεως $(p_A - p_1)/\gamma$, καταθλίψεως $(p_2 - p_K)/\gamma$ και αντλίας $(p_K - p_A)/\gamma$. Η ιδιομορφία συνίσταται στο ότι τα ύψη πιέσεως στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη είναι συνήθως αρνητικά (εφόσον κατά τη ροή σε σωλήνα παρουσιάζεται πτώση πιέσεως: $p_A < p_1$ και $p_2 < p_K$). Αντίθετα, το ύψος πιέσεως της αντλίας είναι πολύ μεγάλο ($p_A << p_K$), αφού όπως είδαμε, η ενέργεια που μεταβιβάζει η αντλία στο ρευστό, στην έξοδό της έχει κυρίως τη μορφή της ενέργειας πιέσεως. Στο διάγραμμα του σχήματος 4.5β παρουσιάζεται η μεταβολή της πιέσεως από την επιφάνεια του υγρού στην πρώτη δεξαμενή και οι διακυμάνσεις σε σχέση με την ατμοσφαιρική μέχρι το σημείο 2 στην επιφάνεια της δεύτερης δεξαμενής. ***Το ύψος πιέσεως που αποδίδει η αντλία καλείται μανομετρικό ύψος της αντλίας*** και αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της. Το μανομετρικό ύψος της αντλίας δεν υπεισέρχεται στην εξίσωση ενέργειας του συστήματος αντλήσεως και θα αναφερθεί στα ενεργειακά ύψη της αντλίας.

γ) Το ***ύψος ταχύτητας*** (velocity head) ονομάζεται η κινητική ενέργεια ($v^2/2g$). ***Ύψος ταχύτητας του συστήματος αντλήσεως*** καλείται η μεταβολή του ύψους ταχύτητας μεταξύ αρχής και τέλους του συστήματος. Αν $v_1 = v_2$ το ύψος ταχύτητας του συστήματος είναι μηδέν. Το ύψος ταχύτητας είναι μικρό, με εξαίρεση τα συστήματα αντλήσεως που έχουν ως στόχο την αύξηση της ταχύτητας στην κατάθλιψη (π.χ. αντλητικά συστήματα πυροσβέσεως).

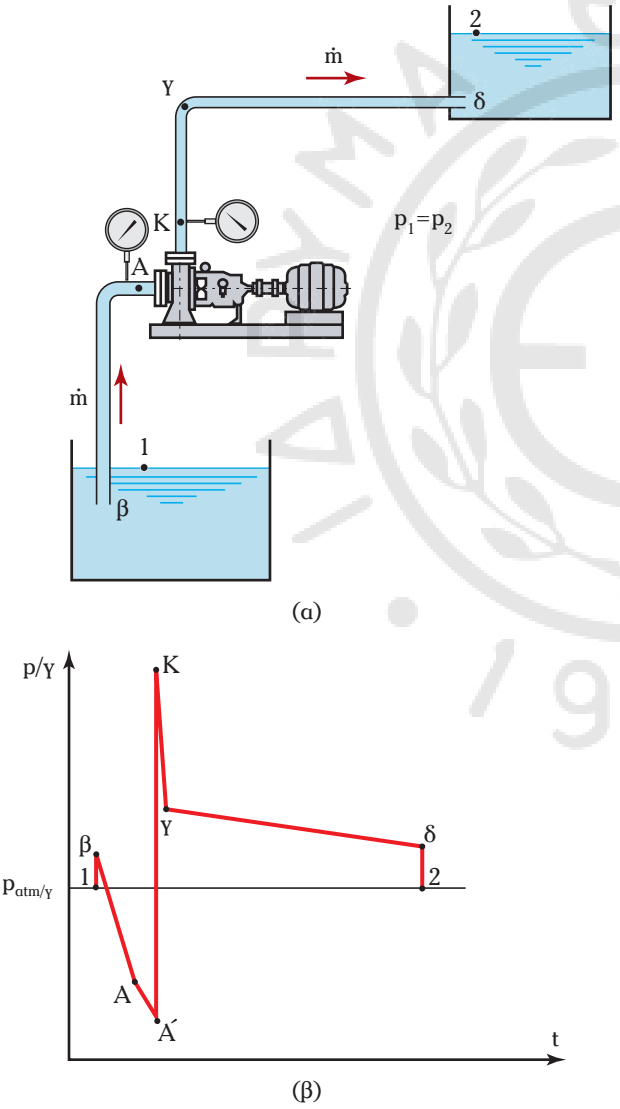
δ) Το ***ύψος απωλειών*** (head loss ή friction head), που εκφράζει τις απώλειες λόγω τριβών. Το ***ύψος απωλειών του συστήματος αντλήσεως*** ισούται με το άθροισμα του ύψους απωλειών στο σωλήνα αναρροφήσεως και στο σωλήνα καταθλίψεως:

$$\Sigma H_f = H_{f1A} + H_{fk2} \qquad (4.23)$$

Οι απώλειες ενέργειας διακρίνονται σε:

– Οι ***απώλειες αδράνειας*** οφείλονται στην αντίδραση της αδράνειας λόγω του ύψους της στήλης υγρού, ώστε το υγρό να πρέπει να αποκτήσει ορισμένη ταχύτητα κινήσεως v. Η ταχύτητα ορίζεται ως v_A για την αναρρόφηση της αντλίας, ενώ v_K για την κατάθλιψη, διότι λαμβάνεται υπόψη η διαφορά στη διάμετρο που υπάρχει μεταξύ αναρροφήσεως και καταθλίψεως στις κατασκευές.

– Οι ***παθητικές απώλειες*** οφείλονται σε τριβές, στροβιλισμούς της φλέβας ροής του υγρού, στενώσεις διατομής, διευρύνσεις διατομής, καμπύλες σωληνώσεων, παρεμβολές στοιχείων ρυθμίσεως και ελέγχου όπως επιστόμια κ.ά..



Σχ. 4.5β

(α) Ύψη πιέσεως συστήματος αντλήσεως και (β) διάγραμμα μεταβολής της πιέσεως κατά τη ροή υγρού σε χρόνο (t).

Οι απώλειες ενέργειας λόγω ροής στο εσωτερικό της αντλίας αφορούν σε ενέργεια που δεν αποδίδεται στο αντλούμενο υγρό, επομένως δεν συνυπολογίζονται στις ενεργειακές απώλειες του συστήματος αντλήσεως, αλλά στις ενεργειακές απώλειες της αντλίας (που δεν οφείλονται μόνο στη ροή).

ε) Το ***αποδιδόμενο ύψος αντλίας***, H_o (total head ή ολικό ύψος συστήματος αντλήσεως), που εκφράζει την ενέργεια που δίνει η αντλία στο υγρό που διέρχεται απ' αυτήν. Είναι το σημαντικότερο ύψος και ήδη το έχομε συναντήσει στην εξίσωση ενέργειας του συστήματος αντλήσεως:

$$H_o = (z_2 - z_1) + \frac{p_K - p_A}{\gamma} + \frac{v_K^2 - v_A^2}{2g} + \Sigma h_f$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.17), το ολικό ύψος είναι το άθροισμα του στατικού ύψους, του ύψους πιέσεως, του ύψους ταχύτητας και του ύψους απωλειών του συστήματος αντλήσεως.

2) Ενεργειακά ύψη αντλίας.

Σε αντιστοιχία με τα παραπάνω ενεργειακά ύψη του συστήματος αντλήσεως, έχομε και τα ενεργειακά ύψη της αντλίας, τα οποία είναι το στατικό ύψος αντλίας ($H_{\Sigma p}$), το μανομετρικό ύψος αντλίας (H_m), το ύψος ταχύτητας $[(v_K^2 - v_A^2)/2g]$ και το ύψος απωλειών (Σh_{pf}). Από αυτά, το σημαντικότερο είναι το μανομετρικό ύψος της αντλίας, εφόσον η αντλία προσδίδει στο ρευστό ενέργεια κυρίως ως ενέργεια πιέσεως. Το στατικό ύψος και το ύψος ταχύτητας της αντλίας είναι πολύ μικρά (συχνά αμελητέα), εφόσον το ύψος των απωλειών που οφείλονται στη ροή στο εσωτερικό της αντλίας, εντάσσεται στο σύνολο των ενεργειακών απωλειών της.

α) ***Μανομετρικό ύψος αντλίας*** (manometric head). Το μηχανικό έργο που μεταδίδει μία αντλία θετικής εκτοπίσεως στο ρευστό, μετατρέπεται άμεσα σε ενέργεια πιέσεως. Αντίστοιχα το μηχανικό έργο που μεταδίδει μία δυναμική αντλία στο ρευστό, μετατρέπεται αρχικά, εντός της αντλίας, σε κινητική ενέργεια, το μεγαλύτερο ποσοστό της οποίας, καθώς το υγρό εξέρχεται από την αντλία, μετατρέπεται σε ενέργεια πιέσεως. Και στις δύο περιπτώσεις λοιπόν, η ενέργεια που κυρίως αυξάνεται από την είσοδο ως στην έξοδο της αντλίας, είναι η ενέργεια πιέσεως. (Εξαίρεση αποτελούν οι παλινδρομικές αντλίες αναρροφήσεως, παλαιά συστήματα αντλήσεως που δεν χρησιμοποιούνται πλέον, καθώς και ορισμένοι ειδικοί τύποι αντλιών).

Η αύξηση του ύψους της ενέργειας πιέσεως από

την είσοδο ως την έξοδο της αντλίας, καλείται ***μανομετρικό ύψος της αντλίας*** και συμβολίζεται με H_m.

Το ***μανομετρικό ύψος*** εκφράζει την αύξηση της ενέργειας πίεσεως του υγρού που διέρχεται από την αντλία. ***Στην πράξη, μπορεί να μετρηθεί εύκολα με μανόμετρα τοποθετημένα στην είσοδο και στην έξοδο της αντλίας.*** Στον τρόπο μετρήσεώς του οφείλεται και η ονομασία του.

Στο σύστημα αντλήσεως που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.5γ, το σημείο Α αντιστοιχεί στην είσοδο της αντλίας (αναρρόφηση) και το Κ στην έξοδο από αυτή (κατάθλιψη). Σύμφωνα με τον ορισμό, το μανομετρικό ύψος δίνεται από την εξίσωση:

$$H_m = \frac{p_K - p_A}{\gamma} \qquad (4.24)$$

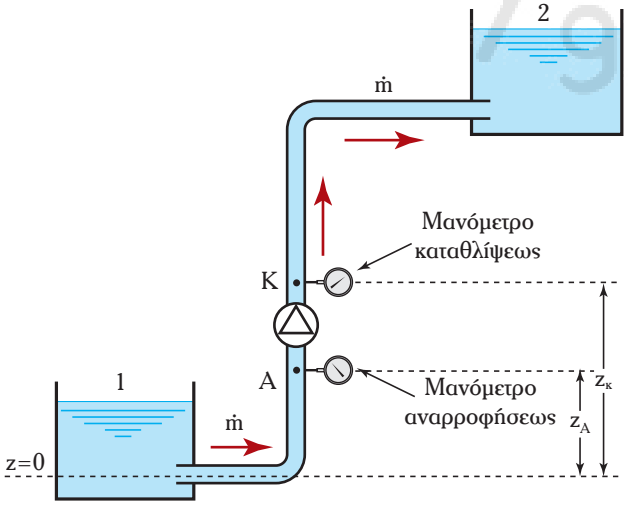
Εφαρμόζοντας την εξίσωση (4.17) μεταξύ των σημείων Α και Κ προκύπτει:

$$H_o = H_{\Sigma p} + \frac{p_K - p_A}{\gamma} + \frac{v_K^2 - v_A^2}{2g} + \Sigma h_{pf} \qquad (4.25)$$

όπου: $H_{\Sigma p} = z_K - z_A$ η υψομετρική διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου της αντλίας (στατικό ύψος της αντλίας). Στην παραπάνω εξίσωση, οι απώλειες λόγω τριβών εντός της αντλίας δεν λαμβάνονται υπόψη γιατί καλύπτονται από μηχανικό έργο, το οποίο καταναλώνει η αντλία και δεν αποδίδεται στο διερχόμενο απ' αυτήν ρευστό ($\Sigma h_{pf} = 0$).

Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (4.24) και (4.25), προκύπτει η σχέση μεταξύ αποδιδόμενου και μανομετρικού ύψους της αντλίας:

$$H_o = H_m + \frac{v_K^2 - v_A^2}{2g} + H_{\Sigma pf} \qquad (4.26)$$



Σχ. 4.5γ

Ενεργειακά ύψη αντλίας.

Συνήθως, η διάμετρος της αναρροφήσεως είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο καταθλίψεως για να προκύψει μεγαλύτερο διαθέσιμο ***Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεως*** (Net Positive Sunction Head available – NPSHa). Κατά συνέπεια, η ταχύτητα καταθλίψεως είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα αναρροφήσεως. Το στατικό ύψος της αντλίας $H_{\Sigma p}$ είναι μικρό και συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Επομένως, το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας H_o είναι λίγο μεγαλύτερο από το μανομετρικό ύψος H_m.

Μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως καλείται το ύψος της πιέσεως στην αναρρόφηση Α:

$$H_{m\alpha} = \frac{p_A - p_1}{\gamma} \qquad (4.27)$$

Στα συστήματα αντλήσεως που παρουσιάζονται στα σχήματα 4.5β και 4.5γ, η πίεση στο σημείο Α (p_A) είναι μικρότερη από την πίεση στην επιφάνεια της δεξαμενής αναρροφήσεως (p_1), λόγω της πτώσεως πιέσεως στο σωλήνα αναρροφήσεως. Αν η πίεση στην επιφάνεια της δεξαμενής είναι ατμοσφαιρική ($p_1 = p_{atm}$), η p_A είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής ($p_A < p_{atm}$, υποπίεση ή κενό) και το μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως προκύπτει αρνητικό.

Μανομετρικό ύψος καταθλίψεως καλείται αντίστοιχα, το ύψος της σχετικής πιέσεως στην κατάθλιψη Κ:

$$H_{m\kappa} = \frac{p_K - p_2}{\gamma} \qquad (4.27\alpha)$$

Τα μανομετρικά ύψη αναρροφήσεως και καταθλίψεως μπορούν να μετρηθούν εύκολα με μανόμετρα τοποθετημένα στα σημεία Α και Κ.

Από τις εξισώσεις (4.24), (4.26), (4.27) και (4.27α) προκύπτει:

$$H_m = H_{m\kappa} - H_{m\alpha} \qquad (4.27\beta)$$

θεωρώντας $H_{\Sigma pf} = 0$ και $v_K = v_A$.

β) ***Εσωτερικό αποδιδόμενο ύψος αντλίας H_ε*** (inner pump head). Το εσωτερικό ύψος εκφράζει το ύψος που θα απέδιδε η αντλία στο διερχόμενο ρευστό, αν δεν υπήρχαν ενεργειακές απώλειες κατά τη ροή του ρευστού μέσα σ' αυτήν ούτε ανακυκλοφορία ενός ποσοστού του υγρού. Οι ενεργειακές απώλειες από το υγρό αντιπροσωπεύουν το σύνολο των απωλειών που δημιουργούνται κατά τη ροή του υγρού καθώς αυτό διαρρέει την αντλία. Είναι δηλαδή το θεωρητικά αποδιδόμενο ύψος της αντλίας λόγω ανακυκλοφορίας κάποιας ποσότητας υγρού.

Το εσωτερικό αποδιδόμενο ύψος αποτελεί εμπόδιο στην κίνηση της φλέβας υγρού και εκφράζεται σε ύψος

στήλης υγρού. Ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα του αποδιδόμενου ύψους H_o (4.25) και του ύψους υδραυλικών απωλειών Σh_p και μεταξύ της αναρροφήσεως και της καταθλίψεως της αντλίας δίνεται ως:

$$H_\varepsilon = H_o + \Sigma h_{pf} \qquad (4.28)$$

Σε μικρής ταχύτητας εμβολοφόρες αντλίες το εσωτερικό αποδιδόμενο ύψος παραλείπεται, διότι έχει ελάχιστη επίδραση λόγω της μικρής ταχύτητας του υγρού.

γ) Τα ***ύψη αναρροφήσεως*** αποτελούν ιδιαίτερα κρίσιμα ενεργειακά ύψη διότι ***καθορίζουν τις δυνατότητες ομαλής αναρροφήσεως μιας αντλίας***. Τα ύψη αυτά επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία της αντλίας και την εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσεως. Έτσι ο έλεγχός τους με την μελέτη κατά την εγκατάσταση κάποιας αντλίας ή με τον έλεγχο κατά την λειτουργία της, εξαλείφει τη δημιουργία του φαινομένου της σπηλαιώσεως προστατεύοντάς την από αυτό.

Πρόκειται για το διαθέσιμο (available) και το απαιτούμενο (required) ***Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεως*** (Net Positive Suction Head – NPSH), καθώς και για το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος αναρροφήσεως ($H_{a,max}$), όπου:

– ***Διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHa*** καλείται η διαφορά του ύψους πιέσεως και ταχύτητας του ρευστού στην αναρρόφηση της αντλίας, από το ύψος πιέσεως, στο οποίο το υγρό «βράζει»:

$$NPSH_a = \left(\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g}\right) - \frac{p_u}{\gamma} = \frac{p_A - p_u}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} \qquad (4.29)$$

Το NPSHa εξαρτάται από το σύστημα αντλήσεως.

– ***Απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHr*** καλείται η πτώση του ύψους ενέργειας από την είσοδο της αντλίας έως το εσωτερικό της:

$$NPSHr = \left(\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g}\right) - \frac{p_{A'}}{\gamma} = \frac{p_A - p_{A'}}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} \qquad (4.29\alpha)$$

όπου Α′ σημείο στο εσωτερικό της αντλίας.

Το NPSHr εξαρτάται από την αντλία.

– ***Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος αναρροφήσεως $H_{a,max}$*** καλείται το μέγιστο ύψος ενέργειας της αναρροφήσεως που μπορεί να καλύψει η αντλία (χωρίς να φτάσει το εισερχόμενο στην αντλία υγρό σε κατάσταση βρασμού λόγω χαμηλής πιέσεως):

$$H_{a,max} = H_{\Sigma a,max} + \frac{v_A^2}{2g} + h_{af} = \frac{p_1 - p_{vap}}{\gamma} - NPSH_r \qquad (4.30)$$

όπου $H_{\Sigma a,\,max}$ το μέγιστο στατικό ύψος αναρροφήσεως του συστήματος αντλήσεως.

4.5.2 Ογκομετρική παροχή.

Ογκομετρική παροχή $\dot{V}$ (volumetric pump flow rate) της αντλίας ονομάζεται ο όγκος του υγρού που αποδίδεται στο στόμιο της καταθλίψεως της αντλίας στη μονάδα του χρόνου. Καθορίζεται σύμφωνα με κατασκευαστικά και λειτουργικά δεδομένα της αντλίας, όπως το μέγεθος της αντλίας, η ταχύτητα του στοιχείου που περιστρέφεται ή παλινδρομεί και το δίκτυο με το οποίο συνδέεται.

Σε συνάρτηση με τη λειτουργία της αντλίας αλλά και με το σύστημα αντλήσεως, η παροχή διακρίνεται:

1) Σε ***παροχή συστήματος αντλήσεως*** ή ***πραγματική παροχή της αντλίας,*** $\dot{V}$ (actual flow rate) που είναι η ογκομετρική παροχή του συστήματος αντλήσεως, η οποία μετρείται στον σωλήνα καταθλίψεως. Σημειώνεται ότι σε συστήματα αντλήσεως με παλινδρομικές αντλίες, η μέση παροχή είναι διαφορετική από τη στιγμιαία, λόγω της αυξομειώσεως του όγκου άρα και της παροχής από την παλινδρόμηση των εμβόλων. Στις περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, οι διακυμάνσεις της παροχής είναι ελάχιστες, ενώ στις δυναμικές αντλίες ανύπαρκτες. Επομένως όταν στις δυναμικές αντλίες υφίσταται μόνιμη κατάσταση ροής, ο διαχωρισμός στιγμιαίας και μέσης παροχής δεν έχει έννοια.

Η παροχή του συστήματος αντλήσεως επηρεάζει άμεσα το ύψος απωλειών, εφόσον το ολικό ύψος συνδέεται με την παροχή με την εξίσωση (4.18):

$$H_o = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2$$

όπου: $$\alpha = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma}$$

είναι ο συντελεστής που ισούται με το άθροισμα του στατικού ύψους και του ύψους πιέσεως και β, ο συνελεστής που εξαρτάται από τα δεδομένα των σωλήνων αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

Η παροχή του συστήματος αντλήσεως εξαρτάται από το σύστημα γενικά (π.χ. διάμετροι σωλήνων,

υψομετρικές διαφορές κ.ά.) αλλά, κυρίως, από την αντλία του συστήματος. Μπορούμε να πούμε ότι προκύπτει ως αποτέλεσμα της λειτουργίας μιας συγκεκριμένης αντλίας σε ένα επίσης συγκεκριμένο σύστημα σωληνώσεως.

2) Σε ***βέλτιστη*** ή ***κανονική παροχή*** $\dot{V}_n$ (normal flow rate) που καλείται η πραγματική παροχή την οποία παρέχει η αντλία, όταν λειτουργεί με το μέγιστο βαθμό αποδόσεώς της, συνεχώς και χωρίς να υποστεί βλάβη. Αν και από ενεργειακής πλευράς ενδείκνυται η αντλία να λειτουργεί με το μέγιστο βαθμό αποδόσεως, αυτό δεν σημαίνει ότι σ' αυτές τις συνθήκες θα έχομε και τη μέγιστη παροχή. Άρα τελικά, η βέλτιστη παροχή είναι η ενεργειακά συμφέρουσα παροχή και όχι η μέγιστη.

3) Σε ***εσωτερική παροχή*** $\dot{V}_\varepsilon$ (inner flow rate) που καλείται η παροχή στο εσωτερικό της αντλίας. Στις αντλίες θετικής εκτοπίσεως παρουσιάζονται εσωτερικές διαρροές, επομένως ένα μικρό ποσοστό του υγρού επανακυκλοφορεί, με αποτέλεσμα η εσωτερική παροχή να είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την πραγματική. Στις δυναμικές αντλίες, η εσωτερική παροχή είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πραγματική. Αυτό συμβαίνει επειδή τα πτερύγια της φτερωτής δεν εφάπτονται, επομένως υπάρχει μία ποσότητα υγρού που επανακυκλοφορεί.

Όπως προκύπτει από τον ορισμό, η εσωτερική παροχή ισούται με την πραγματική, αυξημένη με τις εσωτερικές διαρροές:

$$\dot{V}_\varepsilon = \dot{V} + \dot{V}_\delta \qquad (4.31)$$

4) Σε ***θεωρητική παροχή*** $\dot{V}_\theta$, (theoritical flow rate) που είναι η παροχή του υγρού την οποία θα έπρεπε να αποδίδει η αντλία αν δεν υπήρχαν εσωτερικές και εξωτερικές διαρροές προς το περιβάλλον:

$$\dot{V}_\theta = \dot{V} + \dot{V}_\delta + \dot{V}_{\pi\varepsilon\rho} \qquad (4.32)$$

όπου: $\dot{V}_\delta$ οι εσωτερικές διαρροές και $\dot{V}_{\pi\varepsilon\rho}$ οι διαρροές προς το περιβάλλον λειτουργίας της αντλίας (π.χ. στο μηχανοστάσιο όπου είναι εγκατεστημένη μία αντλία). Γενικά ισχύει ότι $\dot{V}_\theta > \dot{V}_\varepsilon > \dot{V}$.

5) Σε ***ονομαστική παροχή*** $(\dot{V}_N)$[4] (nominal flow) που είναι η παροχή η οποία ισχύει για τη λειτουργία της αντλίας στην ονομαστική ταχύτητα υ_N, στο ονομαστικό ολικό ύψος H_N, και για αντλούμενο υγρό σύμφωνα με αυτό που αναφέρεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

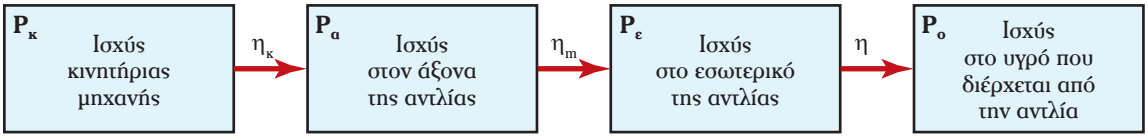
4.5.3 Ισχύς ή ιπποδύναμη αντλιών (pump power).

Η αντλία δεν παράγει ενέργεια, αλλά παραλαμβάνει την αναγκαία ενέργεια απ' την κινητήρια μηχανή. Η μεταφορά ενέργειας απ' την κινητήρια μηχανή στην αντλία και απ' αυτήν στο διερχόμενο ρευστό, στην πράξη είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί χωρίς ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών. Λαμβάνοντας υπόψη πως από πλευράς λειτουργικού κόστους του συστήματος αντλήσεως, η σημαντικότερη παράμετρος είναι η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα χρόνου, δηλαδή η ισχύς, είναι εμφανής η σημασία προσδιορισμού της καταναλισκόμενης και της ωφέλιμης ισχύος σε ένα σύστημα αντλήσεως.

Γενικά η μεταβίβαση της ισχύος παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.5δ.

Εφόσον η αντλία αποτελεί το διαμεσολαβητή για τη μεταβίβαση ισχύος από το κινητήριο μηχάνημα στο αντλούμενο υγρό, η ισχύς διακρίνεται ως εξής:

1) ***Ισχύς του κινητήριου μηχανήματος*** P_κ (pump motor rated power), καλείται η ισχύς (μηχανικό έργο ανά μονάδα χρόνου) που παράγει η κινητήρια μηχανή και με την οποία τροφοδοτεί την αντλία. Η κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι ηλεκτροκινητήρας ή κάποια θερμική μηχανή. Η μεταβίβαση της ισχύος στην αντλία γίνεται με μηχανικό σύστημα μεταδόσεως. Ανάλογα με το σύστημα αντλήσεως και την αντλία, η ισχύς P_κ που αποστέλλει ο κινητήρας



Σχ. 4.5δ

Διάγραμμα μεταβιβάσεως της ισχύος.

[4] ***Ονομαστικά μεγέθη παροχής, ταχύτητας και ολικού ύψους*** είναι τα θεωρητικά (τυπικά) ή κατασκευαστικά μεγέθη παροχής, ταχύτητας και ολικού ύψους, τα οποία έχουν μετρηθεί για δεδομένο ρευστό και δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, ώστε να λαμβάνονται ως μεγέθη αναφοράς κατά τη μελέτη ενός μηχανήματος (π.χ. της αντλίας).

στην αντλία, κυμαίνεται από μερικά kW (έως μερικές χιλιάδες kW).

2) ***Εισερχόμενη*** ή ***αξονική ισχύς*** P_a (pump shaft power) καλείται η ισχύς που φτάνει από τον κινητήρα στον άξονα της αντλίας. Κατά τη μετάδοση ισχύος από το κινητήριο μηχάνημα στον άξονα της αντλίας υπάρχουν κάποιες μηχανικές απώλειες λόγω τριβών. Αν $\eta_κ$ ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως του συστήματος μεταδόσεως, τότε:

$$P_α = \eta_κ \cdot P_κ \Rightarrow \eta_κ = \frac{P_α}{P_κ} \qquad (4.33)$$

Αν το σύστημα μεταδόσεως είναι απλό και ο άξονας της αντλίας ξεκινά από τον κινητήρα (κάτι που συμβαίνει συχνά στις ανεξάρτητες αντλίες, δηλ. τις αντλίες στις οποίες ο κινητήρας λειτουργεί αποκλειστικά γι' αυτές), τότε $\eta_κ = 1$ και η αξονική ισχύς ισούται με την ισχύ του κινητήρα. Επίσης, η αξονική ισχύς αποτελεί την ενεργειακή κατανάλωση της αντλίας.

3) ***Εσωτερική ισχύς*** $P_ε$ (hydraulic power), καλείται η ισχύς που μεταβιβάζεται από την αντλία, και πιο συγκεκριμένα από την πτερωτή για τις δυναμικές αντλίες, στο υγρό που κυκλοφορεί μέσα σ' αυτήν. Είναι μικρότερη από την αξονική, επειδή τμήμα της τελευταίας, καταναλώνεται για την υπερνίκηση των μηχανικών τριβών στους τριβείς εδράσεως και στο σύστημα στεγανοποιήσεως. Η εσωτερική ισχύς αντιστοιχεί στο εσωτερικό αποδιδόμενο ύψος και στην εσωτερική παροχή της αντλίας:

$$P_ε = P_α - \Sigma P_m = \gamma \cdot \dot{V}_ε \cdot H_ε \qquad (4.34)$$

όπου: γ, το ειδικό βάρος, $\dot{V}_ε$, η εσωτερική παροχή, $H_ε$, το ύψος σε [m] και ΣP_m, οι απώλειες ισχύος λόγω μηχανικών τριβών, ενώ οι απώλειες ισχύος λόγω τριβών του υγρού στο εσωτερικό της αντλίας δίνονται από τη σχέση:

$$\Sigma P_p = \gamma \cdot \dot{V}_ε \cdot \Sigma h_{pf} \qquad (4.35)$$

4) ***Αποδιδόμενη, πραγματική*** ή ***ωφέλιμη ισχύς*** P_o (actual power) καλείται η ισχύς που αποδίδεται τελικά στο εξερχόμενο από την αντλία ρευστό, εφόσον η εσωτερική ισχύς δεν μεταβιβάζεται συνολικά στο διερχόμενο ρευστό. Ένα τμήμα της καταναλώνεται για την κυκλοφορία της ποσότητας εκείνης του ρευστού, που δεν εξέρχεται από την αντλία (εσωτερικές διαρροές $\dot{V}_ε$), αλλά και διαρροές προς το περιβάλλον $\dot{V}_{περ}$. Ένα άλλο τμήμα της ισχύος, αντιμετωπίζει τις απώλειες λόγω τριβών του ρευστού εντός της αντλίας. Η αποδιδόμενη ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P_o = P_ε - \Sigma P_δ - \Sigma P_p \qquad (4.36)$$

όπου: $\Sigma P_δ$ οι απώλειες ισχύος λόγω διαρροών και ΣP_p οι απώλειες ισχύος λόγω τριβών του υγρού στο εσωτερικό της αντλίας: $\Sigma P_p = \gamma \cdot \dot{V}_ε \cdot \Sigma h_{pf}$.

Η αποδιδόμενη ισχύς είναι το ωφέλιμο (δηλ. το επιδιωκόμενο) ενεργειακό αποτέλεσμα της αντλίας. Αντιστοιχεί στο αποδιδόμενο ύψος H_o και στην πραγματική παροχή $\dot{V}$. Με αυτά τα χαρακτηριστικά μεγέθη συνδέεται, με τη σχέση (4.19):

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o$$

4.5.4 Βαθμοί αποδόσεως αντλιών.

Ο βαθμός αποδόσεως μίας αντλίας (pump efficiencies) ισούται με τον λόγο της ωφέλιμης αποδιδόμενης ισχύος προς την καταναλισκόμενη ισχύ. Όσο πιο μεγάλος είναι αυτός ο λόγος (που ορισμένες φορές καλείται και λόγος ποιότητας), τόσο καλύτερη είναι η αντλία.

Επίσης, η ροή του ρευστού, με τη λειτουργία της αντλίας, συνοδεύεται με την ανάπτυξη απωλειών που αντιστοιχούν στη διαφορά ισχύος, η οποία παρέχεται από τον κινητήρα με την ισχύ που παραλαμβάνει τελικά το ρευστό. Τότε το έργο που αποδίδει η αντλία θα είναι μικρότερο από αυτό που παρέχεται στον άξονά της.

Αυτό που επιδιώκεται με τη χρήση της αντλίας, είναι να αποδοθεί στο διακινούμενο ρευστό ένα ύψος ενέργειας (αποδιδόμενο ύψος H_o) και να επιτευχθεί μια παροχή $\dot{V}$ στο σύστημα αντλήσεως. Για να συμβούν αυτά, πρέπει να αποδοθεί από την αντλία στο διερχόμενο απ' αυτήν υγρό, ισχύς P_o.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις και ανάλογα με τη φύση των απωλειών ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας διακρίνεται σε:

1) ***Ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως*** (η_v) (volumetric efficiency), που είναι ο λόγος της πραγματικής παροχής $\dot{V}$ προς τη εσωτερική παροχή $\dot{V}_ε$ της αντλίας. Ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως παρέχει το μέτρο των απωλειών, οι οποίες οφείλονται στις διαρροές από το διάκενο μεταξύ της στρεφόμενης πτερωτής και του σταθερού κελύφους ή της μη τέλειας στεγανότητας των βαλβίδων, τις απώλειες από τους στυπειοθλίπτες κ.λπ.. Τότε, παρατηρείται το φαινόμενο της ολισθίσεως του υγρού από την κατάθλιψη προς το χώρο της αναρροφήσεως ή από το εσωτερικό της αντλίας προς το περιβάλλον. Δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_V = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_ε} \qquad (4.37)$$

ή λόγω της σχέσεως (4.31) όπου $\dot{V}_\varepsilon = \dot{V} + \dot{V}_\delta$

$$\eta_V = \frac{\dot{V}}{\dot{V} + \dot{V}_\delta} < 1 \qquad (4.37α)$$

Ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως κυμαίνεται από 80 έως 98%, με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν σε αντλίες θετικής μετατοπίσεως που είναι σε άριστη κατάσταση, ενώ με τις μικρότερες τιμές στις φυγοκεντρικές αντλίες, ιδιαίτερα όταν λόγω φθοράς έχουν αυξηθεί τα διάκενα μεταξύ κινητών και σταθερών τμημάτων.

2) ***Υδραυλικό βαθμό αποδόσεως*** (η_h) (hydraulic efficiency) που σχετίζεται με την κατασκευή και την εγκατάσταση της αντλίας. Εξαρτάται από τις υδραυλικές απώλειες που αναπτύσσονται στο τμήμα εισόδου, στο εσωτερικό από τη διατομή εισόδου έως τη διατομή εξόδου, και στο τμήμα εξόδου της αντλίας. Είναι το μέτρο των αντιστάσεων που προκύπτουν από την τριβή του υγρού και των τοιχωμάτων, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του ρευστού και την αλλαγή της κατευθύνσεως ροής του. Δίνεται ως:

$$\eta_h = \frac{H_o}{H_\varepsilon} \qquad (4.38)$$

και ορίζεται ως ο λόγος του αποδιδόμενου ή ολικού ύψους H_o προς το εσωτερικό (θεωρητικό) ύψος H_ε, που αποτελείται από την ολική ενέργεια, η οποία παραλαμβάνει το υγρό από την αντλία με τις υδραυλικές απώλειες. Έτσι, η σχέση (4.38) λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση (4.28) γίνεται:

$$\eta_h = \frac{H_o}{H_o - \Sigma h_{pf}} < 1 \qquad (4.38α)$$

όπου: Σh_{pf} το ύψος απωλειών λόγω ροής (υδραυλικές απώλειες) στο εσωτερικό της αντλίας.

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.38α), όσο πιο μεγάλο είναι το ύψος απωλειών εντός της αντλίας, τόσο μικρότερος είναι ο υδραυλικός βαθμός αποδόσεως.

3) ***Μηχανικό βαθμό αποδόσεως*** η_m (mechanical efficiency), που καλείται ο λόγος της εσωτερικής ισχύος P_ε (δηλ. της ισχύος που μεταβιβάζεται στο υγρό, το οποίο ρέει εντός της αντλίας) προς την αξονική ισχύ P_α (που αποτελεί την ενεργειακή κατανάλωση της αντλίας). Εξαρτάται κυρίως από τις δυνάμεις τριβής, οι οποίες αναπτύσσονται μεταξύ των κινουμένων μερών μιας αντλίας. Έτσι, ως μηχανικός βαθμός αποδόσεως ορίζεται ο λόγος:

$$\eta_m = \frac{P_\varepsilon}{P_\alpha} \qquad (4.39)$$

Η αξονική ισχύς P_α η οποία μεταδίδεται στην αντλία θα μετατραπεί σε ωφέλιμη ισχύ P_o του διακινούμενου υγρού και σε ισχύ P_m των μηχανικών απωλειών που διατίθεται για να υπερνικήσει τις απώλειες τριβής των κινουμένων μερών της αντλίας. Επομένως σύμφωνα με την εξίσωση (4.34) ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως δίνεται ως:

$$\eta_m = \frac{P_\varepsilon}{P_\varepsilon + \Sigma P_m} < 1 \qquad (4.39α)$$

4) ***Ολικό βαθμό αποδόσεως*** η (total efficiency), που είναι ο καθοριστικός λόγος ποιότητας από ενεργειακής πλευράς. Γι' αυτό καλείται πιο απλά, βαθμός αποδόσεως της αντλίας. Ισούται με το πηλίκο της ωφέλιμης – αποδιδόμενης ισχύος P_o προς την καταναλισκόμενη αξονική ισχύ P_α από το κινητήριο μηχάνημα, παρέχοντας το μέτρο για το σύνολο των απωλειών σε τριβές και ορίζεται ως:

$$\eta = \frac{P_o}{P_\alpha} \qquad (4.40)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.19) όπου:
$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o$ απ' την εξίσωση (4.40) σε συνδυασμό με την (4.39) προκύπτει ότι:

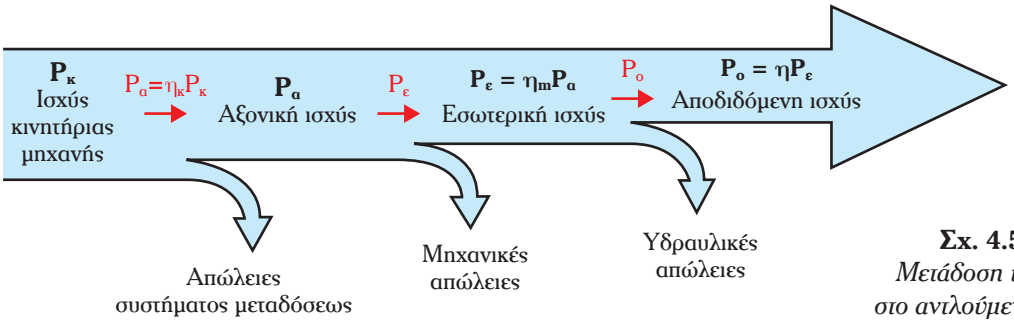
$$\eta = \frac{P_o}{P_\alpha} = \frac{\gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o}{\underbrace{\gamma \cdot \dot{V}_\varepsilon \cdot H_\varepsilon}_{\eta_m}} = \eta_m = \frac{\gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o}{\gamma \cdot \dot{V}_\varepsilon \cdot H_\varepsilon}$$

ή $$\eta = \eta_m \cdot \eta_V \cdot \eta_h \qquad (4.41)$$

Δηλαδή, ο ολικός βαθμός αποδόσεως η είναι το γινόμενο των τριών βαθμών αποδόσεως, του υδραυλικού, του ογκομετρικού και του μηχανικού. Για εμβολοφόρες αντλίες προσδιορίζεται πειραματικά και παραμένει σχεδόν σταθερός σε μεγάλες διακυμάνσεις ύψους, ενώ στις δυναμικές, υπάρχει μέγιστη απόδοση στο βέλτιστο ύψος και πτώση της αποδόσεως όταν αποκλίνει από αυτό. Στις περιστροφικές αντλίες οι υδραυλικές απώλειες που οφείλονται στις εσωτερικές τριβές και τους στροβιλισμούς είναι αμελητέες, ώστε σε πρακτικές εφαρμογές να λαμβάνεται ο η_h ίσος με τη μονάδα και η σχέση να δίνεται ως:

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_V \qquad (4.42)$$

Ο ολικός ή μέγιστος βαθμός αποδόσεως μιας αντλίας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της. Συνήθως κυμαίνεται από 70% έως 90%. Σε συνδυασμό όμως με τις συνθήκες λειτουργίας (δηλ. τις απαιτήσεις του συστήματος αντλήσεως), ο βαθμός αποδόσεως μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερος.



Σχ. 4.5ε
Μετάδοση ισχύος στο αντλούμενο υγρό.

Η ισχύς του κινητήρα είναι το άθροισμα της αξονικής ισχύος και των απωλειών ισχύος λόγω αδυναμίας στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια. Έτσι η ισχύς του κινητήρα μπορεί να υπολογιστεί από το λόγο της αξονικής ισχύος προς την απόδοση του κινητήρα και δίδεται από τη σχέση:

$$P_κ = \frac{P_α}{η_κ}, \qquad (4.42α)$$

ενώ η αξονική ισχύς που είναι το άθροισμα της εσωτερικής ισχύος και των απωλειών στη μετάδοση της ισχύος από τον άξονα στο ρευστό που διακινείται δίδεται με τη σχέση:

$$P_α = \frac{P_ε}{η_h} \qquad (4.42β)$$

Στο σχήμα 4.5ε παρουσιάζεται η μετάδοση ισχύος από την κινητήρια μηχανή στο διακινούμενο ρευστό ενός συστήματος αντλήσεως.

4.6 Αναρρόφηση της αντλίας.

Με τον όρο ***αναρρόφηση*** (pump suction) ορίζεται η εισαγωγή του υγρού στο θάλαμο της αντλίας, η οποία επιτυγχάνεται σε διάφορες συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές αναφέρονται είτε στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού σε σχέση με την αντλία, είτε στον κενό χώρο (όγκος του κυλίνδρου) στο εσωτερικό της αντλίας και τη χαμηλή πίεση που δημιουργούνται από την παλινδρόμηση ενός εμβόλου στο εσωτερικό της ή την περιστροφή ενός στροφείου.

Όταν η άντληση ενός υγρού πραγματοποιείται από δεξαμενή τοποθετημένη υψηλότερα από την εγκατεστημένη αντλία και στην ελεύθερη επιφάνειά του ασκείται ατμοσφαιρική πίεση [σχ. 4.5α(α)], τότε το υγρό ρέει προς την αντλία. Η ροή του υγρού οφείλεται στο στατικό ύψος αναρροφήσεως που προκύπτει από την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσεως στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Σ' αυτήν την περίπτωση η αντλία προσθέτει ενέργεια για τη ροή του υγρού μόνο για τη διέλευσή του από το υπόλοιπο σύστημα.

Όταν η δεξαμενή βρίσκεται χαμηλότερα από την εγκατεστημένη αντλία, στην εισαγωγή της αντλίας θα πρέπει να δημιουργηθεί η απαραίτητη πτώση πιέσεως, ώστε με την επίδραση της ατμοσφαιρικής πιέσεως να μεταφέρει το υγρό προς την αντλία [σχ. 4.5α(β)]. Η πτώση πιέσεως είναι το ***κενό αναρροφήσεως*** (suction vacuum) της αντλίας και έχει μια τιμή απόλυτης πιέσεως μικρότερη από εκείνη που επικρατεί στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Έτσι, το υγρό λόγω της διαφοράς των πιέσεων που επικρατούν στην αναρρόφηση της αντλίας και την ελεύθερη επιφάνειά του, αναγκάζεται να κινηθεί μέσω του σωλήνα από το χώρο υψηλότερης πιέσεως, όπου η πίεση είναι η ατμοσφαιρική, στο χώρο χαμηλότερης πιέσεως που είναι ο θάλαμος αναρροφήσεως της αντλίας.

Η διαφορά των δύο πιέσεων μπορεί να φθάσει θεωρητικά την τιμή της μιας ατμόσφαιρας ή της εκάστοτε βαρομετρικής πιέσεως που ασκείται στην επιφάνεια του υγρού, αν υποτεθεί ότι η πτώση πιέσεως που δημιουργείται από την αντλία φτάσει το τέλειο κενό. Αυτό ονομάζεται ***θεωρητικό ύψος αναρροφήσεως*** που φτάνει τα 10,33 m. Το θεωρητικό ύψος αναρροφήσεως είναι σχεδόν αδύνατο να πραγματοποιηθεί, διότι στα στοιχεία που επηρεάζουν την πλευρά της αναρροφήσεως περιλαμβάνονται, εκτός από το ύψος του υγρού και η επίδραση της ατμοσφαιρικής πιέσεως, περισσότεροι παράγοντες. Οι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό της πραγματικής αναρροφήσεως της αντλίας είναι οι εξής:

1) Το ***καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως*** (Net Pressure Suction Head ή NPSH) που χρησιμοποιείται προκειμένου να ελεγχθούν οι συνθήκες αναρροφήσεως κάτω από τις οποίες πρέπει να λειτουργεί η αντλία για να αποφευχθεί η σπηλαίωση (σχ. 4.6). Το καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως καθορίζεται από:

α) Το ύψος $H_{αα}$, το οποίο είναι η απόλυτη πίεση (ή η ατμοσφαιρική για ανοικτά δοχεία) σε μέτρα στήλης νερού m_{H_2O} ή m_{wc}, η οποία επιδρά στην επιφάνεια του ρευστού στην πλευρά της αναρροφήσεως.

β) Την κάθετη απόσταση $H_α$ $(z_2 - z_1)$ από το κέντρο της αντλίας έως την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού και εκφράζει το στατικό ύψος αναρροφήσεως και προστί-

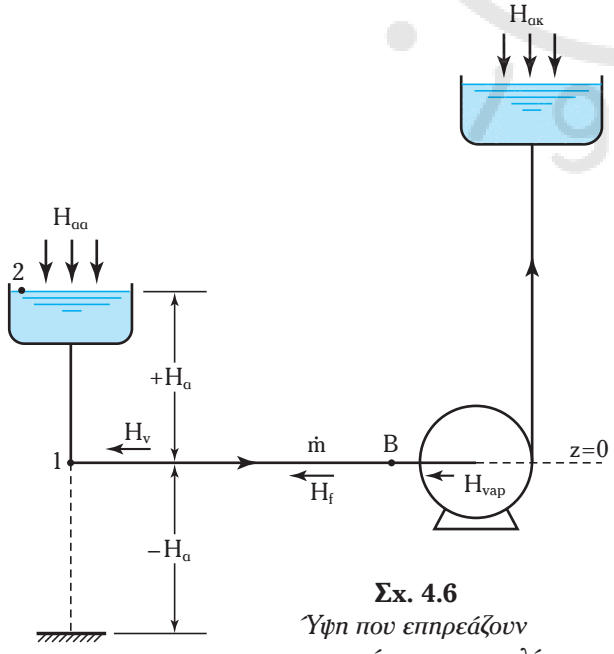
θεται αλγεβρικά στο ύψος της ατμοσφαιρικής πίεσεως $H_{αα}$ στην επιφάνεια του υγρού.

γ) Τις απώλειες αντιστάσεως τριβής στον σωλήνα αναρροφήσεως που αποτελούν το ύψος H_f.

δ) Τις απώλειες λόγω ταχύτητας ροής του υγρού, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη μόνο σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ροής και ορίζονται ως H_v. Διαφορετικά είναι αμελητέες.

Η αναρρόφηση της αντλίας μπορεί να θεωρηθεί επαρκής, όταν το άθροισμα των παραπάνω απωλειών $H_v + H_f \pm H_a$ είναι μικρότερο του $H_{αα}$ που ασκείται στην επιφάνεια του υγρού. Σε αυτές τις απώλειες πρέπει να προστεθούν οι απώλειες λόγω εξατμίσεως του υγρού H_{vap} καθώς και το υπόλοιπο θετικό ύψος αναρροφήσεως που απαιτείται από την αντλία, ώστε να επιτευχθεί ο ρυθμός καταθλίψεως για τον οποίο έχει σχεδιαστεί. Έτσι, το άθροισμα των συνολικών απωλειών δίνεται από τα $H_{αα} \pm H_a - H_f - H_v - H_{vap}$, γνωστό ως διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHa. Στα συστήματα όπου το ύψος από αντιστάσεις της ταχύτητας ροής (H_v) είναι αμελητέο, αυτό παραλείπεται.

Το διαθέσιμο θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHa, αναφέρεται στην εγκατάσταση (σύστημα αναρροφήσεως) και για τον υπολογισμό του διακρίνουμε δύο περιπτώσεις. Όταν έχομε ανύψωση στην αναρρόφηση (suction lift) όπου η αντλία βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια του υγρού αναρροφήσεως (σχ. 4.6), το στατικό ύψος αναρροφήσεως παίρνει αρνητική τιμή, ενώ όταν έχομε θετική αναρρόφηση (positive suction) όπου η αντλία βρίσκεται κάτω από



Σχ. 4.6
Ύψη που επηρεάζουν την αναρρόφηση της αντλίας.

την επιφάνεια του υγρού, το στατικό ύψος αναρροφήσεως παίρνει θετική τιμή.

Οι κατασκευαστές αντλιών παρέχουν επίσης το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHr, που χαρακτηρίζει την αντλία και μετρείται σε μέτρα στήλης νερού. Είναι συνάρτηση της παροχής της αντλίας και συνήθως αυξάνεται καθώς αυξάνεται η παροχή.

Η σχέση μεταξύ απαιτούμενου (NPSHr) και διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως (NPSHa) πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως να είναι πάντοτε μεγαλύτερο του απαιτούμενο (NPSHa > NPSHr). Ανεπαρκής τιμή του διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως έχει ως αποτέλεσμα τη σπηλαίωση από τη δημιουργία φυσαλίδων στο υγρό κατά τη λειτουργία της αντλίας, την αύξηση του επιπέδου θορύβου πάνω από το καθορισμένο όριο, καθώς και την απόσπαση υλικού από τις επιφάνειες στο εσωτερικό της αντλίας μεγαλύτερη από το συγκεκριμένο όριο της επιτρεπόμενης φθοράς.

2) Η ***θερμοκρασία*** του υγρού, ώστε όσο πιο θερμό είναι το υγρό τόσο δυσκολότερα αναρροφάται από την αντλία. ***Αυτό συμβαίνει, διότι υπό την επήρεια του κενού στην αναρρόφηση διευκολύνεται η εξάτμιση του υγρού.*** Οι ατμοί που δημιουργούνται καταλαμβάνουν χώρο εμποδίζοντας την αναρρόφηση, με τον ρυθμό παραγωγής τους να αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του υγρού. Το φαινόμενο αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στην άντληση ορισμένων υγρών καυσίμων, που ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουν μεγάλη πτητικότητα διακόπτοντας την φλέβα ροής του υγρού κατά την αναρρόφηση.

Σε περιπτώσεις υψηλής θερμοκρασίας του υγρού που αναρροφάται, η αντλία τοποθετείται πολύ χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού που πρόκειται να αντληθεί, ώστε να εξασφαλιστεί η ικανότητα αναρροφήσεως, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στις αντλίες συμπυκνώματος του ψυγείου ή στις τροφοδοτικές αντλίες τροφοδοτικού νερού λεβήτων.

3) Το ***ειδικό βάρος*** του υγρού, που επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα την ικανότητα αναρροφήσεως της αντλίας και εξαρτάται από το βάρος του υγρού που περιέχει η στήλη αναρροφήσεως. Έτσι, όσο μικρότερο είναι το ειδικό βάρος του υγρού, τόσο ευκολότερα πραγματοποιείται η αναρρόφησή του από την αντλία και αντίστροφα.

4) Το ***ιξώδες*** του υγρού με βάση το οποίο ένα υγρό χαρακτηρίζεται ως παχύρρευστο, όταν δύσκολα θα αναρροφάται και λεπτόρρευστο όταν θα αναρροφάται εύκολα.

5) Οι ***αντιστάσεις στη σωλήνωση αναρροφήσεως***, οι οποίες όσο λιγότερες είναι τόσο ευκολότερα πραγματοποιείται η αναρρόφηση από την αντλία. Οι αντιστάσεις εξαρτώνται από:

α) Τη ***διάμετρο του σωλήνα***. Μειώνονται όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρός του.

β) Την ***εσωτερική υφή*** (τραχύτητα) των σωλήνων, ώστε όταν είναι λείοι δεν δημιουργούνται δυνάμεις τριβής μεταξύ του υγρού και της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα.

γ) Τη ***διεύθυνση των σωλήνων***, ώστε όταν είναι ίσιοι χωρίς διακυμάνσεις της διαμέτρου, να μειώνονται οι τριβές από το στροβιλισμό του υγρού.

δ) Τις ***παρεμβολές στη σωλήνωση*** από όργανα ρυθμίσεως και ελέγχου. Όσο λιγότερες είναι αυτά τόσο πιο ομαλή είναι η ροή του υγρού.

6) Τη ***στεγανότητα του σωλήνα αναρροφήσεως και όλου του μηχανισμού της αντλίας***. Με την καλή στεγανότητα των σωλήνων, των βαλβίδων και των εμβόλων στις εμβολοφόρες αντλίες επιτυγχάνεται η καλύτερη αναρρόφηση του υγρού. Το ίδιο συμβαίνει για τις περιστροφικές αντλίες όσο μικρότερα είναι τα διάκενα του στροφείου με το κέλυφος.

Επίσης, η ικανότητα αναρροφήσεως μιας αντλίας επηρεάζεται από τον τύπο της. Επηρεάζεται αρνητικά σε εμβολοφόρες με μεγάλο αριθμό εμβολισμών ή σε περιστροφικές όπου οι στροφές ανά λεπτό είναι πολλές. Επίσης στις εμβολοφόρες αντλίες η ικανότητα αναρροφήσεως επηρεάζεται και από το διάκενο μεταξύ του εμβόλου και του καπακιού (πώματος), δυσκολεύοντας την αναρρόφηση όταν αυτό είναι μεγάλο.

Πρακτικά όμως, το ύψος αναρροφήσεως φτάνει μόνο τα 7 m σε ιδανικές συνθήκες, λόγω των απωλειών από τις τριβές στο σωλήνα αναρροφήσεως, και τα όρια που τίθενται στην κατασκευή μιας αντλίας. Επίσης, οποιαδήποτε αύξηση στη θερμοκρασία του νερού πάνω από 15°C θα είχε ανεπιθύμητα αποτελέσματα, επηρεάζοντας την πίεση από τη δημιουργία εξατμίσεων (ατμών).

Έτσι, για θερμοκρασία νερού πάνω από 75°C το ύψος αναρροφήσεως θα πρέπει να είναι θετικό ή, αν αυτό είναι αδύνατον, ο σωλήνας αναρροφήσεως πρέπει να είναι μικρού μήκους κοντά στο σημείο αναρροφήσεως, χωρίς καμπύλες ή αλλαγές της διευθύνσεως ροής, με λεία εσωτερικά τοιχώματα και χαμηλή ταχύτητα ροής, μικρότερη από 1 m/s.

Στην προσπάθεια μειώσεως των απωλειών που επηρεάζουν το ύψος αναρροφήσεως στις εμβολοφόρες αντλίες, πραγματοποιείται εξαερισμός από κατάλληλα τοποθετημένο κρουνό στην αντλία, αποβάλλοντας τον ατμοσφαιρικό αέρα ή σε σημεία του δικτύου όπου υπάρχει εγκλωβισμένος αέρας δημιουργώντας επιζήμιους θύλακες στη φλέβα ροής του υγρού. Αυτοί οι χώροι αρχικά γεμίζονται με υγρό.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες, που δε διαθέτουν βαλβίδες και έμβολα ώστε να διακόψουν τη φλέβα ροής του υγρού, συνήθως τοποθετούνται χαμηλότερα από τη στάθμη αναρροφήσεως του υγρού. Σε φυγοκεντρικές αντλίες που είναι τοποθετημένες ψηλότερα, εγκαθίστανται διατάξεις αρχικής αναρροφήσεως του αέρα (priming) στον σωλήνα αναρροφήσεως ή διάταξη πληρώσεως του σωλήνα με υγρό.

4.7 Κατάθλιψη της αντλίας.

Η κατάθλιψη είναι η εξαγωγή του υγρού από την αντλία προς το δίκτυο στο οποίο είναι εγκατεστημένη. Θεωρητικά, η κατάθλιψη μιας αντλίας θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε απεριόριστο ύψος, εφόσον τα υγρά είναι ασυμπίεστα και η λειτουργία των αντλιών βασίζεται είτε στην εκτόπιση του υγρού, όπως συμβαίνει στις αντλίες θετικής εκτοπίσεως, είτε στη μεταβολή της κινητικής καταστάσεως και τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του υγρού σε στατική πίεση, όπως συμβαίνει στις δυναμικές αντλίες.

Στην πράξη όμως, ένα μέρος της ενέργειας που παρέχεται για τη λειτουργία της αντλίας διαχέεται με τη μορφή θερμότητας, από τις τριβές των κινουμένων μερών της, προς το περιβάλλον. Το υπόλοιπο θα μετατραπεί σε αύξηση της πιέσεως και της ταχύτητας ροής του υγρού.

Από την αύξηση της πιέσεως που δημιουργείται, ένα μέρος θα χαθεί στις απώλειες από τις αντιστάσεις τριβής στο δίκτυο καταθλίψεως, ένα μέρος στο στατικό ύψος του συστήματος και ένα μέρος στην πίεση που ασκείται στην ελεύθερη επιφάνεια του χώρου καταθλίψεως του υγρού. Το ύψος απωλειών, λόγω αντιστάσεως στην ταχύτητα, όπως συμβαίνει και στην αναρρόφηση, είναι αμελητέο γι' αυτό παραλείπεται.

Έτσι, για να επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος καταθλίψεως της αντλίας, οι απώλειες οι οποίες περιγράφονται παραπάνω αντιμετωπίζονται:

1) Με ειδικά χαρακτηριστικά στην κατασκευή της.

2) Με μελέτη στα χαρακτηριστικά των σωληνώσεων του δικτύου και

3) με τον υπολογισμό του συνόλου των απωλειών λόγω τριβών.

Έτσι, σύμφωνα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και την ικανότητα των αντλιών:

1) Η κατάθλιψη σε μεγάλα ύψη επιτυγχάνεται με αντλίες εκτοπίσεως εμβολοφόρες ή περιστροφικές, και πολυβάθμιες φυγοκεντρικές, ενώ

2) για την κατάθλιψη σε μικρότερο ύψος και την

αύξηση της ταχύτητας του υγρού χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες.

4.8 Επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων του υγρού στην αντλία.

Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες των υγρών που επηρεάζουν (ενεργειακά ή λειτουργικά) το σύστημα αντλήσεώς τους και ιδιαίτερα την αντλία, είναι οι ακόλουθες:

1) Πυκνότητα και ειδικό βάρος.

Από το ειδικό βάρος εξαρτάται το ύψος πιέσεως (p/γ). Οι άλλοι όροι του ολικού ύψους (δηλ. τα ύψη δυναμικής και κινητικής ενέργειας) είναι ανεξάρτητοι από το ειδικό βάρος του υγρού. Πιο σημαντική είναι η επίδρασή του στην αποδιδόμενη από την αντλία ισχύ P_o. Όπως φαίνεται από την εξίσωση (4.19), η αποδιδόμενη ισχύς είναι ανάλογη του ειδικού βάρους.

2) Συμπιεστότητα.

Όλα τα υγρά είναι πρακτικά ασυμπίεστα. Η κοινή αυτή ιδιότητά τους δεν επηρεάζει ενεργειακά το σύστημα αντλήσεως. Όμως, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα κατά την απότομη μεταβολή της κινητικής τους καταστάσεως εντός των σωληνώσεων (υδραυλικό πλήγμα). Γι' αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη φροντίδα κατά τη λειτουργία της αντλίας, ώστε οι μεταβατικές καταστάσεις (έναρξη και πέρας λειτουργίας) να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλές. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το πρόβλημα στις παλινδρομικές αντλίες, το οποίο αντιμετωπίζεται με χρήση αεροκωδώνων.

3) Τάση ατμών, πτητικότητα.

Η τάση ατμών επηρεάζει άμεσα το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως ($NPSH_a$) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος αναρροφήσεως $H_{a\ max}$, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί από το σύστημα αντλήσεως. Όσο πιο πτητικό είναι ένα υγρό (δηλ. όσο πιο μεγάλη είναι η τάση ατμών του για μία συγκεκριμένη θερμοκρασία), τόσο μικρότερο είναι το ύψος αναρροφήσεως στο οποίο μπορεί να λειτουργεί η αντλία αποδοτικά και τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος σπηλαιώσεως.

4) Διαλυτότητα αερίων.

Η υψηλή διαλυτότητα ορισμένων αερίων στα υγρά, και ιδιαίτερα στο νερό, πιθανόν να δημιουργήσει προβλήματα στο σύστημα αντλήσεως, τόσο ενεργειακά (πτώση βαθμού αποδόσεως της αντλίας), όσο και λειτουργικά (σπηλαίωση). Τα προβλήματα αυτά που οφείλονται στη διαλυτότητα των αερίων σε υγρά, μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας και με την πτώση της πιέσεως (νόμος του Henry). Πιθανό αποτέλεσμα της μειώσεως της διαλυτότητας, είναι η δημιουργία φυσαλίδων και η δημιουργία ανεπιθυμήτων αεροθυλάκων στους σωλήνες μεταφοράς και, κυρίως, στην εισαγωγή του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως στην αντλία. Σ' αυτήν την κρίσιμη περιοχή, παρατηρείται η μέγιστη πτώση πιέσεως, άρα η ελάχιστη διαλυτότητα των αερίων.

5) Διαβρωτικές ιδιότητες υγρών.

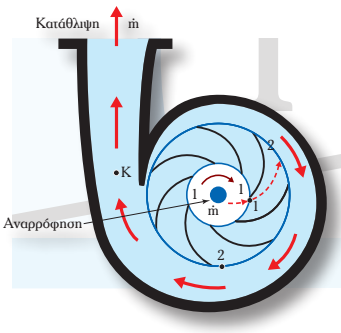
Τα αντλούμενα υγρά έρχονται σε συνεχή επαφή με τις εσωτερικές επιφάνειες των σωληνώσεων και των αντλιών. Το διαβρωτικό περιβάλλον που διαμορφώνουν πολλά από αυτά, απειλεί με σοβαρές φθορές τις αντλίες, μειώνοντας αρχικά την απόδοσή τους, οδηγώντας συχνά σε πλήρη αχρήστευση εξαρτημάτων ή και αντλιών. Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η διάβρωση που προκαλούν επικίνδυνα υγρά, χρησιμοποιούνται αντλίες κατασκευασμένες από ειδικά υλικά. Έτσι, για όξινα διαλύματα με pH από 0 έως 4 χρησιμοποιούνται ανθεκτικά μέταλλα (π.χ. ανοξείδωτος χάλυβας, χρωμιούχος ή χρωμιονικελιούχος χάλυβας με μολυβδαίνιο, τιτάνιο, χρωμιούχος ή πυριτιούχος χυτοσίδηρος, μόλυβδος σκληρυμένος με αντιμόνιο), κεραμικά υλικά και πλαστικά (με περιορισμούς θερμοκρασίας: PVC έως 60°C, πολυαιθυλένιο έως 120°C). Για υγρά με pH 4 έως 6 χρησιμοποιούνται διάφορα κράματα ορείχαλκου. Για pH 6 έως 9 χυτοσίδηρος, ενώ για pH 9 έως 14 χυτοσίδηρος ή monel (κράμα Ni-Cu). Είναι προφανές πως μόνο τα εξαρτήματα που έρχονται σε επαφή με το διαβρωτικό υγρό κατασκευάζονται (ή επικαλύπτονται) από ανθεκτικά υλικά.

6) Ιξώδες.

Το ιξώδες του υγρού, επηρεάζει το συντελεστή τριβής, άρα και το ύψος απωλειών. Πέρα όμως από αυτό, υγρά με πολύ μεγάλο ιξώδες, δημιουργούν προβλήματα στις αντλίες δυναμικού τύπου. Γι' αυτό, η άντληση των παχυρρεύστων υγρών γίνεται συνήθως με χρήση περιστροφικών αντλιών στατικού τύπου.

7) Θερμοκρασία.

Όπως αναφέρθηκε και στη διαλυτότητα των αερίων, η αύξηση της θερμοκρασίας κατά την άντληση οδηγεί σε μείωση της διαλυτότητας των αερίων και σε αύξηση της τάσεως ατμών. Επομένως οι συνθήκες δημιουργίας αερίων και ο κίνδυνος σπηλαιώσεως αυξάνονται.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
Ροή στις δυναμικές αντλίες

Γενικά.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η μελέτη από ενεργειακής σκοπιάς των αντλιών σε ένα σύστημα αντλήσεως, το οποίο όπως αναφέρθηκε, αποτελείται από τρία υποσυστήματα: Την αναρρόφηση (δεξαμενή και σωλήνας αναρροφήσεως), την αντλία και την κατάθλιψη (σωλήνας και πιθανόν δεξαμενή καταθλίψεως). Στη μελέτη αυτή, η αντλία θεωρήθηκε ως μια συσκευή, η οποία αποδίδει την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος. Αν και ήδη έχει γίνει περιγραφή αυτών των συσκευών (κεφ. 3 και 4), ώστε σε γενικές γραμμές να υπάρχει η εικόνα των δυνατοτήτων και των ορίων των αντλιών, παραμένει το ερώτημα εάν μία συγκεκριμένη αντλία που τοποθετείται στο σύστημα αντλήσεως μπορεί να ανταποκριθεί στις ενεργειακές απαιτήσεις μεταφοράς του ρευστού μέσω ενός δικτύου.

Στην πραγματικότητα, η αντλία του συστήματος όχι μόνο τροφοδοτεί με ενέργεια το σύστημα, αλλά σε συνδυασμό με τα υποσυστήματα αναρροφήσεως και καταθλίψεως διαμορφώνει και το τελικό αποτέλεσμα της αντλήσεως. Αυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις, δύναται να γίνει άμεσα αντιληπτό. Αν, για παράδειγμα, σε ένα σύστημα αντλήσεως χρησιμοποιείται μία (ενεργειακά επαρκής) παλινδρομική αντλία, τότε η παροχή του συστήματος καθορίζεται αποκλειστικά απ' αυτήν, καθώς ελάχιστα θα επηρεασθεί από το ενεργειακό φορτίο του συστήματος. Το ίδιο θα συμβεί αν η αντλία είναι περιστροφική στατικού τύπου. Μάλιστα, η παροχή θα ρυθμίζεται άμεσα με την αλλαγή των στροφών της.

Στις αντλίες δυναμικού τύπου, η κατάσταση είναι πιο πολύπλοκη και παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο. Η παροχή εξαρτάται τόσο από την αντλία, όσο και από το σύστημα αντλήσεως. Και φυσικά, αυτό που συμβαίνει με την παροχή επεκτείνεται στο ύψος απωλειών (ανάλογο του τετραγώνου της παροχής), στο αποδιδόμενο ύψος, την ισχύ κ.λπ.. Επομένως, κατά τη μελέτη μιας αντλίας δυναμικού τύπου σε ένα σύστημα αντλήσεως, απαιτείται η γνώση του τρόπου, με τον οποίο το σύστημα επηρεάζει την αντλία και η αντλία το σύστημα. Είναι αναγκαίο επομένως, να μελετηθεί η ροή του υγρού μέσα στις δυναμικές αντλίες, με επικέντρωση στις φυγοκεντρικές αντλίες, οι οποίες είναι και οι πιο διαδομένες. Σημειώνεται ότι αντίστοιχα φαινόμενα συναντώνται και στις υπόλοιπες περιστροφικές αντλίες δυναμικού τύπου.

5.1 Η ροή στη φυγοκεντρική αντλία.

Η μελέτη της ροής του υγρού στο εσωτερικό της αντλίας, αποτελεί ουσιαστική προϋπόθεση του σχεδιασμού αλλά και της κατανοήσεως της λειτουργίας των δυναμικών αντλιών. Λόγω της πολυπλοκότητας της ροής η μελέτη αυτή διακρίνεται σε δύο επίπεδα:

1) Μελέτη της θεωρητικής καταστάσεως ροής.

Κατά την μελέτη της θεωρητικής καταστάσεως εξετάζεται η ροή στην οποία οι βαθμοί αποδόσεως της αντλίας ισούνται με 100%.

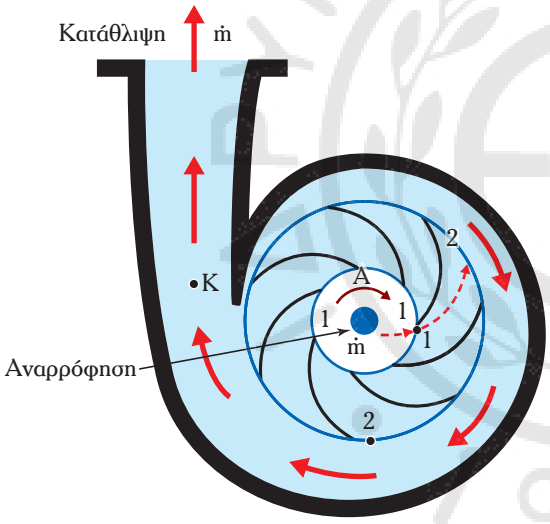
2) Μελέτη διαφόρων απωλειών στην αντλία.

Πρόκειται για απώλειες ύψους και ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις υδραυλικές τριβές και στις εσωτερικές διαρροές της αντλίας. Η πολυπλοκότητα της ροής εντός της φυγοκεντρικής αντλίας (που μπροστά της η ροή σε σωλήνα φαίνεται εξαιρετικά απλή), καθιστούν αδύνατη τη μελέτη αυτή, χωρίς τη συνδρομή της ***θεωρίας της ομοιότητας και του πειράματος***.

Για τη μελέτη της ροής εντός της φυγοκεντρικής αντλίας, πρέπει να διευκρινιστούν οι διαδρομές, στις οποίες αναπτύσσεται η ροή του υγρού εντός του σώματος της αντλίας. Σύμφωνα με το σχήμα 5.1α υπάρχουν τρία τμήματα διαδρομών: Στην ***πρώτη διαδρομή Α-1*** το υγρό εισέρχεται από την αναρρόφηση στο κέντρο της ***πτερωτής Α*** και, διασκορπιζόμενο ακτινικά, φτάνει στη ***βάση των πτερυγίων που***

είναι η περιφέρεια (1) με ***ακτίνα r_1*** (σχ. 5.1β). Η διαδρομή είναι μικρή και ενεργειακά δεν είναι σημαντική. Έχει όμως μεγάλη σημασία όσον αφορά στην περαιτέρω πτώση πιέσεως στην είσοδο της αντλίας και τον κίνδυνο σπηλαιώσεως.

Στην ***δεύτερη διαδρομή 1-2*** το υγρό, ωθούμενο από τα πτερύγια και ολισθαίνοντας σ' αυτά λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως, κινείται διά μέσου των αγωγών που σχηματίζουν τα διαδοχικά πτερύγια, από την εσωτερική περιφέρεια (1) ακτίνας r_1 στην ***εξωτερική περιφέρεια της πτερωτής*** (2) ***ακτίνας r_2***. Κατά τη διαδρομή αυτή η αντλία αποδίδει ενέργεια στο υγρό, αυξάνοντας σημαντικά την κινητική του ενέργεια, αλλά και την ενέργεια πιέσεως. Είναι η πιο ενδιαφέρουσα διαδρομή για τη σχεδίαση και τη λειτουργία της αντλίας, αφού στη διάρκειά της μεταβιβάζεται η ενέργεια από τον άξονα της αντλίας στο υγρό. Γι' αυτό το λόγο θα εξεταστεί περαιτέρω αναλυτικά στη συνέχεια.



Σχ. 5.1α
Ροή του υγρού μέσα σε φυγοκεντρική αντλία.

Στην ***τρίτη διαδρομή 2-K*** το υγρό, εγκαταλείποντας την πτερωτή με μεγάλη ταχύτητα, εισέρχεται στο δακτυλιοειδή οχετό κινούμενο περιστροφικά προς την ***κατάθλιψη K***. Η αύξηση της διατομής του οχετού και της χοάνης εξόδου, έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε πίεση.

– Η ροή τον υγρού στην πτερωτή – Τρίγωνα ταχυτήτων.

Για την ενεργειακή μελέτη της ροής του υγρού από τη βάση ως την περιφέρεια της πτερωτής, πρέπει αρχικά να παραδεχθούμε, ότι η ροή είναι ιδανική. Αυτό πιο συγκεκριμένα σημαίνει ότι:

1) Δεν λαμβάνονται υπόψη οι τριβές (θεωρείται ότι δεν υπάρχουν).

2) θεωρείται ότι υπάρχει άπειρος αριθμός πτερυγίων μηδενικού πάχους με απειροστή μεταξύ τους απόσταση.

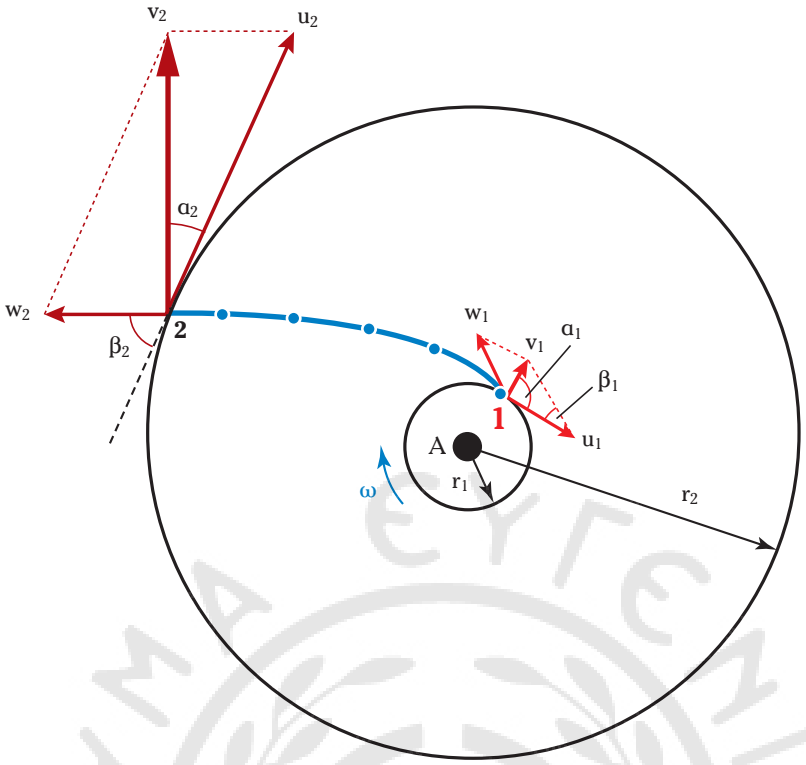
Η ιδανική αυτή κατάσταση καλείται ***τέλεια οδήγηση*** (perfect guidance). Μια πρώτη συνέπεια αυτής της υποθέσεως είναι ότι η ροή θεωρείται μονοδιάστατη[1] (εφόσον το πάχος του υγρού μεταξύ δύο πτερυγίων είναι απειροελάχιστο). Μια δεύτερη, είναι ότι υπάρχει απόλυτη συμμετρία και κατά συνέπεια, σε όλα τα σημεία που απέχουν από τον άξονα περιστροφής απόσταση r (σημεία περιφέρειας), το υγρό έχει κατά μέτρο ίση ταχύτητα. Για τη μελέτη της ροής του ρευστού, χρησιμοποιούνται οι νόμοι ροής των ασυμπίεστων ρευστών (εξίσωση συνέχειας και εξίσωση Bernoulli), καθώς και οι νόμοι της περιστροφικής κινήσεως (όπως θα συμπληρωθούν παρακάτω). Στο σχήμα 5.1β φαίνεται η κίνηση μιας στοιχειώδους μάζας υγρού, καθώς ωθείται από το πτερύγιο και ταυτόχρονα ολισθαίνει πάνω σε αυτό.

Στο σημείο 1 (βάση του πτερυγίου) η στοιχειώδης μάζα του υγρού περιστρέφεται υπό την ώθηση του πτερυγίου, με ***γωνιακή ταχύτητα ω*** και ταυτόχρονα ολισθαίνει κατά μήκος του πτερυγίου υπό την επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως. Η ***επιτρόχια συνιστώσα*** της ταχύτητας (οφειλόμενη στην περιστροφική κίνηση) είναι u_1 και η ***εφαπτομενική*** στο πτερύγιο (ταχύτητα ολισθήσεως επί του πτερυγίου) w_1. Η ***συνισταμένη γραμμική ταχύτητα*** είναι $\dot{v}_1$ και ισούται με:

$$\dot{v}_1 = \dot{u}_1 + \dot{w}_1 \qquad (5.1)$$

Παρατηρείται ότι η γωνία α_1 μεταξύ των διανυσμάτων των ταχυτήτων v_1 και u_1 είναι περίπου ορθή (ο κατάλληλος σχεδιασμός της βάσεως του πτερυγίου παίζει εδώ σημαντικό ρόλο). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να θεωρηθεί ότι η συνισταμένη ταχύτητα v_1 έχει ακτινική διεύθυνση.

[1] Μονοδιάστατη ροή σημαίνει ότι η κίνησή της πραγματοποιείται προς μία κατεύθυνση.



Σχ. 5.1β
Η ροή του υγρού στην πτερωτή.

Στο σημείο 2 (τέλος του πτερυγίου) η επιτρόχια συνιστώσα της ταχύτητας είναι u_2 και η εφαπτομενική στο πτερύγιο w_2, ώστε η συνισταμένη ταχύτητα v_2 είναι:

$$\dot{v}_2 = \dot{u}_2 + \dot{w}_2 \qquad (5.2)$$

Το μέτρο της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

$$v_2 = \sqrt{w_2^2 + u_2^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u_2 \cdot \text{συν}\beta_2} \qquad (5.2\alpha)$$

Όσον αφορά στα μέτρα των ταχυτήτων, ισχύουν τα ακόλουθα:

1) Η επιτρόχια συνιστώσα της ταχύτητας, σύμφωνα με τους νόμους της κυκλικής κινήσεως, είναι ανάλογη της ακτίνας:

$$u_1 = \omega \cdot r_1 \qquad (5.3\alpha)$$

$$u_2 = \omega \cdot r_2 \qquad (5.3\beta)$$

Επειδή η ακτίνα r_2 είναι πολύ μεγαλύτερη της r_1, η επιτρόχια συνιστώσα u_2 είναι επίσης πολύ μεγαλύτερη από την u_1. Οπότε από τις σχέσεις (5.3α) και (5.3β) προκύπτει ότι:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{r_2}{r_1} \qquad (5.3\gamma)$$

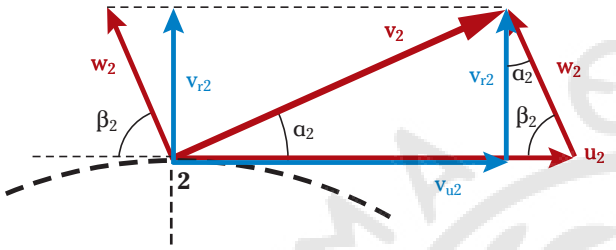
2) Η ολίσθηση στο πτερύγιο γίνεται υπό την επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως. Αν το στοιχειώδες εμβαδόν dA το κάθετο στη ροή έμενε σταθερό, το μέτρο της εφαπτομενικής συνιστώσας w θα αυξανόταν σημαντικά από το σημείο 1 έως το σημείο 2. Αλλά, καθώς η ακτίνα αυξάνεται, αυξάνεται ανάλογα και το εμβαδόν A της διατομής. Η αύξηση αυτή, σύμφωνα με την εξίσωση της συνέχειας, τείνει να μειώσει το μέτρο της εφαπτομενικής συνιστώσας w και αντισταθμίζει την τάση αυξήσεώς της, λόγω της κεντρομόλου δυνάμεως.

Αποτέλεσμα των μεταβολών των δύο συνιστωσών της ταχύτητας, καθώς το υγρό κινείται από το σημείο 1 στο σημείο 2, είναι το μέτρο της επιτρόχιας συνιστώσας u να γίνεται όλο και μεγαλύτερο σε σχέση με το μέτρο της εφαπτομενικής συνιστώσας w. Αυτό σημαίνει ότι η γωνία α_2 μεταξύ των διανυσμάτων ταχυτήτων v_2 και u_2 είναι πολύ πιο μικρή από την αντίστοιχη γωνία α_1 στο σημείο 1 (σχ. 5.1β).

Η γωνία β_2 που σχηματίζει η εφαπτομενική στο πτερύγιο ταχύτητα w_2 με την εφαπτομένη στην περιφέρεια της πτερωτής στο σημείο 2, αποτελεί σημαντική γωνία σχεδιασμού της πτερωτής, εφόσον

από αυτήν εξαρτάται η διεύθυνση της συνισταμένης ταχύτητας v_2, με την οποία η στοιχειώδης μάζα του υγρού εγκαταλείπει την πτερωτή. Σημειώνεται ότι η διεύθυνση της συνιστώσας w_2 δεν είναι ακτινική ($\beta_2 \neq 90°$). Πιο συγκεκριμένα: $\beta_2 < 90°$.

Τα τρίγωνα που δημιουργούνται κατά τη σύνθεση των διανυσμάτων u και w είναι γνωστά ως ***τρίγωνα ταχυτήτων.*** Στο σχήμα 5.1γ φαίνεται το τρίγωνο ταχυτήτων στο σημείο 2, στο οποίο η στοιχειώδης μάζα του υγρού, λαμβάνοντας την αναγκαία ενέργεια, εγκαταλείπει την πτερωτή.



Σχ. 5.1γ
Τρίγωνο ταχυτήτων στην έξοδο του υγρού από την πτερωτή.

Η συνισταμένη γραμμική ταχύτητα v_2 μπορεί να αναλυθεί τώρα σε δύο νέες συνιστώσες: Την ***ακτινική συνιστώσα*** v_{r2} και την ***επιτρόχια*** v_{u2}. Από το ορθογώνιο τρίγωνο που σχηματίζουν οι νέες συνιστώσες (σχ. 5.1γ), προκύπτει:

$$v_{r2} = v_2 \cdot \text{ημ}\,\alpha_2 \qquad (5.4\alpha)$$

$$v_{u2} = v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 \qquad (5.4\beta)$$

Η στροφορμή[2] L_2 της στοιχειώδους μάζας m στο σημείο 2 δίνεται από τον τύπο:

$$L_2 = m \cdot r_2 \cdot v_2 \text{συν}\alpha_2 \qquad (5.4\gamma)$$

Αντίστοιχο τρίγωνο ταχυτήτων έχομε και για το σημείο 1 (σχ. 5.1δ), για το οποίο προκύπτουν:

$$v_{r1} = v_1 \cdot \text{ημ}\,\alpha_1 \qquad (5.5\alpha)$$

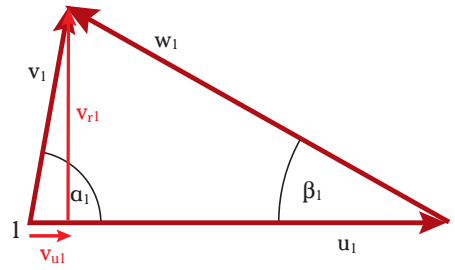
$$v_{u1} = v_1 \cdot \text{συν}\,\alpha_1 \qquad (5.5\beta)$$

$$L_1 = m \cdot r_1 \cdot v_1 \cdot \text{συν}\,\alpha_1 \qquad (5.5\gamma)$$

Στην περίπτωση κατά την οποία $\alpha_1 = 90°$:

$$v_{r1} = v_1 \text{ και } v_{u1} = 0.$$

Επειδή έχει τεθεί ως προϋπόθεση η απόλυτη



Σχ. 5.1δ
Τρίγωνο ταχυτήτων στην είσοδο του υγρού στην πτερωτή.

συμμετρία του συστήματος, αυτό που συμβαίνει για τη στοιχειώδη μάζα στο σημείο 2, συμβαίνει και για τη συνολική μάζα που κάποια στιγμή βρίσκεται στην περιφέρεια της πτερωτής. Επομένως, στις εξισώσεις (5.4γ) και (5.5γ), η μάζα m είναι η μάζα που διέρχεται από την περιφέρεια της πτερωτής και είναι:

$$\frac{m}{t} = m = \rho \cdot \dot{V}$$

όπου: m η παροχή μάζας και ρ η πυκνότητα του ρευστού.

Σύμφωνα με το Δεύτερο Νόμο του Newton για την περιστροφική κίνηση, η μεταβολή της στροφορμής ισούται με την εξωτερική ροπή (M) επί τον χρόνο (t):

$$M \cdot t = L_2 - L_1 = m \cdot (r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 - r_1 \cdot v_1 \cdot \text{συν}\,\alpha_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 - r_1 \cdot v_1 \cdot \text{συν}\,\alpha_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M = \rho \cdot \dot{V} \cdot (r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 - r_1 \cdot v_1 \cdot \text{συν}\,\alpha_1) \qquad (5.6)$$

Η εξίσωση (5.6) δίνει την απαιτούμενη ροπή στρέψεως, ώστε το υγρό να εξέλθει από την πτερωτή με ταχύτητα v_2 και παροχή $\dot{V}_2$.

Σύμφωνα με τους νόμους της περιστροφικής κινήσεως, η ισχύς ισούται με τη ροπή στρέψεως επί τη γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου σώματος ως εξής:

$$P = M \cdot \omega \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = \rho \cdot \dot{V} \cdot \omega \cdot (r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 - r_1 \cdot v_1 \cdot \text{συν}\,\alpha_1) \qquad (5.7)$$

Στην περίπτωση ακτινικής εισόδου στην πτερωτή, η γωνία α_1 είναι ορθή και η εξίσωση (5.7) λαμβάνει τη μορφή:

$$P = \rho \cdot \dot{V} \cdot \omega \cdot r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 \qquad (5.7\alpha)$$

Οι εξισώσεις (5.7) και (5.7α) δίνουν τη (θεωρη-

[2] Βλ. Φυσική, Αντωνίου Χ. Βρούλου και Στέφανου Ι. Καρναβά, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, 2012.

τική) ισχύ που παραλαμβάνει το υγρό καθώς διέρχεται από την πτερωτή.

Το έργο που παραλαμβάνει η μονάδα βάρους του υγρού (το θεωρητικά αποδιδόμενο ύψος) συνδέεται με την αντίστοιχη ισχύ, με την εξίσωση:

$$P = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H \text{ και με την (5.7) έχομε:}$$

$$H = \frac{\omega}{g} \cdot (r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\alpha_2 - r_1 \cdot v_1 \cdot \text{συν}\alpha_1) \qquad (5.8)$$

Και για $\alpha_1 = 90^o$:

$$H = \frac{\omega}{g} \cdot r_2 \cdot v_2 \cdot \text{συν}\alpha_2 \qquad (5.8\alpha)$$

Η σχέση του θεωρητικά αποδιδόμενου ύψους – παροχής, υπολογίζεται ως ακολούθως: Το υγρό διέρχεται από το εμβαδόν περιφέρειας της πτερωτής A_2 με ταχύτητα v_2. Το κάθε στοιχειώδες εμβαδόν περιφέρειας είναι κάθετο στην ακτίνα της πτερωτής. Επομένως, η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας (επί του εμβαδού A_2) είναι η ακτινική συνιστώσα v_{r2} και η παροχή $\dot{V}$ δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{V} = A_2 \cdot v_{r2} \Rightarrow v_{r2} = \frac{\dot{V}}{A_2} \qquad (5.8\beta)$$

Από το τρίγωνο των ταχυτήτων του σχήματος 5.1γ έχομε:

$$v_{u2} = v_2 \cdot \text{συν}\,\alpha_2 \qquad (5.8\gamma)$$

$$\varepsilon\varphi\beta_2 = \frac{v_{r2}}{u_2 - v_{u2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{u2} = v_2 \cdot \text{συν}\alpha_2 = u_2 - \frac{v_{r2}}{\varepsilon\varphi\beta_2}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι $u_2 = \omega \cdot r_2$ και $\dot{V} = A_2 \cdot v_{r2}$ αντικαθιστώντας στην εξίσωση (5.8α), προκύπτει:

$$H = \frac{\omega^2 \cdot r_2^2}{g} - \frac{\omega \cdot r_2}{g \cdot A_2 \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \cdot \dot{V} \qquad (5.9)$$

Για σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω, η παραπάνω σχέση έχει τη μορφή:

$$H = A - B \cdot \dot{V}, \text{ (εξίσωση ευθείας γραμμής)} \qquad (5.9\alpha)$$

όπου: $$A = \frac{\omega^2 \cdot r_2^2}{g}, \quad B = \frac{\omega \cdot r_2}{g \cdot A_2 \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \qquad (5.9\beta)$$

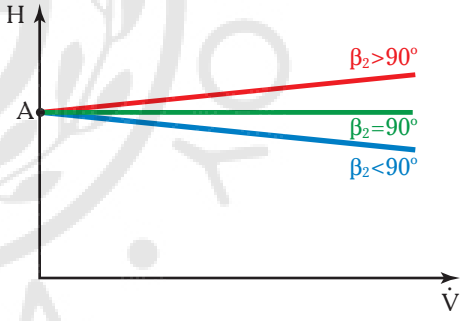
Η κλίση της γραμμής $H - \dot{V}$ εξαρτάται από το πρόσημο του συντελεστή Β, επομένως από το πρόσημο της εφαπτομένης της γωνίας β_2:

1) Αν η γωνία β_2 είναι οξεία ($\beta_2 < 90^o \Rightarrow \varepsilon\varphi\beta_2 > 0$), η γραμμή έχει αρνητική κλίση: Το αποδιδόμενο ύψος μειώνεται όταν αυξάνεται η παροχή.

2) Αν η γωνία β_2 είναι ορθή ($\beta_2 = 90^o \Rightarrow 1/\varepsilon\varphi\beta_2 = 0$), η γραμμή είναι οριζόντια: Το θεωρητικά αποδιδόμενο ύψος είναι ανεξάρτητο της παροχής.

3) Αν η γωνία β_2 είναι αμβλεία ($\beta_2 > 90^o \Rightarrow \varepsilon\varphi\beta_2 < 0$), η γραμμή έχει θετική κλίση: Το αποδιδόμενο ύψος μειώνεται με την αύξηση της παροχής.

Ως προς τη φορά περιστροφής, η πρώτη περίπτωση αντιστοιχεί σε πτερύγια κυρτά, η δεύτερη σε πτερύγια επίπεδα και η τρίτη σε πτερύγια κοίλα. Επειδή όταν η γραμμή $H - \dot{V}$ είναι οριζόντια ή έχει θετική κλίση μπορεί να δημιουργηθεί αστάθεια ροής στο σύστημα, ***εκλέγεται σχεδόν πάντοτε το πρώτο σχήμα πτερυγίων (κυρτά ως προς τη φορά περιστροφής)***. Στις πραγματικές αντλίες, η γωνία β_2 βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 15° και 35°. ***Το Θεωρητικό αποδιδόμενο ύψος σύμφωνα με τις εξίσωσεις (5.9) και (5.9α) έχει μέγιστη τιμή όταν η παροχή τείνει στο μηδέν*** ($H_{max} = \omega^2 \cdot r_2^2/g$) ***και μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της παροχής***. Τόσο η μέγιστη τιμή, όσο και ο ρυθμός μειώσεως εξαρτώνται από τις στροφές και τα κατασκευαστικά στοιχεία της πτερωτής (r_2, A_2, β_2). Η γραφική παράσταση της εξισώσεως (5.9) σε διάγραμμα $H - \dot{V}$ παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1ε.



Σχ. 5.1ε
Μεταβολή του θεωρητικού ύψους, Η, με την παροχή $\dot{V}$.

Κατ' ανάλογο τρόπο προκύπτει η σχέση της θεωρητικά αποδιδόμενης ισχύος με την παροχή και από τις σχέσεις:

$$P = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H \quad \text{και} \quad (5.9)$$

τότε: $$P = \omega^2 \cdot r_2^2 \cdot \rho \cdot \dot{V} - \frac{\omega \cdot r_2}{A_2 \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \cdot \rho \cdot \dot{V}^2 \qquad (5.10)$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση του Bernoulli μεταξύ εισόδου και εξόδου της πτερωτής, λαμβάνεται η σχέση μεταξύ του θεωρητικού ύψους και των μεταβολών του ύψους πιέσεως, καθώς και του ύψους ταχύτητας του ρευστού (η υψομετρική διαφορά και οι απώλειες

ενέργειας μεταξύ της εισόδου και της εξόδου της πτερωτής θεωρούνται αμελητέες):

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \qquad (5.11)$$

Στις διαδρομές του ρευστού από την αναρρόφηση στην είσοδο της πτερωτής (A-1) και από την έξοδο της πτερωτής στην κατάθλιψη (2-K), καμία επιπλέον ποσότητα ενέργειας δεν αποδίδεται στο υγρό. Εφαρμόζοντας την εξίσωση Bernoulli σ' αυτές τις διαδρομές (με την υπόθεση των μηδενικών τριβών και θεωρώντας αμελητέες τις υψομετρικές διαφορές) προκύπτουν αντίστοιχα οι εξισώσεις:

$$\frac{p_A - p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_A^2}{2g} \qquad (5.11α)$$

$$\frac{p_K - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_K^2}{2g} \qquad (5.11β)$$

Η εξίσωση (5.11α) δείχνει ότι οποιαδήποτε αύξηση της ταχύτητας από την αναρρόφηση ως την είσοδο της πτερωτής, οδηγεί σε πτώση πιέσεως (γεγονός που επηρεάζει το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως της αντλίας NPSHr).

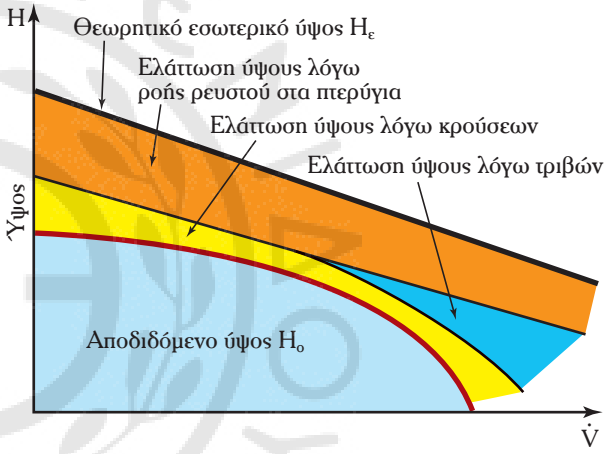
Η εξίσωση (5.11β) δείχνει ότι το ύψος ταχύτητας που απέκτησε το υγρό διερχόμενο από την πτερωτή, μετατρέπεται σε ύψος πιέσεως στην κατάθλιψη.

Τα όσα αναπτύχθηκαν παραπάνω αφορούν στην ιδανική περίπτωση ροής χωρίς τριβές και μιας πτερωτής με άπειρο αριθμό πτερυγίων μηδενικού πάχους (υπόθεση τέλειας οδηγήσεως). Η θεωρητική αυτή κατάσταση, απέχει σημαντικά από την πραγματική λειτουργία. Αποτελεί όμως τη βάση των υπολογισμών της αντλίας. Για τη μετάβαση από τη θεωρητική στην πραγματική κατάσταση, αξιοποιείται ***η θεωρία της ομοιότητας***[3] και το πείραμα. Αφού στη θεωρητική κατάσταση δεν νοείται διαφορά μεταξύ εσωτερικού και αποδιδόμενου ύψους ($H = H_ε = H_o$), στην πράξη η διαφορά τους είναι κρίσιμη και αποτελεί έναν από τους καθοριστικούς παράγοντες της ποιότητας της αντλίας. Επίσης σημαντική είναι η διαφοροποίηση της ισχύος από την εισαγωγή του ρευστού στην αντλία έως και την κατάθλιψη αυτού.

Ας προσπαθήσομε λοιπόν να εντοπίσομε τις ενεργειακές απώλειες που οδηγούν από τη θεωρητική στην πραγματική ροή εντός της αντλίας.

5.2 Απώλειες ύψους (headpressure loss).

Το ύψος που υπολογίζεται με την εξίσωση αποδιδόμενου ύψους-παροχής (5.9), είναι το θεωρητικό ύψος που θα απέδιδε η αντλία στο υγρό που ρέει εντός της, σε ιδανικές συνθήκες ροής. Στην πράξη, το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας μειώνεται σε σχέση με το θεωρητικό, λόγω της κυκλοφοριακής ροής, των τριβών και των κρούσεων. Η μείωση αυτή εικονίζεται στο σχήμα 5.2α, στο οποίο η πρώτη γραμμή που αντιστοιχεί στο θεωρητικό ύψος, αποτελεί γραφική παράσταση της εξισώσεως (5.9) για φυγοκεντρική αντλία με κυρτά πτερύγια ($β_2 < 90°$). Όμως υπάρχουν παράμετροι που μειώνουν το θεωρητικό ύψος και οδηγούν στο αποδιδόμενο. Αυτοί αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

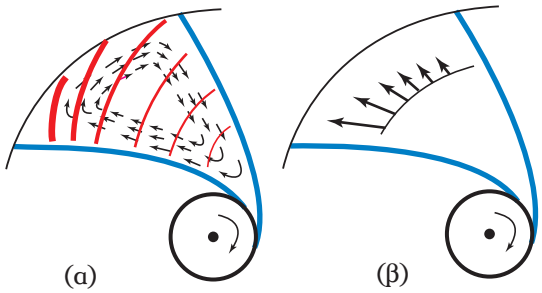


Σχ. 5.2α
Απώλειες ύψους.

5.2.1 Κυκλοφοριακή ροή ρευστού στα πτερύγια (σχ. 5.2β).

Το υγρό εγκαταλείπει το πτερύγιο στο σημείο 2 του σχήματος 5.2γ υπό γωνία $β_2'$ η οποία στην πράξη είναι μικρότερη από τη $β_2$. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν ισχύει η υπόθεση της τέλειας οδηγήσεως: Ο αριθμός των πτερυγίων είναι πεπερασμένος, το πάχος τους διάφορο του μηδενός και η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών πτερυγίων σημαντική και αυξανόμενη από το κέντρο προς την περιφέρεια. Η στοιχειώδης μάζα του υγρού που βρίσκεται μπροστά από το περιστρεφόμενο πτερύγιο, δέχεται την ώθηση και έχει μεγαλύτερη πίεση από στοιχειώδη μάζα που βρίσκε-

[3] Για τη θεωρία της ομοιότητας βλ. Μηχανική των Ρευστών, Ν. Πάντζαλη, Ίδρυμα Ευγενίδου Αθήνα 2008.



Σχ. 5.2β
Ροή ρευστού στα πτερύγια.

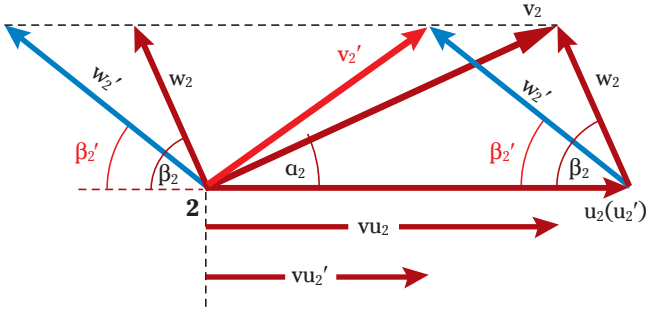
ται πίσω από το πτερύγιο. Επομένως, οι ισαπέχουσες από τον άξονα στοιχειώδεις μάζες του υγρού έχουν διαφορετικές πιέσεις. Καθώς η πίεση αυξάνεται και αξονικά, παρουσιάζεται κυκλοφοριακή ροή ρευστού στα πτερύγια. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2β(α). Οι κόκκινες γραμμές είναι ισοβαρείς ή ισόθλιπτες (οι μεγαλύτερου πάχους αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη πίεση). Όπως είναι φυσικό, παρουσιάζεται κυκλοφοριακή ροή από υψηλή προς χαμηλή πίεση. Το αποτέλεσμα στις εφαπτομενικές ταχύτητες σημείων με την ίδια ακτίνα, φαίνεται στο σχήμα 5.2β(β), (υπενθυμίζεται ότι η επιτρόχια συνιστώσα της ταχύτητας, $v = \omega \cdot r$ δεν επηρεάζεται).

Λόγω της ροής ρευστού στα πτερύγια, η ταχύτητα εξόδου από την πτερωτή v_2' είναι μικρότερη από τη θεωρητική v_2 (σχ. 5.2γ). Αλλά η v_2' είναι η συνισταμένη των w_2' και u_2' η οποία επειδή εξαρτάται μόνο από την ακτίνα και τη γωνιακή ταχύτητα στο σχήμα 5.2γ ταυτίζεται με την u_2, και δίδεται από τη σχέση:

$$u_2' = \omega \cdot r_2 = u_2$$

Επομένως, όπως φαίνεται και στο τροποποιημένο τρίγωνο ταχυτήτων του σχήματος 5.2γ, η γωνία β_2' είναι μικρότερη από τη β_2.

Αποτέλεσμα της ροής ρευστού στα πτερύγια



Σχ. 5.2γ
Τροποποίηση του τριγώνου ταχυτήτων λόγω ροής ρευστού στα πτερύγια.

είναι η ελάττωση του εσωτερικού ύψους το οποίο διαπιστώνεται και από την εξίσωση (5.8). Επίσης σημειώνεται ότι η κυκλοφοριακή ροή δεν προκαλεί ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών, επομένως δεν επηρεάζει το βαθμό αποδόσεως. Σύμφωνα με την εξίσωση (5.7), κατά αντίστοιχο ποσοστό με αυτό του ύψους μειώνεται και η απαιτούμενη ισχύς P.

5.2.2 Τριβές στην πτερωτή (friction on the impeller).

Τμήμα του αποδιδόμενου ύψους H καταναλώνεται για την αντιμετώπιση των αναπόφευκτων τριβών που δημιουργούνται κατά τη ροή του υγρού μέσα από την πτερωτή (και οι οποίες θεωρήθηκαν μηδενικές στην παραπάνω ανάλυση). Κατά συνέπεια, αυτό το τμήμα αποτελεί ύψος απωλειών και δεν αποδίδεται στο υγρό που διέρχεται από την αντλία.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση Bernoulli μεταξύ των σημείων 1 και 2 (σχ. 5.1β) (σημεία εισόδου και εξόδου στη φτερωτή) έχομε:

$$H_\varepsilon = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{pf} \qquad (5.12)$$

όπου: h_p το ύψος απωλειών λόγω υδραυλικών τριβών μέσα στην πτερωτή.

Η ροή μέσα από τις διόδους και τα αυλάκια της αντλίας παρουσιάζει απώλειες τριβών ανάλογες σχεδόν του τετραγώνου της ταχύτητας και, κατά συνέπεια, του τετραγώνου της παροχής. Επομένως, οι απώλειες ύψους λόγω τριβών είναι πολύ σημαντικές για μεγάλες παροχές (σχ. 5.2α), και έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας.

5.2.3 Απώλειες κρούσεων (hammering loss).

Στις αντλίες με ελικόφραγμα (δηλ. με σπειροειδές κέλυφος κυκλικής διατομής που αυξάνει προοδευτικά την ταχύτητα του υγρού) το υγρό που εγκαταλείπει το πτερύγιο κατά τη διεύθυνση και φορά του διανύσματος v_2, εισάγεται απότομα σε ρεύμα υγρού που κινείται περιφερειακά μεταξύ του περιβλήματος και της πτερωτής με αποτέλεσμα την πρόκληση κρούσεως. Η αύξηση της γωνίας α_2 που είναι αποτέλεσμα της ροής ρευστού στα πτερύγια (σχ. 5.2γ), επιτείνει το πρόβλημα, αφού στον οχετό που περιβάλλει την πτερωτή, το υγρό κινείται κατά την εφαπτομένη της πτερωτής. Η απότομη μεταβολή της διευθύνσεως κινήσεως, δημιουργεί έντονο στροβιλισμό, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ενεργειακές απώλειες που

εκφράζονται σε απώλεια τόσο αποδιδόμενου ύψους, όσο και ισχύος. Οι απώλειες αυτές ονομάζονται ***απώλειες κρούσεων*** ($h_κ$).

Το ύψος που απομένει μετά τη μείωση λόγω της ροής υγρού στα πτερύγια και λόγω της αφαιρέσεως του ύψους απωλειών h_p στο εσωτερικό της αντλίας και των απωλειών ($h_κ$) που προκαλούν οι κρούσεις κατά την έξοδο από την πτερωτή, είναι το πραγματικό ***εσωτερικό αποδιδόμενο ύψος*** H_o. Το εσωτερικό θεωρητικό ύψος $H_ε$ (5.12) είναι μεγαλύτερο από το ύψος που αποδίδει η αντλία στο υγρό που διέρχεται απ' αυτήν. Η διαφορά $H_ε - H_o$ είναι το ύψος ενέργειας που απαιτείται για την αναπόφευκτη ***ανακυκλοφορία*** ενός ποσοστού του υγρού, το οποίο δεν εξέρχεται από την αντλία, εξασφαλίζοντας την υδραυλική της πληρότητα, δηλαδή την ίση κατανομή της πιέσεως του υγρού εντός της αντλίας. Οφείλεται δηλαδή στη διαφορά που υπάρχει μεταξύ της εσωτερικής παροχής $\dot{V}_ε$ του υγρού μέσα στην πτερωτή (η οποία λαμβάνεται υπόψη για την εξαγωγή της θεωρητικής σχέσεως ύψους-παροχής) και της πραγματικής παροχής $\dot{V}$.

Στο σχεδιασμό των αντλιών καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ύψους. Στην προσπάθεια αυτή ο αριθμός των πτερυγίων, το σχήμα τους, ο σχεδιασμός της πτερωτής, η απόσταση μεταξύ πτερωτής και περιβλήματος κ.ά. παίζουν σημαντικό ρόλο. Ιδιαίτερη σημασία έχει η μείωση των απωλειών κρούσεως για τις μεγάλες αντλίες υψηλών στροφών. Οι αντλίες αυτές σχεδιάζονται με ***διαχυτήρες*** (diffusers) που αποτελούνται από σειρά ακινήτων πτερυγίων, τοποθετημένων μεταξύ της περιφέρειας της πτερωτής και του κελύφους. Τα πτερύγια κατευθύνουν το υγρό που εγκαταλείπει την πτερωτή και μεταβάλλουν ομαλά τη διεύθυνση της ταχύτητάς του (φυγοκεντρικές αντλίες με διαχυτήρες, παράγρ. 3.3).

Οι καμπύλες που δείχνουν το πραγματικό αποδιδόμενο (ή ολικό) ύψος σε συνάρτηση με την παροχή, αποτελούν –όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους– τις σημαντικότερες χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών.

5.2.4 Απώλειες ισχύος (power loss).

Οι απώλειες που παρουσιάζονται στην πράξη και στη θεωρητική ισχύ, την οποία μεταβιβάζει η φυγοκεντρική αντλία στο υγρό που ρέει εντός της είναι αντίστοιχες με τις προηγούμενες ενεργειακές απώλειες. Εδώ όμως η μελέτη των απωλειών πρέπει να ξεκινήσει από την αξονική ισχύ $P_α$, με την οποία τροφοδοτεί την αντλία το κινητήριο μηχάνημα. Στη θεωρητική εξέταση της παραγράφου 5.1 θεωρήθηκε ότι η αξονική ισχύς στο σύνολό της φτάνει στο υγρό που κινείται στο εσωτερικό της αντλίας, δηλαδή $η_m = 1$. Στην πράξη φυσικά αυτό δεν συμβαίνει αλλά ισχύει $η_m < 1$).

Οι κατηγορίες απωλειών ισχύος που συναντώνται είναι οι ακόλουθες:

1) Απώλειες εδράνων (power loss on bearings).

Ανεξάρτητα από τα φαινόμενα που συνοδεύουν τη ροή στο εσωτερικό της αντλίας, μέρος της αξονικής ισχύος $P_α$ καταναλώνεται για την αντιμετώπιση των αναποφεύκτων μηχανικών τριβών της αντλίας. Πρόκειται για την κατανάλωση ισχύος που απαιτείται για την υπερνίκηση των μηχανικών τριβών στα έδρανα και στους στυπιοθλίπτες, αλλά και για την αντιμετώπιση των απωλειών δίσκου. Το αποδιδόμενο ύψος δεν επηρεάζεται απ' αυτές τις απώλειες ισχύος.

2) Απώλειες δίσκου.

Μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας της (περιστρεφόμενης) πτερωτής και του (ακίνητου) εσωτερικού τοιχώματος του κελύφους, ρέει υγρό που έχει ήδη αντληθεί αλλά δεν εξέρχεται από την αντλία. Η συνεχής εξαναγκασμένη κίνηση αυτού του υγρού μεταξύ του ακίνητου περιβλήματος και του περιστρεφόμενου δίσκου της πτερωτής, δημιουργεί σημαντικές τριβές, επομένως, και απώλεια ισχύος. Η απώλεια ισχύος, λόγω των τριβών μειώνει τον μηχανικό βαθμό αποδόσεως.

Η υπόλοιπη ισχύς $P_ε$ (***εσωτερική ισχύς***) μεταβιβάζεται από τη πτερωτή στο υγρό. Κατά τη ροή μέσα στην πτερωτή, μέρος της εσωτερικής ισχύος καταναλώνεται για την αντιμετώπιση διαφόρων υδραυλικών απωλειών. Η υπόλοιπη είναι η ***ισχύς που αποδίδεται*** τελικά στο αντλούμενο υγρό (P_o). Οι απώλειες ισχύος κατά τη ροή του υγρού από την είσοδο ως την έξοδο της αντλίας μπορούν να καταταχθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) ***Απώλειες τριβών***. Πρόκειται για τις τριβές του υγρού που κινείται μέσα στην πτερωτή οι οποίες, οδηγούν, εκτός από τις απώλειες ύψους, και σε απώλειες ισχύος (μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε θερμότητα). Οι απώλειες τριβών αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση της παροχής.

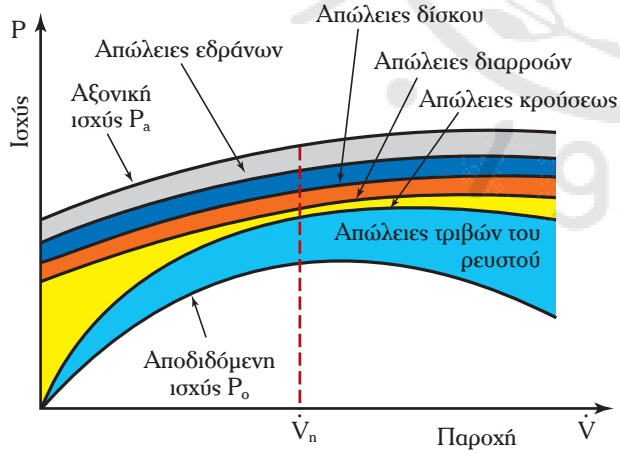
β) ***Απώλειες κρούσεων***. Πρόκειται για τις απώλειες που δημιουργούνται λόγω κρούσεων κατά την έξοδο του ρευστού από την πτερωτή.

γ) ***Απώλειες διαρροών***. Το υγρό που εξέρχεται από την πτερωτή και συνεχίζει στον οχετό, έχει πολύ μεγαλύτερη πίεση από την πίεση στην αναρρόφηση της πτερωτής. Για να εμποδιστεί η κίνηση του υγρού υψηλής πιέσεως προς την αναρρόφηση, τοποθετείται στην είσοδο της πτερωτής δακτυλίδι στεγανοποιήσεως (wearing ring). Επειδή όμως η πτερωτή περιστρέφεται, η στεγανοποίηση δεν είναι πλήρης. Αναπόφευκτα, μια μικρή ποσότητα υγρού διαρρέει στην αναρρόφηση και επαναντλείται, με αποτέλεσμα την απώλεια ισχύος.

Υπενθυμίζεται ότι η κυκλοφοριακή ροή μεταξύ των πτερυγίων της πτερωτής, αν και μειώνει το θεωρητικά αποδιδόμενο ύψος, δεν έχει ως αποτέλεσμα κατανάλωση ισχύος.

Το σχήμα 5.2δ παρουσιάζει παραστατικά τις παραπάνω απώλειες. Παρατηρείται ότι σημαντικό μέρος της αξονικής ισχύος καταναλώνεται για την αντιμετώπισή τους. Η παροχή $\dot{V}_n$ αποτελεί τη ***βέλτιστη παροχή*** επειδή σ' αυτήν υπάρχει η καλύτερη σχέση μεταξύ αποδιδόμενης και αξονικής ισχύος, δηλαδή ο μέγιστος βαθμός αποδόσεως.

Οι καμπύλες της αξονικής ισχύος σε συνάρτηση με την παροχή, αποτελούν μια άλλη χαρακτηριστική ομάδα καμπυλών των αντλιών.



Σχ. 5.2δ
Απώλειες ισχύος.

5.3 Βαθμός αποδόσεως της αντλίας (pump efficiency).

Στην ιδανική κατάσταση αντλήσεως που εξετάσαμε στην παράγραφο 5.1, οι ενεργειακές απώλειες ήταν απούσες και κατά συνέπεια όλοι οι βαθμοί αποδόσεως ήταν 100%: $\eta_m = \eta_v = \eta_h = \eta = 1$. Στην πράξη όμως, υπάρχουν και μηχανικές απώλειες ($\eta_m < 1$) και εσωτερικές διαρροές ($\eta_v < 1$) και απώλειες ύψους ($\eta < 1$). Όλα αυτά οδηγούν σε κατανάλωση σημαντικού ποσοστού της αξονικής ισχύος και επομένως σε ολικό βαθμό αποδόσεως μικρότερο της μονάδας ($\eta < 1$).

Ο ολικός βαθμός αποδόσεως, σύμφωνα με τον ορισμό του ολικού βαθμού αποδόσεως [παράγρ. 4.5.4, σχέση (4.40)], ισούται με το λόγο της αποδιδόμενης προς την αξονική ισχύ: $\eta = P_o / P_a$.

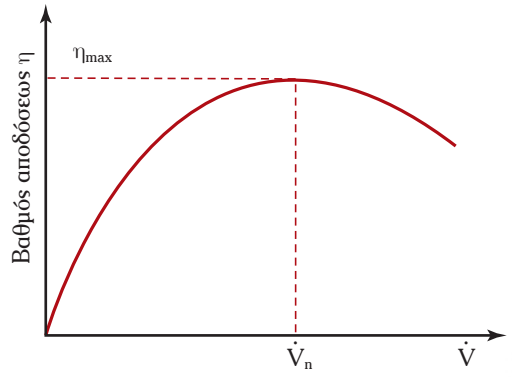
Από το διάγραμμα του σχήματος 5.2δ, διαπιστώνεται ότι για σταθερή γωνιακή ταχύτητα, όταν η παροχή τείνει στο μηδέν, η αποδιδόμενη ισχύς τείνει επίσης στο μηδέν, αλλά η αξονική ισχύς παραμένει διάφορη του μηδενός. Η κατάσταση αυτή παρουσιάζεται όταν κλείσει το επιστόμιο της καταθλίψεως, με αποτέλεσμα να μηδενίζεται η παροχή. Οι μηχανικές απώλειες παραμένουν, αφού στο εσωτερικό της αντλίας μια ποσότητα υγρού ανακυκλώνεται συνεχώς ($\dot{V}_\varepsilon \neq 0$), με συνέπεια να υπάρχουν πολύ σημαντικές υδραυλικές τριβές. Η αξονική ισχύς τότε καταναλώνεται για την αντιμετώπιση των (μηχανικών και υδραυλικών) τριβών και η αντλία υπερθερμαίνεται, καθώς δεν εισέρχεται ούτε εξέρχεται υγρό, το οποίο απαγάγει την παραγόμενη από τις τριβές θερμότητα. Μαζί με την παροχή, μηδενίζεται και η αποδιδόμενη ισχύς, άρα και ο βαθμός αποδόσεως.

Καθώς αυξάνεται η παροχή (ανοίγοντας σταδιακά το επιστόμιο της καταθλίψεως), παρατηρείται μικρή αύξηση της αξονικής ισχύος, αλλά η αποδιδόμενη ισχύς αυξάνει με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς. Επομένως, καθώς η παροχή αυξάνεται, αυξάνεται και ο βαθμός αποδόσεως.

Παράλληλα όμως με την αύξηση της παροχής, αυξάνονται και οι απώλειες ισχύος λόγω τριβών του ρευστού. Μάλιστα, ο ρυθμός αυξήσεως των τελευταίων είναι πολύ γρήγορος (σχ. 5.2δ). Υπάρχει μία παροχή, εξαρτώμενη από τα κατασκευαστικά στοιχεία της αντλίας, στην οποία παρουσιάζεται ο μέγιστος βαθμός αποδόσεως. Η παροχή αυτή είναι η ***βέλτιστη*** ή ***κανονική παροχή*** της αντλίας $\dot{V}_n$ (optimum pump capacity). Για παροχές μεγαλύτερες της κανονικής, ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας μειώνεται.

Η σχέση του βαθμού αποδόσεως με την παροχή

απεικονίζεται στο διάγραμμα του σχήματος 5.3. Τα διαγράμματα αυτής της μορφής είναι χαρακτηριστικά της ποιότητας και των δυνατοτήτων της αντλίας.



Σχ. 5.3
Σχέση βαθμού αποδόσεως και παροχής φυγοκεντρικής αντλίας.

– Παρατηρήσεις για υπολογισμούς στην πτερωτή.

Η ροή μέσα στην πτερωτή των φυγοκεντρικών (και γενικότερα των δυναμικών) αντλιών (παράγρ. 5.1), αποτελεί την ουσιαστική φάση μεταδόσεως ενέργειας στο αντλούμενο ρευστό. Στην υπολογιστική διαδικασία προστίθενται και νέα μεγέθη, τα οποία σχετίζονται με την πτερωτή. Χαρακτηριστικά μεγέθη της πτερωτής αποτελούν καταρχήν οι γεωμετρικές της διαστάσεις, δηλαδή οι ακτίνες r_1 και r_2 και το πλάτος της b. Επίσης, τα σχεδιαστικά στοιχεία των πτερυγίων της πτερωτής είναι η γωνία β_1 και –κυρίως– η γωνία απολήξεως β_2. Τέλος, έχομε τον αριθμό των πτερυγίων και τα πάχη τους, αλλά και την ταχύτητα του υγρού στην πτερωτή, η οποία σύμφωνα με τις προηγούμενες παραγράφους, παρουσιάζει σημαντικές ιδιομορφίες. Νέα, σημαντικά για τους υπολογισμούς μεγέθη, αποτελούν η γωνιακή ταχύτητα ω και η συχνότητα περιστροφής της πτερωτής n (όπου $\omega = 2\pi \cdot n$).

Βάση για τον υπολογισμό της ροής μέσα στην πτερωτή, συνεχίζουν να αποτελούν οι εξισώσεις Bernoulli και Συνέχειας (που εκφράζουν για τα ασυμπίεστα ρευστά τους Νόμους Διατηρήσεως της ενέργειας και της μάζας αντίστοιχα). Σ' αυτές, προστίθενται και χρησιμοποιούνται οι ιδιαίτερες εξισώσεις που παρουσιάστηκαν στην παραπάνω ανάλυση. Σημαντική βοήθεια στους υπολογισμούς, προσφέρουν επίσης τα τρίγωνα ταχυτήτων.

Η εξίσωση Bernoulli εφαρμόζεται συνήθως μεταξύ των σημείων 1 και 2 (είσοδος και έξοδος της πτερωτής, σχ. 5.1α), και προκύπτει η εξίσωση:

$$H_\varepsilon = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{pf}$$

Η ***εξίσωση της Συνέχειας*** για το υγρό που ρέει μέσα από την πτερωτή χρησιμοποιείται στη γενική της μορφή:

$$\dot{V}_\varepsilon = A_i \cdot v_{ri} \qquad (5.13\alpha)$$

όπου: A_i η επιφάνεια μέσα από την οποία περνά το υγρό και v_{ri} η συνιστώσα της ταχύτητας, η κάθετη σε αυτή (επομένως η ακτινική συνιστώσα). Στην έξοδο της πτερωτής η επιφάνεια A_2 ισούται με το μήκος της περιφέρειας επί το πλάτος της πτερωτής: $A_2 = 2\pi \cdot r_2 \cdot b$. Αντίστοιχα, η επιφάνεια εισόδου ισούται με $A_1 = 2\pi \cdot r_1 \cdot b$. Επομένως, η εξίσωση της συνέχειας λαμβάνει τη μορφή:

$$\dot{V}_\varepsilon = 2\pi \cdot r_1 \cdot b_1 \cdot v_{r1} = 2\pi \cdot r_2 \cdot b_2 \cdot v_{r2} \qquad (5.13)$$

Η εξίσωση αυτή αποτελεί την παροχή εισόδου και εξόδου του ρευστού σε σχέση με την ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας. Από την εξίσωση (5.13) προκύπτει ότι αν $b_1 = b_2$, η ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας εισόδου είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ακτινική συνιστώσα στην έξοδο (περιφέρεια) της πτερωτής:

$$r_1 \cdot v_{r1} = r_2 \cdot v_{r2} \qquad (5.13\beta)$$

Υπενθυμίζεται ότι αν $\alpha_1 = 90^o$, τότε από τις εξισώσεις (5.5α) και (5.4α) προκύπτει:

$$v_{r1} = v_1 \text{ και } v_{r2} = v_2 \cdot \text{ημ}\,\alpha_2$$

Από τα τρίγωνα ταχυτήτων (σχ. 5.1γ και 5.1δ), εξάγονται και άλλες σχέσεις χρήσιμες στους υπολογισμούς. Στην κατανόηση και υπολογιστική αξιοποίηση των τριγώνων ταχυτήτων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η ταχύτητα v άλλοτε αναλύεται σε εφαπτομενική w και επιτρόχια συνιστώσα u και άλλοτε σε συνιστώσες ακτινικής v_r και επιτρόχιας διευθύνσεως v_u:

$$\vec{v}_i = \vec{w}_i + \vec{u}_i = \vec{v}_{ri} + \vec{v}_{ui} \qquad (5.14)$$

Από τα τρίγωνα ταχυτήτων, προκύπτουν οι τριγωνομετρικές σχέσεις μεταξύ των μέτρων της ταχύτητας και των συνιστωσών της. Για την έξοδο 2 ισχύει η εξίσωση:

$$v_2^2 = w_2^2 + u_2^2 - 2 \cdot w_2 \cdot u_2 \cdot \text{συν}\beta_2 \qquad (5.14\alpha)$$

Και για την είσοδο 1, αν $\alpha_1 \approx 90^o$ τότε:

$$v_1 = v_{r1} \qquad (5.14\beta)$$

Για τη σύνδεση της ταχύτητας με τα άλλα μεγέθη ροής, αξιοποιείται η εξίσωση (5.13) η οποία συνδέει

την ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας v_r με την παροχή, καθώς και τη σχέση της επιτρόχιας συνιστώσας u με τη γωνιακή ταχύτητα ω:

$$u_i = \omega r_i = 2\pi \cdot n \cdot r_i \qquad (5.15)$$

5.4 Διαστατική ανάλυση και ομοιότητα αντλιών (dimensional analysis and pump similarity).

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.1, η θεωρητική ροή μέσα στην πτερωτή μελετάται με αξιοποίηση των νόμων της φυσικής. Για τη μετάβαση όμως από τις θεωρητικές στις πραγματικές συνθήκες ροής στις αντλίες, πρέπει να ληφθούν υπόψη μια σειρά φαινομένων (τριβές, δευτερεύουσες κυκλοφοριακές ροές στα διάκενα του στροφείου, διαρροές κ.ά.), τα οποία οδηγούν σε απώλειες ύψους και ισχύος. Τα φαινόμενα αυτά και οι αντίστοιχες απώλειες, παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 5.2.2 και 5.2.3. Όμως η πολυπλοκότητά τους είναι τέτοια που καθιστά αδύνατους τους υπολογισμούς με την αξιοποίηση των νόμων της φυσικής, έτσι ώστε η χρήση της πειραματικής διαδικασίας καθίσταται αναγκαία.

Για να προκύψουν απ' αυτήν την πειραματική διαδικασία αξιόπιστα και γενικευμένα συμπεράσματα, πρέπει να προηγηθεί η ***διαστατική ανάλυση*** των προβλημάτων και να εφαρμοστεί στις αντλίες η θεωρία της ομοιότητας.

Η αναφορά στη διαστατική ανάλυση και την ομοιότητα των αντλιών, δεν έχει ως σκοπό την εξάντληση του θέματος, αλλά παρουσιάζονται βασικές του παράμετροι και ορίσματα, τα οποία είναι πολύτιμα για την κατανόηση της ροής στις αντλίες και των διαγραμμάτων που παρέχουν οι κατασκευαστές.

1) Διαστατική ανάλυση ροής στην αντλία.

Λαμβάνοντας υπόψη τη θεωρητική μελέτη της ροής στην πτερωτή (παράγρ. 5.1) καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πτερωτής, προέκυψε ότι το θεωρητικό ύψος που αποδίδει η αντλία στο υγρό δίνεται από την εξίσωση (5.9), η οποία δύναται να γραφεί με την εξής μορφή:

$$g \cdot H = \left(2\pi \cdot n \cdot r_2\right)^2 - \frac{n}{b \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \cdot \dot{V} \qquad (5.16)$$

Στην εξίσωση (5.16), λαμβάνεται υπόψη ότι το γινόμενο επιτάχυνση της βαρύτητας με το αποδιδόμενο ύψος ($g \cdot H$) αντιστοιχεί στην θεωρητικά αποδιδόμενη ενέργεια στη μονάδα μάζας του υγρού. Η χρήση του γινομένου, επιτρέπει να μειωθούν οι μεταβλητές, στη διαστατική ανάλυση της αντλίας κατά μία, εφόσον η επιτάχυνση της βαρύτητας θεωρηθεί μεταβλητή. Η θεωρητικά αποδιδόμενη ενέργεια ανά μονάδα μάζας είναι συνάρτηση των ακολούθων φυσικών μεγεθών: της παροχής $\dot{V}$, των στροφών της αντλίας n και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της πτερωτής (ακτίνα r, πλάτος b, γωνία β), τα οποία αποτελούν μεγέθη απ' τα οποία εξαρτάται η πραγματική αποδιδόμενη ενέργεια. Επιπρόσθετα, η ύπαρξη των απωλειών ύψους που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4, εισαγάγει ως σημαντικές παραμέτρους και το δυναμικό ιξώδες μ (ή το ***κινηματικό ιξώδες***[4] $\nu = \mu / \rho$), την τραχύτητα των επιφανειών ε και την πυκνότητα του υγρού ρ. Η θεωρητική, και πειραματική εξέταση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ισχύς είναι συνάρτηση των ακολούθων βασικών παραμέτρων:

$$g \cdot H = f(\dot{V}, n, d, \rho, \mu, \varepsilon, l, \beta) \qquad (5.17)$$

όπου $\dot{V}$ είναι η παροχή της αντλίας, n ο αριθμός των πτερυγίων, ρ η πυκνότητα του υγρού, ε η τραχύτητα των επιφανειών, β η γωνία των πτερυγίων και μ το ιξώδες.

Από αυτή τη σχέση με την εφαρμογή της διαστατικής αναλύσεως και την παραμετροποίηση των μεγεθών που αφορούν στη ροή στη δυναμική αντλία, λαμβάνοντας υπόψη το θεώρημα Π του Buckingham, προκύπτουν οι αδιάστατοι αριθμοί για την αντλία (πίν. 5.4).

Τα συμπεράσματα αυτά αξιοποιούνται στην ανάπτυξη της θεωρίας της ομοιότητας των αντλιών. Αυτή με τη σειρά της, διευκολύνει πάρα πολύ την πειραματική έρευνα, δίνοντας παράλληλα σημαντικά συμπεράσματα, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν από μόνα τους.

2) Ομοιότητα αντλιών.

Προϋπόθεση για πλήρη συμβατότητα μεταξύ μο-

[4] Με τον όρο ***κινηματικό ιξώδες***, χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες των ρευστών και συγκεκριμένα η αντίσταση που παρουσιάζουν κατά την ροή τους. Μονάδα μετρήσεως του κινηματικού ιξώδους, είναι το cSt (centistoke).Το κινηματικό ιξώδες ν είναι ο λόγος του δυναμικού ιξώδους μ προς την πυκνότητα του ρευστού ρ (το δυναμικό ιξώδες εκφράζει την αντοχή του υγρού στη διάτμηση κατά τη ροή, όταν παρακείμενα στρώματα κινούνται παράλληλα μεταξύ τους με διαφορετικές ταχύτητες).

ντέλου και πρωτότυπου, στην οποία βασίζεται η μελέτη της ομοιότητας, είναι η ισότητα όλων των σχετικών τιμών των αδιαστάτων παραμέτρων που έχει αναδείξει η διαστατική ανάλυση. Κατά συνέπεια, δύο αντλίες είναι όμοιες όταν οι αντίστοιχοι αδιάστατοι αριθμοί του πίνακα 5.4, είναι μεταξύ τους ίσοι. Δηλαδή οι ***απαιτήσεις πλήρους ομοιότητας*** είναι:

$$N_p \equiv \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = \frac{P_m}{\rho_m \cdot n_m^3 \cdot d_m^5} \qquad (5.18\alpha)^5$$

$$N_h \equiv \frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2} = \frac{g \cdot H_m}{n_m^2 \cdot d_m^2} \qquad (5.18\beta)$$

$$N_{\dot{V}} \equiv \frac{\dot{V}}{n \cdot d^3} = \frac{\dot{V}_m}{n_m \cdot d_m^3} \qquad (5.18\gamma)$$

$$N_{Re} \equiv \frac{n \cdot d^2}{\nu} = \frac{n_m \cdot d_m^2}{\nu_m} \qquad (5.18\delta)$$

$$N_r \equiv \frac{\varepsilon}{d} = \frac{\varepsilon_m}{d_m} \qquad (5.18\varepsilon)$$

$$\frac{l}{d} = \frac{l_m}{d_m} \qquad (5.18\sigma\tau)$$

όπου ο δείκτης m αφορά στο μοντέλο.

Επομένως, εάν για το μοντέλο και το πρωτότυπο ισχύουν οι εξισώσεις (5.18 α-στ), η συμπεριφορά τους θα είναι ακριβώς ίδια, τηρουμένων φυσικά των αναλογιών. Αλλά, είναι εξαιρετικά δύσκολο ως αδύνατο να επιτευχθεί πλήρης ομοιότητα μεταξύ πρωτότυπου και μοντέλου. Γι' αυτό στην προσπάθεια της διαμορφώσεως ενός μοντέλου με όσο το δυνατόν πλησιέστερη συμπεριφορά, τίθενται διαδοχικά οι επιμέρους απαιτήσεις ομοιότητας:

Πίνακας 5.4
Αδιάστατοι αριθμοί της αντλίας.

Αδιάστατος αριθμός	***Ειδική ονομασία***
$N_h = \frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2}$	Αριθμός αποδιδόμενου ύψους
$N_V = \frac{\dot{V}}{n \cdot d^3}$	Αριθμός ροής (ή παροχής)
$N_P = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}$	Αριθμός ισχύος
$N_{Re} = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{n \cdot d^2}{\nu}$	Αριθμός Reynolds
$N_r = \frac{\varepsilon}{d}$	Σχετική τραχύτητα

α) ***Γεωμετρική ομοιότητα*** (geometric similarity). Ένα μοντέλο και ένα πρωτότυπο είναι γεωμετρικά όμοια, αν και μόνο αν όλα τα μήκη των αντλιών και στις τρεις συντεταγμένες του χώρου έχουν τον ίδιο λόγο. Ο λόγος αυτός καλείται ***κλίμακα μήκους*** (scale of length), ή απλά, κλίμακα και συμβολίζεται συνήθως με λ.

Τις απαιτήσεις της γεωμετρικής ομοιότητας, η οποία αποτελεί προϋπόθεση της φυσικής ομοιότητας, τις εκφράζουν οι εξισώσεις (5.18ε) και (5.18στ). Από αυτές εύκολα προκύπτει για τα ομόλογα ***μήκη*** των αντλιών η εξίσωση:

$$\frac{d_m}{d} = \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon} = \frac{l_m}{l} = \lambda \qquad (5.19)$$

Υπενθυμίζεται ότι όταν υπάρχει γεωμετρική ομοιότητα, οι ομόλογες γωνίες μοντέλου και πρωτοτύπου είναι ίσες. Για τις ***γωνίες*** των πτερυγίων ισχύει:

$$\frac{\alpha_m}{\alpha} = \frac{\beta_m}{\beta} = 1 \qquad (5.19\alpha)$$

Όσον αφορά στα ομόλογα εμβαδά και όγκους μοντέλου και πρωτότυπου ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\frac{S_m}{S} = \lambda^2 \qquad (5.19\beta)$$

$$\frac{V_m}{V} = \lambda^3 \qquad (5.19\gamma)$$

β) ***Κινηματική ομοιότητα*** (kinematic similarity). Σύμφωνα με τον ορισμό της κινηματικής ομοιότητας, ***δύο αντλίες είναι κινηματικά όμοιες, αν ομόλογες στοιχειώδεις μάζες*** (δηλ. μάζες με κοινά χαρακτηριστικά) ***του αντλούμενου υγρού βρίσκονται σε ομόλογες θέσεις σε ομόλογους χρόνους***. Δηλαδή, εφόσον η γεωμετρική ομοιότητα εισαγάγει την αναλογία του χώρου, η κινηματική εισαγάγει την αναλογία του χρόνου μετακινήσεως των στοιχειωδών μαζών, άρα σχετίζεται με την ταχύτητα ή την παροχή του αντλούμενου υγρού. Από την εξίσωση (5.18γ), προκύπτει η κυρίαρχη απαίτηση κινηματικής ομοιότητας, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

[5] Το σύμβολο ≡ σημαίνει ίσον εξ ορισμού.

$$\frac{\dot{V}}{n \cdot d^3} = \frac{\dot{V}_m}{n_m \cdot d_m^3} \qquad (5.20)$$

Δηλαδή το μοντέλο πρέπει να έχει την ίδια παροχή με το πρωτότυπο.

Επειδή η ροή στην αντλία κάθε άλλο παρά ατριβής είναι, η επίτευξη κινηματικής ομοιότητας συνδυάζεται με τις απαιτήσεις της δυναμικής ομοιότητας.

γ) ***Δυναμική ομοιότητα***. Η δυναμική ομοιότητα προϋποθέτει τη γεωμετρική και κινηματική ομοιότητα και εισαγάγει την αναλογία των δυνάμεων: ***Δύο αντλίες είναι δυναμικά όμοιες όταν έχουν αναλογία μηκών (γεωμετρική ομοιότητα)***, ***αναλογία χρόνων (κινηματική ομοιότητα) και αναλογία δυνάμεων***. Στην άντληση υγρού από αντλία, συναντώνται οι δυνάμεις αδράνειας, βαρύτητας και ιξώδους-τριβής. Οι απαιτήσεις δυναμικής ομοιότητας προκύπτουν από τις εξισώσεις (5.18β και δ).

$$\frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2} = \frac{g \cdot H_m}{n_m^2 \cdot d_m^2} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{Fr} \qquad (5.21)$$

$$\frac{n \cdot d^2}{\nu} = \frac{n_m \cdot d_m^2}{\nu_m} \quad \text{ή} \quad Re \qquad (5.22)$$

όπου Re ο αριθμός Reynolds και Fr ο αριθμός Froudè.

Σημειώνεται ότι η σχέση (5.18α) συνδυάζει τις απαιτήσεις κινηματικής και δυναμικής ομοιότητας των αντλιών.

Παρά το γεγονός της εξαιρετικής δυσκολίας να δημιουργηθεί ακριβές ομοίωμα μιας αντλίας, όπως έχει αναφερθεί, είναι σχετικά εύκολο να επιτευχθεί γεωμετρική ομοιότητα με κλίμακα λ. Όμως είναι δύσκολο και συχνά αδύνατο (ή ασύμφορο) να χρησιμοποιηθεί υγρό αντίστοιχου κινηματικού ιξώδους, εφόσον επηρεάζονται οι συνθήκες της κινηματικής ομοιότητας όταν μεταβληθούν οι στροφές.

Το πιο πιστό ομοίωμα μιας αντλίας είναι η ίδια η αντλία. Όσο παράδοξο και αν ακούγεται, η αυτονόητη διατύπωση ότι ***μία αντλία είναι όμοια με τον εαυτό της με κλίμακα λ = 1***, τα πορίσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων είναι εξαιρετικά χρήσιμα. Πιο συγκεκριμένα, αλλάζοντας την ταχύτητα περιστροφής από n_1 σε n_2, εφόσον τα γεωμετρικά μεγέθη μένουν αμετάβλητα, μεταβάλλονται η παροχή, το αποδιδόμενο ύψος και η απαιτούμενη ισχύς. Σύμφωνα με τις εξισώσεις της ομοιότητας (5.18γ, 5.18β και 5.18α) προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\frac{\dot{V}_1}{n_1 \cdot d^3} = \frac{\dot{V}_2}{n_2 \cdot d^3} \Rightarrow \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (5.23)$$

$$\frac{g \cdot H_1}{n_1^2 \cdot d^2} = \frac{g \cdot H_2}{n_2^2 \cdot d^2} \Rightarrow \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad (5.24)$$

$$\frac{P_1}{\rho \cdot n_1^3 \cdot d^5} = \frac{P_2}{\rho \cdot n_2^3 \cdot d^5} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \qquad (5.25)$$

Οι παραπάνω σχέσεις αναφέρονται στην περίπτωση εκείνη που μεταβάλλονται οι στροφές της αντλίας, με αμετάβλητη τη σωληνογραμμή. Είναι εντελώς διαφορετική η περίπτωση κατά την οποία τροποποιείται η σωληνογραμμή.

5.5 Ειδική ταχύτητα (specific speed).

5.5.1 Ορισμός.

Η πειραματική διαδικασία, αλλά και η εμπειρία έχουν δείξει ότι η γεωμετρία μιας περιστροφικής δυναμικής αντλίας επηρεάζει κατά κύριο λόγο τρία αλληλοσυνδεόμενα μεγέθη:

1) Τη γωνιακή ταχύτητα ω (ή τη συχνότητα περιστροφής n: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$),

2) την παροχή $\dot{V}$ και

3) το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας H.

Επομένως, είναι ιδιαίτερα χρήσιμος ένας αδιάστατος αριθμός που θα περιέχει μόνο αυτά τα τρία μεγέθη.

Ο αριθμός αυτός μπορεί να προκύψει με συνδυασμό κάποιων από τους αδιάστατους αριθμούς του πίνακα 5.4. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγονται οι αδιάστατοι αριθμοί N_h και $N_{\dot{V}}$, που περιέχουν τα παραπάνω μεγέθη και τη διάμετρο d η οποία απαλείφεται ως ακολούθως:

$$N_V = \frac{\dot{V}}{n \cdot d^3} \Rightarrow d^3 = \frac{\dot{V}}{n \cdot N_V}$$

$$N_h = \frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2} \Rightarrow d = \frac{(g \cdot H)^{0,5}}{n \cdot N_h^{0,5}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d^3 = \frac{(g \cdot H)^{1,5}}{n^3 \cdot N_h^{1,5}}$$

Εξισώνοντας τις δύο σχέσεις προκύπτει ότι:

$$\frac{\dot{V}}{n \cdot N_V} = \frac{(g \cdot H)^{1,5}}{n^3 \cdot N_h^{1,5}} \Rightarrow n^2 \cdot \frac{\dot{V}}{(g \cdot H)^{1,5}} = \frac{N_V}{N_h^{1,5}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{N_V^{0,5}}{N_h^{0,75}} = n \cdot \frac{\dot{V}^{0,5}}{(g \cdot H)^{0,75}} \qquad (5.26)$$

Αντικαθιστώντας τις στροφές n με τη γωνιακή ταχύτητα ω, όπου $\omega = 2\pi \cdot n$, προκύπτει ο αδιάστατος αριθμός:

$$2\pi \cdot \frac{N_V^{0,5}}{N_h^{0,75}} = \omega \cdot \frac{\dot{V}^{0,5}}{(g \cdot H)^{0,75}} \qquad (5.27)$$

Ο αδιάστατος αριθμός της εξισώσεως (5.27) αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα μιας δυναμικής αντλίας και καλείται ***Παγκόσμια ειδική ταχύτητα Nsu*** (Universal specific speed). Η ειδική ταχύτητα συνδέει τη γωνιακή ταχύτητα, την παροχή και το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας και καθορίζεται από τη σχέση:

$$N_{SU} = \omega \cdot \frac{\dot{V}^{0,5}}{(g \cdot H)^{0,75}} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{\dot{V}^{0,5}}{(g \cdot H)^{0,75}} \qquad (5.28)$$

όπου: ω είναι η γωνιακή ταχύτητα της πτερωτής (1/s), n είναι οι στροφές (ή συχνότητα περιστροφής, rps), $\dot{V}$ η παροχή (m^3/s), H το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας (m) και g η επιτάχυνση της βαρύτητας (g = 9,807 m/s^2).

Αν σε μια αντλία με ειδική ταχύτητα N_{su}, μεταβληθουν στροφές της πτερωτής από n_1 σε n_2, αλλά το σύστημα αντλήσεως παραμείνει το ίδιο, η ειδική ταχύτητα δεν μεταβάλλεται:

$$N_{SU1} = 2\pi \cdot n_1 \cdot \frac{\dot{V}_1^{0,5}}{H_1^{0,75}} \qquad \text{ή} \qquad N_{SU2} = 2\pi \cdot n_2 \cdot \frac{\dot{V}_2^{0,5}}{H_2^{0,75}}$$

Διαιρώντας κατά μέλη έχομε:

$$\frac{N_{SU1}}{N_{SU2}} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{0,75}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις ομοιότητας για την παροχή και το αποδιδόμενο ύψος (5.23) και (5.24), προκύπτει:

$$\frac{N_{SU1}}{N_{SU2}} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right]^{0,75} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{N_{SU1}}{N_{SU2}} = 1 \Rightarrow N_{SU1} = N_{SU2}$$

Αντίθετα, ***αν διατηρηθούν σταθερές οι στροφές της αντλίας και μεταβληθεί η παροχή της*** χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ένα επιστόμιο στο σωλήνα καταθλίψεως του συστήματος αντλήσεως, τότε ***μεταβάλλεται*** και το αποδιδόμενο ύψος, αλλά και η ***ειδική ταχύτητα***, όπως ορίζεται από την εξίσωση της ειδικής ταχύτητας N_{SU} (5.28).

Η N_{SU} ορίζεται στο ***Βέλτιστο Σημείο Λειτουργίας της αντλίας*** (Best Efficiency Point – BEP), δηλαδή στην παροχή, για την οποία η αντλία έχει το μέγιστο βαθμό αποδόσεως, ή αλλιώς, την κανονική παροχή $\dot{V}_n$, τότε:

$$N_{SU} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{\dot{V}_n^{0,5}}{(g \cdot H_n)^{0,75}} \qquad (5.28α)$$

Από την εξίσωση (5.28α) διαπιστώνεται ότι ***η ειδική ταχύτητα μιας αντλίας είναι ανεξάρτητη από τις ιδιότητες του αντλούμενου ρευστού***.

Στις ***πολυβάθμιες αντλίες***, η ειδική ταχύτητα αναφέρεται σε μία βαθμίδα (επομένως για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται το αποδιδόμενο ύψος της μίας βαθμίδας).

Σημειώνεται ότι ***η ειδική ταχύτητα δεν παριστάνει κάποια ταχύτητα, αλλά είναι ένας αδιάστατος αριθμός***. Η σημασία της όμως αποδείχθηκε εξαιρετικά σημαντική, διότι ***αποτελεί το κυριότερο πρότυπο μέγεθος για την ταξινόμηση, τη σχεδίαση και τη σύγκριση των δυναμικών αντλιών***.

Η ειδική ταχύτητα N_{SU} καλείται και ***Παγκόσμια Ειδική Ταχύτητα*** (Universal Specific Speed), επειδή η τιμή της είναι ανεξάρτητη από το σύστημα μονάδων.

5.5.2 Η ειδική ταχύτητα στη βιομηχανική πρακτική.

Δυστυχώς, οι κατασκευαστές αντλιών, «απλοποιώντας» την έκφραση ειδική ταχύτητα, και χρησιμοποιώντας εμπορικές μονάδες για τα μεγέθη, ξέφυγαν από την παραπάνω θεωρητική βάση της ειδικής ταχύτητας ως αδιάστατου αριθμού. Αν και από πρώτη ματιά αυτή η παρέκκλιση φαίνεται να είναι πιο πρακτική, στην πραγματικότητα δυσκολεύει την κατανόηση της έννοιας της ειδικής ταχύτητας και δημιουργεί προβλήματα συμβατότητας, αφού οι τιμές της εξαρτώνται από τις μονάδες ογκομετρικής παροχής.

Στις Η.Π.Α., συνηθισμένη μονάδα ογκομετρικής παροχής ήταν τα gpm (gallons US per min). Έθεσαν λοιπόν τις τιμές της παροχής σε gpm, τις τιμές της περιστροφικής ταχύτητας σε rpm και τις τιμές του ύψους σε ft. Αυτές όμως οι μονάδες, αν και πιο πρακτικές, δεν είναι συμβατές μεταξύ τους. Επιπλέον, επειδή η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι σταθερή, την απάλειψαν από τον τύπο ορισμού της ειδικής ταχύτητας. Για τον ίδιο λόγο απάλειψαν και το 2π. Έτσι προέκυψε:

$$N_S(US) = n(rpm) \cdot \frac{\left[\dot{V}(gpm)\right]^{0,5}}{\left[H(ft)\right]^{0,75}} \qquad (5.29α)$$

Στη Μεγάλη Βρετανία χρησιμοποιήθηκε αντί-

στοιχος τύπος, με μόνη διαφορά τις μονάδες παροχής (αυτοκρατορικό γαλόνι ανά λεπτό).

Στην υπόλοιπη Ευρώπη, στην οποία επικρατούσαν τα μετρικά συστήματα, πρακτική μονάδα μετρήσεως της περιστροφικής ταχύτητας ήταν οι rpm και της παροχής τα m^3/h. Και εδώ παραλήφθηκαν από τον τύπο το g και το 2π:

$$N_S(\text{metric}) = n(\text{rpm}) \cdot \frac{\left[\dot{V}(m^3/h)\right]^{0,5}}{\left[H(m)\right]^{0,75}} \qquad (5.29\beta)$$

Έτσι επικράτησε να καλείται ειδική ταχύτητα, μία παραλλαγή της παγκόσμιας ειδικής ταχύτητας (αδιάστατου αριθμού N_{SU}) (παράγρ. 5.5.1) με τη μορφή:

$$N_S = n \cdot \frac{(\dot{V})^{0,5}}{(H)^{0,75}} \quad \text{ή} \quad N_s = \frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{(H)^{\frac{3}{4}}} \qquad (5.29)$$

Για πολυβάθμιες αντλίες η σχέση (5.29) δίνεται ως:

$$N_s = \frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{\left(\frac{H}{i}\right)^{\frac{3}{4}}} \qquad (5.29\gamma)$$

όπου *i* ο αριθμός των βαθμίδων διότι το ολικό ύψος αναπτύσσεται σε κάθε στροφείο κατά H/i.

Ενώ, σε αντλία με στροφείο διπλής εισόδου δίνεται ως:

$$N_s = \frac{n \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \qquad (5.29\delta)$$

διότι κάθε πλευρά του στροφείου παρέχει το μισό της συνολικής παροχής $\dot{V}$. Αυτή η ειδική ταχύτητα δεν είναι αδιάστατο μέγεθος:

$$[N_s] = [L]^{0,75} \cdot [T]^{-1,5}$$

Οι διαστάσεις που προκύπτουν δεν έχουν καμία φυσική έννοια και για τούτο η N_S αναφέρεται ως αριθμός χωρίς να σημειώνονται μονάδες.

Για να αποκτήσει η ειδική ταχύτητα κάποια φυσική έννοια, αξιοποιώντας τη σχέση υπολογισμού της εξισώσεως (5.29), δόθηκε ο ακόλουθος ***εμπειρικός ορισμός***:

Ειδική ταχύτητα μιας αντλίας N_S καλείται η ταχύτητα με την οποία πρέπει να περιστρέφεται μια γεωμετρικά όμοια αντλία, ώστε να αποδίδει ολικό ύψος ίσο με τη μονάδα μήκους και παροχή ίση με τη μονάδα παροχής.

Το ***Hydraulic Institute***, το οποίο είναι ένα ίδρυμα των μεγαλυτέρων κατασκευαστών αντλιών στη Βόρεια Αμερική και με το οποίο συνεργάζεται ο αντίστοιχος ευρωπαϊκός οργανισμός ***Europump***, ορίζει την ***ειδική ταχύτητα ως την περιστροφική ταχύτητα (σε rpm), που έχει μια γεωμετρικά όμοια αντλία η οποία αποδίδει ύψος 1 m (για τις USA 1 ft) και παροχή 1 m^3/h (για τις USA 1 gpm)***.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς της ειδικής ταχύτητας και σε μία προσπάθεια εναρμονίσεως με το SI, προστίθεται ακόμα μια έκφραση της ειδικής ταχύτητας σε μονάδες SI όπου: ταχύτητα περιστροφής σε rps, παροχή σε m^3/s, ύψος σε m. Στην ουσία συναντώνται οι ακόλουθες ειδικές ταχύτητες, οι οποίες διαφέρουν ως προς τις τιμές τους:

1) Παγκόσμια ειδική ταχύτητα: αδιάστατος αριθμός, N_{SU}.

2) Ειδική ταχύτητα US: (rpm, gpm, ft), N_S (US).

3) Ειδική ταχύτητα Metric: (rpm, m^3/h, m), N_S (M).

4) Ειδική ταχύτητα SI: (rps, m3/s, m), NS (SI).

Ο πίνακας 5.5 δίνει τους συντελεστές μετατροπής των τιμών της ειδικής ταχύτητας.

Διαχωρίζοντας τον αδιάστατο αριθμό N_{SU} από την εμπειρικά προσδιορισμένη ειδική ταχύτητα N_s, για την οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά κύριο λόγο τιμές που προκύπτουν με χρήση μονάδων του SI, ή σχέση μεταξύ των N_{SU} και N_S είναι:

$$N_{SU} = 2 \cdot \pi \cdot N_S(SI)/g^{0,75} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_{SU} = 1,13 \cdot N_S(SI) \qquad (5.30)$$

Σύμφωνα με τον εμπειρικό ορισμό της ειδικής ταχύτητας από το Hydraulic Institute, αν η ταχύτητα περιστροφής μιας αντλίας ισούται με την ειδική της

Πίνακας 5.5
Συντελεστές μετατροπής ειδικής ταχύτητας N_S.

Μετατροπή σε →	N_{SU}	N_S(SI)	N_S(M)	N_S(US)
N_{SU}	1	0,882	3176	2734
N_S(SI) (m, m^3/s, rps)	1,13	1	3600	3100
N_S(M) (m, m^3/h, rpm)	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	1	0,861
N_S(US) (ft, gpm, rpm)	$3,66 \cdot 10^{-4}$	$3,23 \cdot 10^{-4}$	1,162	1

π.χ. $N_S(US) = 0,861\ N_S(M)$
$N_{SU} = 1,13\ N_S(SI)$

ταχύτητα, η αντλία, στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας της, θα αποδίδει ύψος ίσο με τη μονάδα μήκους και παροχή ίση με τη μονάδα παροχής. Στο SI:

Αν $n = N_S$, $H_S = 1$ m και $\dot{V}_S = 1$ m^3/s. Η αποδιδόμενη ισχύς της αντλίας θα είναι:

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o \Rightarrow P_{oS} = \gamma \qquad (5.30α)$$

Προκειμένου να εκφραστεί η ειδική ταχύτητα της αντλίας ως συνάρτηση των στροφών, του αποδιδόμενου ύψους και της αποδιδόμενης ισχύος (N_{SP}), αντικαθιστώντας την παροχή στην εξίσωση (5.29) προκύπτει ότι:

$$N_S = n \cdot \frac{[P/(\gamma \cdot H)]^{0,5}}{(H)^{0,75}} = n \cdot \frac{P^{0,5}}{\gamma^{0,5} \cdot (H)^{1,25}}$$

$$N_S \cdot \gamma^{0,5} \equiv N_{SP} = n \cdot \frac{P^{0,5}}{(H)^{1,25}} \qquad (5.31)$$

Ο αριθμός N_{SP} καλείται ***δυναμική ειδική ταχύτητα*** (dynamic specific speed). Όπως παρατηρείται από τη σχέση ορισμού της εξισώσεως (5.31), πρόκειται για μια παραλλαγή της ειδικής ταχύτητας N_s (η οποία καλείται και ***κινηματική ειδική ταχύτητα***).

Η δυναμική ειδική ταχύτητα ορίζεται εμπειρικά, με τρόπο αντίστοιχο με την ειδική ταχύτητα (τη θέση της παροχής λαμβάνει η αποδιδόμενη ισχύς):

Δυναμική ειδική ταχύτητα N_{SP} αντλίας καλείται η ταχύτητα με την οποία πρέπει να περιστρέφεται μια γεωμετρικά όμοια αντλία, ώστε να αποδίδει ολικό ύψος ίσο με τη μονάδα μήκους και η απαιτούμενη ισχύς να ισούται με τη μονάδα ισχύος.

Παρατηρείται ότι εάν είναι γνωστή η κινηματική ειδική ταχύτητα και το ειδικό βάρος του αντλούμενου υγρού, εύκολα υπολογίζεται και η δυναμική από τον τύπο:

$$N_{SP} = N_S \cdot \sqrt{\gamma} \qquad (5.31α)$$

Για αντλούμενο ρευστό το ***νερό***, η αριθμητική σχέση κινηματικής και δυναμικής ταχύτητας στο SI είναι:

$$N_{SP}\ (SI) = 3.13 \cdot N_S\ (SI) \qquad (5.31β)$$

Η δυναμική ειδική ταχύτητα αναφέρεται ως καθαρός αριθμός, αν και έχει διαστάσεις (από τις οποίες όμως δεν προκύπτει φυσική έννοια).

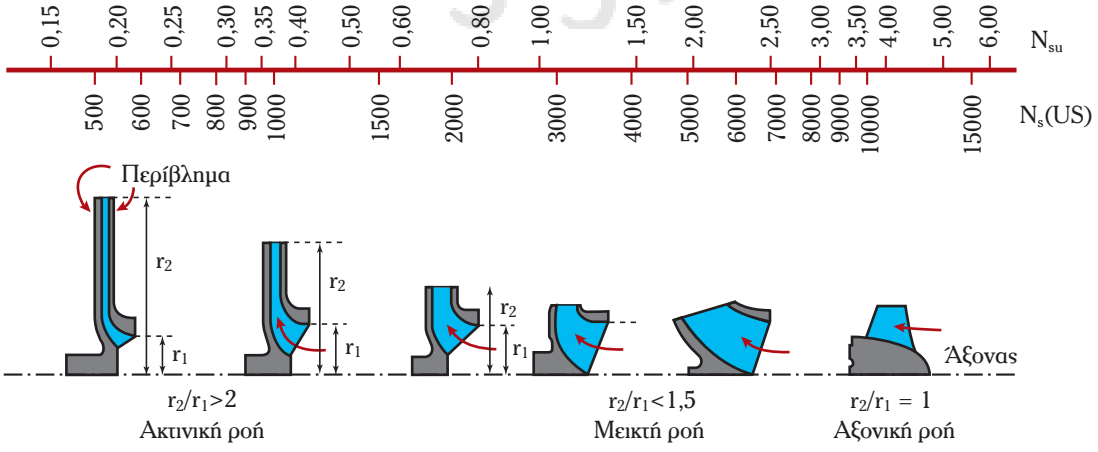
– Ειδική ταχύτητα και ταξινόμηση αντλιών.

Η ειδική ταχύτητα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά μεγέθη μίας δυναμικής αντλίας, καθώς σχετίζεται με τον τύπο της αντλίας και το σχήμα της πτερωτής, εφόσον ταυτόχρονα είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της αντλίας και το αντλούμενο υγρό.

Το σχήμα 5.5α παρουσιάζει την ταξινόμηση των δυναμικών αντλιών με βάση την ειδική τους ταχύτητα. Παρατηρείται ότι οι αντλίες ακτινικής ροής (φυγοκεντρικές) έχουν ειδικές ταχύτητες N_{SU} περίπου από 0,17 έως 1,5 [(ή 500 – 4.000 N_S(US)]. Οι αντλίες μεικτής ροής, από 1,5 έως 3,2 (4.000 – 9.000, US) και οι αξονικής ροής (με έλικα), μεγαλύτερες από 3,2 (από 9.000, US).

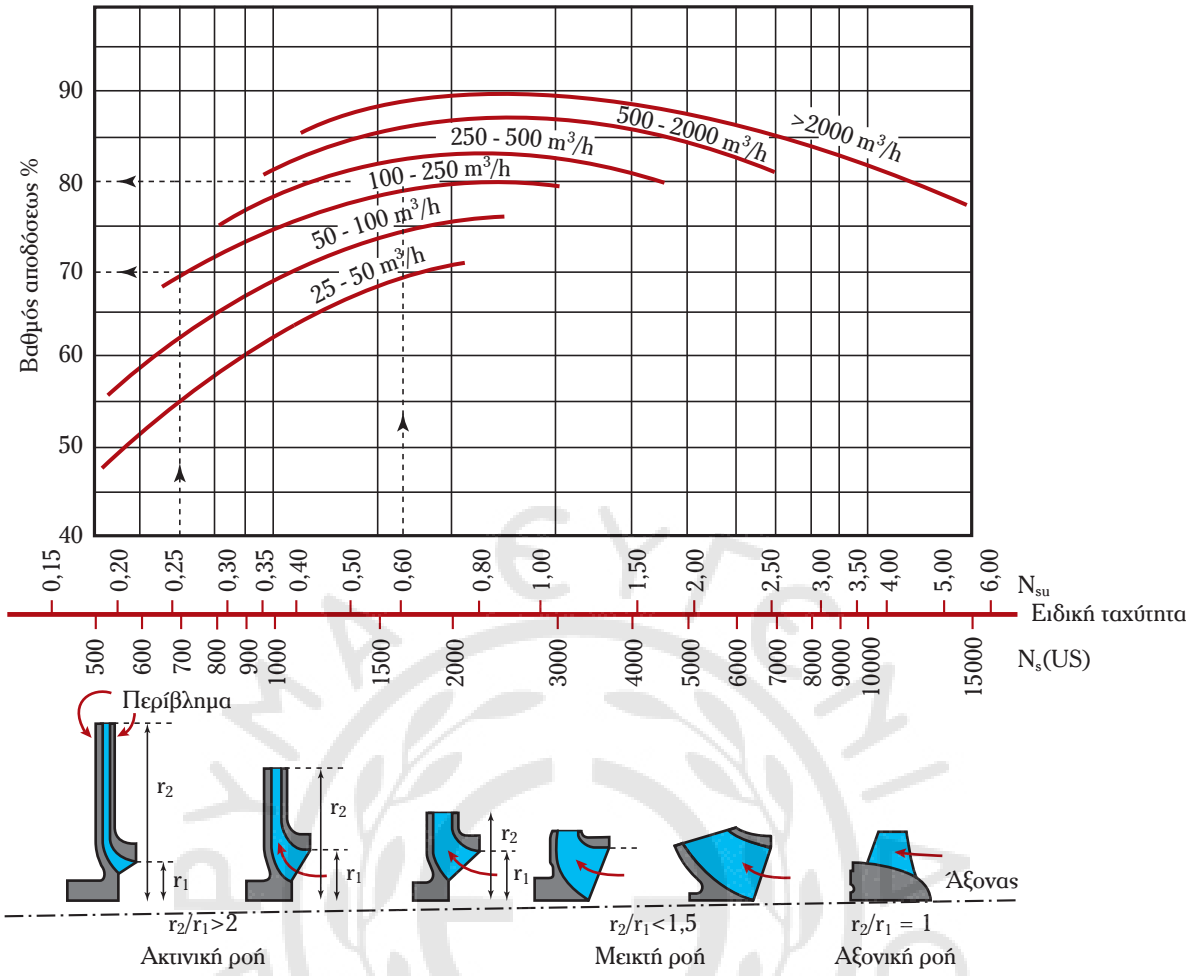
Η ειδική ταχύτητα μιας δυναμικής αντλίας αναφέρεται στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή στο μέγιστο βαθμό αποδόσεως της αντλίας. Αλλά και αντίστροφα, ο μέγιστος βαθμός αποδόσεως επηρεάζεται από την ειδική ταχύτητα της αντλίας (σχ. 5.5β).

Η οικονομική κατά συνέπεια λειτουργία μίας φυγοκεντρικής αντλίας, επιβάλλει να αποφεύγονται πολύ χαμηλές τιμές ειδικής ταχύτητας. Έτσι όμως περιορίζεται η ικανότητα της αντλίας να ανταποκριθεί



Σχ. 5.5α

Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών με κριτήριο την ειδική ταχύτητα. (ANSI/HI 1.1–2–2.000).



Σχ. 5.5β

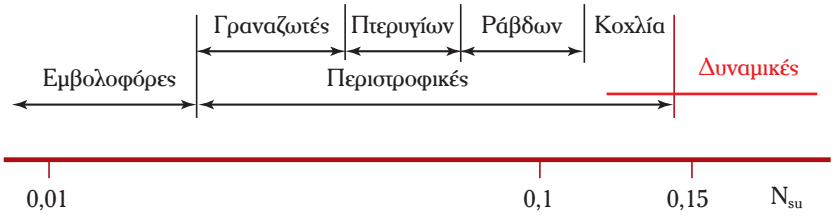
Επίδραση της ειδικής ταχύτητας και της παροχής στο βαθμό αποδόσεως των περιστροφικών δυναμικών αντλιών.

σε μεγάλα ύψη. Η αυξημένη ειδική ταχύτητα επιδρά δυσμενώς στο επιτρεπόμενο ύψος αναρροφήσεως (το μειώνει).

Για τις αντλίες μεικτής και αξονικής ροής αποφεύγονται οι υπερβολικές τιμές της ειδικής ταχύτητας, διότι εκτός από το ύψος μειώνεται και ο βαθμός αποδόσεως.

Η ειδική ταχύτητα, επηρεάζει τον σχεδιασμό της πτερωτής, τον βαθμό αποδόσεως, το επιτρεπόμενο ύψος και την παροχή. Καθορίζει επομένως σε σημαντικό βαθμό και τη μορφή των χαρακτηριστικών καμπυλών της αντλίας (κεφ. 6).

Παρά το γεγονός ότι ο ορισμός της ειδικής ταχύτητας N_{SU} βασίστηκε στην ομοιότητα των δυναμικών αντλιών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις αντλίες θετικής εκτοπίσεως. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι στροφές του στροφείου τους (ή, προκειμένου για παλινδρομικές, του στροφαλοφόρου άξονα) είναι μικρότερη από τις στροφές των δυναμικών αντλιών, λογικό είναι να προκύπτουν μικρότερες ειδικές ταχύτητες. Υπενθυμίζεται ότι οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως δίνουν σχετικά μικρότερες παροχές και μεγαλύτερα ύψη. Το σχήμα 5.5γ παρουσιάζει τις περιοχές ειδικών ταχυτήτων ορισμένων αντλιών θετικής εκτοπίσεως.



Σχ. 5.5γ

Ειδικές ταχύτητες αντλιών θετικής εκτοπίσεως.

5.6 Σπηλαίωση.

Ένας σημαντικός περιορισμός που αφορά σε κάθε σύστημα αντλήσεως, ανεξάρτητα του τύπου της αντλίας, σχετίζεται με την αναρρόφησή της. Σ' αυτήν, το υγρό εισέρχεται συνήθως με πίεση σημαντικά χαμηλότερη από την πίεση της δεξαμενής αναρροφήσεως. Είναι πολύ πιθανόν, ακριβώς εκεί να δημιουργηθούν ατμοί του υγρού (λόγω εξατμίσεως), οι οποίοι θα σχηματίσουν φυσαλίδες. Στις περιστροφικές δυναμικές αντλίες, οι θύλακες αυτοί ατμού (φυσαλίδες) μπορούν να οδηγήσουν σε εξαιρετικά δυσάρεστα αποτελέσματα. Καθώς το υγρό εισέρχεται στην πτερωτή, η πίεση μειώνεται ακόμα περισσότερο και οι θύλακες ατμού ενισχύονται. Στη συνέχεια, μεταφέρονται σε περιοχές υψηλότερης πιέσεως όπου καταρρέουν απελευθερώνοντας σημαντική ποσότητα ενέργειας. Αποτέλεσμα είναι η διάβρωση των στερεών επιφανειών (του στροφείου). Το φαινόμενο καλείται ***σπηλαίωση*** (cavitation) και οδηγεί την πτερωτή της αντλίας σε ταχύτατη φθορά.

5.6.1 Αναρρόφηση δυναμικών αντλιών.

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4, από τη δεξαμενή αναρροφήσεως έως την είσοδο της αντλίας παρουσιάζεται σημαντική πτώση πιέσεως. Επειδή στη δεξαμενή αναρροφήσεως συνήθως επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση, η πτώση πιέσεως στο σωλήνα αναρροφήσεως «πλησιάζει» το υγρό στις συνθήκες βρασμού του, οι οποίες εκφράζονται με την τάση ατμών του υγρού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία αντλήσεως. Όταν το υγρό φτάνει στην είσοδο της αντλίας, πρέπει να έχει ύψος ενέργειας μεγαλύτερο από το ύψος ενέργειας στο οποίο βράζει. Η διαφορά των δύο ενεργειακών υψών καλείται ***Διαθέσιμο Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεων NPSHa***, το οποίο ορίστηκε επακριβώς στο κεφάλαιο 4. Πιο συγκεκριμένα, το ενεργειακό ύψος του υγρού στην αναρρόφηση της αντλίας είναι:

$$H_A = z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} \qquad (5.32\alpha)$$

Για να αρχίσει ο βρασμός, πρέπει η πίεση του υγρού να πέσει τόσο, ώστε να γίνει ίση με την τάση ατμών του p_v. Άρα το ύψος ενέργειας, στο οποίο παρουσιάζεται έναρξη του βρασμού, είναι:

$$H_v = z_A + \frac{p_v}{\gamma} \qquad (5.32\beta)$$

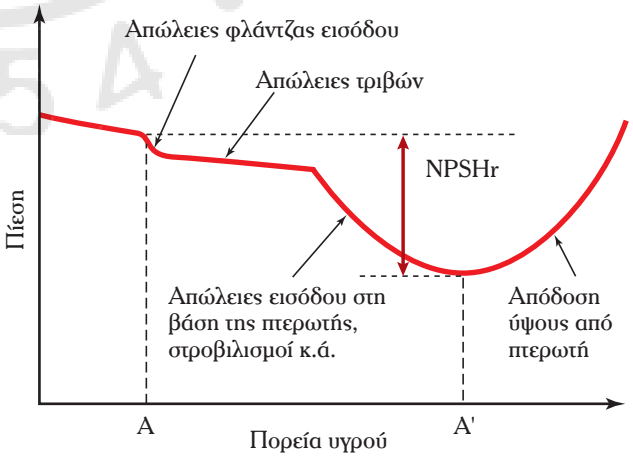
Επομένως, το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως είναι:

$$NPSHa = H_A - H_v \qquad \text{ή}$$

$$NPSHa = \left(\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g}\right) - \frac{p_v}{\gamma} = \frac{p_A - p_v}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} \qquad (5.32)$$

Το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως αποτελεί χαρακτηριστικό του συστήματος αναρροφήσεως και δεν εξαρτάται από την αντλία.

Καθώς το υγρό από το σημείο Α (φλάντζα) εισέρχεται στην αντλία και οδηγείται στην είσοδο της πτερωτής, αντιμετωπίζει διάφορες τριβές (σχ. 5.6α). Επομένως, σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli, παρουσιάζεται και άλλη πτώση πιέσεως. Καθώς αρχίζει να περιστρέφεται, η ταχύτητά του αυξάνεται σημαντικά και στο πίσω μέρος των πτερυγίων η πίεση μειώνεται κι άλλο. Στη συνέχεια, καθώς το υγρό απομακρύνεται από τον άξονα της πτερωτής (ή από την έλικα για τις αντλίες αξονικής ροής), η πίεση αυξάνεται (σχ. 5.6α). Υπάρχει λοιπόν μία μεγίστη πτώση πιέσεως από την είσοδο της αντλίας ως τα σημεία ελάχιστης πιέσεως στην είσοδο της πτερωτής (ή πιο σωστά, στην πίσω πλευρά των πτερυγίων της και κοντά στην είσοδο). Αυτή η πτώση πιέσεως εξαρτάται αποκλειστικά από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας και την ταχύτητα αναρροφήσεως του υγρού, επομένως από την παροχή της αντλίας. Και επειδή η παροχή μιας δυναμικής αντλίας εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής της (όταν η σωληνογραμμή δεν μεταβάλλεται), η πτώση ενέργειας πιέσεως εξαρτάται από τον σχεδιασμό της αντλίας και τις στροφές της.



Σχ. 5.6α
Πτώση πιέσεως στην είσοδο της αντλίας. Α, σημείο στην φλάντζα εισόδου και Α', σημείο στο εσωτερικό της αντλίας.

Η πτώση του ύψους πιέσεως από την αναρρόφηση ως τα σημεία ελάχιστης πιέσεως εντός της πτερωτής, καλείται Απαιτούμενο Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεως NPSHr (Net Positive Suction Head required) και αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της αντλίας.

Η ακριβής έκφραση του NPSHr, προκύπτει με εφαρμογή της εξισώσεως Bernoulli μεταξύ της αναρροφήσεως Α και του σημείου ελάχιστης πιέσεως εντός της αντλίας Α′:

$$\left(\frac{p_A}{\gamma}+\frac{v_A^2}{2g}\right)-\left(\frac{p_{A'}}{\gamma}+\frac{v_{A'}^2}{2g}\right)=h_{A|A'F}\Rightarrow$$

$$\text{ή}\quad \left(\frac{p_A}{\gamma}+\frac{v_A^2}{2g}\right)-\frac{p_{A'}}{\gamma}\equiv \text{NPSHr}=h_{AA'f}+\frac{v_{A'}^2}{2g} \qquad (5.33)$$

Η εξίσωση (5.38), αν και εξηγεί ποιοτικά το φαινόμενο της πτώσεως πιέσεως, δεν είναι υπολογιστικά αξιοποιήσιμη. Αυτό οφείλεται από τη μια στην αδυναμία να υπολογίσομε το ύψος απωλειών $h_{AA'}$ και από την άλλη, στο ότι δεν είναι γνωστά ούτε η ακριβής θέση του σημείου ελάχιστης πιέσεως Α′ (γνωστό είναι μόνο ότι βρίσκεται στην περιοχή εισόδου στην πτερωτή και στην πίσω πλευρά των πτερυγίων), ούτε η ταχύτητα που έχει το υγρό σ' αυτό το σημείο. ***Το Απαιτούμενο Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεως υπολογίζεται πειραματικά και δίνεται από τον κατασκευαστή μαζί με την αντλία***.

Για τον πειραματικό υπολογισμό του NPSHr μίας αντλίας, αυτή τοποθετείται σε κλειστό σύστημα αντλήσεως όμοιο μ' αυτό του σχήματος 5.6β. Μία αντλία κενού μειώνει σταδιακά την πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής αναρροφήσεως, επομένως και το διαθέσιμο NPSHa του συστήματος. Μόλις αρχίζουν να δημιουργούνται οι πρώτες φυσαλίδες ατμού, παρουσιάζεται πτώση του αποδιδόμενου ύψους. Όταν η πτώση γίνει ίση με το 3% του ολικού ύψους[6], η πειραματική διαδικασία σταματά και υπολογίζεται το αποδιδόμενο NPSH. Αυτό θεωρείται ίσο με το απαιτούμενο NPSHr της αντλίας, για το οποίο ο κατασκευαστής εγγυάται λειτουργία της αντλίας χωρίς σπηλαίωση.

Προς αποφυγή του φαινομένου της σπηλαιώσεως κατά τη λειτουργία μιας περιστροφικής δυναμικής αντλίας, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως (NPSHa) να είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο (NPSHr):

$$\text{NPSHa} > \text{NPSHr} \qquad (5.34)$$

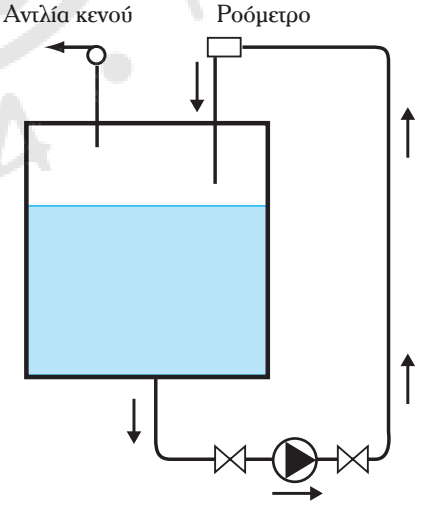
5.6.2 Σπηλαίωση αντλιών.

Την προϋπόθεση NPSHa > NPSHr πρέπει να την τηρεί αυστηρά ο μηχανικός του πλοίου, ο οποίος ασχολείται με τα συστήματα αντλήσεως. Όταν σχεδιάζει το σύστημα, φροντίζει να έχει επαρκές διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως (αν χρειαστεί τοποθετεί την αντλία χαμηλότερα από τη δεξαμενή αναρροφήσεως). Όταν επιλέγει αντλία, φροντίζει το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως να είναι μικρότερο απ' αυτό του συστήματος αντλήσεως. Αν αυτή η προϋπόθεση δεν ισχύει, τότε αναπόφευκτα δημιουργούνται ατμοί στο υγρό και ταυτόχρονα εμφανίζεται σπηλαίωση:

$$\text{NPSHa} < \text{NPSHr} \Rightarrow \text{ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ} \qquad (5.35)$$

Παρατηρείται ότι για να αποφευχθεί το φαινόμενο της σπηλαιώσεως, το διαθέσιμο NPSHa πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν υψηλότερο, και σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερο από το απαιτούμενο από την αντλία NPSHr, το οποίο μας παρέχει ο κατασκευαστής. Στον πίνακα 5.6 αναφέρονται οι παράμετροι που αυξάνουν το NPSHa:

Συστήνεται να ***υπάρχει μια αξιόλογη διαφορά μεταξύ του διαθέσιμου και του απαιτούμενου NPSH*** (τουλάχιστον 15% μεγαλύτερο NPSHa). (Το



Σχ. 5.6β
Πειραματικός προσδιορισμός του NPSHr.

[6] Από πολλούς μελετητές, η πτώση του αποδιδόμενου ύψους κατά 3%, θεωρείται υπερβολικό αφού έχει πλέον αρχίσει η σπηλαίωση.

Πίνακας 5.6
Παράμετροι μεταβολής του διαθέσιμου NPSHa.

Παράμετρος	***Επίπτωση στο NPSHa***
1. Ύψος απωλειών της σωληνογραμμής αναρροφήσεως (h_a).	Αύξηση του ύψους απωλειών μειώνει το NPSHa.
2. Στατικό ύψος αναρροφήσεως ($H_{\Sigma A}$).	Αύξηση του στατικού ύψους αναρροφήσεως μειώνει το NPSHa.
3. Πίεση της δεξαμενής αναρροφήσεως (p_1).	Μείωση της πιέσεως στη δεξαμενή αναρροφήσεως μειώνει το NPSHa. Αν η δεξαμενή αναρροφήσεως είναι υπό ατμοσφαιρική πίεση, η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πιέσεως επιδρά στην εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσεως.
4. Θερμοκρασία T.	Αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την τάση ατμών p_v, άρα μειώνει το NPSHa.

Hydraylic Institute προτείνει, ανάλογα με τις συνθήκες αναρροφήσεως, ο λόγος του διαθέσιμου προς το απαιτούμενο NPSH να κυμαίνεται από 1,1 ως 2,5).

$$1{,}1 \le \frac{\text{NPSHa}}{\text{NPSHr}} \le 2{,}5$$

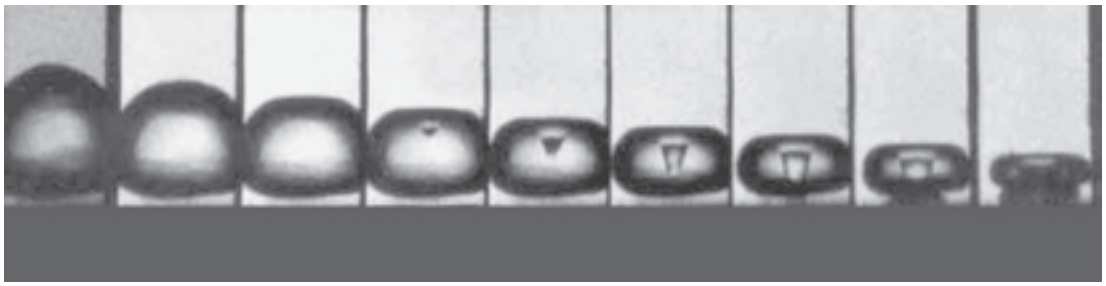
Η δημιουργία φυσαλίδων ατμού σε περιοχές όπου επικρατούν πολύ χαμηλές πιέσεις φαίνονται στην εικόνα του σχήματος 5.6γ.

Σχ. 5.6γ
Δημιουργία φυσαλίδων ατμού σε περιοχές χαμηλής πιέσεως.

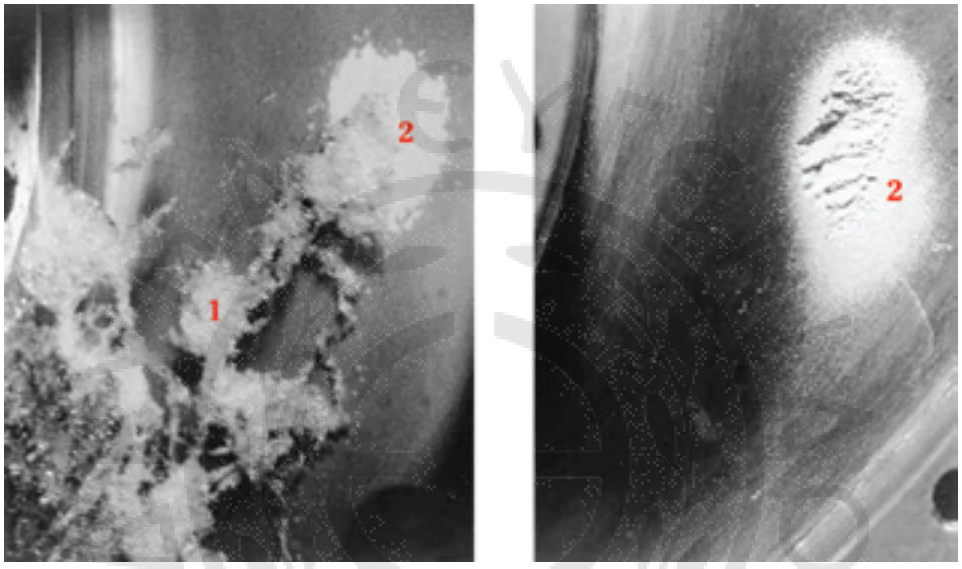
Οι περιοχές της πτερωτής στις οποίες παρουσιάζονται χαμηλές πιέσεις και κατά συνέπεια κινδυνεύουν από σπηλαίωση, εικονίζονται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα 5.6δ. Πρόκειται κυρίως για τις περιοχές εισόδου στην πτερωτή (μάτι) και τις περιοχές στην πίσω πλευρά των πτερυγίων, στα 2/3 περίπου του μήκους τους (αν και σε περιπτώσεις έντονης σπηλαιώσεως μπορούν να επεκταθούν έως και τις απολήξεις των πτερυγίων).

Σχ. 5.6δ
Περιοχές της πτερωτής ενάλωτες σε σπηλαίωση (με κόκκινο χρώμα).

Στο σχήμα 5.6ε αποτυπώνεται η στιγμή της καταρρεύσεως μιας φυσαλίδας ατμών νερού. Πρόκειται για μια ιδιόμορφη «έκρηξη» προς το εσωτερικό της φυσαλίδας, γνωστή ως ***έκρηξη προς τα μέσα*** (implode). Τη στιγμή που η φυσαλίδα καταρρέει ή πιο σωστά εκρήγνυται προς το εξωτερικό της, μετατρέπεται σε ισχυρό ***μικροσκοπικό ρεύμα υγρού*** (microjet) που προσκρούει βίαια και κάθετα στο τοίχωμα (υπολογισμοί ανεβάζουν την ταχύτητα του microjet κοντά στο τοίχωμα, ως και 400 m/s). Ταυτόχρονα, το υγρό που περιβάλλει τη φυσαλίδα εισβάλλει απότομα στον όγκο που πριν κατείχε ο ατμός που υγροποιήθηκε (ο κορεσμένος ατμός έχει όγκο



Σχ. 5.6ε
Κατάρρευση φυσαλίδας.



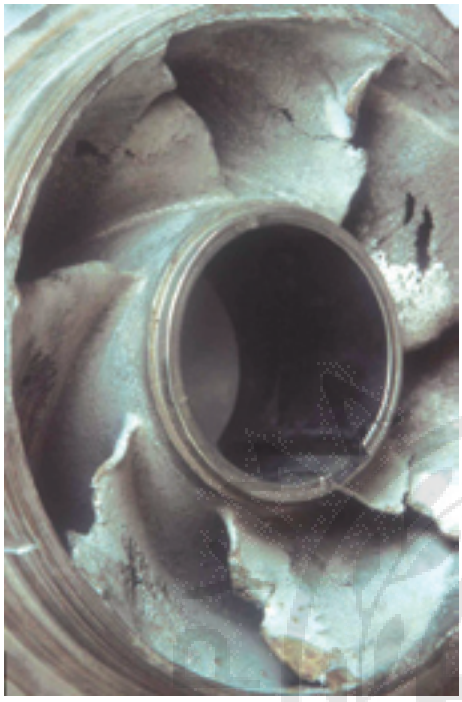
Σχ. 5.6στ
Σπηλαίωση πτερωτής φυγοκεντρικής αντλίας, (α) Δημιουργία φυσαλίδων ατμού (σημείο 1) και κατάρρευση (σημείο 2) και (β) φθορά πτερυγίου στο σημείο 2.

2.000-60.000 μεγαλύτερο από το κορεσμένο υγρό, ανάλογα με τη θερμοκρασία), δημιουργώντας ένα ***κρουστικό κύμα*** (shock wave).

Η σημαντικότερη συνέπεια της σπηλαιώσεως αφορά στη ***διάβρωση*** των στερεών επιφανειών, με τις οποίες βρίσκονται σε επαφή οι φυσαλίδες ατμού, δηλαδή ***των πτερυγίων της πτερωτής*** (σχ. 5.6στ). Για να γίνει το πρόβλημα κατανοητό, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η διαδικασία δημιουργίας και καταρρεύσεως φυσαλίδων είναι ταχύτατη και επαναλαμβάνεται χιλιάδες φορές σε μία σχετικά μικρή απόσταση.

Πειραματικές έρευνες δείχνουν ότι η διαδικασία δημιουργίας και καταρρεύσεως μιας φυσαλίδας ατμού διαρκεί μόλις μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου (περίπου 3 έως 4 ms). Επομένως, το πρόβλημα διαβρώσεως της επιφάνειας δεν το δημιουργεί μια φυσαλίδα, αλλά οι εκατοντάδες χιλιάδες φυσαλίδων που καταρρέουν «χτυπώντας» την επιφάνεια με συνεχή μικρά ρεύματα και κρουστικά κύματα. Η τοπική πίεση που αναπτύσσεται είναι πολύ μεγάλη. Καθώς η ταχύτητα μηδενίζεται στο σημείο προσκρούσεως του microjet, η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε ενέργεια πιέσεως. Αυτή η διαδοχική απελευθέρωση ενέργειας στο σημείο κρούσεως, αυξάνει τη θερμοκρασία του μετάλλου. Η τοπική θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην περιοχή συνεχών κρούσεων, ανέρχεται σε μερικές χιλιάδες βαθμούς. Η καταπόνηση του μετάλλου είναι έντονη και η φθορά αναπόφευκτη. Έτσι, μια ισχυρή διαδικασία σπηλαιώσεως, θα προκαλέσει ζημιά στα πτερύγια, η οποία θα γίνει οπτικά αντιληπτή σε λίγες ημέρες, ενώ σε οριακές συνθήκες σπηλαιώσεως, η διάβρωση των πτερυγίων θα γίνει αντιληπτή μετά από αρκετούς μήνες, ίσως και χρόνια. Η διάβρωση αυτή έχει ιδιαίτερη μορφή,

καθώς αφορά σε ορισμένες περιοχές της μεταλλικής επιφάνειας των πτερυγίων και καλείται ***σπηλαιώδης διάβρωση*** (mechanical corresion ή cavitation corresion) (σχ. 5.6ζ).



Σχ. 5.6ζ
Σπηλαιώδης διάβρωση πτερωτής.

Η αντοχή των μετάλλων στη σπηλαιώδη διάβρωση εξαρτάται από τη χημική τους σύνθεση και από το βαθμό λειάνσεως της επιφάνειάς τους. Η κατάταξη ορισμένων κατά σειρά αυξανόμενης ανθεκτικότητας είναι:

Μόλυβδος – Χυτοσίδηρος – Ορείχαλκος – Αλουμίνιο – Ανοξείδωτος χάλυβας.

Ενδεικτικό της δημιουργίας σπηλαιώσεως είναι ο ***θόρυβος*** που εκπέμπεται κατά την κατάρρευση των φυσαλίδων και οι ***δονήσεις*** της αντλίας που προκαλούν τα συνεχή κρουστικά κύματα. Και τα δύο φαινόμενα είναι χαρακτηριστικά και επιτρέπουν τη μακροσκοπική διάγνωση του φαινομένου της σπηλαιώσεως.

Η παραπάνω περιγραφή αφορά στην ***κύρια μορφή της σπηλαιώσεως*** (ή κλασική σπηλαίωση). Υπάρχει όμως και μία ***δευτερεύουσα σπηλαίωση***, η οποία οφείλεται στην επανακυκλοφορία ενός ποσοστού υγρού στην είσοδο της πτερωτής (μάτι). Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, μπορεί να παρουσιασθεί ακόμα και όταν οι ενεργειακές συνθήκες δεν επιτρέπουν να αναπτυχθεί η κλασική σπηλαίωση της παραπάνω περιγραφής.

5.6.3 Ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως.

Οι υψηλές ταχύτητες του υγρού στη σωληνογραμμή αναρροφήσεως αυξάνουν το ύψος απωλειών και επομένως μειώνουν το διαθέσιμο NPSHa του συστήματος, ευνοώντας το φαινόμενο της σπηλαιώσεως. Όμως το αν θα εμφανισθεί ευκολότερα ή δυσκολότερα η σπηλαίωση, εξαρτάται και από το απαιτούμενο NPSHr της αντλίας, το οποίο σχετίζεται άμεσα με τη γεωμετρία της εισόδου στην πτερωτή.

Στο πρόβλημα διαμορφώσεως ενός κριτηρίου που θα δείχνει ότι μια αντλία δεν παρουσιάζει εύκολα σπηλαίωση, μια πρώτη απάντηση δόθηκε με την εισαγωγή του συντελεστή σπηλαίωσεως από τους L. Moody και D. Thoma (1922). Ορίστηκε ως ***συντελεστής σπηλαιώσεως σ*** (cavitation coefficient) ο λόγος του απαιτούμενου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως προς το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας:

$$\sigma = \frac{NPSHr}{H} \qquad (5.36)$$

Όμως ο συντελεστής σπηλαιώσεως αποδείχθηκε ανεπαρκές κριτήριο τόσο για το σχεδιασμό, όσο και για την επιλογή της αντλίας. Πιο σημαντικό κριτήριο αποδείχθηκε η ***ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως της αντλίας*** (την έννοια της οποίας εισήγαγε ο μηχανικός της Worthington Co, Karassik το 1937). Αυτή ορίζεται όπως και η ειδική ταχύτητα, αλλά στη θέση του ολικού ύψους τίθεται το NPSHr της αντλίας. Ως αδιάστατος αριθμός, που προκύπτει από τη διαστατική ανάλυση και καλείται ***παγκόσμια ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως,*** δίνεται από την εξίσωση:

$$N_{SSU} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{\dot{V}_n^{0,5}}{(g \cdot NPSHr)^{0,75}} \qquad (5.37)$$

Όπως όμως και η ειδική ταχύτητα, έτσι και η ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως στην πράξη απλοποιήθηκε και έχασε τον αδιάστατο χαρακτήρα της:

$$N_{SS} = n \cdot \frac{\dot{V}_n^{0,5}}{NPSHr^{0,75}} \qquad (5.38)$$

Έτσι πρόκυψε και ο εμπειρικός της ορισμός: ***Ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως αντλίας N_{SS}*** καλείται η ταχύτητα με την οποία πρέπει να περιστρέφεται μια γεωμετρικά όμοια αντλία, ώστε το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως να ισούται με

τη μονάδα μήκους, όταν η παροχή ισούται με τη μονάδα παροχής.

Οι διαστάσεις και οι μονάδες της ειδικής ταχύτητας αναρροφήσεως, είναι ίδιες μ' αυτές της ειδικής ταχύτητας N_S (παράγρ. 5.5).

Όπως η ειδική ταχύτητα σχετίζεται άμεσα με τη γεωμετρία των πτερυγίων της πτερωτής, έτσι και ***η ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως σχετίζεται άμεσα με τη γεωμετρία εισόδου στην πτερωτή***. Έτσι, μεγαλύτερη διατομή εισόδου στα πτερύγια και πιο ομαλή γωνία εισόδου, βελτιώνουν την ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως, μειώνοντας τον κίνδυνο σπηλαιώσεως.

Γενικά, οι ειδικές ταχύτητες αναρροφήσεως των αντλιών κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 2,2 έως 4,4 (N_{SS}) ή 6.000 έως 12.000 (US). Αντλίες με τιμές μεγαλύτερες, έχουν μεγάλο μάτι στροφείου και είναι ευάλωτες σε σπηλαίωση λόγω επανακυκλοφορίας του υγρού, ενώ αντλίες με μικρότερες τιμές, έχουν μικρό μάτι στροφείου και είναι ευάλωτες σε κλασική σπηλαίωση.

Πιο συγκεκριμένη εκτίμηση της τάσεως προς σπηλαίωση ενός συστήματος αντλήσεως προκύπτει αν υπολογιστεί η ***διαθέσιμη ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως N_{SSA}*** (available suction specific speed) (του συστήματος αντλήσεως) και συγκριθεί με την N_{SS} (της αντλίας). Η διαθέσιμη ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως προκύπτει από εξισώσεις αντίστοιχες με τις (5.37) και (5.38):

$$N_{SSUA} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{\dot{V}_n^{0,5}}{(g \cdot NPSHa)^{0,75}} \qquad (5.37\alpha)$$

$$N_{SSA} = n \cdot \frac{\dot{V}_n^{0,5}}{NPSHa^{0,75}} \qquad (5.38\alpha)$$

Θα πρέπει να είναι:

$$N_{SSA} > N_{SS} \qquad (5.38\beta)$$

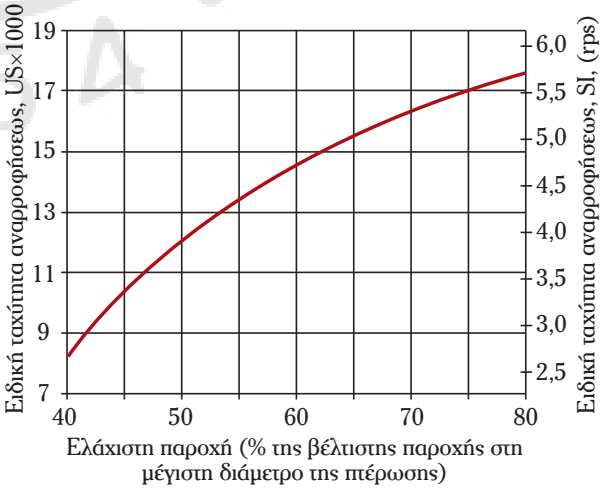
Η εμπειρία έχει δείξει (και αυτό αποτελεί και σύσταση του Hydraulic Institute) ότι μια αντλία πρέπει να λειτουργεί με διαθέσιμη ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως ίση ή μικρότερη από 3,1 (N_{SSUA}) ή 8.500 (US). Σε αντλίες με υψηλές ταχύτητες περιστροφής ή πολύ μεγάλες παροχές, συναντάμε ειδικές ταχύτητες αναρροφήσεως 4 (N_{SSA}) ή και μεγαλύτερες.

Το διάγραμμα του σχήματος 5.6η έχει προκύψει από την εμπειρία και τις εργαστηριακές δοκιμές, και δείχνει την παροχή ως ποσοστό της βέλτιστης παροχής κατά την οποία θα μπορούσε να λειτουργήσει η αντλία σε συνάρτηση με την ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως.

Μία λύση στους περιορισμούς που θέτει η ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως, προκύπτει με τη χρήση επαγωγέα (inducer). Πρόκειται για μία έλικα, η οποία τοποθετείται στην είσοδο της πτερωτής και εξομαλύνει τη ροή, εμποδίζοντας τη σπηλαίωση. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η ειδική ταχύτητα αναρροφήσεως μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλότερες τιμές (N_{SSU} = 7,5 ή και μεγαλύτερο).

5.7 Ο αέρας στην αντλία.

Εκτός από την εξάτμιση (βρασμό) του αντλούμενου υγρού, υπάρχει και μία άλλη σημαντική αιτία δημιουργίας φυσαλίδων στο εσωτερικό των δυναμικών αντλιών, η οποία δεν σχετίζεται με την τάση ατμών, αλλά με τα διαλυμένα στο αντλούμενο ρευστό αέρια. Σύμφωνα με το Νόμο του Henry, η διαλυτότητα των αερίων στα υγρά, μειώνεται όταν μειωθεί η πίεση (ή αυξηθεί η θερμοκρασία). Όταν λοιπόν το αντλούμενο υγρό έχει σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αερίων, στα σημεία μειωμένης πιέσεως (είσοδος αντλίας, είσοδος της πτερωτής, περιοχές πίσω από τα πτερύγια), η διαλυτότητα είναι χαμηλή. Αν η περιεκτικότητα του υγρού σε αέριο είναι μεγαλύτερη από το όριο που θέτει η διαλυτότητα, η επί πλέον ποσότητα αερίου θα αποβληθεί με τη μορφή φυσαλίδων. Σε αντίθεση όμως με τις φυσαλίδες ατμού, οι φυσαλίδες αερίων δεν εκρήγνυνται. Καθώς παρασύρονται σε περιοχές υψηλότερης πιέσεως, αυξάνεται και πάλι η διαλυτότητα και ποσότητες αερίου



Σχ. 5.6η

Σχέση μεταξύ της ελάχιστης επιτρεπόμενης παροχής και της ειδικής ταχύτητας αναρροφήσεως.

διαλύονται πάλι στο υγρό. Το μέγεθος της φυσαλίδας μειώνεται σταδιακά και ομαλά μέχρι πλήρους εξαφανίσεώς της. Το μόνο αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι οι διαταραχές στη ροή που συνεπάγονται κάποια μικρή απώλεια ύψους (η ενέργεια διαλύσεως είναι συντριπτικά μικρότερη από την ενέργεια ατμοποιήσεως). Συχνά το φαινόμενο δημιουργίας φυσαλίδων αερίου λόγω μειώσεως της διαλυτότητας, αναφέρεται και ως ***Σπηλαίωση Αερίων*** (Gaseous Cavitation), σε αντίθεση με τη ***Σπηλαίωση Ατμού*** (Vaporous Cavitation) (βλ. παράγρ. 5.6.2).

Το πρόβλημα παρουσίας αέρα ή αερίων στο εσωτερικό των δυναμικών αντλιών, αποτελεί γενικότερο πρόβλημα με σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργία τους. Οι πιο συνηθισμένες πηγές αερίων στο αντλούμενο υγρό είναι οι ακόλουθες:

1) Εισροή αέρα με το αντλούμενο υγρό. Ιδιαίτερα όταν η δεξαμενή αναρροφήσεως έχει ατμοσφαιρική πίεση και το στατικό ύψος αναρροφήσεως είναι μεγαλύτερο ή ίσο του μηδενός, στην αναρρόφηση της αντλίας υπάρχει υποπίεση, με αποτέλεσμα πιθανή εισαγωγή αέρα από κάποια οπή ή χαραμάδα (αν η αναρρόφηση δεν είναι αεροστεγής) από την ατμόσφαιρα στην αντλία.

2) Ελλιπής εξαερισμός κατά την έναρξη λειτουργίας της αντλίας, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνει και την αρχική αναρρόφηση κατά την έναρξη της αντλήσεως.

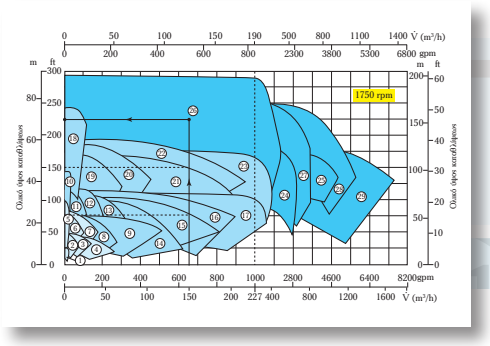
3) Αξιόλογες ποσότητες διαλυμένου αέρα ή άλλων αερίων, σε συνδυασμό με χαμηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες.

4) Συνεχιζόμενες χημικές διεργασίες που παράγουν αέρια κατά τη διάρκεια της αντλήσεως. Τέτοιου είδους φυσαλίδες αέρος μπορεί να εμφανιστούν στο νερό που περιέχει οργανικά ένζυμα τα οποία μπορεί να βρίσκονται και σε αποσύνθεση (σαπισμένα).

5) Εισαγωγή αέρα στην περιοχή της χαμηλής πιέσεως στην αναρρόφηση του στροφείου μέσω τρύπας ή ρωγμής στο κέλυφος ή από τα σημεία στεγανοποιήσεως της αντλίας. Η μικρή ποσότητα του αέρα σε αυτές τις περιπτώσεις δύναται να συγκεντρωθεί στο κέντρο αναρροφήσεως του στροφείου (μάτι) και διαχωρίζοντας τη ροή του υγρού να διακόψει την άντληση.

Όταν μείγμα αέρα και υγρού εισέρχεται στην πτερωτή φυγοκεντρικής αντλίας, η φυγόκεντρη επιτάχυνση του υγρού είναι σημαντικά μεγαλύτερη απ' αυτήν του αερίου. Αν το ποσοστό του αερίου είναι μικρό, το αέριο διαχέεται στο υγρό υπό μορφή μικρών φυσαλίδων, οι οποίες συμπαρασύρονται από το υγρό και αντλούνται μαζί μ' αυτό. Αν όμως το ποσοστό των αερίων είναι σημαντικό, το υγρό κινείται ταχύτερα προς την περιφέρεια και το αέριο παγιδεύεται στο κέντρο της πτερωτής δημιουργώντας αεροθύλακα. Αν η ποσότητα του αερίου είναι μεγάλη, επέρχεται διαχωρισμός με αποτέλεσμα τη διάσπαση της ροής, άρα και τη διακοπή της αντλήσεως.

Η ικανότητα των δυναμικών περιστροφικών αντλιών να διαχειρίζονται εισερχόμενο αέρα, σχετίζεται με τη γεωμετρία τους. Όσον αφορά πιο συγκεκριμένα στην ειδική ταχύτητα της αντλίας, όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερα ποσοστά αέρα μπορεί να διαχειρισθεί. Αυτό σχετίζεται με την αναπτυσσόμενη φυγοκεντρική δράση αλλά και με τη μεγαλύτερη διατομή εισόδου στην πτερωτή. Αντλίες μεγάλης ειδικής ταχύτητας και μεγαλύτερης διατομής εισόδου είναι οι μεικτής και, κυρίως, οι αξονικής ροής (σχ. 5.5α). Σ' αυτές η φυγοκεντρική δράση είναι περιορισμένη, επομένως και ο διαχωρισμός πιο δύσκολος. Η παρουσία αερίων στο εσωτερικό των δυναμικών αντλιών έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο ολικό ύψος και το βαθμό αποδόσεως.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών

6.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών.

Η ροή του υγρού στις δυναμικές αντλίες (κεφ. 5), είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Αντίστοιχα πολύπλοκη είναι η σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας, αν γίνει προσπάθεια να εκφραστεί με μαθηματική ακρίβεια.

Υπάρχουν για παράδειγμα περιπτώσεις όπου απαιτείται η αντλία να λειτουργεί για να αποδώσει μεγάλο ύψος και σχετικά μικρή παροχή ή το αντίστροφο. Με ποια κριτήρια γίνεται όμως αυτή η ***επιλογή***; Στη συνέχεια και εφόσον απαντηθεί το προηγούμενο ερώτημα θα πρέπει να διερευνηθεί ποια είναι η σωστή από υδροδυναμικής πλευράς ***τοποθέτηση*** της αντλίας στο σύστημα αντλήσεως. Τέλος, η αντλία που θα επιλεγεί και θα εγκατασταθεί θα χρειασθεί πιθανόν να αντιμετωπίσει διάφορα φορτία (ύψη). Ποιοι θα πρέπει να είναι οι κατάλληλοι ***χειρισμοί*** της αντλίας ώστε να μην προκληθούν ακούσια ζημιές;

Οι ***χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών*** δείχνουν συγκεκριμένα τις δυνατότητες και τα όρια κάθε αντλίας και αποτελούν αναγκαίο δεδομένο για τον υπολογισμό και τη λειτουργία οποιουδήποτε συστήματος αντλήσεως.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δυναμικών αντλιών.

Όπως παρουσιάζεται στην παράγραφο 5.1, μόνο στην περίπτωση της ιδανικής τριβής δύναται να εκφρασθεί η σχέση των (θεωρητικών) χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας ($\dot{V}$, H, P, n) με εξισώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η ***σχέση του θεωρητικού ύψους με τη θεωρητική παροχή της αντλίας***, δίνεται από την εξίσωση:

$$H_\theta = \frac{\omega^2 \cdot r_2^2}{g} - \frac{\omega \cdot r_2}{g \cdot A_2 \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \cdot \dot{V}_\theta \qquad (6.1)$$

ή πιο απλά: $$H_\theta = A - B \cdot \dot{V}_\theta \qquad (6.1\alpha)$$

όπου: $$A = \frac{\omega^2 \cdot r_2^2}{g},\ B = \frac{\omega \cdot r_2}{g \cdot A_2 \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \qquad (6.1\beta)$$

Αντίστοιχα, ***η σχέση της θεωρητικής ισχύος με την παροχή*** δίδεται ως:

$$P_\theta = \omega^2 \cdot r_2^2 \cdot \rho \cdot V_\theta - \frac{\omega \cdot r_2}{A_2 \cdot \varepsilon\varphi\beta_2} \cdot \rho \cdot \dot{V}_\theta^2 \qquad (6.2)$$

ή $$P_\theta = \gamma \cdot A \cdot \dot{V}_\theta - \gamma \cdot B \cdot \dot{V}_\theta^2 \qquad (6.2\alpha)$$

Τα ***πραγματικά μεγέθη*** όμως είναι εντελώς διαφορετικά. Υπάρχουν δηλαδή, σημαντικές ***απώλειες ύψους*** (λόγω κυκλοφοριακής ροής, τριβών και κρούσεων), και ***απώλειες ισχύος*** (απώλειες λόγω τριβών, κρούσεων, διαρροών, δίσκου, εδράνων). Τέλος, η θεωρητική παροχή διαφοροποιείται ελαφρά από την εσωτερική και αρκετά από την πραγματική παροχή.

Λόγω όμως της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η ροή στο εσωτερικό της αντλίας, η προσέγγιση των πραγματικών σχέσεων μπορεί να γίνει μόνο με τη διαστατική ανάλυση και το πείραμα.

Η διαστατική ανάλυση (παράγρ. 5.4), έδωσε τις ακόλουθες συναρτήσεις μεταξύ των πραγματικών μεγεθών $\dot{V}$, H, P:

$$\frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2} = f\left(\frac{\dot{V}}{n \cdot d^3},\ \frac{n \cdot d^2}{\nu},\ \frac{\varepsilon}{d},\ \frac{l}{d},\ \beta\right) \qquad (6.3)$$

$$\frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = f\left(\frac{\dot{V}}{n \cdot d^3},\ \frac{n \cdot d^2}{\nu},\ \frac{\varepsilon}{d},\ \frac{l}{d},\ \beta\right) \qquad (6.4)$$

Η πειραματική διαδικασία και ο κατάλληλος σχεδιασμός –κατασκευή– δοκιμασία της αντλίας αποτελούν τα επόμενα βήματα. Ο σχεδιασμός της πτερωτής βασίζεται στην τιμή της ειδικής ταχύτητας N_S, η οποία αποτελεί συνδυασμό των δυο βασικών αδιαστάτων παραμέτρων της συναρτήσεως (6.3):

$$N_{SU} = \frac{N_V^{\,0,5}}{N_h^{\,0,75}}$$

όπου $$N_h = \frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2},\ N_V = \frac{\dot{V}}{n \cdot d^3}$$

Τις τελικές σχέσεις μεταξύ ύψους-παροχής, ισχύος-παροχής, βαθμού αποδόσεως-παροχής αλλά και

απαιτούμενου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως-παροχής, τις δίνει η κατασκευάστρια εταιρεία υπό μορφή διαγραμμάτων. Οι καμπύλες που απεικονίζονται σ' αυτά, καλούνται ***χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας*** (pump performance curves). Σημειώνεται ότι όμοιες αντλίες ή αντλίες με την ίδια ειδική ταχύτητα θα έχουν ποιοτικά όμοια διαγράμματα, τα οποία όμως θα διαφοροποιούνται σημαντικά όσον αφορά στις τιμές των μεγεθών (αφού αυτές εξαρτώνται από το μέγεθος των αντλιών και τις στροφές τους).

Μία δυναμική αντλία σχεδιάζεται και κατασκευάζεται για μία ορισμένη περιοχή παροχών και αποδιδόμενου ύψους. Σ' αυτήν την περιοχή έχει την καλύτερη σχέση ωφέλιμου αποτελέσματος προς κατανάλωση, επομένως τον καλύτερο βαθμό αποδόσεως. Αν και ο κατασκευαστής συστήνει την αντλία για τη συγκεκριμένη περιοχή, αυτή συχνά λειτουργεί και με άλλες τιμές παροχών και αποδιδόμενου ύψους, λόγω των αναγκών του συστήματος αντλήσεως.

6.1.1 Η καμπύλη $H = f_1(\dot{V})$ ή $H - \dot{V}$ (ή καμπύλη στραγγαλισμού) (throttling pump curve $H - \dot{V}$).

Με βάση τη διαστατική ανάλυση, η σχέση μεταξύ αποδιδόμενου ύψους και (πραγματικής) παροχής δίδεται από τη συνάρτηση (6.3). Για μία δεδομένη αντλία, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ταχύτητα, η αναλογία μηκών και η γωνία β είναι δεδομένα, οι μεταβλητές παράμετροι της συναρτήσεως είναι οι ακόλουθες:

1) Η παροχή $\dot{V}$.
2) Το αποδιδόμενο ύψος H (ή H_o).
3) Οι στροφές n.
4) Η διάμετρος της πτερωτής D (επισημαίνεται η δυνατότητα ότι σε ένα κέλυφος μπορούν να τοποθετηθούν πτερωτές διαφόρων διαμέτρων).
5) Το ιξώδες του αντλούμενου ρευστού.

Για να μειωθούν οι μεταβλητές, ως ρευστό θεωρείται το νερό. Αν και ο ρόλος του ιξώδους στη σχέση ύψους-παροχής δεν είναι τόσο σημαντικός, πιθανή μεγάλη αλλαγή του πρέπει να ληφθεί υπόψη. Η εξέταση της αντλίας για στροφές (n) και διάμετρο πτερωτής (D), περιορίζει τις μεταβλητές σε δύο: Το αποδιδόμενο ή ολικό ύψος και την παροχή.

Επομένως, ***για σταθερές στροφές n και συγκεκριμένη διάμετρο πτερωτής D, το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας H_o εξαρτάται από την παροχή $\dot{V}$***:

Αν n και D είναι σταθερά, τότε:

$$H_o = f_1(\dot{V}) \qquad (6.5)$$

Η σχέση (6.5) εκφράζεται με διάγραμμα (και όχι με εξίσωση) στο οποίο στον άξονα τεταγμένων είναι το θεωρητικό ύψος και στον άξονα των τετμημένων η παροχή $\dot{V}$. Η μορφή αυτού του διαγράμματος που καλείται ***καμπύλη $H - \dot{V}$ ή καμπύλη στραγγαλισμού*** (σχ. 5.2α). Πιο συγκεκριμένα, η μορφή της καμπύλης $H - \dot{V}$ εξαρτάται από την ειδική ταχύτητα της αντλίας N_S, τον αριθμό των πτερυγίων και τη μορφή του περιβλήματος.

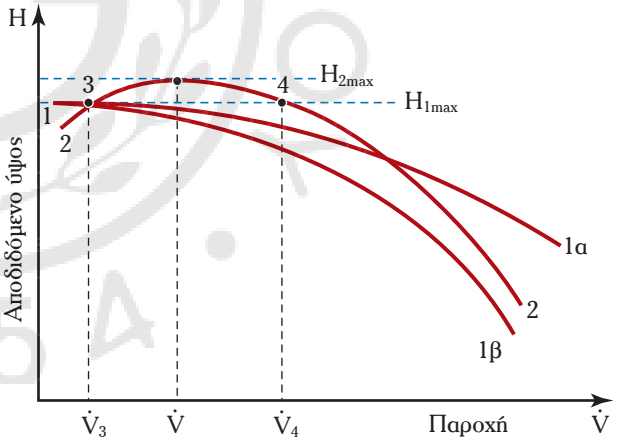
Υπάρχουν δύο είδη καμπυλών $H - \dot{V}$:

1) ***Ευσταθείς καμπύλες $H - \dot{V}$***: Σ' αυτές, όταν αυξάνεται η παροχή, μειώνεται το αποδιδόμενο ύψος.

Στο σχήμα 6.1α ευσταθείς καμπύλες είναι οι 1 – 1α και 1 – 1β. Εύκολα διαπιστώνεται ότι η μέγιστη τιμή αποδιδόμενου ύψους παρουσιάζεται στο σημείο μηδενισμού της παροχής:

$$\dot{V} \to 0 \quad \text{τότε} \quad H \to H_{max}$$

Στις ευσταθείς καμπύλες, σε κάθε τιμή του ύψους H αντιστοιχεί μία και μόνο μία τιμή της παροχής $\dot{V}$.



Σχ. 6.1α
Καμπύλες $H - \dot{V}$ δυναμικών αντλιών.

2) ***Ασταθείς καμπύλες $H - \dot{V}$*** (καμπύλη 2 του σχ. 6.1α): Σ' αυτήν την περίπτωση που συναντάται σε ορισμένες φυγοκεντρικές αντλίες, το μέγιστο ύψος H_{max} παρουσιάζεται για παροχή $\dot{V}_o \neq 0$. Για παροχές από 0 έως $\dot{V}_o$ το αποδιδόμενο ύψος αυξάνεται, και για περαιτέρω αύξηση της παροχής το αποδιδόμενο ύψος μειώνεται. Υπάρχει λοιπόν μία περιοχή τιμών αποδιδόμενου ύψους H, στις οποίες

αντιστοιχούν δύο παροχές (περιοχή μεταξύ των σημείων 3, 4). Οι κατασκευαστές των αντλιών αποφεύγουν γενικά τις καμπύλες αυτής της μορφής (επειδή δημιουργείται κάποια αστάθεια και, κυρίως, απρόβλεπτη συμπεριφορά στην περίπτωση της παράλληλης συνδέσεως αντλιών) και στοχεύουν σε ευσταθείς καμπύλες H – V̇.

Γενικά, ευσταθείς καμπύλες H – V̇ παρουσιάζουν αντλίες με μεγάλες ειδικές ταχύτητες. Έτσι, οι αντλίες μεικτής και αξονικής ροής έχουν ευσταθείς καμπύλες. Πιο δύσκολα επιτυγχάνεται ευσταθής καμπύλη στις αντλίες ακτινικής ροής. Όσο πιο μικρή είναι η ειδική ταχύτητα, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να προκύψει ασταθής καμπύλη. Η μείωση του αριθμού των πτερυγίων και της γωνίας απολήξεώς τους (β) είναι δύο σημαντικά σχεδιαστικά μέτρα, τα οποία συμβάλλουν ώστε να προκύψουν ευσταθείς καμπύλες.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες H – V̇ διακρίνονται επίσης, ανάλογα με την κλίση τους, σε ***ομαλής και απότομης πτώσεως***. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική ταχύτητα N_S, τόσο πιο απότομη είναι η πτώση της καμπύλης.

Η καμπύλη ύψους-παροχής είναι η σημαντικότερη καμπύλη των αντλιών και γι' αυτό συχνά καλείται ***κύρια χαρακτηριστική καμπύλη***.

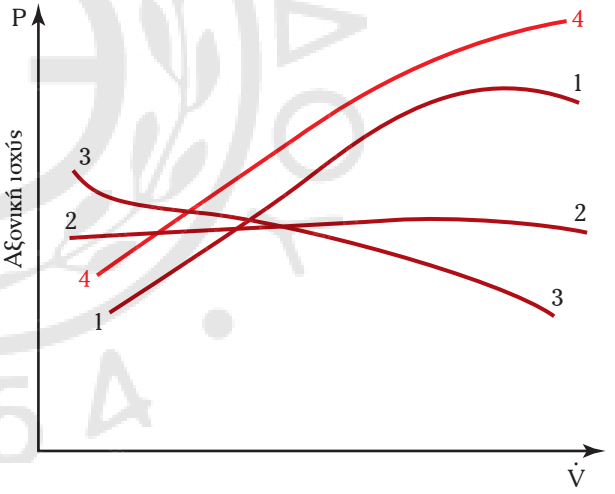
6.1.2 Η καμπύλη $P_a = f_2(\dot{V})$ ή $P_a - \dot{V}$ (αξονικής ισχύος-παροχής).

Για τη σχέση ισχύος-παροχής η διαστατική ανάλυση έδωσε τη συνάρτηση (6.4). Παρατηρείται ότι συναντώνται οι ίδιες παράμετροι που επηρεάζουν και τη σχέση ύψους-παροχής. Μόνη επί πλέον παράμετρος είναι η πυκνότητα του υγρού, αν θεωρήσομε ως αντλούμενο ρευστό το νερό, σταθερές στροφές n και συγκεκριμένη διάμετρο πτερωτής D. Αν n και D είναι σταθερά, προκύπτει:

$$P_a = f_2(\dot{V}) \qquad (6.6)$$

Η σχέση (6.6) αποτελεί σχέση διαγράμματος με άξονα τεταγμένων την αξονική ισχύ (P_a) και τετμημένων την παροχή V̇. Οι μορφές των καμπυλών ισχύος-παροχής (μία εκ των οποίων συναντήσαμε στο σχ. 5.2δ), παρουσιάζονται ποιοτικά στο σχήμα 6.1β. Παρατηρούμε ότι στις αντλίες ακτινικής ροής (οι οποίες έχουν μικρές ειδικές ταχύτητες, καμπύλες 1 και 4 του σχήματος), η κατανάλωση ισχύος αυξάνει γενικά με την αύξηση της παροχής (με πιθανή μικρή εξαίρεση στις μεγάλες παροχές). Αντίθετα, στις αντλίες αξονικής ροής (καμπύλη 3 του σχήματος) η αξονική ισχύς μειώνεται με την αύξηση της παροχής. Τέλος, οι αντλίες μεικτής ροής, παρουσιάζουν μικρές μεταβολές της ισχύος σε σχέση με την παροχή (καμπύλη 2 του διαγράμματος).

Οι καμπύλες $P_a - \dot{V}$ διακρίνονται σε καμπύλες ***υπερφορτίσεως*** και ***μη υπερφορτίσεως***. Οι πρώτες, αντιστοιχούν σε ασταθείς καμπύλες H – V̇, αφορούν επομένως, σε ορισμένες αντλίες ακτινικού τύπου. Σ' αυτές, η αξονική ισχύς αυξάνεται συνεχώς με την αύξηση της παροχής και υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθεί πρόβλημα υπερφορτίσεως στην κινητήρια μηχανή της αντλίας. Οι καμπύλες μη υπερφορτίσεως, αντιστοιχούν σε ευσταθείς καμπύλες H – V̇ και χαωση της παροχής αντισταθμίζεται από σημαντική μείωση του ύψους, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αξονικής ισχύος. Οι αντλίες μεικτής και αξονικής ροής (καθώς και αρκετές ακτινικής ροής) έχουν καμπύλες P – V̇ μη υπερφορτίσεως. Στο σχήμα 6.1β οι καμπύλες 1, 2 και 3 είναι μη υπερφορτίσεως, ενώ αντίθετα η 4 είναι καμπύλη υπερφορτίσεως.



Σχ. 6.1β

Καμπύλες $P_a - \dot{V}$ δυναμικών αντλιών: (1), (4) ακτινικής ροής, (2) μεικτής ροής και (3) αξονικής ροής. (1), (2), (3) μη υπερφορτίσεως, (4) υπερφορτίσεως.

6.1.3 Η καμπύλη $\eta = f_3(\dot{V})$ ή $\eta - \dot{V}$ βαθμού αποδόσεως-παροχής και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας (Best Efficiency Point – BEP).

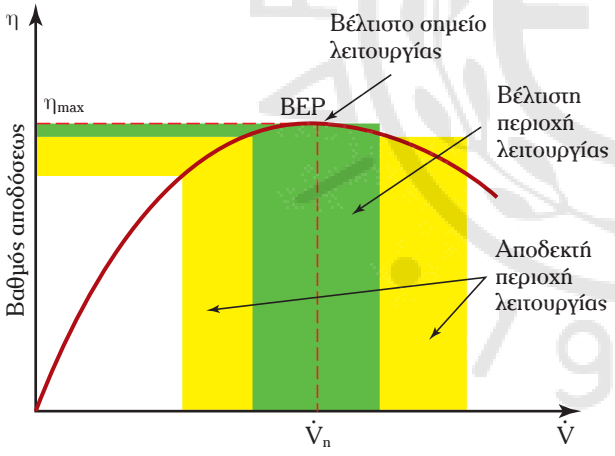
Σύμφωνα με την παράγραφο 6.1, η αποδιδόμενη στο διακινούμενο υγρό ισχύς είναι μικρότερη από την αξονική που καταναλώνει η αντλία.

Πιο συγκεκριμένα, ένα μέρος της αξονικής ισχύος καταναλώνεται για την αντιμετώπιση των μηχανικών τριβών (απώλειες εδράνων και δίσκου), ένα άλλο για την αντιμετώπιση της κυκλοφορία του υγρού εντός της αντλίας (απώλειες κρούσεων και διαρροών) και ένα άλλο για την αντιμετώπιση των υδραυλικών τριβών (απώλειες τριβών). Εφόσον οι στροφές και η διάμετρος της πτερωτής είναι δεδομένες, οι απώλειες λόγω μηχανικών τριβών είναι πρακτικά ανεξάρτητες από την παροχή, οι απώλειες λόγω της κυκλοφορίας του υγρού της αντλίας παίρνουν μεγάλες τιμές στις μικρές παροχές και οι απώλειες λόγω τριβών παίρνουν μεγάλες τιμές, στις μεγάλες παροχές (σχ. 5.2δ). Υπάρχει λοιπόν άμεση εξάρτηση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας $\eta = P_o / P_a$ από την παροχή:

Αν η και D είναι σταθερά, τότε:

$$\eta = f_3 (\dot{V}) \qquad (6.7)$$

Η συνάρτηση $\eta = f_3 (\dot{V})$ εκφράζεται από διάγραμμα, το οποίο καλείται ***χαρακτηριστική καμπύλη βαθμού αποδόσεως-παροχής της αντλίας*** ή απλά ***καμπύλη η – V̇***. Το διάγραμμα αυτό έχει πάντοτε τη μορφή του σχήματος 6.1γ.



Σχ. 6.1γ
Καμπύλη η – V̇ δυναμικών αντλιών και βέλτιστο σημείο λειτουργίας.

Η κλίση της καμπύλης (πόσο απότομα ανεβαίνει από το 0% στο η_{max} και κυρίως πόσο απότομα κατεβαίνει για παροχές $\dot{V} > \dot{V}_n$), καθώς και το σημείο της μέγιστης αποδόσεως, εξαρτώνται από την ειδική ταχύτητα της αντλίας.

Όπως είναι φυσικό, οι κατασκευαστές σχεδιάζουν και προτείνουν κάθε αντλία να λειτουργεί σε συνθήκες μέγιστης παροχής, δηλαδή στο σημείο της καμπύλης η – V̇ που αντιστοιχεί στο η_{max}. Το σημείο αυτό καλείται ***βέλτιστο σημείο λειτουργίας*** (Best Efficiency Point – BEP). Η παροχή που αντιστοιχεί στο BEP καλείται ***βέλτιστη*** ή ***κανονική παροχή*** ($\dot{V}_n$), της αντλίας. Αντίστοιχα, το ύψος καλείται κανονικό αποδιδόμενο ύψος (H_n), και η ισχύς κανονική ισχύς (P_n).

Παρατηρείται ότι για λίγο μικρότερες ή μεγαλύτερες τιμές της παροχής, η μείωση του βαθμού αποδόσεως είναι μικρή. Η περιοχή αυτή συνίσταται επίσης ως κατάλληλη για τη λειτουργία της αντλίας και καλείται ***βέλτιστη περιοχή λειτουργίας***. Όταν η αντλία λειτουργεί σ' αυτήν την περιοχή, έχει μεγάλη απόδοση, μικρότερο θόρυβο και στρωτή λειτουργία (μείωση δονήσεων). Συνήθως, ***η βέλτιστη περιοχή ορίζεται ως η περιοχή στην οποία ο βαθμός αποδόσεως αποκλίνει ως 15% από τη μέγιστη τιμή του***. Υπάρχει επίσης μία ευρύτερη περιοχή (για ακόμα μικρότερες ή μεγαλύτερες παροχές, στο σχήμα με κίτρινο χρώμα) στην οποία, αν και ο βαθμός αποδόσεως έχει μειωθεί αρκετά, οι συνθήκες λειτουργίας είναι αποδεκτές. Πέρα απ' αυτήν την περιοχή πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της αντλίας, όχι μόνο επειδή είναι αντιοικονομική, αλλά επειδή υπάρχει κίνδυνος σοβαρών βλαβών.

Υπενθυμίζεται ότι η ειδική ταχύτητα της αντλίας υπολογίζεται για το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της.

6.1.4 Η καμπύλη NPSHr = f_4 (V̇) ή NPSHr – V̇.

Τελευταία (αλλά όχι μικρότερης σημασίας) σχέση που καθορίζει μαζί με τις προηγούμενες την επιλογή, τοποθέτηση και χρήση των δυναμικών αντλιών, είναι η σχέση μεταξύ του απαιτούμενου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως NPSHr και της παροχής V̇. Όπως αναφέρθηκε (παράγρ. 5.6.1), το NPSHr δίνεται από την (υπολογιστικά μη αξιοποιήσιμη) εξίσωση (5.33):

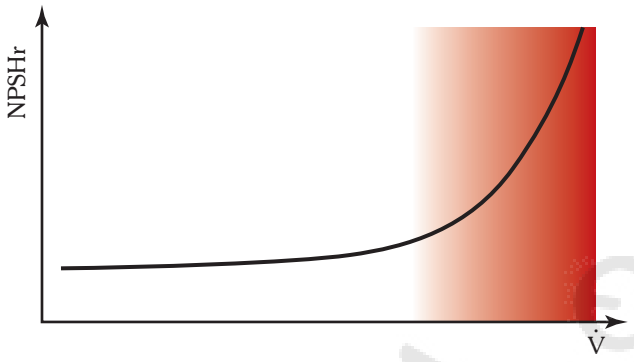
$$NPSHr = h_{AA'f} + \frac{v_{A'}^2}{2g}$$

Τόσο όμως οι απώλειες $h_{AA'}$ όσο και η ταχύτητα $v_{A'}$ είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής. Επομένως, το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως, είναι μικρό για μικρές παροχές και αυξάνει απότομα για μεγάλες (με την αύξησή του, αυξάνει και ο κίνδυνος σπηλαιώσεως). Επειδή τόσο οι απώλειες όσο και η θέση του σημείου A' εξαρτώνται από την γεωμετρία εισόδου που έχει επιλεγεί στην πτερωτή, η παραπάνω σχέση εκφράζεται γραφικά:

Αν n και $D_{εισ}$ είναι σταθερά, τότε

$$NPSHr = f_4(\dot{V}) \qquad (6.8)$$

Η μορφή της καμπύλης NPSHr – $\dot{V}$ φαίνεται στο σχήμα 6.1δ.



Σχ. 6.1δ
Καμπύλη NPSHr – $\dot{V}$ δυναμικών αντλιών.

Παρατηρούμε πως στις μεγάλες παροχές το NPSHr αυξάνει πολύ και επομένως ο κίνδυνος της σπηλαιώσεως είναι άμεσος. Πρόκειται για περιοχή, την οποία πρέπει να αποφύγομε κατά τη λειτουργία της αντλίας. Οι σχεδιαστές των αντλιών φροντίζουν (με την κατάλληλη διαμόρφωση της εισόδου στην αντλία και την πτερωτή, παράγρ. 5.6.3) να επιτυγχάνουν όσο το δυνατόν μικρότερες τιμές NPSHr για το BEP και γενικότερα για την περιοχή βέλτιστης λειτουργίας της αντλίας. Η περιοχή βέλτιστης λειτουργίας της αντλίας πρέπει να βρίσκεται πριν από την επιρρεπή σε σπηλαίωση περιοχή παροχών.

Μερικές φορές τα διαγράμματα H – $\dot{V}$ και P – $\dot{V}$ αντί να αναφέρονται στις απόλυτες τιμές των μεγεθών αυτών, αναφέρονται στις σχετικές τιμές ως προς τα αντίστοιχα μεγέθη που αντιστοιχούν στο μέγιστο βαθμό αποδόσεως: H/H_n, P/P_n, $\dot{V}/\dot{V}_n$ (%).

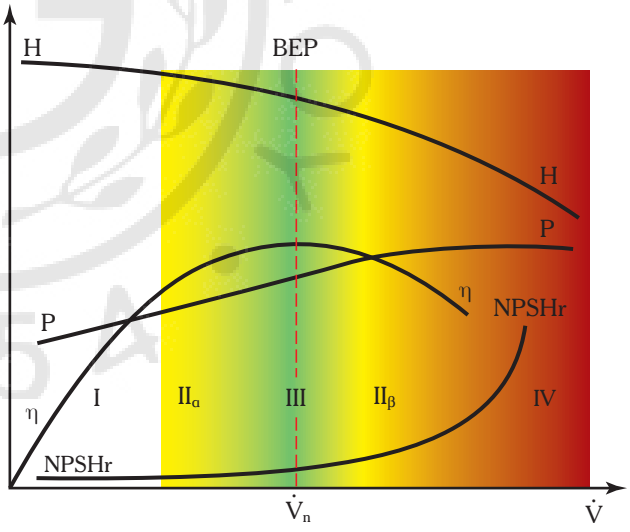
6.1.5 Σύνθετο διάγραμμα καμπυλών δυναμικών αντλιών.

Σκοπός των διαγραμμάτων μίας αντλίας με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και στροφές, είναι να δώσουν μία συνολική εικόνα της αντλίας, εποπτεία της λειτουργίας της και δυνατότητα υπολογισμών επί του συστήματος αντλήσεως στο οποίο είναι τοποθετημένη. Δεν θα ήταν καθόλου πρακτικό αν για κάθε αντλία τα μεγέθη παρουσιάζονταν σε τέσσερα ανεξάρτητα διαγράμματα H – $\dot{V}$, P – $\dot{V}$, η – $\dot{V}$ και NPSHr – $\dot{V}$ και δεν υπάρχει λόγος για κάτι τέτοιο, διότι και οι τέσσερεις καμπύλες έχουν κοινή τετμημένη την παροχή $\dot{V}$. Επομένως, παρέχεται η δυνατότητα να τοποθετηθούν και οι τέσσερεις καμπύλες σε ένα διάγραμμα[1], χρησιμοποιώντας τον ίδιο άξονα τετμημένων (παροχή $\dot{V}$) και διαφορετικό άξονα τεταγμένων για κάθε καμπύλη.

Έτσι λαμβάνεται το σύνθετο διάγραμμα του σχήματος 6.1ε (στο οποίο σε κάθε καμπύλη αντιστοιχεί και ένας κάθετος άξονας τιμών). Στο διάγραμμα αυτό δύναται να γίνουν κάποιες ουσιαστικές διαπιστώσεις για τη λειτουργία της αντλίας. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, διακρίνονται ***τέσσερεις ζώνες παροχών*** (και τιμών των αντιστοίχων μεγεθών):

1) Η ***βέλτιστη περιοχή*** λειτουργίας που είναι η (III), γύρω από το BEP.

2) Η ***αποδεκτή περιοχή*** λειτουργίας που είναι η (IIα και IIβ) γύρω από τη βέλτιστη.



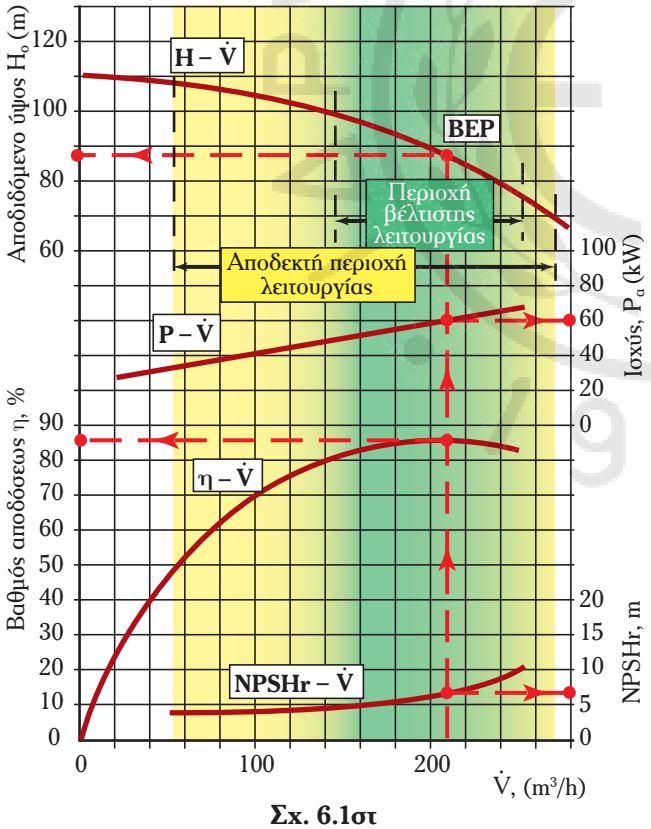
Σχ. 6.1ε
Καμπύλες αντλίας.

[1] Τα διαγράμματα δίνουν πάντοτε τιμές προσεγγιστικές. Ο διπλός υπολογισμός (από τα διαγράμματα και αναλυτικά) της αποδιδόμενης ισχύος ενδείκνυται να πραγματοποιείται, ώστε να επιβεβαιώνονται οι τιμές που διαβάζονται στα διαγράμματα. Επίσης, τα διαγράμματα του κατασκευαστή δίνονται για αντλούμενο υγρό το νερό. Επομένως, όταν αυτό αντικαθίσταται με άλλο υγρό, η ισχύς του διαγράμματος πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί τη σχετική πυκνότητα του υγρού: $P_α = γ \cdot \dot{V} \cdot H_o/η$, $P_{αυ} = γ_υ \cdot \dot{V} \cdot H_o/η \Rightarrow P_{αυ} = ρ_{σχ} \cdot P_α$ όπου $P_α$, η αξονική ισχύς της αντλίας, $P_{αυ}$, η αξονική ισχύς για άλλο υγρό, $γ = ρ \cdot g$, το ειδικό βάρος του νερού και $γ_υ$, το ειδικό βάρος υγρού διαφορετικό του νερού.

3) Στην περιοχή μικρών παροχών (I) που πρέπει να αποφευχθεί η παρατεταμένη χρήση της αντλίας, επειδή, εκτός από την αντιοικονομική λειτουργία, υπάρχουν κίνδυνοι σημαντικών βλαβών λόγω θερμάνσεως της αντλίας (η μικρή παροχή δεν απάγει τη θερμότητα) και δονήσεων.

4) Τέλος, στην περιοχή (IV) πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της αντλίας, διότι ο κίνδυνος της σπηλαιώσεως (λόγω υψηλών τιμών NPSHr) είναι άμεσος. Στις αντλίες με καμπύλη ισχύος υπερφορτίσεως, άμεσος είναι και ο κίνδυνος υπερφορτίσεως του κινητήρα. Επίσης, η αξονική ώθηση λαμβάνει μεγάλες τιμές.

Όμως το διάγραμμα αυτό που δίνει εξαιρετικά ποιοτικά στοιχεία, καθίσταται δύσχρηστο, αν τοποθετηθούν και οι τέσσερεις διαφορετικοί άξονες τεταγμένων (H, P, η, NPSHr) και συγκεκριμένες τιμές για τον καθένα. Είναι προτιμότερο να διατηρηθεί ο οριζόντιος άξονας της παροχής και να τοποθετηθούν η μία καμπύλη (με τον αντίστοιχο άξονα) κάτω από την άλλη.



Σχ. 6.1στ

Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας κατά ISO.

Ο ISO, προτείνει τη δομή καμπυλών του σχήματος 6.1στ, αλλά και με παράλληλη καταγραφή των στοιχείων της αντλίας, του ρευστού και των δοκιμών. Το διάγραμμα του σχήματος αναφέρεται σε συγκεκριμένη αντλία και την περιγράφει όχι μόνο ποιοτικά, αλλά και ποσοτικά (έχει τιμές μεγεθών). Στο διάγραμμα παρατηρείται για παράδειγμα πώς η συγκεκριμένη αντλία όταν λειτουργεί στο σημείο βέλτιστης λειτουργίας της (BEP) δίνει παροχή $\dot{V} = 210\,m^3/h$, αποδίδει ύψος $H_o = 89\,m$, καταναλώνει ισχύ $P_a = 60$ kW και έχει βαθμό αποδόσεως ≈ 85%.

Από το διάγραμμα της αντλίας, δύναται να υπολογιστεί η ειδική της ταχύτητά. Έτσι, αν η αντλία του σχήματος 6.1στ λειτουργεί στις 1.500 rpm, η ειδική ταχύτητα (υπολογιζόμενη πάντοτε στο BEP) θα είναι:

$$N_{SU} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{\dot{V}_n^{0,5}}{(g \cdot H_n)^{0,75}} \Rightarrow N_{SU} = 0,236$$

Δηλαδή πρόκειται για τυπική φυγοκεντρική αντλία, ο τύπος της οποίας μπορεί να προσδιορισθεί και από τις μορφές των καμπυλών (κυρίως από την καμπύλη P – V̇).

Σημειώνεται ότι οι τύποι που συναντήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, ισχύουν και για τις τιμές που λαμβάνονται από τα διαγράμματα των χαρακτηριστικών καμπυλών. Έτσι, για την αποδιδόμενη ισχύ στο ρευστό (P_o) και για διακινούμενο ρευστό το νερό, δίνεται:

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o \quad \text{και} \quad P_o = \eta \cdot P_a$$

Οι τιμές αυτές πρέπει να δίνουν κατά προσέγγιση την ίδια αποδιδόμενη ισχύ, όποιος και από τους δύο παραπάνω τύπους κι αν εφαρμόζεται[2], δηλαδή:

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o \quad \text{ή} \quad P_o = \rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot H_o$$

$$\text{ή} \quad P_o = 1.000 \frac{kg_f}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s} \cdot \frac{210}{3600} \frac{m^3}{s} \cdot 89\,m$$

$$\text{ή} \quad P_o = 51,9\,kW$$

Παράδειγμα 1.

Αν η αντλία με χαρακτηριστικές καμπύλες αυτές του σχήματος 6.1στ αντλεί υγρό σχετικής πυκνότητας $\rho_υ$ 0,9 με παροχή 150 m^3/h, να υπολογισθεί, το αποδιδόμενο ύψος, η αξονική και αποδιδόμενη ισχύς, ο βαθμός αποδόσεως και το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως.

[2] $P_o = \eta \cdot P_{αν} \Rightarrow P_o = 0,855 \cdot 60\,kW \Rightarrow P_o = 51,3\,kW$. (Επίσης 1 J/h = 0,0002777777778W).

Λύση:

Δεδομένα: $\rho_υ = 0,9$, $\dot{V} = 150\ m^3/h$, διάγραμμα σχήματος 6.1στ και 6.1ζ.

Ζητούμενα: H_o, $P_υ$ P_o, n, NPSHr.

Από το διάγραμμα (σχ. 6.1ζ) βρίσκονται τα σημεία τομής της γνωστής παροχής ($150\ m^3/h$) με τις καμπύλες $H-\dot{V}$, $P-\dot{V}$), $\eta-\dot{V}$ και $NPSHr-\dot{V}$. Στη συνέχεια διαβάζονται οι τιμές που αντιστοιχούν στις κλίμακες τιμών, οι οποίες είναι:

$$H = H_o = 99\ m$$

$$P_α = 50\ kW$$

$$\eta = 81,5\%$$

$$NPSHr = 5\ m$$

Επειδή το αντλούμενο ρευστό δεν είναι νερό, η τιμή της αξονικής ισχύος για το αντλούμενο ρευστό ($P_{αυ}$) πρέπει να διορθωθεί:

$$P_{αυ} = \rho_υ \cdot P_α$$

ή $$P_υ = \rho_υ \cdot P_α = 0,9 \cdot 50\ kW = 45\ kW$$

Η αποδιδόμενη ισχύς δεν παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 6.1ζ, αλλά υπολογίζεται από τη σχέση:

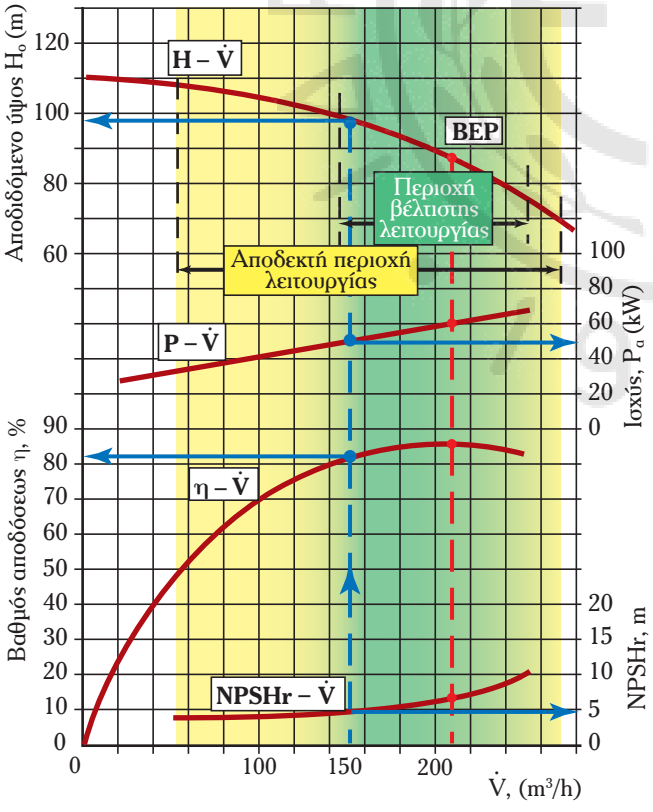
$$P_{ου} = \rho_υ \cdot \gamma_{H_2O} \cdot \dot{V} \cdot H_o$$

όπου: $\rho_υ$, είναι η πυκνότητα του υγρού, γ, το ειδικό βάρος του νερού σε N/m^3 (το ειδικό βάρος του νερού στο SI είναι $9.806,65\ N/m^3$), $\dot{V}$, η παροχή σε m^3/s και H_o, το ύψος που αποδίδει η αντλία σε m. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι:

$$P_{ου} = 0,9 \cdot 9.806,65 \frac{N}{m^3} \cdot \frac{150}{3.600} \frac{m^3}{s} \cdot 99\ m$$

ή $$P_{ου} = 36.407\ W$$

ή $$P_{ου} = 36,47\ kW$$



Σχ. 6.1ζ

Χαρακτηριστικές καμπύλες.

6.2 Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες.

Στην παραπάνω ανάλυση θεωρήθηκαν σταθερές οι στροφές n και η διάμετρος της πτερωτής D (για το NPSHr, την $\dot{V}_{εισ}$). Όμως συνήθως μία αντλία έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε διάφορες στροφές, διότι η πτερωτή της μπορεί να αντικατασταθεί με άλλη διαφορετικής διαμέτρου. Επομένως, οι συναρτήσεις που προκύπτουν για το ύψος, την ισχύ, το βαθμό αποδόσεως και το NPSHr είναι:

$$H = f_1(\dot{V}, n, D)$$

$$P = f_2(\dot{V}, n, D)$$

$$\eta = f_3(\dot{V}, n, D)$$

$$NPSHr = f_4(\dot{V}, n, D_{εισ})$$

Παρατηρείται ότι η καθεμιά απ' αυτές έχει τέσσερεις μεταβλητές, επομένως είναι αδύνατη η γραφική τους απεικόνιση. Αν διατηρηθεί μία από τις δύο νέες μεταβλητές σταθερή, για παράδειγμα ***D = σταθερή***, θα προκύψουν οι συναρτήσεις:

$$H = f_1(\dot{V}, n)$$

$$P = f_2(\dot{V}, n)$$

$$n = f_3(\dot{V}, n)$$

$$NPSHr = f_4(\dot{V}, n)$$

Αυτές τώρα οι συναρτήσεις (τριών πλέον μεταβλητών) δύναται να αποτυπωθούν σε τρισδιάστατο χώρο με άξονες συντεταγμένων την παροχή $\dot{V}$, τις στροφές n και για κάθε συνάρτηση το αντίστοιχο μέγεθος. Έτσι θα ληφθούν για κάθε συνάρτηση, αντί για μία χαρακτηριστική καμπύλη, μία χαρακτηριστι-

κή επιφάνεια, προκύπτοντας οι ***χαρακτηριστικές επιφάνειες των αντλιών***, οι οποίες όμως δεν έχουν πρακτική αξία (δηλ. δεν μπορούμε να διαβάσομε τιμές μεγεθών).

Πολύ πιο πρακτικό είναι στα διαγράμματα δύο διαστάσεων που ήδη παρουσιάστηκαν, να προστεθούν και οι άλλες καμπύλες, οι οποίες αντιστοιχούν σε άλλες τιμές στροφών (ή διαμέτρου αν θεωρηθούν οι στροφές σταθερές). Έτσι προκύπτουν οι ***πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών***, οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και πρακτικές.

Στο σχήμα 6.2α εμφανίζεται (ποιοτικά) ένα διάγραμμα πλήρων χαρακτηριστικών καμπυλών αντλίας με ορισμένη διάμετρο πτερωτής για διάφορες στροφές. Όπως είναι φυσικό, το αποδιδόμενο ύψος και η καταναλισκόμενη ισχύς, αυξάνουν με την αύξηση της περιστροφικής ταχύτητας:

$$n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < n_5$$

Παρατηρώντας τα διαδοχικά επίπεδα αποδόσεων, όσο απομακρυνόμαστε από το BEP τόσο πιο αντιοικονομική γίνεται η λειτουργία της αντλίας.

Αν η αντλία λειτουργεί σε ενδιάμεσες στροφές n, για παράδειγμα $n_2 < n < n_3$, υποθέτουμε κατά προσέγγιση καμπύλες ύψους και ισχύος ανάμεσα στις καμπύλες που αντιστοιχούν στις τιμές n_2 και n_3.

Σημειώνεται ότι σε κάθε αριθμό στροφών, η αντίστοιχη καμπύλη έχει το δικό της σημείο βέλτιστης λειτουργίας.

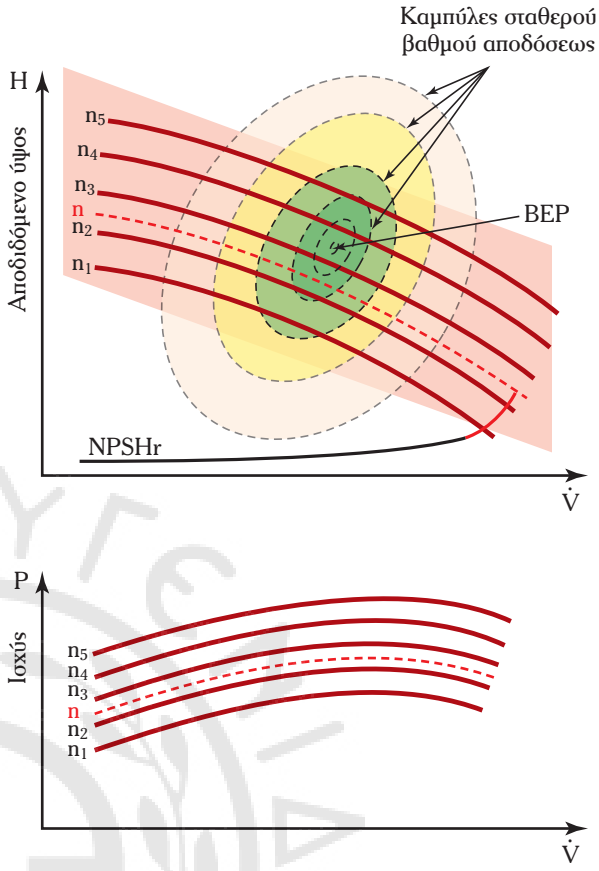
Στο διάγραμμα του σχήματος 6.2α έχει τοποθετηθεί μόνο μία (απλώς ενδεικτική) καμπύλη NPSHr. Για το πέρασμα από τις απλές στις πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες, η συμβολή της θεωρίας της Ομοιότητας είναι εξαιρετικά σημαντική. Όταν αλλάζουν οι στροφές ή η κλίμακα μηκών (λ), λαμβάνεται μία αντλία όμοια με την προηγούμενη. Σύμφωνα με όσα είπαμε για την ομοιότητα των αντλιών [παράγρ. 5.4(2)], είναι γνωστό ότι:

$$\frac{\dot{V}_1}{n_1 \cdot D_1^3} = \frac{\dot{V}_2}{n_2 \cdot D_2^3} \Rightarrow \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \qquad (6.9\alpha)$$

$$\frac{H_1}{n_1^2 \cdot D_1^2} = \frac{H_2}{n_2^2 \cdot D_2^2} \Rightarrow \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \qquad (6.9\beta)$$

$$\frac{P_1}{n_1^3 \cdot D_1^5} = \frac{P_2}{n_2^3 \cdot D_2^5} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \qquad (6.9\gamma)$$

όπου: $D_1 / D_2 = \lambda$, η κλίμακα της γεωμετρικής ομοιότητας.



Σχ. 6.2α

Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας σε διάφορες στροφές (D σταθερή).

Στην περίπτωση κατά την οποία η διάμετρος μένει σταθερή (λ = 1) και μεταβάλλονται οι στροφές, οι σχέσεις ομοιότητας γίνονται:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (6.10\alpha)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad (6.10\beta)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \qquad (6.10\gamma)$$

Αντίστοιχα, στην περίπτωση που αλλαχθεί η κλίμακα μηκών, για σταθερές στροφές προκύπτουν:

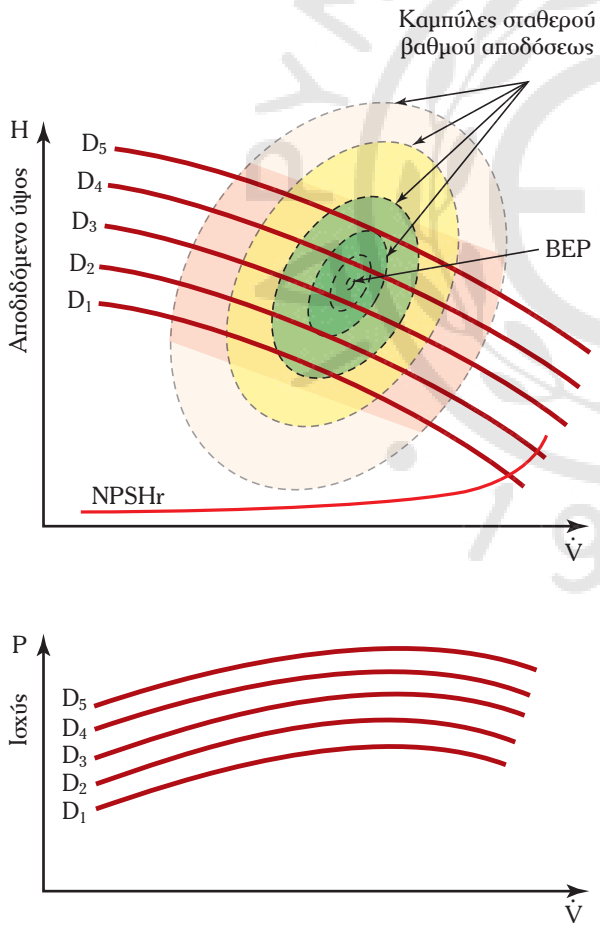
$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \qquad (6.11\alpha)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \qquad (6.11\beta)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \qquad (6.11\gamma)$$

Οι εξισώσεις (6.11 α,β,γ) ισχύουν όταν αλλάξουν αναλογικά όλες οι διαστάσεις της αντλίας (γεωμετρική ομοιότητα) και όχι μόνο η διάμετρος. Δεν ισχύουν επομένως παρά μόνο κατά προσέγγιση στην περίπτωση κατά την οποία γίνει αλλαγή μόνο στην πτερωτή, προσαρμόζοντας τη νέα διάμετρο στο ίδιο μάτι και αφήνοντας αναλλοίωτα τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντλίας.

Η εξαιρετική αυτή δυνατότητα που παρέχουν οι κατασκευαστές στις αντλίες (back pullout pumps) διαμορφώνει σημαντικό πλεονέκτημα (και είναι κρίμα που ορισμένοι χρήστες αντλιών το αξιοποιούν μόνο για λόγους συντηρήσεως της αντλίας). Σ' αυτήν όμως την περίπτωση, ο κατασκευαστής θα δώσει τις πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες για



Σχ. 6.2β

Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας με διάφορες διαμέτρους πτερωτής και στροφές σταθερές.

σταθερές στροφές και διάφορες διαμέτρους πτερωτής. Ένα τέτοιο (ποιοτικό) διάγραμμα παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2β.

Όσον αφορά, στην καμπύλη NPSHr αυτού του διαγράμματος, σημειώνομε ότι είναι ίδια για όλες τις διαμέτρους, εφόσον η διατομή εισόδου στην πτερωτή δεν μεταβάλλεται.

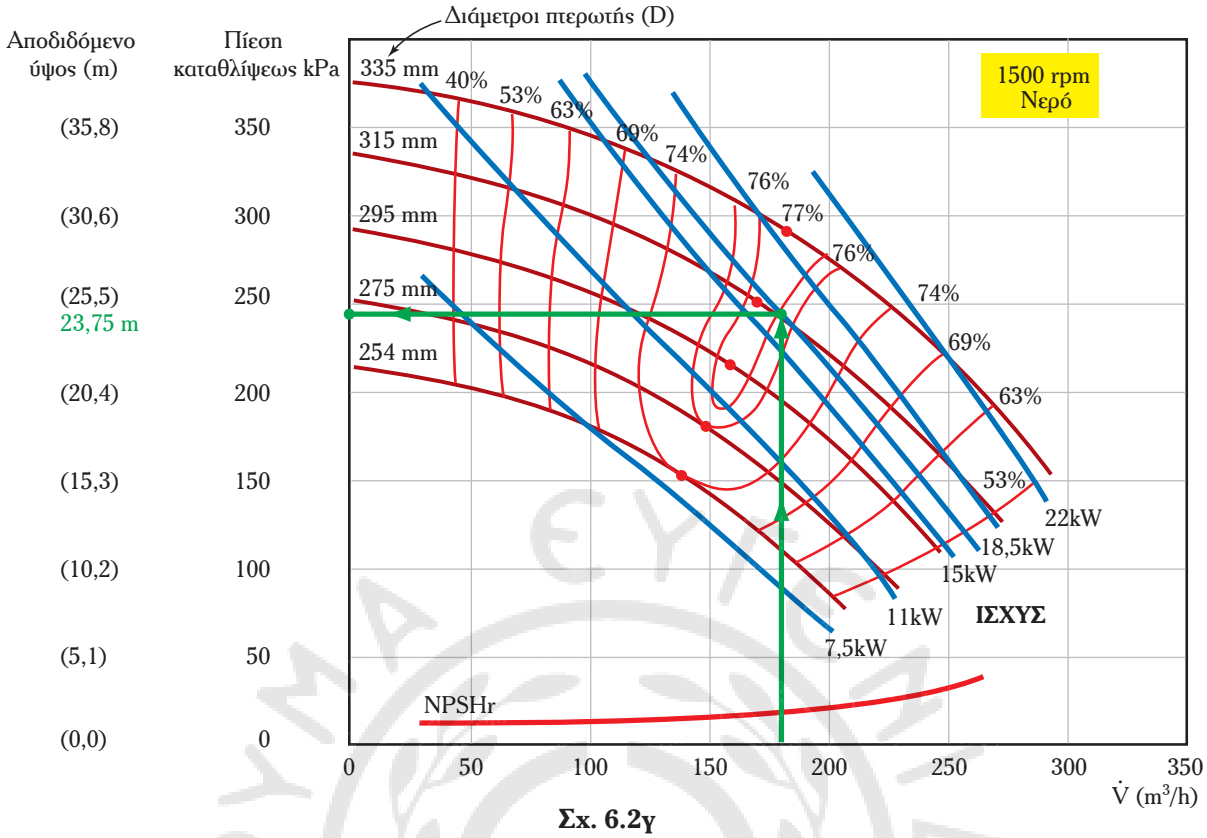
Αν πρέπει να υπολογιστούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της αντλίας όταν εργάζεται με διαφορετικές στροφές, υπολογίζονται από το διάγραμμα τα αντίστοιχα μεγέθη για τις συγκεκριμένες στροφές. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (6.10 α,β,γ) για να επιτευχθεί η αναγωγή των μεγεθών στις στροφές που λειτουργεί η αντλία.

Οι οργανισμοί τυποποιήσεως έχουν εκδώσει συγκεκριμένες προδιαγραφές τόσο για τις δοκιμές, όσο και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα. Πιο πρόσφατο είναι το πρότυπο ISO 9906 (2012): Rotodynamic pumps – Hydraulic performance acceptance tests. Παρόλα αυτά συνεχίζουν να υπάρχουν διαφορές, ανάλογα με τον τύπο της αντλίας, τον κατασκευαστή και τις χρησιμοποιούμενες μονάδες.

Στα σχήματα 6.2γ, 6.2δ και 6.2ε δίνονται διαγράμματα κατασκευαστών για τρεις διαφορετικές δυναμικές αντλίες. Το σχήμα 6.2γ αναφέρεται σε φυγοκεντρική αντλία περιστρεφόμενη με 1.500 rpm και με δυνατότητα αλλαγής διαμέτρου πτερωτής. Παρατηρείται ότι στο διάγραμμα ύψους – παροχής έχουν ενσωματωθεί, εκτός από τις καμπύλες του βαθμού αποδόσεως, και οι καμπύλες ισχύος και NPSHr.

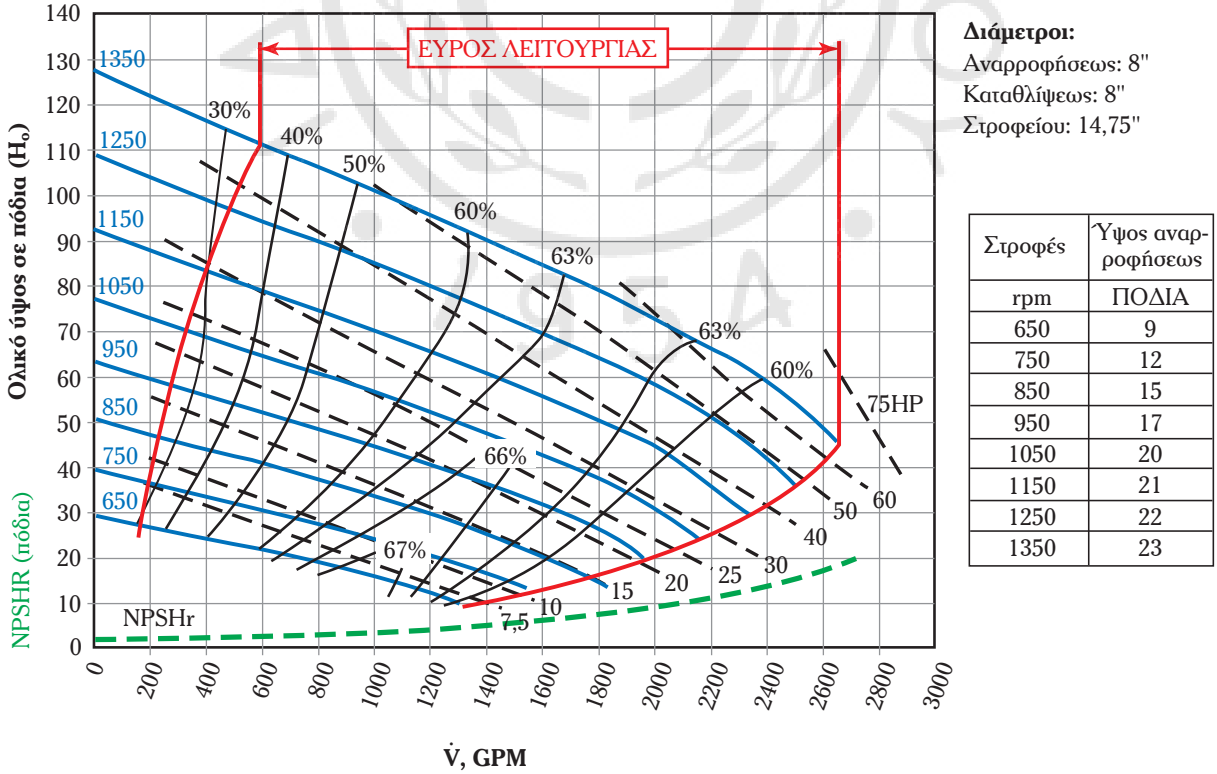
Το διάγραμμα του σχήματος 6.2δ, αναφέρεται σε φυγοκεντρική αντλία σταθερής διαμέτρου πτερωτής, η οποία λειτουργεί σε διάφορες στροφές (μονάδες US, μορφή κατά Hydraulic Institute). Οι καμπύλες του σχήματος 6.2ε αναφέρονται σε αντλία μεικτής ροής, περιστρεφόμενη με 1.480 rpm και ακολουθούν τις προδιαγραφές του ISO 9906.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας που δίνει ο κατασκευαστής αφορούν στην ομαλή λειτουργία της. Αν αυτή διαταραχθεί, διαφοροποιούνται και οι χαρακτηριστικές. Έτσι, αν για παράδειγμα αυξηθεί η περιεκτικότητα του αντλούμενου υγρού σε αέριο η χαρακτηριστική H – V̇ κατεβαίνει χαμηλότερα (μικρότερο αποδιδόμενο ύψος για την ίδια παροχή) με ανάλογες επιπτώσεις και στις άλλες καμπύλες. Όπως θα δούμε παρακάτω, στην περιοχή σπηλαιώσεως, η καμπύλη H – V̇ κατέρχεται απότομα.



Σχ. 6.2γ

Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικής αντλίας (της εταιρείας Armstrong).

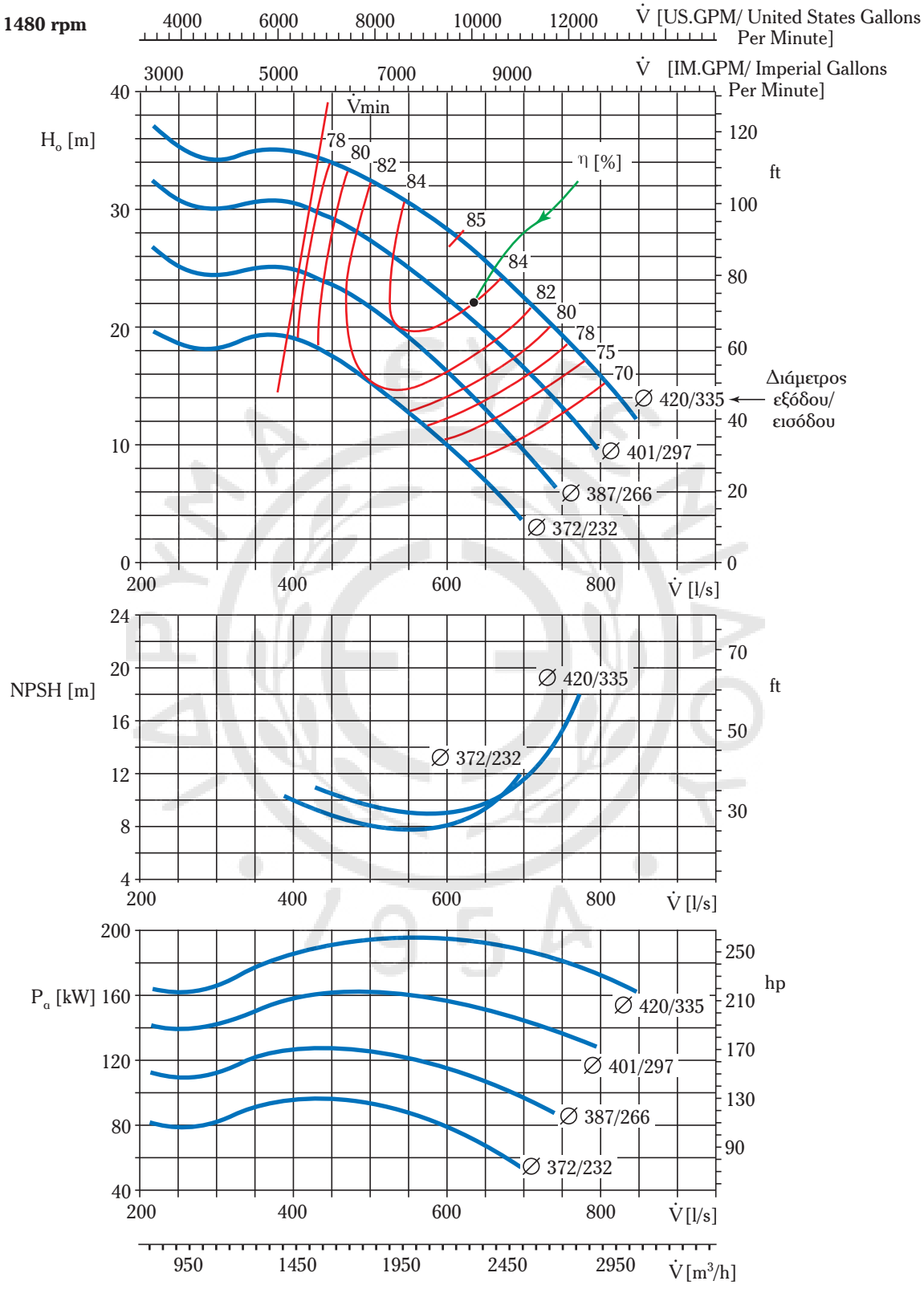


Διάμετροι:
Αναρροφήσεως: 8"
Καταθλίψεως: 8"
Στροφείου: 14,75"

Στροφές	Ύψος αναρροφήσεως
rpm	ΠΟΔΙΑ
650	9
750	12
850	15
950	17
1050	20
1150	21
1250	22
1350	23

Σχ. 6.2δ

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας σταθερής διαμέτρου.



Σχ. 6.2ε

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας μεικτής ροής (για φυγοκεντρικές αντλίες της εταιρείας KSB).

Παράδειγμα 2.

Αντλία με τις χαρακτηριστικές καμπύλες του σχήματος 6.2γ και διάμετρο πτερωτής 315 mm δίνει παροχή νερού 180 m^3/h. Να υπολογισθούν το αποδιδόμενο ύψος (H_o), η αξονική ισχύς ($P_α$), η αποδιδόμενη ισχύς (P_o) και ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας αν η αντλία λειτουργεί (α) στις 1.500 rpm και (β) στις 1.700 rpm, $g = 9{,}81\ m/s^2$.

Δεδομένα: $\dot{V}=180\ m^3/h$, το ειδικό βάρος του νερού: $\gamma_{H_2O} = 9.810\ N/m^3$, η διάμετρος $D = 315$ mm και οι καμπύλες του σχήματος 6.2στ.

Ζητούμενα: H_o, P_o, $P_α$, η για

α) $n_1 = 1.500$ rpm,

β) $n_2 = 1.700$ rpm.

Λύση:

α) Από το σχήμα 6.2στ όπου $n_1 = 1.500$ rpm, $D \equiv 315$ mm και $\dot{V}=180\ m^3/h = 0{,}05\ m^3/s$ λαμβάνονται: πίεση καταθλίψεως $p_κ = 233\ kP_a$ και επειδή ισχύει

$$p_κ = \rho \cdot g \cdot H_o \Rightarrow H_o = \frac{P_κ}{\rho \cdot g}$$

ή $$H_o = \frac{p_κ}{\gamma} = \frac{233 \cdot 10^3\ P_a}{9.810\ N/m^3} \text{ ή } H_o = 23{,}75\ m$$

Επίσης, από το ίδιο διάγραμμα λαμβάνονται:

$P_α = 16$ kW, $\eta = 0{,}752$ και

$$NPSHr \cdot \gamma = 20\ kP_a \Rightarrow NPSHr = \frac{20\ kP_a}{\gamma}$$

$$NPSHr = \frac{20 \cdot 10^3 P_α}{9.810\ N/m^3} = 2{,}04\ m$$

Επειδή ισχύει $\eta = \frac{P_o}{P_α} \Rightarrow P_o = \eta \cdot P_α$

ή $$P_o = 0{,}752 \cdot 16\ kW = 12\ kW$$

(επίσης ισχύει:

$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o =$

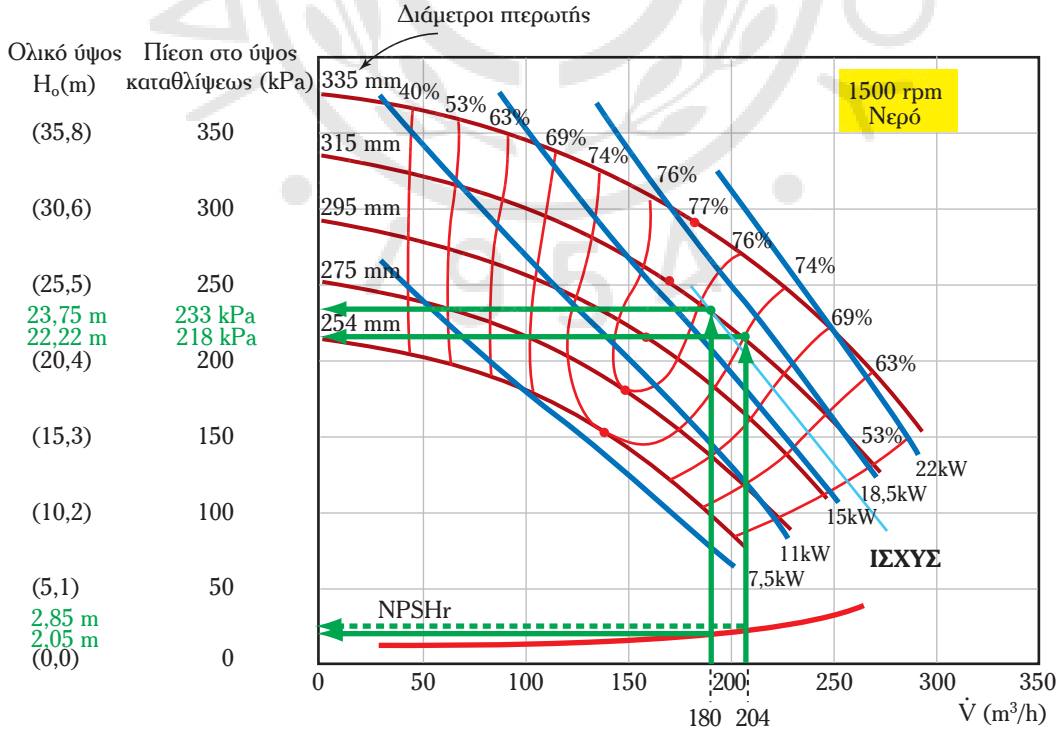
$= 9.810\ N/m^3 \cdot 180/3.600\ m^3/s \cdot 23{,}75\ m =$

$= 11{,}7$ kW επαλήθευση του αποτελέσματος).

Επειδή οι τιμές παροχής και ύψους έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια, επιλέγονται διότι επιτυγχάνεται πιο ακριβής υπολογισμός της αποδιδόμενης ισχύος.

β) Για τον υπολογισμό των αντιστοίχων μεγεθών σε αντλία με $n_2 = 1.700$ rpm χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις της ομοιότητας (6.10α). Ισχύει ότι:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \dot{V}_2 = \dot{V}_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 180\ m^3/h\ \frac{1.700\ rpm}{1.500\ rpm}$$



Σχ. 6.2στ

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργία αντλίας.

ή $\dot{V}_2 = 204\ m^3/h$

Από το διάγραμμα του σχήματος 6.2στ για $\dot{V} = 204\ m^3/h$ και $D = 315\ mm$ λαμβάνονται:

$$H_o \cdot \gamma = p_\kappa \quad \text{ή} \quad H_o \cdot \gamma = 218\ kP_a$$

ή $$H_o = \frac{218 \cdot 10^3 P_a}{9.810\ N/m^3} = 22{,}2\ m$$

Από το ίδιο διάγραμμα επίσης λαμβάνονται:

$$P_\alpha = 16{,}75\ kW, \quad \eta_2 = 74{,}3\% \quad \text{και}$$

$$NPSHr \cdot \gamma = 25\ kP_a$$

ή $$NPSHr = \frac{25 \cdot 10^3 P_a}{9.810\ N/m^3} = 2{,}5\ m$$

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o = 9.810\ N/m^3 \cdot \frac{204}{3.600}\ m^3/s \cdot 22{,}2\ m = 12{,}4\ kW$$

(επειδή ισχύει: $\eta = \frac{P_o}{P_\alpha}$

ή $$P_\alpha = \frac{P_o}{\eta} = \frac{12{,}4\ kW}{0{,}743} = 16{,}67\ kW$$

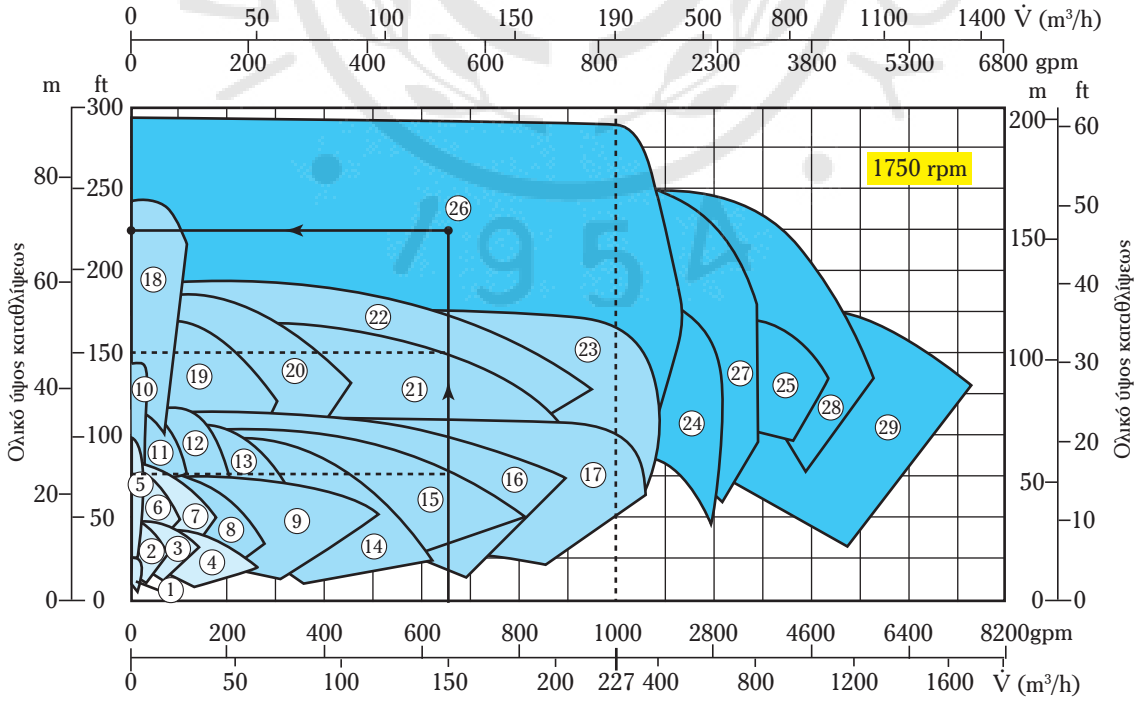
επαλήθευση του προηγούμενου αποτελέσματος P_α).

Η άσκηση μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας τις σχέσεις ομοιότητας (6.10β) και (6.10γ).

– Διαγράμματα επιλογής αντλίας.

Κάθε δυναμική αντλία έχει μία περιοχή βέλτιστης και μία ευρύτερα αποδεκτής λειτουργίας (παράγρ. 6.1.5). Οι περιοχές αυτές σημειώνονται στα διαγράμματα των σχημάτων 6.2α, 6.2β και 6.2δ. Οι κατασκευαστές αντλιών, φροντίζουν να καλύπτουν ένα όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα αναγκών σε αποδιδόμενα ύψη και παροχές. Προκειμένου να διευκολύνουν τους πελάτες στην επιλογή της κατάλληλης για τις ανάγκες τους αντλίας, δίνουν διαγράμματα ύψους-παροχής που καλύπτει ένας τύπος αντλιών, με πολύ μεγάλο εύρος τιμών. Ένα τέτοιο διάγραμμα δεν μπορεί φυσικά να χρησιμοποιηθεί για υπολογισμούς. Η χρήση του εξαντλείται στην επιλογή της κατάλληλης αντλίας. Αυτή θα συνοδεύεται από τις χαρακτηριστικές της καμπύλες. Ένα διάγραμμα επιλογής αντλιών παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2ζ.

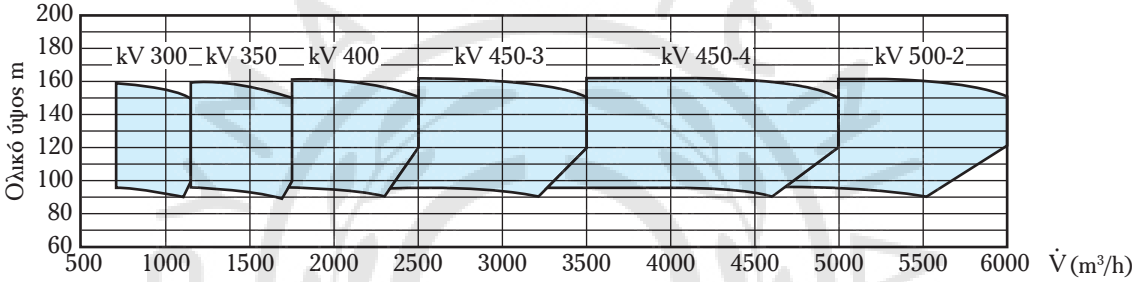
Επίσης, τα διαγράμματα μπορεί να έχουν τη μορφή του σχήματος 6.2η, όπου εμφανίζεται το εύρος λειτουργίας της αντλίας, ώστε ανάλογα με τον τύπο από τα κατασκευαστικά της χαρακτηριστικά να επιλεχθεί ο καταλληλότερος για τις απαιτήσεις του συστήματος.



Σχ. 6.2ζ

Διάγραμμα επιλογής αντλίας.

Μοντέλο αντλίας			kV300	kV350	kV400	kV450-3	kV450-4	kV500-2
Παροχή $\dot{V}$		m^3/h	1000	1500	2000 2500	3000 3500	4000 4500 5000	5500 6000
Ολικό ύψος (H_o)		m	120	130	135	140	145	150
Στροφές (η)		rpm	1750	1810	1540 1580	1370 1410	1170 1180 1190	1090 1100
Ισχύς στον άξονα (P_a)		kW	420	660	890 1110	1370 1600	1890 2120 2360	2680 2930
Διάμετρος εισόδου - εξόδου	Αναρρόφηση	mm	350	400	450	600	600	700
	Κατάθλιψη	mm	300	350	400	450	450	500
Βάρος		kg_f	1030	1300	1400	2400	3000	3800



Σχ. 6.2η

Εύρος λειτουργίας τύπων αντλίας.

6.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών θετικής εκτοπίσεως.

Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2, μία παλινδρομική αντλία διπλής ενέργειας που λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα, δίνει πραγματική παροχή $\dot{V}$ που μπορεί να υπολογισθεί από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συστήματος κυλίνδρου-εμβόλου και από στροφές του στροφαλοφόρου άξονα.

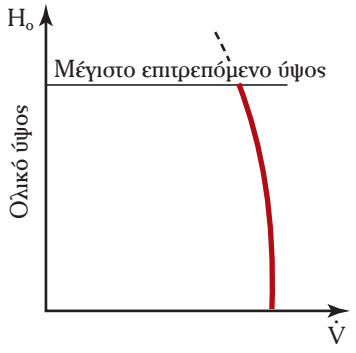
Σύμφωνα με τις εξισώσεις (2.7) και (2.8) έχομε:

$$V = \eta_v \cdot \frac{\pi \cdot (2D^2 - d^2)}{4} \cdot s \cdot n$$

Αν οι εσωτερικές διαρροές είναι αμελητέες, η παροχή είναι σταθερή. Άρα η παροχή εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντλίας και τις στροφές του στροφαλοφόρου και όχι από το ύψος που αντιμετωπίζει η αντλία. Αυτό ισχύει με ικανοποιητική ακρίβεια για σχετικά μικρά ύψη.

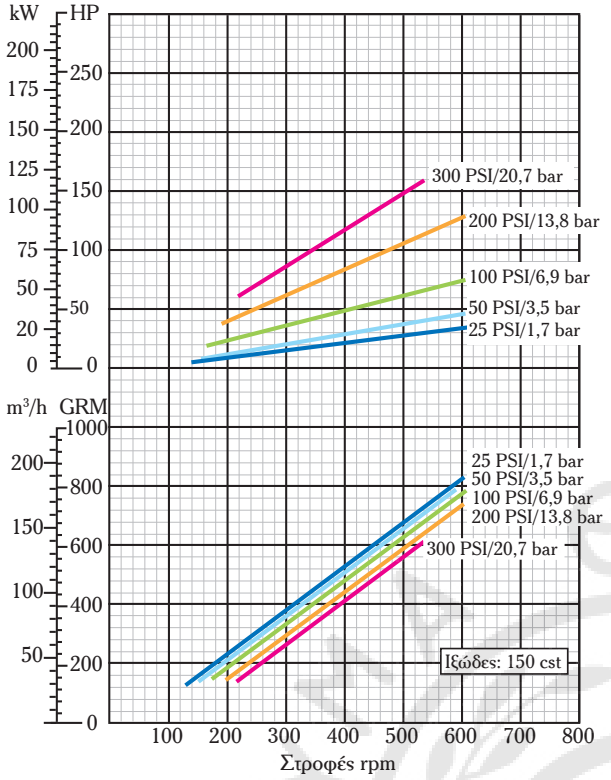
Όταν όμως το ύψος που αποδίδει η αντλία αυξηθεί σημαντικά, οι εσωτερικές διαρροές είναι αναπόφευκτες, ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως η_V μειώνεται, επομένως μειώνεται και η παροχή.

Αντίστοιχη είναι η συμπεριφορά και των περιστροφικών αντλιών θετικής εκτοπίσεως (με ελαφρά μεγαλύτερη κάμψη της καμπύλης H – $\dot{V}$). Δύναται κατά συνέπεια να γίνει ποιοτική απεικόνιση στη σχέση ύψους-παροχής σε όλες τις αντλίες θετικής εκτοπίσεως με το διάγραμμα του σχήματος 6.3α. Τυπικά διαγράμματα χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας ισχύος και παροχής σε σχέση με τις στροφές γραναζωτής αντλίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3β.



Σχ. 6.3α

Καμπύλη H – $\dot{V}$ αντλίας θετικής εκτοπίσεως.



Σχ. 6.3β

Διαγράμματα γραναζωτής αντλίας.

6.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συστήματος αντλήσεως.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών (και ιδιαίτερα η καμπύλη H – V̇) παρέχουν τις δυνατότητες των αντλιών. Ανάλογα με τις συνθήκες, μία συγκεκριμένη αντλία θα λειτουργήσει σε ένα σημείο, το οποίο θα βρίσκεται πάνω στις καμπύλες που τη χαρακτηρίζουν. Εφόσον η αντλία λειτουργεί με ορισμένη διάμετρο πτερωτής και με συγκεκριμένο αριθμό στροφών, το σημείο όπου θα λειτουργήσει η αντλία, εξαρτάται από το σύστημα στο οποίο είναι τοποθετημένη.

6.4.1 Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος.

Η αντλία βρίσκεται πάντοτε τοποθετημένη σε ένα σύστημα αντλήσεως, στο οποίο παρέχει την αναγκαία ενέργεια για την άντληση του υγρού. Έχει κατά συνέπεια να αντιμετωπίσει τις υδραυλικές απώλειες στο σωλήνα αναρροφήσεως και στο σωλήνα καταθλίψεως, την αύξηση της δυναμικής, κινητικής ενέργειας και της ενέργειας πιέσεως του υγρού (για συντομία, τις ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος αντλήσεως). Το ολικό ενεργειακό ύψος που απαιτεί το σύστημα και αποδίδει η αντλία (παράγραφος 4.3.2), υπολογίζεται από την εξίσωση ενέργειας [εξίσωση (4.17)] (γνωστή και ως εξίσωση Bernoulli για αντλίες):

$$H_o = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma h_f$$

Ένα σύστημα αντλήσεως θεωρείται γνωστό όταν είναι δεδομένα:

1) Τα μεγέθη των σωλήνων αναρροφήσεως και καταθλίψεως (μήκη L, διάμετροι d, τραχύτητες ε, συντελεστές τοπικών απωλειών K).

2) Το στατικό ύψος $H_\Sigma = z_2 - z_1$.

3) Οι πιέσεις στη δεξαμενή αναρροφήσεως p_1 και στο χώρο καταθλίψεως p_2.

Όταν τα παραπάνω στοιχεία είναι γνωστά, η εξίσωση ενέργειας μπορεί να λάβει τη μορφή:

$$H = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2 \qquad (6.12)$$

όπου: ***α*** ο ***στατικός συντελεστής*** που δίνεται ως:

$$\alpha = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \qquad (6.12\alpha)$$

και ***β*** ο ***δυναμικός συντελεστής*** που δίνεται ως:

$$\beta = \frac{8}{\pi^2 g}\left[\left(f_\alpha \frac{L_\alpha}{d_\alpha} + \Sigma K_\alpha\right)\cdot\frac{1}{d_\alpha^4} + \left(f_\kappa \frac{L_\kappa}{d_\kappa} + \Sigma K_\kappa\right)\cdot\frac{1}{d_\kappa^4} + \frac{1}{d_2^4}\right] \qquad (6.12\beta)$$

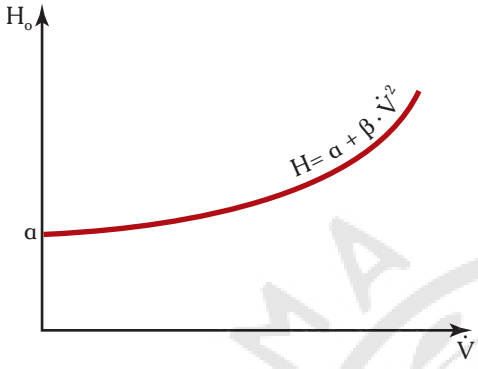
(Αν υπάρχει δεξαμενή καταθλίψεως, $d_2 \to \infty$ τότε $1/d_2^4 = 0$).

Οι συντελεστές α και β είναι σταθεροί και εξαρτώμενοι από τα δεδομένα του συστήματος αντλήσεως[3]. Ειδικότερα, ο β μεταβάλλεται λίγο στις μικρές παροχές, λόγω μεταβολής των συντελεστών τριβής (αναρροφήσεως f_α και καταθλίψεως f_κ), σταθεροποιείται όμως για σχετικά μεγάλες παροχές. Αυτές οι μικρές μεταβολές δεν έχουν καμιά πρακτική αξία. Μπορούμε να υπολογίσομε τους συντελεστές τριβής f_α και f_κ για πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδη ροή.

Η εξίσωση (6.12) αποτελεί συνάρτηση δεύτερου βαθμού της παροχής ως προς το ύψος. Σε σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων, με άξονα τετμημένων την παροχή και τεταγμένων το αποδιδόμενο ύψος,

[3] Περισσότερη ανάλυση στο βιβλίο Μηχανική Ρευστών, Νικολάου Πάντζαλη, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2008.

παρίσταται με την καμπύλη του σχήματος 6.4α. Η καμπύλη αυτή (η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από το σύστημα αντλήσεως και δεν έχει καμία σχέση με την αντλία) καλείται ***χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος*** (ή σωληνογραμμής). Εξετάζοντας την εξίσωση (6.12) διαπιστώνεται ότι η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος έχει ***ελάχιστη τιμή α*** ίση με το άθροισμα του στατικού ύψους και του ύψους πιέσεως της σωληνογραμμής.



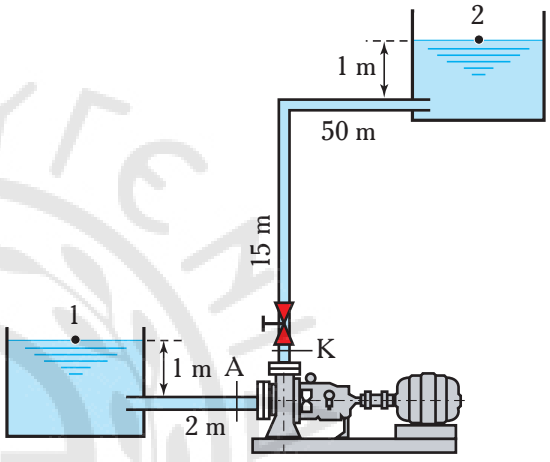
Σχ. 6.4α

Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος αντλήσεως.

Η ***κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης της σωληνογραμμής***, εξαρτάται από την τιμή του συντελεστή β. Όσο πιο μεγάλος είναι, τόσο πιο απότομα ανεβαίνει η καμπύλη, άρα και οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος από την αντλία. Η τιμή του β εξαρτάται κυρίως από τη διάμετρο καταθλίψεως, αλλά και από το μήκος του σωλήνα καταθλίψεως καθώς και τους συντελεστές τοπικών απωλειών σ' αυτόν (π.χ. η αύξηση της ταχύτητας στο εσωτερικό των σωλήνων από την επικάθιση αλάτων στο δίκτυο ενός πλοίου). Συνήθως, η συνεισφορά του σωλήνα αναρροφήσεως στην τιμή του β δεν είναι μεγάλη, διότι η αναρρόφηση σχεδιάζεται έτσι ώστε να έχει όσο το δυνατόν μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις, για να αποτρέπεται η σπηλαίωση. Σε ένα δεδομένο σύστημα αντλήσεως, δύναται να αυξήσομε την τιμή του συντελεστή β (άρα και την κλίση της καμπύλης) κλείνοντας μερικώς ένα επιστόμιο στην κατάθλιψη της αντλίας (δηλ. αυξάνοντας τις τοπικές απώλειες στην κατάθλιψη ΣK_{κ}).

Παράδειγμα 3.

Στο σύστημα αντλήσεως του σχήματος 6.4β οι σωλήνες είναι από χυτοσίδηρο με διαμέτρους d_a = 12 cm και d_{κ} = 14 cm. Το μήκος του δικτύου είναι L_{α} = 2 m και L_{κ} = 65 m, ενώ οι τιμές των συντελεστών τριβής δίνονται f_a = 0,0230 και f_k = 0,0252. Οι τοπικές απώλειες οι οποίες υπάρχουν στην αναρρόφηση δίνονται ΣK_{α} = 0,8. Επίσης δίδεται ότι p_1 = 101,3 kP_a, p_2 = 150 kP_a, H_{Σ} = (–1 + 15 + 1) m = 15 m (σχ. 6.4β). Να σχεδιασθεί η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής αν (α) η βαλβίδα είναι πλήρως ανοικτή με ΣK_{κ} = 6, (β) η βαλβίδα είναι μερικώς ανοικτή με ΣK_{κ} = 10.



Σχ. 6.4β

Λύση:

Διερεύνηση: Για να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος, πρέπει να υπολογιστούν τα ζεύγη τιμών (H, V̇). Τα απαιτούμενα ζεύγη (H, V̇) είναι τουλάχιστον τρία, αλλά όσα περισσότερα υπολογίζονται, τόσο με πιο μεγάλη ακρίβεια σχεδιάζεται η καμπύλη. Η τυπική αναλυτική διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1) Δίνομε τιμές στην παροχή V̇.

2) Υπολογίζονται οι ακριβείς τιμές των συντελεστών τριβής f_{α}, και f_{κ} [4] (για το παράδειγμα δίδονται ως f_{α} = 0,0239 και f_{κ}=0,0252). Για στρωτή ροή ο συντελεστής τριβής δίδεται από τη σχέση f = 64/Re.

3) Υπολογίζονται οι συντελεστές α και β αξιοποιώντας τις εξισώσεις (6.12α) και (6.12β).

4) Στη συνέχεια, θέτοντας τιμές στην παροχή, λαμβάνομε αντίστοιχες τιμές του ολικού ύψους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω:

α) Για ΣK_{α} =0,8 και ΣK_{κ} = 6.

[4] Βλ. διάγραμμα Moody, Μηχανική των Ρευστών, Νικολάου Πάντζαλη, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2008, κεφ. 5.

$$H_o = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (h_\alpha + h_\kappa)$$

ή $$H = \alpha + \beta \dot{V}^2 \qquad (1)$$

$$\alpha = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma},$$

με εφαρμογή των τιμών προκύπτει: α = 19,96 m

$$\beta = \frac{8}{\pi^2 g}\left[\left(f_\alpha \frac{L_\alpha}{d_\alpha} + \Sigma K_\alpha\right)\cdot\frac{1}{d_\alpha^4} + \left(f_\kappa \frac{L_\kappa}{d_\kappa} + \Sigma K_\kappa\right)\cdot\frac{1}{d_\kappa^4}\right] \qquad (2)$$

Από τα δεδομένα υπολογίζεται:

$$\beta = 20.782\ (s^2/m^5)$$

Και από την σχέση (1) $\Rightarrow H = 19{,}96 + 20.782 \cdot \dot{V}^2$.

Για κάθε τιμή του $\dot{V}$, η σχέση (1) μας δίνει αντίστοιχες τιμές του Η.

Για παράδειγμα: Αν $\dot{V} = 100\ m^3/h = 100/3.600\ m^3/s$ προκύπτει Η = 36 m.

Διαμορφώνομε πίνακα ζευγών και στη συνέχεια περνάμε τα ζεύγη σε διάγραμμα Η-$\dot{V}$ (πίνακας). Προκύπτει η χαρακτηριστική καμπύλη α του συστήματος του σχήματος 6.4β.

β) $\Sigma K_\alpha = 0{,}8$, $\Sigma K_\kappa = 10$.

Το μόνο που αλλάζει σε σχέση με την πρώτη περίπτωση είναι η τιμή του συντελεστή β, ο οποίος αυξάνεται λόγω τοπικών απωλειών:

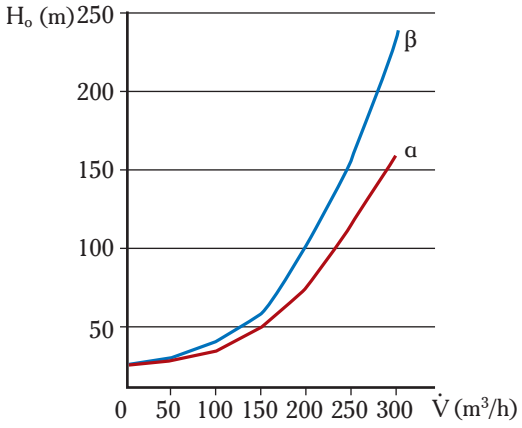
Υπολογίζεται $\beta = 31194\ (s^2/m^5)$.

$$(1) \Rightarrow H = 19{,}96 + 31.194 \cdot \dot{V}^2 \qquad (SI) \qquad (3)$$

Διαμορφώνομε νέο πίνακα ζευγών ($\dot{V}$, Η) (πίν. 6.4.1) και περνώντας τα στο διάγραμμα Η-$\dot{V}$ προκύπτει η χαρακτηριστική καμπύλη του τροποποιημένου συστήματος, καμπύλη (β) του διαγράμματος του σχήματος 6.4γ, η οποία έχει μεγαλύτερη κλίση από την καμπύλη (α).

Πίνακας 6.4.1
Η – $\dot{V}$

$\dot{V}$ m^3/h	(α)Η (m)	(β) Η (m)
0	19,96	19,96
50	23,97	25,98
100	36,00	44,03
150	56,04	74,12
200	84,10	116,24
250	120,18	170,40
300	164,28	236,59



Σχ. 6.4γ
Χαρακτηριστικές καμπύλες συστήματος αντλήσεως.

6.4.2 Σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως.

Η ***χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας Η – $\dot{V}$***, την οποία παρέχει ο κατασκευαστής, δείχνει το ύψος ενέργειας που μπορεί να αποδώσει η αντλία στις διάφορες παροχές. Δεν έχει καμία εξάρτηση από το σύστημα αντλήσεως. Συχνά, το ύψος Η αυτής της καμπύλης καλείται ***αποδιδόμενο ύψος της αντλίας***.

Η ***χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος Η – $\dot{V}$***, την οποία κατασκευάζει ο χρήστης του συστήματος αντλήσεως, δείχνει το ύψος ενέργειας το οποίο απαιτεί το σύστημα από την αντλία. Δεν έχει καμία εξάρτηση από την αντλία, και καλείται ***ολικό ύψος του συστήματος αντλήσεως***.

Το ύψος ενέργειας που αποδίδει η αντλία στο σύστημα στο οποίο είναι εγκατεστημένη, καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του συστήματος. Επομένως, το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας πρέπει να ισούται με το ολικό ύψος του συστήματος. Με άλλα λόγια, οι δύο σχέσεις Η – $\dot{V}$ πρέπει να έχουν κοινή λύση:

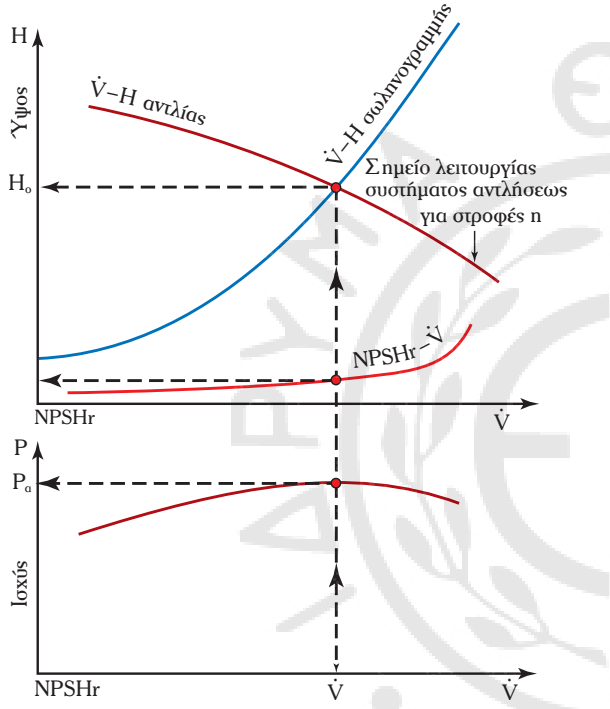
$$H_o = f_1(\dot{V})$$

$$H_o = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2$$

Εφόσον και οι δύο παραπάνω συναρτήσεις αποτυπώνονται με καμπύλες, κοινή λύση αποτελεί το σημείο τομής των δύο καμπυλών. Πιο συγκεκριμένα, αν σε διάγραμμα της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας, σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος, στο οποίο είναι τοποθετημένη η

αντλία με την ίδια κλίμακα, ***το σημείο τομής των δύο καμπυλών είναι το σημείο, στο οποίο θα λειτουργήσει το σύστημα αντλήσεως*** (σχ. 6.4δ).

Το σημείο τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας H – V̇ με τη χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος H – V̇, καλείται ***σημείο λειτουργίας του συστήματος*** (operating point, για συντομία, ΣΛ). Προσδιορίζοντας το σημείο λειτουργίας του συστήματος, προσδιορίζομε (από το διάγραμμα της αντλίας) την παροχή V̇, το ύψος H, το βαθμό αποδόσεως η και την ισχύ P.



Σχ. 6.4δ
Σημείο λειτουργίας συστήματος αντλήσεως.

Αν τροποποιηθούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος, η χαρακτηριστική καμπύλη του μεταβάλλεται (σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο) και το σημείο λειτουργίας ολισθαίνει στη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας H – V̇.

Αν η αντλία λειτουργήσει με άλλη διάμετρο στροφείου ή με άλλες στροφές, τότε η χαρακτηριστική της καμπύλη H – V̇ μετατοπίζεται και το σημείο λειτουργίας ολισθαίνει στη χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος. Έτσι, το σημείο λειτουργίας σε ένα σύστημα αντλήσεως αυτορρυθμίζεται με δεδομένες τις τροποποιήσεις είτε στα χαρακτηριστικά του συστήματος, είτε της αντλίας.

6.4.3 Υπολογισμός συστήματος αντλήσεως.

Όταν δίνεται ένα σύστημα αντλήσεως και οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας του, το σύστημα θα αυτορρυθμιστεί στο σημείο λειτουργίας του. Η μεθοδολογική προσέγγιση για τον υπολογισμό της παροχής V̇, του ολικού ή αποδιδόμενου ύψους H_o, της αξονικής ισχύος P_a, και του βαθμού αποδόσεως η, μπορεί να πραγματοποιηθεί ακολουθώντας τα επόμενα βήματα:

1) Αν το διάγραμμα είναι σύνθετο, προσδιορίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη H – V̇ της αντλίας που αντιστοιχεί στις συνθήκες του προβλήματος. Το ίδιο κάνομε για την καμπύλη P – V̇.

2) Σχεδιάζεται στο διάγραμμα H – V̇ της αντλίας η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος

$$H = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2.$$

3) Προσδιορίζεται το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως, δηλαδή η τομή των δυο καμπυλών H – V̇ (αντλίας και συστήματος).

4) Λαμβάνομε από το διάγραμμα τις τιμές των V̇, H, P και η για το σημείο λειτουργίας του συστήματος.

Η σχεδίαση της χαρακτηριστικής καμπύλης συστήματος H – V̇, είναι η πιο επίπονη διαδικασία. Πρέπει να προσδιοριστούν αρκετά ζεύγη τιμών ($\dot{V}_i$, H_i). Τα ελάχιστα ζεύγη είναι τρία, αλλά αν η σχεδίαση βασιστεί σε τόσο λίγα, δεν θα είναι ακριβής. Ο υπολογισμός γίνεται με χρήση της εξισώσεως Bernoulli για το σύστημα αντλήσεως:

$$H_o = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma h_f$$

Δίνοντας μία τιμή $\dot{V}_i$ στην παροχή, υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή για το ολικό ύψος H_i, δηλαδή υπολογίζονται οι απώλειες στους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως και, αντικαθιστώντας στην εξίσωση ενέργειας, υπολογίζεται το ολικό ύψος H_i. Στη συνέχεια δίδοντας νέα τιμή στην παροχή επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Το ενεργειακό ύψος H_o ή H_i πρέπει να προστεθεί από την αντλία.

Η αποδιδόμενη ισχύς υπολογίζεται από τη σχέση: $P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H$, για την οποία η σχέση $\eta = P_o / P$ δίνει τη δυνατότητα να επιβεβαιωθεί εάν διαβάσαμε σωστά τις τιμές του διαγράμματος.

Παράδειγμα 4.

Αντλία με χαρακτηριστικές καμπύλες του σχήματος 6.4ε, μεταφέρει νερό σε απόσταση 150 m και σε

υψομετρική διαφορά 6 m. Η αντλία λειτουργεί στις 1.600 rpm. Η κατάθλιψη είναι διαμέτρου 15 cm. Να υπολογισθούν η παροχή $\dot{V}$, η αξονική ισχύς $P_α$, η αποδιδόμενη στο νερό ισχύς (P_o) και ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας (η). Οι απώλειες στην αναρρόφηση και οι δευτερεύουσες απώλειες να θεωρηθούν αμελητέες. Δίδεται ενδεικτικά ο συντελεστής τριβής f για την πρώτη παροχή που χρησιμοποιείται, ο οποίος είναι 0,0204.

Λύση:

Δεδομένα: L = 150 m, d = 0,15 m, $H_Σ$ = 6 m, n = 1.600 rpm.

Ζητούμενα: $\dot{V}$, $P_α$, P_o, η.

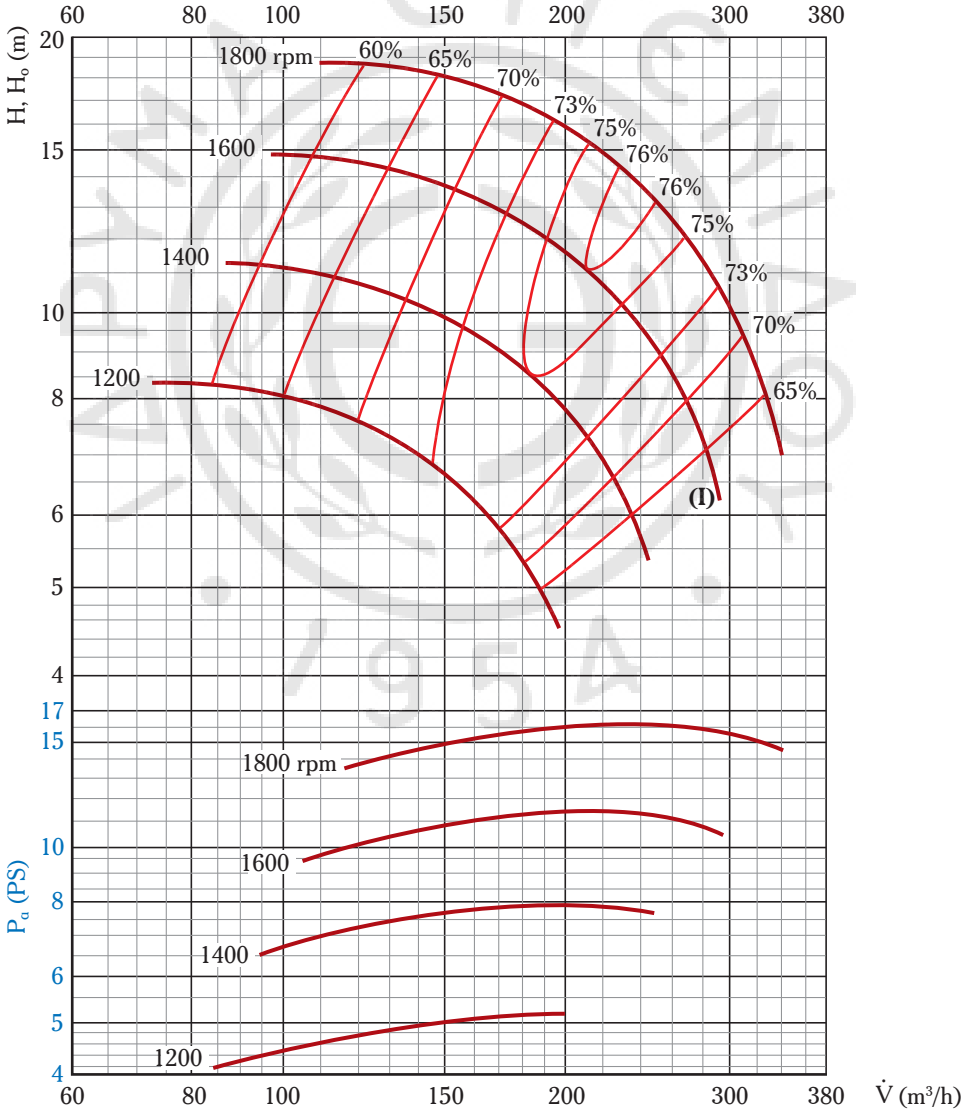
α) Επιλέγεται η καμπύλη $\dot{V}$ – H που αντιστοιχεί στις 1.600 rpm.

β) Κατασκευάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος, δίνοντας τιμές στην $\dot{V}$ και από την εξίσωση Bernoulli λαμβάνονται αντίστοιχες τιμές του H_o.

$$H_o = H_Σ + \frac{p_2 - p_1}{γ} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + Σh$$

ή $H = H_Σ + h_{κf}$ για τη σωληνογραμμή λόγω $v_2 = v_1$ και $p_2 = p_1$

ή
$$H = H_Σ + \frac{8}{ρ^2 g} \cdot f \cdot \frac{L}{d^5} \cdot \dot{V}^2 \qquad (1)$$



Σχ. 6.4ε

Ενδεικτικές χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας (σε διάγραμμα λογαριθμικής κλίμακας).

όπου $$h_{κf} = \frac{8}{\rho^2 g} \cdot f \cdot \frac{L}{d^5} \cdot \dot{V}^2.$$

Με παροχή $\dot{V} = 60\ m^3/h$ υπολογίζεται η ταχύτητα από την Εξίσωση της Συνέχειας όπου:

$$v_1 = \frac{4 \cdot \dot{V}_1}{\pi \cdot d_1^2},\ \text{για}\ \dot{V} = 60\ m^3/h\ \text{και}\ d_i = 15\ cm$$

προκύπτει $$v = \frac{4 \cdot \frac{60}{3.600}}{\pi \cdot 0{,}15^2}$$

ή $$v = 0{,}94\ m/s$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι ταχύτητες για τις υπόλοιπες παροχές.

Οι συντελεστές τριβής (f) δίνονται[5] στον παρακάτω πίνακα για την $\dot{V}=60\ m^3/h$, f = 0,0206 κ.λπ.. Υπολογίζονται με χρήση του διαγράμματος Moody.

Με αντικατάσταση στην σχέση (1) προκύπτει:

$$H = 6{,}93\ m$$

Με τον ίδιο τρόπο και λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές για κάθε παροχή που επιλέγεται συμπληρώνεται ο ακόλουθος πίνακας:

$\dot{V}$ m^3/h	v m/s	f	H m
60	0,94	0,0206	6,93
80	1,26	0,0202	7,62
100	1,57	0,0199	8,50
150	2,56	0,0195	**11,52**
200	3,14	0,0193	**15,72**
240	3,77	0,0192	**19,92**

Αποτυπώνοντας τα σημεία στο διάγραμμα $\dot{V} - H$ και ενώνοντάς τα, σχεδιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος (ΙΙ) (σχ. 6.4στ).

γ) Η τομή των καμπυλών της αντλίας (Ι) και του συστήματος (ΙΙ) αποτελεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως.

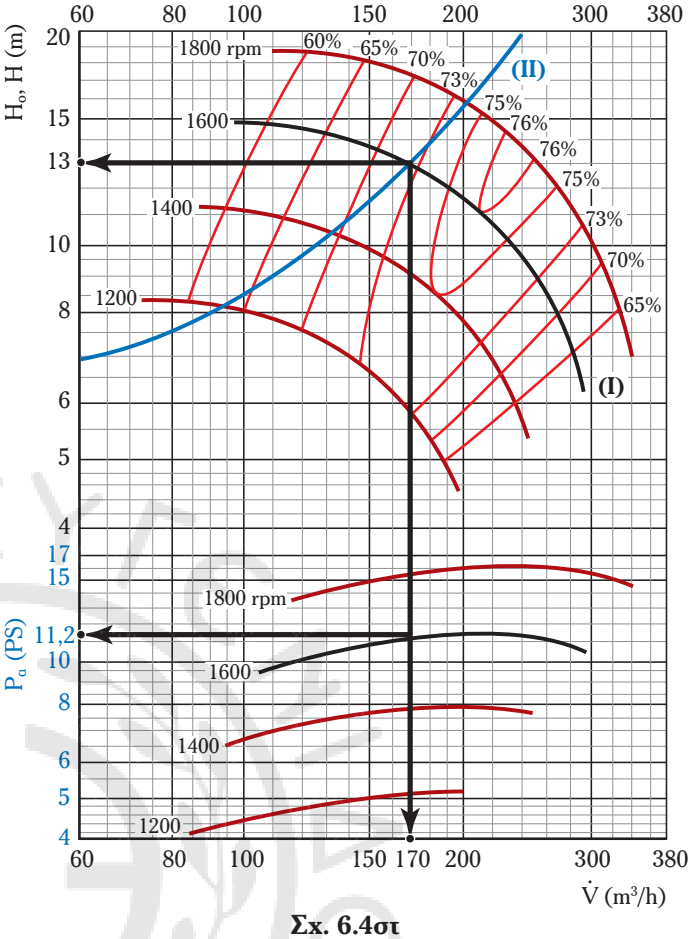
δ) Από το διάγραμμα (σχ. 6.4στ) υπολογίζεται:

$$\dot{V} = 170\ m^3/h$$

$$H_o = 13\ m$$

$$\eta = 72{,}5\ \%$$

$$P_a = 11{,}2\ PS = 8{,}25\ kW$$



Σχ. 6.4στ

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της αντλίας (στον κατακόρυφο άξονα έχει τοποθετηθεί το αποδιδόμενο ύψος H_o καθώς και το ύψος H της σωληνογραμμής).

Είναι: $$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o$$

με εφαρμογή των τιμών προκύπτει: $P_o = 6{,}02\ kW$

(Επίσης: $P_a = P_o/\eta \Rightarrow P_a = 8{,}25\ kW$).

Παράδειγμα 5.

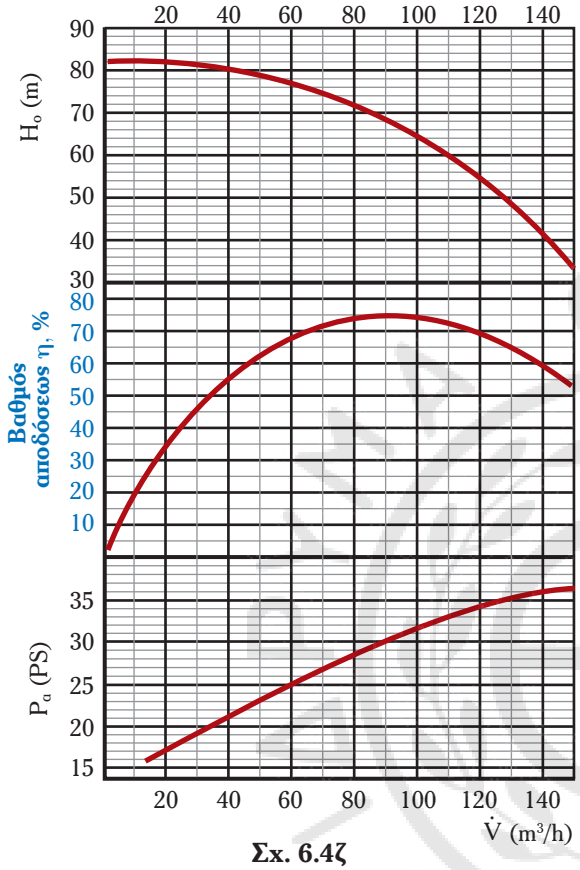
Φυγοκεντρική αντλία με χαρακτηριστικές καμπύλες αυτές του σχήματος 6.4ζ, ανυψώνει νερό σε ύψος 20 m. Ο σωλήνας καταθλίψεως είναι από χυτοσίδηρο και ο συνολικός συντελεστής τοπικών απωλειών είναι ΣΚ = 3,5.

α) Λαμβάνοντας υπόψη τα ζεύγη των τιμών παροχής και αποδιδόμενου ύψους του πίνακα 6.4.2 που ακολουθεί να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος και να βρεθούν ο βαθμός αποδόσεως η, η αξονική και η αποδιδόμενη ισχύς.

β) Αν αυξηθούν οι τοπικές απώλειες σε ΣΚ = 30

[5] Για τον υπολογισμό συντελεστών τριβής βλ. Μηχανική των Ρευστών, Νικολάου Πάντζαλη, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2008, κεφ. 5.

οι μεταβολές στην παροχή και το αποδιδόμενο ύψος δίνονται κατά ζεύγη στον πίνακα 6.4.3. Σχεδιάζοντας τη νέα χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος να βρεθούν οι νέες τιμές του βαθμού αποδόσεως η, της αξονικής και της αποδιδόμενης ισχύος.



Σχ. 6.4ζ

Ενδεικτικές χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της αντλίας.

Πίνακας 6.4.2

V̇ (m^3/h)	H (m)	V̇ (m^3/h)	H (m)
40	30,0	80	60,0
60	42,5	90	70,6
70	50,6	100	82,4

Πίνακας 6.4.3

V̇ m^3/h	H m	V̇ m^3/h	H m
30	31,9	60	67,8
40	41,3	70	85,1
50	53,2	80	105

Λύση:

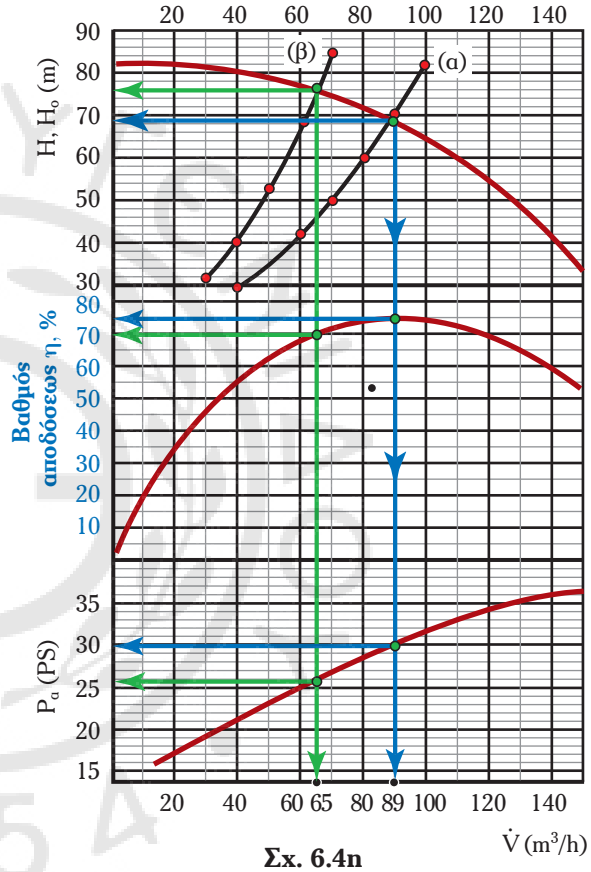
Δεδομένα: α) ΣΚ = 3,5 β) ΣΚ = 30.

Ζητούμενα: η, P$_α$, P$_o$.

α) Λαμβάνοντας υπόψη τα ζεύγη τιμών του πίνακα η ενδιάμεση διαδικασία που αφορά στον υπολογισμό του Η και σχετίζεται με τις απώλειες του δικτύου θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί και μας δίδονται τα ύψη Η:

1) Σχεδιάζεται η καμπύλη του συστήματος (α).

2) Εντοπίζονται το ΣΛ (σημείο λειτουργίας) ως η τομή των 2 καμπυλών Η – V̇ (σχ. 6.4η).



Σχ. 6.4η

Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας με τις καμπύλες της σωληνογραμμής και τα σημεία λειτουργίας.

Οι τιμές που αντιστοιχούν στα μεγέθη είναι:

$\dot{V} = 89\,m^3/h$, $H_o = 68{,}5\,m$ το αποδιδόμενο ύψος από την αντλία, η = 75%,

$$P_α = 30\,PS = 22{,}1\,kW$$

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o \Rightarrow P_α = 16{,}6\,kW$$

(επίσης: $P_o = \eta \cdot P_α = 16{,}6\,kW$)

β) Αν αυξηθούν οι τοπικές απώλειες σε ΣΚ = 30 οι μεταβολές στην παροχή και στο αποδιδόμενο ύψος είναι οι ακόλουθες:

Αποτυπώνοντας τα σημεία στο διάγραμμα, προκύπτει η καμπύλη του συστήματος (β) (σχ. 6.4η), με μεγαλύτερη κλίση από την (α). Το νέο σημείο λειτουργίας ολισθαίνει πάνω στη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας και δίνει μικρότερη παροχή (στραγγαλισμός). Οι νέες τιμές των μεγεθών είναι:

$$\dot{V} = 65\,m^3/h, \quad H = 75\,m$$

$$\eta = 70{,}5\%$$

$$P_a = 26\,PS = 19{,}1\,kW$$

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o \quad \text{ή}$$

$$P_o = 10.000\frac{N}{m^3} \cdot \frac{65}{3.600}\frac{m^3}{s} \cdot 75\,m = 13.500\,W$$

$$\text{ή} \quad P_o = 13{,}5\,kW$$

(Επίσης: $P_o = \eta \cdot P_a = 13{,}5$ kW)

6.4.4 Οι καμπύλες NPSH – $\dot{V}$ και οι συνθήκες σπηλαιώσεως.

Μία από τις χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας είναι και η καμπύλη NPSHr – $\dot{V}$. Βρίσκοντας επομένως το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως, δύναται να προσδιοριστεί το απαιτούμενο από την αντλία καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHr. Αυτό όμως δεν έχει κάποια ιδιαίτερη σημασία αν δεν συγκριθεί με το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως της σωληνογραμμής αναρροφήσεως NPSHa. Ο συσχετισμός του διαθέσιμου και του απαιτούμενου NPSH είναι εξαιρετικά σημαντικός εφόσον, συνδέεται με το πρόβλημα της σπηλαιώσεως της αντλίας.

Με γνωστά τα στοιχεία για τη σωληνογραμμή αναρροφήσεως, μπορεί να υπολογιστεί το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHa σε συνάρτηση με την παροχή $\dot{V}$. Επομένως, είναι δυνατόν να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη NPSHa–$\dot{V}$ του συστήματος. Το NPSHa είναι:

$$NPSHa = \left(\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g}\right) - \frac{p_v}{\gamma} \qquad (6.13\alpha)$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση Bernoulli μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας (1) της δεξαμενής αναρροφήσεως και της εισόδου της αντλίας, έχομε:

$$z_A - z_1 + \frac{p_1 - p_A}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_A^2}{2g} = h_{af} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{p_A}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{v_A^2}{2g} - H_{\Sigma a} - h_{af} \qquad (6.13\beta)$$

όπου: $z_A - z_1 = H_{\Sigma a}$, το στατικό ύψος αναρροφήσεως. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (6.13α) λαμβάνεται:

$$NPSHa = \frac{p_1 - p_v}{\gamma} - H_{\Sigma a} - h_a \qquad (6.13\gamma)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση των απωλειών:

$$h_a = \frac{8}{\pi^2 g \cdot d_a^4}\left(f \cdot \frac{L_a}{d_a} + K_a\right) \cdot \dot{V}^2$$

Επομένως η εξίσωση (6.13γ) παίρνει τη μορφή:

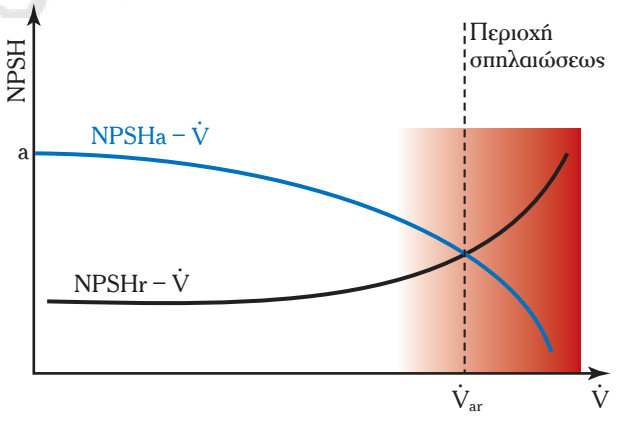
$$NPSHa = a - b \cdot \dot{V}_2 \qquad (6.14)$$

$$a = \frac{p_1 - p_v}{\gamma} - H_{\Sigma a} \qquad (6.14\alpha)$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 g \cdot d_a^4}\left(f_a \cdot \frac{L_a}{d_a} + K_a\right) \qquad (6.14\beta)$$

Η εξίσωση (6.14) δείχνει ότι το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως του συστήματος μειώνεται με την αύξηση της παροχής. Η συνάρτηση αυτή αποτυπώνεται γραφικά ως ***καμπύλη NPSHa – $\dot{V}$***. Για την κατασκευή της, ακολουθείται όμοια διαδικασία μ' αυτήν για την κατασκευή της χαρακτηριστικής καμπύλης του συστήματος, δίνοντας τιμές στην παροχή $\dot{V}$ και λαμβάνοντας τις αντίστοιχες τιμές του NPSHa. Η καμπύλη έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.4θ.

Παρατηρείται ότι το απαιτούμενο από την αντλία NPSHr (την καμπύλη του οποίου δίνει ο κατασκευαστής) αυξάνεται με την αύξηση της παροχής, ενώ το διαθέσιμο από το σύστημα NPSHa (η καμπύλη η οποία σχεδιάζεται) μειώνεται με την αύξηση της παροχής. Υπάρχει επομένως ένα σημείο τομής των



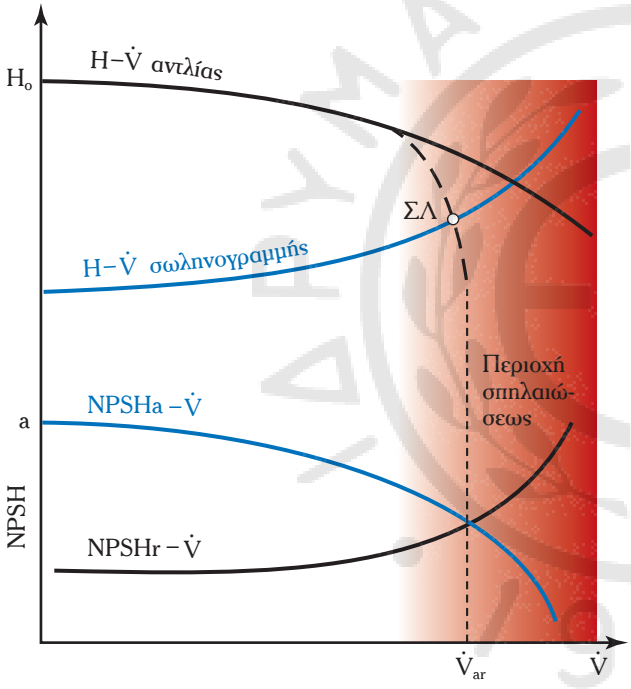
Σχ. 6.4θ
Διαθέσιμο και απαιτούμενο NPSH.

δύο καμπυλών, που αντιστοιχεί σε παροχή $\dot{V}_{ar}$,

Για $\dot{V} = \dot{V}_{ar}$ έχομε NPSHr = NPSHa

Για $\dot{V} > \dot{V}_{ar}$ έχομε NPSHr > NPSHa

Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία της αντλίας χωρίς σπηλαίωση είναι το διαθέσιμο NPSH να παραμένει μεγαλύτερο από το απαιτούμενο (και μάλιστα να υπάρχει μία αξιόλογη διαφορά). Η χαρακτηριστική καμπύλη H – $\dot{V}$ δίνεται από τον κατασκευαστή για συνθήκες ομαλής λειτουργίας της αντλίας. Όταν αυτές δεν εξασφαλίζονται, η καμπύλη H – $\dot{V}$ του κατασκευαστή δεν ισχύει. Έτσι, στην περιοχή σπηλαιώσεως, η καμπύλη H – $\dot{V}$ πέφτει απότομα, όπως δείχνει η διακεκομμένη γραμμή του σχήματος 6.4ι.



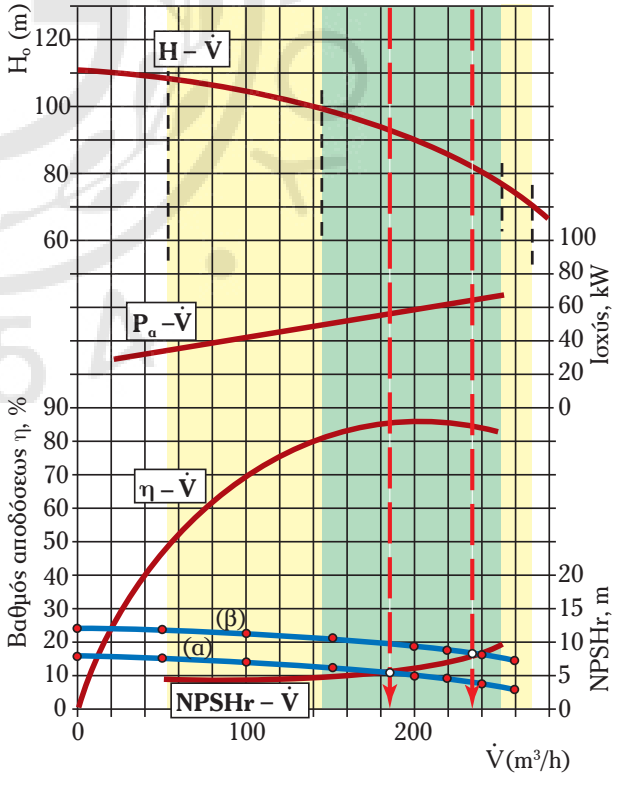
Σχ. 6.4ι

Καμπύλη H – $\dot{V}$ και σπηλαίωση.

Γενικά, η περιοχή σπηλαιώσεως πρέπει να θεωρείται απαγορευμένη για τη λειτουργία ενός συστήματος αντλήσεως όχι μόνο για την κατακόρυφη πτώση του αποδιδόμενου ύψους που φαίνεται στο σχήμα, αλλά κυρίως για τα καταστροφικά αποτελέσματα που συνεπάγεται η σπηλαίωση για την αντλία. Γνωρίζοντας επομένως τη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας NPSHr – $\dot{V}$, πρέπει η αντίστοιχη καμπύλη του συστήματος αναρροφήσεως NPSHa – $\dot{V}$ να τέμνεται με την πρώτη σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερες παροχές. Όπως προκύπτει από την εξίσωση (6.14), αυτό συμβαίνει είτε όταν αυξάνεται ο συντελεστής a (μετακίνηση της καμπύλης NPSHa – $\dot{V}$ προς τα πάνω), είτε όταν μειώνεται ο συντελεστής b (μικρότερη κλίση της καμπύλης). Η πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται με τη μείωση του στατικού ύψους αναρροφήσεως (είτε την αύξηση της πιέσεως στη δεξαμενή αναρροφήσεως). Η δεύτερη περίπτωση επιτυγχάνεται με τη μείωση των απωλειών στο σωλήνα αναρροφήσεως (χρήση σωλήνα μεγαλύτερης διαμέτρου και μικρότερου μήκους, ελαχιστοποίηση των τοπικών απωλειών στην αναρρόφηση).

Παράδειγμα 6.

Αντλία με χαρακτηριστικές καμπύλες του σχήματος 6.4ια βρίσκεται τοποθετημένη σε σύστημα αντλήσεως νερού θερμοκρασίας 40°C. Στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής αναρροφήσεως, επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση. Η βέλτιστη λειτουργία της αντλίας ορίζεται από την περιοχή του διαγράμματος με το πράσινο χρώμα. Σύμφωνα με τον πίνακα 6.4.4 των τιμών παροχής και NSPHa να βρεθούν τα σημεία κρίσιμης παροχής σπηλαιώσεως αν η επιφάνεια της δεξαμενής αναρροφήσεως βρίσκεται:



Σχ. 6.4ια

Χαρακτηριστικές καμπύλες συστημάτων αντλήσεως και περιοχές βελτιώσεως λειτουργίας της αντλίας.

α) 2 m χαμηλότερα από την είσοδο της αντλίας και

β) 2 m υψηλότερα από την είσοδο της αντλίας.

Πίνακας 6.4.4

$\dot{V}$ m^3/h	NPSHa m (α)	NPSHa m (β)
0	7,57	10,75
50	7,43	10,61
100	7,00	10,18
150	6,32	9,5
200	5,35	8,58
220	4,88	8,11
240	4,37	7,60

Λύση:

α) Αποτυπώνοντας τα σημεία στο διάγραμμα και σχεδιάζοντας την καμπύλη (α) (σχ. 6.4ια), εντοπίζεται η τομή της με την καμπύλη NPSHr. Στο σημείο τομής λαμβάνεται η κρίσιμη παροχή σπηλαιώσεως:

$$\dot{V}_{ar} = 185\ m^3/h$$

β) Στη δεύτερη περίπτωση η καμπύλη NPSHa μετακινείται υψηλότερα κατά 4 m. Η νέα σχεδιασμένη $H - \dot{V}$ καμπύλη (β) του σχήματος 6.4ι τέμνεται με την καμπύλη NPSHr σε σημείο που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη παροχή:

$$\dot{V}_{ar} = 235\ m^3/h$$

Σημειώνεται ότι πρέπει να αποφευχθεί η τοποθέτηση της αντλίας όπως στην περίπτωση (α), επειδή έτσι αποκλείεται η αντλία να αξιοποιήσει την περιοχή βέλτιστης λειτουργίας της.

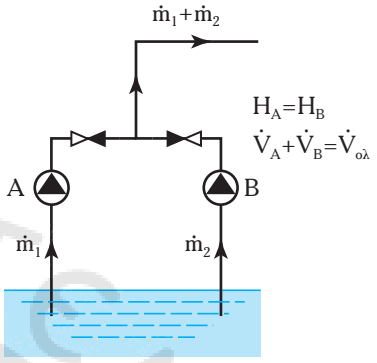
6.5 Σύνδεση αντλιών.

Όταν επιδιώκονται μεγάλες παροχές ή μεγάλα ύψη, η χρήση μίας αντλίας ίσως να μην είναι η κατάλληλη ή η πιο οικονομική λύση. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, μία υφιστάμενη αντλία δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του συστήματος αντλήσεως. Τότε χρησιμοποιείται η σύνδεση αντλιών. Η σύνδεση δύο ή περισσοτέρων αντλιών παράλληλα ή σε σειρά, δύναται να δώσει ικανοποιητική λύση σε αρκετά προβλήματα αντλήσεως. Γενικά, η παράλληλη σύνδεση χρησιμοποιείται για την αύξηση της παροχής του συστήματος αντλήσεως, ενώ η σύνδεση σε σειρά, για την αύξηση του αποδιδόμενου ύψους.

6.5.1 Παράλληλη σύνδεση αντλιών.

1) Παράλληλη σύνδεση δύο ομοίων αντλιών.

Δύο (ή περισσότερες) όμοιες αντλίες συνδέονται παράλληλα όταν καταθλίβουν στον ίδιο σωλήνα (στην αναρρόφηση πιθανόν να έχομε διαφορετικούς σωλήνες). Στο σχήμα 6.5α παρουσιάζεται μία τέτοια σύνδεση.



Σχ. 6.5α

Παράλληλη σύνδεση ομοίων αντλιών.

Αν η χαρακτηριστική καμπύλη της κάθε αντλίας είναι η $H = f_1(\dot{V})$, η σχεδίαση της χαρακτηριστικής καμπύλης των δύο ομοίων σε παράλληλη σύνδεση αντλιών $H = f(\dot{V})$ γίνεται ως ακολούθως:

Κατασκευή της χαρακτηριστικής καμπύλης $H - \dot{V}$ των συνδεμένων αντλιών: Σε ορισμένο αποδιδόμενο ύψος H, αντίστοιχη παροχή $\dot{V}$ και ίδιο αριθμό στροφών $n_1 = n_2$ του συστήματος των δύο συνδεμένων παράλληλα αντλιών, η κάθε αντλία αποδίδει το ίδιο ύψος (δηλ. η μονάδα βάρους του υγρού λαμβάνει την ίδια ενέργεια είτε διέλθει από τη μία είτε από την άλλη αντλία). Αλλά η παροχή της κάθε αντλίας ισούται με το μισό της συνολικής παροχής (στην παράλληλη σύνδεση οι παροχές προστίθενται):

$$H_i = H_{1i} = H_{2i}$$

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{1i} + \dot{V}_{2i} = 2\dot{V}_{1i}$$

Επομένως, μετακινώντας κάθε σημείο της $H = f_1(\dot{V})$ οριζόντια (δηλ. στο ίδιο ύψος) μέχρι να διπλασιαστεί η παροχή, δημιουργείται η χαρακτηριστική καμπύλη των παράλληλα συνδεμένων αντλιών $H = f(\dot{V})$ (σχ. 6.5β).

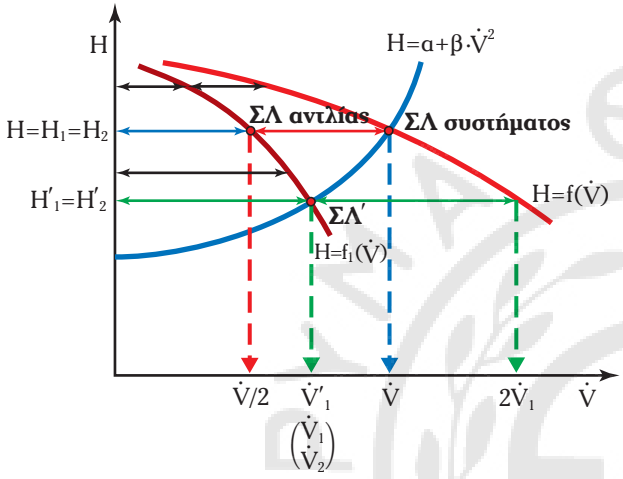
Αν οι συνδεμένες αντλίες ήταν τρεις, τότε

$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_3 = 3\dot{V}_1$, δηλαδή θα τριπλασιάζει κατά την οριζόντια κατεύθυνση την παροχή.

Υπολογισμός του συστήματος αντλήσεως: μετά τη σχεδίαση της χαρακτηριστικής καμπύλης $H = f(\dot{V})$, υπολογίζεται και σχεδιάζεται η χαρακτη-

ριστική καμπύλη του συστήματος $H = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2$.

Το ***σημείο λειτουργίας του συστήματος των συνδεμένων αντλιών*** προσδιορίζεται στην τομή των δύο καμπυλών $H = f(\dot{V})$ και $H = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2$. Χρειάζεται όμως προσοχή, διότι η κάθε μία αντλία αποδίδει ύψος H και παροχή $\dot{V}/2$ (αν οι αντλίες είναι δύο). Άρα το ***σημείο λειτουργίας της κάθε αντλίας*** βρίσκεται στο ίδιο ύψος και στο μισό της παροχής (σχ. 6.5β), και σ' αυτό θα ληφθεί ο βαθμός αποδόσεως, η αξονική ισχύς και το NPSHr της κάθε αντλίας.



Σχ. 6.5β

Χαρακτηριστικές καμπύλες για παράλληλη σύνδεση ομοίων αντλιών.

Αν η μία μόνο αντλία ήταν τοποθετημένη στο σύστημα αντλήσεως, το σημείο λειτουργίας της θα ήταν το ΣΛ′ και το αποδιδόμενο ύψος το H_1'.

Παρατηρείται ότι το σύστημα των δύο παραλλήλων αντλιών, τοποθετημένο στη συγκεκριμένη σωληνογραμμή, δίνει παροχή $\dot{V}$ μεγαλύτερη από την παροχή που θα έδινε η μία αντλία τοποθετημένη στο ίδιο σύστημα (αλλά όχι διπλάσια) και ύψος H μεγαλύτερο από αυτό που θα απέδιδε η μία αντλία, έτσι:

$$\dot{V}_1' < \dot{V} < 2\dot{V}_1' \quad \text{και} \quad H = H_1 = H_2 > H_1'$$

Αν οι όμοιες αντλίες έχουν ασταθή χαρακτηριστική καμπύλη $H = f_1(\dot{V})$ και το ολικό ύψος του συστήματος είναι μεγαλύτερο από H_0 (το ύψος που αντιστοιχεί σε $\dot{V} = 0$), τότε είναι αναγκαίο οι δύο αντλίες να ξεκινούν ταυτόχρονα. Αν αυτό δεν συμβεί, η αντλία που θα ξεκινήσει με καθυστέρηση δεν μπορεί να υπερνικήσει την πίεση του σωλήνα και να προσθέσει την παροχή της. Τέτοιες αντλίες αποφεύγεται να συνδέονται παράλληλα. Αυτό είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα των φυγοκεντρικών αντλιών με ασταθή χαρακτηριστική καμπύλη H – $\dot{V}$.

Παράδειγμα 7.

Δύο όμοιες αντλίες με χαρακτηριστικές τις καμπύλες του σχήματος 6.4ε, βρίσκονται συνδεμένες παράλληλα σε σύστημα αντλήσεως νερού. Οι αντλίες λειτουργούν στις 1.200 rpm.

α) Να ορισθούν τα αποδιδόμενα ύψη στα όρια της λειτουργίας της αντλίας από το διάγραμμα του σχήματος και η παροχή των παράλληλα συνδεμένων αντλιών.

β) Με δεδομένα τα ζεύγη τιμών παροχής και αποδιδόμενου ύψους που προκύπτουν από την παράλληλη λειτουργία και δίδονται στον πίνακα 6.5 να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος και να υπολογισθούν η παροχή, το αποδιδόμενο ύψος, η αξονική και αποδιδόμενη ισχύς και ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος.

γ) Ποια θα είναι τα αντίστοιχα μεγέθη αν λειτουργεί μόνο η μία αντλία; (1 PS = 0,736 kW)

Λύση:

α) Από την καμπύλη (Ι) της μίας αντλίας που λειτουργεί στις 1.200 rpm λαμβάνεται η καμπύλη που αντιστοιχεί στις δύο παράλληλα συνδεμένες όμοιες αντλίες. Γι' αυτό σε σταθερά ύψη διπλασιάζονται οι παροχές:

$$H = 8{,}4\,\text{m} \Rightarrow \dot{V}_1 = 75\,\text{m}^3/\text{h} \Rightarrow \dot{V} = 150\,\text{m}^3/\text{h}$$

$$H = 8{,}2\,\text{m} \Rightarrow \dot{V}_1 = 93\,\text{m}^3/\text{h} \Rightarrow \dot{V} = 186\,\text{m}^3/\text{h}$$

$$H = 7{,}8\,\text{m} \Rightarrow \dot{V}_1 = 110\,\text{m}^3/\text{h} \Rightarrow \dot{V} = 220\,\text{m}^3/\text{h}$$

$$H = 7{,}5\,\text{m} \Rightarrow \dot{V}_1 = 123\,\text{m}^3/\text{h} \Rightarrow \dot{V} = 246\,\text{m}^3/\text{h}$$

$$H = 7{,}0\,\text{m} \Rightarrow \dot{V}_1 = 140\,\text{m}^3/\text{h} \Rightarrow \dot{V} = 280\,\text{m}^3/\text{h}$$

Πίνακας 6.5

$\dot{V}$ m^3/h	v m/s	f	H m
60	0,65	0,0231	**3,34**
80	0,87	0,0228	**3,60**
100	1,09	0,0226	**3,91**
150	1,64	0,0222	**5,03**
200	2,18	0,0221	**6,57**
240	2,62	0,0220	**8,13**
300	3,27	0,0219	**11,00**

Έτσι προκύπτει η χαρακτηριστική καμπύλη των δύο συνδεμένων αντλιών (Ια) (σχ. 6.5γ).

β) Τα δεδομένα ζεύγη τιμών παροχής και αποδιδόμενου ύψους από τον πίνακα (Π7–Π1) εισάγονται στο διάγραμμα $\dot{V}$ – Η και ενώνοντάς τα, σχεδιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος (ΙΙ) (σχ. 6.5γ) (τα δύο πρώτα σημεία δεν μπορούν να αποτυπωθούν στο διάγραμμα λόγω μικρού ολικού ύψους).

Η τομή της χαρακτηριστικής καμπύλης των παράλληλα συνδεδεμένων αντλιών (Ια) και του συστήματος (ΙΙ) αποτελεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως (ΣΛ). Άρα από το διάγραμμα του σχήματος 6.5γ λαμβάνονται:

$$\dot{V} = 230 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_o = 7{,}7 \text{ m}$$

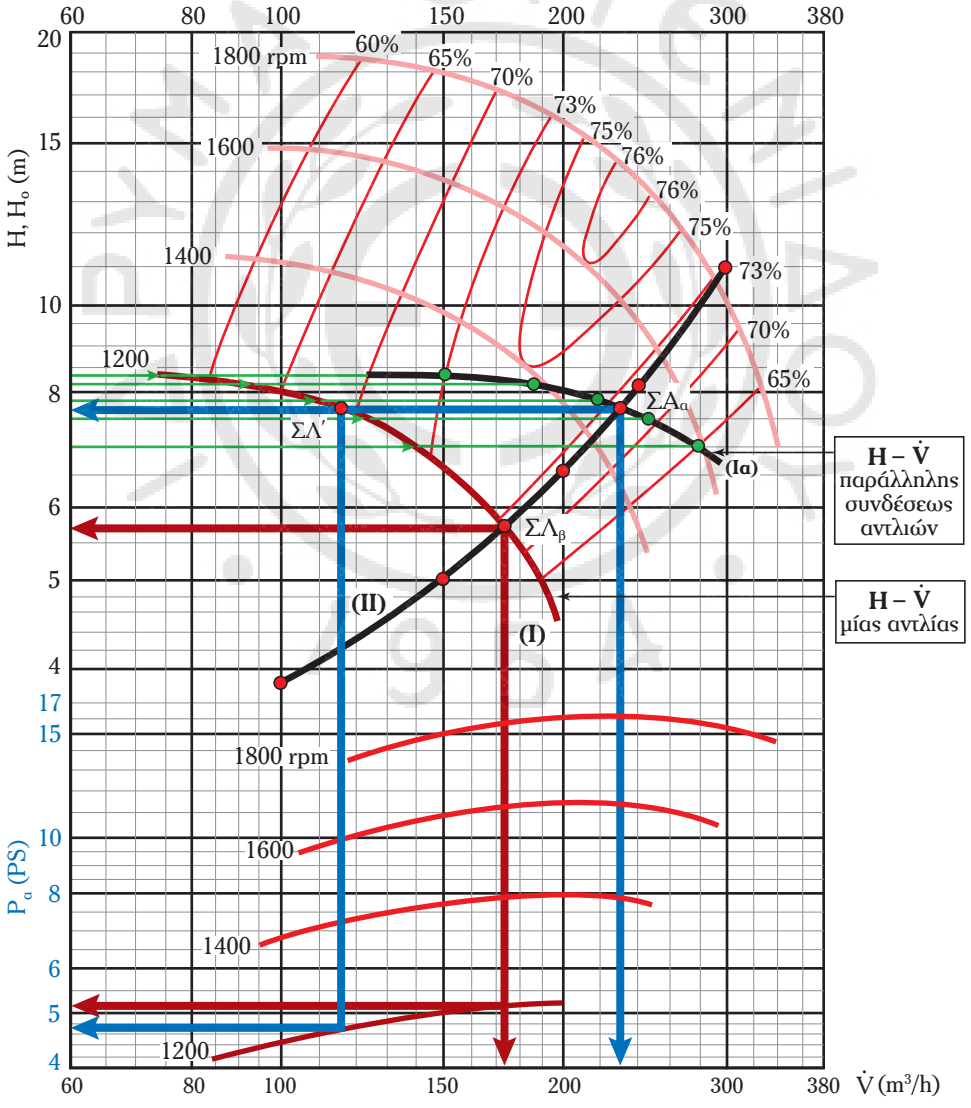
Τα ζητούμενα που αποτελούν μεγέθη των αντλιών ανιχνεύονται στο σημείο λειτουργίας της κάθε αντλίας (ΣΛ′). Επομένως:

$$\eta = 68{,}5\ \%$$

$$P_o = 4{,}7 \text{ PS} = 3{,}46 \text{ kW}$$

γ) Αν λειτουργήσει μόνο η μία αντλία στο ίδιο σύστημα, η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος δεν μεταβάλλεται. Επομένως, σημείο λειτουργίας ($\Sigma\Lambda_\beta$), θα είναι η τομή της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας (Ι) με τη χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος (ΙΙ).

Από το διάγραμμα του σχήματος 6.5γ λαμβάνονται:



Σχ. 6.5γ

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας δύο παράλληλα συνδεδεμένων αντλιών.

$$\dot{V} = 173\ m^3/h$$

$$H_o = 5,7\ m$$

$$\eta = 72,5\ \%$$

$$P_a = 5,1\ PS = 3,75\ kW$$

$$P_o = \rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot H_o$$

και με αντικατάσταση τιμών $P_o = 2,7\ kW$

Παρατηρούμε ότι με την παράλληλη σύνδεση των δύο ομοίων αντλιών του παραδείγματος, η παροχή αυξήθηκε κατά 33%, με σημαντική όμως ενεργειακή επιβάρυνση λόγω μεγαλύτερου ύψους απωλειών, αλλά και μικρής πτώσεως στο βαθμό αποδόσεως των αντλιών.

2) Παράλληλη σύνδεση δύο διαφορετικών αντλιών.

Αν οι δύο αντλίες έχουν διαφορετικές χαρακτηριστικές καμπύλες μανομετρικού ύψους-παροχής $H = f_1(\dot{V})$ και $H = f_2(\dot{V})$ και τροφοδοτούν τον ίδιο σωλήνα καταθλίψεως, η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος των δύο παράλληλα συνδεμένων αντλιών είναι η $H = f(\dot{V})$.

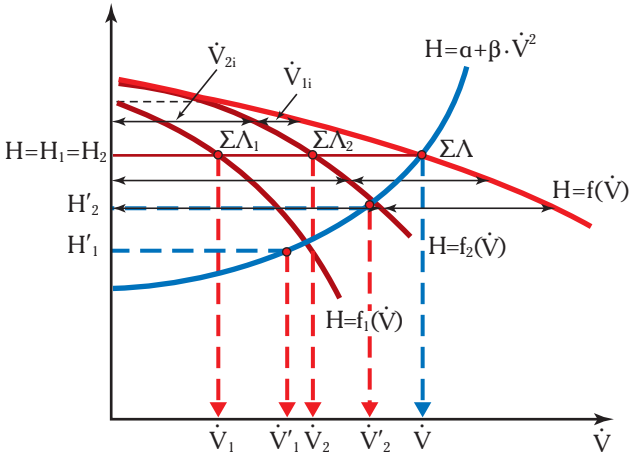
Η σχεδίαση της νέας καμπύλης βασίζεται στην ίδια λογική όπως και στην παράλληλη σύνδεση δύο ομοίων αντλιών. Αν το σύστημα των δύο αντλιών αποδίδει ύψος H_i τότε και η κάθε αντλία χωριστά θα αποδίδει το ίδιο ύψος, διότι η παροχή του συστήματος θα ισούται με το άθροισμα των παροχών των δυο αντλιών:

$$H = H_i = H_{2i} \quad \text{και}$$

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{1i} + \dot{V}_{2i}$$

Αθροίζοντας επομένως τις παροχές σε διάφορα ύψη, λαμβάνονται αρκετά σημεία για την ***κατασκευή της χαρακτηριστικής καμπύλης των παράλληλα συνδεμένων αντλιών*** $H = f(\dot{V})$ (σχ. 6.5δ). Σημειώνεται ότι για τα ύψη τα οποία δεν μπορεί να αποδώσει μία εκ των δύο αντλιών [στο σχήμα η πρώτη, $H = f_1(\dot{V})$], η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος ταυτίζεται με τη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας μεγαλύτερου μέγιστου ύψους (στο σχ. 6.5δ, το πρώτο διακεκομμένο τμήμα της νέας καμπύλης, αριστερά).

Στη συνέχεια υπολογίζεται και σχεδιάζεται η ***χαρακτηριστική του συστήματος*** $H = a + \beta \cdot \dot{V}^2$ και εντοπίζεται το ***σημείο λειτουργίας του συστήματος*** (ΣΛ) στην τομή της με την $H = f(\dot{V})$. Τα σημεία



Σχ. 6.5δ

Παράλληλη σύνδεση διαφορετικών αντλιών.

λειτουργίας των αντλιών είναι τα $\Sigma\Lambda_1$ και $\Sigma\Lambda_2$. Σ' αυτά θα αναζητηθούν οι βαθμοί αποδόσεως, οι αξονικές ισχύες και τα NPSHr των αντλιών. Παρατηρείται ότι αν $\dot{V}$ και H η παροχή και το ύψος του συστήματος των παράλληλα συνδεμένων αντλιών και $\dot{V}_1'$, H_1', $\dot{V}_2'$, H_2' τα αντίστοιχα μεγέθη, αν κάθε αντλία μόνη της λειτουργούσε στην ίδια σωληνογραμμή, τότε:

$$H > H_2' > H_1'$$

$$\dot{V}_1' < \dot{V}_2' < \dot{V} < \dot{V}_1' + \dot{V}_2'$$

Δηλαδή, αν και η παράλληλη σύνδεση αντλιών χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την αύξηση της παροχής του συστήματος, ως αποτέλεσμα λαμβάνεται και αύξηση του ολικού ύψους, αφού η παροχή είναι μικρότερη από το άθροισμα των παροχών που θα έδινε κάθε αντλία εάν βρισκόταν μόνη της στο σύστημα αντλήσεως. Αυτό οφείλεται στο ότι η αύξηση της παροχής αυξάνει σημαντικά το ύψος απωλειών, επομένως και το ολικό ύψος.

3) Παράλληλη σύνδεση διαφορετικών αντλιών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.

Οι διαφορές με την προηγούμενη περίπτωση έγκεινται:

α) στο διαφορετικό στατικό ύψος που έχει να αντιμετωπίσει κάθε αντλία και

β) στο τμήμα καταθλίψεως της κάθε αντλίας πριν καταλήξουν στον κοινό σωλήνα (τμήματα 1–3 και 2–3 του σχ. 6.5ε).

Πριν λοιπόν από τον εντοπισμό της καμπύλης λειτουργίας του συστήματος των δύο αντλιών, πρέπει

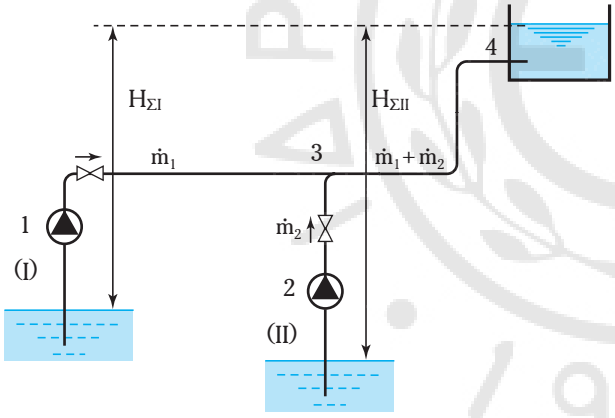
να γίνει αναγωγή των αντλιών στις ίδιες υδραυλικές συνθήκες (που επικρατούν στο τμήμα 3 – 4), όπως περιγράφεται παρακάτω.

Ας υποθέσομε για απλοποίηση ότι το τμήμα 2 – 3 είναι μικρό άρα με αμελητέες απώλειες.

Αναγωγή των αντλιών στις ίδιες υδραυλικές συνθήκες.

Έστω H_I και H_{II} οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δύο αντλιών.

Σύμφωνα με το σχήμα 6.5ε: $H_{\Sigma I} < H_{\Sigma II}$. Επειδή η αντλία (I) έχει να αντιμετωπίσει μικρότερο στατικό ύψος από την (II), μετατοπίζεται η καμπύλη της προς τα πάνω κατά ΔH_Σ ώστε: $\Delta H_\Sigma = H_{\Sigma I} - H_{\Sigma II}$ και προκύπτει η H_I' (σχ. 6.5στ). Όμως η αντλία I έχει να αντιμετωπίσει και τις απώλειες του τμήματος 1-3, άρα στο σημείο 3 δεν αποδίδεται όλο το ύψος που δείχνει η καμπύλη H_I'. Αφαιρούνται λοιπόν από την H_I' οι απώλειες ώστε: $h_{13} = a_1 \cdot \dot{V}^2$. Προκύπτει η H_I''. Για την αφαίρεση, πρώτα σχεδιάζεται η καμπύλη του σωλήνα 1-3: $h_{13} = a_{13} \cdot \dot{V}^2$ και στη συνέχεια αφαιρείται από το H_I' ώστε: $H_I'' = H_I' - h_{13}$.



Σχ. 6.5ε

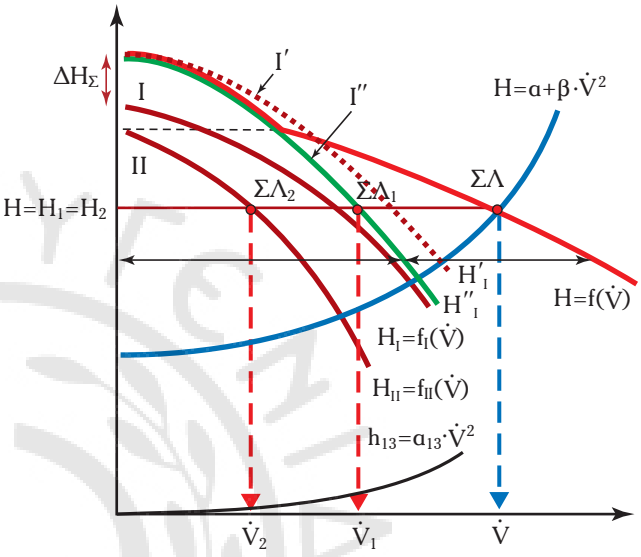
Παράλληλη σύνδεση αντλιών οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους.

Έτσι, στο κοινό τμήμα της καταθλίψεως 3-4 και με στατικό ύψους $H_{\Sigma II}$, η αντλία (I) συνεισφέρει ως προς το στατικό ύψος και ως προς το ύψος απωλειών με την καμπύλη H_I'' και η αντλία II με την καμπύλη H_{II}. (Για την αντλία II δεν χρειάστηκε αναγωγή, διότι χρησιμοποιείται το $H_{\Sigma II}$ και υποθέτουμε αμελητέες τις απώλειες στο τμήμα 2-3). Από τη σύνθεση των δύο καμπυλών H_I'', και H_{II} όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, προκύπτει η ανηγμένη καμπύλη $H = f(\dot{V})$.

Σχεδιάζεται η ***χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος*** 2 – 3 – 4 με στατικό ύψος $H_{\Sigma II}$:

$$H = a + \beta \dot{V}^2$$

Το σημείο τομής των καμπυλών $H = f(\dot{V})$ και $H = a + \beta \cdot \dot{V}^2$ αποτελεί το ***σημείο λειτουργίας του συστήματος*** αντλήσεως, το οποίο μαζί με την καμπύλη παρουσιάζεται στο σχήμα 6.5στ.



Σχ. 6.5στ

Παράλληλη σύνδεση απομακρυσμένων αντλιών.

6.5.2 Σύνδεση σε σειρά δύο ομοίων αντλιών.

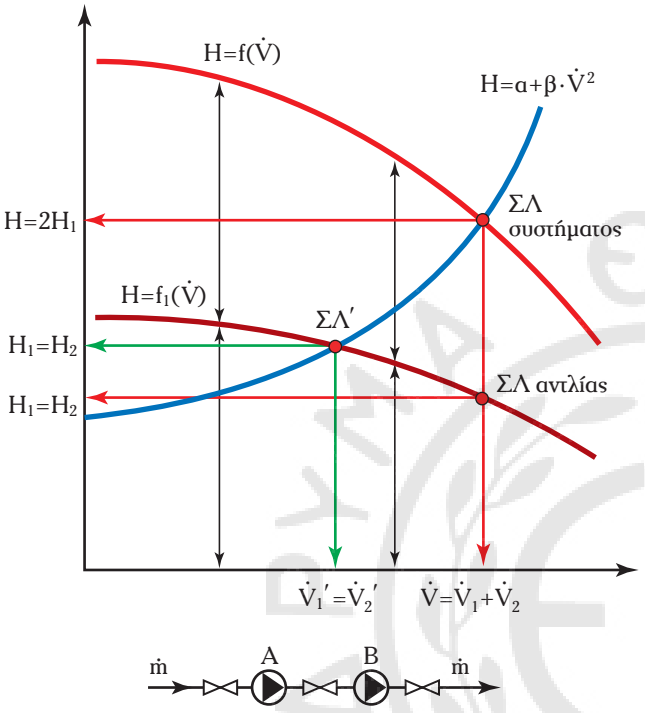
Καθώς η παράλληλη σύνδεση αντλιών χρησιμοποιείται συχνά για την αύξηση της παροχής, η σύνδεση σε σειρά δεν είναι τόσο συνηθισμένη. Αυτό συμβαίνει διότι όταν αντιμετωπίζονται μεγάλα ύψη (χωρίς αντίστοιχες μεγάλες παροχές) τα οποία δεν γίνεται να αντιμετωπιστούν με μία (μονοβάθμια) αντλία, είναι προτιμότερη λύση η χρησιμοποίηση πολυβάθμιας αντλίας. Αν όμως οι ανάγκες μεγάλου ύψους δεν είναι μόνιμες, τότε τη λύση μπορεί να προσφέρει η σύνδεση αντλιών σε σειρά. Σημειώνεται ότι αύξηση του ολικού ύψους επιτυγχάνεται και κατά την παράλληλη σύνδεση. Αυτή όμως η αύξηση οφείλεται σε αύξηση του ύψους απωλειών (λόγω αυξήσεως της παροχής) και δεν εξυπηρετεί κάποιες επιπλέον ενεργειακές ανάγκες του συστήματος αντλήσεως.

Στη σύνδεση αντλιών σε σειρά, η κατάθλιψη της πρώτης αντλίας τροφοδοτεί την επόμενη. Επομένως, η παροχή είναι κοινή, εφόσον τα αποδιδόμενα ύψη προστίθενται, ώστε:

$$\dot{V} = \dot{V}_1 = \dot{V}_2 \text{ και}$$

$$H = H_1 + H_2 = 2H_1$$

Για τη σχεδίαση λοιπόν της χαρακτηριστικής καμπύλης των δύο σε σειρά συνδεμένων ομοίων αντλιών, διπλασιάζουμε τις τεταγμένες Η της χαρακτηριστικής καμπύλης της μίας αντλίας $H = f_1(\dot{V})$. Έτσι προκύπτει η καμπύλη $H = f(\dot{V})$ (σχ. 6.5ζ).



Σχ. 6.5ζ
Σύνδεση δύο ομοίων αντλιών σε σειρά.

Υπολογίζοντας και σχεδιάζοντας τη χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος $H = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2$, προσδιορίζεται το ***σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως*** στην τομή των δύο καμπυλών. Η παροχή και το ύψος κάθε μίας αντλίας είναι αντίστοιχα:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \dot{V}$$

$$H_1 = H_2 = H/2$$

Η κάθε αντλία επομένως λειτουργεί στο «ΣΛ αντλίας» του σχήματος 6.5ζ και σ' αυτό το σημείο θα ληφθούν από τα διαγράμματα, ο βαθμός αποδόσεως, η αξονική ισχύς και το NPSHr της αντλίας.

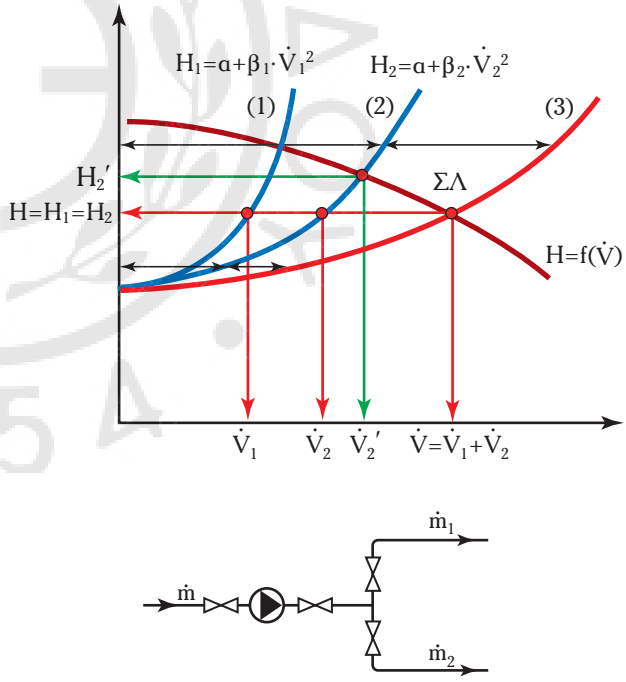
Αν στο σύστημα αντλήσεως υπήρχε μόνο η μία αντλία, το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα ήταν η τομή της $H = f_1(\dot{V})$ με την $H = \alpha + \beta \cdot \dot{V}^2$, δηλαδή το ΣΛ′ του σχήματος 6.5ζ. Παρατηρείται η πολύ μεγάλη αύξηση του αποδιδόμενου στο υγρό ύψους (το ύψος Η δεν θα μπορούσε να το καλύψει η μία αντλία), ενώ υπάρχει και μία αξιόλογη αύξηση της παροχής (ως αποτέλεσμα της αυξήσεως του αποδιδόμενου ύψους). Ως εκ τούτου παρατηρείται ότι:

$$H_1' < H < 2H_1' \quad \text{και} \quad \dot{V}_1' < \dot{V}$$

6.5.3 Τροφοδοσία από μία αντλία δύο σωληνογραμμών.

Μία αντλία μπορεί να τροφοδοτήσει δύο (ή περισσότερες) σωληνογραμμές, οι οποίες διακλαδίζονται στην κατάθλιψη της αντλίας. Σ' αυτήν την περίπτωση δεν αλλάζει φυσικά η χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας $H = f(\dot{V})$, αλλά υπάρχουν δύο καμπύλες σωληνογραμμών: $H_1 = \alpha_1 + \beta_1 \cdot \dot{V}_1^2$ και $H_2 = \alpha_2 + \beta_2 \cdot \dot{V}_2^2$. Το ερώτημα που προκύπτει είναι αν υπάρχει ένα σημείο λειτουργίας του συστήματος και πώς θα μπορούσε να προσδιοριστεί.

Αν οι δύο σωλήνες καταθλίψεως μεταφέρουν το υγρό στο ίδιο στατικό ύψος και στην ίδια πίεση, τότε $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha\ (= H_\Sigma + \Delta P/\gamma)$ και οι χαρακτηριστικές τους καμπύλες είναι οι (1) και (2) του σχήματος 6.5η.



Σχ. 6.5η
Δύο σωληνογραμμές τροφοδοτούμενες από μία αντλία.

Έστω ότι η αντλία αποδίδει στο ρευστό ύψος Η (ενέργεια στη μονάδα του βάρους). Αυτό είναι το αποδιδόμενο ύψος για το υγρό που κινείται μέσω του

σωλήνα (1) ή μέσω του (2), ώστε:

$$H = H_1 = H_2$$

Η παροχή στο σωλήνα (1) είναι $\dot{V}_1$ και στον (2) $\dot{V}_2$, άρα η συνολική παροχή των δυο σωλήνων είναι:

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$$

Προσθέτοντας επομένως τις παροχές των δυο σωλήνων για διάφορα ύψη, λαμβάνονται επαρκή σημεία για να σχεδιαστεί η ***χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος των δύο σωλήνων*** (3). Η τομή αυτής της καμπύλης με τη χαρακτηριστική της αντλίας $H = f(\dot{V})$ δίνει το ***σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως***. Στο ΣΛ του συστήματος προσδιορίζεται η παροχή $\dot{V}$ και το ύψος H, τα οποία είναι:

$$H = H_1 = H_2$$

Επομένως στα σημεία τομής του ύψους με τις καμπύλες (1) και (2) προσδιορίζονται οι παροχές του κάθε σωλήνα $\dot{V}_1$ και $\dot{V}_2$ και η παροχή $\dot{V}$ ως $\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$.

Εάν κλείσει η παροχή του ενός σωλήνα, για παράδειγμα του (1), το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα μετακινηθεί στην τομή της χαρακτηριστικής καμπύλης του άλλου σωλήνα με τη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας ($\Sigma\Lambda_2$, με αποδιδόμενο ύψος H_2' και παροχή $\dot{V}_2'$).

Παρατηρείται ότι κατά την τροφοδοσία δύο παραλλήλων σωλήνων αυξάνεται η ολική παροχή και μειώνεται το ύψος (σε σχέση με τα μεγέθη που θα εμφανίζονταν με τροφοδοσία ενός μόνο σωλήνα). Αυτό συμβαίνει επειδή στην περίπτωση που τροφοδοτούνται και οι δύο σωλήνες, αυξάνεται η ολική διατομή ροής στην κατάθλιψη:

$$A = A_1 + A_2 = \pi \cdot (d_1^2 + d_2^2) / 4$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Αντλίες που συναντώνται στα πλοία

Γενικά.

Τα είδη των αντλιών που περιγράφονται στη συνέχεια είναι συνήθως αυτά που χρησιμοποιούνται στα πλοία. Είναι γενικού χαρακτήρα και ενδέχεται να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις διότι οι αντλίες που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι προκύπτουν απ' την μελέτη των εγκαταστάσεων (βλ. κεφ. 8) ή των ιδιαιτέρων σχεδιαστικών χαρακτηριστικών κάθε κατασκευαστή.

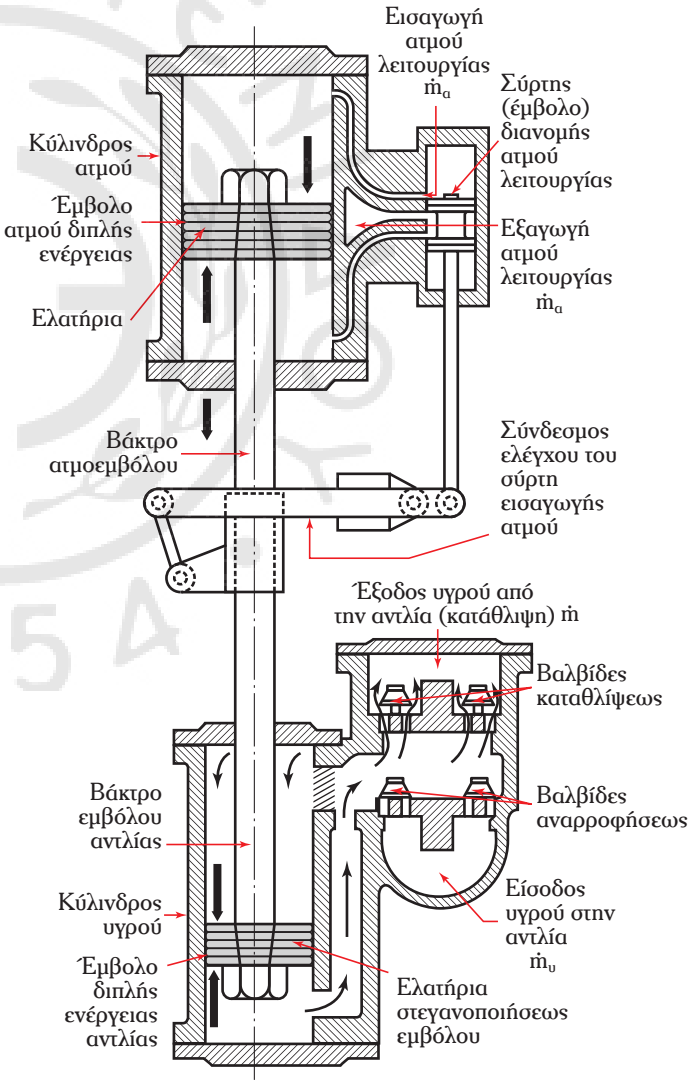
7.1 Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως που χρησιμοποιούνται σε πλοία.

Οι αντλίες άμεσης μεταδόσεως με ατμό χρησιμοποιούνται σε πλοία (ειδικότερα σε παλαιότερης τεχνολογίας) ως τροφοδοτικές νερού στους λέβητες, ως αντλίες μεταφοράς και καταθλίψεως πετρελαίου, ως αντλίες κύτους και πυροσβέσεως (πυρκαγιάς), πόσιμου νερού κ.λπ., με χαρακτηριστικό τύπο την αντλία Weir και την τροφοδοτική αντλία Worthington. Αναλυτικότερα:

1) Η ***αντλία*** ή ***ιππάριο τύπου Weir*** (σχ. 7.1α) είναι κάθετου τύπου μονοκύλινδρη, όταν οι απαιτήσεις παροχής είναι μικρές, και δικύλινδρη όταν είναι μεγαλύτερες. Είναι διπλής ενέργειας, με χωριστές βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως σε κάθε πλευρά του εμβόλου και ταχύτητα που κυμαίνεται από 25 έως 40 πλήρεις διαδρομές ή εμβολισμούς το λεπτό. Η διατομή του κυλίνδρου ατμού είναι διπλάσια περίπου από τη διατομή του κυλίνδρου υγρών, ώστε από τη συνολική δύναμη που μεταβιβάζεται μέσω του βάκτρου στη μικρότερη επιφάνεια του εμβόλου υγρών της αντλίας να προκαλείται πολύ μεγαλύτερη αύξηση στην πίεση του υγρού απ' ό,τι του ατμού.

Η αύξηση στην πίεση του υγρού είναι απαραίτητη, ειδικά όταν η αντλία χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία νερού στον λέβητα, όπου το νερό κατά την εισαγωγή του πρέπει να υπερνικήσει την πίεση του ατμού. Ο μηχανισμός διανομής του ατμού λειτουργίας είναι τύπου απλής διατάξεως (παράγρ. 2.6.1).

2) Η ***τροφοδοτική αντλία Worthington*** χρησιμοποιείται ως βοηθητική στα δίκτυα ατμού. Η κατασκευή και η ζεύξη της παρουσιάζεται στο σχήμα 7.1β, και τοποθετείται σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη. Είναι αντλία διπλής ενέργειας εμβόλων, και όταν είναι σε ζεύγη η κίνηση των εμβόλων πραγ-



Σχ. 7.1α
Αντλία τύπου Weir.

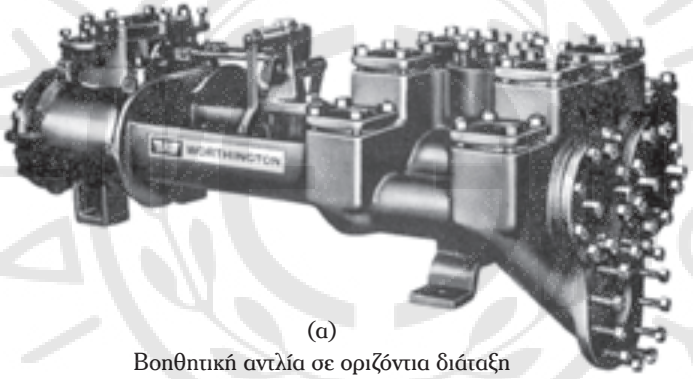
ματοποιείται μέσω της συζευγμένης συνδέσεως των βάκτρων που ρυθμίζουν την παροχή του ατμού. Ο μηχανισμός διανομής του ατμού είναι τύπου με ολισθαίνουσες βαλβίδες (βλ. παράγρ. 2.6.1).

Η προστασία από την πρόσκρουση των εμβόλων στο καπάκι του κυλίνδρου, επιτυγχάνεται με τον εγκλωβισμό μέρους του ατμού από το έμβολο, το οποίο καλύπτει τις θυρίδες καταθλίψεως, καθώς πλησιάζει στο τέλος της διαδρομής του. Συμπιέζοντας τον εγκλωβισμένο ατμό επιτυγχάνεται η ομαλή επιβράδυνση του εμβόλου και η αλλαγή της πορείας του στα νεκρά σημεία του τέλους της διαδρομής του. Όπως και στις αντλίες τύπου Weir έτσι και στις αντλίες αυτές τα έμβολα των κυλίνδρων του ατμού είναι μεγαλύτερα από τα έμβολα της κυκλοφορίας του υγρού επιτυγχάνοντας την απαιτούμενη αύξηση της αποδόσεως και της συμπιέσεως. Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.1β η παροχή του ατμού για τη λειτουργία της αντλίας ελέγχεται από επίπεδες ολισθαίνουσες βαλβίδες διανομής.

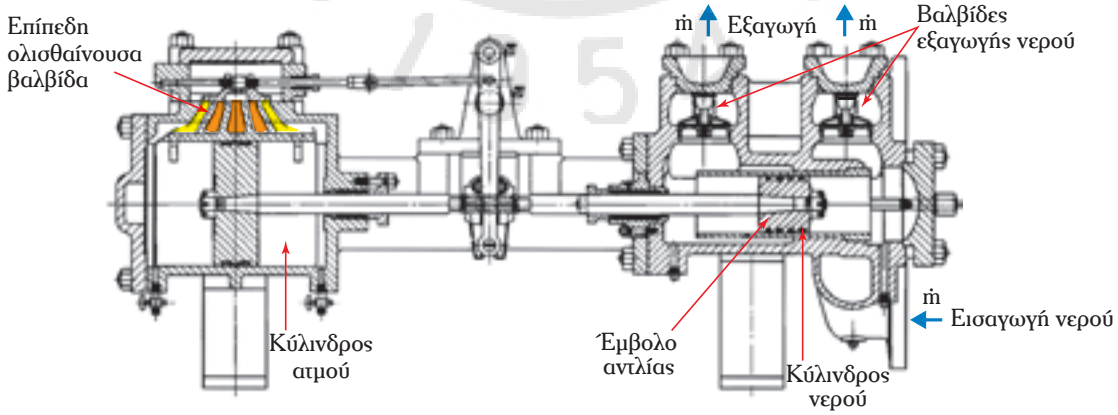
Οι κυριότερες εμβολοφόρες αντλίες που συναντώνται σε ναυτικές εγκαταστάσεις είναι οι εξής:

1) Η αντλία απλής ενέργειας με τρεις σειρές βαλβίδων, τοποθετημένες επάνω στο έμβολο (σχ. 7.1γ).

Στην αντλία αυτή το υγρό, με την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου, εισέρχεται στον κύλινδρο από τις βαλβίδες της αναρροφήσεως [σχ. 7.1γ(α)] λόγω του κενού που δημιουργείται από την κίνηση του εμβόλου προς το ΑΝΣ. Στη συνέχεια καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, πιέζοντας το υγρό που έχει γεμίσει το χώρο κάτω από το έμβολο, διέρχεται μέσω των βαλβίδων [σχ. 7.1γ(β)] στην πάνω πλευρά του. Καθώς η κίνηση επαναλαμβάνεται, το υγρό που βρισκόταν στην πάνω πλευρά του εμβόλου πι-

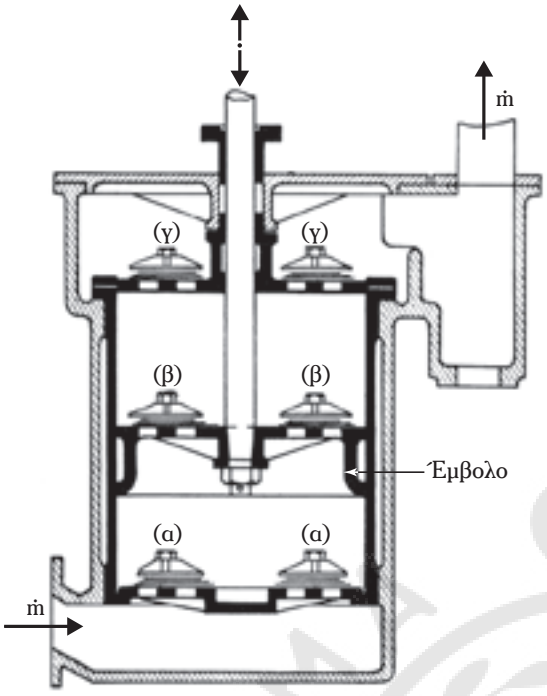


(α)
Βοηθητική αντλία σε οριζόντια διάταξη



(β)
Τομή βοηθητικής αντλίας σε οριζόντια διάταξη

Σχ. 7.1β
Αντλία Worthington.



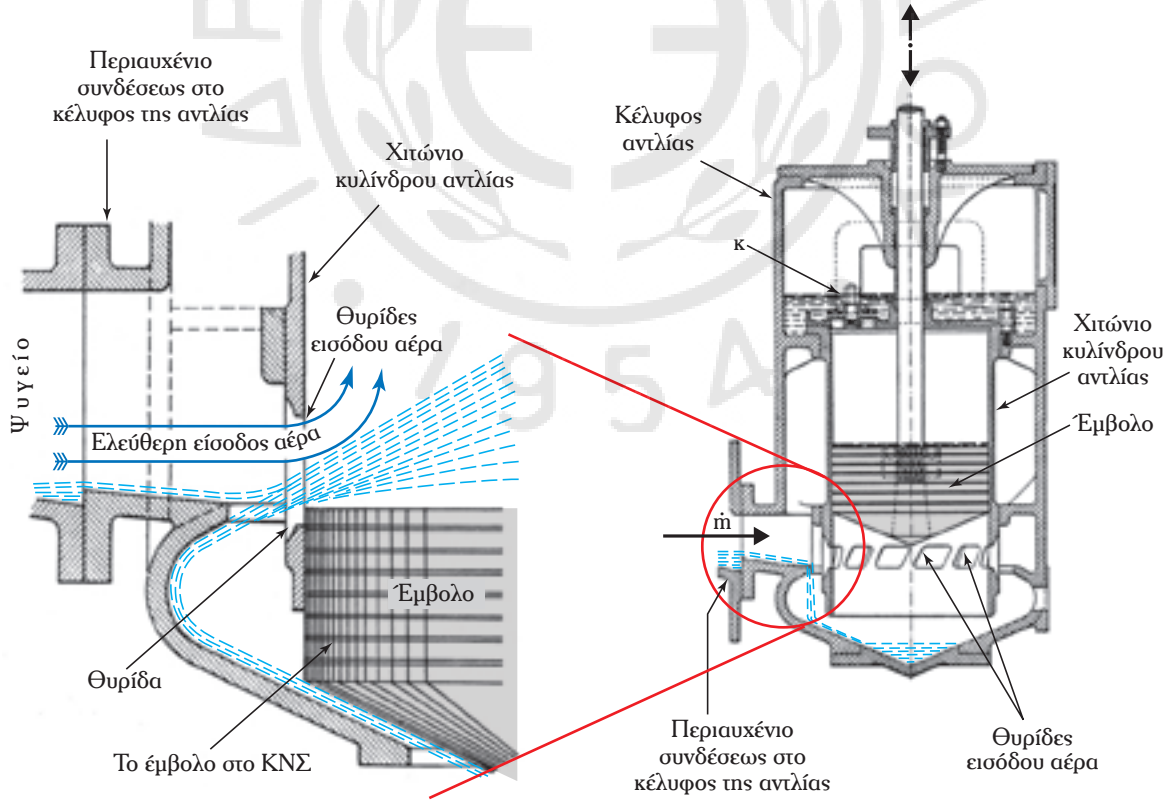
Σχ. 7.1γ
Αντλία με τρεις σειρές βαλβίδων στο έμβολο.

έζεται και καταθλίβεται από τις βαλβίδες του κυλίνδρου [σχ. 7.1γ(γ)], ενώ ταυτόχρονα αναρροφά νέο υγρό μέσω της βαλβίδας [σχ. 7.1γ(α)]. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε κάθε παλινδρομική κίνηση του εμβόλου.

Οι αντλίες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπυκνώματος σε δίκτυα λεβήτων, και στην άντληση της ποσότητας του υγρού φορτίου που έχει απομείνει στις δεξαμενές όταν η στάθμη του είναι χαμηλή. Τα βάκτρα των εμβόλων, συνδέονται με ζυγό, ο οποίος μεταδίδει την κίνηση στον διανομέα ατμού επιτυγχάνοντας τα έμβολα να κινούνται εναλλάξ δημιουργώντας σχεδόν συνεχή ροή στον σωλήνα καταθλίψεως.

2) Οι αντλίες με θυρίδες τύπου Edwards (σχ. 7.1δ).

Το νερό στην αντλία αυτή εισέρχεται λόγω της βαρύτητας στην κοιλότητα του πυθμένα της. Η κεφαλή του εμβόλου διαθέτει όμοια κωνικότητα, ώστε κινούμενο προς το ΚΝΣ να συμπιέζει το υγρό που ακολουθώντας την κοιλότητα του κυλίνδρου εκτι-



Σχ. 7.1δ
Αντλία τύπου Edwards.

νάσσεται περιφερειακά και εισέρχεται στο επάνω μέρος του εμβόλου.

Καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, αποκαλύπτοντας τις θυρίδες του κυλίνδρου μαζί με το νερό παρασύρεται και αέρας. Το υγρό μαζί με τον αέρα συμπιέζονται και καταθλίβονται, με την κίνηση του εμβόλου από τη βαλβίδα καταθλίψεως (κ) που βρίσκεται τοποθετημένη στην επάνω πλευρά του κυλίνδρου. Οι αντλίες Edwards πλεονεκτούν σε σχέση με τις αντλίες που κατασκευάζονται με τρεις σειρές βαλβίδων διότι περιορίζονται οι πιθανές βλάβες λόγω του μειωμένου αριθμού βαλβίδων, ενώ ο έλεγχος όπως και η συντήρησή τους είναι ευκολότερα.

3) Δίδυμη ή διπλή αεραντλία (Dual air pump) ή δίδυμη αεραντλία Weir.

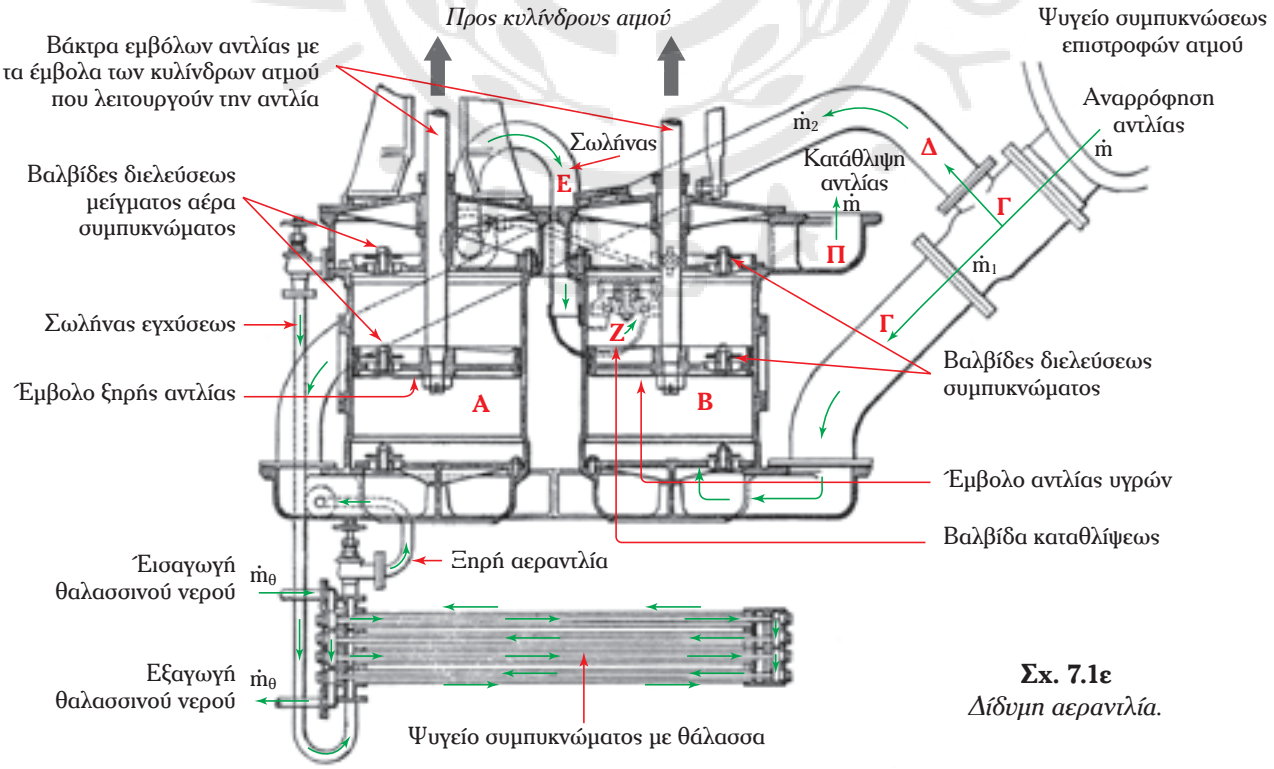
Η δίδυμη αεραντλία συναντάται κυρίως σε παλαιότερες εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων εξυπηρετώντας τις ανάγκες υψηλού κενού. Αποτελείται από δύο επιμέρους αντλίες, [η μία εκ των οποίων αντλία (Α)] χρησιμοποιείται για την αναρρόφηση του αέρα από το ψυχρότερο μέρος του ψυγείου και ονομάζεται ***ξηρή***, ενώ η άλλη για την αναρρόφηση του συμπυκνώματος και ονομάζεται ***αντλία υγρών*** (Β).

Η διάταξη των αντλιών εικονίζεται στο σχήμα 7.1ε, όπου οι δύο αντλίες παρουσιάζονται σε παράλληλη διάταξη. Η κίνηση των εμβόλων της αντλίας επιτυγχάνεται από κύλινδρο ατμού, με το βάκτρο του συνδεμένο στο έμβολο της αντλίας υγρών, ενώ το ίδιο βάκτρο του εμβόλου ατμού μέσω ζυγού κινεί την ξηρή αντλία, ώστε τα δύο έμβολα στις αντλίες να κινούνται αντίθετα.

Η αντλία υγρών (Β) αναρροφά το συμπύκνωμα και μέρος του αέρα μέσω του σωλήνα (Γ), ενώ η ξηρή αντλία (Α) αναρροφά μόνο αέρα και μη συμπυκνωμένους ατμούς από το υψηλότερο σημείο μέσω του αγωγού (Δ). Η όλη εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με ψυγείο που λειτουργεί με θαλασσινό νερό.

Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος ο αέρας που αναρροφάται, αναμειγνύεται με νερό από το συμπύκνωμα που αναρροφά η ίδια η αντλία και εγχέεται στην αναρρόφηση της ξηρής αντλίας μέσω του σωλήνα εγχύσεως. Το συμπύκνωμα αυτό ψύχεται στο ψυγείο συμπυκνώματος με θάλασσα και στη συνέχεια αναρροφάται από την ξηρή αεραντλία. Το μείγμα αέρα-συμπυκνώματος οδηγείται μέσω του σωλήνα εγχύσεως ξανά στο ψυγείο, όπου ψύχεται εκ νέου δημιουργώντας συνεχή επανακυκλοφορία.

Το πλεόνασμα συμπυκνώματος-αέρα που δημιουργείται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας, οδηγείται μέσω του σωλήνα και της βαλβίδας καταθλίψεως στο επάνω μέρος του εμβόλου της αντλίας



Σχ. 7.1ε
Δίδυμη αεραντλία.

υγρών. Στη συνέχεια καταθλίβεται (Π) με το υπόλοιπο συμπύκνωμα που αναρροφάται από την αντλία υγρών προς το θερμοδοχείο ή τη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού. Από το θερμοδοχείο ή τη δεξαμενή τροφοδοτικών νερού η τροφοδοτική αντλία στέλνει ξανά το νερό στον λέβητα ατμοποιήσεως.

Οι κύλινδροι των δύο αντλιών διαθέτουν ανακουφιστική βαλβίδα που παραμένει κλειστή στην ξηρή αεραντλία, ενώ στην αντλία υγρών ανοίγει σε περίπτωση ανάγκης προς αποφυγή κτύπων. Σε αυτήν την αντλία, λόγω της επανακυκλοφορίας και της ψύξεως του συμπυκνώματος από το ψυγείο, επιτυγχάνεται χαμηλότερη θερμοκρασία του μείγματος αέρα-συμπυκνώματος που εξάγεται προς το θερμοδοχείο ή τη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού. Ο κύλινδρος ατμού που δίνει κίνηση στην αντλία είναι ίδιος με αυτόν στην αντλία Weir, ενώ όταν στο σύστημα προστίθεται εκχυτήρας η διάταξη ονομάζεται ***αντλία με εκχυτήρα Weir-Paragon***.

Η χρήση των εμβολοφόρων αντλιών άμεσης μεταδόσεως παρέχει τη δυνατότητα η πίεση και η ροή του υγρού να πραγματοποιείται σε οποιοδήποτε σημείο, εντός των ορίων που προβλέπονται από τον κατασκευαστή. Αυτό επιτυγχάνεται περιορίζοντας την παροχή του ατμού από τη χειροκίνητη βαλβίδα (επιστόμιο) ελέγχου ή μέσω αυτόματης διατάξεως. Η μέγιστη ταχύτητα κινήσεως της αντλίας εξαρτάται από τη συχνότητα με την οποία οι βαλβίδες ανοιγοκλείνουν ομαλά, ενώ η παροχή του υγρού μπορεί να κυμαίνεται από την ελάχιστη έως τη μέγιστη ονομαστική τιμή της πίεσεως σχεδιασμού του εμβόλου στον κύλινδρο των υγρών. Η τιμή αυτή περιορίζεται από τη διαθέσιμη πίεση του ατμού ή από το λόγο διαφοράς του μεγέθους της διατομής του εμβόλου ατμού με το έμβολο στον κύλινδρο της αντλίας που διακινεί το υγρό.

7.2 Δυναμικές αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

Η ποικιλία των λειτουργιών σε ένα πλοίο επιτρέπει να γίνει διαχωρισμός των δυναμικών αντλιών σε διάφορες ομάδες όπως στις:

1) Αντλίες που χρησιμοποιούνται στην εξυπηρέτηση της λειτουργίας των μηχανών προώσεως ανάλογα με την εγκατεστημένη μονάδα ισχύος π.χ. για μηχανές ατμού ή ΜΕΚ.

2) Αντλίες ειδικών εγκαταστάσεων, π.χ. παραγωγής γλυκού νερού (fresh water generator) ή μεταγγίσεως καυσίμων (transfer pump) κ.λπ..

3) Αντλίες για την άντληση κυτών (bilge pump) και διαχειρίσεως έρματος (ballast pumps).

4) Αντλίες γενικής χρήσεως (general service pumps) και εξυπηρετήσεως υγιεινής για το πλήρωμα και τους επιβάτες κ.λπ..

5) Αντλίες προωθήσεως ή ενισχυτικές (booster pumps).

6) Αντλίες φορτίου δεξαμενοπλοίων (Δ/Ξ) (cargo pumps).

Ανεξάρτητα από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δυναμικών αντλιών και την ταξινόμησή τους (σελ. 6-7), η χρήση των αντλιών ως σκοπό έχει τη μεταφορά υγρών υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας, που μπορεί να έχουν υψηλή διαβρωτική δράση, ενώ πιθανόν στο μεταφερόμενο ρευστό να αιωρούνται και στερεά σωματίδια. Γι' αυτό, ***τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αντλιών*** πρέπει να ανταποκρίνονται ανάλογα στην κάθε περίπτωση. Αυτά είναι:

1) Στις αντλίες που χρησιμοποιούνται για το νερό ψύξεως της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών, στο δίκτυο γλυκού νερού ή πόσιμου νερού, το κέλυφος είναι κατασκευασμένο από υψηλής ποιότητας χυτοσίδηρο, το στροφείο από χαλκό ή κράμα χαλκού και ο άξονας από ανοξείδωτο χάλυβα για υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση.

2) Στις αντλίες θαλάσσης, από τις οποίες εκτός από το ωκεάνιο νερό διέρχεται και το θαλασσινό νερό των παρακτίων περιοχών και νερό των ποταμών. Το υλικό κατασκευής του κελύφους τους είναι από ορείχαλκο, το στροφείο από κράμα χαλκού και αλουμίνιο, και ο άξονας από ανοξείδωτο χάλυβα. Όταν η στεγανοποίηση γίνεται με παρεμβύσματα (σαλαμάστρες) ή όταν χρησιμοποιούνται μηχανικοί στυπειοθλίπτες, οι άξονες κατασκευάζονται από κράματα ανοξείδωτου χάλυβα, που του προσδίδουν τέτοιες ιδιότητες, ώστε να μην αντιδρά με το υλικό στεγανοποιήσεως και να αντέχει στην τριβή και την θερμοκρασία, όταν αυτές αναπτύσσονται.

3) Στις τροφοδοτικές αντλίες των λεβήτων, λόγω της λειτουργίας τους σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται χυτοσίδηρος για το κέλυφος, ενώ ο άξονας και το στροφείο κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα.

4) Στις αντλίες φορτίου ανάλογα με τον τύπο του πλοίου χρησιμοποιείται:

α) Ορείχαλκος για τις αντλίες στα Δ/Ξ.

β) Ανοξείδωτος χάλυβας για το κέλυφος, το στροφείο και τον άξονα, κατάλληλος για να αντέχει στη

διάβρωση από τα περισσότερα χημικά φορτία στα χημικά πλοία.

γ) Κράμα νικελίου – χάλυβα, για τις αντλίες χαμηλής θερμοκρασίας του φορτίου των υγραεριοφόρων (Liquefied Gas Carrier).

Επίσης, ***οι αντλίες θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες*** έτσι, ώστε:

1) Να είναι ανθεκτικές στα δυναμικά φορτία που προκύπτουν από την κίνηση των πλοίων, λόγω της λειτουργίας τους σε μία κινούμενη πλατφόρμα όπου πιθανόν να υπάρχουν και κραδασμοί.

2) Να αντέχουν το ζεστό περιβάλλον λειτουργίας του μηχανοστασίου, το οποίο ενδεχομένως να είναι υγρό και διαβρωτικό λόγω της υγρασίας που μεταφέρεται με το «θαλασσινό» αέρα μέσω των οχετών εξαερισμού.

3) Να είναι κατάλληλες για λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή, όπως συμβαίνει κατά τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο λιμάνι ή εν πλω ή κατά την εκφόρτωση του πλοίου (π.χ. η μεταβολή στη διαγωγή του πλοίου, η λειτουργία τους κατά τους έντονους κλυδωνισμούς του σκάφους σε θαλασσοταραχή).

4) Να ελαχιστοποιείται το μέγεθος και το βάρος τους, που αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο λόγω των περιορισμών του χώρου εγκαταστάσεως. Γι' αυτόν τον λόγο συνήθως τοποθετούνται κατακόρυφα, ενώ οι βάσεις στηρίξεως είναι μεγαλύτερες από αυτές των αντλιών ξηράς.

7.2.1 Μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες απλής αναρροφήσεως.

Οι μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρροφήσεως κατασκευάζονται με οριζόντιο ή κάθετο άξονα σε εύρος παροχών που κυμαίνεται από 100 m^3/h έως 7.000 m^3/h. Έχουν υψηλό μανομετρικό ύψος καταθλίψεως και οι στροφές τους εξαρτώνται από τις απαιτήσεις της παροχής αλλά και το ύψος καταθλίψεως.

Ανάλογα με το μέγεθός τους και τον κατασκευαστή, σχεδιάζονται με αξονικά διαιρούμενο κέλυφος το οποίο μπορεί να είναι μονού ή διπλού σπειροειδούς κελύφους (σχ. 3.3β). Σε μικρότερου μεγέθους αντλίες το κέλυφος δύναται να είναι ενιαίο γύρω από το στροφείο και να έχει καπάκι που εφαρμόζει με βίδες στην επάνω πλευρά του κελύφους, επιτρέποντας την αποσυναρμολόγηση για τον έλεγχο του στροφείου και του εσωτερικού του. Στις οριζόντιες αντλίες τα περιαυχένια συνδέσεως με τους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως βρίσκονται στο κάτω ημικέλυφος, το οποίο είναι σταθερά εγκατεστημένο στη βάση στηρίξεως, ενώ στις κάθετες αντλίες στα πλάγια του σταθερού ημικελύφους αντίστοιχα, διευκολύνοντας την αποσυναρμολόγηση (εξάρμοση) για επιθεώρηση ή επισκευή.

Ο άξονας μεταδόσεως κινήσεως του στροφείου συνδέεται με τον άξονα από το κινητήριο μηχάνημα (συνήθως ηλεκτροκινητήρας) με σύνδεσμο-σύζευξη (coupling) που αποτελείται από δύο τμήματα. Το ένα εφαρμόζεται στον άξονα της αντλίας και το άλλο στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Η σύνδεση των δύο τμημάτων πραγματοποιείται με βίδες και παξιμάδια. Στα σημεία απ' τα οποία διέρχονται οι βίδες από το σύνδεσμο υπάρχουν κατάλληλα διαμορφωμένοι ελαστικοί δακτύλιοι γύρω από τις βίδες, επιτυγχάνοντας την ομαλή εκκίνηση και μετάδοση της κινήσεως από το ένα τμήμα του συνδέσμου στο άλλο και κατ' επέκταση από τον ηλεκτροκινητήρα στον άξονα της αντλίας.

Η στήριξη, αλλά και η ευθυγράμμιση του άξονα περιστροφής του στροφείου πραγματοποιείται με ένσφαιρο τριβέα (ρουλεμάν) στην πλευρά του κινητήριου μηχανήματος (σχ. 7.2α). Σε αντλίες με άξονα μεγάλου μήκους για τη στήριξή του μπορεί να χρησιμοποιούνται και δύο ένσφαιροι τριβείς σε κατάλληλα διαμορφωμένη υποδοχή στο επάνω μέρος του κελύφους της αντλίας (bearing housing) (σχ. 7.2β).

Η στεγανοποίηση του άξονα στην έξοδο από το κέλυφος πραγματοποιείται με μηχανικό στυπειοθλίπτη (mechanical seal) ή με μαλακά παρεμβύσματα (σαλαμάστρες – glad packing), κατάλληλα για το υγρό που διαρρέει την αντλία και τη θερμοκρασία του.

Το στροφείο μπορεί να είναι κλειστού τύπου με αναρρόφηση από τη μία πλευρά, αλλά για την επίτευξη μεγάλης παροχής ή λόγω των κατασκευαστικών αναγκών με σκοπό τη μείωση της αξονικής ώσεως, το στροφείο μπορεί να είναι διπλής εισόδου (σχ. 7.2γ).

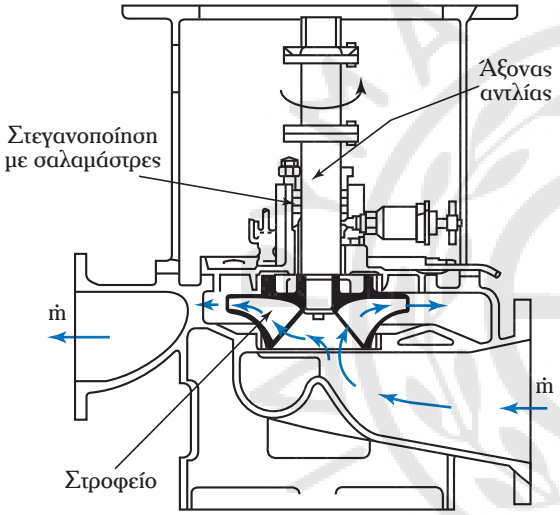
Η στεγανοποίηση του στροφείου με το κέλυφος, στον διαχωρισμό της αναρροφήσεως από την κατάθλιψη, πραγματοποιείται με δακτυλίους (mouth-wear rings), αφήνοντας μικρό διάκενο που περιορίζει το μέγεθος των απωλειών.

Οι δακτύλιοι εφαρμόζουν με μεγάλη ακρίβεια και τοποθετούνται είτε με πίεση σε κατάλληλα διαμορφωμένη υποδοχή στο κέλυφος ***διατηρώντας σταθερά τη θέση τους με τη βοήθεια μεταλλικών πίρων, είτε ασφαλίζονται με μικρές βίδες*** (μόνο το σπείρωμα). Αντικαθίστανται όταν υπερβούν τα όρια φθοράς που ορίζονται από τον κατασκευαστή

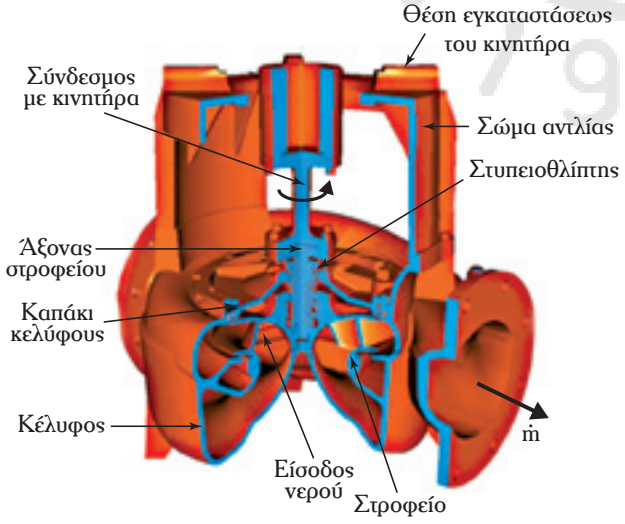
και συμβάλλουν στην απόδοση και την ομαλή λειτουργία των αντλιών.

Οι μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούνται ως αντλίες θαλασσινού ή γλυκού νερού, ελαίου και πετρελαίου, όπως για την ψύξη χιτωνίων της κύριας μηχανής (jacket pumps), για την ψύξη εμβόλων (piston pumps), για την κυκλοφορία θαλάσσης στα δίκτυα ψύξεως (sea water pumps), για μετάγγιση και φορτίο πετρελαίου (transfer και cargo oil pumps) κ.λπ..

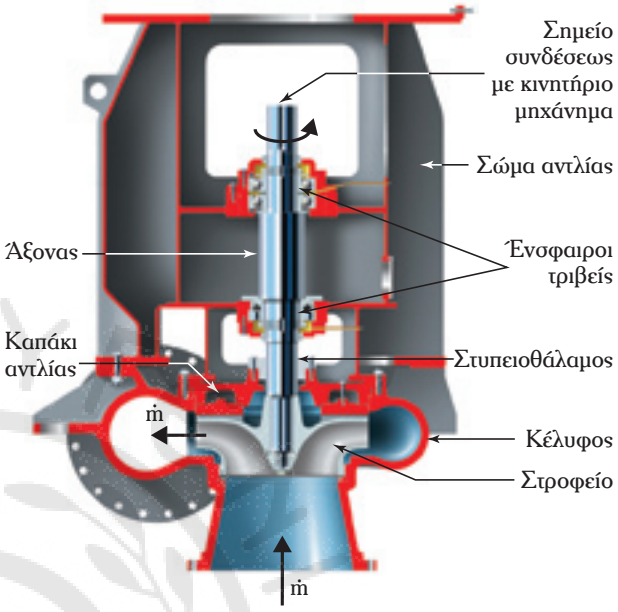
Αν τα άκρα του άξονα περιστροφής του στροφείου διαπερνούν το κέλυφος και εξέχουν από τις δύο πλευρές του, η στήριξη του στροφείου επιτυγχάνεται με ένσφαιρους τριβείς και στις δύο εξόδους του άξονα από την αντλία. Η διάταξή τους ενδέχεται να είναι κάθετη ή οριζόντια και αντίστοιχα ονομάζονται ***κάθετες*** ή ***οριζόντιες*** μεταξύ των τριβέων φυγοκεντρικές αντλίες (vertical or horizontal between-bearings centrifugal pumps).



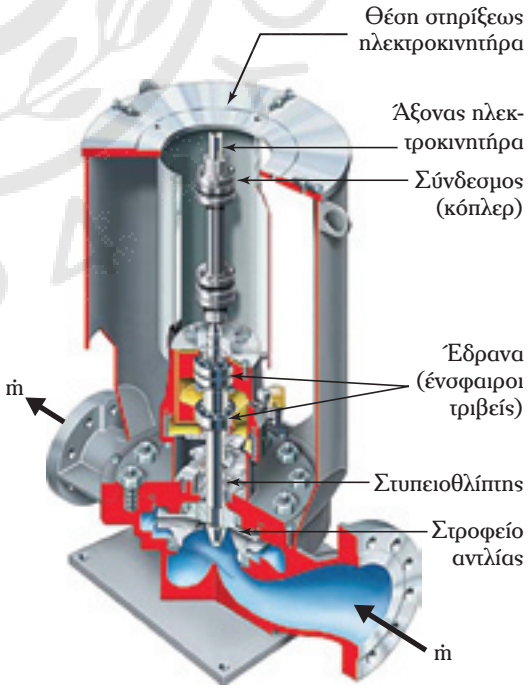
Τομή



Σχ. 7.2α
Μονοβάθμια αντλία.



Σχ. 7.2β
Αντλία με κάθειο άξονα και στήριξη με τριβείς σε δύο σημεία.



Σχ. 7.2γ
Μονοβάθμια αντλία με στροφείο διπλής εισόδου.

7.2.2 Πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες με ηλεκτροκινητήρα.

Οι αντλίες αυτές τοποθετούνται συνήθως σε οριζόντια διάταξη, με την αντλία και τον ηλεκτροκινητήρα σε μία ενιαία βάση. Χρησιμοποιούνται ως τροφοδοτικές αντλίες λεβήτων και αποτελούνται από πολλά στροφεία τοποθετημένα πάνω στον ίδιο άξονα. Ο αριθμός των στροφείων εξαρτάται από την επιθυμητή παροχή και πίεση καταθλίψεως.

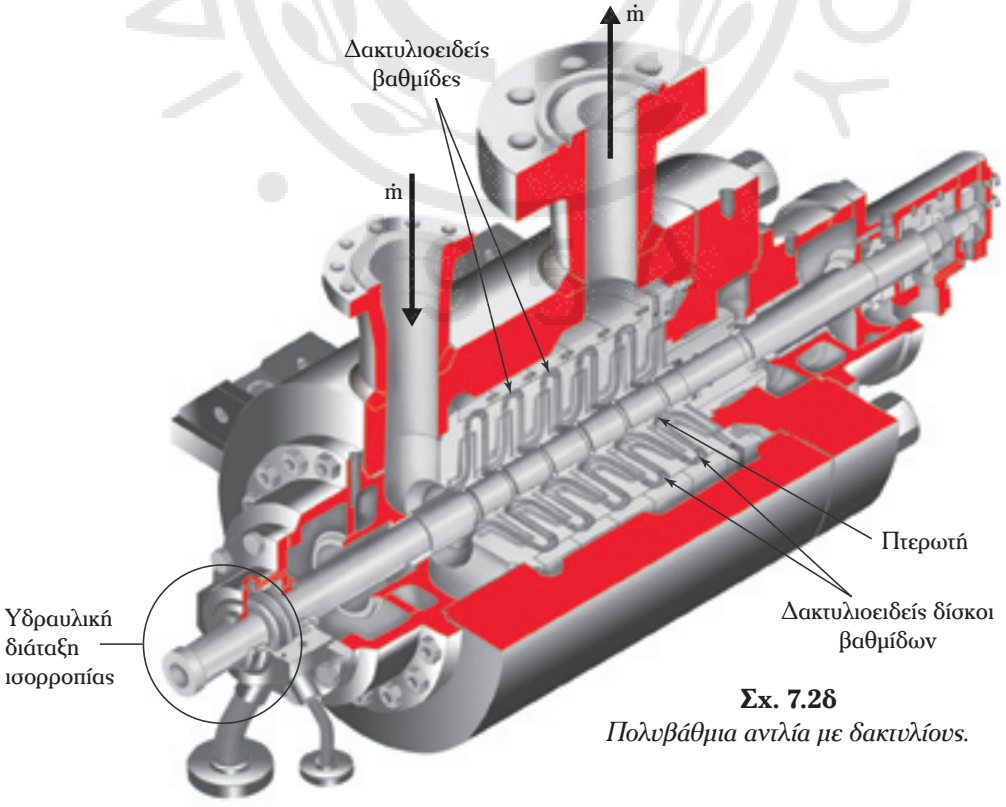
Ο τρόπος κατασκευής των πολυβαθμίων (πολυσταδιακών) αντλιών μπορεί να διαφέρει, αλλά ουσιαστικά η ροή του υγρού για την αύξηση της πίεσεως και της παροχής ακολουθεί την ίδια διαδικασία. Η αντλία μπορεί:

1) Να αποτελείται από τόσους δακτυλιοειδείς δίσκους όσα είναι και τα στροφεία. Έτσι, δημιουργούνται οι βαθμίδες μεταξύ των οποίων το υγρό διέρχεται εναλλάξ από τους δίσκους και τα στροφεία. Οι δίσκοι των βαθμίδων-σταδίων συγκρατούνται είτε με κοχλίες συσφίγξεως μεταξύ ενός ημικελύφους αναρροφήσεως και ενός καταθλίψεως, όπου συνδέονται οι σωλήνες του δικτύου, είτε οι δακτυλιοειδείς δίσκοι περιβάλλονται από ένα κέλυφος που τους συγκρατεί, δημιουργώντας τις βαθμίδες ροής του υγρού (σχ. 7.2δ).

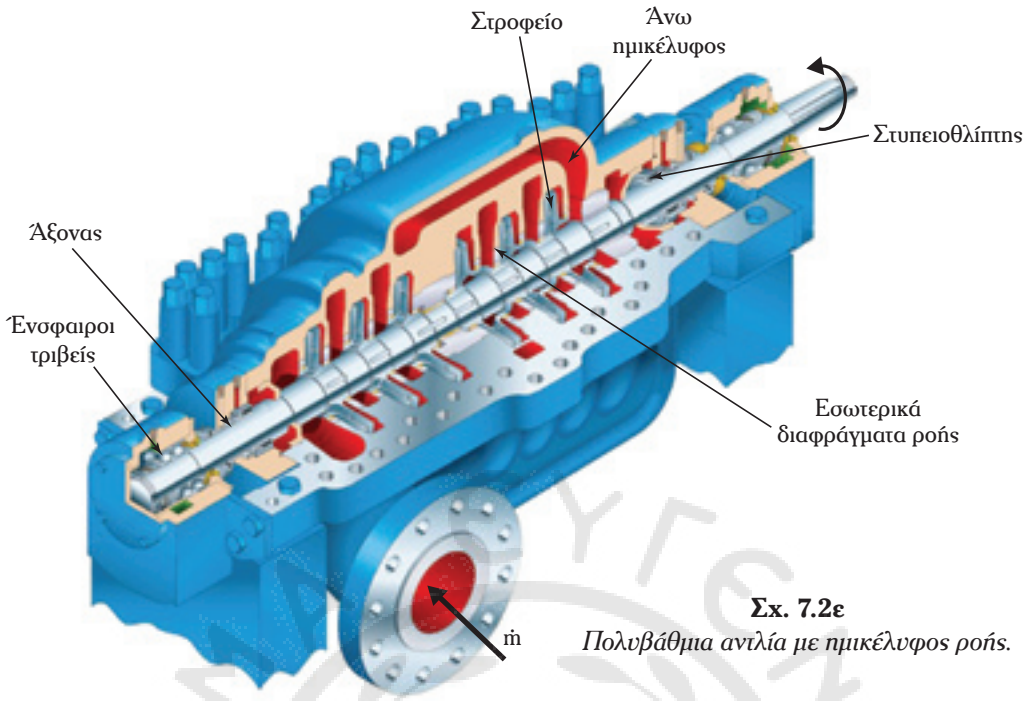
2) Το κέλυφος δύναται να χωρίζεται αξονικά σε δύο ημικελύφη στο επίπεδο του άξονά του. Το κάθε ημικέλυφος είναι διαμορφωμένο με διαφράγματα ροής δημιουργώντας τους θαλάμους που περιέχουν τα στροφεία κλειστού τύπου. Το υγρό διέρχεται εναλλάξ από τους θαλάμους και τα στροφεία, ώστε να δημιουργείται η ροή από το στροφείο της μίας βαθμίδας στο επόμενο και να αυξάνεται σταδιακά η πίεση (σχ. 7.2ε).

Λόγω του αριθμού των στροφείων ο άξονας έχει μεγάλο μήκος και εξέρχεται και από τις δύο πλευρές του κελύφους. Η στήριξη του άξονα σε κάθε άκρο του πραγματοποιείται με ένσφαιρους τριβείς, ενώ η στεγανοποίηση στα σημεία εξόδου από το κέλυφος επιτυγχάνεται από στυπειοθλίπτες με σαλαμάστρες υψηλής ποιότητας και αντοχής ή με μηχανικούς στυπειοθλίπτες.

Η απόσβεση των αξονικών ώσεων που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία των αντλιών, ανάλογα με τον κατασκευαστή και το μέγεθος της αντλίας, γίνεται είτε από δισκοειδή ελατήρια, είτε από υδραυλικά συστήματα. Τα δισκοειδή ελατήρια ανάλογα με τη ρύθμισή τους λαμβάνουν το φορτίο και ορίζουν τη θέση του άξονα. Στα υδραυλικά συστήματα μία κατάλληλη υδραυλική διάταξη εξισορροπήσεως δι-



Σχ. 7.2δ
Πολυβάθμια αντλία με δακτυλίους.



Σχ. 7.2ε
Πολυβάθμια αντλία με ημικέλυφος ροής.

ατηρεί τη θέση του άξονα στη σωστή θέση σε όλα τα φορτία λειτουργίας.

Σε αυτού του τύπου αντλίες είναι πολύ σημαντικό η πίεση καταθλίψεως να φτάνει σε σύντομο χρονικό διάστημα στο επιθυμητό επίπεδο λειτουργίας, ώστε να μειώνεται η φθορά και η κόπωση των σημείων εδράσεως. Γι' αυτόν το σκοπό τοποθετείται στην κατάθλιψη επιστόμιο με ανεπίστροφη βαλβίδα, ώστε να εξασφαλιστεί ότι η αντλία θα επιτύχει σε σύντομο χρονικό διάστημα το φορτίο για το οποίο είναι ρυθμισμένη να λειτουργεί. Η ανεπίστροφη βαλβίδα σε κάποια επιστόμια λειτουργεί υπό την επίδραση της εντάσεως ελατηρίου.

Για την προστασία της αντλίας, όταν η πίεση αναρροφήσεως στην πρώτη βαθμίδα πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο, τοποθετείται πρεσσοστάτης[1] (pressure switch) αποτρέποντας την ανώμαλη λειτουργία της αντλίας σε συνθήκες που προκαλούν σπηλαίωση στις επιφάνειες του κελύφους και του στροφείου.

7.2.3 Φυγοκεντρικές αντλίες με ατμοστρόβιλο.

Οι ***φυγοκεντρικές αντλίες*** συνήθως κινούνται με ηλεκτροκινητήρα, όμως σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια από την παραγωγή ατμού ή απαιτείται μεγάλη παροχή καταθλίψεως, τότε χρησιμοποιείται ατμοστρόβιλος ως κινητήριο μέσο της αντλίας. Στην περίπτωση αυτή ονομάζονται στροβιλαντλίες (steam turbine driven pumps).

Η απόδοση και η αξιοπιστία μίας φυγοκεντρικής αντλίας που κινείται από ατμοστρόβιλο παρέχοντας σταθερή παροχή, είναι ιδανική για να καλύψει τις ανάγκες σε νερό του ατμολέβητα.

Με αυτές τις αντλίες αντιμετωπίζεται και η δυνατότητα του λέβητα να αποθηκεύσει ικανοποιητική ποσότητα τροφοδοτικού νερού σε σχέση με την ποσότητα που χρειάζεται για την ατμοπαραγωγή. Ταυτόχρονα η εγκατάστασή τους στα δίκτυα τροφοδοτήσεως των λεβήτων βελτιώνει τον κύκλο αποδόσεως του συστήματος χρησιμοποιώντας τον ατμό εξόδου για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού.

Η δυνατότητα των φυγοκεντρικών αντλιών στην ανάπτυξη μεγάλης παροχής βρίσκει εφαρμογή στην εκφόρτωση των Δ/Ξ όπου είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση του μεγάλου όγκου του φορτίου.

Οι στροβιλαντλίες δύναται να έχουν λίπανση ελαίου ή υδρολίπανση. Χαρακτηριστικοί τύποι αυτών των αντλιών είναι οι ακόλουθοι τρεις:

[1] Ο πρεσσοστάτης είναι διακόπτης πιέσεως ή διακόπτης διατηρήσεως της πιέσεως.

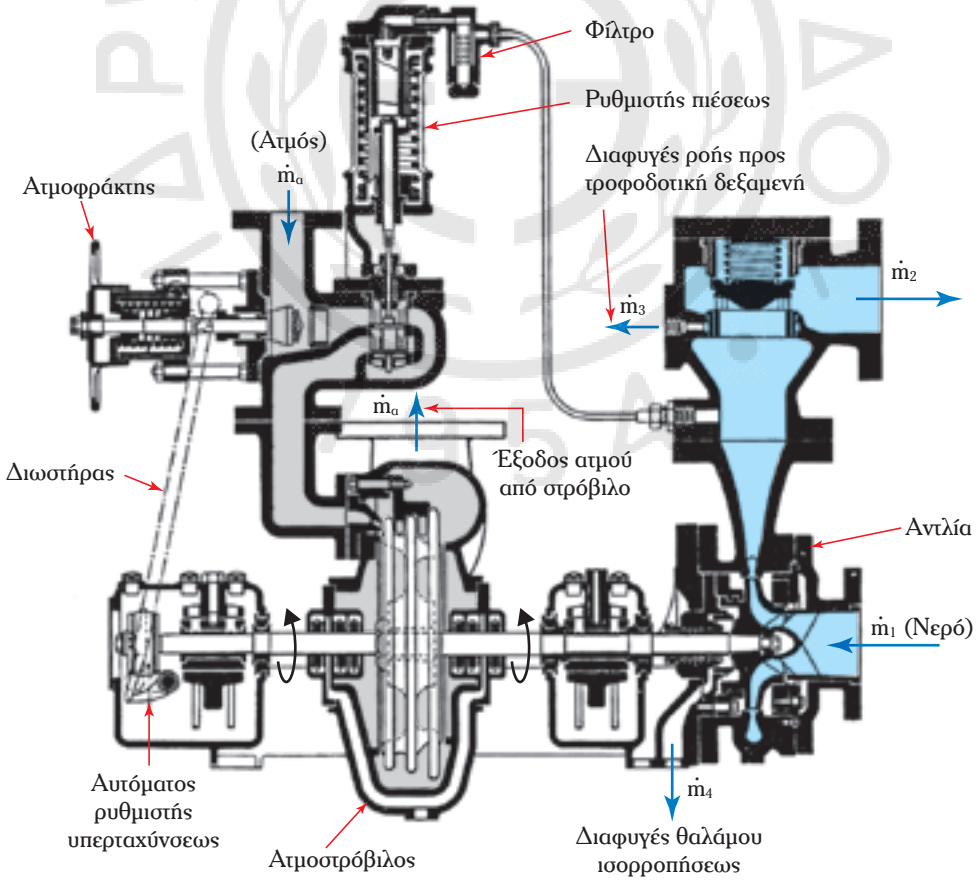
1) Στροβιλαντλία με λίπανση ελαίου (steam turbine, oil lubricated pump).

Ένα από τα κύρια μέρη απ' τα οποία αποτελείται η αντλία αυτή είναι ο ατμοστρόβιλος που είναι τροχός δράσεως τριών διαβαθμίσεων ταχύτητας, με τον άξονά του να επεκτείνεται μεταδίδοντας άμεσα την περιστροφική κίνηση στο στροφείο της μονοβάθμιας φυγοκεντρικής αντλίας (σχ. 7.2στ και 7.2ζ). Η στήριξη του άξονά του πραγματοποιείται σε τριβείς και η λίπανση γίνεται με έλαιο.

Ο ατμός εισέρχεται στο στρόβιλο μέσω του μόνιμα ανοικτού ατμοφράκτη. Στη συνέχεια μέσω βαλβίδας διπλής εδράσεως διέρχεται από τα σταθερά προφύσια που βρίσκονται στο κέλυφος, τα οποία οδηγούν τον ατμό προς τα κινητά πτερύγια για την περιστροφή του στροβίλου. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο της βαλβίδας διπλής εδράσεως, ελέγχεται από το βάκτρο της που συνδέεται σε έναν ρυθμιστή πιέσεως.

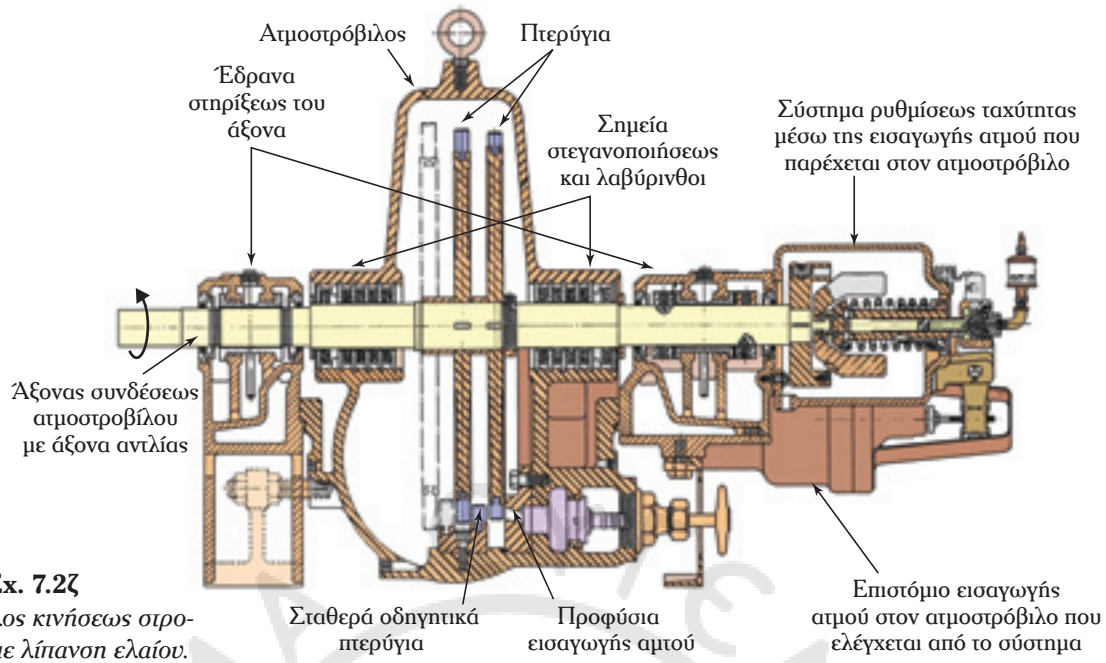
Ο ρυθμιστής αποτελείται από κύλινδρο με έμβολο, στην επάνω πλευρά του οποίου ενεργεί η πίεση της καταθλίψεως νερού της αντλίας, ενώ στο κάτω μέρος του ενεργεί ελατήριο. Έτσι η ποσότητα του ατμού που εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο εξαρτάται από την πίεση καταθλίψεως της αντλίας. Περαιτέρω δίδεται η δυνατότητα να ελεγχθεί η θέση της βαλβίδας διπλής εδράσεως από τη ρύθμιση της εντάσεως του ελατηρίου από ένα ρυθμιστικό κοχλία που ενεργεί στο έμβολο του κυλίνδρου. Αν ο ρυθμιστής είναι εντελώς ανοικτός και ο ατμός δεν επαρκεί για την τροφοδότηση του λέβητα, ανοίγονται τα βοηθητικά προφύσια εγκατεστημένα στο κέλυφος του στροβίλου. Έτσι ο ρυθμιστής πιέσεως παρέχει μία ισορροπημένη λειτουργία σύμφωνα με τις απαιτήσεις της καταναλώσεως.

Οι στροφές περιστροφής του κοινού άξονα του στροβίλου και της αντλίας, ελέγχονται με δακτυλιοειδή διακόπτη ασφαλείας (overspeed trip) που την προστατεύει από βλάβες τις οποίες θα μπορούσε να προκαλέσει η ανάπτυξη μεγάλης ταχύτητας (υπερτάχυνση) (σχ. 7.2η). Ο διακόπτης αυτός αποτελείται από έναν μη ζυγοσταθμισμένο δακτύλιο, το βάρος



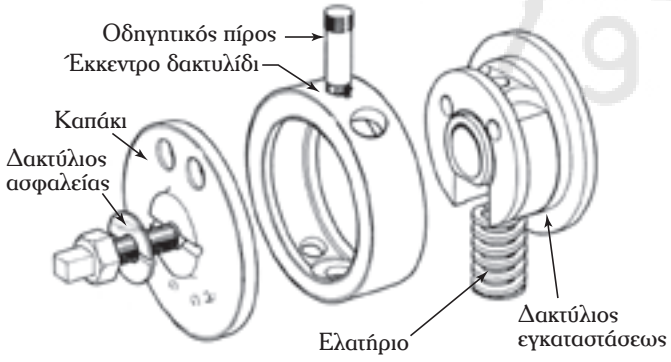
Σχ. 7.2στ

Αντλία ατμοστροβίλου με λίπανση ελαίου.



Σχ. 7.2ζ
Ατμοστρόβιλος κινήσεως στροβιλαντλίας με λίπανση ελαίου.

του οποίου είναι διανεμημένο έκκεντρα, ενώ με τη βοήθεια εσωτερικού ελατηρίου και οδηγητικού πίρου διατηρείται ομόκεντρος προς τον άξονα. Όταν οι στροφές περιστροφής φτάσουν το προκαθορισμένο όριο της εντάσεως που ρυθμίζεται από το εσωτερικό ελατήριο, ωθείται ο διωστήρας συνδέσεώς του με τον κύριο ατμοφράκτη απασφαλίζοντας το ελατήριο. Τότε ακαριαία ελευθερώνεται το βάκτρο και κλείνει τον κύριο ατμοφράκτη διακόπτοντας τη ροή λειτουργίας ατμού στον ατμοστρόβιλο. Για να πραγματοποιηθεί εκ νέου η εκκίνηση της αντλίας πρέπει να οπλιστεί το βάκτρο ελέγχου του ατμοφράκτη με το ελατήριο, ώστε παρασύροντας εκ νέου τη βαλβίδα να την επαναφέρει στην ανοικτή θέση.



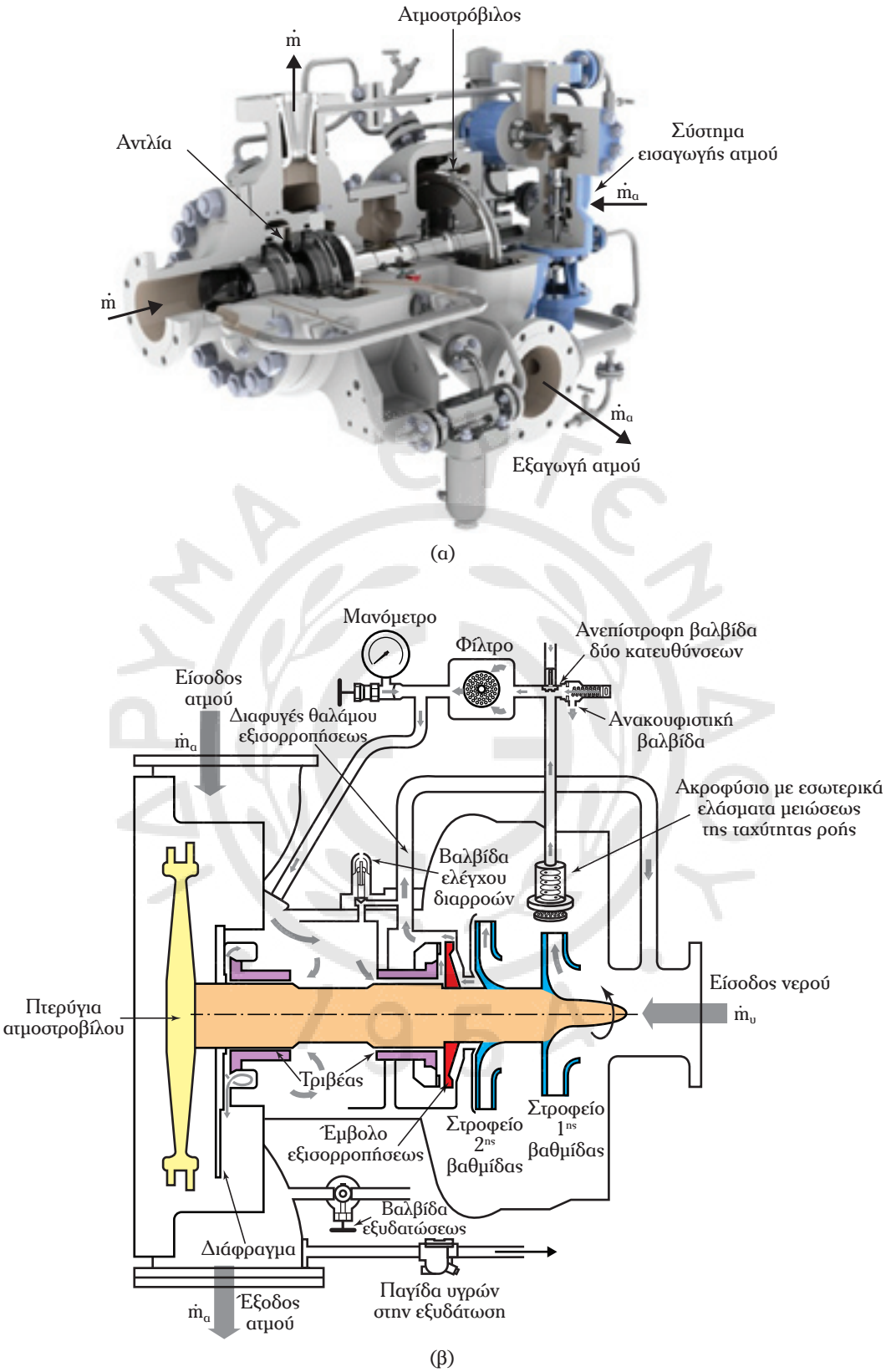
Σχ. 7.2η
Διακόπτης ασφαλείας υπεριαχύνσεως.

2) Στροβιλαντλία με υδρολίπανση (steam turbine, water lubricated pump).

Η επιτυχής ανάπτυξη τριβέων με υδρολίπανση αποτελεί μία πιο σύγχρονη μορφή της στροβιλαντλίας τύπου Weir, επιτρέποντας την κατασκευή μίας ενιαίας μονάδας του στροβίλου με την αντλία σε ένα κοινό κέλυφος [σχ. 7.2θ(β)]. Πρόκειται για στροβιλοκίνητη διβάθμια μονάδα, με το στρόβιλο δράσεως και το στροφείο της αντλίας προσαρμοσμένα στον ίδιο άξονα, χωρίς να υπάρχουν εξωτερικοί τριβείς στα άκρα του άξονα. Η στήριξή του επιτυγχάνεται με ενδιάμεσους τριβείς.

Το στροφείο του στροβίλου κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα και συνδέεται στον άξονα της αντλίας μέσω συνδέσμου ακτινικής οδοντώσεως με ειδικό σχεδιασμό, ώστε να επιτρέπεται η ελεύθερη ακτινική διαστολή του διατηρώντας την ευθυγράμμισή του. Η σύνδεση με αυτόν τον τρόπο εμποδίζει τη μεταφορά της θερμότητας προς τον τριβέα του άξονα της αντλίας ενεργώντας ως διάφραγμα. Επί πλέον, διευκολύνεται η αποσυναρμολόγηση της αντλίας για επισκευή χωρίς να επηρεάζεται η ***δυναμική ζυγοστάθμιση***[2] του μηχανήματος.

[2] Δυναμική ισορροπία υφίσταται όταν σε μία περιστρεφόμενη μάζα δεν προκύπτουν φυγοκεντρικές δυνάμεις π.χ. σε έναν άξονα αντλίας με το στροφείο ή στροφεία εγκατεστημένα στα δύο του άκρα. Η διεργασία για την επιτυχή δυναμική ισορροπία μίας περιστρεφόμενης μάζας καλείται ***δυναμική ζυγοστάθμιση***.



Σχ. 7.2θ

(α) Στροβιλαντλία με υδρολίπανση και
(β) σχεδιάγραμμα στροβιλαντλίας τύπου Weir με υδρολίπανση.

Η πλευρά της αντλίας αποτελείται από δύο στροφεία απλής αναρροφήσεως, τα οποία είναι δυναμικά ζυγοσταθμισμένα και κατασκευασμένα από στιλπνό ανοξείδωτο χάλυβα. Από ανοξείδωτο χάλυβα κατασκευάζονται επίσης οι διαχύτες και οι δακτυλιοειδείς αγωγοί καταθλίψεως του κελύφους.

Η ισορροπία του περιστρεφόμενου συστήματος, από την επίδραση των ώσεων δράσεως του ατμού και της υδραυλικής ώσεως, επιτυγχάνεται με ακρίβεια από αυτόματη ρυθμιστική διάταξη με ένα έμβολο εξισορροπήσεως (ζυγοσταθμίσεως) που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα.

Η υδρολίπανση των τριβέων κατά τη διάρκεια λειτουργίας πραγματοποιείται με τη διέλευση νερού από προφύσιο, αποτελούμενο από ***πολλά εμποδιστικά διαφράγματα***, το οποίο βρίσκεται στην κατάθλιψη του στροφείου της πρώτης βαθμίδας της αντλίας. Το οποίο νερό ρέει μέσω βαλβίδας διπλής κατευθύνσεως και φίλτρου προς τους τριβείς, ενώ η αύξηση της πιέσεως αποτρέπεται με ασφαλιστική βαλβίδα ελέγχου διαρροών τοποθετημένη στον σωλήνα νερού προς τους τριβείς. Στη συνέχεια το νερό που διέρχεται από τους τριβείς αναμειγνύεται με την εξαγωγή του στροβίλου, ενώ οι διαφυγές από το θάλαμο όπου βρίσκεται το έμβολο εξισορροπήσεως επιστρέφουν στην αναρρόφηση της αντλίας.

Στην εκκίνηση, στην κράτηση ή κατά τη διάρκεια αναμονής της αντλίας το νερό προς τους τριβείς παρέχεται από εξωτερική πηγή, που συνήθως είναι η αντλία συμπυκνώματος του δικτύου επιστροφών του ατμού, μέσω ανεπίστροφης βαλβίδας δύο κατευθύνσεων που συνδέεται στον σωλήνα νερού προς τους τριβείς, όπως στο σύστημα υδρολιπάνσεως (σχ. 7.2θ).

Η φθορά των τριβέων με την πάροδο του χρόνου έχει ως αποτέλεσμα την διέλευση μεγαλύτερης ποσότητας υγρού από τα διάκενα του τριβέα με τον άξονα και βαθμιαία πτώση της πιέσεως του λιπαντικού νερού στον κεντρικό θάλαμο. Για να αντιμετωπιστεί η πτώση της πιέσεως του λιπαντικού νερού, ρυθμίζεται η βαλβίδα επιστροφής των διαφυγών προς την αναρρόφηση της αντλίας, ώστε να διατηρηθεί στο επιθυμητό επίπεδο.

3) Στροβιλαντλία Coffin.

Οι ***στροβιλαντλίες Coffin*** είναι φυγοκεντρικές μονοβάθμιες αντλίες υψηλής ταχύτητας και χρησιμοποιούνται ως τροφοδοτικές νερού των ατμολεβήτων (σχ. 7.2ι). Είναι κατασκευασμένες έτσι, ώστε να πληρούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1) Η συμπαγής κατασκευή με μικρό όγκο και βάρος.

2) Η αξιοπιστία για συνεχή λειτουργία χωρίς ιδιαίτερη επίβλεψη.

3) Η απλότητα στην κατασκευή ώστε να διευκολύνονται οι περιοδικές επιθεωρήσεις και

4) η μεγάλη απόδοση με χαμηλό λειτουργικό κόστος.

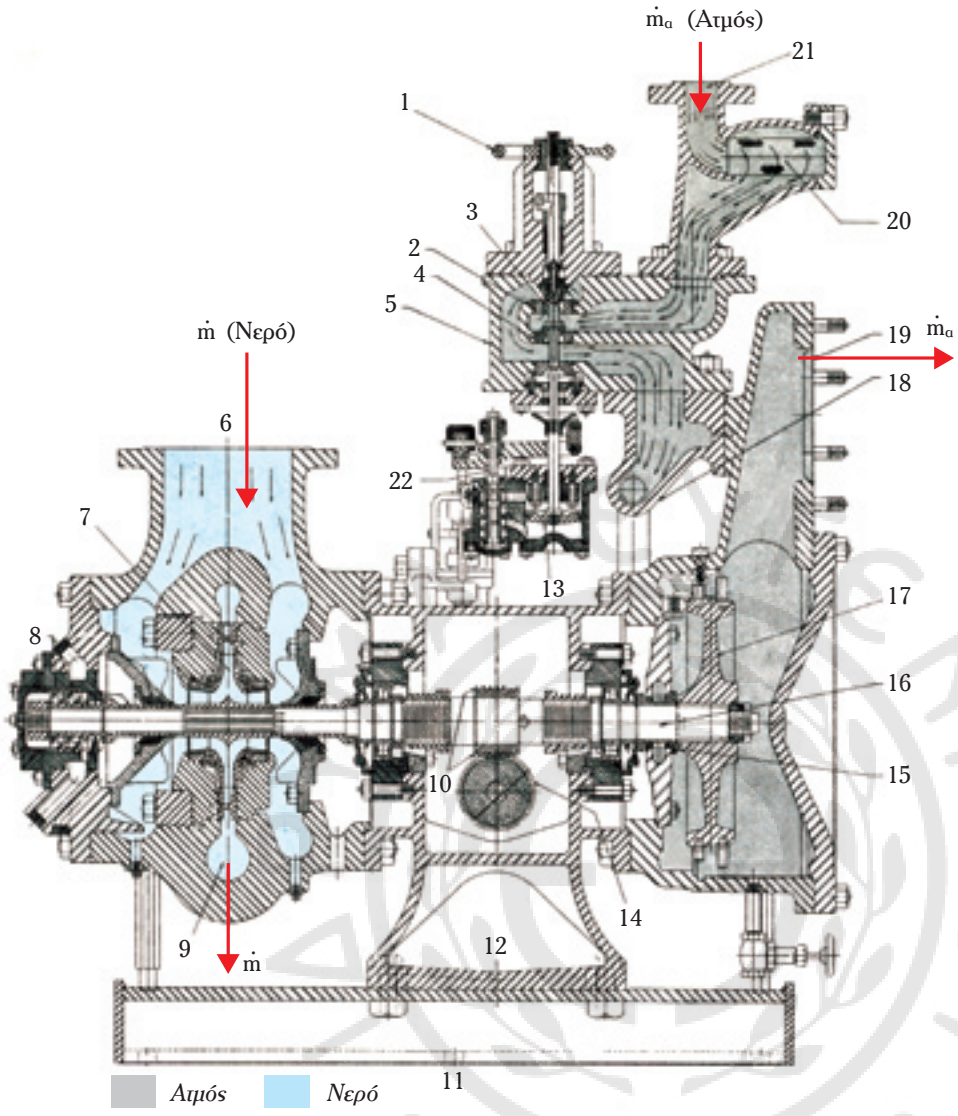
Οι στροβιλαντλίες Coffin δύνανται να λειτουργούν με ατμό θερμοκρασίας έως και 520°C και οι στροφές περιστροφής τους φτάνουν τις 9.000 rpm, που είναι σχεδόν διπλάσιες από τις συμβατικές αντλίες. Η βελτίωση της αποδόσεώς τους οφείλεται στη μείωση των μηχανικών απωλειών, εφόσον ο στρόβιλος και το στροφείο τους προσαρμόζονται σε έναν κοινό άξονα από ανοξείδωτο χάλυβα ή μέταλλο monel. Τα εξαρτήματά τους, όπως το στροφείο του στροβίλου, τα προφύσια, το κέλυφος του στροβίλου, οι δακτύλιοι φθοράς, τα διαφράγματα και οι εισαγωγή ατμού, κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα, ενώ το κέλυφος μπορεί να είναι και από χυτοχάλυβα.

Το στροφείο της στροβιλαντλίας Coffin είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται τέλεια ισορροπία στις αξονικές ώσεις. Είναι διπλής αναρροφήσεως ή μονής σε μικρότερες αντλίες και φέρει οπές εξισορροπήσεως της υδραυλικής ώσεως. Η ταχύτητα του νερού υπό την επίδραση του στροφείου της αντλίας μετατρέπεται σε πίεση στον διαχυτήρα, με αποτέλεσμα η ταχύτητά του στο ελικόφραγμα του κελύφους να είναι σχετικά μικρή. Η στεγανότητα εξασφαλίζεται με ειδικά κατασκευασμένα παρεμβύσματα.

Τα έδρανα της στροβιλαντλίας είναι κυλινδρικού τύπου τριβείς (cylindrical roller bearings), σχεδιασμένοι με ακρίβεια, ώστε να είναι ανθεκτικοί σε υψηλά φορτία και μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Με αυτούς εξασφαλίζεται η συγκεντρική περιστροφή του άξονα ελαττώνοντας στο ελάχιστο τα διάκενα των δακτυλίων φθοράς.

Η στροβιλαντλία Coffin διαθέτει ωστικό τριβέα, τύπου διπλού ένσφαιρου τριβέα, που τοποθετείται στο εξωτερικό κέλυφος. Έτσι επιτυγχάνεται η αυτόματη ρύθμιση της αξονικής θέσεως όλων των κινητών μερών της χωρίς να απαιτείται η χρήση προσθηκών ή άλλων ρυθμιστικών μέσων.

Η λίπανση της στροβιλαντλίας Coffin πραγματοποιείται από γραναζωτή αντλία, που κινείται μέσω ατέρμονα τροχού τοποθετημένου στον κύριο άξονα. Η πίεση του ελαίου λιπάνσεως είναι σταθερή, ανε-



1. Ατμοφράκτης.
2. Άνω έδρα βαλβίδας.
3. Βαλβίδα ελέγχου.
4. Κάτω έδρα βαλβίδας.
5. Ατμοκιβώτιο.
6. Αναρρόφηση αντλίας.
7. Στροφείο αντλίας.
8. Ωστικός τριβέας.
9. Κατάθλιψη αντλίας.
10. Ατέρμονας.
11. Βάση αντλίας.
12. Δεξαμενή ελαίου.
13. Έμβολο ελαιοκινητήρα.
14. Ατέρμονας τροχός κινήσεως ρυθμιστή της αντλίας.
15. Στυπειοθλίπτης άξονα.
16. Άξονας.
17. Στροφείο ατμοστροβίλου.
18. Εξαγωγή ατμού.
19. Εξαγωγή στροβίλου.
20. Φίλτρο ατμού.
21. Εισαγωγή ατμού.
22. Οδηγός βαλβίδα ελαίου.

Σχ. 7.21
Στροβιλαντλία Coffin.

ξάρτητα από τη μεταβολή της ταχύτητας και του φορτίου της μονάδας και επιτυγχάνεται με τον έλεγχο από την αυτόματη ρυθμιστική και την ασφαλιστική βαλβίδα.

Η στροβιλαντλία Coffin διαθέτει επίσης:

1) ***Ελαιοκινητήρα***, ο οποίος αποτελείται από κύλινδρο με έμβολο και ρυθμιστική ή οδηγό βαλβίδα. Έχει μεγάλη ισχύ και βαθμό ευαισθησίας, ώστε να ενεργοποιεί τη βαλβίδα ελέγχου του ατμού και αυτή να ανταποκρίνεται στις ωθήσεις του ρυθμιστή σταθερής πίεσης και του ρυθμιστή υπερταχύνσεως.

2) ***Ρυθμιστή σταθερής πίεσεως***, που ανταποκρίνεται στις στιγμιαίες πιέσεις από την κατάθλιψη του νερού με τη βοήθεια του ελαιοκινητήρα, ώστε να διατηρεί σταθερή ρυθμιζόμενη πίεση καταθλίψεως, ανεξάρτητα από την παροχή της αντλίας.

3) ***Φυγοκεντρικό ρυθμιστή υπερταχύνσεως*** για την προστασία της στροβιλαντλίας, ο οποίος επεμβαίνει αυτόματα σε προκαθορισμένη ταχύτητα. Σε περίπτωση απώλειας της αναρροφήσεως ο ρυθμιστής περιορίζει αυτόματα την ταχύτητα και επαναφέρει την στροβιλαντλία σε κανονική λειτουργία όταν αποκατασταθεί η αναρρόφηση.

4) ***Διακόπτη υπερβολικής αντιθλίψεως***, που κλείνει αυτόματα τη βαλβίδα εισαγωγής του ατμού σε περίπτωση υπερβολικής αυξήσεως της πίεσεως στην εξαγωγή του στροβίλου.

Για τη λειτουργία της στροβιλαντλίας Coffin ο ατμός παρέχεται μέσω του ατμοφράκτη. Ο έλεγχος της αντλίας, μετά τη διέλευση του ατμού από τον ατμοφράκτη, πραγματοποιείται από τη βαλβίδα ελέγχου μέσω του ελαιοκινητήρα, ώστε η ίδια η βαλβίδα

του ατμού να χρησιμοποιείται στον χειρισμό όλου του μηχανήματος μέσω του ρυθμιστή σταθερής πιέσεως. Ταυτόχρονα η βαλβίδα, χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του ρυθμιστή υπερταχύνσεως, του διακόπτη αντιθλίψεως και την κράτηση του στροβίλου.

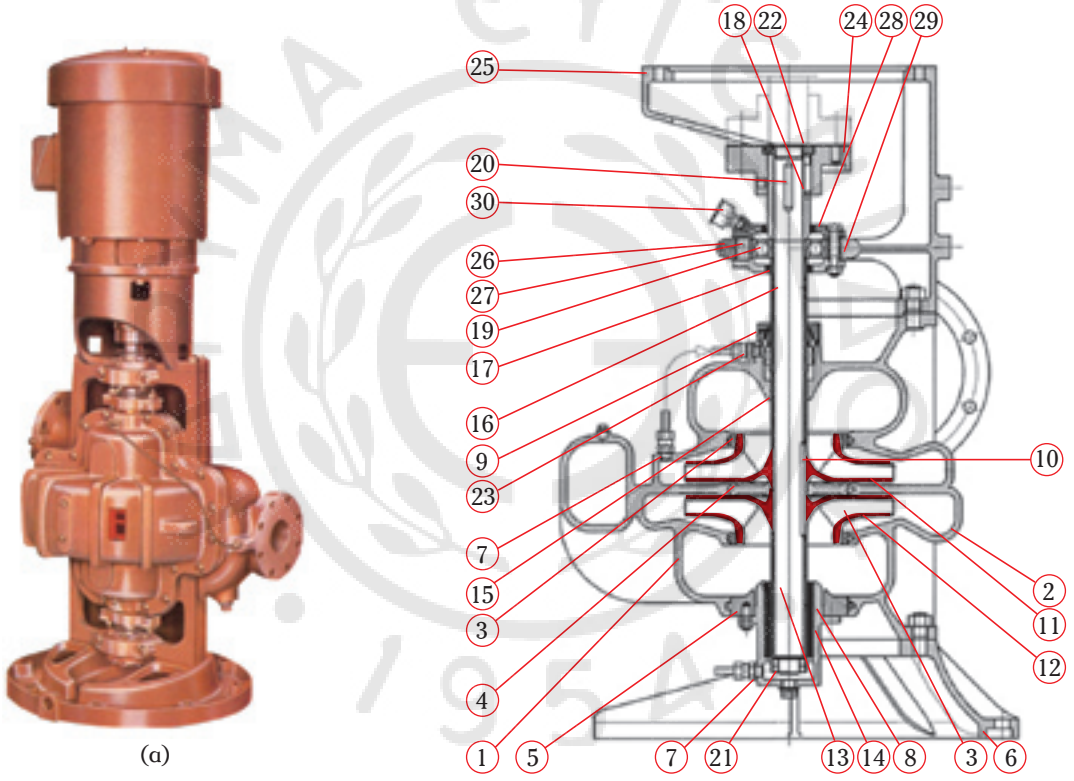
Με την επίδραση του ελαιοκινητήρα, κατά τη λειτουργία, ο δίσκος της βαλβίδας βρίσκεται σε συνεχή κίνηση, ώστε να κλείνει με την πίεση του ατμού που εισέρχεται από το ατμοκιβώτιο σε περίπτωση απώλειας της πιέσεως του ελαίου λιπάνσεως ή υπερβολικής αντιθλίψεως. Η λειτουργία επαναλαμβάνεται αυτόματα μόλις η πίεση του ελαίου αποκατασταθεί.

Σε περίπτωση πολύ χαμηλού φορτίου ή κατά την κράτηση της αντλίας, τοποθετείται στη σωλήνωση καταθλίψεως ένα ακροφύσιο βραχυκυκλώσεως, ώστε να επιτρέπεται η απαιτούμενη επανακυκλοφορία μίας ποσότητας νερού.

7.2.4 Κάθετης διατάξεως φυγοκεντρικές αντλίες δύο βαθμίδων.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες με δύο βαθμίδες πιέσεως είναι κάθετα τοποθετημένες, ενδέχεται όμως να συναντηθούν και με περισσότερες βαθμίδες (σχ. 7.2ια).

Η αναρρόφηση της αντλίας γίνεται μέσω σωλήνα που συνδέεται στον πυθμένα της δεξαμενής ή ενδιά-



(α) (β)

1. Σπειροειδές κέλυφος (επάνω πλευρά)
2. Σπειροειδές κέλυφος (κάτω πλευρά)
3. Δακτύλιος φθοράς
4. Πλάκα φθοράς
5. Περιαυχένιο συνδέσεως
6. Βάση αντλίας
7. Σωλήνας ψύξεως τριβέων
8. Χιτώνιο τριβέα
9. Καπάκι μηχανικού στυπειοθλίπτη
10. Ασφάλεια
11. 1ο στροφείο (πτερωτή)
12. 2ο στροφείο (πτερωτή)
13. Άξονας
14 – 18. Χυτώνια άξονα
19. Τριβείς
20. Σφήνα άξονα
21. Ασφάλεια
22. Παξιμάδια
23 – 24. Μηχανικός στυπειοθλίπτης
25. Βάση συνδέσεως με κινητήριο μηχάνημα
26. Κέλυφος τριβέα
27. Σύνδεση
28. Δακτύλιος
29. Βίδες στηρίξεως κελύφους τριβέα
30. Σύστημα παροχής λιπάνσεως (γρασαδόρος)

Σχ. 7.2ια

(α) Αντλία κάθετης διατάξεως δύο βαθμίδων, (β) τα μέρη της.

μεσα του δικτύου αναρροφήσεως, ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής ροή προς το στροφείο της πρώτης βαθμίδας. Όταν χρησιμοποιείται για την άντληση συμπυκνώματος η αναρρόφηση συνδέεται με τον πυθμένα του κύριου ψυγείου συμπυκνώματος.

Η κίνηση της αντλίας πραγματοποιείται με τη σύνδεση του άξονά της σε ηλεκτροκινητήρα, ενώ σε κάποιες εγκαταστάσεις η κίνηση πραγματοποιείται από ατμοστρόβιλο δράσεως συνδεμένο στον άξονα της αντλίας μέσω μειωτήρων με οδοντωτούς τροχούς. Στο άνω άκρο ο άξονας περιστροφής στηρίζεται σε ένσφαιρους τριβείς, που απορροφούν τις αξονικές και ακτινικές ώσεις της αντλίας, ενώ για τη λίπανσή τους χρησιμοποιείται γράσο.

Το στροφείο που είναι εγκατεστημένο στο κάτω μέρος του κελύφους αποτελεί την πρώτη βαθμίδα πιέσεως και τοποθετείται με την οπή αναρροφήσεως του υγρού προς τα κάτω. Το στροφείο της δεύτερης βαθμίδας πιέσεως τοποθετείται με την οπή αναρροφήσεως προς τα πάνω, επιτυγχάνοντας την ισορροπία στην υδραυλική πίεση που προέρχεται από τα δύο στροφεία μειώνοντας την αξονική ώση που ασκείται στον τριβέα στηρίξεως του άξονα. Έτσι με τη διέλευση του υγρού από τα δύο στροφεία επιτυγχάνεται η υψηλή πίεση καταθλίψεως. Για την ψύξη του στυπειοθλίπτη ένας σωλήνας από το κέλυφος όπου είναι εγκατεστημένο το δεύτερο στροφείο στέλνει υγρό στο θάλαμο όπου βρίσκεται το υλικό στεγανοποιήσεως.

Όταν η αντλία δύο βαθμίδων χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του συμπυκνώματος από το ***κύριο ψυγείο επιστροφών*** και συμπυκνώσεως του ατμού, το στροφείο που είναι εγκατεστημένο στο κάτω μέρος του κελύφους και αποτελεί την πρώτη βαθμίδα τοποθετείται με την οπή αναρροφήσεως του υγρού προς τα πάνω. Έτσι αποβάλλεται αυτόματα ο αέρας που τυχόν παρασύρεται με το υγρό που αναρροφάται. Για την απαγωγή του αέρα που συγκεντρώνεται, συνδέεται ένας σωλήνας από το κέλυφος, στο πάνω μέρος από το στροφείο της πρώτης βαθμίδας με το επάνω μέρος του κελύφους του ψυγείου συμπυκνώματος. Σε αυτή την περίπτωση το στροφείο της δεύτερης βαθμίδας τοποθετείται με την οπή αναρροφήσεως προς τα κάτω, επιτυγχάνοντας την ισορροπία στην υδραυλική πίεση από τα δύο στροφεία μειώνοντας την αξονική ώση.

Μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης βαθμίδας στο κέλυφος της αντλίας παρεμβάλλεται ένας δακτύλιος στεγανότητας, μειώνοντας τις ακτινικές ώσεις του άξονα, ενώ η λίπανση και η ψύξη πραγματοποιούνται από το νερό που κυκλοφορεί. Η στεγανοποίηση του άξονα πραγματοποιείται είτε με στυπειοθλίπτη και σαλαμάστρα, είτε με μηχανικό στυπειοθλίπτη.

Όταν για την κίνηση του άξονα της αντλίας χρησιμοποιείται ατμοστρόβιλος, η λίπανση των τριβέων και των μειωτήρων μεταδόσεως της κινήσεως γίνεται με τη βοήθεια εξαρτημένης αντλίας που αναρροφά από την ελαιολεκάνη του μειωτήρα και καταθλίβει στους τριβείς. Επίσης, το σύστημα εφοδιάζεται με ηλεκτρικό ρυθμιστή στροφών, για τη ρύθμιση των στροφών περιστροφής της αντλίας σύμφωνα με το φορτίο, διατηρώντας τη λειτουργία της αντλίας σταθερή. Επιπρόσθετα, η ταχύτητα της αντλίας ελέγχεται και με αυτόματο διακόπτη υπερταχύνσεως.

– Απαγωγή του αέρα από τις φυγοκεντρικές αντλίες.

Η ικανοποιητική λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους επιτυγχάνεται με την καλή στεγανοποίηση. Εάν με το ρευστό παρασύρεται αέρας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποδόσεώς της. Κατά την εκκίνησή της πρέπει η αντλία να είναι γεμάτη με υγρό ώστε να δημιουργηθεί η αρχική αναρρόφηση. Γι' αυτό η αρχική αναρρόφηση των φυγοκεντρικών αντλιών επιτυγχάνεται, όταν η αντλία βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της στάθμης του υγρού που πρόκειται να μεταφερθεί. Ως εκ τούτου όταν οι φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούνται ως αντλίες θαλάσσης στα πλοία, τοποθετούνται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, ενώ σε άλλα δίκτυα εγκαθίστανται έτσι, ώστε η αναρρόφηση να βρίσκεται χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού της δεξαμενής το οποίο πρόκειται να μεταφερθεί, εξασφαλίζοντας την αρχική αναρρόφηση.

Η έλλειψη της δυνατότητας να εκκινούν την αναρρόφηση με την παρουσία αέρα, οφείλεται στο ότι το στροφείο δεν δημιουργεί στεγανούς θαλάμους, ώστε να αναπτυχθεί υποπίεση, που θα παρείχε την δυνατότητα στην αντλία να αντλήσει το υγρό από το σωλήνα αναρροφήσεως. Επίσης, η στεγανοποίηση μεταξύ αναρροφήσεως και καταθλίψεως δεν επαρκεί, λόγω των διακένων που υπάρχουν για να αποτρέπουν την επαφή του στροφείου με το κέλυφος κατά τη λειτουργία της αντλίας. Η παρουσία του υγρού στο μικρό διάκενο μεταξύ στροφείου και κελύφους, σε αυτή την περίπτωση μπορεί να αντικα-

ταστήσει την έλλειψη του υλικού στεγανοποιήσεως αλλά αυτό δεν είναι εφικτό όταν υπάρχει μόνο αέρας στο εσωτερικό της αντλίας.

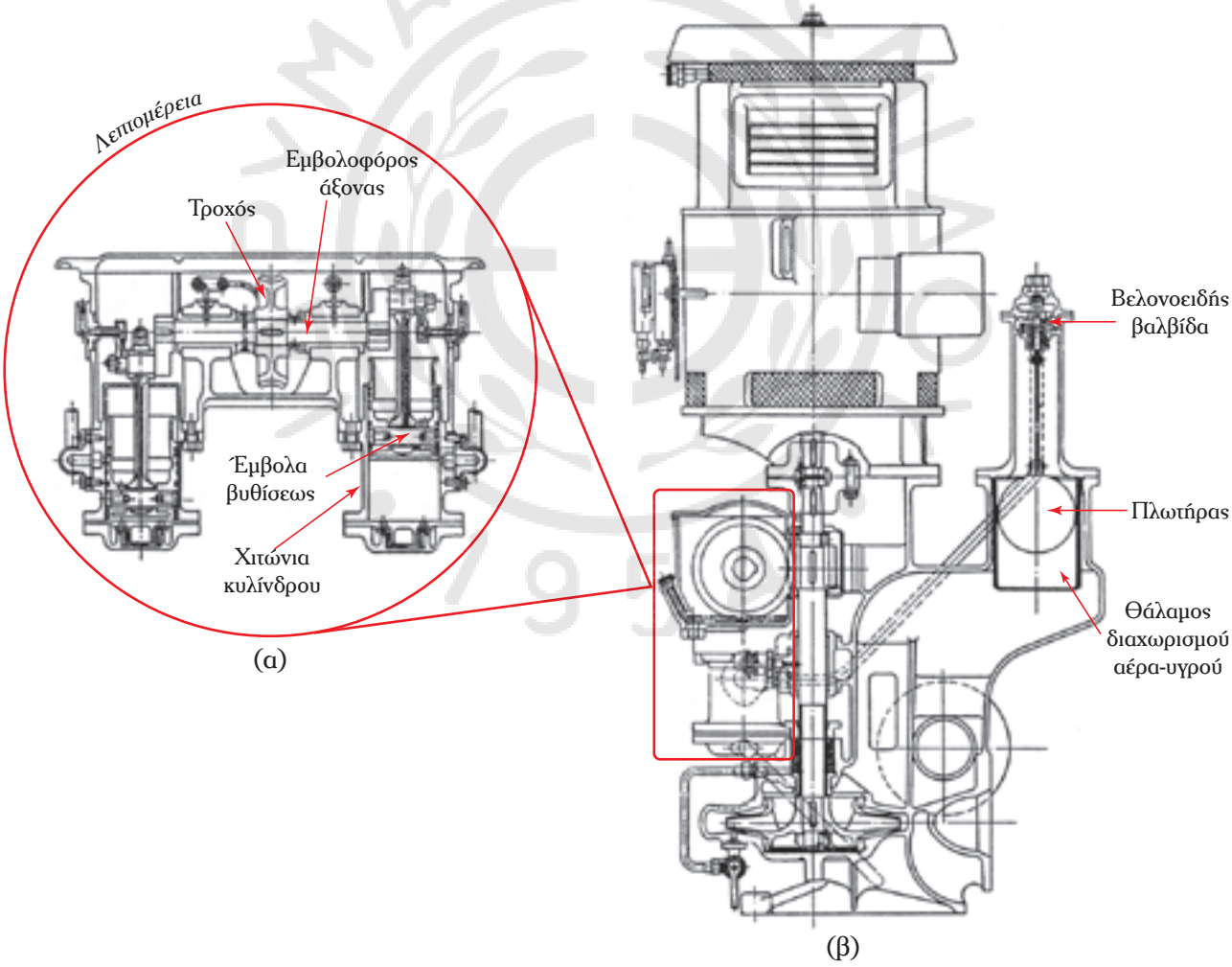
Παρά το γεγονός ότι οι αντλίες συνήθως εγκαθίστανται χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού, η μεταβολή στο βύθισμα του πλοίου μπορεί να μεταβάλλει το ύψος αναρροφήσεως. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στην αντλία εκτάκτου ανάγκης στην άφορτη κατάσταση του πλοίου ή στην αντλία σεντινών που αναγκαστικά η αναρρόφησή της βρίσκεται υψηλότερα από τη στάθμη της επιφάνειας του υγρού.

Σε αυτή την περίπτωση προσαρμόζονται στην κύρια αντλία, μικρότερες εξαρτημένες αντλίες θετικής εκτοπίσεως, οι λεγόμενες ***αντλίες προπληρώσεως*** για την απομάκρυνση του αέρα από την αναρρόφηση και το κέλυφος της αντλίας, δημιουργώντας το απαραίτητο κενό ώστε να γεμίσουν με υγρό ο σωλήνας αναρροφήσεως και το κέλυφος. Τότε μόνο είναι ικανό το στροφείο να συνεχίσει την αναρρόφηση και η φυγοκεντρική αντλία να λειτουργεί κάτω από φυσιολογικές συνθήκες.

Οι αντλίες προπληρώσεως που συναντώνται στα πλοία είναι οι ακόλουθες:

1) Εμβολοφόρες αντλίες προπληρώσεως.

Μία ***εμβολοφόρος αντλία προπληρώσεως*** [positive displacement priming (vacuum) pump] συνδέεται σε μία ηλεκτροκίνητη μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία (σχ. 7.2ιβ). Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει τον άξονα της κύριας αντλίας ο οποίος μέσω ατέρμονα κοχλία κινεί τον τροχό. Μέσα σ' αυ-



Σχ. 7.2ιβ

Εμβολοφόρος αντλία προπληρώσεως. (α) Τομή εμβολοφόρου αντλίας προπληρώσεως σε πρόοψη. (β) Πλάγια όψη εγκατεστημένης αντλίας προπληρώσεως σε ηλεκτροκίνητη μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία.

τόν είναι σφηνωμένος ο εμβολοφόρος άξονας της αντλίας προπληρώσεως.

Στον άξονα της αντλίας προπληρώσεως συνδέονται τα έμβολα βυθίσεως και καθώς παλινδρομούν μέσα στα χιτώνια του κυλίνδρου με τα οποία συνδέεται ο σωλήνας αναρροφήσεως επιτυγχάνεται η δημιουργία κενού για την πλήρωση της αντλίας με υγρό. Ο αέρας μαζί με υγρό καταθλίβονται σε θάλαμο διαχωρισμού [σχ. 7.2ιβ(β)] και μέσω βελονοειδούς βαλβίδας που διαθέτει ο θάλαμος, ο αέρας εξέρχεται στο περιβάλλον. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο αυτής της βαλβίδας ελέγχεται από πλωτήρα με ελατήριο, ώστε όσο υπάρχει αέρας μέσα στο θάλαμο αυτή να παραμένει ανοικτή.

Όταν όμως η στάθμη του υγρού στον θάλαμο αυξηθεί, ο πλωτήρας υπερνικώντας την ένταση του ελατηρίου κλείνει τη βελονοειδή βαλβίδα. Όταν ο σωλήνας αναρροφήσεως και η κύρια αντλία είναι γεμάτοι υγρό, η αντλία προπληρώσεως συνεχίζει να περιστρέφεται άεργη απορροφώντας ελάχιστη από την ισχύ του κινητήρα.

2) Περιστροφικές αντλίες προπληρώσεως.

Η ***περιστροφική αντλία προπληρώσεως*** [rotary priming (vacuum) pumps] μπορεί να είναι υγρών εμβόλων ή πτερυγιοφόρος (βλ. παράγρ. 2.7.1, σελ. 35). Στην αντλία υγρών εμβόλων η αναρρόφηση πραγματοποιείται από την αναρρόφηση της κύριας αντλίας και η κατάθλιψη σε ένα θάλαμο διαχωρισμού, όπως στην εμβολοφόρο. Στην αντλία προπληρώσεως (σχ. 7.2ιγ) η σύνδεση για τη μετάδοση της κινήσεως από τον άξονα της φυγοκεντρικής αντλίας πραγματοποιείται μέσω ενός τροχού επενδυμένου με συνθετικό αντιολισθητικό υλικό (φερμουίτ) στα σημεία επαφής με τον δίσκο μεταδόσεως της κινήσεως.

Με την εκκίνηση της κύριας αντλίας αρχίζει να περιστρέφεται από τον τροχό που είναι εγκατεστημένος στον άξονα της αντλίας και ο τροχός (δίσκος) της αντλίας προπληρώσεως παρασύροντας σε περιστροφή τον άξονα της αντλίας υγρών εμβόλων. Η επαφή του τροχού με τον άξονα της φυγοκεντρικής αντλίας ελέγχεται από ένα υγρό έμβολο, και ο κύλινδρος του εμβόλου συνδέεται με σωλήνα στην κατάθλιψη της φυγοκεντρικής αντλίας. Όταν αφαιρεθεί όλη η ποσότητα του αέρα και η φυγοκεντρική αντλία δημιουργήσει πίεση στην κατάθλιψη, ο κύλινδρος του εμβόλου γεμίζει με υγρό. Τότε το βάκτρο του εμβόλου, που συνδέεται με τον τροχό περιστροφής της αντλίας υγρών εμβόλων, απομακρύνοντας τον τροχό από τον άξονα περιστροφής της κύριας αντλίας, διακόπτει τη λειτουργία της αντλίας προπληρώσεως, ενώ η φυγοκεντρική αντλία συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά.

3) Εκχυτήρες προπληρώσεως.

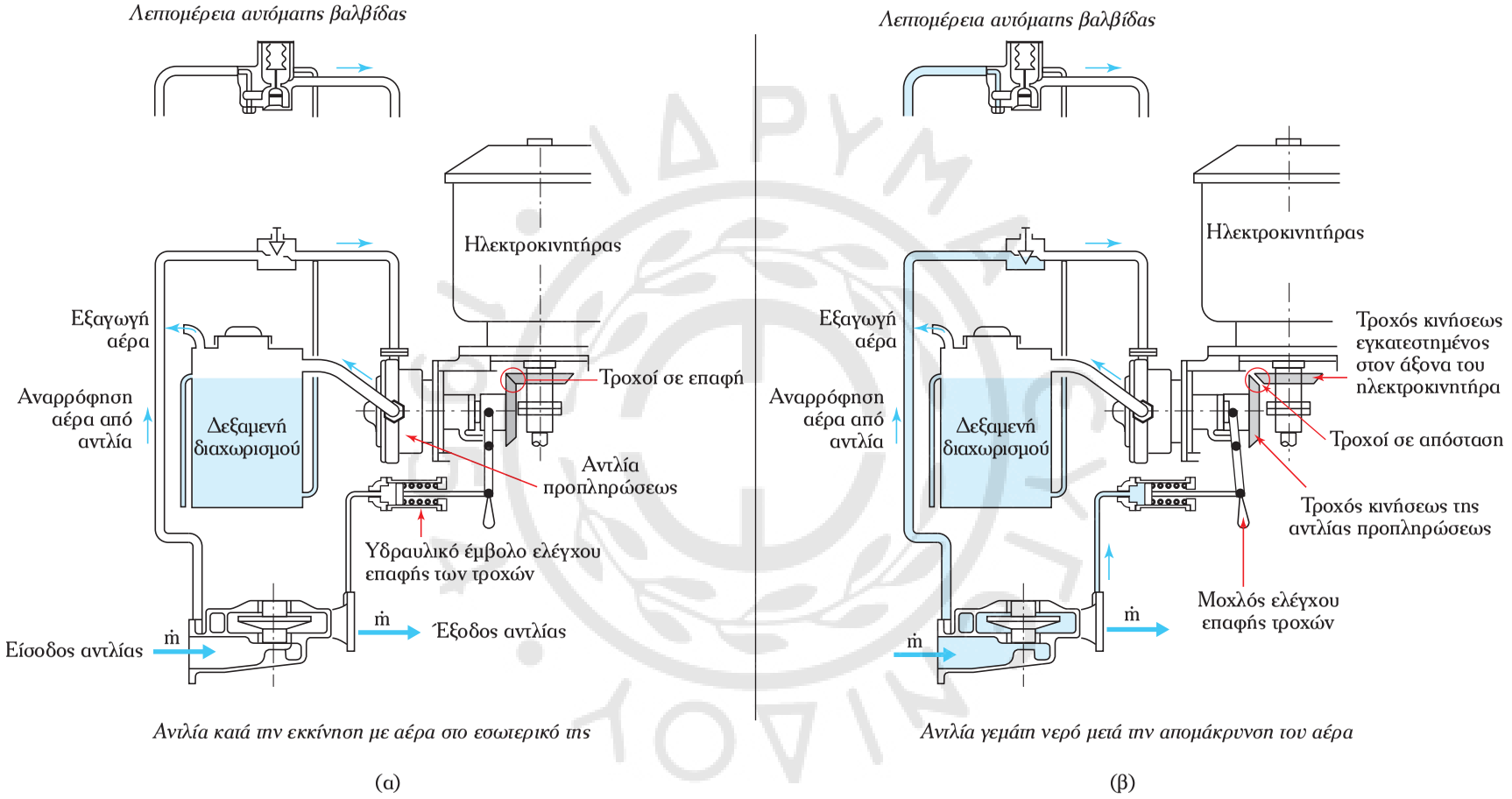
Οι ***εκχυτήρες προπληρώσεως*** (ejector priming) τοποθετούνται στο κέλυφος της αντλίας (σχ. 7.2ιδ) και το ρευστό λειτουργίας τους είναι ο ατμός, το νερό ή ο αέρας που παρέχεται στον εκχυτήρα πριν την εκκίνηση της αντλίας. Η κατάθλιψη του εκχυτήρα γίνεται στην ατμόσφαιρα ή στην κατάθλιψη της αντλίας μετά τη βαλβίδα εξαγωγής που πρέπει να παραμένει κλειστή έως την πλήρωση της αντλίας. Η πλήρωση γίνεται αντιληπτή από την κατάθλιψη νερού στην εξαγωγή του εκχυτήρα. Τότε απομονώνεται ο εκχυτήρας για να γίνει η εκκίνηση της αντλίας, ενώ ταυτόχρονα ανοίγει η βαλβίδα καταθλίψεώς της.

7.2.5 Φυγοκεντρικές αντλίες αυτόματης πληρώσεως.

Σύμφωνα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντλιών αυτών, όπως έχει αναφερθεί στις φυγοκεντρικές αντλίες για την αρχική αναρρόφηση είναι απαραίτητο η απαγωγή του αέρα να γίνει από την αντλία προπληρώσεως. Όμως κατασκευάζεται ένας τύπος αντλίας με αυτόματη πλήρωση ή αναρρόφηση που στηρίζεται στην «αρχή της διαχύσεως» εξαλείφοντας την ανάγκη της εγκαταστάσεως αντλίας προπληρώσεως.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αυτόματης πληρώσεως (centrifugal selfpriming pumps) (σχ. 7.2ιε) έχουν ειδική διαμόρφωση στο κέλυφος. Διαθέτουν διευρυμένη αναρρόφηση ειδικά σχεδιασμένη με διπλό περίβλημα που αποτελεί το κέλυφος στην εισαγωγή της αντλίας και ένα θάλαμο διαχωρισμού στην κατάθλιψη. Στην αναρρόφηση ενδέχεται να υπάρχει εγκατεστημένη ανεπίστροφη βαλβίδα (κοινώς κλαπέ) επιτρέποντας τη ροή μόνο προς την αντλία και όχι προς την αντίθετη διεύθυνση. Η αντλία γεμίζει με υγρό μόνο κατά την αρχική της εκκίνηση, ώστε όσες φορές σταματά στη συνέχεια, μέσα στο κέλυφος της αντλίας και το θάλαμο διαχωρισμού να παραμένει μία ποσότητα υγρού.

Όταν η αντλία ξεκινά και υπάρχει αέρας στο σωλήνα αναρροφήσεως, το υγρό που υπάρχει ήδη μέσα στην αντλία διέρχεται από την πτερωτή δημιουργώντας το κενό αναρροφήσεως. Έτσι το στροφείο καταθλίβει προς το θάλαμο διαχωρισμού ένα μείγμα υγρού και αέρα. Εκεί ο αέρας διαχωρίζεται

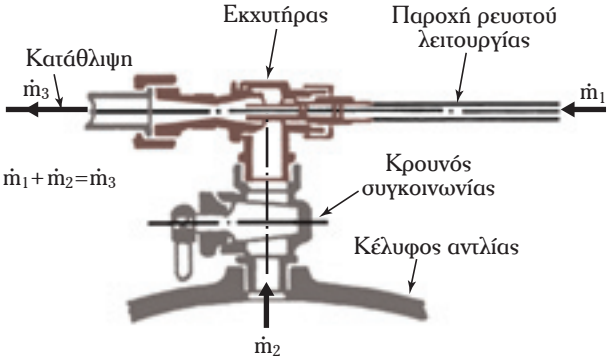


Σχ. 7.2ιγ

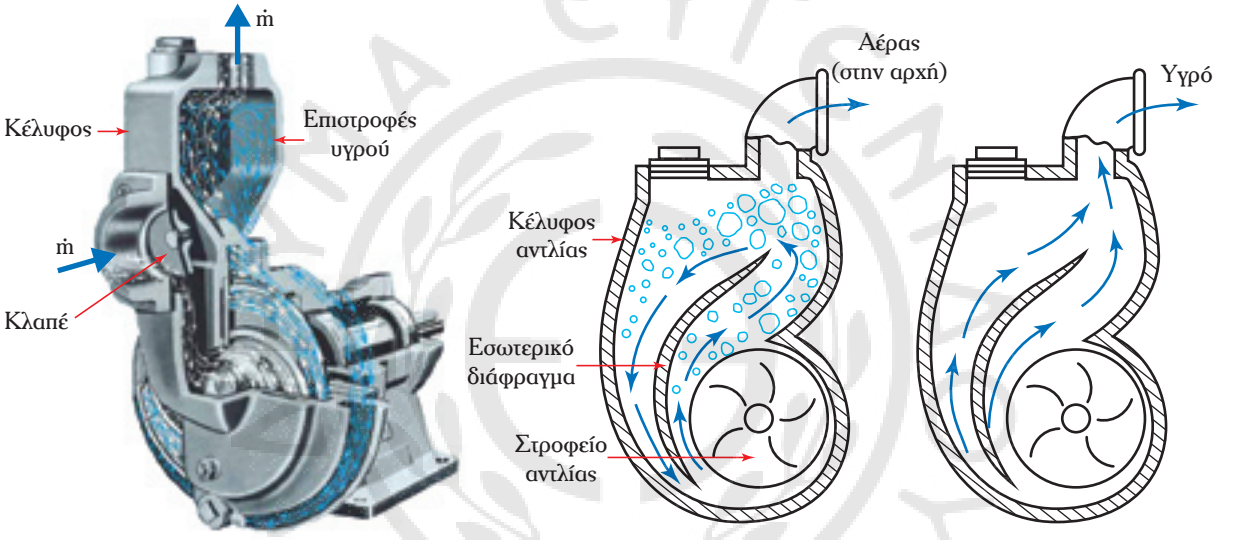
Τυπική διάταξη περιστροφικής αντλίας προπλήρωσης, εγκατεστημένη σε φυγοκεντρική αντλία (α) κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και (β) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

λόγω της βαρύτητας και οδηγείται προς το σωλήνα καταθλίψεως, ενώ το υγρό επιστρέφει στο στροφείο μέσω του διπλού διαφράγματος ή μέσω εξωτερικού σωλήνα επανακυκλοφορίας που οδηγεί στην αναρρόφηση της πτερωτής, όπου αναμειγνύεται με νέα ποσότητα αέρα από τον σωλήνα αναρροφήσεως. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να αφαιρεθεί όλος ο αέρας και η αντλία να λειτουργεί κανονικά.

Βέβαια η επανακυκλοφορία μίας ποσότητας του υγρού, επειδή υφίσταται σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας, έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός αποδόσεώς της. Γι' αυτό οι αντλίες αυτές κατασκευάζονται συνήθως με χαμηλή ισχύ και χρησιμοποιούνται στην άντληση σεντινών.



Σχ. 7.2ιδ
Εκχυτήρας προπληρώσεως αντλίας.



Ροή του υγρού και του αέρα στην αντλία

Αρχική λειτουργία (εκκίνηση). Τομή αντλίας και ροή του υγρού με αέρα

Τελική λειτουργία. Τομή αντλίας και ροή του υγρού μετά την απομάκρυνση του αέρα

Σχ. 7.2ιε
Φυγοκεντρική αντλία αυτόματης πληρώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ
Αντλίες πλοίων ανάλογα με το σύστημα προώσεως

8.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αντλίες που συνήθως είναι εγκατεστημένες στα πλοία ανάλογα με το σύστημα προώσεως και οι οποίες συμβάλλουν στην απρόσκοπτη λειτουργία του. Παράλληλα περιγράφεται η λειτουργική διεργασία που εξυπηρετούν. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα πλοία μεταφοράς υγρού και υγροποιημένου χύδην φορτίου, λόγω της ιδιαιτερότητας των αντλιών που χρησιμοποιούνται για να ολοκληρωθούν οι ενέργειες φορτοεκφορτώσεως.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα είναι αναμενόμενο οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία τυπικά να μπορούν να διαιρεθούν σε διάφορες ομάδες. Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν τις αντλίες που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος προώσεως του πλοίου, τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών, τη διακίνηση των ρευστών στα διάφορα δίκτυα των βοηθητικών συστημάτων.

Επισημαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο αριθμός των αντλιών που εγκαθίστανται για κάθε λειτουργία στο πλοίο είναι δύο, παρά το γεγονός ότι κάθε αντλία έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να διαθέτει την δυνατότητα να ανταποκρίνεται στις λειτουργικές ανάγκες που εξυπηρετεί. Επίσης, ενδέχεται σε κάποιες εφαρμογές, λόγω αυξημένων απαιτήσεων, να χρησιμοποιούνται τρεις ή και περισσότερες αντλίες (π.χ. οι αντλίες φορτίου δεξαμενοπλοίων). Ο συνήθης διπλός αριθμός των εγκατεστημένων αντλιών εξασφαλίζει δύο βασικές ανάγκες, οι οποίες είναι:

1) ***Να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα διακοπής μίας λειτουργίας***, λόγω αιφνίδιας βλάβης της αντλίας που λειτουργεί, παρέχοντας μέσω της άλλης την απαραίτητη ασφάλεια για τους επιβάτες, το πλοίο, το φορτίο και το περιβάλλον.

2) ***Να παρέχεται η δυνατότητα επισκευής σε μία αντλία***, η οποία δύναται να απομονωθεί από το δίκτυο που εξυπηρετεί, χωρίς να επηρεάζεται η πραγματοποίηση μίας διαδικασίας, η ετοιμότητα ή η ασφάλεια του πλοίου.

Για όλες τις αντλίες υπάρχει ελεγκτικός μηχανισμός της πιέσεως του δικτύου όπου είναι εγκατεστημένες. Αυτός δίνει εντολή να εκκινήσει η ***εφεδρική αντλία***[1] όταν η πίεση του δικτύου μειωθεί κάτω από το επίπεδο, στο οποίο έχει ρυθμιστεί ο ελεγκτικός μηχανισμός. Επίσης σε όλα τα δίκτυα όπου είναι εγκατεστημένες οι αντλίες υπάρχουν φίλτρα (συνήθως πριν την αναρρόφηση της κάθε αντλίας) κατάλληλα για το κάθε ρευστό που διακινείται.

Επειδή οι αντλίες λειτουργούν κάτω από τις ιδιαίτερες συνθήκες, είναι απαραίτητο να διαθέτουν από κατασκευής την δυνατότητα να αντιστέκονται στα δυναμικά φορτία που προέρχονται από την κίνηση του πλοίου (π.χ. τους κραδασμούς από θαλασσοταραχή ή τη μεταβολή στη διαγωγή του πλοίου) και τις έντονες διαβρωτικές συνθήκες από την υγρασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και την υψηλή θερμοκρασία του μηχανοστασίου. Επί πλέον πρέπει να λειτουργούν συχνά με μεταβλητή ροή σε υψηλά και σε χαμηλά φορτία, ώστε να ανταποκρίνονται άμεσα και με ασφάλεια στις μεταβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες του μηχανήματος ή του συστήματος που εξυπηρετούν (π.χ. κατά την άφιξη ή την αναχώρηση του πλοίου στο λιμάνι όταν μεταβάλλεται το φορτίο λειτουργίας του συστήματος προώσεως).

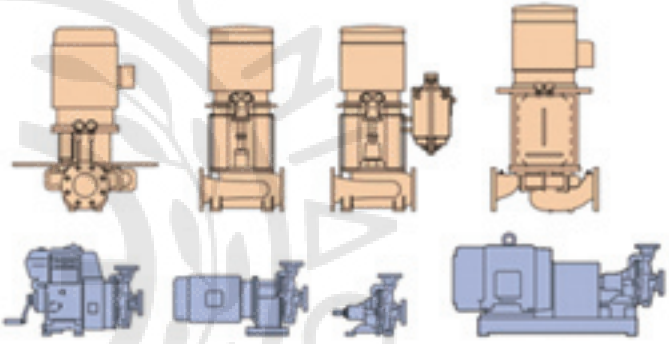
Όπως όλα τα μηχανήματα του πλοίου, έτσι και οι αντλίες πρέπει να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο όγκο και βάρος, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση του χωροταξικού σχεδιασμού, λόγω του περιορισμένου χώρου στο σημείο εγκαταστάσεώς τους είτε αυτό είναι στο μηχανοστάσιο είτε στο κατά-

[1] Εφεδρική αντλία είναι αυτή που βρίσκεται σε ετοιμότητα (stand by) να αντικαταστήσει αυτόματα την αντλία που έχει σταματήσει να λειτουργεί.

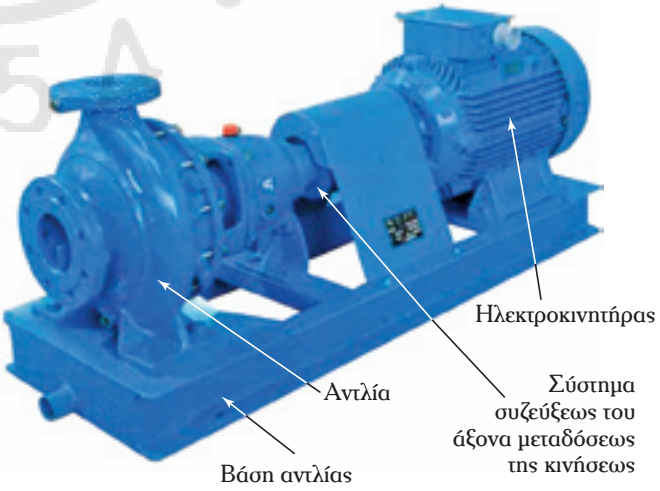
στρωμα. Γι' αυτό οι περισσότερες αντλίες είναι κάθετα τοποθετημένες, πάνω σε ευρεία βάση εν συγκρίσει με τις εγκαταστάσεις της ξηράς (σχ. 8.1α), ενώ ενδέχεται να τοποθετούνται και οριζόντια (σχ. 8.1β) εάν οι λειτουργικές συνθήκες το απαιτούν. Επίσης το μήκος του άξονα μεταδόσεως της κινήσεως από τον ηλεκτροκινητήρα τους περιορίζεται στο απολύτως απαραίτητο (σχ. 8.1γ), ενώ σε μικρού μεγέθους αντλίες ενδέχεται ο ηλεκτροκινητήρας με την αντλία να αποτελούν ενιαίο σύστημα.

Η περιγραφή που ακολουθεί ως σκοπό έχει να παρουσιάσει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αντλιών που χρησιμοποιούνται σε επιλεγμένες εφαρμογές, οι οποίες συναντώνται στους περισσότερους τύπους πλοίων. ***Όμως, παρά το γεγονός ότι η αναφορά πραγματοποιείται σε γενικά συστήματα, είναι πιθανό να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις λόγω της διαφοροποιήσεως των απαιτήσεων σε συγκεκριμένες εγκαταστάσεις ή των προτιμήσεων των πλοιοκτητών και των ναυπηγείων.*** Γι' αυτό σε κάθε περίπτωση οι πληροφορίες για το σύστημα και την εγκατεστημένη αντλία παρέχονται από τα συγκεκριμένα κατασκευαστικά σχέδια που διατίθενται σε όλα τα πλοία.

Σχ. 8.1α
Αντλίες σε κάθετη διάταξη στο μηχανοστάσιο πλοίου.



Σχ. 8.1β
Κατακόρυφη-κάθετη και οριζόντια διάταξη αντλιών.



Σχ. 8.1γ
Αντλία σε ενιαία βάση με τον ηλεκτροκινητήρα.

8.2 Εγκατεστημένες αντλίες σύμφωνα με το σύστημα προώσεως του πλοίου.

8.2.1 Πλοία με πρόωση από ατμοστρόβιλο.

Οι συνήθεις αντλίες που εξυπηρετούν τη λειτουργία ενός συστήματος προώσεως με ατμοστρόβιλο είναι οι ακόλουθες έξι:

1) Κύριες τροφοδοτικές αντλίες των λεβήτων (main feed pumps).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την παροχή του νερού στους λέβητες παραγωγής ατμού. Σε μία τυπική εγκατάσταση πλοίου με λέβητες παραγωγής ατμού από την καύση βαρέος πετρελαίου, η τροφοδοτική αντλία αναρροφά νερό από τη δεξαμενή εξαερώσεως του τροφοδοτικού νερού (deaerating feed tank DFT ή cascade tank) και το καταθλίβει στον ατμοϋδροθάλαμο του λέβητα ή των λεβήτων (βλ. σχ. 8.2ε, διαδικασίες 3, 4). Σε πολλές περιπτώσεις, στην κατάθλιψη της τροφοδοτικής αντλίας δύναται να συνδέονται δύο χωριστές γραμμές δικτύου, μία κύρια και μία βοηθητική, οι οποίες καταλήγουν στον ατμοϋδροθάλαμο. Ο σκοπός της βοηθητικής γραμμής δικτύου είναι η άμεση τροφοδοσία του λέ-

βητα σε περίπτωση βλάβης της κύριας γραμμής ή των αυτοματισμών που είναι εγκατεστημένοι στο δίκτυο. Στο δίκτυο του λέβητα είναι τοποθετημένοι και εναλλακτήρες θερμότητας για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Ο ρόλος των προθερμαντήρων είναι να αυξάνουν τον θερμικό βαθμό αποδόσεως της στροβιλοεγκαταστάσεως.

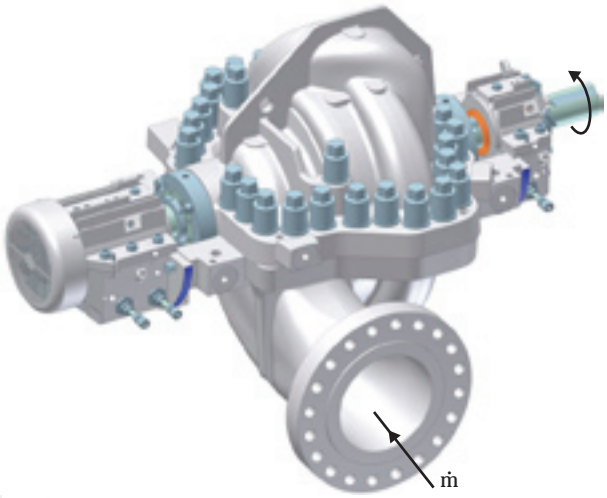
Ο αριθμός των τροφοδοτικών αντλιών του δικτύου τροφοδοτήσεως των λεβήτων είναι δύο ή περισσότερες και μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα, εάν οι απαιτήσεις του λέβητα κατά τη λειτουργία σε πλήρες φορτίο είναι υψηλές.

Η τυπική διαμόρφωση αντλιών τροφοδοσίας περιλαμβάνει ενός ή δύο βαθμίδων φυγοκεντρικές αντλίες και πολυβάθμιες αντλίες. Οι αντλίες αυτές δύναται να κινούνται από ατμοστροβίλους ατμού ή ηλεκτροκινητήρες. Συχνά συναντώνται και αντλίες κατασκευασμένες με αξονικά διαιρούμενο σπειροειδές κέλυφος (σχ. 8.2α και 8.2β), όπως και αντλίες με δισκοειδές κέλυφος[2] με διαχυτήρες (σχ. 8.2γ). Η εγκατάσταση των αντλιών που κινούνται από ατμοστρόβιλο (στροβιλαντλίες) συνήθως είναι οριζόντια, ενώ αυτές που κινούνται από ηλεκτροκινητήρα χρησιμοποιούνται και σε οριζόντια αλλά και σε κάθετη-κατακόρυφη διάταξη.

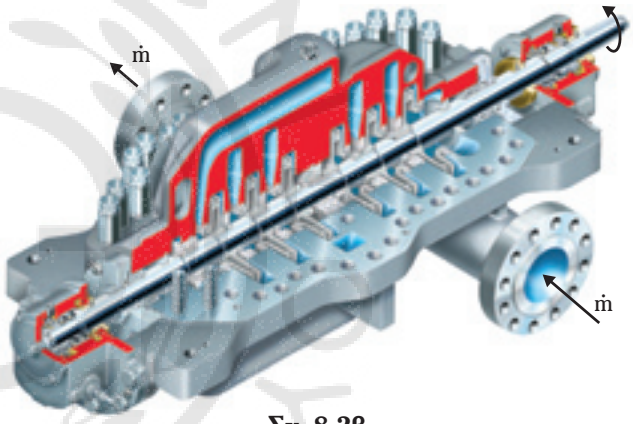
Η στεγανοποίηση των αντλιών, ανάλογα με τον τύπο και τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά, γίνεται είτε με στυπεία που συγκρατούνται και ρυθμίζονται από στυπειοθλίπτη, είτε με μηχανικούς στυπειοθλίπτες.

Στις αντλίες με ατμοστρόβιλο χρησιμοποιούνται λαβύρινθοι, οι οποίοι εξασφαλίζουν την στεγανοποίηση. Από λαβύρινθο σε λαβύρινθο γίνεται πτώση πιέσεως (υποβάθμιση) με αποτέλεσμα η τελική πίεση στον τελευταίο λαβύρινθο να ισούται με την ατμοσφαιρική.

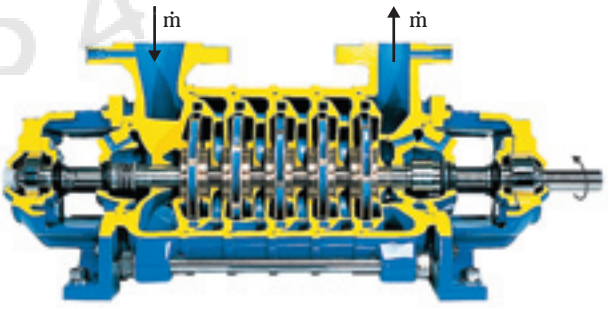
Κατά τη λειτουργία της τροφοδοτικής αντλίας με σταθερή ταχύτητα, η παροχή του νερού στο λέβητα ελέγχεται τοπικά μέσω μίας αυτόματης βαλβίδας ρυθμίσεως νερού τροφοδοσίας. Όταν χρησιμοποιείται ατμός για τη λειτουργία της αντλίας (στροβιλοκίνητη αντλία), ο έλεγχος της παροχής του ατμού επιτυγχάνεται από ελεγκτικό μηχανισμό ρυθμίσεώς του (constant pressure governor). Ο ρυθμιστής εισαγωγής του ατμού, ανάλογα με την πίεση καταθλί-



Σχ. 8.2α
Μονοβάθμια αντλία με αξονικά διαιρούμενο σπειροειδές κέλυφος οριζόντιας διατάξεως.



Σχ. 8.2β
Πολυβάθμια αντλία με αξονικά διαιρούμενο σπειροειδές κέλυφος οριζόντιας διατάξεως.



Σχ. 8.2γ
Πολυβάθμια αντλία οριζόντιας διατάξεως με δισκοειδές κέλυφος με διαχυτήρες.

[2] ***Δισκοειδές κέλυφος*** ονομάζεται το κέλυφος που αποτελείται από δίσκους με κατάλληλη διαμόρφωση, οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλον σχηματίζοντας τις βαθμίδες της αντλίας. Ενδιάμεσα των δίσκων τοποθετούνται οι πτερωτές.

ψεως ρυθμίζει την παροχή του ατμού στην αντλία μειώνοντάς την όταν αυξάνεται η πίεση καταθλίψεως και επιτρέποντας την αύξηση εκ νέου της παροχής όταν η πίεση καταθλίψεως μειωθεί, ώστε η αντλία να λειτουργεί στα επιθυμητά επίπεδα πιέσεως του τροφοδοτικού νερού. Οι μεταβολές στις απαιτήσεις του λέβητα σε νερό επιφέρουν ανάλογες μεταβολές στην βαλβίδα ρυθμίσεως της παροχής.

Ο ατμοστρόβιλος που χρησιμοποιείται για την κίνηση της τροφοδοτικής αντλίας προστατεύεται από μηχανισμό υπερταχύνσεως που διακόπτει τη λειτουργία του. Επίσης για την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία της αντλίας υπάρχουν εγκατεστημένοι μηχανισμοί ελέγχου της πίεσεως αναρροφήσεως, η οποία θα προκαλούσε σπηλαίωση των επιφανειών της αντλίας, και μηχανισμός για τη διακοπή της λειτουργίας σε περίπτωση απώλειας του φορτίου στην αντλία (κοινώς ξέπιασμα, λειτουργία «εν κενώ»).

Για την προστασία του δικτύου από υπερβολική πίεση στην κατάθλιψη της αντλίας είναι εγκατεστημένη μία εκτονωτική βαλβίδα, που όταν ενεργοποιηθεί, μέσω δικτύου επανακυκλοφορίας, οδηγεί το τροφοδοτικό νερό στη δεξαμενή εξαερώσεως. Για την πρόληψη της αυξήσεως της πίεσεως από την επανακυκλοφορία προς τη δεξαμενή εξαερώσεως, η ροή προς το δίκτυο επανακυκλοφορίας πραγματοποιείται μέσω ειδικού δικτύου orifice[3] (τοπικής αντιστάσεως), ενώ ενδέχεται να υπάρχει και επιστόμιο το οποίο παραμένει κλειστό όταν η παροχή της αντλίας προς το λέβητα είναι υψηλή (μεγάλο φορτίο στην αντλία).

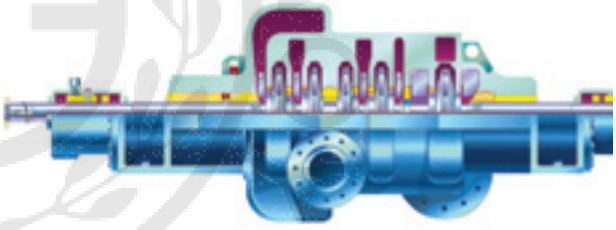
Λόγω της αναρροφήσεως της τροφοδοτικής αντλίας από την δεξαμενή εξαερώσεως, στην οποία η πίεση στην επιφάνεια του νερού είναι ίση με την πίεση των ατμών του (συνθήκες υγρού ατμού), το καθαρό διαθέσιμο ύψος αναρροφήσεως της αντλίας (NPSHa) ισούται με το ύψος της στάθμης του νερού μέσα στη δεξαμενή εξαερώσεως εάν αφαιρεθούν οι απώλειες της σωληνογραμμής αναρροφήσεως. Η διαφορά αυτή ενδέχεται να μην επαρκεί λόγω της θέσεως της δεξαμενής εξαερώσεως ή της στάθμης του νερού σε αυτή, ώστε να δημιουργήσει την κατάλληλη πίεση στην αναρρόφηση που θα αποτρέψει τις συνθήκες σπηλαιώσεως. Τότε μεταξύ της δεξαμενής και της τροφοδοτικής αντλίας που κινείται από τον ατμοστρόβιλο εγκαθίσταται στο δίκτυο μία ενισχυτική αντλία φυγοκεντρικού τύπου χαμηλότερης ισχύος. Σκοπός της αντλίας αυτής είναι η αύξηση της πιέσεως του διαθέσιμου καθαρού ύψους αναρροφήσεως της κύριας τροφοδοτικής αντλίας.

Επίσης όταν η κατανάλωση του ατμού από το λέβητα είναι χαμηλή για την παροχή του τροφοδοτικού νερού χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες μικρότερης παροχής (σχ. 8.2δ).

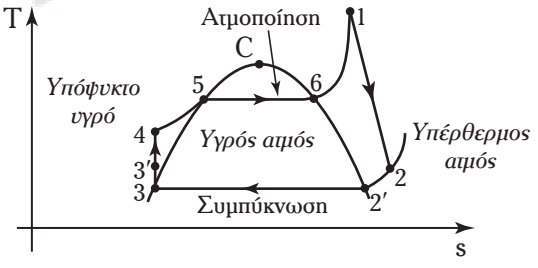
2) Αντλίες κύριου ψυγείου συμπυκνώσεως (main condenser pumps) (βλ. σχ. 8.2στ).

Πρόκειται για οριζόντιας ή κάθετης διατάξεως φυγοκεντρικές αντλίες που κινούνται από ηλεκτροκινητήρα. Χρησιμοποιούνται για την διακίνηση των συμπυκνωμάτων που προέρχονται από την εξαγωγή του κύριου ατμοστροβίλου και συμπυκνώνονται στο κύριο ψυγείο (σχ. 8.2ε, διαδικασία 2, 3). Σε κάποια δίκτυα ατμοστροβίλων για την διαχείριση του συμπυκνώματος ενδέχεται να χρησιμοποιούνται μικρότεροι ατμοστρόβιλοι για τη λειτουργία των αντλιών αυτών.

Η αναρρόφηση της κύριας αντλίας συμπυκνώματος γίνεται από το κάτω μέρος του συμπυκνωτή, όπου συγκεντρώνεται το συμπύκνωμα (κεκορεσμένο νερό). Η κατάθλιψη σε κάποια δίκτυα μπορεί να



Σχ. 8.2δ
Πολυβάθμια βοηθητική τροφοδοτική αντλία.



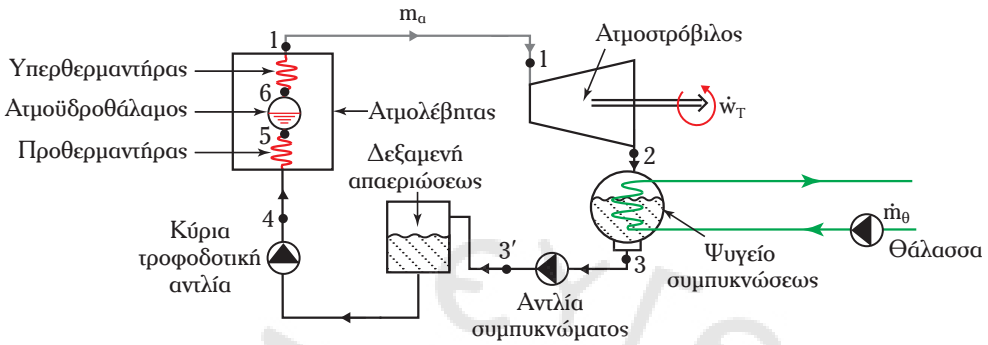
Σχ. 8.2ε
Διάγραμμα θερμοκρασίας (T) ειδικής ενθαλπίας (s) κύκλου ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως.

[3] ***Orifice***: δίσκος με οπή που τοποθετείται κάθετα στη ροή του δικτύου επιτυγχάνοντας τη μείωση της πίεσεως του διερχόμενου ρευστού λόγω αυξήσεως της τοπικής αντιστάσεως.

γίνεται μέσω εναλλακτήρων, ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του συμπυκνώματος, πριν αυτό οδηγηθεί στη δεξαμενή εξαερισμού του τροφοδοτικού νερού (Deaerating Feed Tank – DFT) (σχ. 8.2στ).

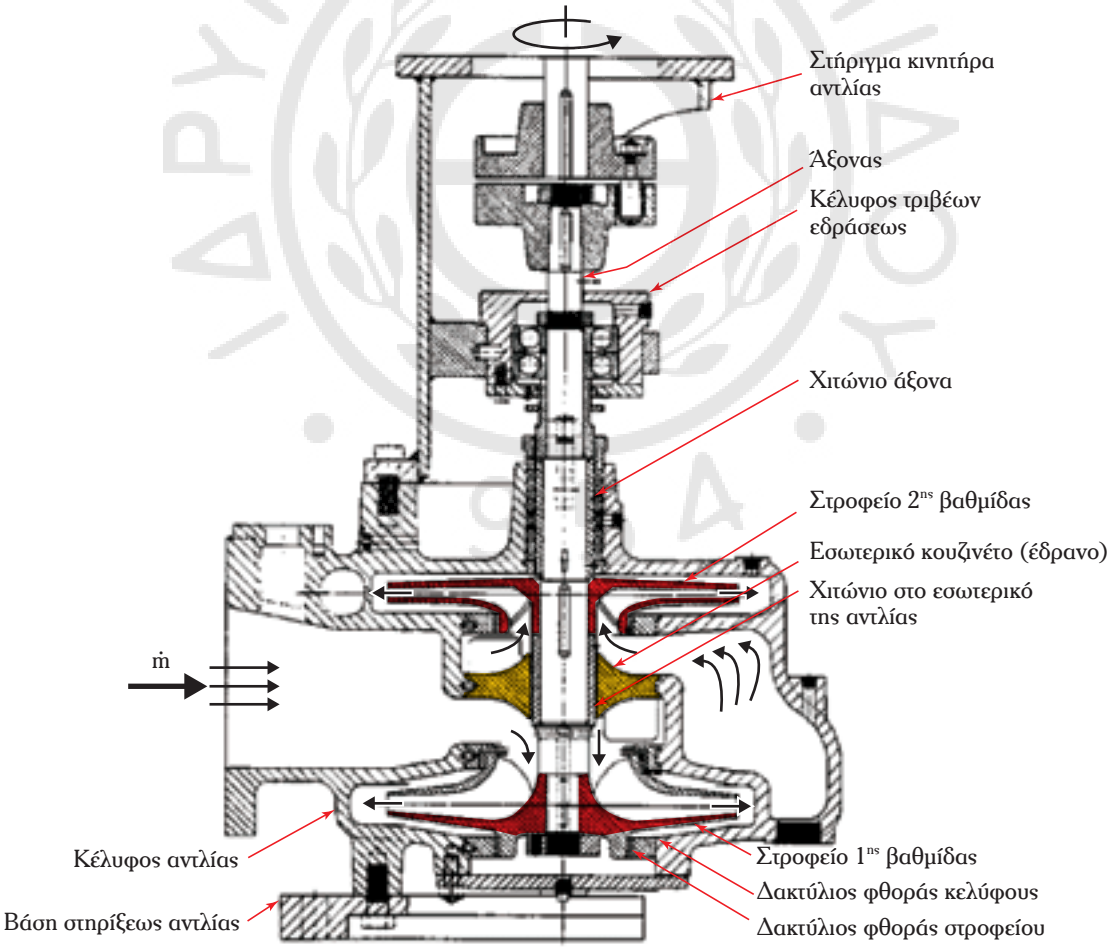
Οι αντλίες αυτές είναι δύο βαθμίδων πιέσεως (σχ. 8.2ζ) με ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) τοποθετημένους στον άξονα περιστροφής του στροφείου μεταξύ της αντλίας και του ηλεκτροκινητήρα, ικανούς να αντιμετωπίσουν τις αξονικές και τις ακτινικές δυνάμεις ώσεως που αναπτύσσονται από τα στροφεία.

Επί πλέον στο κέλυφος της αντλίας μεταξύ των στροφείων, υπάρχει τριβέας με υδρολίπανση που



Σχ. 8.2στ

Απλοποιημένο σύστημα κύκλου ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως.



Σχ. 8.2ζ

Φυγοκεντρική αντλία συμπυκνώματος δύο βαθμίδων πιέσεως.

έχει μορφή χιτωνίου κατασκευασμένου από ειδικό κράμα (όπως μη μολυβδούχο χαλκό, χαλκό αλουμινίου, ορείχαλκο μαγγανίου κ.ά.). Μέσα από το χιτώνιο διέρχεται ο περιστρεφόμενος άξονας, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η διαχείριση των ακτινικών ώσεων που ασκούνται στην αντλία.

Η πρώτη βαθμίδα είναι το κάτω στροφείο-πτερωτή, ενώ η δεύτερη βαθμίδα η επάνω. Τα στροφεία-πτερωτές τοποθετούνται με την οπή αναρροφήσεως του κάτω στροφείου προς τα πάνω και του επάνω προς τα κάτω αντίστοιχα. Με την εγκατάσταση αυτή επιτυγχάνεται η ισορροπία στην υδραυλική πίεση από τα δύο στροφεία διότι κατά την περιστροφή τους δημιουργούνται αντίθετες αξονικές ώσεις, μειώνοντας αυτές που ασκούνται στους τριβείς της αντλίας. Για την απαγωγή του αέρα που συγκεντρώνεται στο εσωτερικό του κελύφους, ένας σωλήνας συνδέεται από το κέλυφος πάνω από το στροφείο του πρώτου σταδίου έως το επάνω μέρος του κελύφους του συμπυκνωτή. Η συγκοινωνία των δύο χώρων βοηθάει την απομάκρυνση του αέρα που συγκεντρώνεται στο εσωτερικό του κελύφους της αντλίας, λόγω της υποπίεσεως που επικρατεί στο εσωτερικό του συμπυκνωτή.

Η στεγανοποίηση του άξονα στο σημείο εισόδου του στην αντλία, επιτυγχάνεται με στυπεία και στυπειοθλίπτη ή με μηχανικό στυπειοθλίπτη. Για τη βελτιστοποίηση της στεγανοποιήσεως, αλλά και για την απομάκρυνση της θερμότητας που αναπτύσσεται στα σημεία τριβής, μία ποσότητα συμπυκνώματος από την κατάθλιψη της δεύτερης βαθμίδας εγχέεται μέσω σωλήνα στο θάλαμο που περιέχει τα στυπεία ή το μηχανικό στυπειοθλίπτη.

Το συμπύκνωμα που απομακρύνεται από το εσωτερικό του συμπυκνωτή συνήθως βρίσκεται σε πίεση ατμοποιήσεως ή κοντά σε αυτή. Κατά συνέπεια, το καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως (NPSH) που εισέρχεται στην αντλία είναι ουσιαστικά ίσο με το ύψος της στάθμης του νερού μέσα στον συμπυκνωτή. Γι' αυτό, με σκοπό την αύξηση της διαφοράς της πιέσεως, που θα δημιουργήσει αποδοτικές συνθήκες NPSH στο στροφείο της πρώτης βαθμίδας της αντλίας, η αντλία τοποθετείται σε σημείο του μηχανοστασίου όσο είναι εφικτό χαμηλότερα από το συμπυκνωτή. Στην επίτευξη του επιθυμητού NPSH πρέπει να συμπεριληφθούν και οι απώλειες (έστω και μικρές) του δικτύου. Επίσης, συχνά τα στροφεία της πρώτης βαθμίδας είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν σε χαμηλό NPSH.

Εάν η κίνηση της αντλίας πραγματοποιείται με ατμοστρόβιλο ή με ηλεκτροκινητήρα που δύναται να μεταβάλλει τις στροφές του, οι στροφές της αντλίας για την απομάκρυνση του συμπυκνώματος ρυθμίζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Δηλαδή, οι στροφές της αντλίας ρυθμίζονται ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία στη ροή των υγρών ατμών προς τον συμπυκνωτή και στον ρυθμό απομακρύνσεως του συμπυκνώματος.

Για να επιτευχθεί αυτή η ισορροπία χρησιμοποιείται ένα σύστημα ελέγχου της στάθμης του συμπυκνώματος που επενεργεί στο κινητήριο μηχάνημα αυξάνοντας και μειώνοντας ανάλογα τις στροφές. Εναλλακτικά, όταν στην κίνηση της αντλίας χρησιμοποιείται κινητήρας σταθερών στροφών, ο ρυθμός απομακρύνσεως του συμπυκνώματος με την αντλία δύναται να πραγματοποιείται με έλεγχο στο βαθμό βυθίσεως (δηλ. το ύψος από την επιφάνεια του υγρού έως το στροφείο) ή διαφορετικά με ρύθμιση των συνθηκών της σπηλαιώσεως.

Με τον έλεγχο του βαθμού βυθίσεως, η μείωση στο φορτίο του συστήματος (κυκλοφορία του ατμού στον ατμοστρόβιλο, άρα λιγότερος υγρός ατμός προς το συμπυκνωτή), έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της στάθμης του συμπυκνώματος στο συμπυκνωτή. Αντίστοιχη θα είναι και η μείωση του διαθέσιμου NSPH προς την αντλία συμπυκνώματος, το οποίο θα πέσει κάτω από το απαιτούμενο NSPH. Η πτώση του διαθέσιμου NSPH κάτω από το απαιτούμενο NSPH θα προκαλέσει την μείωση της ικανότητας της αντλίας στην απομάκρυνση του συμπυκνώματος και την εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσεως. Καθώς η στάθμη στο συμπυκνωτή θα συνεχίσει να μειώνεται, το φαινόμενο της σπηλαιώσεως θα αυξάνεται, ενώ η παροχή της αντλίας θα μειώνεται, έως ότου γίνει αντίστοιχη με το ρυθμό της εισαγωγής του υγρού ατμού και της δημιουργίας συμπυκνώματος. Τότε η στάθμη του συμπυκνώματος μέσα στο συμπυκνωτή θα σταθεροποιηθεί και το διαθέσιμο NSPH θα είναι ίσο με το απαιτούμενο από την αντλία NSPH δημιουργώντας έναν νέο μειωμένο ρυθμό παροχής από την αντλία.

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται με έλεγχο του βαθμού βυθίσεως είναι ειδικά σχεδιασμένες για να λειτουργούν σε μεταβλητό NSPH και κατασκευασμένες ώστε να αντέχουν στην σπηλαίωση και στις δονήσεις.

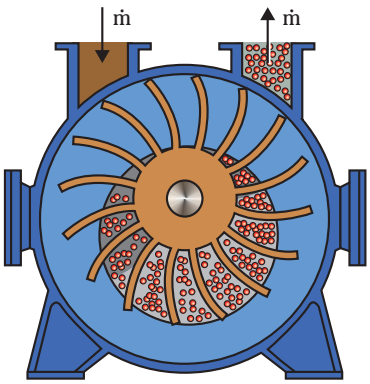
Για να αποφευχθεί η αύξηση του φαινομένου της σπηλαιώσεως, η παροχή των αντλιών σταθερών στροφών δύναται να ρυθμιστεί με τον περιορισμό της βαλβίδας καταθλίψεως, ώστε να διατηρείται η στάθμη στο συμπυκνωτή. Όμως η μείωση της παροχής ενδέχεται να προκαλέσει ελλιπή ψύξη των εκχυτή-

ρων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κενού και μείωση της αποδόσεώς τους ή επανακυκλοφορία του συμπυκνώματος στο εσωτερικό της αντλίας μεταξύ καταθλίψεως και αναρροφήσεως. Για την πρόληψη αυτού του είδους των προβλημάτων χρησιμοποιείται ένας σωλήνας επανακυκλοφορίας του συμπυκνώματος προς το συμπυκνωτή με αυτόματο ή χειροκίνητο επιστόμιο, διατηρώντας τη στάθμη σε ικανοποιητικό επίπεδο. Επίσης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται μία βαλβίδα ελέγχου διατηρώντας τη θερμοκρασία του συμπυκνώματος μέσω της επανακυκλοφορίας στην επιθυμητή προκαθορισμένη τιμή.

Γενικά οι αντλίες σταθερών στροφών είναι κατασκευασμένες ώστε να λειτουργούν στην ονομαστική τους παροχή. Ως εκ τούτου η λειτουργία τους με χαμηλή ροή πρέπει να αποφεύγεται.

3) Αντλίες απαερίωσεως ψυγείου συμπυκνώσεως (liquid ring vacuum pumps).

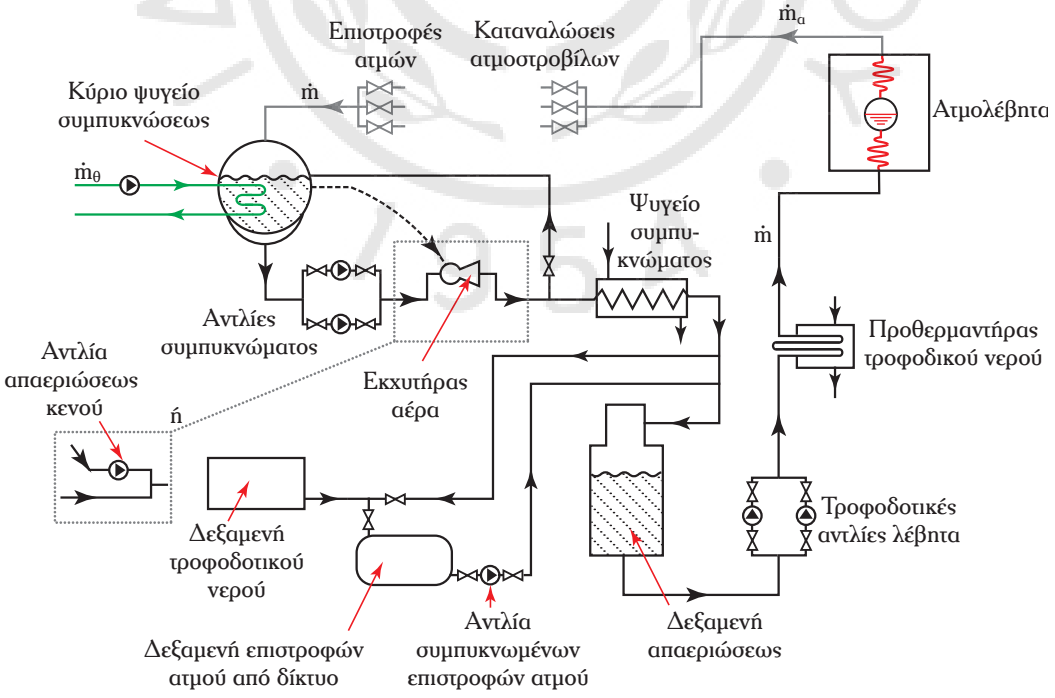
Πρόκειται για αντλίες τύπου υγρού δακτυλίου που ως σκοπό έχουν τη δημιουργία κενού και κινούνται από ηλεκτροκινητήρα (σχ. 8.2η). Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κενού και την απομάκρυνση του αέρα σε ένα συμπυκνωτή, αντικαθιστώντας μερικές φορές τους εκχυτήρες (σχ. 8.2θ). Όμως το κενό που



Σχ. 8.2η

Αντλία υγρού δακτυλίου για τη δημιουργία κενού.

δημιουργείται, από τις αντλίες υγρού δακτυλίου, περιορίζεται από την τάση ατμών του νερού λειτουργίας της αντλίας. Ο περιορισμός οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας του νερού λειτουργίας της αντλίας, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας του μείγματος υγρού-ατμών που αναρροφώνται από το συμπυκνωτή. Γι' αυτό το νερό που διαχωρίζεται από το μείγμα και αναμειγνύεται με το νερό λειτουργίας, καταθλίβεται σε έναν εναλλακτήρα θερμότητας (ψυγείο) ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του πριν επιστρέψει στην αντλία, βελτιώνοντας την απόδοσή της.



Σχ. 8.2θ

Απλοποιημένο δίκτυο κυκλοφορίας ατμού τροφοδοτικού νερού.

4) Αντλίες συμπυκνωμένων επιστροφών ατμού (condensate pumps).

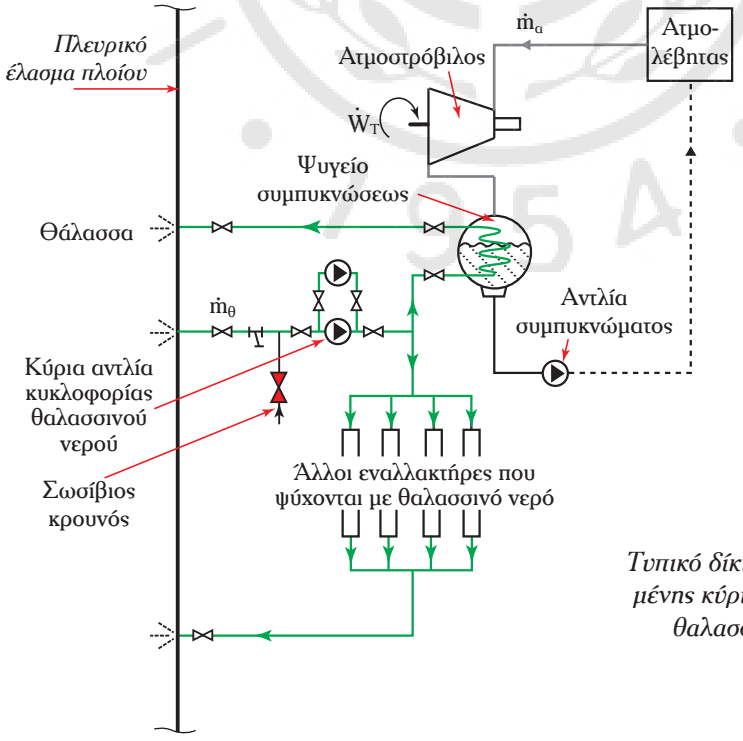
Οι αντλίες αυτές, χρησιμοποιούνται για την άντληση του συμπυκνώματος που έχει συλλεχθεί στη δεξαμενή του δικτύου επιστροφών ατμού γενικής χρήσεως, εκτός του ατμοστροβίλου (σχ. 8.2θ). Η δεξαμενή του δικτύου επιστροφών συνήθως αναφέρεται και ως ***ατμοσφαιρική δεξαμενή αποστραγγίσεως*** (atmospheric drain tank) διότι σε αυτή συλλέγεται συμπύκνωμα σε πίεση ίση ή μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, το οποίο δεν έχει αναμιχθεί με άλλο ρευστό (καθαρό συμπύκνωμα). Αντίστοιχα, οι αντλίες αναφέρονται και ως ***ατμοσφαιρικές αντλίες δεξαμενών αποστραγγίσεως*** (atmospheric-drain-tank pumps).

Συνήθως είναι φυγοκεντρικές αντλίες μίας βαθμίδας πιέσεως οι οποίες κινούνται από ηλεκτροκινητήρα. Ο έλεγχος για τη λειτουργία της αντλίας γίνεται αυτόματα με τη χρήση πλωτήρων κατάλληλα εγκατεστημένων ώστε όταν η στάθμη της δεξαμενής φτάσει στον επάνω πλωτήρα ενεργοποιείται η αντλία και λειτουργεί μέχρι η στάθμη να φτάσει στο χαμηλότερα εγκατεστημένο πλωτήρα και να διακοπεί η λειτουργία της.

Η κατάθλιψη του αντλούμενου συμπυκνώματος γίνεται στην δεξαμενή απαεριώσεως τροφοδοτικού νερού του λέβητα (Deaerating Feed Tank – DFT), και η θερμοκρασία του συμπυκνώματος κυμαίνεται συνήθως από 93 έως 99°C. Επειδή η θερμοκρασία αυτή είναι κοντά στο σημείο βρασμού του νερού, στην προσπάθεια να διατηρείται το καθαρό διαθέσιμο ύψος αναρροφήσεως της αντλίας σε υψηλό επίπεδο, οι αντλίες τοποθετούνται όσο είναι εφικτό χαμηλότερα από τη δεξαμενή.

5) Κύριες αντλίες κυκλοφορίας θαλάσσης (main seawater circulation pumps).

Η κύρια αυτή αντλία σε ένα πλοίο με πρόωση από ατμοστρόβιλο ως σκοπό έχει την παροχή θαλάσσης στο δίκτυο που εξυπηρετεί τον κύριο συμπυκνωτή (εναλλακτήρα συμπυκνώσεως) επιστροφών του ατμού από τον ατμοστρόβιλο. Εξυπηρετεί επίσης και την παροχή σε δίκτυα όπου είναι εγκατεστημένοι άλλοι εναλλακτήρες θερμότητας, όπως είναι τα κύρια ψυγεία του λιπαντικού ελαίου κ.ά. (σχ. 8.2ι). Η αναρρόφηση της αντλίας γίνεται μέσω του δικτύου που τη συνδέει με το επιστόμιο το οποίο είναι εγκατεστημένο στην πλευρά του πλοίου, ενώ η κατάθλιψη του θαλασσινού νερού μετά τον συμπυκνωτή ή οποιονδήποτε άλλον εναλλακτήρα θερμότητας καταλήγει ξανά στη θάλασσα. ***Για την ασφάλεια του πλοίου, στο δίκτυο αναρροφήσεως υπάρχει εγκατεστημένο και ένα επιστόμιο το οποίο παρέχει τη δυνατότητα να αναρροφήσει η αντλία νερά από τις σεντίνες του μηχανοστασίου σε περίπτωση έκτακτης***



Σχ. 8.2ι

Τυπικό δίκτυο σε κάτοψη εγκατεστημένης κύριας αντλίας κυκλοφορίας θαλασσινού νερού ψύξεως.

ανάγκης. Το επιστόμιο αυτό ονομάζεται σωσίβιος κρουνός και συνδέεται με την κύρια αντλία κυκλοφορίας θαλάσσης λόγω της μεγάλης της παροχής.

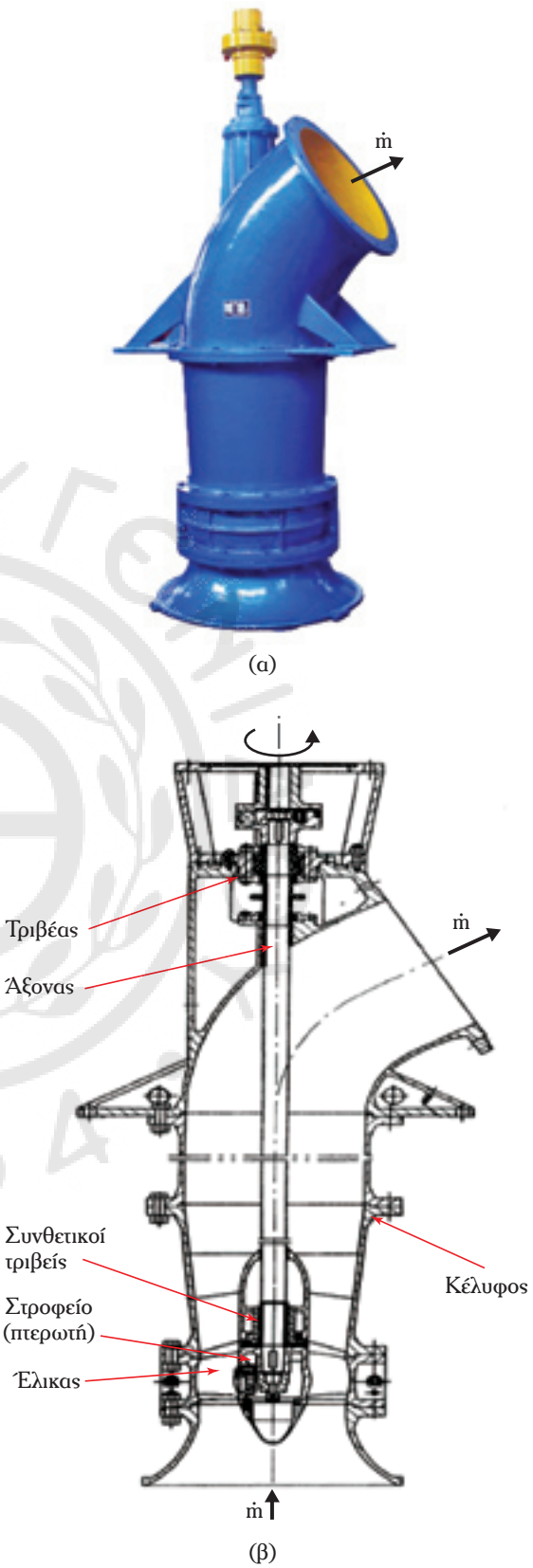
Στα πλοία με ατμοστρόβιλο, λόγω της μεγάλης παροχής που απαιτείται από το ψυγείο (συμπυκνωτή) επιστροφών του ατμού, οι αντλίες που χρησιμοποιούνται είναι αξονικής ροής με έλικα μίας βαθμίδας πιέσεως (σχ. 8.2ια), με σχετικά χαμηλή πίεση καταθλίψεως. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη πίεση καταθλίψεως, τότε οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις είναι μεικτής ροής. Για την κίνηση των αντλιών χρησιμοποιούνται ατμοστρόβιλοι με μειωτήρες, αλλά και ηλεκτροκινητήρες δύο «ταχυτήτων» περιστροφής. Έτσι δίδεται η δυνατότητα ελέγχου των στροφών της αντλίας, άρα και της παροχής, ειδικά κατά την εκκίνηση ή τη διακοπή του ατμοστροβίλου όπου οι απαιτήσεις σε θαλασσινό νερό λόγω χαμηλής καταναλώσεως ατμού είναι μειωμένες.

Λόγω του μεγάλου ηλεκτρικού φορτίου που απαιτείται για τη λειτουργία της κύριας αντλίας κυκλοφορίας θαλάσσης, στο δίκτυο υπάρχει εγκατεστημένη και μία αντλία μικρότερης παροχής, συνήθως με ηλεκτροκινητήρα, η ***αντλία χρήσεως λιμένα*** (port use pump). Η αντλία αυτή χρησιμοποιείται εν όρμω (σε λιμάνι) ή στο αγκυροβόλιο όταν οι απαιτήσεις σε θαλασσινό νερό για την ψύξη είναι μικρές, διότι δεν λειτουργεί ο ατμοστρόβιλος, παρέχοντας όμως ικανοποιητική παροχή στα υπόλοιπα ψυγεία.

Σε πολλές περιπτώσεις οι κύριες αντλίες κυκλοφορίας θαλάσσης δεν διαθέτουν ωστικό τριβέα για την απόσβεση της αξονικής ώσεως. Τότε ο άξονας της αντλίας συνδέεται σταθερά με τον άξονα του κινητήριου μηχανήματος, ώστε η αξονική ώση να λαμβάνεται από τον ωστικό τριβέα που είναι εγκατεστημένος στον άξονα του κινητήρα. Για τις αξονικές ώσεις από τη λειτουργία της αντλίας υπάρχει εγκατεστημένος τριβέας σε εγκάρσιο στήριγμα επάνω από τον έλικα. Η απαραίτητη λίπανση των σημείων τριβής η οποία επηρεάζεται από την ύπαρξη λάσπης και άμμου που παρασύρεται από το θαλασσινό νερό όταν το πλοίο ταξιδεύει κοντά σε ακτές ή σε ποτάμια επιτυγχάνεται με την παροχή καθαρού νερού από βοηθητικό δίκτυο ενώ σε αρκετές αντλίες στις επιφάνειες των τριβέων υπάρχει επίστρωση από ανθεκτικό συνθετικό υλικό.

6) Αντλίες παροχής πετρελαίου του λέβητα

Στα πλοία προώσεως με ατμοστρόβιλο, είναι οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για την παροχή του καυσίμου στην λειτουργία των καυστήρων του λέβητα παραγωγής ατμού. Ανάλογα με τον τύπο και την κατασκευή του δικτύου καθώς και τον τρόπο λειτουργίας του λέβητα συνήθως συναντώνται οι ***Αντλίες Βαρέος Πετρελαίου*** (Heavy Fuel Oil) και οι ***Αντλίες Πετρελαίου Ντίζελ*** (Diesel Oil).



Σχ. 8.2ια

(α) Αντλία αξονικής ροής και (β) τομή και τα μέρη της.

1) Οι ***αντλίες πετρελαίου ντίζελ,*** είναι ηλεκτροκίνητες περιστροφικές αντλίες και χρησιμοποιούνται κατά την αρχική εκκίνηση του λέβητα διότι με το βαρύ πετρέλαιο δεν είναι εύκολο να γίνει ανάφλεξη. Στη συνέχεια με την παροχή βαρέος πετρελαίου συνεχίζεται η καύση και διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας ντίζελ.

2) Οι ***αντλίες βαρέος πετρελαίου***, είναι οριζόντιας ή κάθετης διατάξεως κοχλιοειδούς τύπου και πολλαπλού στροφείου. Η κίνησή τους δύναται να πραγματοποιείται είτε από μικρού μεγέθους ατμοστρόβιλους, είτε από ηλεκτροκινητήρες δύο ταχυτήτων. Το ενδεχόμενο χρήσεως παλινδρομικών αντλιών για την παροχή πετρελαίου υφίσταται μόνο σε παλαιά πλοία.

Η άντληση του πετρελαίου γίνεται από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως ή από την δεξαμενή καθιζήσεως του πετρελαίου. Επίσης για την αύξηση της θερμοκρασίας του πετρελαίου, με σκοπό την καλύτερη άντληση και την καύση από τον καυστήρα, προθερμαίνεται σε εναλλακτήρα θερμότητας με ατμό.

Η παροχή ατμού κινήσεως στις αντλίες πετρελαίου με ατμοστρόβιλο, είτε αυτές είναι περιστροφικές είτε άμεσης δράσεως παλινδρομικές, συνήθως ελέγχεται από ρυθμιστική διάταξη σταθερής πιέσεως που ενεργεί έτσι, ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση καταθλίψεως του καυσίμου από την αντλία. Με αυτή τη διάταξη επιτυγχάνεται η σταθερή παροχή δίχως να επηρεάζεται από τυχόν διακυμάνσεις στο δίκτυο του ατμού. Όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες για τη λειτουργία της αντλίας, ο κινητήρας συνήθως είναι δύο ταχυτήτων περιστροφής. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να λειτουργεί στη χαμηλή ταχύτητα παρέχοντας μικρότερη ποσότητα καυσίμου στο λέβητα όταν οι απαιτήσεις καταναλώσεως είναι μικρές (π.χ. στο λιμάνι) και στην υψηλή ταχύτητα όταν ο λέβητας λειτουργεί σε πλήρες φορτίο (π.χ. εν πλω).

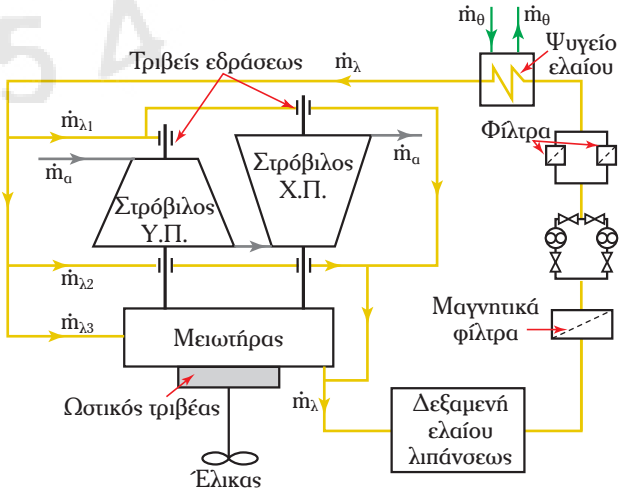
Ωστόσο σε κάθε ταχύτητα λειτουργίας, η παροχή του καυσίμου από την αντλία καυσίμου είναι μεγαλύτερη από αυτή που καταναλώνεται. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η επανακυκλοφορία μίας ποσότητας του καυσίμου (by pass), η οποία επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλου δικτύου.

Στην κατάθλιψη των αντλιών πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένη μία εκτονωτική βαλβίδα από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση της αντλίας, για την προστασία του δικτύου, σε περίπτωση αυξήσεως της πιέσεως πέρα της επιθυμητής. Ο έλεγχος των αντλιών πραγματοποιείται αυτόματα από πίνακα ελέγχου, ενώ παρέχεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και διακοπής της λειτουργίας των αντλιών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Το σημείο εισόδου του άξονα περιστροφής στο κέλυφος της αντλίας στεγανοποιείται με μηχανικό στυπειοθλίπτη. Πάνω από αυτό το σημείο υπάρχει προστατευτικό κάλυμμα το οποίο αποτρέπει τη διάχυση του πετρελαίου σε περίπτωση διαρροής, ενώ κάτω από την αντλία υπάρχει δίσκος περισυλλογής των μικρών διαρροών που τις οδηγεί σε δεξαμενή. Σημαντικό είναι η οποιαδήποτε διαρροή από τις αντλίες καυσίμου να αντιμετωπίζεται άμεσα, με την αντικατάσταση του στεγανοποιητικού μέσου, λόγω της ευφλεκτότητας των καυσίμων.

7) Αντλίες λιπάνσεως ατμοστροβίλων (steam turbine lube oil pumps).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη λίπανση του ατμοστροβίλου. Η αναρρόφηση του ελαίου πραγματοποιείται από την ***δεξαμενή συγκεντρώσεως ελαίου των μειωτήρων*** (reduction gears sump) και η κατάθλιψη στα έδρανα του στροβίλου, στο κιβώτιο με τα γρανάζια των μειωτήρων και στον ωστικό τριβέα του άξονα της έλικας προώσεως του πλοίου (σχ. 8.2ιβ). Το ίδιο έλαιο συνήθως καταθλίβεται και στον ρυθμιστή ταχύτητας, καθώς και στην βαλβίδα ελέγχου ροής του ακροφύσιου παροχής ατμού στον ατμοστρόβιλο. Επίσης ένα τμήμα του αντλούμενου ελαίου καταθλίβεται σε δεξαμενή βαρύτητας, ώστε να διατηρηθεί η λίπανση του μηχανισμού προώσεως για αρκετά λεπτά, σε περίπτωση αιφνίδιας διακοπής της αντλίας παροχής του λιπαντικού. Τα περισσότερα



Σχ. 8.2ιβ

Τυπική διάταξη δικτύου λιπάνσεως ατμοστροβίλων.

πλοία με πρόωση από ατμοστρόβιλο διαθέτουν δύο ή και τρεις αντλίες οριζόντιας ή κάθετης διατάξεως, γραναζωτού τύπου (gear type pumps). Όταν είναι κάθετης διατάξεως, οι αντλίες δύναται να είναι βυθισμένες στη δεξαμενή συγκεντρώσεως του ελαίου.

Για τον μηχανισμό κινήσεως των αντλιών μπορεί να χρησιμοποιείται ατμοστρόβιλος, ηλεκτροκινητήρας ή ο προωστήριος άξονας μέσω κατάλληλης διατάξεως (π.χ. μετάδοση με γρανάζια) (εξαρτημένες αντλίες). Στην περίπτωση που οι αντλίες κινούνται από ατμοστροβίλους ή από τον προωστήριο άξονα, θα πρέπει στο δίκτυο να υπάρχει εγκατεστημένη μία αντλία η οποία θα κινείται από ηλεκτροκινητήρα, εξασφαλίζοντας την παροχή ελαίου στον ατμοστρόβιλο κατά την εκκίνηση. Επίσης ενδέχεται σε ορισμένα πλοία να χρησιμοποιούνται εφεδρικές εμβολοφόρες αντλίες κινούμενες από μικρό ντιζελοκινητήρα ή ηλεκτροκίνητες συνδεμένες με ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) οι οποίες (αντλίες) εξασφαλίζουν την παροχή ελαίου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Οι αντλίες για την παροχή ελαίου λιπάνσεως τοποθετούνται χαμηλά, κοντά στη δεξαμενή συλλογής του (lube oil pump tank). Στο δίκτυο παροχής του ελαίου λιπάνσεως, υπάρχουν δίσκοι με οπές (orifice) για τη ρύθμιση της πιέσεώς του σύμφωνα με τις απαιτήσεις των τριβέων εδράσεως και των γραναζιών. Αυτό απαιτείται διότι συνήθως η πίεση καταθλίψεως της αντλίας είναι σύμφωνη με την υπάρχουσα στο ρυθμιστικό μηχανισμό ελέγχου του ατμοστροβίλου (propulsion turbine governor).

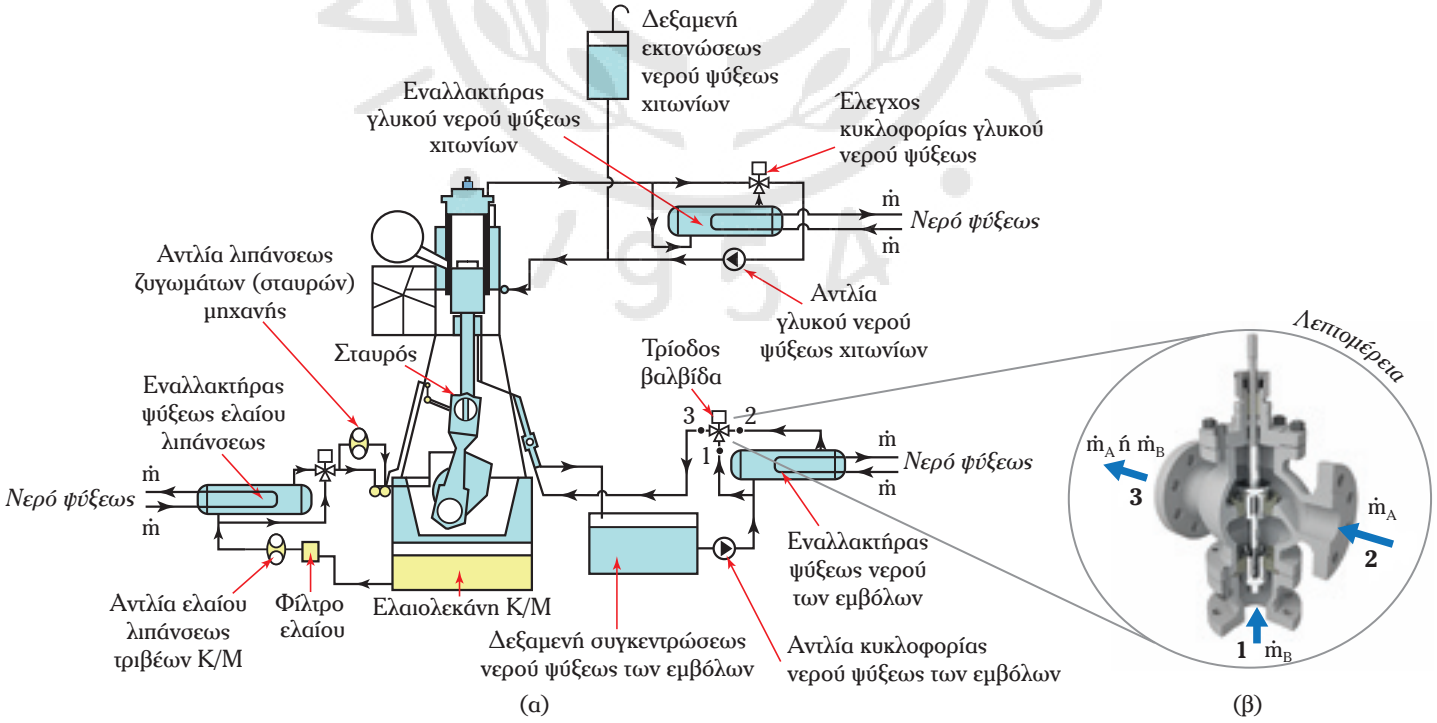
8.2.2 Πλοία με πρόωση από Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ).

Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως λειτουργούν σε διάφορες στροφές έτσι, ώστε να κατατάσσονται ανάλογα σε ***αργόστροφες***, ***μεσόστροφες*** και ***ταχύστροφες***. Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία για την εξυπηρέτηση της καλής λειτουργίας των ΜΕΚ είναι οι ακόλουθες: οι αντλίες γλυκού νερού ψύξεως, οι αντλίες παροχής θαλάσσης στα δίκτυα ψύξεως (βλ. παράγρ. 8.4.2), οι ενισχυτικές αντλίες παροχής καυσίμου και οι αντλίες λιπάνσεως.

1) Αντλίες γλυκού νερού ψύξεως χιτωνίων της μηχανής (jacket fresh water cooling pumps).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του νερού στην ψύξη των χιτωνίων της κύριας μηχανής των καπακιών των κυλίνδρων, του αεροσυμπιεστή υπερπληρώσεως ή/και μέσα από τα στοιχεία του εναλλακτήρα θερμότητας του βραστήρα παραγωγής γλυκού νερού (σχ. 8.2ιγ).

Το γλυκό νερό που διακινείται από την αντλία ψύ-



Σχ. 8.2ιγ

(α) Τυπική διάταξη δικτύου γλυκού νερού ψύξεως και λιπάνσεως Κ/Μ. (β) Τομή τριόδου βαλβίδας.

ξεως της μηχανής ψύχεται από εναλλακτήρα θερμότητας (ψυγείο) στο αντίστοιχο δίκτυο. Όταν η μηχανή είναι σταματημένη το ίδιο νερό διέρχεται από εναλλακτήρα θερμότητας (προθερμαντήρα), ο οποίος το προθερμαίνει για να διατηρηθεί η θερμοκρασία της μηχανής λίγο χαμηλότερα από τη θερμοκρασία λειτουργίας της, ώστε αυτή να βρίσκεται συνεχώς σε κατάσταση ετοιμότητας.

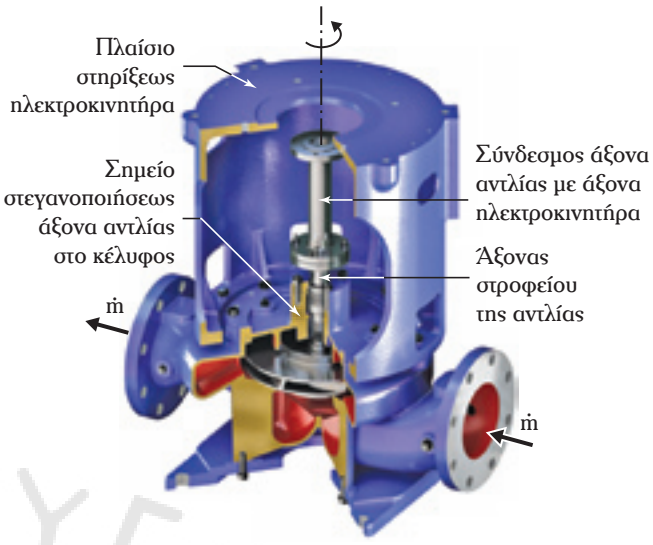
Οι αντλίες ψύξεως της μηχανής (σχ. 8.2ιδ) είναι φυγοκεντρικές κάθετης ή οριζόντιας διατάξεως μίας βαθμίδας πιέσεως, κάθε μία από τις οποίες έχει τη δυνατότητα να καλύπτει τις ανάγκες του δικτύου που εξυπηρετεί όταν η μηχανή λειτουργεί σε πλήρες φορτίο. Η πτερωτή τους συνήθως είναι μίας εισόδου και η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται είτε με στυπεία και στυπειοθλίπτη, είτε με μηχανικό στυπειοθλίπτη. Η κίνησή τους πραγματοποιείται από ηλεκτροκινητήρες, ενώ όταν χρησιμοποιούνται για την ψύξη μεσοστρόφων ή ταχυστρόφων μηχανών ενδέχεται η μετάδοση κινήσεως σε μία από τις αντλίες ψύξεως να παρέχεται από την κύρια μηχανή (εξαρτημένη αντλία).

2) Αντλίες ψύξεως εμβόλων της κύριας μηχανής (main engine piston cooling pumps).

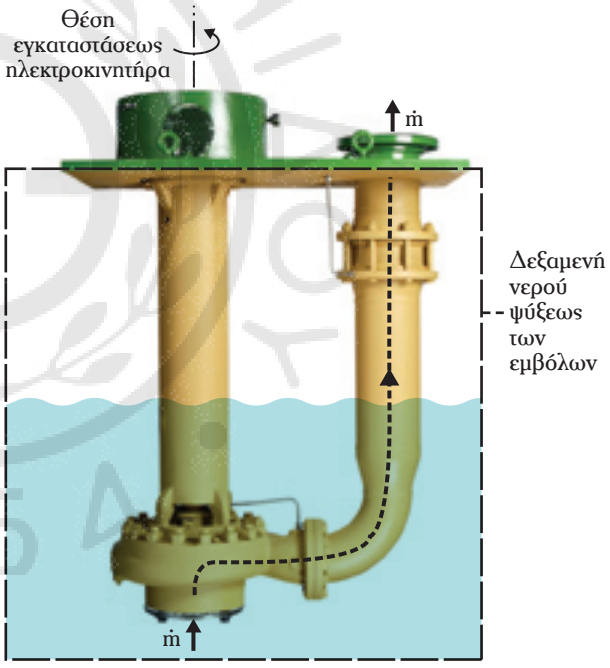
Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την ψύξη των εμβόλων σε ορισμένους τύπους μηχανών, παρέχοντας το γλυκό νερό ψύξεως μέσω σωλήνων που στέλνουν νερό στο εσωτερικό της κεφαλής των εμβόλων (σχ. 8.2ιγ). Είναι κάθετης συνήθως διατάξεως με ηλεκτροκινητήρα και η αντλία είναι βυθισμένη στη δεξαμενή που περιέχει το νερό για την ψύξη των εμβόλων (σχ. 8.2ιε). Το δίκτυο στο οποίο εγκαθίστανται είναι διαχωρισμένο από το δίκτυο ψύξεως των χιτωνίων, προλαμβάνοντας την ανάμειξη και τη μόλυνση του νερού από τυχόν διαρροές που ενδέχεται να εμφανιστούν είτε από την πλευρά των χιτωνίων είτε από τα έμβολα.

3) Αντλίες παροχής και ενισχύσεως της πιέσεως του βαρέος καυσίμου (heavy fuel oil supply and booster pumps).

Οι αντλίες αυτές που εγκαθίστανται στα πλοία πρέπει να διαθέτουν την δυνατότητα να χειριστούν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά, καθώς και την υψηλή θερμοκρασία των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των μηχανών (σχ. 8.2ιστ). Στα διαφορετικά χαρακτηριστικά καυσίμων πρέπει να προστεθεί και η διαφορά του τύπου, δηλαδή από βαρέα αποστάγματα (heavy fuel oils) σε ελαφρά



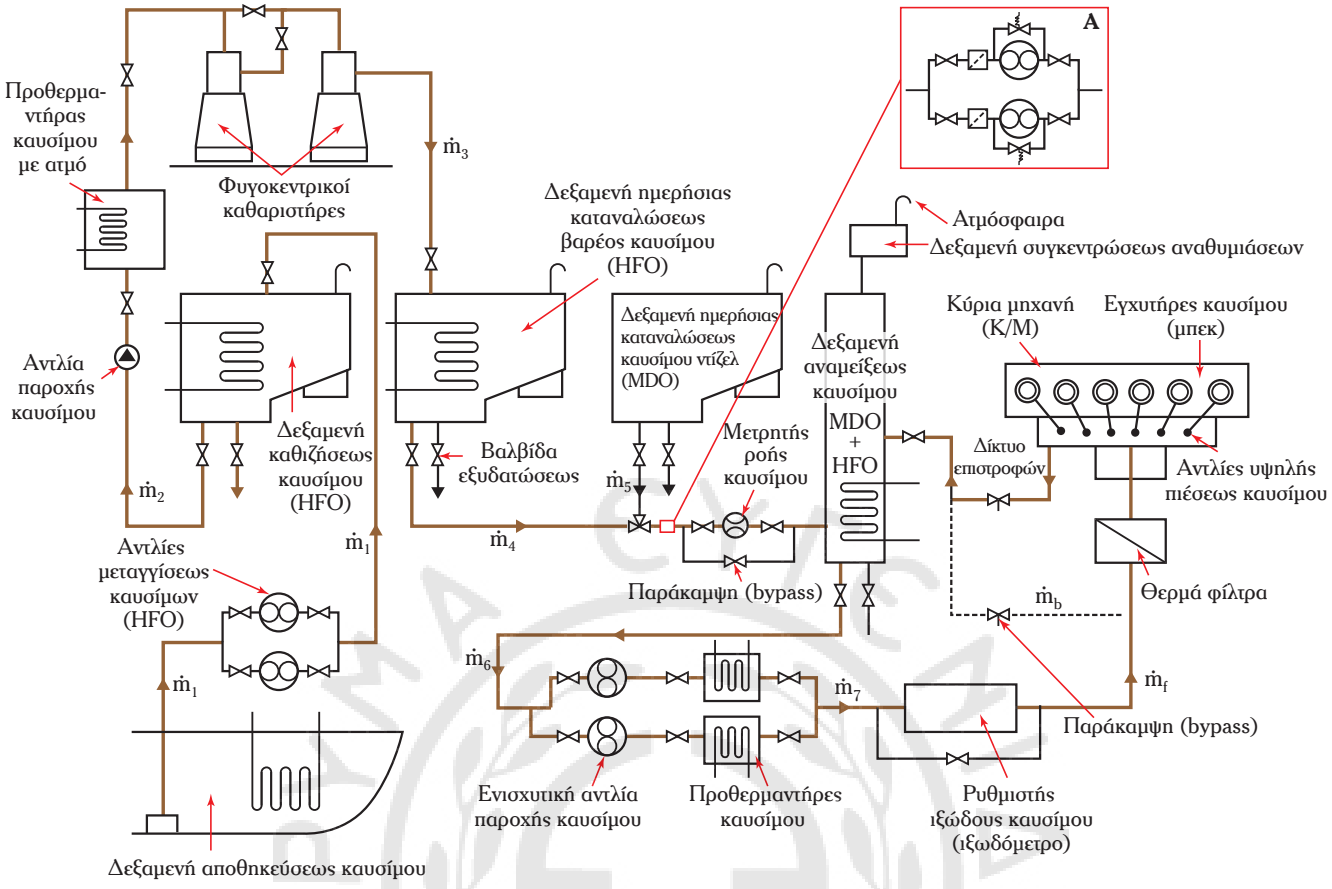
Σχ. 8.2ιδ
Αντλία κυκλοφορίας γλυκού νερού ψύξεως χιτωνίων της μηχανής.



Σχ. 8.2ιε
Διάταξη αντλίας ψύξεως εμβόλων K/M που εγκαθίσταται στο εσωτερικό της δεξαμενής του νερού ψύξεως.

(marine diesel – gas oils) που χρησιμοποιούνται σε κάποιες μηχανές κατά τη διάρκεια των ελιγμών του πλοίου, τη λειτουργία της μηχανής σε χαμηλές στροφές, και τη λειτουργία της μηχανής εντός ειδικών θαλασσίων περιοχών (Sulphur Emisssion Control Areas – SECAs).

Πρόκειται για αντλίες με δύο ή τρία κοχλιοειδή



Σχ. 8.2ιστ

Τυπικό δίκτυο παροχής στην K/M και καθαρισμού του καυσίμου. (A = αντλίες παροχής καυσίμου).

στροφεία ή γραναζωτού τύπου, κινούμενες από ηλεκτροκινητήρες (σχ. 8.2ιζ).

Συνήθως είναι οριζόντιας διατάξεως. Σε ταχύστροφες και μεσόστροφες μηχανές, η κίνησή τους ενδέχεται να πραγματοποιείται μέσω γραναζιών από την ίδια τη μηχανή (εξαρτημένες αντλίες). Η παροχή κάθε μίας αντλίας πρέπει να ανταποκρίνεται στην κατανάλωση της μηχανής σε πλήρες φορτίο.

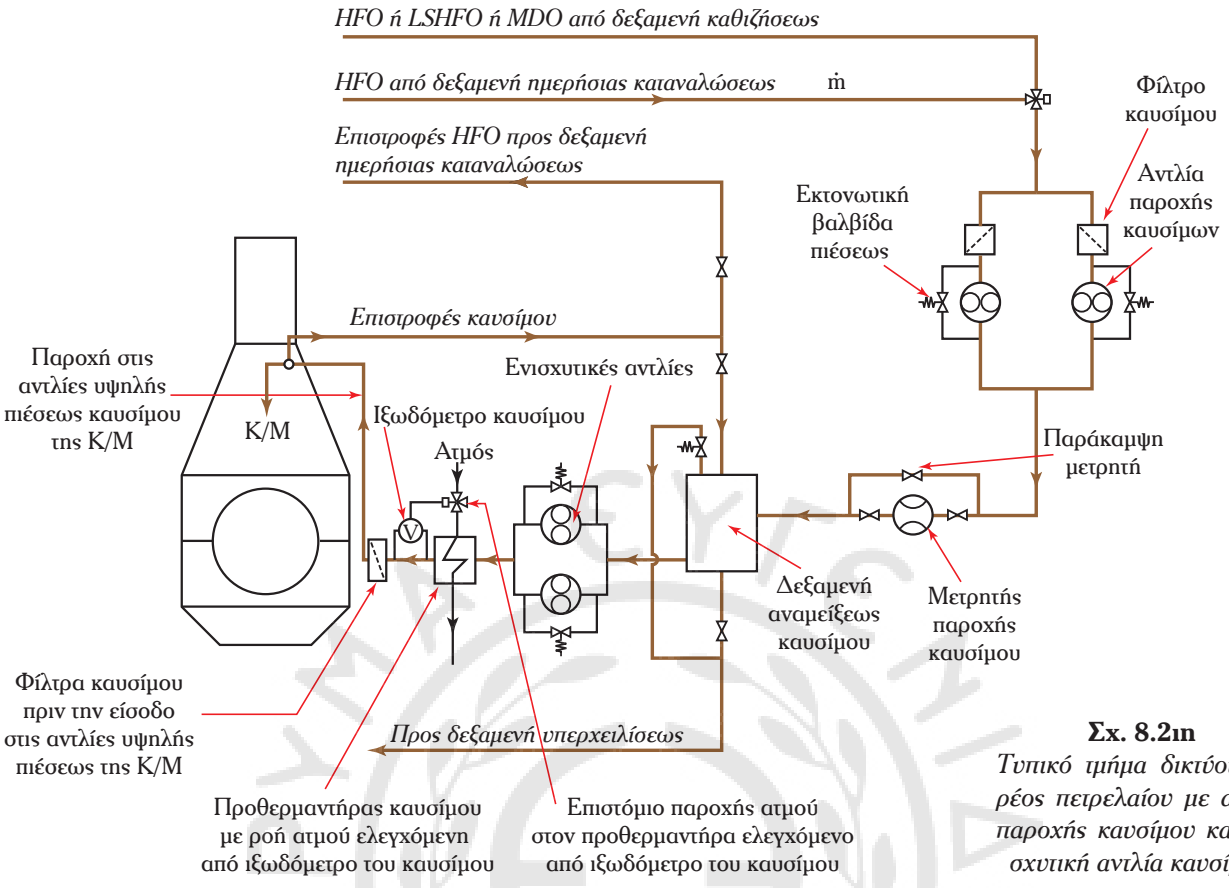
Η αναρρόφηση της αντλίας παροχής καυσίμου στο δίκτυο του καυσίμου γίνεται κυρίως από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως, αλλά για λόγους ασφαλείας δίδεται η δυνατότητα αναρροφήσεως από τη δεξαμενή καθιζήσεως, ώστε να εξασφαλιστεί η διάθεση καυσίμου προς τη μηχανή σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Σε ορισμένα δίκτυα υψηλής θερμοκρασίας ενδέχεται στο δίκτυο του καυσίμου, μετά την αντλία παροχής, να υπάρχει ενισχυτική αντλία της πιέσεως του καυσίμου συνδεδεμένη σε σειρά. Οι αντλίες αυτές εγκαθίστανται είτε μεταξύ της

(α) (β)

Σχ. 8.2ιζ

Αντλίες παροχής και ενισχύσεως της πιέσεως του βαρέος πετρελαίου. (α) Εγκατάσταση δύο αντλιών εν παραλλήλω. (β) Τομή αντλίας.



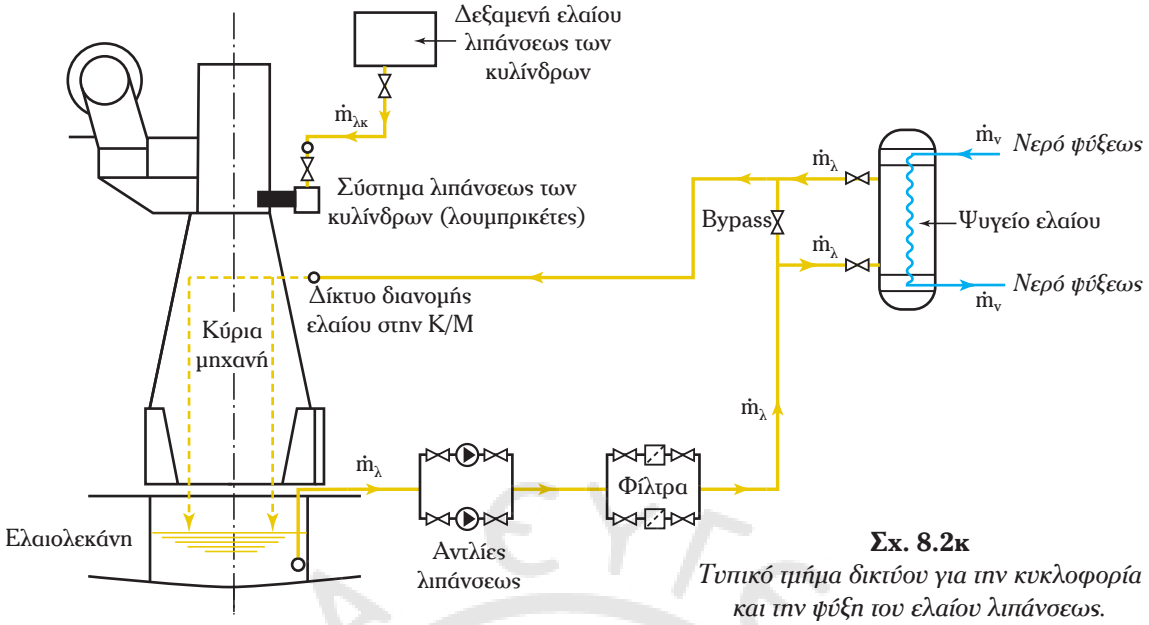
Σχ. 8.2ιη
Τυπικό τμήμα δικτύου βαρέος πετρελαίου με αντλία παροχής καυσίμου και ενισχυτική αντλία καυσίμου.

δεξαμενής ημερήσιας καταναλώσεως μετά την αντλία παροχής (σχ. 8.2ιη), είτε μετά τη δεξαμενή αναμείξεως. Λόγω της περίσσειας στην παροχή του πετρελαίου που καταθλίβεται από τις αντλίες αυτές, ακόμα και στην περίπτωση λειτουργίας της μηχανής σε πλήρες φορτίο, μία ποσότητα καυσίμου επιστρέφει στο δίκτυο [μέσω ειδικής διατάξεως - παράκαμψη (by pass)]. Η σταθεροποίηση των αντλιών αυτών επιτυγχάνεται με μηχανικούς στυπειοθλίπτες, ενώ στην κατάθλιψη κάθε αντλίας υπάρχει εγκατεστημένη εκτονωτική βαλβίδα για την περίπτωση αυξήσεως της πιέσεως στο δίκτυο πάνω από την επιθυμητή. Η βαλβίδα αυτή εκτονώνει την πίεση του καυσίμου από την κατάθλιψη στην πλευρά της αναρροφήσεως [σχ. 8.2ιστ (Α)].

4) Αντλίες ελαίου λιπάνσεως της κύριας μηχανής (lubricating oil pumps).

Οι αντλίες αυτές είναι κάθετης ή οριζόντιας διατάξεως που κινούνται από ηλεκτροκινητήρες (σχ. 8.2ιθ). Εναλλακτικά δύναται να λαμβάνουν την κινητήρια ισχύ από την μηχανή, αλλά αυτό συμβαίνει σε μεσόστροφες και ταχύστροφες μηχανές (σχ. 8.2ιγ και 8.2κ). Εγκαθίστανται

Σχ. 8.2ιθ
Αντλία ελαίου λιπάνσεως κοχλιοειδούς στροφείου, της κύριας μηχανής.



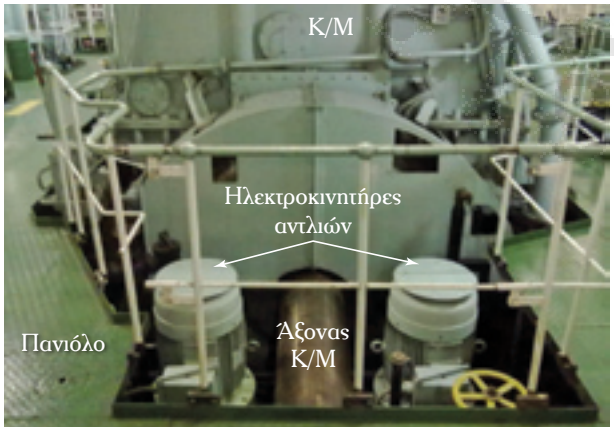
Σχ. 8.2κ
Τυπικό τμήμα δικτύου για την κυκλοφορία και την ψύξη του ελαίου λιπάνσεως.

δύο σε κάθε δίκτυο, αλλά κάθε μία έχει ικανοποιητική παροχή για τη λίπανση της μηχανής σε πλήρες φορτίο. Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται είναι είτε φυγοκεντρικές, είτε με δύο ή τρία κοχλιοειδή στροφεία ή γραναζωτές. Η αναρρόφηση του ελαίου γίνεται από την ελαιολεκάνη της μηχανής (sump tank), γι' αυτό και τοποθετούνται χαμηλά στο μηχανοστάσιο συνήθως στο ***τελευταίο επίπεδο του μηχανοστασίου*** (κοινώς τελευταίο πανιόλο[4]) (σχ. 8.2κα), ενώ ενδέχεται να είναι βυθισμένες στην ελαιολεκάνη.

Η κατάθλιψη του ελαίου μέσω του δικτύου πραγματοποιείται στους τριβείς εδράσεως του στροφαλοφόρου άξονα της κύριας μηχανής, στους σταυρούς, στον ρυθμιστή ελέγχου ταχύτητας της μηχανής (governor control) και στα έμβολα, μέσω κατάλληλης διατάξεως όταν η ψύξη των εμβόλων γίνεται με έλαιο.

Εναλλακτικά για την ψύξη των σταυρών χρησιμοποιούνται σε σειρά με την κύρια αντλία λιπάνσεως περιστροφικές αντλίες ενισχύσεως της πιέσεως (booster ή crosshead pumps) μικρότερης παροχής που καταθλίβουν έλαιο λιπάνσεως αποκλειστικά στους σταυρούς.

Η αντλία λιπάνσεως χρησιμοποιείται επίσης για την παροχή ελαίου στον ωστικό τριβέα της κύριας μηχανής αλλά και στα γρανάζια των μειωτήρων σε μεσαίας και υψηλής ταχύτητας μηχανές. Στους δύο τελευταίους τύπους μηχανών ενδέχεται για τη λίπανση των γραναζιών να χρησιμοποιείται ανεξάρτητη περιστροφική αντλία που δεν έχει σχέση με το δίκτυο της κύριας αντλίας λιπάνσεως.



Σχ. 8.2κα
Εγκατεστημένες αντλίες ελαίου με ηλεκτροκινητήρα δίπλα στον άξονα της Κ/Μ.

8.2.3 Πλοία κινούμενα με αεριοστρόβιλο (gas turbine propelled vessels).

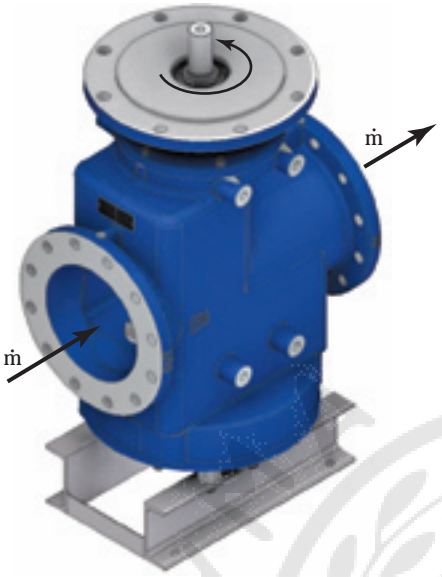
Για τα πλοία τα οποία κινούνται από αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούνται οι εξής αντλίες:

1) Αντλίες παροχής καυσίμου (fuel oil service pumps).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την κατάθλιψη του καυσίμου στα ακροφύσια εισαγωγής

[4] ***Πανιόλο*** ονομάζεται το μικρό τμήμα λαμαρίνας που τοποθετείται στα επίπεδα του μηχανοστασίου για τη διέλευση του πληρώματος.

του στο θάλαμο καύσεως του αεριοστρόβιλου. Πρόκειται για γραναζωτού τύπου αντλίες (σχ. 8.2κβ), οι οποίες κινούνται από τον αεριοστρόβιλο (εξαρτημένες από τον άξονα του αεριοστρόβιλου μέσω κατάλληλης διατάξεως) (σχ. 8.2κγ). Επί πλέον ένα ζεύγος περιστροφικών αντλιών που λειτουργούν με ηλεκτροκινητήρες είναι εγκατεστημένο σε σειρά με τις αντλίες παροχής καυσίμου, ώστε να επιτυγχάνεται η αρχική έγχυση του καυσίμου για τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου κατά την εκκίνηση. Επίσης, δύναται να χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικής παροχής ή ως ενισχυτικές των αντλιών καυσίμου που είναι εξαρτημένες από τον αεριοστρόβιλο.

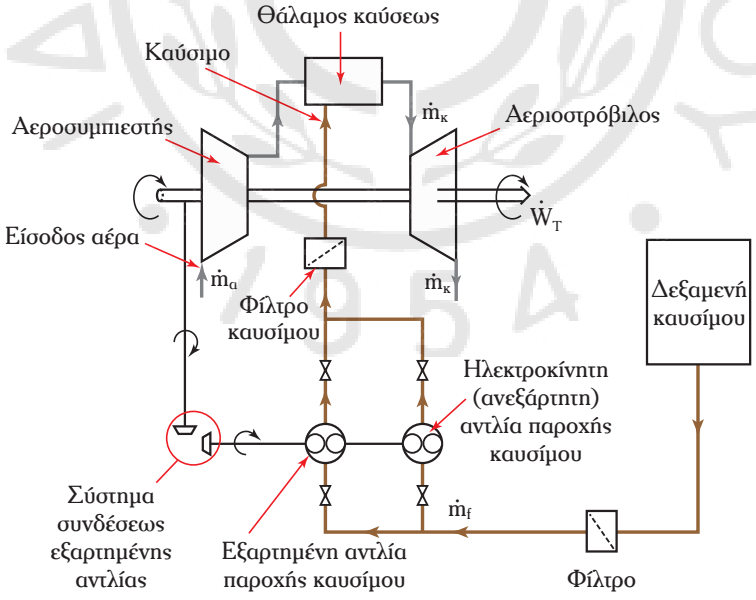


Σχ. 8.2κβ
Γραναζωτού τύπου αντλία παροχής καυσίμου κάθειτης διατάξεως.

2) Αντλίες ελαίου λιπάνσεως αεριοστροβίλων (gas turbine lubricating oil pumps).

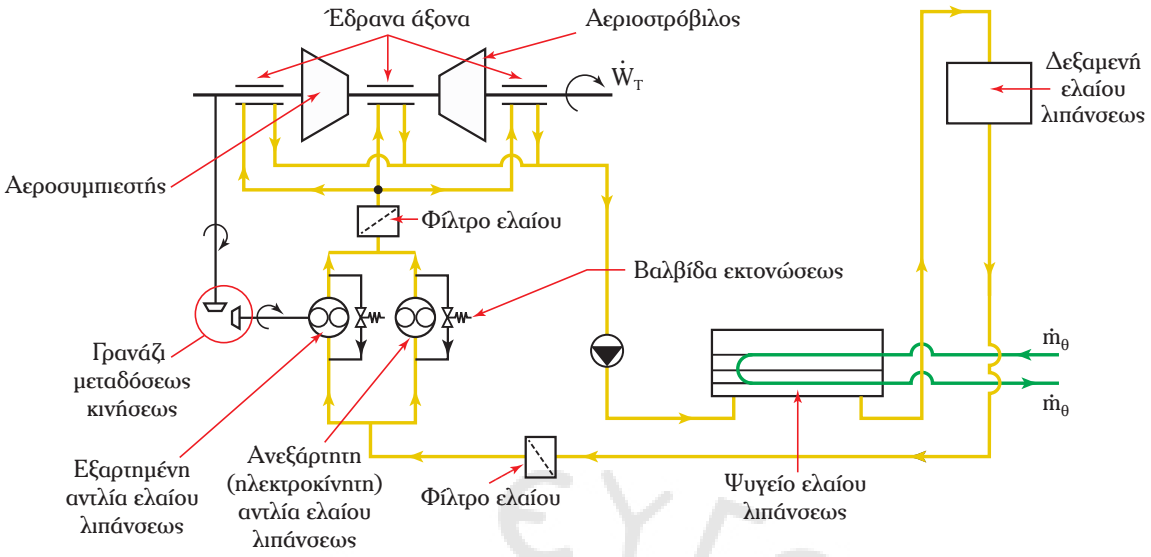
Οι αντλίες αυτές είναι γραναζωτού τύπου ή φυγοκεντρικές αντλίες που κινούνται μέσω συνδέσμου στον άξονα του αεριοστρόβιλου (σχ. 8.2κδ). Η αναρρόφηση των αντλιών αυτών γίνεται από τη δεξαμενή συνθετικού ελαίου[5] που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τη λίπανση του αεριοστρόβιλου. Η κατάθλιψή τους γίνεται στους τριβείς εδράσεως και στο σύστημα ελέγχου, που χρησιμοποιείται για να εξασφαλίζεται ότι καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του θα παρέχεται ικανοποιητική ποσότητα λιπαντικού.

Για την παροχή λιπαντικού στον αεριοστρόβιλο κατά την περίοδο εκκινήσεως και κρατήσεως, όπου εκτός από τη λίπανση το έλαιο χρησιμοποιείται και



Σχ. 8.2κγ
Τυπικό δίκτυο αεριοστρόβιλου με εξαρτημένη και ανεξάρτητη (ηλεκτροκίνητη) αντλία καυσίμου.

[5] Τα λιπαντικά είναι αποτέλεσμα αναμείξεως βασικών ελαίων και χημικών προσθέτων σε συγκεκριμένες αναλογίες που διασφαλίζουν τις απαιτήσεις των προδιαγραφών των μηχανημάτων που λιπαίνουν. Τα συνθετικά έλαια είναι αποτέλεσμα χημικής συνθέσεως με στόχο τη βελτιστοποίηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος.



Σχ. 8.2κδ

Τυπική διάταξη δικτύου λιπάνσεως αεριοστρόβιλου με εξαρτημένη και ανεξάρτητη αντλία λιπάνσεως.

ως μέσο μειώσεως της θερμοκρασίας των τριβέων, στο δίκτυο εγκαθίστανται δύο ηλεκτροκίνητες αντλίες. Οι αντλίες αυτές είναι γρανάζωτού τύπου, με πτερύγια ή φυγοκεντρικές και παρέχουν την δυνατότητα, εκτός από τις περιόδους εκκινήσεως και κρατήσεως, να αντικαταστήσουν τις κινούμενες από τον αεριοστρόβιλο (εξαρτημένες) αντλίες λιπάνσεως εάν για κάποιο λόγο (βλάβη ή επισκευή) βρίσκονται εκτός λειτουργίας.

Οι διατάξεις ασφαλείας που συνδέονται στις αντλίες λιπάνσεως είναι:

1) Η εκτονωτική βαλβίδα που συνδέεται στο δίκτυο για την επιστροφή του ελαίου στη δεξαμενή συλλογής του εάν η πίεσή του υπερβαίνει την επιθυμητή και

2) η διάταξη ελέγχου που διακόπτει αυτόματα την αντλία παροχής του καυσίμου σε περίπτωση πτώσεως της πιέσεως παροχής λιπαντικού ελαίου στον αεριοστρόβιλο. Η πτώση πιέσεως του λιπαντικού μπορεί να οφείλεται σε βλάβη της αντλίας ή σε ακαθαρσίες στα φίλτρα του ελαίου που θα οδηγήσουν σε μείωση της πιέσεως κάτω από το όριο που έχει τεθεί στον αυτοματισμό ελέγχου λιπάνσεως.

Μετά τη λίπανση του αεριοστροβίλου, το λιπαντικό συλλέγεται σε δεξαμενή στο κάτω μέρος του και απομακρύνεται με αντλία που χρησιμοποιείται αποκλειστικά γι' αυτό το σκοπό. Η αντλία αυτή μπορεί να είναι φυγοκεντρική ή περιστροφική που κινείται με ηλεκτροκινητήρα. Η κατάθλιψη της αντλίας πραγματοποιείται στη δεξαμενή αναρροφήσεως των αντλιών λιπάνσεως. Για τη λίπανση των μειωτήρων της μεταδόσεως κινήσεως του αεριοστρόβιλου και των τριβέων εδράσεώς τους χρησιμοποιούνται ανεξάρτητες αντλίες πολλαπλού κοχλία κινούμενες από δικό τους ηλεκτροκινητήρα.

8.3 Αντλίες δικτύων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία μπορεί να πραγματοποιείται με τη χρήση ατμοστρόβιλου για την κίνηση της ηλεκτρογεννήτριας ή με ΜΕΚ. Ο αριθμός των εγκατεστημένων ηλεκτρογεννητριών είτε είναι με ατμοστρόβιλο είτε με ΜΕΚ εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του πλοίου, την προωστήρια εγκατάσταση, τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών καταναλώσεων του πλοίου και την διαθέσιμη πηγή ενέργειας που παρέχεται στον κινητήρα του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Γι' αυτό τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, τις ηλεκτρογεννήτριες που κινούνται με ατμοστρόβιλο και τις ηλεκτρογεννήτριες που κινούνται με ΜΕΚ. Ανάλογα με τον κινητήρα χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχες αντλίες, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

8.3.1 Αντλίες στροβιλογεννητριών (turbo-generators pumps).

Στα συστήματα των στροβιλογεννητριών χρησιμοποιούνται οι παρακάτω αντλίες:

1) Βοηθητικές αντλίες συμπυκνώματος (auxiliary condensate pumps) (σχ. 8.3α).

Ο υγρός ατμός κατά την έξοδό του από τον ατμοστρόβιλο της ηλεκτρογεννήτριας, συμπυκνώνεται σε έναν μικρό συμπυκνωτή που συνήθως βρίσκεται εγκατεστημένος σε ένα ενιαίο πλαίσιο μαζί με τον ατμοστρόβιλο και τη γεννήτρια. Η απομάκρυνση του συμπυκνώματος από τον συμπυκνωτή πραγματοποιείται με τις βοηθητικές αντλίες συμπυκνώματος οι οποίες είναι κάθετης διατάξεως, φυγοκεντρικές δύο βαθμίδων πιέσεως και κινούνται με ηλεκτροκινητήρα.

Η λειτουργία τους και τα χαρακτηριστικά τους είναι όμοια με τις αντλίες απομακρύνσεως του συμπυκνώματος από τον κύριο συμπυκνωτή στα πλοία με πρόωση από ατμοστρόβιλο, με τη διαφορά ότι οι βοηθητικές αντλίες συμπυκνώματος έχουν μικρότερο μέγεθος και παροχή.

Η κατάθλιψη των αντλιών αυτών πραγματοποιείται στη δεξαμενή εξαερώσεως του τροφοδοτικού νερού (DFT). Στα πλοία που διαθέτουν κύριες αντλίες συμπυκνώματος για τον κύριο συμπυκνωτή, παρέχεται η δυνατότητα, με κατάλληλη παράκαμψη του δικτύου (by pass), η απομάκρυνση του συμπυκνώματος που συλλέγεται από τον ατμοστρόβιλο της ηλεκτρογεννήτριας να πραγματοποιείται από αυτές. Αυτή είναι μία εναλλακτική λύση στην περίπτωση που δεν λειτουργούν οι βοηθητικές αντλίες συμπυκνώματος. Γι' αυτό σε κάθε γεννήτρια με ατμοστρόβιλο είναι εγκατεστημένη μία βοηθητική αντλία συμπυκνώματος.

2) Βοηθητικές αντλίες κυκλοφορίας θαλάσσης (auxiliary sea water circulation pumps).

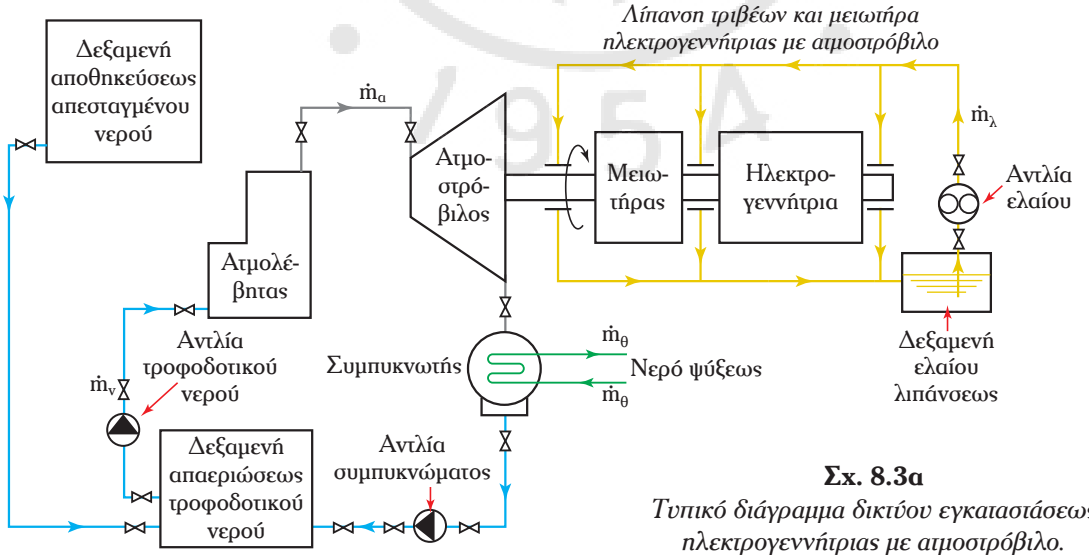
Πρόκειται για φυγοκεντρικές αντλίες μίας βαθμίδας πιέσεως για την κυκλοφορία του θαλασσινού νερού ψύξεως προς τον βοηθητικό συμπυκνωτή. Η ίδια αντλία ενδέχεται να χρησιμοποιείται για την παροχή θαλάσσης στο ψυγείο ελαίου λιπάνσεως της γεννήτριας με ατμοστρόβιλο, καθώς και στα ψυγεία του καυσιγόνου αέρα[6] που υπάρχουν εγκατεστημένα στο ίδιο δίκτυο.

Η παροχή της βοηθητικής αντλίας δύναται εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί για την παροχή θαλάσσης στο κύριο ψυγείο συμπυκνώσεως σε περίπτωση βλάβης των αντλιών παροχής θαλάσσης σε αυτά.

3) Αντλίες ελαίου λιπάνσεως ατμοστροβιλογεννητριών (steamturbine lube oil pumps) (σχ. 8.3α).

Οι αντλίες αυτές είναι γραναζωτού τύπου με εσωτερικό ή εξωτερικό γρανάζι ή με κοχλίες, οι οποίες κινούνται συνήθως μέσω κατάλληλης διατάξεως από τον άξονα του ατμοστρόβιλου (εξαρτημένη αντλία).

Η αναρρόφηση της αντλίας πραγματοποιείται από τη δεξαμενή του ελαίου για τη λίπανση των τριβέων του ατμοστρόβιλου και βρίσκεται εγκατεστημένη κάτω από αυτόν. Έλαιο λιπάνσεως εκτός των τριβέων εδράσεως καταθλίβεται στους μειωτήρες και την ρυθμιστική διάταξη ελέγχου (steamturbine governor) του ατμοστρόβιλου, η οποία σε περίπτωση



Σχ. 8.3α
Τυπικό διάγραμμα δικτύου εγκαταστάσεως ηλεκτρογεννήτριας με ατμοστρόβιλο.

[6] ***Καυσιγόνος αέρας*** ονομάζεται ο αέρας που χρησιμοποιείται για την καύση των καυσίμων στις θερμικές μηχανές.

διακοπής ή ελλιπούς λιπάνσεως από την αντλία, θα διακόψει την λειτουργία του ατμοστρόβιλου.

Στο σύστημα λιπάνσεως του ατμοστρόβιλου ενδέχεται να υπάρχει εγκατεστημένη και μία χειροκίνητη εμβολοφόρος αντλία για την λίπανσή του πριν την εκκίνηση ή μετά τη διακοπή της λειτουργίας του, ώστε τα περιστρεφόμενα μέρη του ατμοστρόβιλου να λιπαίνονται ικανοποιητικά έως την τελική τους ακινητοποίηση.

8.3.2 Αντλίες πλεκτροπαραγωγών ζευγών με ΜΕΚ (πλεκτρομπχανές).

Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται οι παρακάτω αναφερόμενες αντλίες:

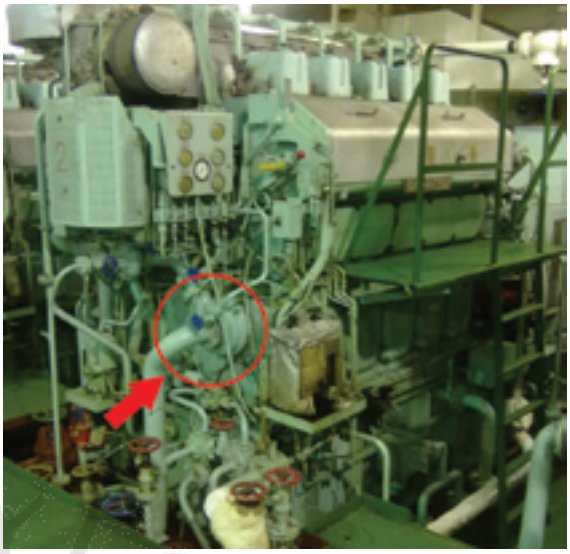
1) Αντλίες κυκλοφορίας γλυκού νερού ψύξεως των χιτωνίων των κυλίνδρων (diesel generator jacket cooling pump).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του γλυκού νερού ψύξεως στις ΜΕΚ κινήσεως των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (Η/Ζ). Συνήθως είναι εξαρτημένες στη μηχανή φυγοκεντρικές αντλίες μίας βαθμίδας πιέσεως και στροφείου μονόπλευρης αναρροφήσεως (σχ. 8.3β και 8.3γ).

Η παροχή γλυκού νερού από τις αντλίες αυτές ψύχει τα χιτώνια των κυλίνδρων της μηχανής, τα καπάκια, τους αεροσυμπιεστές υπερπληρώσεως των μηχανών και το ψυγείο ελαίου λιπάνσεως, εάν αυτό δεν ψύχεται από θάλασσα. Το νερό για την ψύξη των ψυγείων αέρα της μηχανής ψύχεται από βοηθητική αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού ή από παράκαμψη του κύριου δικτύου κυκλοφορίας θαλασσινού νερού από την αντίστοιχη αντλία. Εάν χρησιμοποιείται δίκτυο κεντρικής ψύξεως του γλυκού νερού με θάλασσα, η μείωση της θερμοκρασίας του γλυκού νερού ψύξεως της μηχανής του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους επιτυγχάνεται από αυτό το δίκτυο.

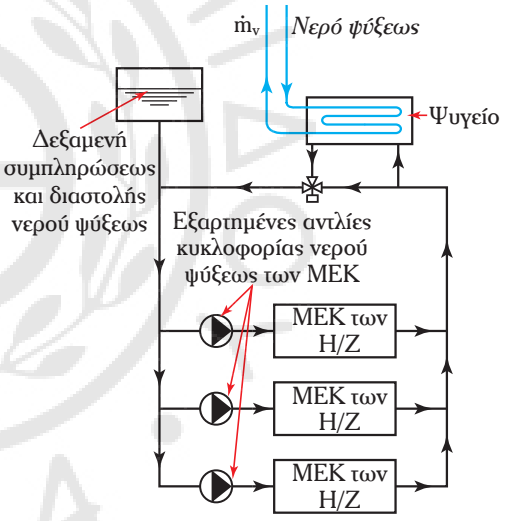
2) Αντλίες παροχής καυσίμου στις ΜΕΚ (πλεκτρομπχανές) των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (Diesel generator fuel oil pumps).

Η αντλία αυτή ενδέχεται να είναι εξαρτημένη από τη μηχανή ή ανεξάρτητη που κινείται από ηλεκτροκινητήρα. Ο τύπος που συνήθως χρησιμοποιείται είναι με γρανάζια όπου η κίνηση δίδεται στο ένα από τα δύο γρανάζια και η κίνηση μεταδίδεται είτε με την εμπλοκή των γραναζιών, είτε μέσω εξωτερικών γραναζιών. Η στεγανοποίηση του άξονα περιστροφής του στροφείου επιτυγχάνεται με τσιμούχα (oil seal



Σχ. 8.3β

Εξαρτημένη αντλία κυκλοφορίας γλυκού νερού ψύξεως των χιτωνίων των κυλίνδρων ηλεκτρομηχανής.



Σχ. 8.3γ

Τυπικό δίκτυο γλυκού νερού ψύξεως ΜΕΚ ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (Η/Ζ).

ring), ενώ η λίπανση των εξωτερικών γραναζιών για τη μετάδοση της κινήσεως πραγματοποιείται με λιπαντικό που συμπληρώνεται από τον χρήστη στο θάλαμο όπου περιστρέφονται τα γρανάζια μεταδόσεως της κινήσεως. Οι αντλίες παροχής καυσίμου στις ηλεκτρομηχανές διαχειρίζονται και τους δύο τύπους καυσίμων, βαρέος και ελαφρού τύπου απόσταγμα (ντίζελ), που εξαρτώνται από τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά. Η αναρρόφηση της αντλίας πραγματοποιείται από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως του αντίστοιχου καυσίμου που χρησιμο-

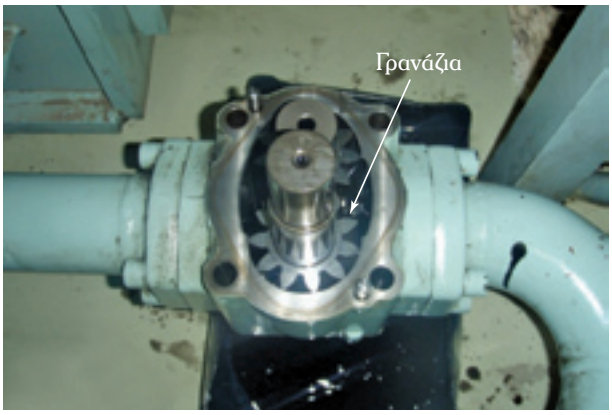
ποιείται και η κατάθλιψη στις αντλίες των εγχυτήρων ψεκασμού της μηχανής.

Όταν το καύσιμο είναι βαρέος τύπου, είναι απαραίτητη η επανακυκλοφορία του, η οποία επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλου δικτύου. Με την επανακυκλοφορία το καύσιμο διατηρείται σε υψηλή θερμοκρασία, διευκολύνοντας τη ροή του μέσα στο δίκτυο καθώς και τον ψεκασμό του από τους εγχυτήρες (μπεκ).

Το δίκτυο ανακυκλοφορίας ενδέχεται να χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που η πίεση καταθλίψεως υπερβεί την επιθυμητή τιμή στην οποία είναι ρυθμισμένη η βαλβίδα εκτονώσεως της πιέσεως.

3) Αντλίες ελαίου λιπάνσεως στις ΜΕΚ (ηλεκτρομηχανές) των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (diesel generator lube oil pumps).

Η αντλία για τη λίπανση είναι εξαρτημένη στη μηχανή και τα στροφεία αποτελούνται από γρανάζια ή από λοβούς (σχ. 8.3δ). Η αναρρόφηση του ελαίου πραγματοποιείται από την ελαιολεκάνη της μηχανής και η κατάθλιψή του γίνεται στους τριβείς των διωστήρων των εμβόλων και των τριβέων εδράσεως του στροφαλοφόρου άξονα, απ' όπου ρέει και συλλέγεται ξανά στην ελαιολεκάνη. Το λιπαντικό που διακινείται από την αντλία διέρχεται από ψυγείο, για τη μείωση της θερμοκρασίας του, το οποίο ψύχεται με θαλασσινό ή γλυκό νερό από το κύριο δίκτυο ψύξεως του μηχανοστασίου (σχ. 8.3ε). Επίσης η πίεση και η θερμοκρασία του λιπαντικού ελέγχονται από αυτόματη διάταξη μετρήσεως. Η διάταξη αυτή αποτελείται από ειδικούς αισθητήρες οι οποίοι αναγνω-

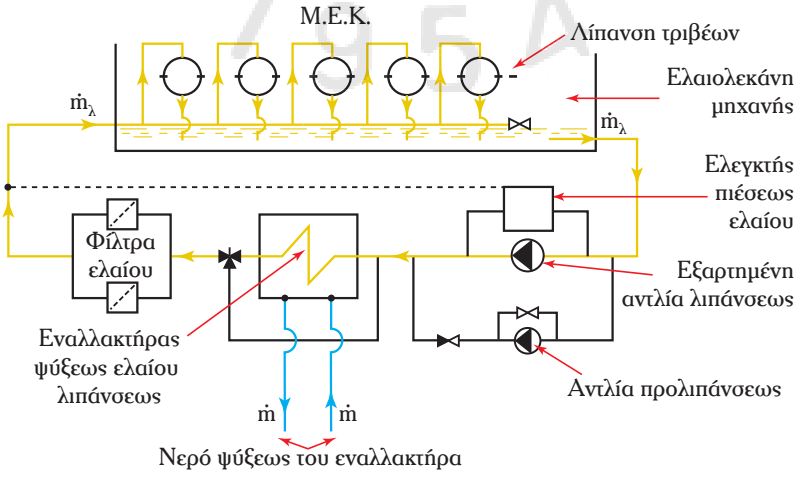


(α)

(β)

Σχ. 8.3δ

(α) Εξαρτημένη αντλία ελαίου λιπάνσεως ηλεκτρομηχανής με γρανάζια. (β) Το καπάκι της αντλίας.



Σχ. 8.3ε

Δίκτυο λιπάνσεως για τις ΜΕΚ των Η/Ζ.

ρίζουν τις τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσεως και όταν είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από αυτές στις οποίες έχει (η διάταξη) ρυθμισθεί (σετάρισμα), διακόπτεται η λειτουργία της μηχανής.

8.4 Αντλίες βοηθητικών δικτύων (βοηθητικές αντλίες).

Οι αντλίες βοηθητικών δικτύων (auxiliary pumps) εξυπηρετούν τη ροή διαφόρων υγρών από τα βοηθητικά δίκτυα, γι' αυτό και τυπικά βρίσκονται σε όλα τα πλοία. Ο αριθμός ή το μέγεθός τους ενδέχεται να διαφέρει και αυτό εξαρτάται από την ποσότητα του υγρού που διαχειρίζονται και το μέγεθος του δικτύου όπου είναι εγκατεστημένες. Οι περισσότερες από αυτές τις αντλίες, όπως έχει σημειωθεί, είναι δύο σε κάθε δίκτυο ενισχύοντας την ασφάλεια του πλοίου. Στη συνέχεια περιγράφονται οι αντλίες βοηθητικών δικτύων.

8.4.1 Αντλίες μεταγγίσεως καυσίμων.

Η αντλία μεταγγίσεως καυσίμων (fuel oil transfer pumps) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του καυσίμου από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως στις δεξαμενές καθιζήσεως ή, εάν απαιτείται, από μία δεξαμενή αποθηκεύσεως σε μία άλλη (σχ. 8.2ιστ). Γενικά παρέχεται η ευχέρεια είτε να γίνει μετάγγιση του καυσίμου από οποιαδήποτε δεξαμενή επιλεγεί στην άλλη (π.χ. για τη συγκέντρωση των υπολειπομένων καυσίμων σε μία δεξαμενή ώστε να αποφευχθεί η ανάμειξη των καυσίμων που υπάρχουν στο πλοίο με μία νέα παραλαβή), είτε να γίνει μεταφορά του καυσίμου σε εγκαταστάσεις ξηράς ή σε κάποιο άλλο πλοίο μέσω των συνδέσεων του καταστρώματος (π.χ. για την αποστράγγιση των δεξαμενών σε έναν δεξαμενισμό).

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται είναι οριζόντιας (σχ. 8.4α) ή κάθετης διατάξεως (σχ. 8.4β), περιστροφικές με κοχλιοειδή στροφεία ή φυγοκεντρικές μονοβάθμιες με ηλεκτροκινητήρα. Σε κάποιες περιπτώσεις, όταν υπάρχει διαθέσιμος ατμός, ενδέχεται να χρησιμοποιούνται εμβολοφόρες παλινδρομικές αντλίες.

Οι αντλίες αυτές, όποιος και αν είναι ο τύπος τους, εγκαθίστανται στο χαμηλότερο σημείο του πλοίου ώστε να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες συνθήκες αναρροφήσεως. Στις αντλίες με ηλεκτροκινητήρα, αυτός μπορεί να είναι σταθερού αριθμού στροφών (μίας ταχύτητας) ή δύο ταχυτήτων. Στην περίπτωση αντλιών με κινητήρα σταθερού αριθμού στροφών η ρύθμιση της παροχής επιτυγχάνεται:

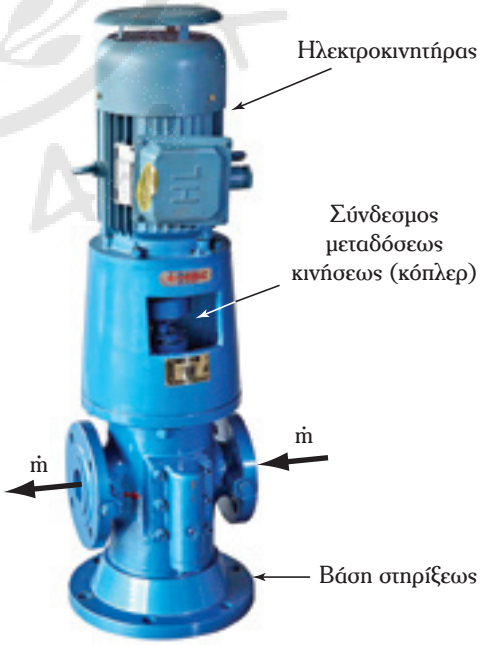
1) Με τον περιορισμό της παροχής στο επιστόμιο καταθλίψεως,

2) με την συγκοινωνία περισσότερων δεξαμενών στο δίκτυο καταθλίψεως της αντλίας. Με τον τρόπο αυτό επιμερίζεται η παροχή καυσίμων και ρυθμίζεται μέσω επιστομίων και

3) μέσω δικτύου παρακάμψεως (bypass) με ανάλογο επιστόμιο, το οποίο επιτρέπει ένα μέρος της παροχής του ρευστού να διέλθει από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση της αντλίας δημιουργώντας επανακυκλοφορία του καυσίμου.

Σχ. 8.4α

Αντλία μεταγγίσεως καυσίμων οριζόντιας διατάξεως.



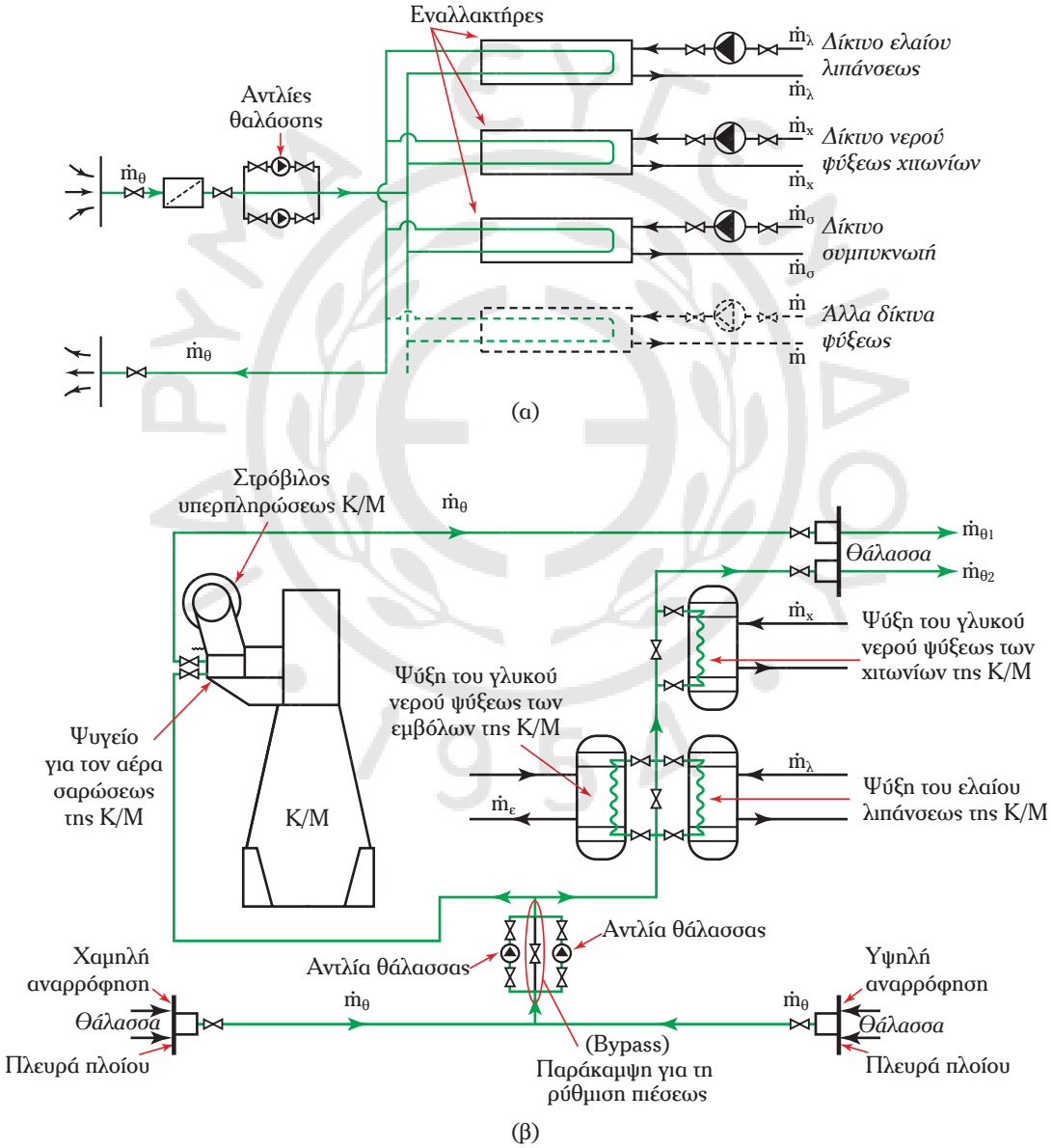
Σχ. 8.4β

Αντλία μεταγγίσεως καυσίμων, με κοχλιοειδή στροφεία.

Στα πλοία με ΜΕΚ, για τα καύσιμα των οποίων γίνεται φυγοκεντρικός καθαρισμός, στο δίκτυο μεταγγίσεως συνδέονται και οι φυγοκεντρικοί καθαριστές. Η παροχή σ' αυτούς επιτυγχάνεται είτε με εξαρτημένη αντλία με γρανάζια (ή οδοντωτή), είτε από ανεξάρτητη που κινείται από ηλεκτροκινητήρα. Για την κατάθλιψη του καθαρού καυσίμου από τους φυγοκεντρικούς καθαριστές στις δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως εάν δεν επαρκεί η πίεση καταθλίψεως του φυγοκεντρικού καθαριστή ενδέχεται να χρησιμοποιείται ενισχυτική αντλία γραναζωτού τύπου σε σειρά με την κατάθλιψη του φυγοκεντρικού καθαριστή. Έτσι διευκολύνεται η μεταφορά του καυσίμου στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως.

8.4.2 Αντλίες παροχής θαλάσσης.

Οι αντλίες παροχής θαλάσσης (sea water service pumps) ή κυκλοφορίας θαλασσινού νερού ψύξεως χρησιμοποιούνται για την παροχή του θαλασσινού νερού ψύξεως στο δίκτυο των εναλλακτήρων θερμότητας που είναι εγκατεστημένοι στο μηχανοστάσιο (σχ. 8.4γ). Οι εναλλακτήρες αυτοί είναι των χιτω-



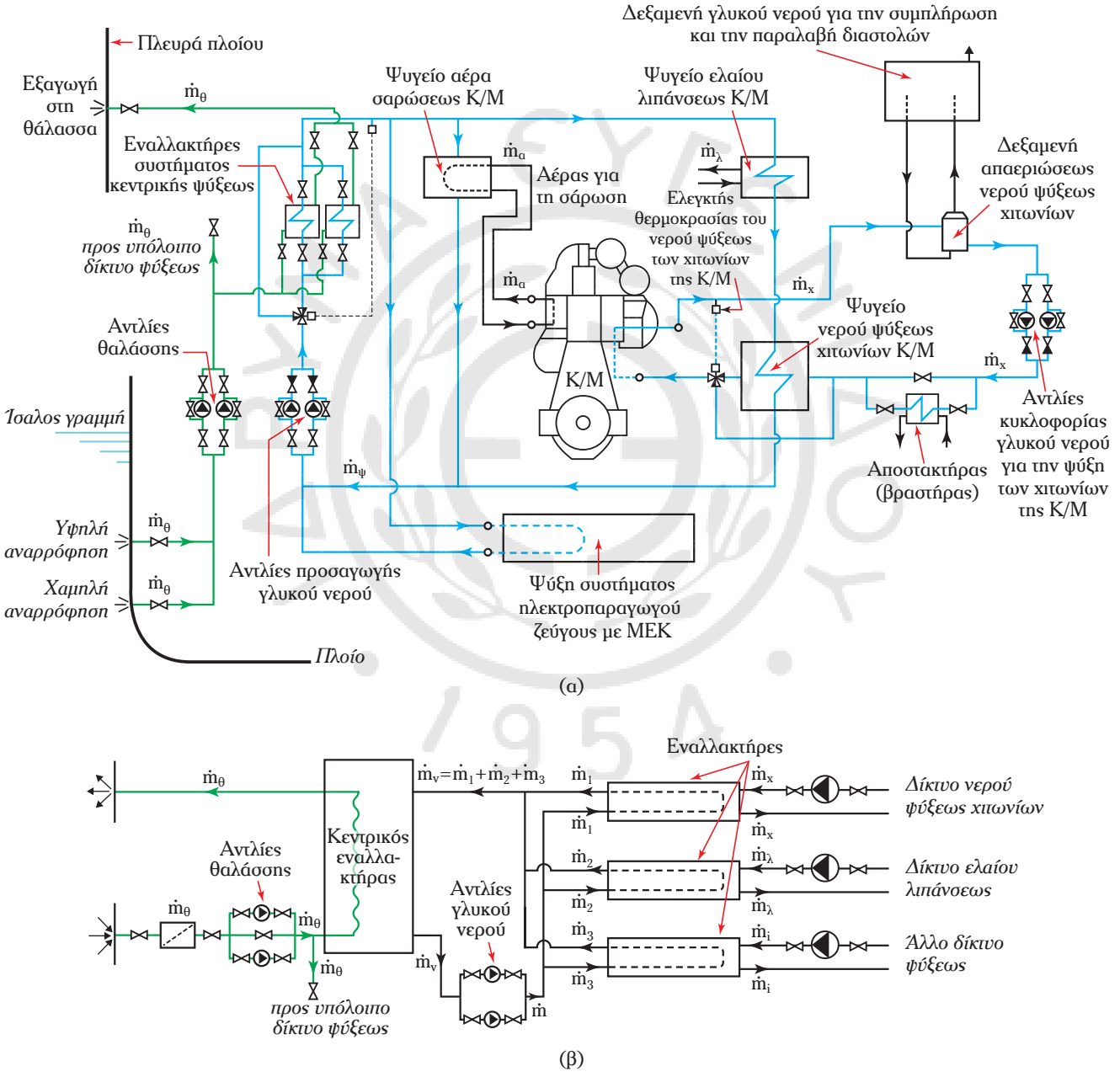
Σχ. 8.4γ

(α) Τυπική διάταξη σε δίκτυο με θαλασσινό νερό. (β) Τυπικό δίκτυο με αντλίες παροχής θαλασσινού νερού στο δίκτυο του πλοίου.

νίων των κυλίνδρων της Κ/Μ, του ελαίου της Κ/Μ, οι συμπυκνωτές ατμού όταν υπάρχει δίκτυο ατμού και άλλοι μικρότεροι εναλλακτήρες στους οποίους μπορεί να συμπεριλαμβάνονται ο συμπυκνωτής του ψυκτικού μέσου της κλιματιστικής εγκαταστάσεως και το ψυγείο του αέρα των αεροσυμπιεστών.

Σε δίκτυα πλοίων νεοτέρων ναυπηγήσεων ενδέχεται οι αντλίες θαλάσσης να παρέχουν τη θάλασσα μόνο σε κεντρικό εναλλακτήρα θερμότητας (central cooler), όπου ψύχεται γλυκό νερό (σχ. 8.4δ) για το δίκτυο ψύξεως της Κ/Μ των Η/Ζ των αεροσυμπιεστών. Ένα μέρος της θάλασσας που παρέχεται από την αντλία ενδέχεται να χρησιμοποιείται στο υπόλοιπο δίκτυο ψύξεως του πλοίου στο οποίο περιλαμβάνονται τα ψυγεία των κλιματιστικών, συμπυκνωτές ατμού κ.ά..

Είτε στη μία περίπτωση όμως είτε στην άλλη, η αναρρόφηση νερού της αντλίας γίνεται από τις



Σχ. 8.4δ

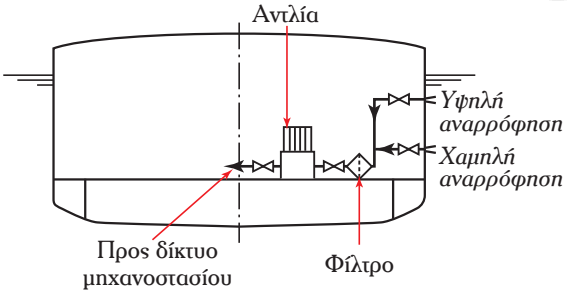
(α) Τυπικό δίκτυο με ανιλίες θαλάσσης και ανιλίες κυκλοφορίας γλυκού νερού με το σύστημα κεντρικής ψύξεως του δικτύου των ψυγείων του πλοίου. (β) Τυπική διάταξη σε δίκτυο με θάλασσα, κεντρικό εναλλακτήρα και γλυκό νερό.

αναρροφήσεις θαλάσσης, την υψηλή (high chest) και τη χαμηλή (low chest) που είναι εγκατεστημένες στην πλευρά του πλοίου. Στα δίκτυα πλοίων με κεντρικό εναλλακτήρα θερμότητας για την ψύξη των επιστροφών του ατμού από τις αντλίες στα Δ/Ξ με στροβιλαντλίες υπάρχει διακλάδωση στο δίκτυο της θάλασσας που στέλνει τη θάλασσα απευθείας σε αυτό παράλληλα με τη παροχή στους κεντρικούς εναλλακτήρες θερμότητας. Το θαλασσινό νερό μετά τη διέλευσή του από τα διάφορα ψυγεία επιστρέφει στη θάλασσα.

Ο τύπος των αντλιών θαλάσσης που χρησιμοποιούνται είναι οι φυγοκεντρικές, κάθετης συνήθως διατάξεως (σχ. 8.4ε), μίας βαθμίδας πιέσεως των οποίων το στροφείο είναι απλής (σχ. 8.4στ) ή διπλής (σχ. 8.4ζ) αναρροφήσεως επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη παροχή. Για τη στεγανοποίηση των αντλιών χρησιμοποιούνται στυπεία με στυπειοθλίπτη ή μηχανικοί στυπειοθλίπτες, ενώ για την προστασία των αντλιών από την είσοδο σωμάτων που θα προκαλούσαν βλάβη στο στροφείο υπάρχουν φίλτρα εγκατεστημένα στην αναρρόφηση. Για την προστασία του μηχανικού στυπειοθλίπτη από την άμμο που ενδέχεται να παρασύρεται με το θαλασσινό νερό, ένας μικρός σωλήνας από την κατάθλιψη της αντλίας παρέχει καθαρό νερό στον στυπειοθλίπτη, διατηρώντας τη μακρά και ομαλή λειτουργία του.

Η εγκατάσταση των αντλιών πραγματοποιείται στο χαμηλότερο σημείο του μηχανοστασίου, ώστε να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες συνθήκες αναρροφήσεως. Επίσης για τον ίδιο λόγο η αναρρόφηση της αντλίας όταν το πλοίο βρίσκεται σε έμφορτη κατάσταση, γίνεται από την υψηλή αναρρόφηση, ενώ όταν το

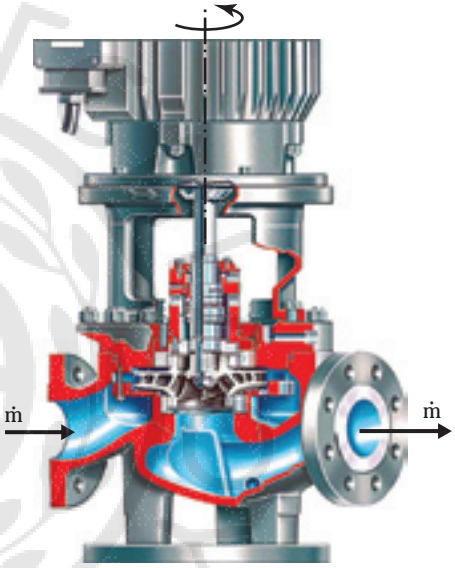
(α)



(β)

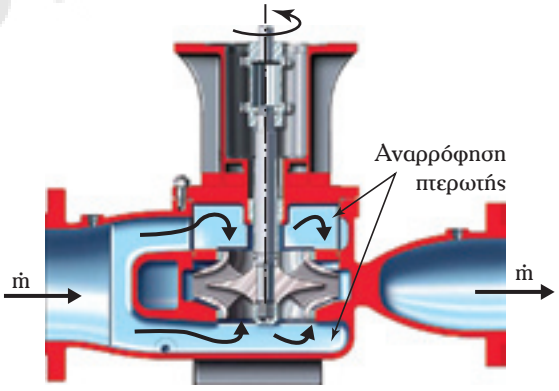
Σχ. 8.4ε

(α) Αντλία κυκλοφορίας θαλάσσης κάθετης διατάξεως, (β) διάταξη αναρροφήσεως θαλάσσης στην πλευρά του πλοίου.



Σχ. 8.4στ

Τομή αντλίας κάθετης διατάξεως με στροφείο απλής αναρροφήσεως.

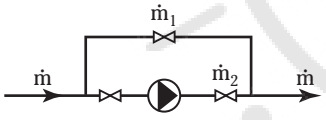


Σχ. 8.4ζ

Τομή αντλίας κάθετης διατάξεως με στροφείο διπλής αναρροφήσεως.

πλοίο είναι κενό φορτίου από τη χαμηλή αναρρόφηση. Η διαφοροποίηση για την αλλαγή της αναρροφήσεως γίνεται αντιληπτή από την πίεση καταθλίψεως της αντλίας μέσω των οργάνων ελέγχου της πιέσεως (κοινώς γράδα), η οποία κατά το μεταβατικό στάδιο της εκφορτώσεως ή της φορτώσεως μειώνεται ή αυξάνεται αντίστοιχα. Η επιλογή της χαμηλής αναρροφήσεως επίσης εξασφαλίζει ότι δεν θα παρασύρεται αέρας με το θαλασσινό νερό όταν το πλοίο ταξιδεύει σε θαλασσοταραχή και παίρνει μεγάλες κλίσεις. Αντίστοιχα με την επιλογή της υψηλής αναρροφήσεως αποτρέπεται η εισαγωγή λάσπης από το βυθό που ενδέχεται να παρασύρεται από το θαλασσινό νερό, όταν το πλοίο ταξιδεύει σε περιοχές με μικρό βάθος που θα προκαλούσαν την επικάθιση ακαθαρσιών στους εναλλακτήρες θερμότητας και το φράξιμο των σωληνώσεων και των φίλτρων του δικτύου.

Η ρύθμιση της πίεσεως καταθλίψεως του δικτύου του πλοίου στο επιθυμητό επίπεδο, εκτός από την επιλογή της αναρροφήσεως, επιτυγχάνεται και από το επιστόμιο που βρίσκεται στο δίκτυο παρακάμψεως (by pass) και συγκοινωνεί την αναρρόφηση με την κατάθλιψη (σχ. 8.4η). Με το άνοιγμα ή το κλείσιμο του επιστομίου επιτυγχάνεται η αύξηση ή η μείωση της παροχής του νερού που επανακυκλοφορεί, ώστε αντίστοιχα επιτυγχάνεται η μείωση ή η αύξηση της πιέσεως του θαλασσινού νερού στο δίκτυο (σχ. 8.4γ και 8.4δ).



Σχ. 8.4η
Δίκτυο αντλίας με παράκαμψη.

Όταν στο πλοίο η ψύξη των μηχανημάτων και των εναλλακτήρων πραγματοποιείται με γλυκό νερό, το οποίο στη συνέχεια ψύχεται από θάλασσα στους κεντρικούς εναλλακτήρες (central coolers), δημιουργούνται δύο ανεξάρτητα δίκτυα, ένα με θάλασσα και ένα με γλυκό νερό. Σε κάθε ένα απ' αυτά υπάρχουν εγκατεστημένες δύο φυγοκεντρικές αντλίες ***κυκλοφορίας της θάλασσας*** και δύο ***κυκλοφορίας γλυκού νερού*** κινούμενες από ηλεκτροκινητήρα.

Η ***αντλία κυκλοφορίας της θάλασσας*** είναι όμοια με αυτή που έχει ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο και ενδέχεται, εκτός του κεντρικού ψυγείου, να κυκλοφορεί το θαλασσινό νερό και για την ψύξη των επιστροφών του ατμού από τον λέβητα σε ψυγείο υπό ατμοσφαιρική πίεση. Οι επιστροφές προέρχονται από τους προθερμαντήρες ελαίου και πετρελαίου ή και από τις προθερμάνσεις των δεξαμενών καυσίμων.

Η ***αντλία κυκλοφορίας γλυκού νερού*** είναι κάθετης διατάξεως, φυγοκεντρική, μονοβάθμια με στροφείο αναρροφήσεως υδραυλικά ζυγοσταθμισμένο. Η ροή του γλυκού νερού από το δίκτυο ρυθμίζεται από τρίοδο επιστόμιο που είτε επανακυκλοφορεί το γλυκό νερό στο δίκτυο, είτε το στέλνει προς τον κεντρικό εναλλακτήρα θερμότητας και ψύχεται με το θαλασσινό νερό που τον διαρρέει. Η ποσότητα του γλυκού νερού που διέρχεται από τον εναλλακτήρα εξαρτάται από τη θέση της βαλβίδας ελέγχου ροής από το επιστόμιο.

Ο έλεγχος της βαλβίδας επιτυγχάνεται από αυτοματισμό με ενεργοποιητή, συνήθως πνευματικό πεπιεσμένου αέρα, που λαμβάνει την εντολή από έναν αισθητήρα θερμοκρασίας τοποθετημένο στο δίκτυο γλυκού νερού. Έτσι, όταν η θερμοκρασία του γλυκού νερού αυξάνεται, η βαλβίδα επιτρέπει σε μεγαλύτερη ποσότητα νερού να διέρχεται από τον εναλλακτήρα θερμότητας, ενώ όταν η θερμοκρασία μειώνεται αλλάζει θέση ώστε να είναι μεγαλύτερη η ποσότητα νερού που παρέχεται προς το δίκτυο των εναλλακτήρων μέσω της παρακάμψεως (by pass).

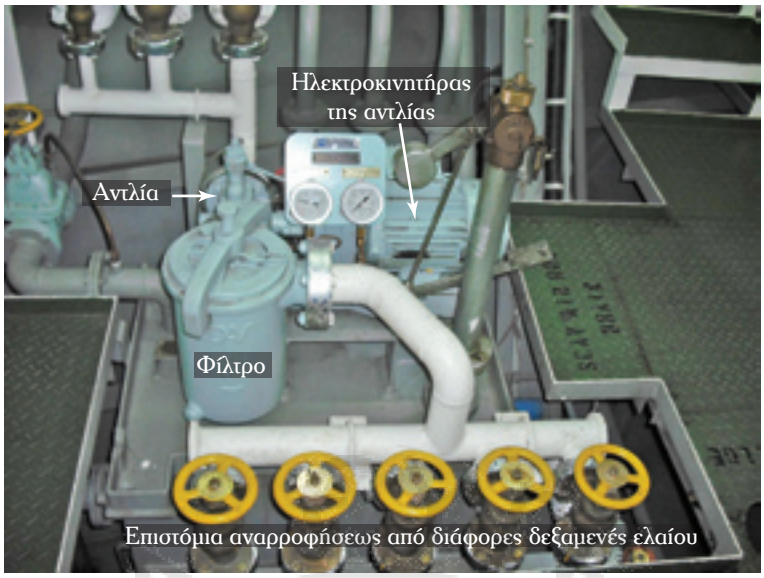
8.4.3 Αντλία μεταγγίσεως ελαίου λιπάνσεως (lubricating oil transfer pump) (σχ. 8.4θ).

Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των λιπαντικών από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως στις δεξαμενές σε διάφορα σημεία του πλοίου, όπου πραγματοποιείται η αναρρόφηση από τις αντλίες λιπάνσεως των μηχανημάτων (σχ. 8.4ι).

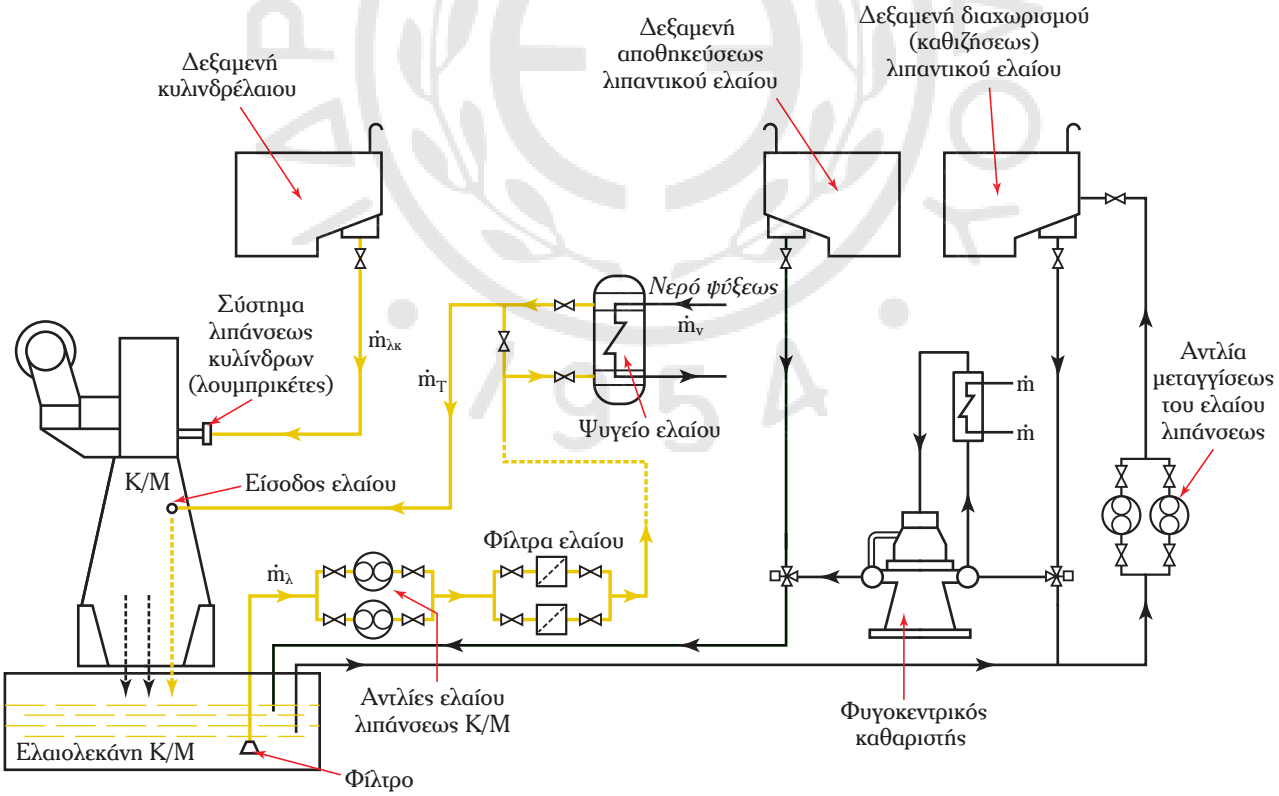
Πρόκειται για περιστροφικές αντλίες με γρανάζια (ή οδοντωτές), που κινούνται από ηλεκτροκινητήρα. Συνήθως στα πλοία υπάρχει εγκατεστημένη μία αντλία μεταγγίσεως ελαίου, ενδέχεται όμως να διαθέτουν και περισσότερες.

Εναλλακτικά των αντλιών μεταγγίσεως λιπαντικού η μεταφορά προς ένα μηχάνημα ελαίου από τη δεξαμενή αποθηκεύσεως μπορεί να γίνει και από τους φυγοκεντρικούς καθαριστές ελαίου μέσω καταλλήλων παρακάμψεων στο δίκτυο λιπάνσεως.

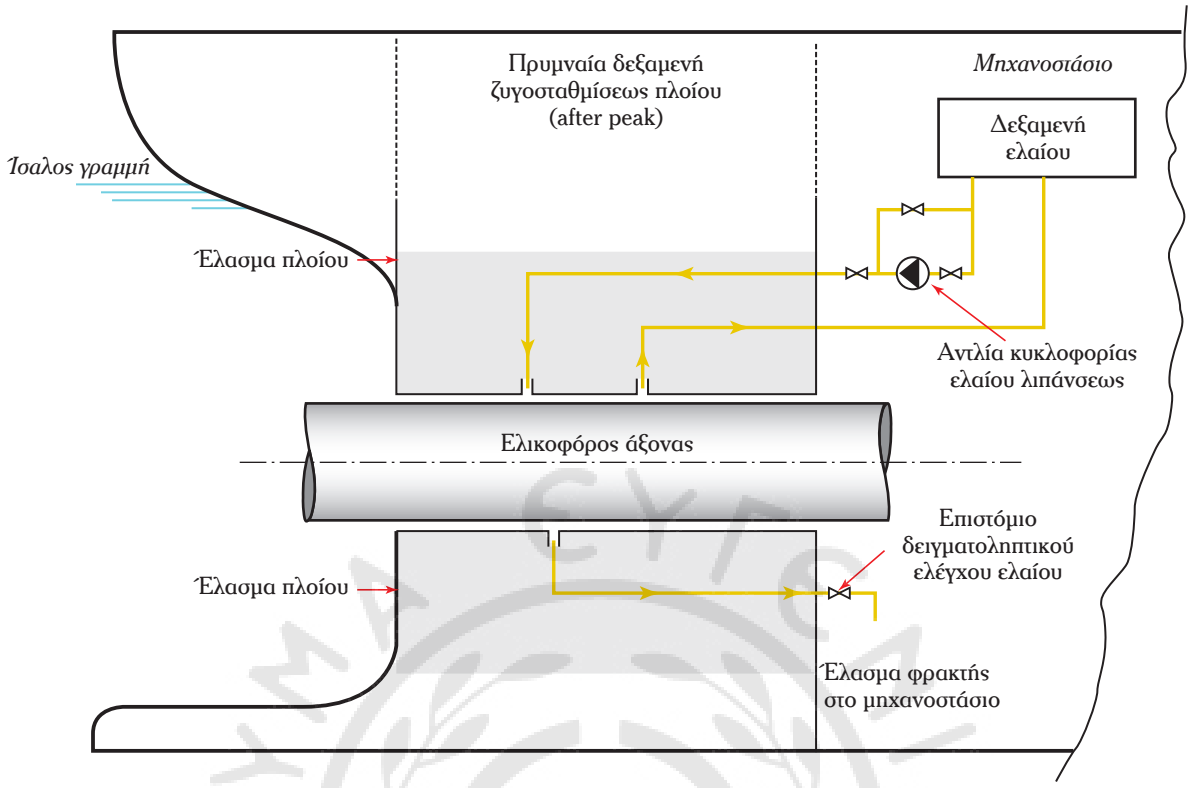
Σε αυτό τον τρόπο μεταφοράς υπάρχει και η βοήθεια από την αντλία που χρησιμοποιείται για την παροχή του ελαίου στον φυγοκεντρικό καθαριστή η οποία μπορεί να είναι εξαρτημένη ή ανεξάρτητη από αυτόν.



Σχ. 8.40
Αντλία μεταγγίσεως ελαίου λιπάνσεως.



Σχ. 8.41
Δίκτυο λιπάνσεως, φυγοκεντρικού καθαρισμού ελαίου και μεταγγίσεως στο μηχανοστάσιο του πλοίου.



Σχ. 8.4ια

Τυπικό δίκτυο λιπάνσεως χοάνης ιελικού άξονα του πλοίου.

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας στις ποιότητες λιπαντικών που χρησιμοποιούνται στα διάφορα μηχανήματα του πλοίου, είναι απαραίτητη η ιδιαίτερη προσοχή κατά τη μετάγγισή του, διότι υπάρχει κίνδυνος αναμείξεώς τους από λανθασμένους χειρισμούς κατά τη συγκοινωνία των δεξαμενών.

8.4.4 Αντλία λιπάνσεως χοάνης του τελικού ελικοφόρου άξονα (stern tube lubricating oil pump).

Πρόκειται για αντλίες κινούμενες από ηλεκτροκινητήρα με στροφείο κοχλιοειδούς τύπου, γραναζωτού ή τύπου πτερυγίων. Χρησιμοποιούνται σε πλοία όπου για τη στεγανοποίηση και τη λίπανση του ελικοφόρου άξονα η κυκλοφορία του ελαίου πραγματοποιείται από κατάλληλο δίκτυο. Η αναρρόφηση της αντλίας γίνεται από ιδιαίτερη δεξαμενή, τη δεξαμενή ελαίου λιπάνσεως της χοάνης του ελικοφόρου άξονα, ενώ η κατάθλιψη γίνεται στο δίκτυο της χοάνης (σχ. 8.4ια).

Η πίεση καταθλίψεως εξαρτάται από το ύψος του βυθίσματος του πλοίου, ενώ η «ισορροπία» του λιπαντικού ώστε να μην διαρρέει προς τη θάλασσα επιτυγχάνεται με δύο δεξαμενές ελαίου εγκατεστημένες σε διαφορετικό ύψος μέσα στο μηχανοστάσιο που συγκοινωνούν, ανάλογα με την κατάσταση φορτώσεως του πλοίου. Σημειώνεται ότι η διάταξη αυτή δεν συναντάται σε πλοία, όπου για την στεγανοποίηση του ελικοφόρου άξονα στο σημείο εξόδου χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό.

8.4.5 Αντλία κυκλοφορίας νερού λέβητα καυσαερίων (exhaust gas boiler water circulation pump).

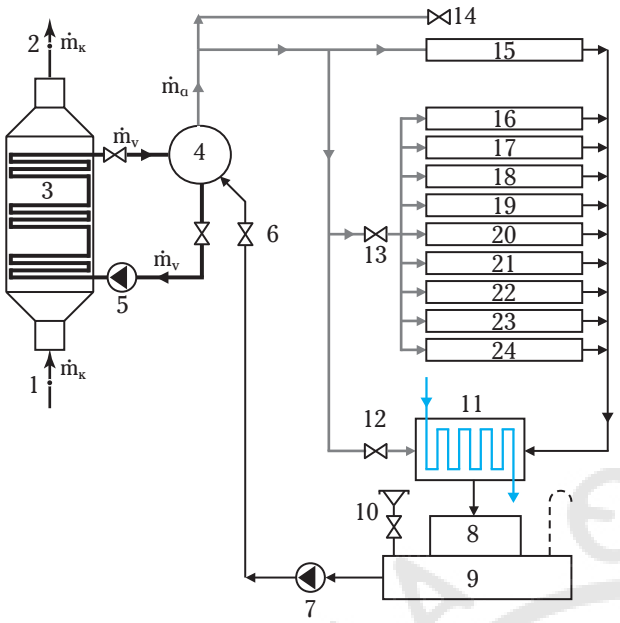
Στα πλοία με ΜΕΚ χρησιμοποιούνται λέβητες για την εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων και την παραγωγή ατμού για τις καταναλώσεις του πλοίου (βλ. σχ. 8.4ιβ), όπως:

1) για την προθέρμανση των δεξαμενών βαρέος καυσίμου,

2) για την προθέρμανση νερού και

3) για την εκκίνηση των ατμοστροβίλων που κινούν ηλεκτρογεννήτριες.

Στην κυκλοφορία του νερού για την ατμοποίηση στον λέβητα των καυσαερίων και στον ατμολέβητα καύσεως πετρελαίου, χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες (σχ. 8.4ιγ) με αναρρόφηση από τον



1. Καυσαέρια από μηχανή.
2. Έξοδος καυσαερίων.
3. Ατμολέβητας καυσαερίων.
4. Ατμολέβητας πετρελαίου.
5. Αντλία κυκλοφορίας λέβητα καυσαερίων.
6. Ρυθμιστική βαλβίδα τροφοδοτικού νερού.
7. Τροφοδοτική αντλία λέβητα.
8. Δεξαμενή επιθεωρήσεως.
9. Δεξαμενή αποστραγγίσεως.
10. Συμπλήρωση νερού.
11. Ψυγείο / συμπυκνωτής.
12. Βαλβίδα απορρίψεως περίσσειας ατμού.
13. Βαλβίδα μειώσεως πίεσεως.
14. Εκκαπνιστές.
15. Τελικοί θερμαντήρες καυσίμου.
16. Δεξαμενές καυσίμου.
17. Θέρμανση σωλήνων βαρέος πετρελαίου.
18. Θερμαντήρες διαχωριστήρων καυσίμου.
19. Δεξαμενές λαδιού λιπάνσεως.
20. Θερμαντήρες διαχωριστήρων λαδιού.
21. Θερμαντήρες νερού χιτωνίων κύριας μηχανής.
22. Θερμαντικό στοιχείο δεξαμενής αποστραγγίσεως.
23. Θερμαντήρας νερού.
24. Διάφορες χρήσεις.

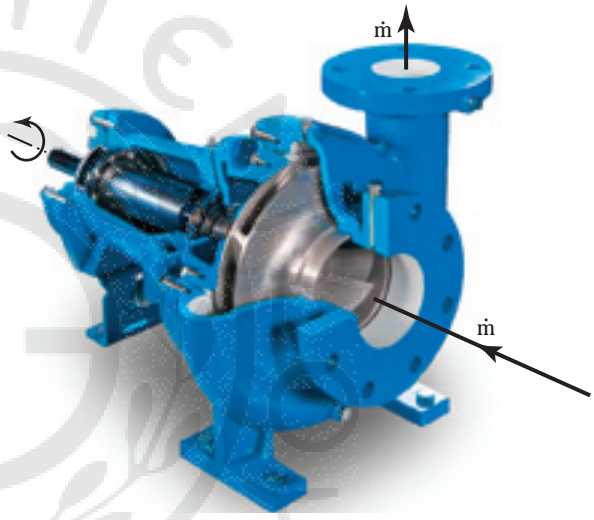
Σχ. 8.4ιβ

Απλοποιημένο σύστημα ανακτήσεως θερμότητας από λέβητα καυσαερίων.

ατμολέβητα καύσεως πετρελαίου και κατάθλιψη στο λέβητα καυσαερίων. Οι αντλίες αποτελούνται από στροφείο απλής αναρροφήσεως (σχ. 8.4ιδ), το οποίο είναι συνήθως μίας βαθμίδας πιέσεως και κινούνται από ηλεκτροκινητήρα, ενώ η στεγανοποίηση των αντλιών επιτυγχάνεται με μηχανικό στυπειοθλίπτη.

Σχ. 8.4ιγ

Δύο αντλίες κυκλοφορίας νερού λέβητα καυσαερίων.



Σχ. 8.4ιδ

Αντλία κυκλοφορίας νερού λέβητα καυσαερίων.

8.4.6 Αντλίες υδραυλικού ελαίου υψηλής πιέσεως.

Στα πλοία υπάρχουν διάφορες ***αντλίες υδραυλικού ελαίου*** (hydraulic system pumps), οι οποίες ως σκοπό έχουν την αύξηση της πιέσεως του υδραυλικού ελαίου στο δίκτυο ή το σύστημα, ώστε να λειτουργήσουν τα εγκατεστημένα σε αυτό μηχανήματα (σχ. 8.4ιε). Τα μηχανήματα που λειτουργούν με την κυκλοφορία υψηλής πιέσεως υδραυλικού ελαίου είναι:

1) Ο ***μηχανισμός πηδαλιουχίας***.
2) Οι ***εργάτες της άγκυρας***.
3) Τα ***βίντζια*** για την πρόσδεση του πλοίου με την ξηρά.
4) Οι ***γερανοί των αμπαριών του φορτίου***.
5) Οι ***βοηθητικοί γερανοί*** για την ανύψωση ή

την μεταφορά βαρέων αντικειμένων (π.χ. ανταλλακτικά, αναλώσιμα κ.λπ.).

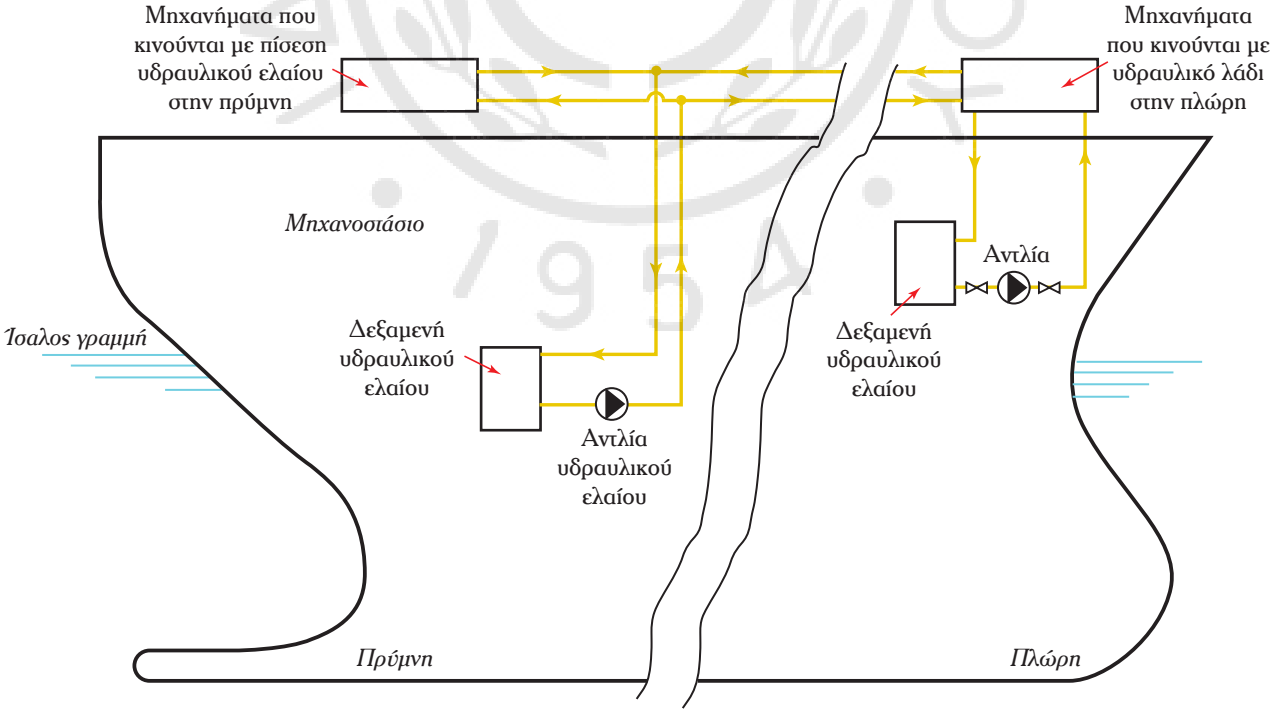
6) Τα ***υδραυλικά έμβολα*** για τα καλύμματα στομίων κυτών.

7) Οι ***ενεργοποιητές των επιστομίων*** που λειτουργούν με την πίεση υδραυλικού ελαίου, επιτυγχάνοντας τον απομακρυσμένο έλεγχο (εξ αποστάσεως) των επιστομίων που είναι εγκατεστημένα στα δίκτυα υγρού φορτίου, δίκτυα θάλασσας ή αλλού, άρα και τη ροή των υγρών από το ανάλογο δίκτυο.

8) Οι ***αντλίες υγρού φορτίου σε Δ/Ξ*** που κινούνται από την πίεση υδραυλικού ελαίου, η οποία αναπτύσσεται σε κεντρική μονάδα αυξήσεως της πιέσεως του υδραυλικού ελαίου (ή μονάδα υδραυλικής ισχύος).

Η ισχύς για την κίνηση των αντλιών υδραυλικού ελαίου δίνεται είτε από ηλεκτροκινητήρες, είτε από μικρού μεγέθους ΜΕΚ. Οι τύποι των αντλιών είναι θετικής εκτοπίσεως για την επίτευξη της υψηλής πιέσεως του ελαίου, η οποία απαιτείται για τη λειτουργία των μηχανημάτων. Ως αντλίες υδραυλικού ελαίου χρησιμοποιούνται πτερυγιοφόρες αντλίες, αντλίες με κοχλίες και εμβολοφόρες περιστροφικές αντλίες μεταβλητής παροχής-καταθλίψεως. Σε σταθερής πιέσεως συστήματα, η κυκλοφορία και η αύξηση της πιέσεως του υδραυλικού ελαίου επιτυγχάνεται με μία ή περισσότερες εμβολοφόρες ***αντλίες μεταβλητής παροχής*** (variable delivery pumps). Με αυτές τις αντλίες όταν η πίεση του υδραυλικού ελαίου στο δίκτυο υπερβαίνει τις απαιτήσεις του συστήματος, η πίεση καταθλίψεως της αντλίας, η οποία ελέγχεται από αυτοματισμό ρυθμίσεως, μειώνεται. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την μεταβολή της διαδρομής των εμβόλων της αντλίας, ώστε καταθλίβοντας λιγότερη ποσότητα ελαίου να επανέλθει η πίεση στην επιθυμητή τιμή που έχει ρυθμιστεί ο αυτοματισμός ελέγχου της. Ανάλογα, όταν προκαλείται πτώση της πιέσεως, η οποία ενδέχεται να οφείλεται είτε στην αύξηση των απαιτήσεων του συστήματος, είτε λόγω της μεταβολής του φορτίου ενός μηχανήματος που είναι ήδη σε λειτουργία στο δίκτυο, τότε ο αυτοματισμός ελέγχου επενεργεί στον μηχανισμό ρυθμίσεως της διαδρομής των εμβόλων επιτυγχάνοντας την αύξηση της πιέσεως καταθλίψεως της αντλίας έως την επιθυμητή τιμή. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, δηλαδή την μεταβολή της χωρητικότητας των κυλίνδρων, μεταβάλλεται η παροχή της αντλίας ώστε να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις του δικτύου.

Στις αντλίες μεταβλητής παροχής ανήκουν οι αντλίες κινήσεως των ηλεκτροϋδραυλικών πηδαλί-



Σχ. 8.4ιε

Τυπική διάταξη δικτύου υδραυλικού ελαίου.

ων, ενώ όμοιας λειτουργίας είναι οι αντλίες μεταβλητής παροχής, που χρησιμοποιούνται και σε άλλα συστήματα του πλοίου. Γι' αυτόν το λόγο, δηλαδή της παρουσίας των συστημάτων πηδαλιουχίας σε όλα τα πλοία, για την κατανόηση της αναλύσεως του τύπου των αντλιών μεταβλητής παροχής, χρησιμοποιούνται ως παράδειγμα οι αντλίες που είναι εγκατεστημένες σε αυτά.

Η χρήση των αντλιών μεταβλητής παροχής στα ηλεκτροϋδραυλικά πηδάλια είναι για την παροχή του υδραυλικού ελαίου στον μηχανισμό στρέψεως. Αυτός αποτελείται από υδραυλικά έμβολα ή θαλάμους με σταθερά και κινητά πτερύγια, που συνδέονται στον άξονα του πηδαλίου και στρέφοντάς τον στρέφουν το πηδάλιο στην επιθυμητή θέση, επιτυγχάνοντας την ταχεία ανταπόκριση του πηδαλίου στις κινήσεις που απαιτούνται για την ***αλλαγή της πορείας του πλοίου***. Έτσι, στην παροχή του υδραυλικού ελαίου χρησιμοποιούνται αντλίες συνεχούς λειτουργίας (μεταβάλλεται η πίεση αναρροφήσεως και καταθλίψεως, ενώ η αντλία περιστρέφεται προς την ίδια διεύθυνση με την ίδια ταχύτητα), αλλά μεταβλητής πιέσεως καταθλίψεως. Ο όρος μεταβλητή κατάθλιψη αναφέρεται στη δυνατότητα της αντλίας, ενώ λειτουργεί χωρίς διακοπή, δηλαδή πάντα προς την ίδια διεύθυνση, να μετατρέπεται η αναρρόφηση σε κατάθλιψη και αντίθετα κατ' επιλογή με την επίδραση ενός μηχανισμού ελέγχου.

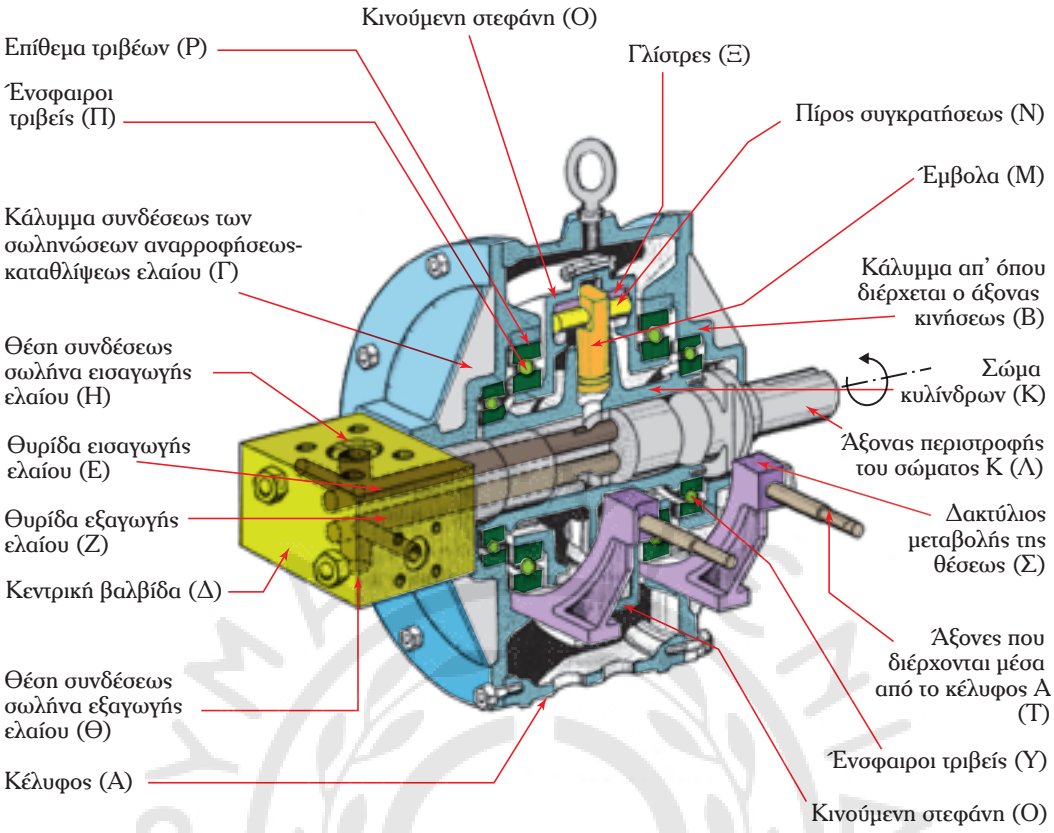
Οι αντλίες αυτές, συνήθως είναι διπλές στο σύστημα του πηδαλίου, εξασφαλίζοντας ότι το πηδάλιο θα λειτουργεί σε περίπτωση βλάβης με τη μία από αυτές, αλλά και ότι θα υποστηρίζεται η πηδαλιουχία όταν πραγματοποιούνται εργασίες συντηρήσεως σε μία από τις δύο αντλίες. Επίσης, διαθέτουν την δυνατότητα να λειτουργούν είτε χωριστά, εξυπηρετώντας πλήρως τις συνθήκες πηδαλιουχίας, είτε παράλληλα αυξάνοντας την παροχή του υδραυλικού ελαίου στο σύστημα, άρα και την ταχύτητα αποκρίσεως στις εντολές που δίνονται από το οιακοστρόφιο της γέφυρας για την κίνηση του πηδαλίου.

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για την παροχή του υδραυλικού ελαίου είναι περιστροφικές με έμβολα, ενώ η μεταβολή της καταθλίψεως προς το σύστημα επιτυγχάνεται με την επίδραση του ελεγκτικού μηχανισμού στη διαδρομή των εμβόλων της αντλίας. Έτσι η ποσότητα του ελαίου που εκτοπίζεται από την αντλία μπορεί να μεταβάλλεται από μηδενική έως μέγιστη καταθλίβοντας την ποσότητα που προβλέπεται από τα κατασκευαστικά της χαρακτηριστικά. Οι κυριότεροι τύποι αντλιών μεταβλητής καταθλίψεως που χρησιμοποιούνται στα συστήματα πηδαλιουχίας των πλοίων είναι ο τύπος ***κινούμενης στεφάνης*** (floating ring), ο τύπος ***λεκάνης μεταβαλλόμενης κλίσεως*** (shaw-plate) και ο τύπος ***ολισθηρών επιθεμάτων-ελασμάτων*** (slipper-pad).

1) Αντλίες κινούμενης στεφάνης (floating ring pumps).

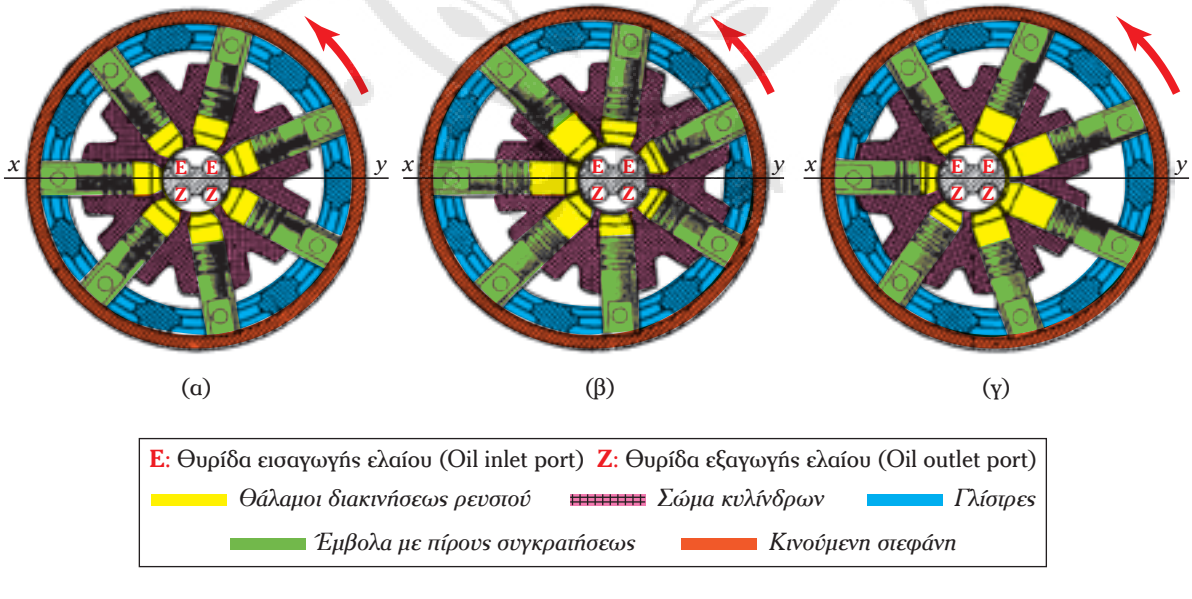
Στις αντλίες κινούμενης στεφάνης ή αντλίες τύπου Hele-Shaw (σχ. 8.4ιστ και 8.4ιζ), η μεταβολή της αναρροφήσεως σε κατάθλιψη και αντίστροφα, ελέγχεται με την πίεση ή την έλξη ενός άξονα (Τ) που συνδέεται δακτύλιος μεταβολής (Σ) της θέσεως κινούμενης στεφάνης (Ο) στο εσωτερικό του κελύφους (Α) της αντλίας το οποίο κλείνει με τα δύο καλύμματα (Β, Γ) (σχ. 8.4ιστ). Η στεφάνη μπορεί να κινείται στο κάθετο επίπεδο του άξονα περιστροφής (Λ), προς δύο αντιδιαμετρικές κατευθύνσεις στο οριζόντιο επίπεδο του άξονα. Μέσα στον κύλινδρο περιστρέφεται το σώμα των κυλίνδρων (Κ), από τον άξονα που είναι συνδεμένος με τον άξονα του κινητήρα περιστροφής της αντλίας. Το σώμα (Κ) αποτελείται από τους κυλίνδρους μέσα στους οποίους παλινδρομούν τα έμβολα (Μ) και περιστρέφεται γύρω από την κεντρική βαλβίδα (Δ). Στην άκρη των εμβόλων, προς την περιφέρεια της αντλίας, υπάρχει πίρος συγκρατήσεως (Ν) που ολισθαίνει πάνω σε γλίστρες (Ξ) παρασύροντας τα έμβολα σε κίνηση μέσα στα χιτώνια ακολουθώντας την διαδρομή που προκαλείται από την διαδρομή των πίρων μέσα στην κινούμενη στεφάνη (Ο). Η στήριξη του σώματος των κυλίνδρων πραγματοποιείται με τους ένσφαιρους τριβείς (Υ) που εφαρμόζονται στις δυο πλευρές του κελύφους της αντλίας, ενώ της στεφάνης με τους ένσφαιρους τριβείς (Π). Στο κάλυμμα (Γ) είναι προσαρμοσμένη η κεντρική βαλβίδα Δ η οποία είναι συνδεμένη με δύο θυρίδες (την Ε και Ζ) στο κέντρο της αντλίας, και αποτελεί συνέχεια της συνδέσεως των σωληνώσεων (Η και Θ) της εισαγωγής-εξαγωγής του ελαίου. Με τους σωλήνες, οι οποίοι μεταβάλλονται ανάλογα με την κατάθλιψη της αντλίας σε σωλήνες αναρροφήσεως ή καταθλίψεως, το έλαιο παρέχεται στον υδραυλικό μηχανισμό κινήσεως του πηδαλίου.

Με τη λειτουργία της αντλίας τα έμβολα που είναι τοποθετημένα σε ακτινική διάταξη σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της αντλίας, καθώς περιστρέφονται μαζί με το σώμα των κυλίνδρων τους, παλινδρομούν ανάλογα με τη θέση της στεφάνης.



Σχ. 8.4ιστ

Αντλία κινούμενης στεφάνης Hele-Shaw.



Σχ. 8.4ιζ

Τομή της αντλίας κινούμενης στεφάνης. (α) Η στεφάνη κινείται διαπρώνιας το ίδιο κέντρο. (β) Η στεφάνη μετατοπίζεται προς τα αριστερά. (γ) Η στεφάνη μετατοπίζεται προς τα δεξιά.

Η κίνηση της στεφάνης γίνεται οριζόντια πάνω στον άξονα xy (σχ. 8.4ιζ), ώστε:

1) Όταν η στεφάνη κινείται ***διατηρώντας το ίδιο κέντρο*** με την βαλβίδα [σχ. 8.4ιζ(α)] όπου βρίσκονται οι θύρες αναρροφήσεως-καταθλίψεως του ελαίου, τότε τα έμβολα περιστρέφονται διατηρώντας ίση απόσταση από το κέντρο περιστροφής και δεν γίνεται αναρρόφηση ή κατάθλιψη.

2) Όταν μετατοπίζεται η ***στεφάνη με τις γλίστρες προς τα αριστερά*** [σχ. 8.4ιζ(β)] πάνω στο νοητό άξονα xy, μετατοπίζεται αντίστοιχα και το σώμα των κυλίνδρων. Τα έμβολα, υπό την επίδραση της κινήσεως των πίρων πάνω στις γλίστρες της στεφάνης, αρχίζουν να παλινδρομούν. Η παλινδρόμηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να αναρροφούν από τις θυρίδες Ε και να καταθλίβουν από τις θυρίδες Ζ.

3) Αντίστοιχα όταν η στεφάνη ***μετατοπίζεται προς τα δεξιά*** [σχ. 8.4ιζ(γ)] και με την ίδια διεύθυνση περιστροφής, η παλινδρόμηση των εμβόλων συνεχίζεται, όμως αυτή τη φορά η αναρρόφηση γίνεται από τις θυρίδες Ζ και η κατάθλιψη από τις θυρίδες Ε.

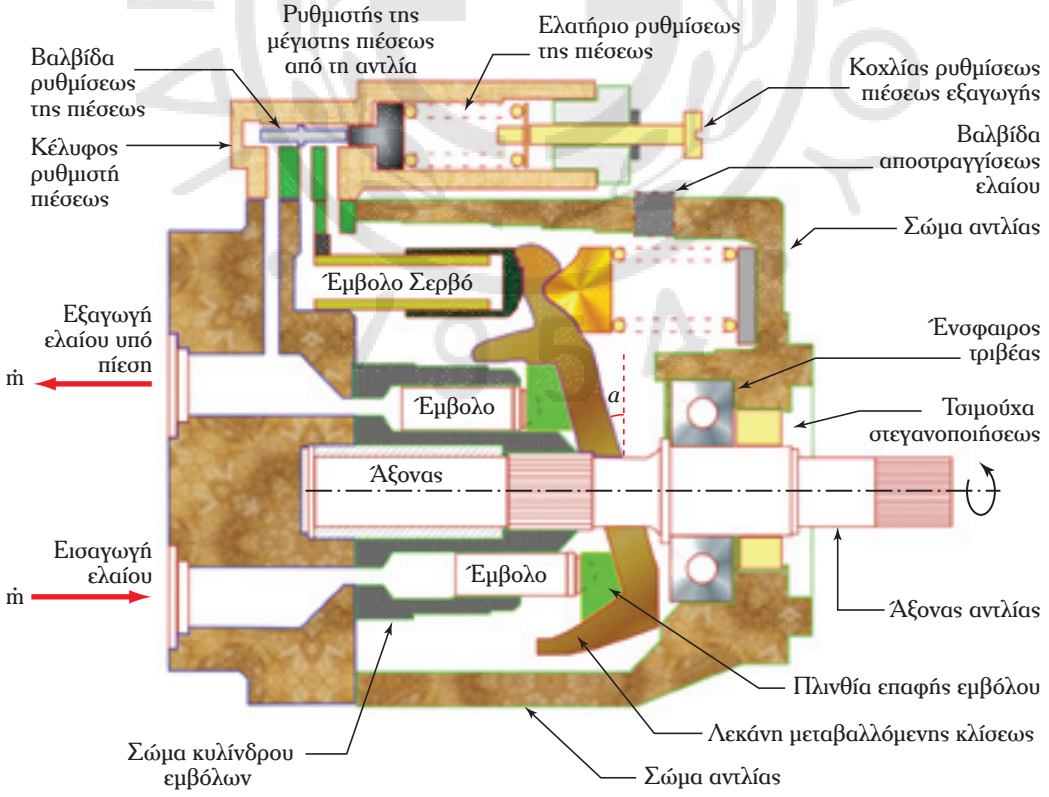
Σύμφωνα με αυτές τις κινήσεις ορίζεται, εκτός από την αναρρόφηση και την κατάθλιψη, η ροή από την αντλία. Έτσι σύμφωνα με τη θέση της κινούμενης στεφάνης από το κέντρο περιστροφή της αντλίας έως τη μέγιστη απόσταση, μεταβάλλεται η διαδρομή των εμβόλων, ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη παροχή ελαίου στην εκάστοτε κατάθλιψη της αντλίας.

2) Αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως (swash plate pump).

Η ***αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως*** ή τύπου Waterburry (σχ. 8.4ιη) είναι ένας ακόμα τύπος αντλίας που, χωρίς να διακοπεί η λειτουργία της, δύναται να μεταβληθεί η παροχή ελαίου ή να εναλλάσσεται η αναρρόφηση σε κατάθλιψη στις θυρίδες εξαγωγής της αντλίας.

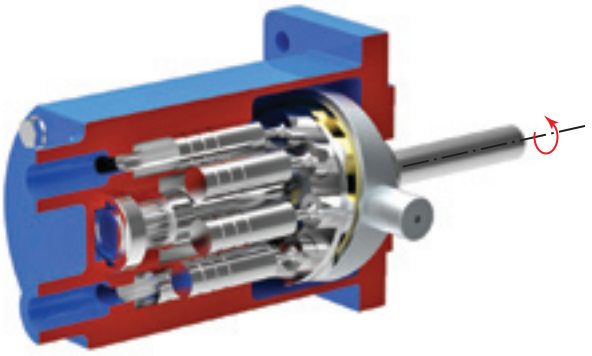
Βασικό χαρακτηριστικό της αντλίας, είναι η διάταξη των κυλίνδρων και των εμβόλων. Δηλαδή το σώμα των κυλίνδρων, το οποίο περιστρέφεται από τον άξονα περιστροφής του κινητήρα της αντλίας, μαζί με τα χιτώνια και τα έμβολα, βρίσκεται σε αξονική διάταξη (σχ. 8.4ιθ).

Με την εκκίνηση περιστροφής και κατά τη λει-



Σχ. 8.4ιη

Αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως Waterburry.



Σχ. 8.4ιθ

Τομή αντλίας με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως.

τουργία της αντλίας, ο κινητήρας περιστρέφοντας το σώμα των κυλίνδρων παρασύρει μαζί του σε περιστροφή και τα έμβολα.

Οι διωστήρες των εμβόλων είναι στρογγυλεμένοι και στις δύο άκρες τους δημιουργώντας εύκαμπτες αρθρώσεις στα σημεία συνδέσεώς τους. Η μία πλευρά του διωστήρα συνδέεται στο έμβολο ενώ η άλλη στο πλινθίο (γλίστρα) που ολισθαίνει καθώς περιστρέφεται το σώμα των κυλίνδρων παρασύροντας τα έμβολα στην επιφάνεια της λεκάνης μεταβαλλόμενης κλίσεως. Έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά της κινήσεως, με τα έμβολα να παλινδρομούν μέσα στους κυλίνδρους αξονικά σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της αντλίας.

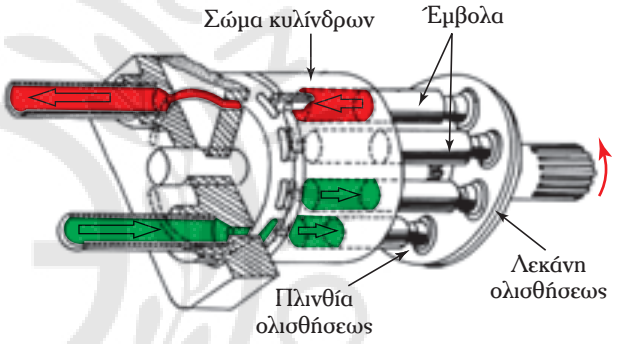
Η πραγματοποίηση της αξονικής παλινδρομήσεως των εμβόλων οφείλεται σε έναν εξωτερικό άξονα ελέγχου ή έναν σερβομηχανισμό ανάλογο του τύπου της αντλίας, που συνδέεται στη λεκάνη προκαλώντας τις μεταβολές στην κλίση της.

Όταν ο άξονας ελέγχου κλίσεως της λεκάνης βρίσκεται στη μέση θέση η λεκάνη περιστρέφεται κάθετα προς τον άξονα περιστροφής της και δεν υφίσταται αναρρόφηση ή κατάθλιψη ελαίου στις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής της αντλίας.

Με την επίδραση του μηχανισμού ελέγχου, που μεταφέρει την κίνηση του οιακοστρόφιου (τιμονιού) στην λεκάνη της αντλίας, αυτή παίρνει μία ορισμένη κλίση. Η κλίση μεταφέρεται ως παλινδρόμηση στα έμβολα, εφόσον αυτά μέσω των πλινθίων ολισθαίνουν στην επιφάνειά της. Καθώς τα έμβολα παλινδρομούν, κάθε μεταβολή στην κλίση της λεκάνης αποτελεί και μεταβολή της διαδρομής των εμβόλων. Με αυτό τον τρόπο, στις θυρίδες της αντλίας, εναλλάσσεται η ροή του ελαίου πότε στην αναρρόφηση και πότε στην κατάθλιψη. Οι θυρίδες βρίσκονται σε διάταξη τόξου εσωτερικά του κελύφους της αντλίας, στην επιφάνεια όπου εφάπτεται το σώμα των κυλίνδρων με το καπάκι της. Έτσι, η αναρρόφηση ή η κατάθλιψη επιτυγχάνεται κατά την μισή κυκλική διαδρομή, ανάλογα με την κλίση της λεκάνης για κάθε έμβολο χωριστά.

3) Αντλία με πλινθία ολισθήσεως (slipper pad).

Η αντλία αυτή αποτελεί την εξέλιξη της αντλίας με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως. Η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια μ' αυτήν, αλλά διαφέρουν στο σχήμα των εμβόλων (σχ. 8.4κ). Τα έμβολα σε αυτή την αντλία επιμηκύνονται σχηματίζοντας ένα συμπαγές σώμα χωρίς να υπάρχει διωστήρας. Η μία άκρη είναι στρογγυλεμένη και εφάπτεται σε ελάσματα που ολισθαίνουν στη λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως, ώστε να επιτυγχάνεται η ελεύθερη αξονική κίνηση κατά την περιστροφή του συστήματος εμβόλων και σώματος κυλίνδρων.



Σχ. 8.4κ

Αντλία με πλινθία ολισθήσεως (slipper pad).

Λόγω της συμπαγούς κατασκευής της αντλίας επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αύξηση στην πίεση καταθλίψεως ελαίου, καλύπτοντας τις απαιτήσεις λειτουργίας των νέων πηδαλίων και των υδραυλικών συστημάτων των πτερυγίων ευστάθειας (stabilizers).

Άλλοι τύποι αντλιών που χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του υδραυλικού ελαίου είναι αντλίες γραναζωτού τύπου, πτερυγίων, πολλαπλών κοχλιοειδών στροφείων ή σταθερής παροχής περιστροφικές αντλίες με έμβολα. Η λειτουργία των αντλιών δύναται να είναι συνεχής ή να διακόπτεται ανάλογα με τις απαιτήσεις και το σχεδιασμό του συστήματος.

Στα συστήματα με αντλίες συνεχούς λειτουργίας, προκειμένου να διατηρείται η πίεση στο επιθυμητό επίπεδο, η ροή του υδραυλικού ελαίου προς το δίκτυο ρυθμίζεται μέσω ενός αυτόματου επιστόμιου (βαλβίδας) εγκατεστημένου στην κατάθλιψη της αντλίας. Με τη λειτουργία της αντλίας η αναρρόφηση πραγματοποιείται από μία δεξαμενή που περιέχει το υδραυ-

λικό έλαιο, ενώ η κατάθλιψη προς το δίκτυο. Όταν η πίεση του δικτύου υπερβαίνει αυτή που απαιτείται από τα εγκατεστημένα μηχανήματα, ενεργοποιείται ο μηχανισμός ελέγχου του αυτόματου επιστομίου και ανοίγει για να επιστρέψει το υδραυλικό έλαιο στη δεξαμενή αναρροφήσεως. Στα συστήματα με αντλίες περιοδικής (διακεκομμένης) λειτουργίας, η αντλία ενεργοποιείται όταν η πίεση του δικτύου μειωθεί σε σχέση με αυτή στην οποία έχει ρυθμιστεί ο ελεγκτικός μηχανισμός και σταματάει όταν η πίεση υπερβεί το αντίστοιχο (ορισμένο) σημείο υψηλής πιέσεως.

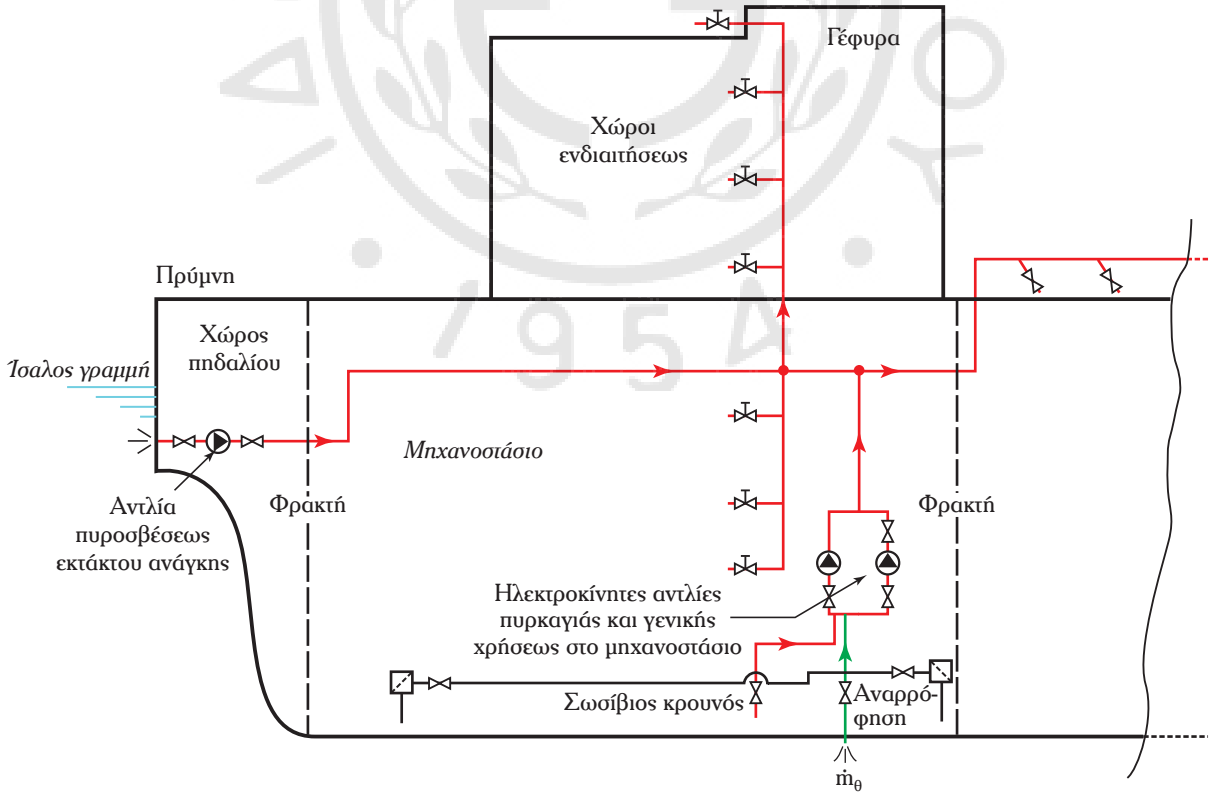
Σχ. 8.4κα
Αντλία πυροσβέσεως και γενικής χρήσεως στο μηχανοστάσιο.

8.4.7 Αντλίες πυροσβέσεως.

Δύο τύποι αντλιών πυροσβέσεως υπάρχουν στα πλοία, οι αντλίες πυροσβέσεως και γενικής χρήσεως στο μηχανοστάσιο και οι αντλίες πυροσβέσεως έκτακτης ανάγκης.

Αναλυτικότερα:

1) Οι ***αντλίες πυροσβέσεως*** (fire pumps) παρέχουν το θαλασσινό νερό που αναρροφάται από το επιστόμιο το οποίο είναι εγκατεστημένο στην πλευρά του πλοίου και καταθλίβεται στο δίκτυο πυροσβέσεως. Συνήθως διατίθενται δύο φυγοκεντρικές αντλίες εγκατεστημένες στο χαμηλότερο σημείο του μηχανοστασίου (σχ. 8.4κα), εξασφαλίζοντας έτσι ικανοποιητική παροχή στην αναρρόφηση, ενώ η πίεση καταθλίψεώς τους είναι ανάλογη με αυτήν που απαιτείται από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του δικτύου (σχ. 8.4κβ).



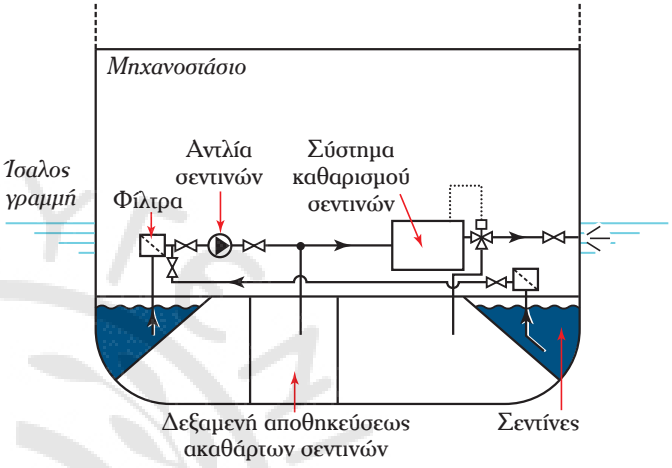
Σχ. 8.4κβ
Τυπικό δίκτυο πυροσβέσεως πλοίου.

Πρόκειται για αντλίες που κινούνται από ηλεκτροκινητήρα με στροφεία απλής αναρροφήσεως, μονοβάθμιες ή διβάθμιες. Η στεγανοποίηση του άξονά τους πραγματοποιείται είτε από μηχανικό στυπειοθλίπτη είτε από στυπεία με στυπειοθλίπτη. Εκτός από το δίκτυο πυροσβέσεως ενδέχεται να χρησιμοποιούνται για την παροχή θάλασσας και σε άλλα δίκτυα του πλοίου, όπως στο δίκτυο γενικής χρήσεως. Η αναρρόφησή τους εκτός από τη θάλασσα μπορεί σε ***περίπτωση έκτακτης ανάγκης*** να γίνεται από το μηχανοστάσιο είτε μέσω του δικτύου σεντινών, είτε μέσω του ***σωσίβιου κρουνού***. Επίσης, δύναται να χρησιμοποιούνται για την παροχή θάλασσας σε κάποια βοηθητικά μηχανήματα, όπως οι εναλλακτήρες θερμότητας για την προθέρμανση του νερού πλύσεως των δεξαμενών σε πλοία μεταφοράς υγρών φορτίων.

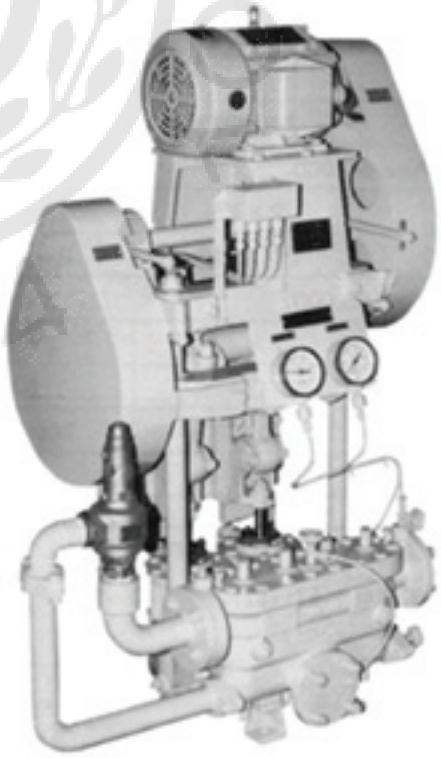
2) Οι ***αντλίες πυροσβέσεως έκτακτης ανάγκης*** (emergency fire pumps) είναι αντλίες εγκατεστημένες έξω από το μηχανοστάσιο συνήθως σε φρεάτιο, στην πρύμνη του πλοίου πίσω από το χώρο όπου είναι εγκατεστημένος ο μηχανισμός πηδαλιουχήσεως, επιτυγχάνοντας την βελτιστοποίηση των συνθηκών αναρροφήσεως. Οι αντλίες πυροσβέσεως έκτακτης ανάγκης, είναι κάθετης ή οριζόντιας διατάξεως και κινούνται είτε από ηλεκτροκινητήρα, είτε από μικρές μηχανές εσωτερικής καύσεως που χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους ως καύσιμο πετρέλαιο ντίζελ (diesel engine driven fire pumps). Οι αντλίες αυτές είναι φυγοκεντρικού τύπου, με στροφείο απλής αναρροφήσεως. Στο κέλυφος της αντλίας, για να εξασφαλιστεί η αρχική αναρρόφηση, υπάρχει εγκατεστημένη εξαρτημένη αντλία απαγωγής του αέρα, η οποία τίθεται εκτός λειτουργίας ή λειτουργεί άεργα όταν αυξηθεί η πίεση καταθλίψεως.

8.4.8 Αντλίες σεντινών.

Οι ***αντλίες σεντινών*** (bilge pumps) χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των υγρών που συλλέγονται στο εσωτερικό του μηχανοστασίου από διάφορες μικροδιαρροές (σχ. 8.4κγ). Η κατάθλιψη της αντλίας λόγω της ποιότητας των υγρών, τα οποία ενδέχεται να περιέχουν εκτός από νερό και μικρές ποσότητες πετρελαιοειδών, πραγματοποιείται είτε σε ***δεξαμενή συγκέντρωσεως πετρελαιοειδών*** (oily waste holding tank), είτε προς τη θάλασσα μέσω του ***συστήματος διαχωρισμού ελαίου*** (oil water separator) και του ***συστήματος ελέγχου και ανιχνεύσεως ελαιοειδών*** (Oil Detection Motoring System – ODM). Η κατάθλιψη της αντλίας σεντινών μέσω του ODM ως σκοπό έχει η περιεκτικότητα σε πετρελαιοειδή του υγρού που καταθλίβεται στη θάλασσα να μην υπερβαίνει τα όρια σύμφωνα με τους κανονισμούς της MARPOL, από τους οποίους ορίζεται η διαχείριση αυτών των υγρών. Οι αντλίες σεντινών είναι εμβολοφόρες, στροφαλοκίνητες με το στρόφαλο να κινείται από ηλεκτροκινητήρα (σχ. 8.4κδ), περιστροφικές με λοβούς αλλά και φυγοκεντρικές.

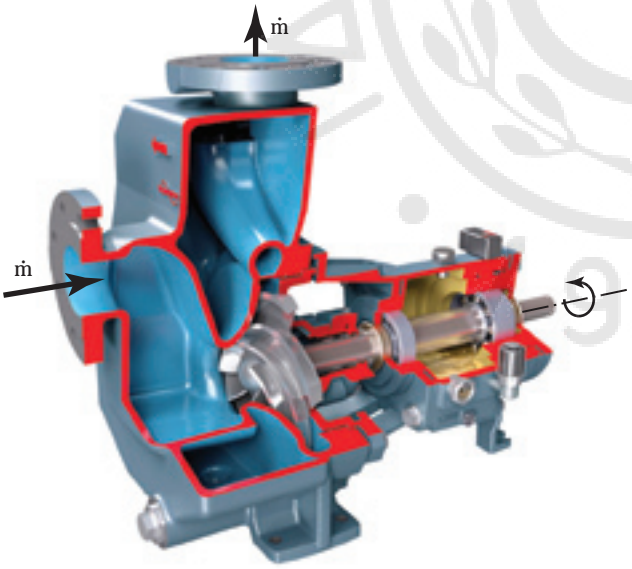


Σχ. 8.4κγ
Τυπική διάταξη δικτύου σεντινών μηχανοστασίου πλοίου.



Σχ. 8.4κδ
Εμβολοφόρος αντλία σεντινών.

Λόγω της συγκεντρώσεως των σεντινών στο κατώτερο σημείο του μηχανοστασίου είναι επόμενο η αναρρόφηση της αντλίας να βρίσκεται υψηλότερα από τη στάθμη του υγρού που αναρροφάται. Επομένως, οι εμβολοφόρες και οι περιστροφικές δύνανται να εκκινήσουν την αναρρόφηση χωρίς την εγκατάσταση κάποιου μηχανισμού δημιουργίας κενού. Όμως στις φυγόκεντρες αντλίες είναι απαραίτητο να υπάρχει μία αντλία που θα απομακρύνει τον αέρα από την αναρρόφηση και να επιτευχθεί η πλήρωσή της με το υγρό από τις σεντίνες. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται αντλίες με πτερύγια ή υγρών εμβόλων για την υποβοήθηση της αναρροφήσεως (κοινώς αρχική αναρρόφηση κατά την εκκίνηση). Ενδέχεται γι' αυτόν τον λόγο, όταν χρησιμοποιούνται φυγόκεντρες αντλίες να είναι αυτόματης αναρροφήσεως (σχ. 8.4κε) με διευρυμένο θάλαμο αναρροφήσεως και κατάθλιψη κατάλληλα κατασκευασμένη ώστε να διατηρείται υγρό μέσα σε αυτή κάθε φορά που διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας. Οι φυγοκεντρικές αντλίες αυτόματης πληρώσεως χρησιμοποιούνται μόνο όταν το μήκος του σωλήνα από τη σεντίνα είναι μικρό, διαφορετικά χρησιμοποιείται κάποιο άλλο είδος αντλίας ή διαφορετική διάταξη προκειμένου να διαχειριστεί μεγαλύτερες ποσότητες αέρα του δικτύου αναρροφήσεως.



Σχ. 8.4κε
Φυγοκεντρική αντλία αυτόματης αναρροφήσεως.

8.4.9 Αντλίες αποβλήτων.

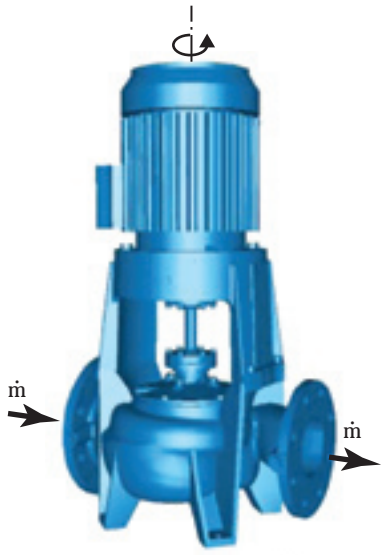
Οι ***αντλίες αποβλήτων*** (waste pumps) χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση και τη μετάγγιση των πετρελαιοειδών αποβλήτων που συλλέγονται σε ανάλογες δεξαμενές του πλοίου. Το περιεχόμενο των δεξαμενών προέρχεται από το μπλοφάρισμα των φυγοκεντρικών διαχωριστών και τα υγρά που απορρίπτονται μέσω του συστήματος διαχωρισμού ελαίου από τα υγρά των σεντινών όταν κλείνει το τρίοδο επιστόμιο ώστε να μην απορριφθούν στη θάλασσα. Οι αντλίες αποβλήτων είναι οριζόντιας διατάξεως που κινούνται από ηλεκτροκινητήρα και είναι τύπου λοβών, γραναζωτές ή έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου, ικανές για τη μετάγγιση παχύρρευστων υγρών. Η κατάθλιψη των αντλιών πραγματοποιείται είτε στη δεξαμενή του αποτεφρωτή (incinerator), είτε σε μία δεξαμενή συλλογής αποβλήτων με σκοπό να παραδοθούν εκτός πλοίου σε εγκαταστάσεις υποδοχής στα λιμάνια.

8.4.10 Αντλίες έρματος.

Οι ***αντλίες έρματος*** (ballast pumps) χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του θαλασσινού νερού εντός και εκτός των δεξαμενών έρματος, προσαρμόζοντας το πλοίο στο απαιτούμενο βύθισμα και διατηρώντας, ανάλογα με την ποσότητα νερού-έρματος που μεταφέρεται, την ευστάθεια του πλοίου κατά την φορτοεκφόρτωση και για τη ρύθμιση της διαγωγής του. Επίσης, χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού για την αντικατάσταση του θαλασσινού νερού των δεξαμενών έρματος προς αποφυγή της μεταφοράς υδροβίων οργανισμών μεταξύ παρακτίων περιοχών.

Ως εκ τούτου, οι αντλίες έρματος πρέπει να διαθέτουν την ικανότητα αναρροφήσεως και καταθλίψεως είτε από τη θάλασσα προς τη δεξαμενή έρματος είτε αντίθετα. Επί πλέον, η κατάθλιψη του θαλασσινού νερού από τις αντλίες δύναται να χρησιμοποιηθεί ως κινητήριο ρευστό σε εκχυτήρες για την αποστράγγιση δεξαμενών έρματος.

Λόγω της μεγάλης χωρητικότητας των δεξαμενών έρματος, άρα και της ποσότητας του θαλασσινού νερού που καλούνται να διαχειριστούν, οι αντλίες έρματος πρέπει να έχουν μεγάλη παροχή. Γι' αυτό ο τύπος αντλιών που χρησιμοποιούνται είναι δυναμικές αντλίες που έχουν μεγάλη παροχή και κινούνται είτε από ηλεκτροκινητήρα, είτε από ατμοστρόβιλο. Η διάταξη των αντλιών μπορεί να είναι κάθετη (σχ. 8.4κστ) ή οριζόντια και η ροή μέσα από την αντλία να είναι φυγόκεντρη, αξονική ή μεικτή. Ανάλογα με τη ροή είναι και τα στροφεία που χρησιμοποιούνται. Στις φυγοκεντρικές είναι διπλής αναρροφήσεως, ενώ στις αξονικής ροής είναι έλικες.



Σχ. 8.4κστ

Αντλία έρματος κάθετης διατάξεως με ηλεκτροκινητήρα.

Ο τύπος των αντλιών προϋποθέτει ότι η εγκατάστασή τους γίνεται σε χαμηλό σημείο του πλοίου επιτυγχάνοντας καλύτερες συνθήκες αναρροφήσεως. Προκειμένου να αποτραπεί η απώλεια αναρροφήσεως κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας, δύναται να συνδέεται με το σύστημα πληρώσεως, εξασφαλίζοντας τη συνεχή ροή του ρευστού μέσα από αυτή. Εάν το σύστημα αντλήσεως – έρματος του πλοίου λειτουργεί με υδραυλικούς κινητήρες από κεντρική μονάδα παροχής υδραυλικού ελαίου, οι αντλίες έρματος είναι ανάλογου τύπου φυγοκεντρικές βυθισμένες μέσα στη δεξαμενή.

8.5 Αντλίες βοηθητικών υπηρεσιών.

Οι αντλίες βοηθητικών υπηρεσιών χρησιμοποιούνται σε συστήματα που το προϊόν της λειτουργικής τους διεργασίας αφορά είτε τη γενική λειτουργία του πλοίου είτε την εξυπηρέτηση του πληρώματος και των επιβατών. Σε αυτές ανήκουν οι παρακάτω.

8.5.1 Αντλίες συστήματος παραγωγής αποσταγμένου νερού (fresh water plant pumps)[7].

Στα πλοία με ΜΕΚ αναπτύσσεται ένα δίκτυο για την εκμετάλλευση της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως των χιτωνίων των κυλίνδρων που διακινείται από την αντλία γλυκού νερού ψύξεως των χιτωνίων της μηχανής παρέχοντας θερμό νερό για τη λειτουργία του βραστήρα. Όμως για την παροχή του θαλασσινού νερού στον βραστήρα και την απομάκρυνση του αποσταγμένου νερού κατά τη διεργασία παραγωγής του, χρησιμοποιούνται οι αντλίες παροχής θαλασσινού νερού και λειτουργίας εκχυτήρων (ejector pumps ή eductor pumps) και η αντλία αποσταγμένου νερού (distilled pump).

1) Η αντλία παροχής θαλασσινού νερού και λειτουργίας εκχυτήρων (ejector pumps).

Πρόκειται για μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία που κινείται από ηλεκτροκινητήρα. Η αναρρόφηση πραγματοποιείται από ιδιαίτερο επιστόμιο εγκατεστημένο στην πλευρά του πλοίου, το οποίο χρησιμοποιείται μόνο απ' αυτή, ώστε να αποκλείεται το ενδεχόμενο αναμείξεως του θαλασσινού νερού που παρέχεται στο βραστήρα, που θα μπορούσε να προκαλέσει τη μόλυνσή του από επιβλαβή στοιχεία τα οποία παρασύρονται με το θαλασσινό νερό, αλλά και να μην επηρεάζεται από τις εναλλαγές υψηλής και χαμηλής αναρροφήσεως. Είναι εγκατεστημένη χαμηλά στο μηχανοστάσιο και καταθλίβει το θαλασσινό νερό στον εκχυτήρα δημιουργίας κενού στο θάλαμο του αποστακτήρα, αλλά και στο στοιχείο εξατμίσεως του βραστήρα για την παραγωγή αποσταγμένου νερού. Το ίδιο θαλασσινό νερό ενδέχεται να χρησιμοποιείται και ως ψυκτικό μέσο στον συμπυκνωτή εξατμίσεως του βραστήρα.

Συνήθως στο δίκτυο παροχής θάλασσας στον βραστήρα, είναι εγκατεστημένη μία τέτοια αντλία, την οποία εναλλακτικά μπορεί να αντικαταστήσει η αντλία πυροσβέσεως και γενικής χρήσεως, εάν απαιτείται άμεση χρήση του βραστήρα όταν η αντλία παροχής νερού των εκχυτήρων είναι εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης.

2) Η αντλία αποσταγμένου νερού (distilled pump).

Πρόκειται για φυγοκεντρική αντλία μίας βαθμίδας πιέσεως που χρησιμοποιείται για την απαγωγή του αποσταγμένου νερού από το κάτω μέρος του συμπυκνωτή του βραστήρα. Για να διατηρείται στην αντλία η αναρρόφηση, πρέπει να υπάρχει μέσα στον συμπυκνωτή νερό με σταθερή στάθμη. Διαφορετικά, οι διακυμάνσεις στη στάθμη ή η απουσία νερού στο εσωτερικό του συμπυκνωτή, διακόπτουν τη ροή του νερού με αποτέλεσμα να εισέρχεται αέρας λόγω

[7] Για τους αποστακτήρες βλ. Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων, Ι. Δάγκινη, Α. Γλύκα, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2015, κεφ. 12.

της χαμηλής πιέσεως στο εσωτερικό του βραστήρα. Αυτό οδηγεί σε πτώση της αποδόσεως του βραστήρα και διαταραχή της ισορροπίας που απαιτείται κατά την διεργασία της αποστάξεως. Η στάθμη στο συμπυκνωτή επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της παροχής της αντλίας στο επιστόμιο καταθλίψεώς της. Η κατάθλιψη της αντλίας οδηγεί το αποσταγμένο νερό στις δεξαμενές αποθηκεύσεώς του. Ανάλογα με τον τύπο του βραστήρα που χρησιμοποιείται στο πλοίο, δηλαδή είτε είναι ακαριαίας εξατμίσεως, είτε υψούμενης μεμβράνης, χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχες φυγοκεντρικές αντλίες που λειτουργικά έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά.

8.5.2 Αντλίες πόσιμου νερού.

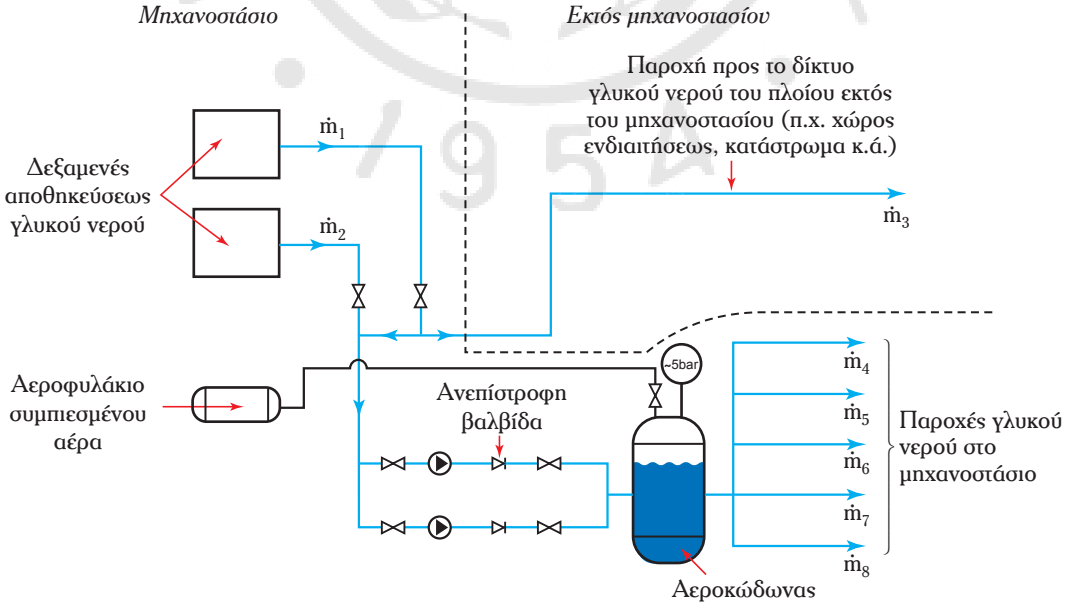
Οι ***αντλίες πόσιμου νερού*** (potable ή drink water pumps) χρησιμοποιούνται για την παροχή πόσιμου νερού στις λήψεις (π.χ. βρύσες) ή στον εξοπλισμό πόσιμου νερού (π.χ. ψύκτες) που βρίσκονται σε διάφορα σημεία του πλοίου (σχ. 8.5).

Είναι φυγοκεντρικές αντλίες κινούμενες από ηλεκτροκινητήρα, μονοβάθμιες, με στροφείο απλής αναρροφήσεως. Η αντλία αναρροφά από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως πόσιμου νερού και καταθλίβει απευθείας στο δίκτυο, ή σε αεροκώδωνα, εντός του οποίου υπάρχει συμπιεσμένος αέρας που διατηρεί την πίεση του δικτύου. Προκειμένου να διατηρηθούν ικανοποιητικές συνθήκες αναρροφήσεως στην αντλία, αυτή είναι εγκατεστημένη σε απόσταση από τη δεξαμενή αποθηκεύσεως και πάντα όσο γίνεται χαμηλότερα από την ελεύθερη στάθμη του νερού στη δεξαμενή.

Οι αεροκώδωνες που χρησιμοποιούνται αποτρέπουν τις σύντομες εκκινήσεις και διακοπές της λειτουργίας της αντλίας. Μέσω αυτών διατηρείται η πίεση του δικτύου σταθερή μέχρι το σημείο που θα δοθεί εντολή στην αντλία, από αυτόματο σύστημα ελέγχου, να εκκινήσει και να συμπληρώσει νερό επαναφέροντας την πίεση στον αεροκώδωνα στην επιθυμητή τιμή. Διαφορετικά, όταν η αντλία είναι άμεσα συνδεμένη στο δίκτυο, οι συχνές εκκινήσεις της αντλίας και οι απότομες διακυμάνσεις της πιέσεως του νερού αποτρέπονται μέσω δικτύου ανακυκλοφορίας διατηρώντας τη ροή συνεχή.

8.5.3 Αντλίες ανακυκλοφορίας Ζεστού Νερού Χρήσεως (ZNX) (hot water circulation pumps).

Εκτός από το νερό που διακινείται μέσω των αντλιών πόσιμου νερού, στους χώρους του πλοίου παρέχεται επίσης γλυκό νερό που θερμαίνεται μέσω προθερμαντήρων. Η παροχή του ζεστού νερού χρήσεως επιτυγχάνεται με μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες κινούμενες από ηλεκτροκινητήρα. Οι αντλίες ZNX λειτουργούν συνεχώς και μέσω του δικτύου ανακυκλοφορίας, το νερό που παρέχεται στις λήψεις, διατηρείται συνεχώς ζεστό.



Σχ. 8.5

Τυπικό δίκτυο παροχής γλυκού νερού.

8.5.4 Αντλίες υγιεινής.

Οι ***αντλίες υγιεινής*** (sanitary pumps) χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού στις τουαλέτες του πλοίου. Το νερό είναι είτε θαλασσινό είτε γλυκό από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως του πλοίου, κάτι που εξαρτάται από τη δομή και τη λειτουργία του δικτύου. Ο τύπος αντλιών που χρησιμοποιείται είναι οι μονοβάθμιες φυγοκεντρικές με ηλεκτροκινητήρα. Προς αποφυγή των συχνών εκκινήσεων της αντλίας χρησιμοποιούνται αεροκώδωνες με πίεση αέρα, όπως και στο δίκτυο των αντλιών πόσιμου νερού.

8.5.5 Αντλίες βιολογικών λυμάτων (sewage pumps).

Στο πλοίο η διαχείριση των βιολογικών λυμάτων πραγματοποιείται είτε με τη συλλογή τους σε δεξαμενές, είτε, όπως συμβαίνει σε σύγχρονες κατασκευές, με επεξεργασία τους από κατάλληλα συστήματα.

Στην πρώτη περίπτωση, τα βιολογικά λύματα συλλέγονται σε δεξαμενή και απορρίπτονται στη θάλασσα μακριά από τις ακτές (όπως ορίζεται από τους ισχύοντες κανονισμούς) ή παραδίδονται σε εγκαταστάσεις υποδοχής ξηράς για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Η διακίνηση των λυμάτων πραγματοποιείται από αντλίες βιολογικών λυμάτων που είναι μονοβάθμιες φυγοκεντρικές, κινούμενες από ηλεκτροκινητήρα. Σε κάποιες εγκαταστάσεις οι αντλίες είναι βυθισμένες στη δεξαμενή και καταθλίβουν τα λύματα μέσω σωλήνα εγκατεστημένου στην κατάθλιψή τους.

Στη δεύτερη περίπτωση, των συστημάτων επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων επί του πλοίου (marine sanitation devices), τα λύματα που συλλέγονται υπόκειται σε επεξεργασία. Ανάλογα με το σύστημα επεξεργασίας που χρησιμοποιείται, ενδέχεται να πολτοποιούνται ή να αναδεύονται με την παρουσία περίσσειας αέρα και τέλος να καταθλίβονται προς τη θάλασσα. Οι αντλίες που εγκαθίστανται στα συστήματα αυτά είναι μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες με ηλεκτροκινητήρα. Το στροφείο της αντλίας είναι κατάλληλα κατασκευασμένο, ώστε να διαχειρίζεται τα αιωρούμενα στερεά που παρασύρονται με τα λύματα και να τα διασπάει σε μικρά κομμάτια για την ευκολότερη επεξεργασία τους [π.χ. φιλτράρισμα, εμποτισμός (κοινώς μούλιασμα) κ.λπ.].

8.5.6 Αντλίες στο σύστημα κλιματισμού με κρύο νερό (air conditioning chilled water pumps).

Σε ορισμένα πλοία χρησιμοποιείται κυκλοφορία γλυκού νερού ως δευτερεύον ψυκτικό μέσο για την εγκατάσταση κλιματισμού. Σ' αυτές τις εγκαταστάσεις μία φυγοκεντρική αντλία διατηρήσεως ψύξεως κλιματιστικών κυκλοφορεί γλυκό νερό σε εναλλακτήρες θερμότητας, όπου αυτό ψύχεται από το πρωτεύον ψυκτικό κύκλωμα της εγκαταστάσεως κλιματισμού. Το γλυκό νερό στη συνέχεια οδηγείται μέσω μονωμένων σωληνώσεων σε τοπικές συσκευές, οι οποίες παρέχουν κρύο ή ζεστό αέρα ή σε ειδικές συσκευές που τοποθετούνται εντός των αεραγωγών, οι οποίοι παρέχουν κλιματισμένο αέρα στους χώρους του πλοίου.

Για να διατηρηθεί ελάχιστη πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας εγκαθίσταται δεξαμενή που περιέχει νερό, στην επιφάνεια του οποίου ασκείται ελεγχόμενη πίεση με συμπιεσμένο αέρα (δοχείο πιέσεως).

8.6 Αντλίες φορτίου και συναφών συστημάτων.

Οι ***αντλίες φορτίου*** (cargo pumps) χρησιμοποιούνται για την διακίνηση των υγρών φορτίων που μεταφέρονται από τα δεξαμενόπλοια (Δ/Ξ). Οι τύποι των Δ/Ξ συμπεριλαμβάνουν τα ***εξαιρετικά μεγάλα*** και ***πολύ μεγάλα Δ/Ξ αργού πετρελαίου*** (ultra large ULCC's και very large crude oil carriers VLCC'S), τα πλοία μεταφοράς πολλαπλών αποσταγμάτων πετρελαίου και χημικών φορτίων και τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων πετρελαϊκών αερίων (LPG's). Στα πλοία αυτά, εκτός από το δίκτυο του συστήματος αντλήσεως χρησιμοποιούνται και άλλα δίκτυα με εγκατεστημένες αντλίες που σχετίζονται με την ασφαλή διαχείριση του φορτίου ή τον καθαρισμό των δεξαμενών. Γι' αυτό το λόγο οι αντλίες του φορτίου και οι αντλίες συναφών συστημάτων εξετάζονται στις επόμενες παραγράφους.

Με την εκφόρτωση, καθώς μειώνεται το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού στη δεξαμενή φορτίου και καθώς πολλά από τα φορτία έχουν υψηλή τάση δημιουργίας ατμών λόγω της πτητικότητάς τους, οι αντλίες φορτίου είναι αναγκασμένες να λειτουργούν με σχετικά χαμηλές τιμές του διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως (NPSHa). Επίσης με την εκκένωση των δεξαμενών, ενδέχεται να σχηματίζονται δίνες στην επιφάνεια του υγρού, μέσω των οποίων μεταφέρονται αέρια του φορτίου ή του αδρανούς αερίου, στην αναρρόφηση της αντλίας.

Για τη μείωση της σπηλαιώσεως στο στροφείο της αντλίας που οφείλεται στο χαμηλό NPSH της αναρροφήσεως, όπως και για την μείωση του σχηματισμού δίνης μεταφοράς αερίων στην αναρρόφηση, ελέγχεται ο ρυθμός εκκενώσεως της δεξαμενής

είτε με την ρύθμιση της ταχύτητας της αντλίας είτε μέσω των επιστομίων στα τελευταία στάδια της διαδικασίας εκφορτώσεως. Τα επιστόμια αυτά δύναται να ελέγχονται χειροκίνητα αλλά και με αυτόματη διάταξη εξ αποστάσεως που βρίσκεται στο δωμάτιο ελέγχου φορτίου του πλοίου.

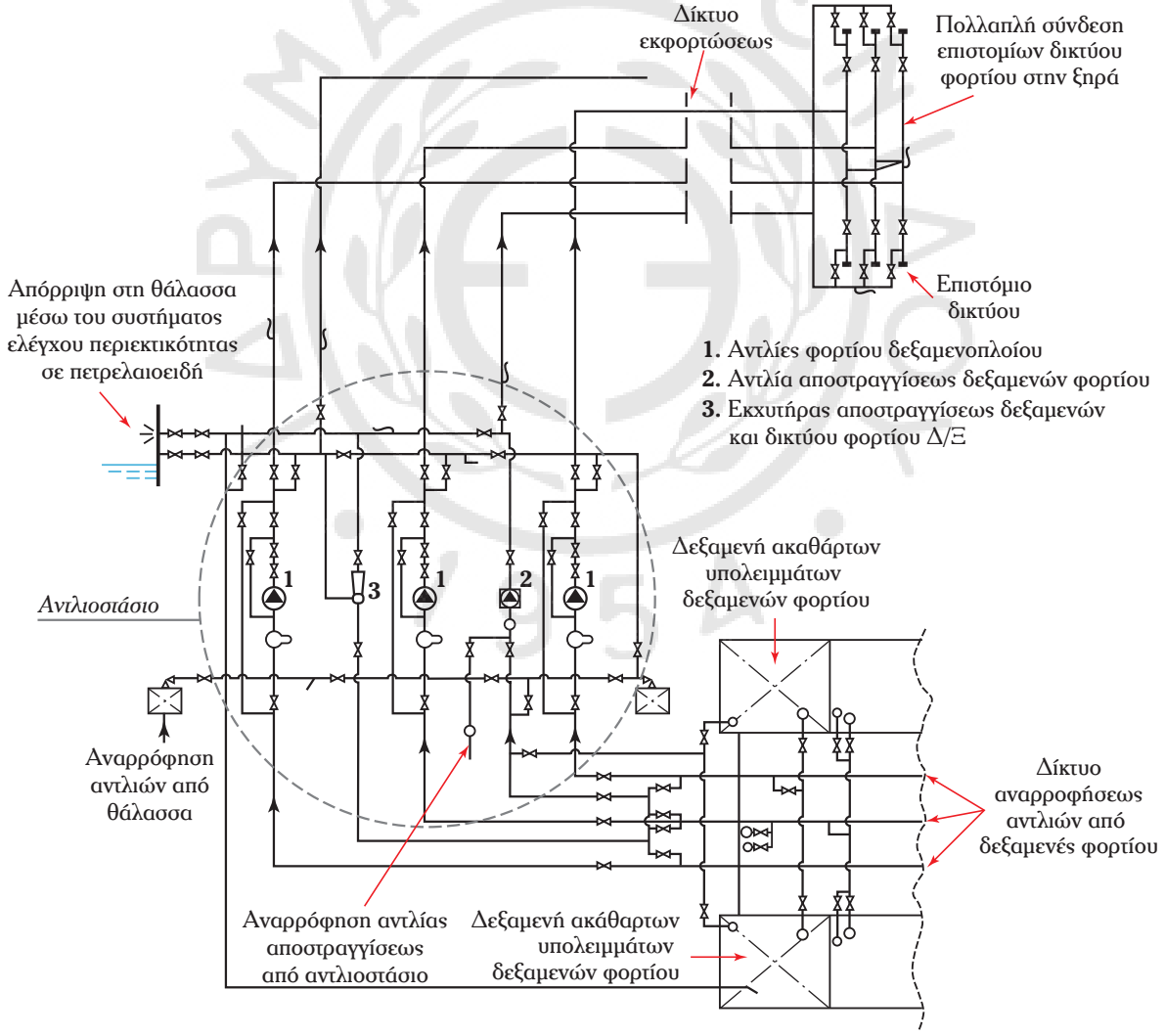
Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των εξαρτημάτων των αντλιών αυτών πρέπει να είναι συμβατό με τα φορτία που διακινούνται, με σκοπό την αποτροπή της δημιουργίας σπινθήρων που εγκυμονούν κινδύνους πυρκαγιάς λόγω της ευφλεκτότητας του φορτίου. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ενδεχόμενο της αντλήσεως θαλασσινού νερού που χρησιμοποιείται στο πλύσιμο των δεξαμενών. Σ' αυτήν την περίπτωση, η αντλία πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση.

Παρακάτω περιγράφονται οι κύριοι τύποι αντλιών που χρησιμοποιούνται στα Δ/Ξ.

8.6.1 Φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου.

Οι ***φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου*** (centrifugal cargo pumps) είναι μονοβάθμιες και συνήθως συναντώνται στα πλοία, για τη μεταφορά περιορισμένου αριθμού υγρών φορτίων στα οποία περιέχονται το αργό πετρέλαιο και μερικά ελαφρά αποστάγματα αυτού, όπως το ντίζελ, η κηροζίνη κ.ά..

Ο αριθμός των εγκατεστημένων αντλιών είναι τρεις ή τέσσερεις, που βρίσκονται όσο χαμηλότερα είναι εφικτό στο αντλιοστάσιο (pump room) του πλοίου (σχ. 8.6α). Κάθε αντλία έχει τη δυνατότητα, μέσω διασυνδέσεων του δικτύου, να αναρροφή-



Σχ. 8.6α

Τυπική διάταξη αντλιών στο αντλιοστάσιο και δίκτυο εκφορτώσεως του Δ/Ξ.

σει από διάφορες δεξαμενές και να καταθλίψει το φορτίο μέσω του σωλήνα που αντιστοιχεί σε κάθε αντλία, στην πολλαπλή σύνδεση (manifold) του καταστρώματος με την ξηρά.

Οι αντλίες εγκαθίστανται σε κάθετη (σχ. 8.6β) ή οριζόντια διάταξη, ενώ ο τύπος του στροφείου που χρησιμοποιείται με σκοπό να επιτευχθεί η μεγάλη παροχή τους είναι διπλής αναρροφήσεως [(σχ. 8.6γ(α)]. Ενδέχεται όμως να υπάρχουν δύο σημεία στηρίξεως, λόγω του μεγάλου μήκους του άξονα της αντλίας με ένσφαιρους τριβείς εγκατεστημένους στις δύο εξόδους του από το κέλυφος, βελτιστοποιώντας έτσι την απόσβεση των ακτινικών ώσεων. Η στήριξη με ένσφαιρους τριβείς στις δύο εξόδους του άξονα από το κέλυφος πραγματοποιείται σε κάθετης, αλλά και σε οριζόντιας διατάξεως αντλίες οι οποίες χαρακτηρίζονται ως αντλίες με στροφείο μεταξύ των τριβέων (between bearings pumps) (σχ. 8.6γ).

Το κέλυφος των τριβέων είναι συνήθως εξοπλισμένο με ανιχνευτή θερμοκρασίας, ο οποίος επιτρέπει στο χειριστή της αντλίας να αντιληφθεί την αύξησή της. Η αύξηση της θερμοκρασίας δηλώνει αιτία ανωμαλίας κατά τη λειτουργία της αντλίας και παρέχει τη δυνατότητα στον χειριστή της να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες πριν προκληθεί σοβαρή βλάβη. Πιθανά αίτια αυξήσεως της θερμοκρασίας των τριβέων είναι η πλημμελής λίπανση, η ταχύτητα περιστροφής της, η φθορά των τριβέων, η υπερβολική αύξηση του φορτίου της, η υψηλή θερμοκρασία του φορτίου που διακινείται, η κακή ευθυγράμμιση ή συναρμολόγηση της αντλίας μετά από επισκευή, η υπέρβαση των ορίων φθοράς των δακτυλίων του κελύφους στα σημεία που περιστρέφεται το στροφείο της αντλίας.

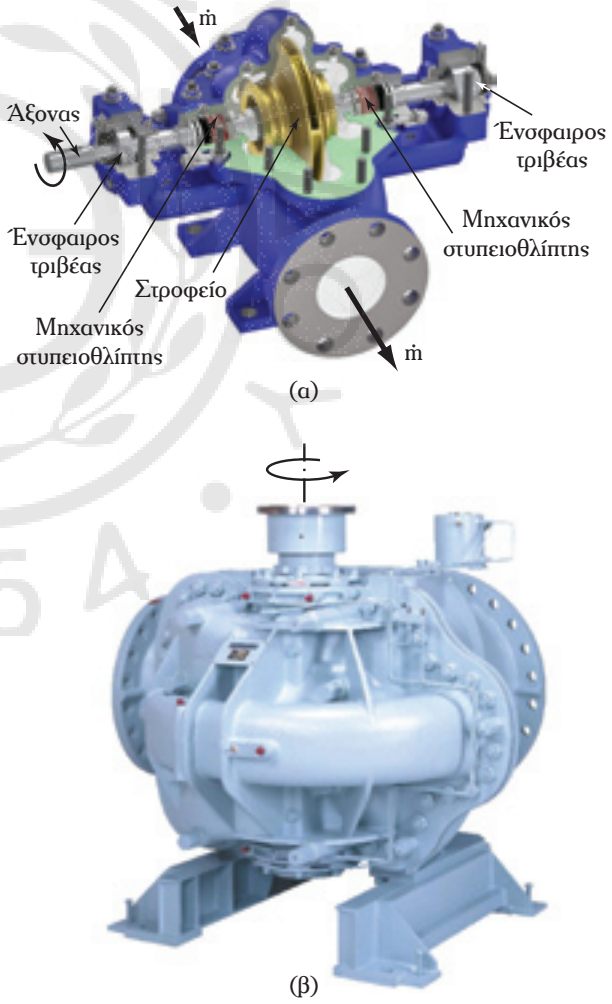
Η στεγανοποίηση του άξονα είτε στις αντλίες μονής εξόδου του άξονα από το κέλυφος της αντλίας είτε στην περίπτωση δύο σημείων εξόδου του άξονα επιτυγχάνεται από μηχανικούς στυπειοθλίπτες.

Με σκοπό την βελτίωση των συνθηκών αναρροφήσεως (δηλ. το καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως) εκτός από την εγκατάσταση των αντλιών στο χαμηλότερο δυνατό σημείο στο αντλιοστάσιο, χρησιμοποιούνται ένα ή περισσότερα συστήματα εξαερώσεως. Αυτά βρίσκονται εγκατεστημένα στην πλευρά της αναρροφήσεως για την απομάκρυνση του αέρα και των αερίων του φορτίου κατά τη διάρκεια λειτουργίας των αντλιών.

Για την κίνηση των αντλιών αυτών χρησιμοποιούνται είτε ατμοστρόβιλοι, είτε ηλεκτροκινητήρες. Και στις δύο περιπτώσεις το κινητήριο μηχάνημα είναι εγκατεστημένο στο μηχανοστάσιο και η μετάδοση της

Σχ. 8.6β

Φυγοκεντρική αντλία φορτίου στο αντλιοστάσιο Δ/Ξ.

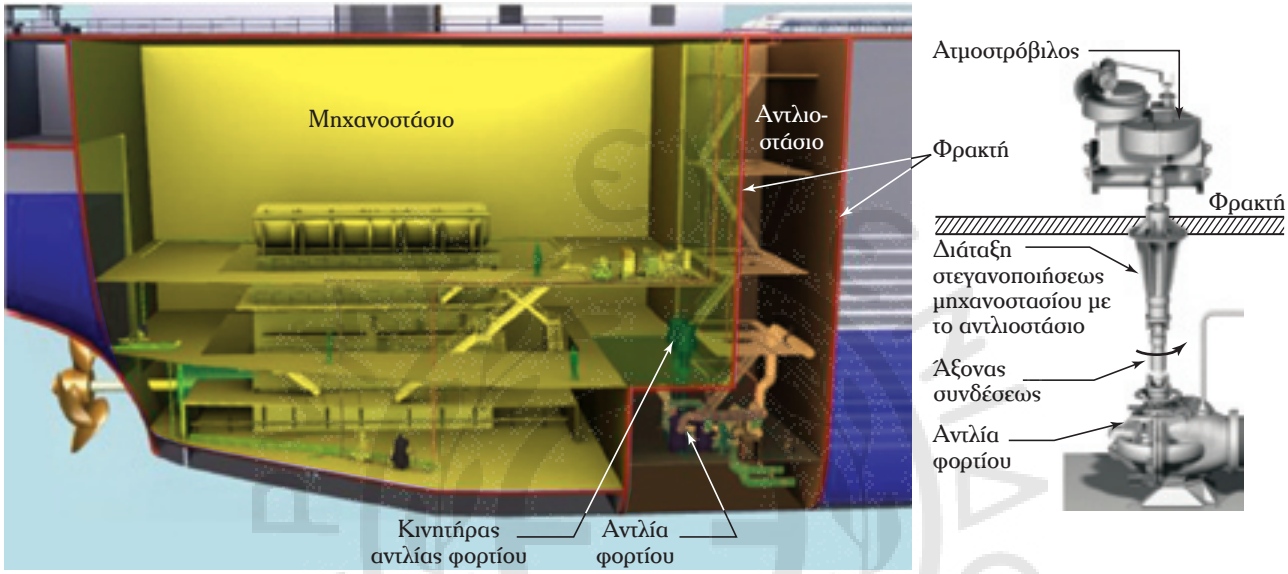


Σχ. 8.6γ

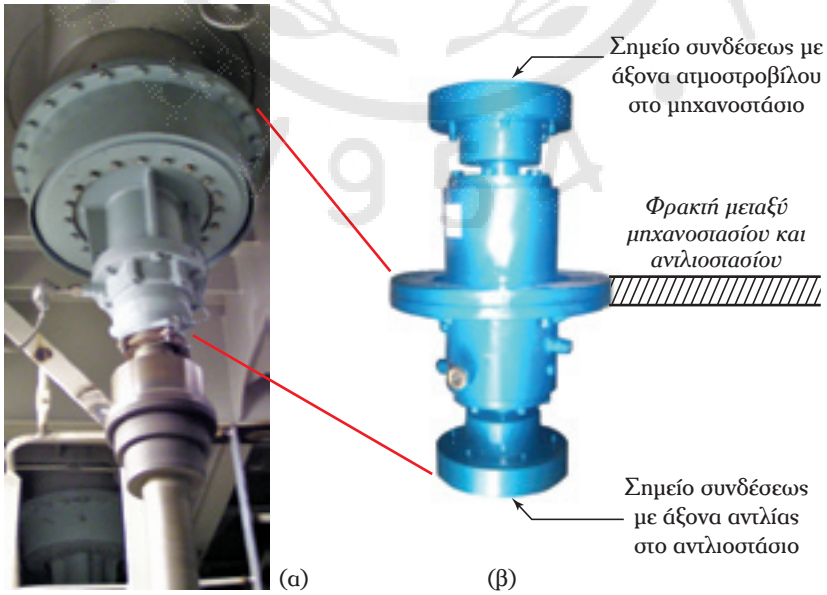
Αντλία με στροφείο μεταξύ των τριβέων, (α) οριζόντιας και (β) κάθετης διατάξεως.

κινήσεως πραγματοποιείται από ***άξονα συνδέσεως*** (jacksaft) ο οποίος διέρχεται από τη φρακτή που χωρίζει το μηχανοστάσιο από το αντλιοστάσιο (σχ. 8.6δ). Με την εγκατάσταση του κινητήρα εκτός του αντλιοστασίου επιτυγχάνεται η μόνωση από τη συγκέντρωση αερίων του φορτίου που αναπόφευκτα δημιουργούνται στο αντλιοστάσιο και εγκυμονούν κινδύνους εκρήξεων και πυροσβέσεως. Το σημείο απ' όπου διέρχεται ο άξονας από τη φρακτή στεγανοποιείται με κατάλληλη διάταξη-στυπειοθλίπτη, αποτρέποντας τη διαρροή των αερίων προς το μηχανοστάσιο. Το βάρος του άξονα συνδέσεως όπως και οι ώσεις από την περιστροφή του λαμβάνονται από ωστικό τριβέα που επίσης είναι εγκατεστημένος στο σημείο διελεύσεως του άξονα από τη φρακτή (σχ. 8.6ε).

Με τη λειτουργία της αντλίας, όσο εκκενώνεται



Σχ. 8.6δ
Τυπική διάταξη θέσεως αντλιοστάσιου.



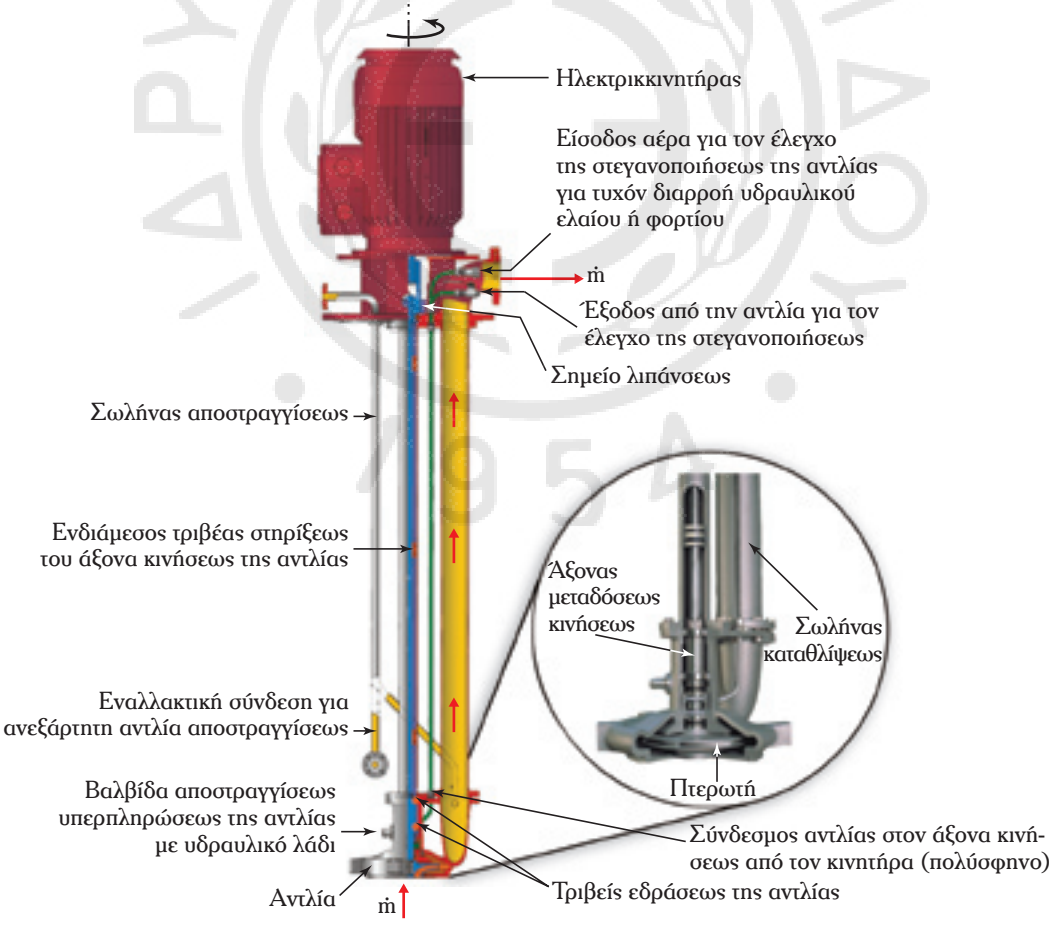
Σχ. 8.6ε
(α) Διάταξη στεγανοποιήσεως διελεύσεως του άξονα από τη φρακτή από την πλευρά του αντλιοστασίου, (β) σύνδεση αντλίας μέσω φρακτής.

η δεξαμενή αντίστοιχα μειώνεται και το καθαρό διαθέσιμο ύψος αναρροφήσεως, το οποίο βελτιώνεται με τα συστήματα παροχής στην δεξαμενή αδρανούς αερίου. Αναπόφευκτα όμως, η στάθμη του φορτίου στη δεξαμενή, φτάνει σε κάποιο σημείο τόσο χαμηλά ώστε η φυγοκεντρική αντλία δεν δύναται να αναρροφήσει το φορτίο. Η ποσότητα που απομένει στη δεξαμενή αντλείται με την αντλία αποστραγγίσεως (stripping pump), η οποία είναι μία αντλία θετικής εκτοπίσεως εμβολοφόρος πολύ μικρότερης παροχής σε σχέση με τις φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου.

8.6.2 Αντλίες φορτίου βαθέος φρεατίου.

Για την άντληση του φορτίου από τις δεξαμενές σε πλοία που μεταφέρουν διαφορετικής ποιότητας και ποσότητας πετρελαϊκά προϊόντα εγκαθίστανται οι ***αντλίες βαθέος φρεατίου*** (deep well cargo pumps). Ως εκ τούτου, συνήθως μία αντλία αυτού του τύπου πρέπει να είναι κατάλληλη για την άντληση ευρέος φάσματος προϊόντων που έχουν διαφορετικά ειδικά βάρη, τάση δημιουργίας ατμών, και διαφορετικό ιξώδες και θερμοκρασία, εφόσον στα φορτία που διαχειρίζεται περιέχονται λιπαντικά υψηλού ιξώδους και βαρέα πετρελαϊκά κλάσματα, τα οποία για να διατηρήσουν τη ρευστότητά τους θερμαίνονται. Επίσης οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται στην άντληση φορτίων σε κρυογονικές συνθήκες μεταφοράς, όπως συμβαίνει στα ***πλοία υγροποιημένων αερίων του πετρελαίου*** (Liquefied Petroleum Gas – LPG's).

Το κινητήριο μηχάνημα της αντλίας συνήθως είναι ηλεκτροκινητήρας κάθετης διατάξεως εγκατεστημένος πάνω από την εκροή του σωλήνα καταθλίψεως στο κατάστρωμα και μεταδίδει την κίνηση στην αντλία που βρίσκεται εγκατεστημένη κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής μέσω ενός μεγάλου μήκους άξονα (σχ. 8.6στ). Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αντλίες με υδραυλικούς κινητήρες, στους οποίους το υδραυλικό λάδι παρέχεται από κεντρική μονάδα υδραυλικής ισχύος, ο υδραυλικός κινητήρας είναι εγκατεστημένος στον πυθμένα του φρεατίου

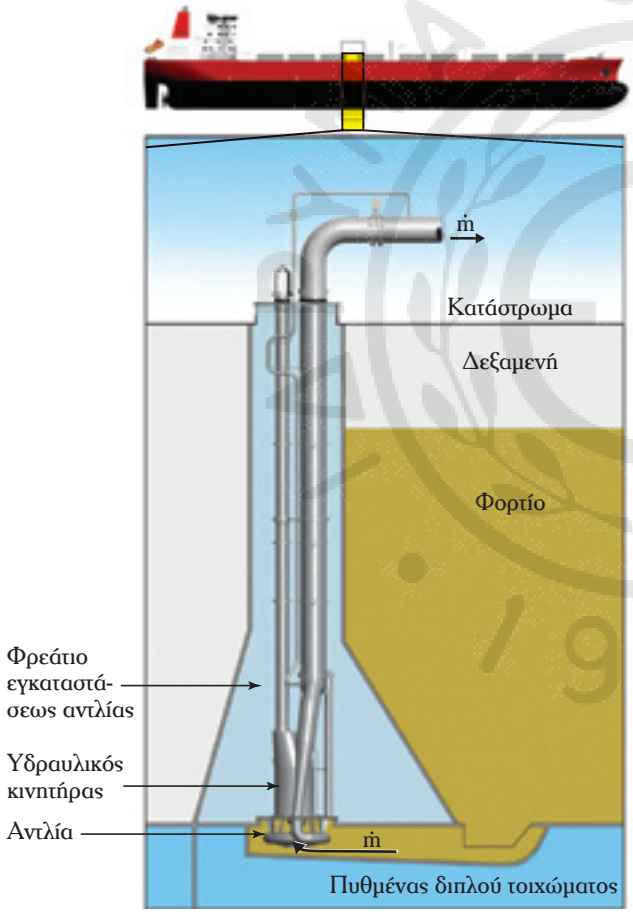


Σχ. 8.6στ

Φυγοκεντρική αντλία Δ/Ξ με πλεκτροκινητήρα.

και μέσω φρακτής διέρχεται ο άξονας για τη λειτουργία της αντλίας (σχ. 8.6ζ). Εναλλακτικά, οι αντλίες βαθέος φρεατίου ενδέχεται να κινούνται μέσω μηχανισμών γωνιακής μεταδόσεως κινήσεως όπου η κίνηση, από οριζόντιας διατάξεως ηλεκτροκινητήρα, ατμοστρόβιλο ή ΜΕΚ, μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση του κατακόρυφου άξονα.

Ενώ η κατάθλιψη των αντλιών αυτών συνήθως βρίσκεται στο κατάστρωμα, σε κάποιες περιπτώσεις συναντώνται και χαμηλότερα στο χώρο του αντλιοστασίου, όπως συμβαίνει σε αντλίες, το κινητήριο μηχάνημα των οποίων βρίσκεται σε γειτονικό χώρο με τη δεξαμενή και συνδέεται μέσω οριζόντιου άξονα και γωνιακού γραναζιού (γωνιακή μετάδοση κινήσεως) με την αντλία. Τότε ο άξονας διέρχεται από τη φρακτή που υπάρχει μεταξύ των δύο γειτονικών χώρων, ενώ για τη στεγανοποίηση του άξονα χρησιμοποιείται στυπειοθλίπτης απομονώνοντας το κινητήριο μηχάνημα από τα αέρια του φορτίου που ενδέχεται να διαρρεύσουν προς το χώρο του κινητήρα.



Σχ. 8.6ζ

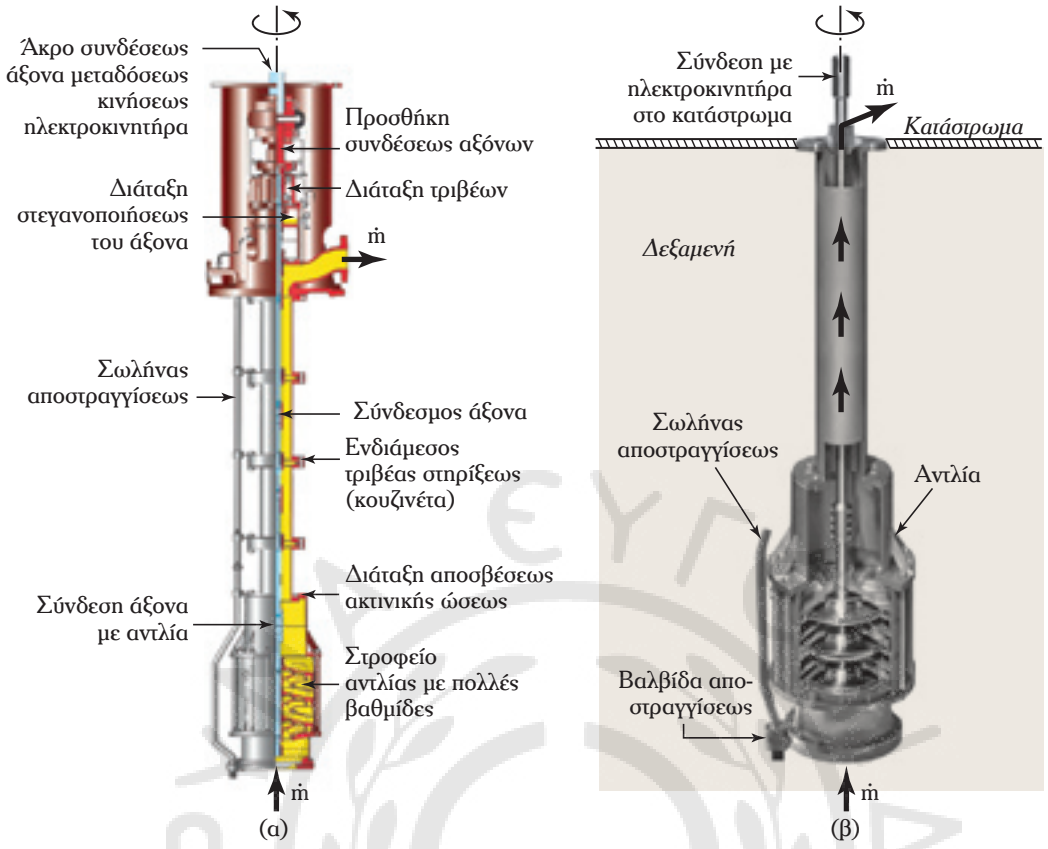
Αντλία βαθέος φρεατίου, κάθετης διατάξεως, με υδραυλικό κινητήρα και εκροή του σωλήνα καταθλίψεως στο κατάστρωμα.

Οι αντλίες βαθέος φρεατίου είναι φυγοκεντρικές και το κέλυφος σε πολλές από αυτές κατασκευάζεται ως ένα πολυβάθμιο συγκρότημα, όπου σε κάθε βαθμίδα πιέσεως υπάρχει ένα στροφείο απλής αναρροφήσεως (σχ. 8.6η). Πάνω από το κέλυφος, στο σημείο συνδέσεώς του με τον άξονα μεταδόσεως της κινήσεως υπάρχει ***μικρού μήκους προσθήκη*** (spool), η οποία διευκολύνει τις εργασίες κατά την αποσυναρμολόγηση για τον έλεγχο ή την επισκευή της αντλίας.

Για την άντληση υγρών με μεγάλη τάση ατμοποιήσεως ή μικρό ιξώδες, πριν το στροφείο της πρώτης βαθμίδας αναρροφήσεως στο άκρο του άξονα περιστροφής εγκαθίσταται ένα ***επαγωγικό στροφείο*** (βοηθητική ελικοειδής πτερωτή – inducer) (σχ. 8.6θ) το οποίο έχει σχήμα έλικας ειδικής διαμορφώσεως. Το επαγωγικό στροφείο καθώς περιστρέφεται παρέχει υγρό στην εισαγωγή του στροφείου της πρώτης βαθμίδας πιέσεως, μειώνοντας το καθαρό θετικό απαιτούμενο ύψος αναρροφήσεως της αντλίας, με αποτέλεσμα να βελτιώνονται η αναρρόφηση και ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας. Εναλλακτική λύση όταν δεν χρησιμοποιείται επαγωγικό στροφείο, είναι το στροφείο της πρώτης βαθμίδας να σχεδιάζεται με ειδικό τρόπο ώστε να λειτουργεί κάτω από συνθήκες χαμηλής τιμής καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως ή το πρώτο στροφείο να είναι τύπου διπλής αναρροφήσεως.

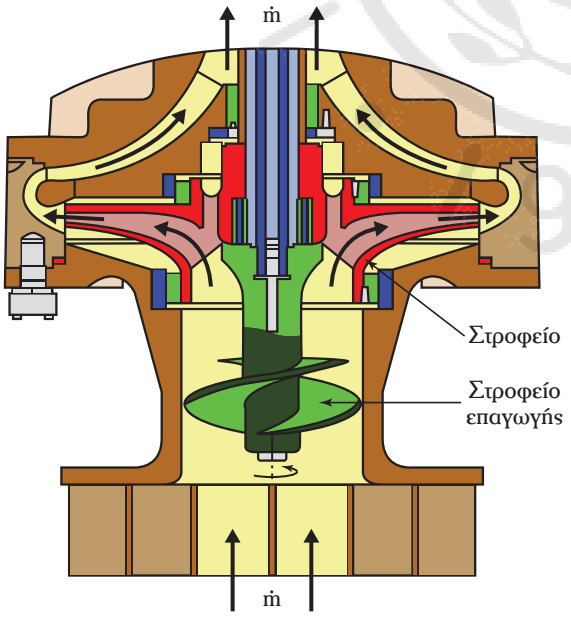
Η χρήση των στροφείων απλής αναρροφήσεως επίσης δημιουργεί υδραυλική «ανισορροπία» κατά τη λειτουργία της αντλίας, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται αξονική ώση. Η πρόληψη αυτής, επιτυγχάνεται με κατάλληλη διάταξη εξισορροπήσεως, όπως είναι ένα τύμπανο ζυγοσταθμίσεως[8] ή οι δακτύλιοι φθοράς που τοποθετούνται στο κέλυφος στις δύο πλευρές του στροφείου ή με ωστικό τριβέα που ενεργεί στον άξονα της αντλίας απορροφώντας τις ώσεις που αναπτύσσονται. Αντίστοιχα σε οριζόντιας διατάξεως κινητήρες, όπου η μετάδοση της κινήσεως γίνεται σε γρανάζια με γωνιακή διάταξη, ο ωστικός τριβέας εγκαθίσταται στην κορυφή του άξονα μετα-

[8] ***Τύμπανο ζυγοσταθμίσεως*** ονομάζεται ένα στοιχείο που χρησιμοποιείται σε αντλίες με στροφεία σε σειρά με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την λειτουργία της αντλίας.



Σχ. 8.6η

(α) Πολυβάθμια αντλία βαθέος φρεατίου.
(β) Εικόνα πολυβάθμιας αντλίας με δίκτυο και βαλβίδα αποστραγγίσεως.



Σχ. 8.6θ

Αντλία με επαγωγικό στροφείο (βοηθητική ελικοειδής πτερωτή).

δόσεως της κινήσεως κοντά στο σημείο εκροής του σωλήνα καταθλίψεως της αντλίας. Στο σημείο στηρίξεως του άξονα υπάρχει περικόχλιο (παξιμάδι) για την ρύθμιση της θέσεώς του και κατ' επέκταση των στροφείων σε σχέση με το κέλυφος της αντλίας.

Σε οποιοδήποτε τρόπο στηρίξεως είναι σημαντικό να διατηρούνται τα διάκενα, δίδοντας ιδιαίτερη προσοχή κατά τη συναρμολόγηση ή τη ρύθμιση της θέσεως του άξονα, ώστε να αποφευχθεί τυχόν επαφή των περιστρεφομένων μερών με τα σταθερά, όταν η αντλία θα τεθεί σε λειτουργία.

Κατά τη λειτουργία των αντλιών βαθέος φρεατίου, η αναρρόφηση αυτών βρίσκεται κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής και η κατάθλιψή τους μέσω του κατακόρυφου σωλήνα βρίσκεται στο κατάστρωμα του πλοίου, όπου μέσω των πολλαπλών συνδέσεων (manifolds) του καταστρώματος το φορτίο μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις ξηράς.

Λόγω της μεγάλης αποστάσεως που υπάρχει μεταξύ του κινητήριου μηχανήματος και της αντλίας που βρίσκεται στον πυθμένα της δεξαμενής, ο άξονας

μεταδόσεως της κινήσεως αποτελείται από τμήματα που συνδέονται με σπείρωμα ή με σφηνοειδείς συνδέσμους (πολύσφηνο). Επίσης, λόγω του μεγάλου μήκους του είναι απαραίτητη η στήριξη σε ενδιάμεσα σημεία. Η στήριξη επιτυγχάνεται με τριβείς εδράσεως (κοινώς κουζινέτα) (σχ. 8.6η).

Οι τριβείς συνήθως λιπαίνονται από το αντλούμενο φορτίο, γι' αυτό και το υλικό κατασκευής τους πρέπει να είναι συμβατό με τα φορτία που μεταφέρονται από το πλοίο. Επί πλέον, πρέπει να είναι ανθεκτικοί στην περίπτωση που λειτουργούν χωρίς λίπανση κατά τη διάρκεια καθαρισμού και αποστραγγίσεως των δεξαμενών. Έτσι, δύναται να είναι κατασκευασμένοι από κράμα χαλκού, ανθρακικά υλικά καθώς και τεφλόν.

Η στεγανοποίηση του άξονα στο σημείο που διέρχεται από τη φρακτή επιτυγχάνεται με στυπειοθλίπτες συμβατικούς ή μηχανικής στεγανοποιήσεως όταν το φορτίο έχει μεγάλη πτητικότητα.

Όταν το πλοίο είναι διπλού τοιχώματος (double bottom) δημιουργείται ***φρεάτιο*** (small well) γύρω από την αναρρόφηση της αντλίας, το οποίο καθώς βρίσκεται χαμηλότερα από τον πυθμένα της δεξαμενής διευκολύνει την αναρρόφηση, εφόσον το υγρό συγκεντρώνεται σ' αυτό. Αυτό το φρεάτιο βοηθάει ιδιαίτερα κατά την αποστράγγιση της δεξαμενής.

Άλλη μία διάταξη που βοηθάει την άντληση του φορτίου και την αποστράγγιση, ειδικά λόγω του μεγάλου μήκους του σωλήνα καταθλίψεως, είναι η ανεπίστροφη βαλβίδα που εγκαθίσταται στην αναρρόφηση της αντλίας. Καθώς το υγρό ρέει προς τη μία διεύθυνση, κατά τη διάρκεια της αντλήσεως, η βαλβίδα είναι ανοικτή και κλείνει αυτόματα όταν διακοπεί ή ολοκληρωθεί η εκκένωση της δεξαμενής. Όμως με την ολοκλήρωση της αντλήσεως από τη δεξαμενή η ποσότητα του φορτίου που υπάρχει στον κατακόρυφο σωλήνα εκφορτώσεως δεν δύναται να φτάσει στο κατάστρωμα, γι' αυτό χρησιμοποιείται ένας μικρότερος σωλήνας (σωλήνας αποστραγγίσεως) (σχ. 8.6η) που συνδέεται στον κατακόρυφο σωλήνα εκφορτώσεως (καταθλίψεως) παρέχοντας τη δυνατότητα εκκενώσεώς του. Η πραγματοποίηση αυτής της διεργασίας επιτυγχάνεται με κλειστό το επιστόμιο καταθλίψεως στο κατάστρωμα και παροχή αέρα ή αδρανούς αερίου στον κατακόρυφο σωλήνα εκφορτώσεως. Με τον τρόπο αυτό, απομακρύνεται η ποσότητα του φορτίου από τον σωλήνα αυτόν λόγω της πιέσεως που αναπτύσσεται από το παρεχόμενο αέριο.

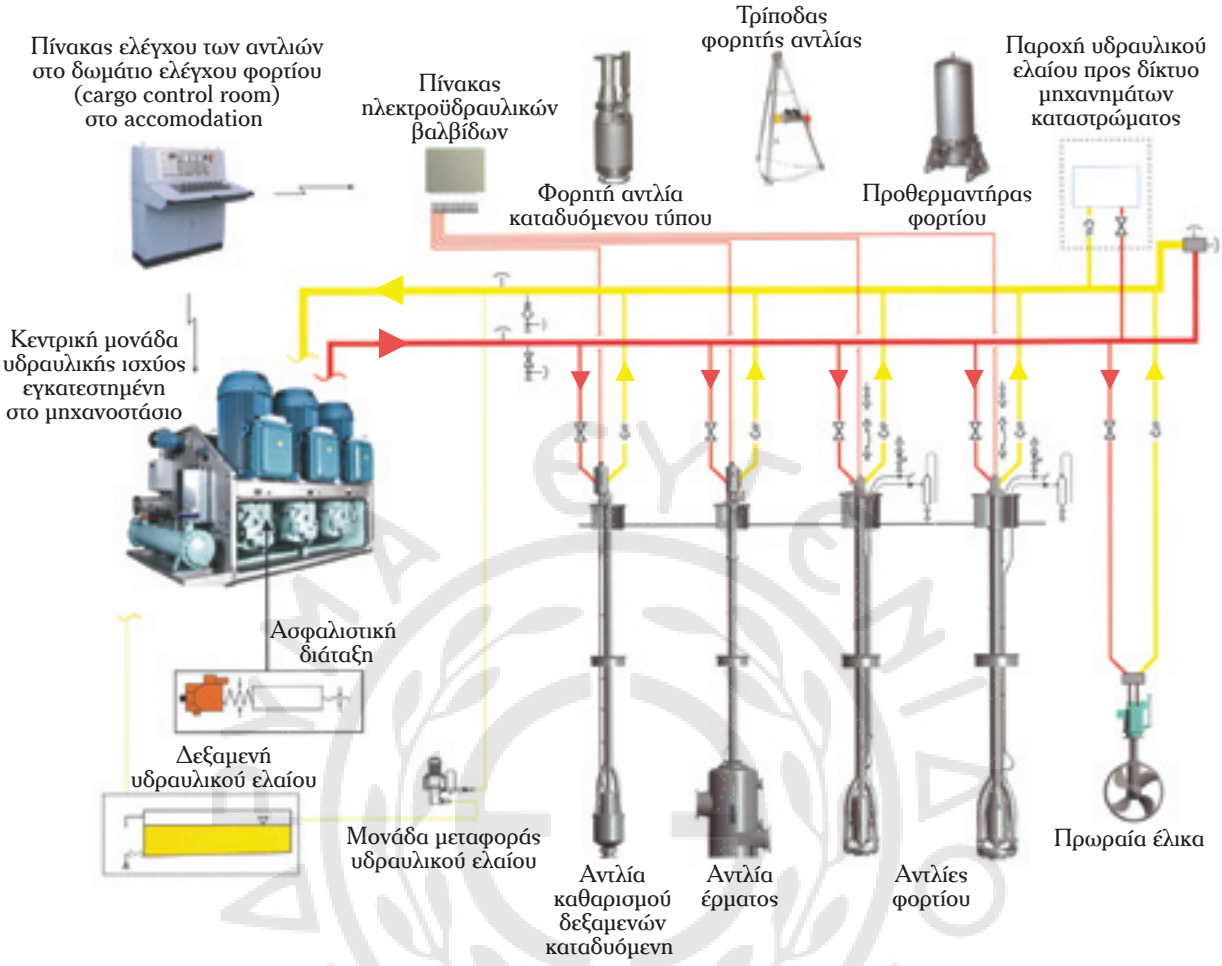
Επί πλέον, για την ομαλή λειτουργία της αντλίας και την εξασφάλιση της αναρροφήσεως, στην κατάθλιψη υπάρχουν εγκατεστημένες βαλβίδες που ονομάζονται βαλβίδες αρχικής αναρροφήσεως. Μέσω αυτών των βαλβίδων, σε περίπτωση διακοπής της αναρροφήσεως επιτρέπεται η επιστροφή υγρού από το σωλήνα καταθλίψεως στην αναρρόφηση της αντλίας, ώστε με την επανακυκλοφορία του υγρού, να δημιουργηθούν εκ νέου οι απαιτούμενες συνθήκες επιτυχούς αναρροφήσεως. Οι βαλβίδες αρχικής αναρροφήσεως είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για υγρά μεγάλης πτητικότητας.

8.6.3 Βυθιζόμενες ή καταδυόμενες αντλίες φορτίου κινούμενες από υδραυλικό κινητήρα.

Οι ***βυθιζόμενες αντλίες με υδραυλικό κινητήρα*** (hydraulic motor driven submersible cargo pumps) χρησιμοποιούνται για την άντληση φορτίων σε χημικά Δ/Ξ, σε πλοία μεταφοράς διαφορετικού είδους πετρελαϊκών προϊόντων, ενώ δύναται να συναντώνται και σε πλοία μεταφοράς αργού πετρελαίου. Σε κάθε δεξαμενή είναι εγκατεστημένη μία αντλία. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η δημιουργία δικτύου αναρροφήσεως μεταξύ των δεξαμενών. Επίσης, μειώνονται στο ελάχιστο οι πιθανότητες αναμείξεως των φορτίων που μεταφέρονται, διότι συχνά κάθε αντλία συνδέεται σε ανεξάρτητο δίκτυο καταθλίψεως που αναπτύσσεται στο κατάστρωμα.

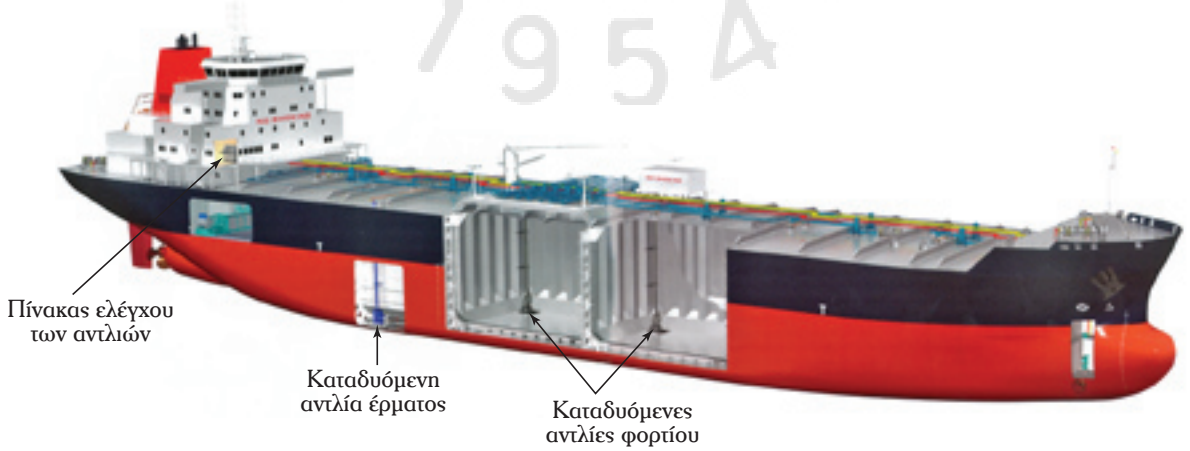
Η αύξηση της πιέσεως του υδραυλικού ελαίου που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του υδραυλικού κινητήρα της αντλίας, πραγματοποιείται από κεντρική υδραυλική μονάδα ισχύος που είναι εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο. Η ***υδραυλική μονάδα*** ισχύος μπορεί να εξυπηρετεί μόνο τις αντλίες φορτίου, ενδέχεται όμως να παρέχει υδραυλικό έλαιο και σε άλλα βοηθητικά μηχανήματα, όπως οι γερανοί του πλοίου, τα μηχανήματα προσδέσεως ή ο υδραυλικός κινητήρας της βοηθητικής πρωραίας έλικας (σχ. 8.6ι και 8.6ια).

Οι βυθιζόμενες αντλίες υδραυλικού κινητήρα είναι κάθετης διατάξεως, μίας βαθμίδας πιέσεως (μονοβάθμιες) και αποτελούνται από φυγοκεντρικό στροφείο απλής αναρροφήσεως (σχ. 8.6ιβ). Η αντλία με τον υδραυλικό της κινητήρα αναρτάται στο κάτω άκρο ενός κατακόρυφου σωλήνα, ενώ το άνω άκρο του συνδέεται σε πλάκα ελαφρώς υπερυψωμένη από το κατάστρωμα του πλοίου. Ο κατακόρυφος σωλήνας έχει τριπλό τοίχωμα σχηματίζοντας τρεις ομόκεντρους σωλήνες.



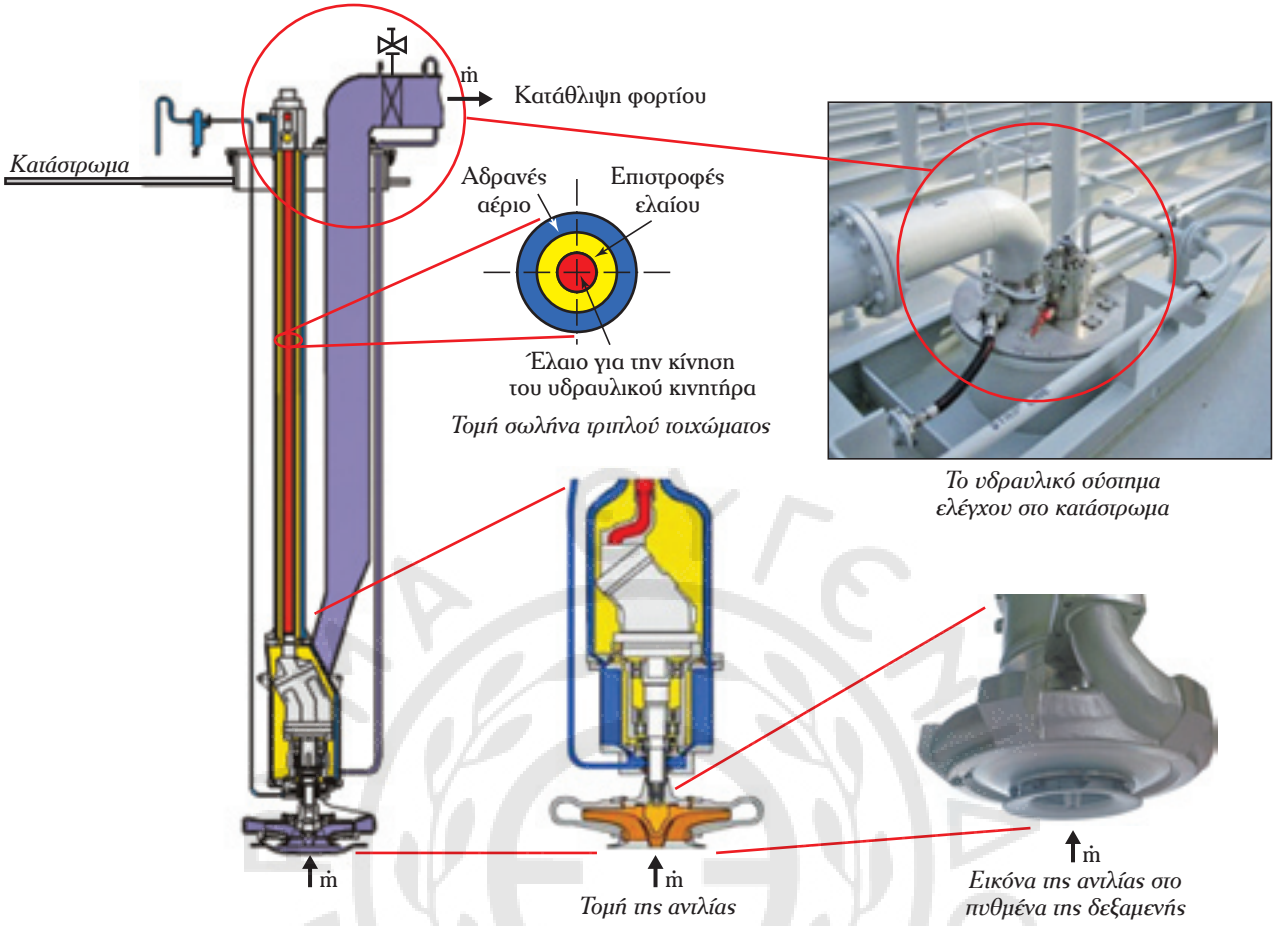
Σχ. 8.6ι

Τυπική διάταξη συστήματος παροχής υδραυλικού ελαίου από κεντρική μονάδα ισχύος.



Σχ. 8.6ια

Τυπική διάταξη στο κατάστρωμα δικτύου παροχής υδραυλικού ελαίου από κεντρική μονάδα ισχύος και διάταξη αντλιών.



Σχ. 8.6ιβ

Τυπική διάταξη αντλίας, σωλήνας παροχής ελαίου και διάταξη ελέγχου υδραυλικού ελαίου.

Στον κεντρικό σωλήνα διέρχεται το υδραυλικό έλαιο με πίεση από τη μονάδα ισχύος, ενώ στο δεύτερο τοίχωμα διέρχονται οι επιστροφές του υδραυλικού ελαίου. Στο εσωτερικό του τρίτου τοιχώματος διέρχεται αέρας ή αδρανές αέριο, δημιουργώντας ένα στεγανό ασφαλείας μεταξύ του υδραυλικού ελαίου και του φορτίου σε περίπτωση διαρροής ή βλάβης σε έναν από αυτούς τους σωλήνες.

Ο άξονας του στροφείου είναι μικρού μήκους και συνδέεται με τον υδραυλικό κινητήρα με σύνδεσμο που ενδέχεται να έχει σφηνοειδή διαμόρφωση ή κατάλληλα διαμορφωμένη υποδοχή στην οποία τοποθετείται μεταλλική προσθήκη. Η στήριξη του άξονα επιτυγχάνεται με ένσφαιρους τριβείς οι οποίοι λιπαίνονται από το υδραυλικό έλαιο που επιστρέφει από τον υδραυλικό κινητήρα στο δίκτυο ισχύος. Η στεγανοποίηση του σωλήνα κυκλοφορίας του υδραυλικού ελαίου με τον άξονα της αντλίας καθώς και με τον εξωτερικό σωλήνα στεγανοποιήσεως ασφαλείας πραγματοποιείται με ***ειδικές τσιμούχες*** (lip type seals) ή με μηχανικούς στυπειοθλίπτες. Με αυτόν τον τρόπο στεγανοποιήσεως αποφεύγεται η ανάμειξη του φορτίου με το υδραυλικό έλαιο λειτουργίας.

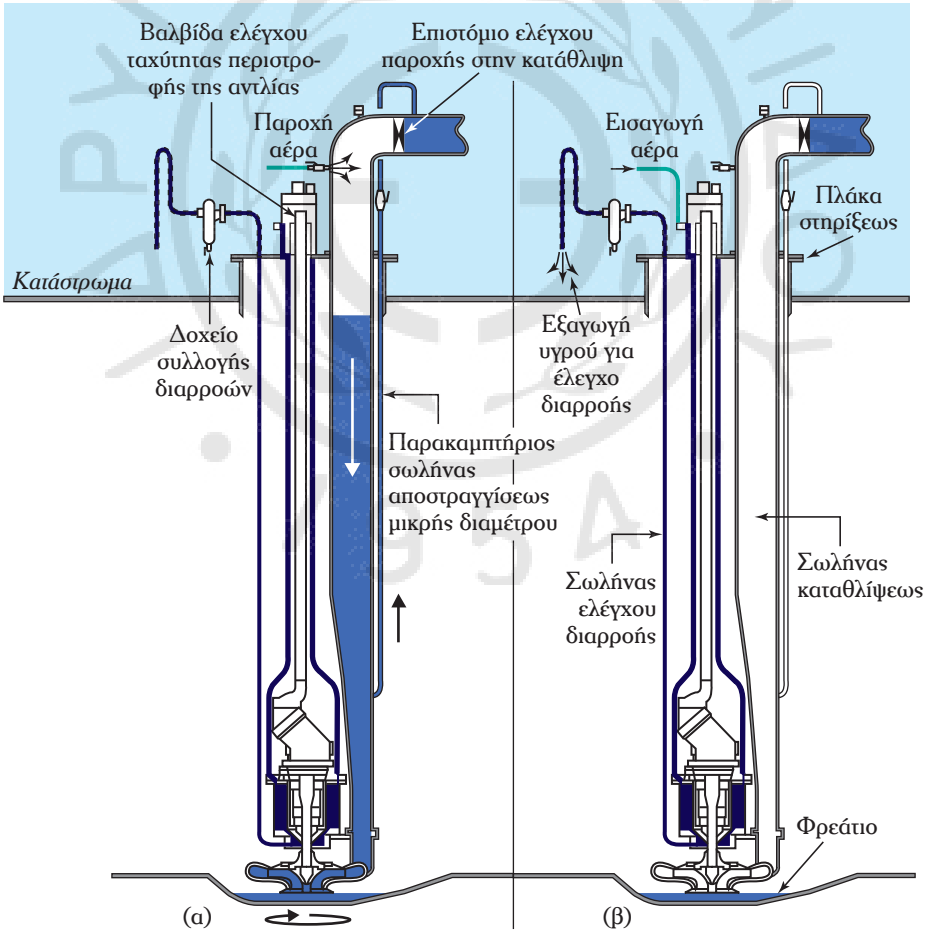
Ο έλεγχος για τυχόν διαρροή ελαίου επιτυγχάνεται με παροχή αέρα με πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα στεγανοποιήσεως, η κατάθλιψη του οποίου πραγματοποιείται μέσω σωλήνα μικρής διαμέτρου, που καταλήγει σε ένα δοχείο συλλογής των διαρροών στο κατάστρωμα κοντά στο σημείο εξαγωγής του σωλήνα καταθλίψεως [σχ. 8.6ιγ(β)]. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με την μέτρηση της ποσότητας διαρροών που συγκεντρώνεται σε δεδομένο χρόνο λειτουργίας.

Πάνω από την πλάκα στηρίξεως του κατακόρυφου σωλήνα για την παροχή ελαίου λειτουργίας της αντλίας, είναι εγκατεστημένη η βαλβίδα παροχής του υδραυλικού ελαίου από την οποία ελέγχεται η ταχύτητα περιστροφής της αντλίας.

Το υγρό από το σπειροειδές κέλυφος της αντλίας καταθλίβεται μέσω ενός σωλήνα παράλληλα εγκατεστημένου με το σωλήνα παροχής και επιστροφών ελαίου λειτουργίας. Ο σωλήνας καταθλίψεως φτάνει έως το κατάστρωμα, όπου είναι εγκατεστημένο το επιστόμιο για τον έλεγχο της ροής προς το δίκτυο εκφορτώσεως του πλοίου.

Για την αποστράγγιση του κατακόρυφου σωλήνα καταθλίψεως με την ολοκλήρωση της εκφορτώσεως της δεξαμενής χρησιμοποιείται συμπιεσμένος αέρας ή αδρανές αέριο. Η παροχή του αέρα ή του αερίου, πραγματοποιείται και με το επιστόμιο καταθλίψεως κλειστό από κατάλληλα εγκατεστημένο σύνδεσμο στο άνω άκρο του σωλήνα στο κατάστρωμα. Η αποστράγγιση πραγματοποιείται μέσω του παρακαμπτηρίου σωλήνα μικρής διαμέτρου που το ένα άκρο του συνδέεται στο κάτω μέρος του σωλήνα καταθλίψεως, ενώ το άλλο μετά το επιστόμιο της καταθλίψεως [σχ. 8.6ιγ(α)]. Επειδή στην αναρρόφηση των βυθιζομένων αντλιών δεν υπάρχει εγκατεστημένη ανεπίστροφη βαλβίδα, η διεργασία αποστραγγίσεως του σωλήνα καταθλίψεως πρέπει να πραγματοποιείται πριν τη διακοπή λειτουργίας της αντλίας.

Η σύνδεση της αντλίας στο κάτω μέρος του σωλήνα, πραγματοποιείται με τέτοιον τρόπο ώστε να μπορεί να απομακρυνθεί με ευκολία σε περίπτωση βλάβης ή για επισκευή, χωρίς να απαιτείται η αποσυναρμολόγηση του σωλήνα παροχής υδραυλικού ελαίου και του σωλήνα καταθλίψεως. Επίσης, στα πλοία με βυθιζόμενες αντλίες όταν η κύρια αντλία της δεξαμενής βρίσκεται εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης, υπάρχουν διαθέσιμες μία ή δύο φορητές υδραυλικές βυθιζόμενες αντλίες οι οποίες εισάγονται από κατάλληλο άνοιγμα του καταστρώματος στη δεξαμενή (με τη χρήση ενός τρίποδα ή βαρούλκου) για την άντληση του φορτίου. Το υδραυλικό λάδι για τη λειτουργία



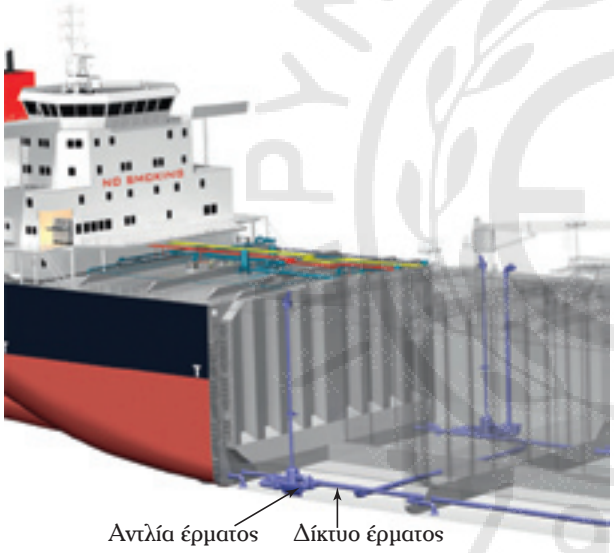
Σχ. 8.6ιγ

Αποστράγγιση και έλεγχος της στεγανοποιήσεως των σωλήνων της αντλίας.
(α) Διαδικασία εκκενώσεως σωλήνα καταθλίψεως, (β) διαδικασία ελέγχου διαρροής.

καθώς και ο σωλήνας καταθλίψεως του φορτίου που συνδέεται στο δίκτυο, είναι ειδικοί εύκαμπτοι σωλήνες που διατίθενται στον εξοπλισμό του πλοίου.

Λόγω της ελλείψεως ανεπίστροφης βαλβίδας στην αναρρόφηση της αντλίας το δίκτυο καταθλίψεως της αντλίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτωση των δεξαμενών. Σε αυτή την περίπτωση, είναι απαραίτητο να υπάρχει μία διάταξη στην αντλία που να συγκρατεί το στροφείο, ώστε να μην περιστρέφεται ανάποδα. Παράλληλα, η ταχύτητα φορτώσεως μειώνεται λόγω των εμποδίων (αντιστάσεων) στη ροή που οφείλονται στο στροφείο.

Όταν οι βυθιζόμενες αντλίες χρησιμοποιούνται για την διαχείριση έρματος, εγκαθίστανται συνήθως μία ή δύο αντλίες κατάλληλα διατεταγμένες στο δίκτυο και προς την πρύμνη. Από το σημείο όπου είναι εγκατεστημένη η αντλία αναπτύσσεται το δίκτυο του έρματος για τις υπόλοιπες δεξαμενές (σχ. 8.6ιδ).



Σχ. 8.6ιδ

Ανάπτυξη δικτύου έρματος με βυθιζόμενες αντλίες.

Η λειτουργία της αντλίας διαχειρίσεως έρματος είναι όμοια με τις αντλίες φορτίου, με τη διαφορά ότι στις αντλίες αυτές το στροφείο σχεδιάζεται για την διαχείριση νερού και πρέπει να είναι πάντα βυθισμένο μέσα σ' αυτό ώστε να διευκολύνεται η αρχική αναρρόφηση.

8.6.4 Βυθιζόμενες αντλίες φορτίου κινούμενες με ηλεκτροκινητήρα.

Οι ***βυθιζόμενες αντλίες με ηλεκτροκινητήρα*** (electric motor driven submersible cargo pumps) χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκφόρτωση πλοίων μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (Liquefied Natural Gas – LNG) και Υγροποιημένων Πετρελαϊκών Αερίων (Liquefied Petroleum Gas – LPG) (σχ. 8.6ιε). Η χρήση τους σε αυτά τα φορτία οφείλεται στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του φορτίου (περίπου –162°C για LNG και για πολλά LPG φορτία κάτω από –50°C) στις οποίες το υδραυλικό έλαιο που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των βυθιζομένων αντλιών με υδραυλικό κινητήρα τις καθιστά ακατάλληλες.

Σχ. 8.6ιε

Αντλία φορτίου εγκατεστημένη σε δεξαμενή πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

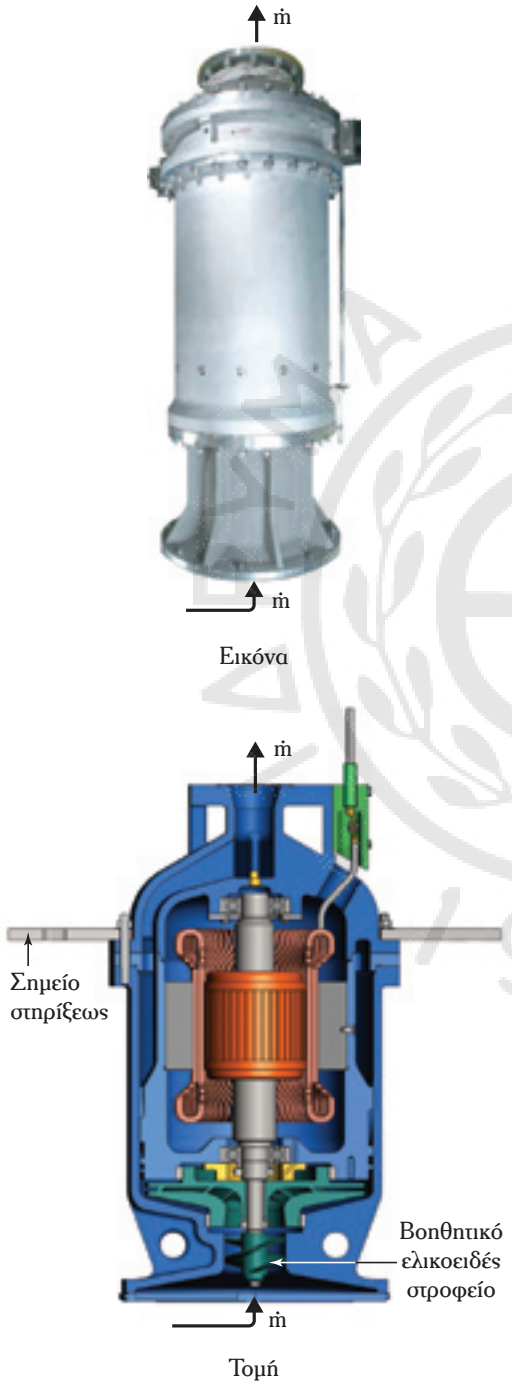
Οι αντλίες αυτές είναι φυγοκεντρικές, κάθετης διατάξεως μονοβάθμιες ή διβάθμιες. Στο κάτω άκρο του άξονα που κινείται από ηλεκτροκινητήρα υπάρχουν εγκατεστημένα τα στροφεία απλής αναρροφήσεως. Επιπλέον στην αναρρόφηση της πτερωτής (της πρώτης βαθμίδας σε αντλίες δύο βαθμίδων), με σκοπό τη μείωση του καθαρού θετικού απαιτούμενου ύψους αναρροφήσεως για την ομαλή λειτουργία της αντλίας, υπάρχει εγκατεστημένο ένα ***επαγωγικό στροφείο*** (βοηθητική πτερωτή τύπου έλικας – inducer).

Η βυθιζόμενη αντλία με ηλεκτροκινητήρα αποτελεί ένα ενιαίο σύνολο (σχ. 8.6ιστ) και τοποθετείται μία αντλία σε κάθε δεξαμενή. Το υγρό φορτίο εισέρχεται από το άνοιγμα αναρροφήσεως των στροφείων στο κάτω μέρος της αντλίας και καθώς καταθλίβεται από το στροφείο διέρχεται μέσω μίας δακτυλιοειδούς διόδου που σχηματίζεται μεταξύ του πλαισίου του κινητήρα και του εξωτερικού κελύφους που τον περιβάλλει.

Μία ποσότητα από το υγρό που αντλείται ρέει διά μέσου του κινητήρα, όπου εκτός από την ψύξη του κινητήρα λιπαίνει και τους ένσφαιρους τριβείς που υποστηρίζουν τον κοινό άξονα του κινητήρα όπου

είναι εγκατεστημένα και τα στροφεία της αντλίας. Μετά την διέλευση του υγρού φορτίου από τη δακτυλιοειδή δίοδο του κινητήρα, καταθλίβεται στον κατακόρυφο σωλήνα που οδηγεί στο κατάστρωμα του πλοίου όπου αναπτύσσεται το δίκτυο εκφορτώσεως.

Οι κινητήρες των αντλιών είναι ειδικά κατασκευασμένοι ώστε να λειτουργούν ***χωρίς κίνδυνο πρόκλησεως εκρήξεως*** (explosion-protected, Ex-e) ακολουθώντας τους αυστηρούς κανονισμούς που ορίζει ο Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τα Μηχανήματα των Πλοίων Μεταφοράς Υγροποιημένων Χύδην Φορτίων (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, IGC Code).



Σχ. 8.6ιστ
Βυθιζόμενη αντλία με πλεκτροκινητήρα.

Εκτός από τις κύριες αντλίες εκφορτώσεως βυθιζόμενου τύπου που χρησιμοποιούνται στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, εγκαθίστανται και μικρότερες αντλίες. Η εγκατάσταση αυτών των αντλιών εξυπηρετεί την προετοιμασία (ψύξη) των δεξαμενών πριν τη φόρτωση ψεκάζοντας υγροποιημένο φορτίο στο εσωτερικό των δεξαμενών μέσω ακροφυσίων για την απαγωγή της θερμότητας, και την αποστράγγιση των δεξαμενών από το φορτίο που δεν μπορεί να αντληθεί από τις κύριες αντλίες.

8.6.5 Περιστροφικές αντλίες φορτίου.

Οι ***περιστροφικές αντλίες*** (rotary cargo pumps) χρησιμοποιούνται σε πλοία που μεταφέρουν παχύρρευστα (μεγάλου ιξώδους) υγρά φορτία. Οι τύποι των αντλιών που χρησιμοποιούνται είναι πολλαπλού σπειροειδούς στροφείου ή με λοβούς (παράγρ. 2.7). Ενδέχεται όμως και σε πλοία με φυγοκεντρικές αντλίες εκφορτώσεως να χρησιμοποιούνται περιστροφικές αντλίες μικρότερης παροχής για την αποστράγγιση των δεξαμενών, οι οποίες είναι σπειροειδούς στροφείου, με λοβούς ή με ολισθαίνοντα πτερύγια.

Όταν οι περιστροφικές αντλίες χρησιμοποιούνται ως κύριες αντλίες φορτίου δύναται να είναι εγκατεστημένες είτε σε αντλιοστάσιο και να αναπτύσσεται δίκτυο αναρροφήσεως και καταθλίψεως στο πλοίο μέσω του οποίου διέρχεται το φορτίο, είτε ως βαθέος φρεατίου εγκαθιστώντας συνήθως μία αντλία στον πυθμένα κάθε δεξαμενής.

Ο ηλεκτροκινητήρας, που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των αντλιών που εγκαθίστανται στο αντλιοστάσιο, τοποθετείται στο μηχανοστάσιο και από την φρακτή μεταξύ αντλιοστασίου και μηχανοστασίου διέρχεται ο άξονας μεταδόσεως της κινήσεως στην αντλία. Η στεγανοποίηση της περιοχής απ' την οποία διέρχεται ο άξονας επιτυγχάνεται με στυπειοθλίπτη απομονώνοντας το χώρο του αντλιοστασίου από τον χώρο των κινητήρων, άρα και την εξάλειψη του κινδύνου εκρήξεως λόγω των αερίων του υγρού φορτίου.

Στις αντλίες βαθέος φρεατίου, όπου σε κάθε δεξαμενή εγκαθίσταται και μία αντλία, αυτή κινείται από ηλεκτροκινητήρα εγκατεστημένο στο κατάστρωμα, ενώ η μετάδοση της κινήσεως πραγματοποιείται από άξονα που φτάνει στον πυθμένα της δεξαμενής όπου βρίσκεται η αντλία. Η κατάθλιψη της αντλίας πραγματοποιείται από κατακόρυφο σωλήνα που φτάνει έως το κατάστρωμα. Σε πολλές αντλίες ο άξονας μεταδόσεως της κινήσεως βρίσκεται στον κατακόρυφο σωλήνα καταθλίψεως. Έτσι η λίπανση των τριβέων εδράσεως που απαιτούνται για να διατηρήσουν τον άξονα σταθερό, επιτυγχάνεται από υγρό φορτίο που διαρρέει το δίκτυο καταθλίψεως. Η παροχή της αντλίας δύναται να ρυθμίζεται είτε μέσω της μεταβολής των στροφών περιστροφής του κινητήρα, είτε μέσω υδραυλικής διατάξεως που μεταβάλλει την παροχή καταθλίψεως της αντλίας (δηλ. με τον περιορισμό της παροχής με χρήση επιστομίου το οποίο δημιουργεί πτώση πιέσεως).

8.6.6 Παλινδρομικές αντλίες φορτίου.

Οι ***παλινδρομικές αντλίες φορτίου*** (reciprocating cargo pumps) είναι άμεσης δράσεως που χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει διαθέσιμος ατμός στο πλοίο. Σε πολλές αντλίες αυτού του τύπου τα έμβολα είναι διπλής ενέργειας και η λειτουργία τους είναι όμοια με τις εμβολοφόρες αντλίες της παραγράφου 2.6.

Χρησιμοποιούνται κυρίως ως αντλίες αποστραγγίσεως (stripping pumps) των δεξαμενών, σε πλοία όπου χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες με ατμοστρόβιλο ως κύριες αντλίες φορτίου. Έχουν μικρότερη παροχή από τις φυγοκεντρικές και είναι εγκατεστημένες στο αντλιοστάσιο του πλοίου. Η αναρρόφηση και η κατάθλιψή τους συνδέεται στο δίκτυο των φυγοκεντρικών αντλιών μέσω καταλλήλων παρακάμψεων.

8.6.7 Αντλίες συστήματος αδρανούς αερίου (inert gas system pumps)[9].

Λόγω των ιδιοτήτων του υγρού φορτίου να παράγει εύφλεκτα αέρια στις δεξαμενές χρησιμοποιείται το σύστημα παραγωγής αδρανούς αερίου, το οποίο διοχετεύεται στις δεξαμενές εξαλείφοντας τον κίνδυνο εκρήξεως και πυροσβέσεως.

Οι ***αντλίες παροχής νερού στον πύργο πλύσεως αδρανούς αερίου*** (scrubber) είναι μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες, συνήθως κάθετης διατάξεως και με στροφείο απλής αναρροφήσεως. Είναι εγκατεστημένες χαμηλά στο μηχανοστάσιο, αναρροφούν θαλασσινό νερό και το καταθλίβουν μέσω ακροφυσίων στον ***πύργο πλύσεως*** (scrubber) και ψύξεως των καυσαερίων του λέβητα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αδρανούς αερίου.

Όμοιες είναι και οι αντλίες για την παροχή του θαλασσινού νερού που χρησιμοποιούνται όταν, αντί για καυσαέρια από τον λέβητα, παράγεται αδρανές αέριο από γεννήτρια αδρανούς αερίου.

Στο ίδιο σύστημα αδρανούς αερίου εγκαθίσταται και μία ξεχωριστή φυγοκεντρική αντλία μικρότερης παροχής η οποία χρησιμοποιείται για την κατάθλιψη του θαλασσινού νερού στην ανεπίστροφη δεξαμενή στεγανοποιήσεως (deck seal) του δικτύου αδρανούς αερίου που βρίσκεται στο κατάστρωμα. Η αντλία είναι εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο και επειδή εξυπηρετεί αυτή τη δεξαμενή ονομάζεται ***αντλία στεγανοποιήσεως δικτύου αδρανούς αερίου*** (deck seal pump).

8.6.8 Αντλίες καθαρισμού δεξαμενών φορτίου (tank cleaning pumps).

Ο καθαρισμός των δεξαμενών (tank cleaning) ενδέχεται να πραγματοποιείται είτε με θαλασσινό νερό είτε με πλύση με το ίδιο το φορτίο στα πλοία μεταφοράς αργού πετρελαίου (cow crude oil washy).

Για τον καθαρισμό με θαλασσινό νερό συνήθως η παροχή του γίνεται από την φυγοκεντρική αντλία γενικής χρήσεως ή από κάποια αντλία πυροσβέσεως, που βρίσκονται εγκατεστημένες στο μηχανοστάσιο.

Στην πλύση με αργό πετρέλαιο το φορτίο που χρησιμοποιείται καταθλίβεται από τις ίδιες αντλίες εκφορτώσεως, άρα για κάθε πλοίο τα χαρακτηριστικά της αντλίας που χρησιμοποιείται στο πλύσιμο με αργό πετρέλαιο είναι αυτά που ισχύουν και για τις αντλίες φορτίων.

[9] Για το σύστημα αδρανούς αερίου βλ. Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων, Ι. Δάγκινη, Α. Γλύκα, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2015, κεφ. 9.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Στεγανοποίηση, έδρανα, εκκίνηση και λειτουργία αντλιών

9.1 Στεγανοποίηση αντλιών.

Οι αντλίες αποτελούνται από εξαρτήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός ενιαίου μηχανήματος. Επομένως, στις συνδέσεις είναι απαραίτητη η παρουσία ενός μέσου που θα καλύψει τις μικρές ατέλειες των μεταλλικών επιφανειών που συνδέονται, προλαμβάνοντας τη διαρροή προς το περιβάλλον του υγρού που διακινείται. Οι ***εσωτερικές διαρροές*** και η απομόνωση των χώρων διακινήσεως του υγρού, ***προλαμβάνονται***:

1) Με τα ελατήρια των εμβόλων στις εμβολοφόρες αντλίες.

2) Με το ίδιο το διακινούμενο ρευστό στις περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, το οποίο δημιουργεί τη στεγανοποίηση μεταξύ των διακένων σταθερών και κινητών μερών, επιτρέποντας ταυτόχρονα την περιστροφή του στροφείου και

3) με τους δακτυλίους τριβής μεταξύ στροφείου και κελύφους στις δυναμικές αντλίες.

Για την πρόληψη των ***εξωτερικών διαρροών*** το μέσο στεγανοποιήσεως εξαρτάται από παράγοντες όπως το σημείο όπου τοποθετείται, το υγρό που διακινείται, λαμβάνοντας υπόψη τις διαβρωτικές και χημικές του ιδιότητες, η πίεση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της αντλίας, η θερμοκρασία του υγρού, ο τύπος της αντλίας και οι τριβές, εάν αναπτύσσονται. Έτσι χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα μέσα στεγανοποιήσεως, σε σχήμα που θα εφαρμόζει με ακρίβεια στις επιφάνειες, επιτυγχάνοντας το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τα ***μέσα στεγανοποιήσεως*** (sealing means), σύμφωνα με το σημείο εφαρμογής τους, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής δύο κατηγορίες:

1) Στα μέσα ***στατικής στεγανοποιήσεως*** που εφαρμόζονται στη στεγανοποίηση των κυλίνδρων με τα καπάκια, των καπακιών με τις βαλβίδες, στις συνδέσεις των αντλιών διαιρούμενου κελύφους, στις συνδέσεις των περιαυχενίων [κοινώς φλάντζες (flanges)] με το δίκτυο και στη σύνδεση εξαρτημάτων που μπορεί να εφάπτονται στην αντλία, όπως τα εξαεριστικά ή οι αντλίες απαγωγής του αέρα.

Τα μέσα στατικής στεγανοποιήσεως είναι τα ***παρεμβύσματα*** [κοινώς τσόντες (gaskets)]. Παρέμβυσμα ονομάζεται η «μηχανική σφράγιση», η οποία γεμίζει το χώρο ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες επιφάνειες συζεύξεως. Σκοπό έχει την πρόληψη της διαρροής από την πίεση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της αντλίας ή την αποτροπή της εισόδου αέρα στο θάλαμο ή τους θαλάμους απ' όπου διέρχεται το υγρό. Τα παρεμβύσματα συνήθως κατασκευάζονται με την κοπή ειδικών φύλλων διαφόρων διαστάσεων που υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο (π.χ. 1×1 m ή $1 \times 1{,}5$ m), και σε διάφορα πάχη (π.χ. 1 mm, 2 mm κ.λπ.) ή διατίθενται έτοιμα προς χρήση από τον κατασκευαστή στις απαιτούμενες για κάθε εφαρμογή διαστάσεις. Η κοπή του παρεμβύσματος (όταν γίνεται από το πλήρωμα του πλοίου), πρέπει να πραγματοποιείται με ακρίβεια και να καλύπτει όλη την επιφάνεια του σημείου συζεύξεως, διαφορετικά μειώνεται η αποτελεσματικότητα της στεγανοποιήσεως.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των παρεμβυσμάτων είναι το βελανιδόχαρτο[1], ο απλός περμανίτης από aramid[2] (χωρίς αμίαντο λόγω των κινδύνων για την υγεία) και ο περμανίτης που περιέχει καθαρό γραφίτη. Όλα αυτά τα υλικά διατίθενται σε διάφορα πάχη και διαστάσεις, όμως ειδικά στη στεγανοποίηση του κελύφους των αντλιών, θα πρέπει το πάχος να είναι πολύ μικρό. Σε διαφορετική περίπτωση θα επηρεαστούν τα διάκενα μεταξύ των κινητών και των σταθερών μερών της αντλίας, με αποτέλεσμα την δυσλειτουργία της, με μεγάλο κίν-

---

[1] ***Βελανιδόχαρτο***, πρόκειται για εμπορική ονομασία του υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή παρεμβυσμάτων σε φύλλα διαφόρων διαστάσεων και πάχους και αποτελείται από κυτταρώδεις ίνες εμποτισμένες με ***σύνθεση κόλλας*** γλυκερίνης.

[2] ***Ίνες Aramid*** (αραμίδιο) είναι μία κατηγορία συνθετικών ινών, ανθεκτικών στη θερμότητα και την ισχυρή πίεση.

δυνο να προκληθεί σοβαρή βλάβη. Επίσης δύναται για τη στεγανοποίηση να χρησιμοποιούνται δακτύλιοι από ανθεκτικό ελαστικό που τοποθετούνται σε κατάλληλα διαμορφωμένα αυλάκια.

2) Στα μέσα ***στεγανοποιήσεως κινουμένων μερών***, που εφαρμόζονται στη στεγανοποίηση των βάκτρων των εμβόλων που παλινδρομούν και των αξόνων μεταδόσεως της κινήσεως των πτερωτών.

Με αυτά προλαμβάνονται οι διαρροές όταν: η στάθμη του υγρού που αναρροφάται βρίσκεται υψηλότερα από την αντλία και εισέρχεται σ' αυτήν με τη βαρύτητα ή η αντλία βρίσκεται υψηλότερα από τη στάθμη του υγρού που αναρροφά, ώστε η άντληση να επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη κενού. Τότε με τα στεγανοποιητικά μέσα εμποδίζεται η είσοδος του αέρα, η οποία καθιστά προβληματική την εκκίνηση αλλά και τη λειτουργία της.

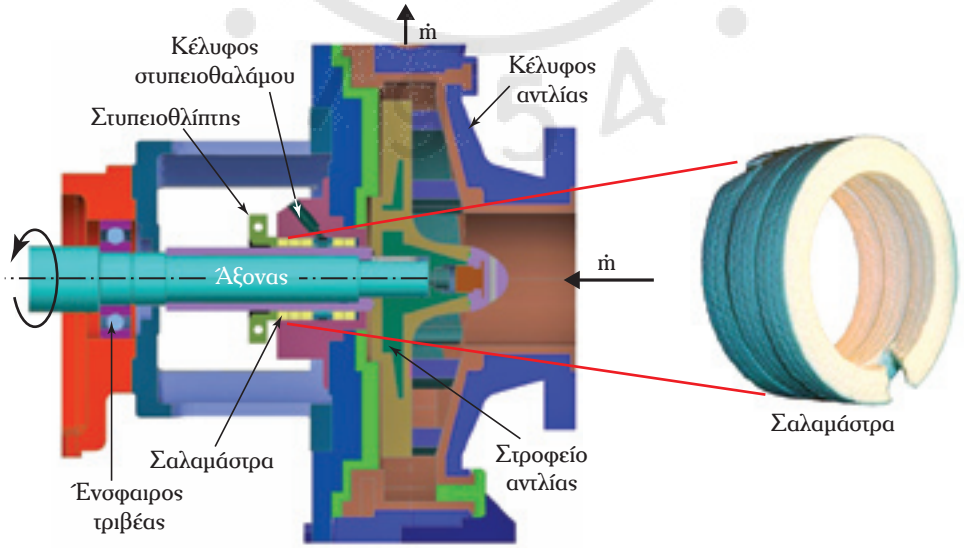
Τα μέσα στεγανοποιήσεως των κινουμένων μερών είναι τα ακόλουθα:

α) Τα ***στυπεία*** (glad packing) (σαλαμάστρες), τοποθετούνται σε στυπειοθάλαμο που δημιουργείται στο κέλυφος της αντλίας ή στο σώμα των κυλίνδρων στο σημείο απ' όπου διέρχεται ο άξονας της πτερωτής ή το βάκτρο του εμβόλου αντίστοιχα. Το μαλακό υλικό κατασκευής τους επιτρέπει να συμπιέζονται από τον στυπειοθλίπτη. Ο συμβατικός στυπειοθλίπτης (σχ. 9.1α) είναι ένας δακτύλιος με περιαυχένιο και δύο οπές αντιδιαμετρικά απ' όπου διέρχονται τα μπουλόνια (άξονες με σπείρωμα που μοιάζουν με βίδες), πάνω στις οποίες εφαρμόζονται παξιμάδια. Τα μπουλόνια είναι τοποθετημένα στο σώμα της αντλίας και καθώς διέρχονται από τις οπές του στυπειοθλίπτη παρέχεται η δυνατότητα με την σύσφιγξη ή την ρύθμιση των παξιμαδιών, ο στυπειοθλίπτης να συμπιέζει τα στυπεία. Η ***συμπίεση των στυπείων προκαλεί την εκτόνωσή τους*** μέσα στον στυπειοθάλαμο και την ελαχιστοποίηση του διακένου μεταξύ άξονα και στυπείων. Έτσι, επιτυγχάνεται η αποφυγή διαρροής από την αντλία, αλλά ταυτόχρονα η περιστροφή ή η παλινδρόμηση του διερχόμενου άξονα με ευκολία. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η στεγανότητα με τους συμβατικούς στυπειοθλίπτες και τα στυπεία (σχ. 9.1α), είναι αρκετή η τοποθέτηση 4-6 στυπείων στον στυπειοθάλαμο.

Στο εμπόριο διατίθενται διάφορα είδη στυπείων (σαλαμαστρών) κάθε ένα απ' τα οποία είναι κατασκευασμένη από υλικό κατάλληλο για το ρευστό που διακινείται από την αντλία, την πίεση που αναπτύσσεται, τη θερμοκρασία και, όταν πρόκειται να τοποθετηθούν σε φυγοκεντρική αντλία, λαμβάνεται υπόψη η ταχύτητα περιστροφής του άξονα.

Η σωστή επιλογή της σαλαμάστρας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί δεν διασφαλίζει μόνο τη στεγανότητα, αλλά και την προστασία των αξόνων από τη διάβρωση. Σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους μπορούν να ταξινομηθούν γενικά σε διάφορους τύπους. Μερικοί ενδεικτικοί τύποι σαλαμαστρών είναι από:

– ***Λινάρι εμποτισμένο με Teflon*** που είναι κατάλληλες για χρήση σε άξονες πλοίων, υδραυλικά συστήματα και άλλες ναυπηγικές εφαρμογές. Οι συνθήκες λειτουργίας που ανταποκρίνεται αυτός ο τύπος είναι σε πίεση 80 bar, σε θερμο-



Σχ. 9.1α
Στυπειοθλίπτης και σαλαμάστρες.

κρασία 150°C, σε ταχύτητα περιστροφής του άξονα της αντλίας ***5 m/s*** και σε ρευστά με δείκτη αλκαλικότητας (ph) ***ph 5-10***.

– ***Βαμβακερές ίνες εμποτισμένες με Teflon*** και ειδικό λιπαντικό, που εξασφαλίζουν ελάχιστη φθορά των αξόνων. Αποτελούν έναν τύπο γενικής χρήσεως σε ναυπηγικές εφαρμογές και οι συνθήκες λειτουργίας που ανταποκρίνεται είναι σε πίεση 200 bar, σε θερμοκρασία 100°C, σε ταχύτητα περιστροφής του άξονα της αντλίας ***10 m/s*** και σε ρευστά με ***ph 2-10***.

– ***Λιπαντικό υψηλής θερμοκρασίας***. Είναι κατάλληλες για χρήσεις σε περιστροφικές και παλινδρομικές αντλίες που διαχειρίζονται γενικώς χημικά έλαια, διαλύτες, ελαφρά οξέα, κ.ά.. Οι συνθήκες λειτουργίας που ανταποκρίνεται αυτός ο τύπος είναι σε πίεση 140 bar, σε θερμοκρασία +260°C, σε ταχύτητα περιστροφής του άξονα της αντλίας ***10 m/s*** και σε ρευστά με ***ph 3-12***.

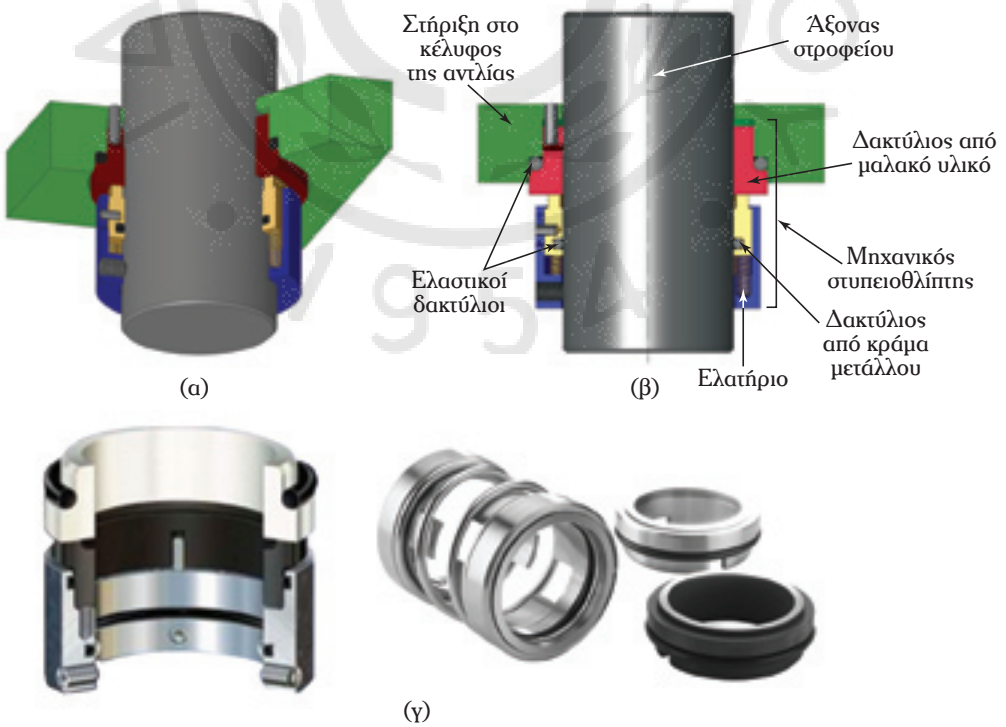
– ***Ίνες καθαρού γραφίτη*** 98% με προσθήκη σωματιδίων Inconel. Οι συνθήκες λειτουργίας που ανταποκρίνεται αυτός ο τύπος σαλαμάστρας είναι σε πίεση 300 bar, σε θερμοκρασία –190 έως +650°C, ενώ σε μη οξειδωτικό περιβάλλον –190 έως ***+3.000°C*** και σε ρευστά με ***ph 0-14***.

– ***Ανόργανες ύλες*** με την προσθήκη ορυκτέλαιου και γραφίτη. Οι σαλαμάστρες αυτές είναι κατάλληλες για αντλίες που περιέχουν νερό, αλκάλια, έλαια και γενικώς χημικά και ανταποκρίνονται σε πίεση 140 bar, σε θερμοκρασία +480°C, σε ταχύτητα ***15 m/s*** και σε ρευστά με ***ph 3-12***.

Στα πλοία χρησιμοποιούνται σαλαμάστρες είτε ως έτοιμα προκατασκευασμένα δαχτυλίδια, είτε από ρολό από το οποίο κόβεται το απαραίτητο μήκος. Το σωστό μήκος μπορεί να μετρηθεί τυλίγοντας τη σαλαμάστρα γύρω από τον άξονα ή να μετρηθεί η περιφέρεια του άξονα και ανάλογα να κοπεί το μήκος της σαλαμάστρας.

Η κοπή των τεμαχίων της σαλαμάστρας πρέπει να είναι διαγώνια, ώστε καθώς τυλίγονται γύρω από τον άξονα να καλύπτονται οι δύο άκρες κατά την εφαρμογή παρέχοντας καλύτερη στεγανοποίηση. Η ένωση κατά την τοποθέτησή του δεν πρέπει να συμπίπτει γι' αυτό τοποθετούνται με διαφορά στην ένωση 90°. Η σύσφιγξη κατά την εφαρμογή πραγματοποιείται με πίεση του στυπειοθλίπτη 1,5 έως 2 φορές την πίεση λειτουργίας.

β) Οι ***μηχανικοί στυπειοθλίπτες*** (mechanical seals) (σχ. 9.1β), χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση των αξόνων στις φυγοκεντρικές αντλίες.



Σχ. 9.1β

Μηχανικός στυπειοθλίπτης.

(α) Εγκατάσταση στον άξονα. (β) Τομή εγκατεστημένου μηχανικού στυπειοθλίπτη. (γ) Πραγματική εικόνα στυπειοθλίπτη.

Λόγω της αποδόσεώς τους έχουν αντικαταστήσει τα στυπεία. Εγκαθίστανται στο ειδικής διαμορφώσεως σημείο του κελύφους, από το οποίο διέρχεται ο άξονας του στροφείου. Αποτελούνται από μεταλλικούς δακτυλίους και δακτυλίους από μαλακό υλικό (π.χ. κράμα κάρβουνου και γραφίτη), με ειδική διαμόρφωση. Ο ένας μεταλλικός δακτύλιος στερεώνεται στον άξονα με βίδες, ώστε να διατηρείται η θέση του και να περιστρέφεται με τον άξονα. Στο εσωτερικό αυτού του δακτυλίου εφαρμόζεται περιφερειακά ελαστικός δακτύλιος (o-rings) στεγανότητας, αποτρέποντας τη διαρροή του υγρού.

Ο δακτύλιος από μαλακό υλικό εφαρμόζεται είτε στο κέλυφος της αντλίας με λάστιχο στεγανοποιήσεως όπου παραμένει σταθερός, είτε με πίρο στον κινούμενο δακτύλιο όπου παρασύρεται από αυτόν. Ένας ακόμα μεταλλικός δακτύλιος, που ονομάζεται ***δακτύλιος τριβής***, χρησιμοποιείται ανάλογα με τον τύπο του μηχανικού στυπειοθλίπτη και εφαρμόζεται αντίθετα από τη θέση του δακτυλίου από μαλακό υλικό, είτε στο κέλυφος της αντλίας είτε στον κινούμενο δακτύλιο. Με αυτόν τον τρόπο το σημείο επαφής των δύο δακτυλίων, δηλαδή του μαλακού δακτυλίου από κάρβουνο-γραφίτη (carbon-graphite) και του δακτυλίου τριβής, αποτελεί το σημείο στεγανοποιήσεως της αντλίας, αποτρέποντας τη διαρροή αλλά ταυτόχρονα επιτρέποντας την περιστροφή του άξονα.

Η συνεχής επαφή των δύο δακτυλίων που χρησιμοποιούνται στη στεγανοποίηση κατά την περιστροφή του άξονα επιτυγχάνεται με την ένταση ελατηρίου, που υπάρχει κάτω από έναν ενδιάμεσο δακτύλιο ενισχύσεως που ωθεί τον δακτύλιο από το μαλακό υλικό. Όταν ο δακτύλιος από το μαλακό υλικό τοποθετείται σταθερά στο κέλυφος, το ελατήριο ωθεί τον δακτύλιο τριβής με τον ίδιο τρόπο λειτουργίας.

Οι μηχανικοί στυπειοθλίπτες μπορεί να χρησιμοποιούνται σε όλων των ειδών τα υγρά που διακινούνται από τις αντλίες, ιδιαίτερα εάν η αντλία λειτουργεί με πολλές στροφές, όταν τα υγρά είναι διαβρωτικά, καθώς και σε υψηλές θερμοκρασίες εφόσον είναι ανθεκτικοί έως 260°C.

Οι μηχανικοί στυπειοθλίπτες σε σύγκριση με τις σαλαμάστρες ***πλεονεκτούν*** στο ότι:

– Ελαχιστοποιείται η απώλεια ισχύος, διότι μεταξύ των επιφανειών στεγανοποιήσεως οι τριβές που αναπτύσσονται είναι μικρές.
– Διατηρούν τη στεγανότητά τους σε μικρές μετατοπίσεις και κραδασμούς του άξονα.
– Ο άξονας δεν τρίβεται με το στεγανοποιητικό, όπως συμβαίνει με τις σαλαμάστρες, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους επισκευής, διότι δεν φθείρεται ο άξονας.
– Μετά την τοποθέτηση δεν απαιτείται ρύθμιση για τη στεγανοποίηση.

Μειονεκτούν:

– Στην ευαισθησία του δακτυλίου από μαλακό υλικό που είναι εύθραυστος και εύκολα καταστρέφεται από λανθασμένους χειρισμούς και σύσφιγξη.
– Στο υψηλό κόστος τους, ειδικά όσοι χρησιμοποιούνται σε αντλίες που διαρρέονται από παράγωγα του πετρελαίου και ιδιαίτερα διαβρωτικά ρευστά και
– στην αδυναμία ρυθμίσεως όταν τοποθετηθούν, διότι απαιτείται η αποσυναρμολόγηση της αντλίας.

γ) Οι ***τσιμούχες άξονα***[3] χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση περιστρεφομένων αξόνων μεταδόσεως της κινήσεως του στροφείου και τοποθετούνται στο σημείο όπου ο άξονας εισέρχεται στο κέλυφος της αντλίας. Κατασκευάζονται σε σχήμα «U» και το υλικό ενδέχεται να είναι:

– είτε ελαστομερές (λάστιχο) εσωτερικά στο σημείο που έρχεται σε επαφή με τον άξονα και μεταλλικός δακτύλιος εξωτερικά για τη στερέωση στο σημείο εφαρμογής τους (σχ. 9.1γ),

Σχ. 9.1γ
Τσιμούχες από ελαστομερές υλικό με μεταλλικό δακτύλιο και ελατήριο.

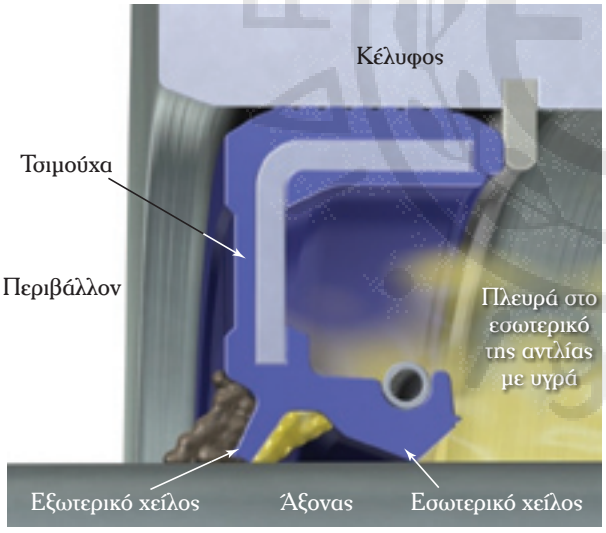
– είτε μόνο από ελαστομερές υλικό (σχ. 9.1δ). Σε αυτήν την περίπτωση απαιτούνται περισσότερες από μία τσιμούχες, ενώ για να διατηρηθούν στο σημείο εφαρμογής τους χρησιμοποιείται και ένας δακτύλιος στηρίξεως.

[3] Η στεγανοποίηση με τσιμούχες άξονα είναι γνωστή και ως στεγανοποίηση χείλους lip seal.

Σχ. 9.1δ
Τσιμούχες εξ ολοκλήρου από ελαστομερές υλικό.

Οι τσιμούχες εγκαθίστανται όπως εικονίζεται στο σχήμα 9.1ε με την εσωτερική πλευρά του «U» προς το εσωτερικό της αντλίας, ενώ η πίεση που μπορούν να αντιμετωπίσουν φτάνει από 200 έως 300 bar (ανάλογα με τον τύπο) και θερμοκρασία που αγγίζει τους 105°C.

Το σημείο επαφής της τσιμούχας με τον άξονα σχηματίζει δύο γωνίες (ή χείλη – lips). Το ένα χείλος είναι προς την εξωτερική πλευρά που έρχεται σε επαφή με τον αέρα, ενώ το άλλο έρχεται σε επαφή με το υγρό και αντιμετωπίζει την πίεση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της αντλίας (σχ. 9.1ε).



Σχ. 9.1ε
Εγκατάσταση τσιμούχας.

Στον πρώτο τύπο τσιμούχας με τη μεταλλική ενίσχυση (ο οποίος είναι και ο πλέον συνηθισμένος), στο εσωτερικό υπάρχει ελατήριο το οποίο συγκρατεί σε επαφή τα χείλη με τον άξονα. Η πίεση του ελατηρίου αντισταθμίζει τη λειτουργική φθορά, η οποία οφείλεται στην τριβή του ελαστικού με τον μεταλλικό άξονα. Προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή στεγανοποίηση χρησιμοποιείται μόνο μία τσιμούχα τέτοιου τύπου.

Στο δεύτερο τύπο, εξ ολοκλήρου από ελαστομερές, η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με την πίεση του δακτυλίου συγκρατήσεως που αποτελεί ένα μέσο ρυθμίσεως της τσιμούχας. Οι τσιμούχες αυτές συνήθως τοποθετούνται δύο ή τρεις σε σειρά, οι οποίες συγκρατούνται ενωμένες μεταξύ τους με ***ειδικό συνδετήρα*** (cartridge design).

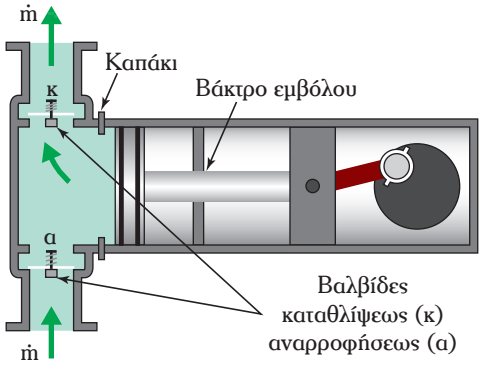
Οι τσιμούχες συνήθως συναντώνται σε περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, όπως σε αντλίες με λοβούς, γραναζωτές, κοχλιοειδείς και με ολισθαίνοντα πτερύγια.

Εκτός από ελαστομερές υλικό ενδέχεται να κατασκευάζονται και από τεφλόν, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερες πιέσεις και θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα είναι κατάλληλες για αντλίες που λειτουργούν με υψηλές στροφές.

9.1.1 Στεγανοποίηση εμβολοφόρων αντλιών.

Στις θετικής εκτοπίσεως εμβολοφόρες αντλίες η στεγανοποίηση (σχ. 9.1στ) συνήθως απαιτείται: στην περιοχή συνδέσεως του καπακιού με τον κύλινδρο όπου παλινδρομεί το έμβολο, επάνω στο καπάκι στην περιοχή όπου τοποθετούνται οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως και στην περιοχή απ' όπου διέρχεται το βάκτρο του εμβόλου στο θάλαμο του κυλίνδρου και στα περιαυχένια (φλάντζες) συνδέσεων του κυλίνδρου με το δίκτυο αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

Για τη στεγανοποίηση σε κάθε περιοχή χρησιμοποιείται και κατάλληλο στεγανοποιητικό μέσο ή υλικό. Έτσι στην περιοχή ενώσεως του σώματος του κυλίνδρου με το καπάκι, στην περιοχή της στεγανο-



Σχ. 9.1στ
Ενδεικτικά σημεία στεγανοποιήσεως εμβολοφόρου αντλίας.

ποιήσεως των βαλβίδων και στα περιαυχένια συνδέσεως χρησιμοποιείται συνήθως βελανιδόχαρτο ή πολύ μικρού πάχους περμανίτης. Ενδέχεται όμως σε κάποιους τύπους αντλιών σε αυτές τις περιοχές συνδέσεως να υπάρχει διαμόρφωση των επιφανειών με αυλάκι μέσα στο οποίο τοποθετείται ελαστικός δακτύλιος (o-ring).

Στην περιοχή απ' την οποία διέρχεται το βάκτρο του εμβόλου από το σώμα του κυλίνδρου, υπάρχει στυπειοθάλαμος όπου τοποθετούνται στυπεία και πιέζονται από στυπειοθλίπτη τόσο, ώστε να μην διαρρέει υγρό από το εσωτερικό της αντλίας.

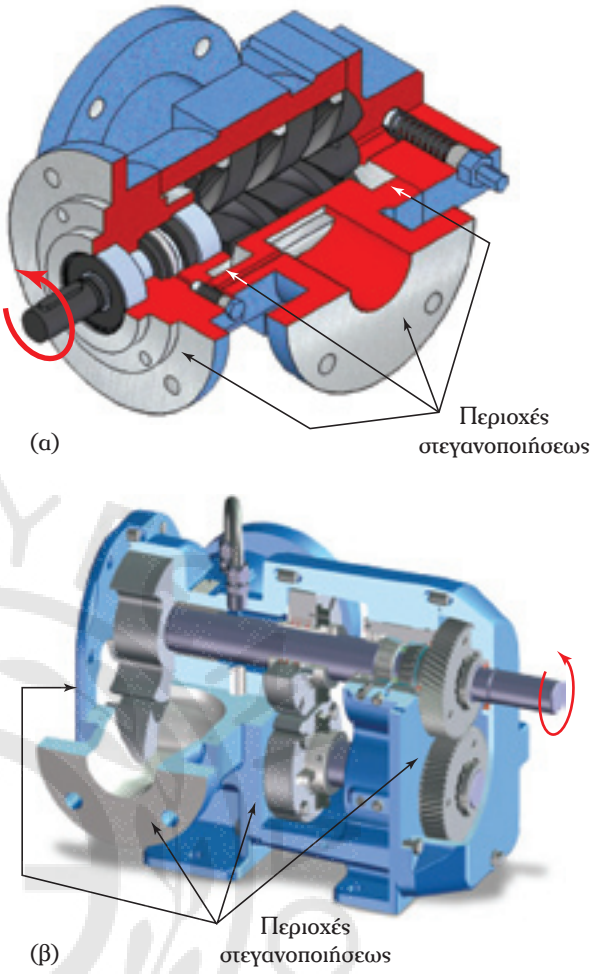
Η εμφάνιση υγρασίας ή κάποιες σταγόνες στο στυπειοθλίπτη είναι επιθυμητή και δεν αποτελεί δυσλειτουργία ή ελλιπή στεγανοποίηση, διότι το υγρό λειτουργεί ως ψυκτικό μέσο των στυπείων. Σημειώνεται ότι η υγρασία ή η εμφάνιση σταγόνων υγρού αφορά μόνο στην περίπτωση που διακινείται θαλασσινό ή γλυκό νερό από την αντλία, διαφορετικά σε πτητικά και οξειδωτικά υγρά πρέπει να προλαμβάνεται οποιαδήποτε διαρροή.

Στις περισσότερες αντλίες η ρύθμιση του στυπειοθλίπτη μπορεί να πραγματοποιηθεί και κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας. Η ενέργεια αυτή θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή διότι η ενδεχομένη υπερβολική εκτόνωση των στυπείων [παράγρ. 9.1(1)], θα προκαλέσει τη διακοπή της ελεύθερης παλινδρομήσεως του εμβόλου με αποτέλεσμα την κόπωση του κινητήριου μηχανήματος, την ανάπτυξη θερμοκρασίας στα στυπεία και ανωμαλίες στη λειτουργία της αντλίας.

9.1.2 Στεγανοποίηση περιστροφικών αντλιών.

Η στεγανοποίηση των περιστροφικών αντλιών απαιτείται στη σύνδεση των καπακιών με το σώμα ή το κέλυφος στο οποίο περιστρέφονται τα στροφεία, στις βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως ανάλογα με τον τύπο της αντλίας, στη σύνδεση των περιαυχενίων (φλαντζών) με το δίκτυο και στις περιοχές όπου εισέρχεται ο άξονας περιστροφής των στροφείων στο θάλαμο της αντλίας (σχ. 9.1ζ).

Για τη στεγανοποίηση του σώματος της αντλίας με τα καπάκια, ανάλογα με τον τύπο της αντλίας χρησιμοποιείται και το κατάλληλο μέσο. Έτσι σε κάποιους τύπους μπορεί να χρησιμοποιηθεί βελανιδόχαρτο, ενώ σε ορισμένους τύπους αντλιών όπως με λοβούς, με ολισθαίνοντα πτερύγια και γραναζωτές, δε χρησιμοποιείται υλικό στεγανοποιήσεως. Σε αυτήν την περίπτωση εφάπτονται οι μεταλλικές επιφάνειες



Σχ. 9.1ζ

Περιοχές στεγανοποιήσεως σε αντλίες με (α) κοχλίες, (β) λοβούς.

με την προσθήκη μόνο κάποιου ***στεγανοποιητικού ρευστού*** (liquid sealant) που δημιουργεί μία πολύ λεπτή μεμβράνη ή δημιουργούνται αυλάκια στα σημεία επαφής του σώματος με τα καπάκια όπου τοποθετείται ελαστικός δακτύλιος (o-ring).

Η στεγανοποίηση του άξονα των στροφείων επιτυγχάνεται είτε από μηχανικούς στυπειοθλίπτες είτε με τσιμούχες, ενώ στις βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως χρησιμοποιούνται συνήθως ελαστικοί δακτύλιοι.

Στα περιαυχένια των συνδέσεων δικτύου χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα από περμανίτη ή ελαστικό (π.χ. λάστιχο, καουτσούκ κ.λπ.), ανάλογα με το υγρό που διακινείται από την αντλία.

9.1.3 Στεγανοποίηση φυγοκεντρικών αντλιών.

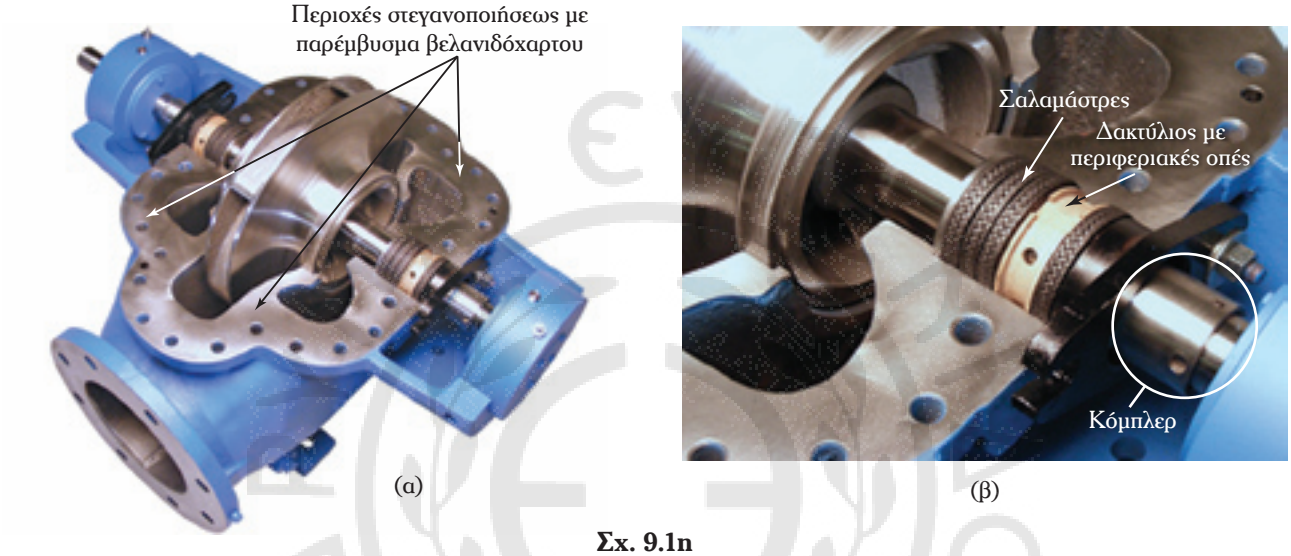
Για τις φυγοκεντρικές και γενικά τις δυναμικές αντλίες η είσοδος του αέρα αλλά και η διαφυγή του

υγρού προς το περιβάλλον αποτελεί αιτία μειώσεως της αποδόσεώς τους. Ιδιαίτερα, λόγω της υψηλής ταχύτητας περιστροφής τους, η παρουσία αέρα θα αυξήσει τον κίνδυνο της σπηλαιώσεως αλλά και της διακοπής της ροής στην αντλία. Γι' αυτό η ορθή στεγανοποίηση συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση των συνθηκών λειτουργίας των αντλιών.

Η στεγανοποίηση των φυγοκεντρικών αντλιών στα σημεία συνδέσεως των διαιρουμένων αξονικά κελύφων [σχ. 9.1η(α)] πραγματοποιείται με βελανιδόχαρτο ή λεπτό περμανίτη. Επίσης ενδέχεται η στεγανοποίηση να επιτυγχάνεται με o-ring, όταν το κέλυφος κλείνει με καπάκι στην επάνω πλευρά του.

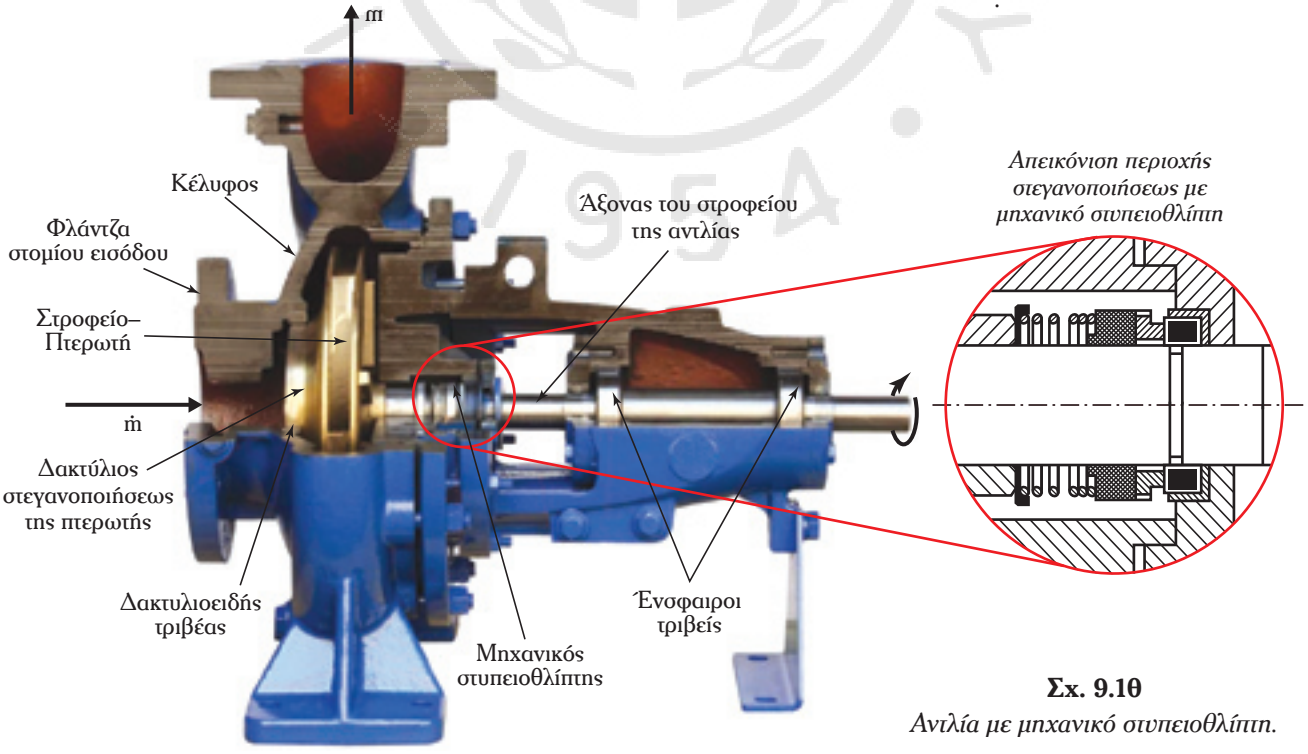
Στο σημείο του κελύφους απ' όπου διέρχεται ο άξονας του στροφείου, η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται από στυπεία ή σαλαμάστρες με στυπειοθλίπτη εγκατεστημένα στον ειδικά διαμορφωμένο στυπειοθάλαμο [σχ. 9.1η(β)] ή από μηχανικούς στυπειοθλίπτες (σχ. 9.1θ).

Όταν χρησιμοποιούνται στυπεία, οι σημαντικές



Σχ. 9.1η

Αντλία (α) με διαιρούμενο κέλυφος και (β) με σαλαμάστρες στεγανοποιήσεως στον άξονα.



Σχ. 9.1θ

Αντλία με μηχανικό στυπειοθλίπτη.

τριβές που δημιουργούνται μεταξύ του άξονα και των στυπείων προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία προλαμβάνεται με ρύθμιση της εκτονώσεως των στυπείων, ώστε να υπάρχει μικρή διαρροή του υγρού (νερού). Η μικρή διαρροή του υγρού (νερού) από τον στυπειοθάλαμο ενεργεί ως ψυκτικό μέσο αλλά και ως λιπαντικό στο διάκενο του άξονα με τη σαλαμάστρα. Επίσης, για την καλύτερη ψύξη ενδέχεται οι σαλαμάστρες να χωρίζονται σε δύο ομάδες από ***δακτύλιο με περιφερειακές οπές*** (lantern ring) [σχ. 9.1η(β)]. Το υγρό για την ψύξη, όταν από την αντλία διακινείται νερό ή μη πτητικό υγρό, παρέχεται από την ίδια την αντλία μέσω κατάλληλου σωλήνα που συνδέει την πλευρά καταθλίψεως ή της δεύτερης βαθμίδας σε σπειροειδή οχετό, με τον στυπειοθάλαμο. Διαφορετικά η παροχή του υγρού γίνεται από ανεξάρτητη εξωτερική πηγή.

Όταν χρησιμοποιούνται μηχανικοί στυπειοθλίπτες (σχ. 9.1θ), σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας δεν πρέπει να εμφανίζεται καμία διαρροή. Η ψύξη τους επιτυγχάνεται είτε από το υγρό, καθώς διακινείται από την αντλία, είτε με σωλήνα μικρής διατομής που παρέχει υγρό από την κατάθλιψη της αντλίας.

9.2 Έδρανα αντλιών (bearings).

Τόσο στις αντλίες θετικής εκτοπίσεως, εμβολοφόρες και περιστροφικές, όσο και στις δυναμικές περιστροφικές αντλίες, αναπτύσσονται ώσεις και τριβές κατά την παλινδρόμηση ή την περιστροφή των κινουμένων μερών. Γι' αυτό ανάλογα με τον τύπο της αντλίας χρησιμοποιούνται κατάλληλα έδρανα (τριβείς), τα οποία:

1) Στις ***εμβολοφόρες αντλίες θετικής εκτοπίσεως*** τοποθετούνται στις συνδέσεις των εμβόλων με τον εμβολοφόρο άξονα, ώστε να αντιμετωπίζουν τις ώσεις των κινουμένων μερών. Τα έδρανα ή κουζινέτα, όπως σε όλα τα μηχανήματα με εμβολοφόρο άξονα κατασκευάζονται από κατάλληλο υλικό και η λίπανση των εφαπτομένων επιφανειών πραγματοποιείται από λιπαντικό έλαιο.

2) Στις ***περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως*** τα έδρανα τοποθετούνται στα καπάκια του κελύφους αποτελώντας το μέσο στηρίξεως αλλά και ευθυγραμμίσεως των αξόνων των στροφείων. Οι τύποι των εδράνων δύναται να είναι κυλιομένων στοιχείων, αλλά και έδρανα ολισθήσεως τύπου χιτωνίου (ή τύπου μεμβράνης ελαίου), όπου ο άξονας περιστρέφεται στο σταθερά εγκατεστημένο στο καπάκι χιτώνιο.

3) Στις ***περιστροφικές δυναμικές αντλίες***, η τοποθέτηση των εδράνων έχει ως σκοπό να διατηρήσει την ευθυγράμμιση του άξονα ή του στροφείου με τα σταθερά μέρη της αντλίας, αντιμετωπίζοντας τις αξονικές και τις ακτινικές ώσεις που αναπτύσσονται. Οι διάφοροι τύποι εδράνων ενδέχεται να διαφέρουν ακόμα και για αντλίες ίδιου βασικού σχεδιασμού, εφόσον αυτοί που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από τις λειτουργικές συνθήκες της αντλίας αλλά και από τις προτιμήσεις του αγοραστή. Παρόλα αυτά στις περισσότερες περιπτώσεις τα έδρανα που συναντώνται σήμερα, είναι είτε κυλιομένων στοιχείων, είτε έδρανα ολισθήσεως τύπου χιτωνίου. Τα έδρανα των δυναμικών περιστροφικών αντλιών λόγω της ιδιαιτερότητάς τους παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

– Έδρανα δυναμικών περιστροφικών αντλιών.

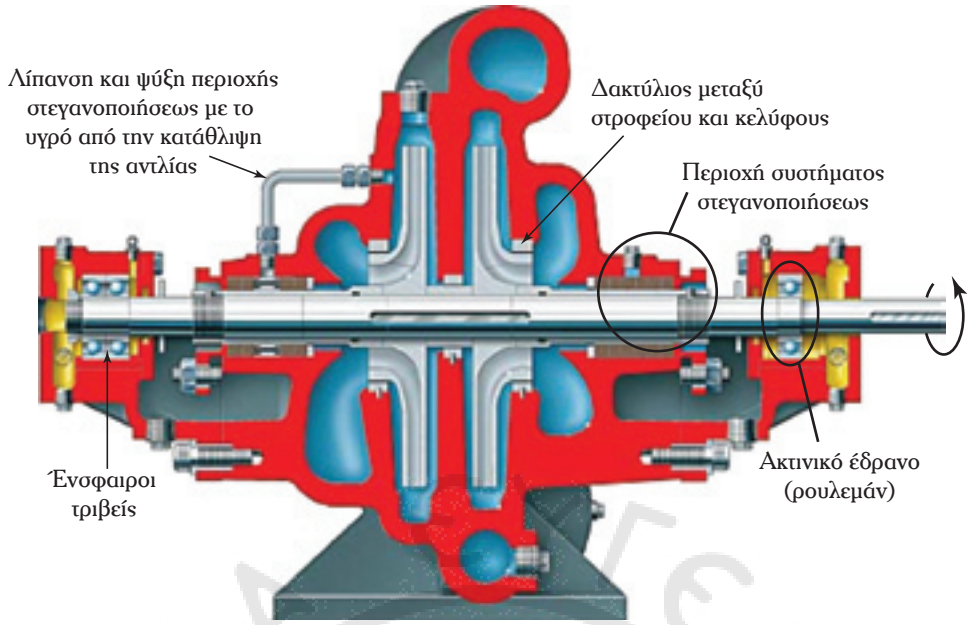
Παρόλο που θεωρητικά τα στροφεία – πτερωτές στις δυναμικές περιστροφικές αντλίες βρίσκονται σε υδραυλική ισορροπία, αυτή σπάνια μπορεί να επιτευχθεί στην πράξη. Έτσι ακόμα και σε αντλίες με διπλής αναρροφήσεως στροφεία ή με αντίθετης διατάξεως, όπως στις πολυβάθμιες, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται έδρανα για την απόσβεση των ώσεων που οφείλονται:

1) Σε δίνες που προκαλούνται από τη ροή του υγρού στο εσωτερικό της αντλίας, παρά το γεγονός ότι η χύτευση με την οποία πραγματοποιείται η κατασκευή του κελύφους ενδεχομένως να μειώνει τις ανωμαλίες στις επιφάνειες ροής.

2) Στην άνιση φθορά των δακτυλίων μεταξύ στροφείου και κελύφους και

3) στις άνισες αξονικές και ακτινικές ώσεις που προκαλούνται από τη ροή του υγρού από το στροφείο, λόγω λανθασμένης τοποθετήσεως του σωλήνα αναρροφήσεως.

Γι' αυτό χρησιμοποιούνται τα έδρανα που ως σκοπό έχουν να αντιμετωπίσουν τις ακτινικές και τις αξονικές ώσεις, οι οποίες αναπτύσσονται από τη λειτουργία της αντλίας. Όταν χρησιμοποιούνται για να διατηρούν την ακτινική θέση του στροφείου (αντιμετωπίζοντας τις ακτινικές ώσεις) ονομάζονται ***ακτινικά έδρανα*** ή ***έδρανα ευθυγραμμίσεως*** (lining bearings), ενώ τα έδρανα που αντιμετωπίζουν τις αξονικές ώσεις ονομάζονται ***ωστικοί τριβείς*** (thrust bearings). Ενδέχεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ωστικοί τριβείς να εξυπηρετούν τις αξονικές αλλά και τις ακτινικές ώσεις.



Σχ. 9.2α

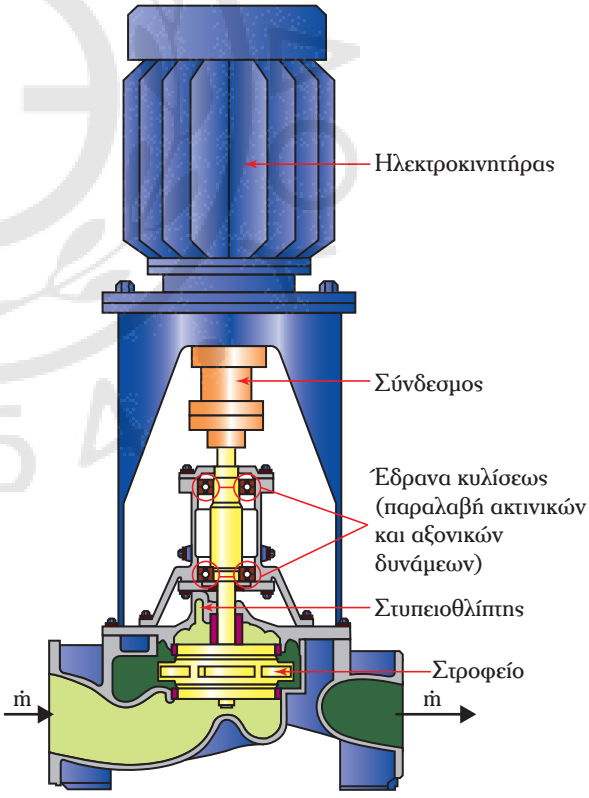
Αντλία οριζόντιας διατάξεως με στροφείο μεταξύ των εδράνων (τομή).

Σε οριζόντιας διατάξεως αντλίες (σχ. 9.2α) με έδρανα σε κάθε άκρο του άξονα, αυτά που τοποθετούνται μεταξύ του κελύφους και του συνδέσμου με το κινητήριο μηχάνημα, χαρακτηρίζονται ως εσωτερικά, ενώ αυτά που τοποθετούνται στο άλλο άκρο του άξονα, ως εξωτερικά.

Η εγκατάσταση των εδράνων πραγματοποιείται σε τμήμα του κελύφους της αντλίας ή σε εξωτερικό κέλυφος με ξεχωριστή βάση στηρίξεως που συνήθως συναντάται σε μεγαλύτερες αντλίες (σχ. 9.2β). Το κέλυφος στηρίξεως του εδράνου αποτελεί και τον θάλαμο για το λιπαντικό που χρησιμοποιείται για τη λίπανση και ψύξη του (σχ. 9.2γ).

Το λιπαντικό δύναται να είναι γράσο ή έλαιο. Το έλαιο ενδέχεται να παρέχεται μέσω εξωτερικής διατάξεως συνεχούς παροχής ή να περιέχεται σε θάλαμο μεταξύ της αντλίας και του κινητήριου μηχανήματος που παρασύρεται από τα έδρανα κατά τη λειτουργία. Όταν για τη λίπανση χρησιμοποιείται θάλαμος με λιπαντικό, η στάθμη του ελαίου είναι απαραίτητο να διατηρείται μεταξύ των ορίων που ορίζονται στον υαλοδείκτη, διαφορετικά επηρεάζεται η ομαλή λειτουργία των εδράνων.

Εάν το λιπαντικό και ψυκτικό μέσο των εδράνων είναι γράσο, τότε η πλήρωση (γέμισμα) του κελύφους που περιέχει το έδρανο, κατά γενικό κανόνα, θα πρέπει να γίνεται έως το ένα τρίτο αυτού. Μεγαλύτερη ποσότητα γράσου δεν επιτρέπει την κυκλοφο-



Σχ. 9.2β

Έδρανα στη μία πλευρά του άξονα μεταξύ του στροφείου και του κινητήρα σε κάθετης διατάξεως αντλία (τομή).

ρία του, με αποτέλεσμα η ψύξη του εδράνου να είναι ελλιπής. Η ελλιπής ψύξη κατ' επέκταση θα οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας του γράσου, το οποίο θα ρευστοποιηθεί και θα διαρρεύσει από τα σημεία στεγανοποιήσεως απ' όπου διέρχεται ο άξονας από το θάλαμο των εδράνων, οδηγώντας το έδρανο σε σύντομη φθορά.

Οι τύποι των εδράνων που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

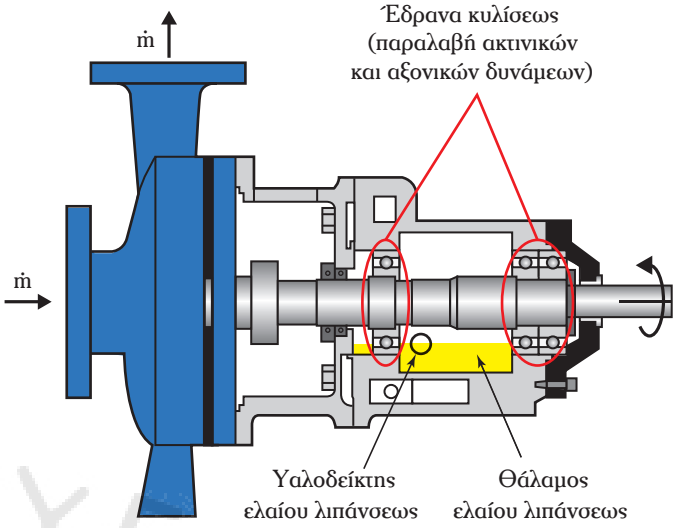
1) Με ***κυλιόμενα σφαιρικά στοιχεία*** (ένσφαιροι τριβείς ή ρουλεμάν – ball bearings) (σχ. 9.2δ) τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως στις αντλίες, διότι μπορούν να αντιμετωπίσουν τόσο τα ακτινικά όσο και τα αξονικά φορτία, με τον περιορισμό να μην είναι μεγάλο το βάρος του συστήματος που υποστηρίζεται. Τα έδρανα κατασκευάζονται σε δύο τύπους˙ τον ανοικτό κατά την εγκατάσταση του οποίου είναι απαραίτητη η αρχική λίπανση και τον κλειστό τύπο που το λιπαντικό περιέχεται μέσα στο έδρανο από τον κατασκευαστή.

2) Με ***κυλιόμενα κυλινδρικά στοιχεία*** (ρουλεμάν με κυλίνδρους – roller bearings) (σχ. 9.2ε), τα οποία έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση ακτινικών φορτίων με μεγάλο βάρος, διότι οι κύλινδροι επιτρέπουν την κατανομή του βάρους που ασκείται από το σύστημα σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Αυτού του τύπου τα έδρανα δεν είναι κατάλληλα για την αντιμετώπιση αξονικών ώσεων.

3) Τα ***αυτορρυθμιζόμενα έδρανα με ολισθαίνοντα κωνικά στοιχεία*** (self-alignment taper roller thrust bearing) (σχ. 9.2στ), τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται σε κάθετης διατάξεως αντλίες και διαθέτουν την ικανότητα να χειριστούν μεγαλύτερα αξονικά φορτία του στροφείου της αντλίας σχετικά μεγάλου βάρους, ενώ δύναται για μικρές αποκλίσεις να ευθυγραμμίσουν τον άξονα.

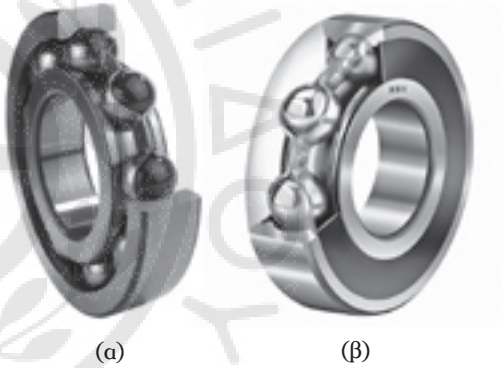
4) Τα ***έδρανα ολισθήσεως τύπου χιτωνίου*** (sliding contact bearings) (σχ. 9.2ζ), τα οποία χρησιμοποιούνται όταν οι λειτουργικές συνθήκες όπως η ταχύτητα, οι αξονικές και οι ακτινικές ώσεις δεν επιτρέπουν πλέον τη χρήση των τριβέων με κυλιόμενα στοιχεία ή όταν από κατασκευής είναι απαραίτητη η χρήση του αντλούμενου ρευστού για τη λίπανση των εδράνων.

Όλοι αυτοί οι τύποι εδράνων βασίζουν τη λειτουργία τους στον υδροδυναμικό σχεδιασμό τους και το ιξώδες του διακινούμενου υγρού, στοιχεία από τα οποία προκύπτει η δυνατότητά τους να διαχειρίζονται τα ασκούμενα φορτία. Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας η λίπανση επιτυγχάνεται από το ίδιο το ρευστό που διακινείται, με τον άξονα και τα έδρανα να



Σχ. 9.2γ

Αντλία οριζόντιας διατάξεως με θάλαμο για το έλαιο λιπάνσεως.



Σχ. 9.2δ

Έδρανο με κυλιόμενα σφαιρικά στοιχεία (α) ανοικτού τύπου, (β) κλειστού τύπου.

Σχ. 9.2ε

Έδρανο με κυλιόμενα κυλινδρικά στοιχεία.

διαχωρίζονται πλήρως από τη μεμβράνη του λιπαντικού. Επίσης, κατά την κατασκευή των εδράνων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι διαβρωτικές ιδιότητες του υγρού και ότι η επαφή του άξονα με το έδρανο οδηγεί σε γρήγορη φθορά. Το υλικό κατασκευής τους είναι καουτσούκ, άνθρακας, κράμα μετάλλων όπως χαλκός, ορείχαλκος, χυτοχάλυβας, φωσφορούχος χαλκός ή κεραμικό, με αρκετά διαμήκη ή ελικοειδή αυλάκια.

Οι διάφοροι τύποι των εδράνων (σχ. 9.2η) είναι:

1) Ο τύπος χιτωνίου που είναι και ο απλούστερος και χρησιμοποιείται σε αντλίες χαμηλών στροφών περιστροφής.

2) Ο τύπος με αντισταθμιστικά διαιρούμενα έδρανα, στα οποία η εσωτερική επιφάνεια είναι υδροδυναμικά σχεδιασμένη, ώστε κατά την περιστροφή του άξονα να δημιουργείται σφήνα λιπάνσεως που βοηθάει στην ευθυγράμμιση του άξονα.

3) Ο τύπος εδράνων πολλαπλού λοβού που συνήθως χρησιμοποιείται σε αντλίες υψηλών στροφών περιστροφής αλλά με δυνατότητα διαχειρίσεως χαμηλών φορτίων. Ο τύπος αυτός συναντάται συχνά σε αντλίες θαλάσσης, όπου ενδέχεται στο ορειχάλκινο εσωτερικό του χιτωνίου να υπάρχει επικάλυψη από συνθετικό υλικό.

4) Ο τύπος εδράνων με πλινθία σε διάταξη τόξου και δυνατότητα να μεταβάλλεται η κλίση τους υπό την άσκηση του φορτίου, καθώς περιστρέφεται ο άξονας και ασκείται η πίεση του λιπαντικού δημιουργώντας σφήνες λιπάνσεως.

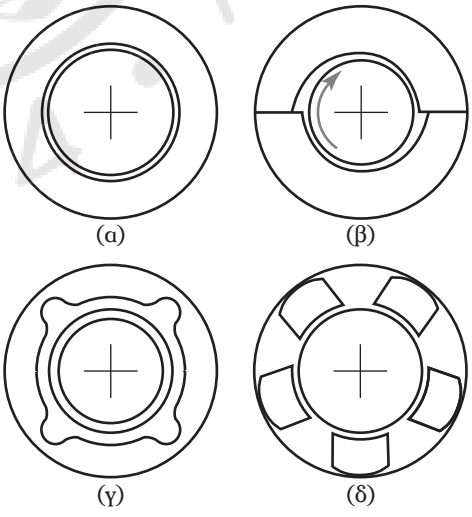
Σχ. 9.2στ
Αντιορρυθμιζόμενο έδρανο με ολισθαίνοντα κωνικά στοιχεία.

Σχ. 9.2ζ
Έδρανο ολισθήσεως τύπου χιτωνίου.

9.3 Μετάδοση κινήσεως αντλιών.

Στα στοιχεία της εγκαταστάσεως μίας αντλίας ανήκει και εκείνο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της κινήσεως από το κινητήριο μηχάνημα. Ο τύπος του στοιχείου της μεταδόσεως της κινήσεως εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της αντλίας, τον κινητήρα και τη σχέση αποδόσεως-στροφών μεταξύ κινητήρα και αντλίας. Οι σημαντικότεροι ***τρόποι συνδέσεως*** για τη μετάδοση της κινήσεως από τον άξονα του κινητήριου μηχανήματος στον περιστρεφόμενο άξονα της αντλίας είναι:

1) Η ***άμεση σύζευξη*** (direct coupling) του κινητήρα με την αντλία μέσω άκαμπτου (rigid) (σταθερού) ή εύκαμπτου (flexible) συνδέσμου. Χρησιμοποιείται σε δυναμικές και περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, που λειτουργούν με μεγάλο αριθμό στροφών, καθιστώντας δυνατή τη σύζευξή τους με κινητήρες, όπως οι ηλεκτροκινητήρες και οι πετρελαιοκινητήρες. Προκειμένου όμως να επιτευχθεί η άμεση σύζευξη θα



Σχ. 9.2η
Έδρανα ολισθήσεως: (α) τύπος χιτωνίου, (β) τύπος με αντισταθμιστικά διαιρούμενα έδρανα, (γ) τύπος εδράνων πολλαπλού λοβού, (δ) τύπος εδράνων με πλινθία σε διάταξη τόξου.

πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες απαραίτητες προϋποθέσεις:

α) Η αντλία και ο κινητήρας να είναι σχεδιασμένοι ώστε να λειτουργούν με τον ίδιο αριθμό στροφών και την ίδια φορά περιστροφής.

β) Οι αξονικές γραμμές των αξόνων περιστροφής θα πρέπει να συμπίπτουν, είτε η σύνδεση πραγματοποιείται σε μικρού είτε σε μεγάλου μήκους άξονες. Η ιδιαιτερότητα των συνδέσμων στην άμεση σύζευξη αξόνων και η συχνή εφαρμογή τους στις αντλίες των πλοίων αποτελεί τον λόγο της περαιτέρω αναλύσεώς τους στην σελίδα 230.

2) Με ***οδοντωτούς τροχούς*** ή ***γρανάζια*** (gear coupling), τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη μετάδοση κινήσεως όταν:

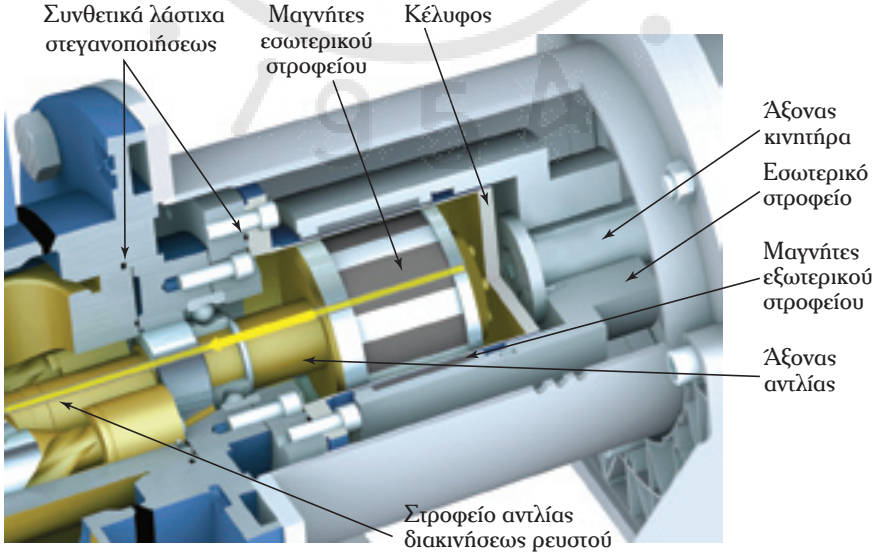
α) Απαιτείται μείωση στροφών, όπως συμβαίνει κατά τη μετάδοση από ηλεκτροκινητήρα σε παλινδρομική αντλία με στρόφαλο ή από ατμοστρόβιλο σε φυγοκεντρική αντλία και όταν

β) ο κινητήριος άξονας και ο άξονας περιστροφής της αντλίας δεν συμπίπτουν, όπως συμβαίνει στη μετάδοση κινήσεως από οριζόντια εγκατεστημένο κινητήρα σε κάθετης διατάξεως αντλία.

Τα γρανάζια μπορεί να βρίσκονται εγκατεστημένα μέσα σε κιβώτιο ή, σπάνια, εκτός κιβωτίου, για χαμηλής ταχύτητας περιστροφής άξονες. Όταν τα γρανάζια βρίσκονται σε κιβώτιο σε αυτό τις περισσότερες φορές υπάρχει και το λιπαντικό που χρησιμοποιείται για τη λίπανση και τη μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά τη λειτουργία. Διαφορετικά, και ιδιαίτερα σε κινητήρες υψηλών στροφών που ο βαθμός μειώσεως των στροφών ο οποίος αποδίδεται στην αντλία είναι μεγάλος, η κυκλοφορία για τη λίπανση των γραναζιών πραγματοποιείται από εξαρτημένη ή ανεξάρτητη αντλία παροχής του ελαίου, όπως όταν χρησιμοποιούνται ατμοστρόβιλοι και η μείωση της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας επιτυγχάνεται από σύστημα γραναζιών.

3) ***Μαγνητική σύζευξη*** (magnetic coupling). Στις αντλίες με συμβατικούς συνδέσμους, μεταξύ του περιστρεφόμενου άξονα του στροφείου με το στατικό κέλυφος, είναι αδύνατο να επιτευχθεί η απόλυτη στεγανοποίηση. Αυτό οφείλεται σε μικρές διαρροές που υπάρχουν ακόμα και με στεγανοποίηση από μηχανικούς στυπειοθλίπτες. Όμως οι διαρροές, όσο μικρές και αν είναι μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην ασφάλεια και να είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον ή για την υγεία όταν τα διακινούμενα ρευστά είναι τοξικά ή υδρογονάνθρακες. Οι απαιτήσεις από τους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί (SOLAS Requirement II-2 Regulation 4) για την πρόληψη και εξάλειψη πιθανότητας διαρροών από τις αντλίες, μπορούν να αντιμετωπιστούν με το σύστημα μαγνητικής συζεύξεως των αξόνων.

Το σύστημα της μαγνητικής συζεύξεως (σχ. 9.3α) αποτελείται από ένα εξωτερικό στροφείο που κινείται από τον κινητήρα, στην περιφέρεια του οποίου υπάρχουν εγκατεστημένοι μόνιμοι μαγνήτες. Αντίστοιχα στον άξονα του στροφείου της αντλίας υπάρχει εγκατεστημένο ένα εσωτερικό στροφείο με μόνιμους μα-



Σχ. 9.3α

Σύστημα μαγνητικής συζεύξεως.

γνήτες περιφερειακά. Αυτό το στροφείο περιβάλλεται από μεταλλικό κέλυφος το οποίο στεγανοποιείται με συνθετικούς δακτυλίους (λάστιχα) στο κέλυφος της αντλίας. Γύρω από το κέλυφος που περιβάλει το εσωτερικό στροφείο περιστρέφεται το εξωτερικό στροφείο με τους μόνιμους μαγνήτες που κινείται από τον κινητήρα. Έτσι δημιουργείται το πιο σημαντικό κατασκευαστικό πλεονέκτημα της μαγνητικής συζεύξεως των αξόνων για την αντιμετώπιση των διαρροών, εφόσον δεν υπάρχει διέλευση του άξονα από το κέλυφος που να έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Δηλαδή ο άξονας της αντλίας και το εγκατεστημένο σε αυτόν εσωτερικό στροφείο με μόνιμους μαγνήτες περιστρέφεται μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κέλυφος στο εσωτερικό της αντλίας.

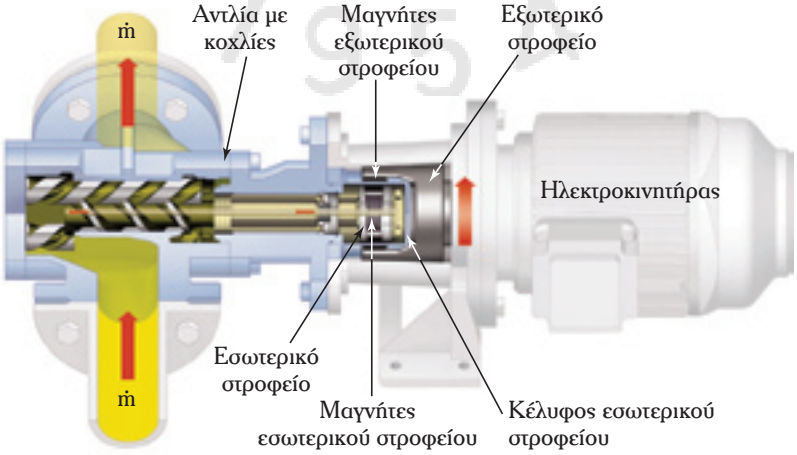
Η ροπή στρέψεως για τη λειτουργία της αντλίας επιτυγχάνεται από το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τους μόνιμους μαγνήτες του εξωτερικού στροφείου που συνδέεται με τον κινητήρα. Η ροπή αυτή μεταδίδεται στους μόνιμους μαγνήτες του εσωτερικού στροφείου προκαλώντας την περιστροφή του άξονα και κατ' επέκταση την περιστροφή του στροφείου διακινήσεως του ρευστού. Το στροφείο διακινήσεως του ρευστού μπορεί να είναι είτε πτερωτή, είτε κοχλίες (σχ. 9.3β) ή γρανάζια, εκπληρώνοντας τις απαιτήσεις διακινήσεως ρευστών χαμηλού ιξώδους (μέχρι 1,4 cSt) [ISO 8217: 2005] και χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (0,1%) [EU/SECA 2005-33-EC].

Για τη λίπανση και την ψύξη του εσωτερικού στροφείου με τους μαγνήτες, μικρό ποσοστό του υγρού που διακινείται ρέει μέσα στο κέλυφος της μαγνητικής συζεύξεως και στη συνέχεια επιστρέφει στην αναρρόφηση της αντλίας μέσω αγωγού στον άξονα της αντλίας (σχ. 9.3β και 9.3γ). Επίσης στο σύστημα της μαγνητικής συζεύξεως που βρίσκεται στο εσωτερικό της αντλίας, υπάρχουν δακτύλιοι ηλεκτρικά μονωμένοι που σκοπό έχουν να απορροφούνται οι δημιουργούμενες κατά τη λειτουργία της αντλίας εσωτερικές πιέσεις.

Έτσι, το σύστημα μαγνητικής συζεύξεως πλεονεκτεί σε σχέση με τα άλλα συστήματα διότι εκτός της προλήψεως διαρροών υγρού ή αερίων αυτού, έχει ελάχιστες απαιτήσεις συντηρήσεως και είναι ευκολότερη η ευθυγράμμιση του συστήματος, εφόσον δεν υπάρχει επαφή των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της κινήσεως.

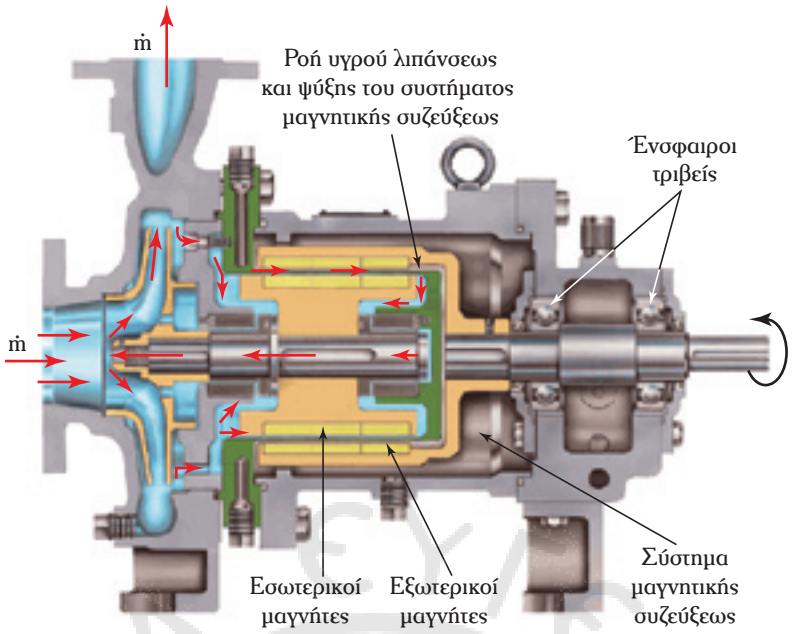
4) Με ***αλυσοκίνηση*** (chain drive movement), με την οποία επιτυγχάνεται μείωση στροφών, αλλά σπάνια χρησιμοποιείται σε συστήματα αντλιών.

5) Με ***ιμάντες μεταδόσεως*** (drive belts) της κινήσεως, με τους οποίους μέσω καταλλήλων τροχαλιών που εφαρμόζονται στα άκρα των αξόνων, η μετάδοση πραγματοποιείται ομαλά. Με αυτούς παρέχεται η δυνατότητα μειώσεως ή αυξήσεως στροφών (επιλέγοντας την κατάλληλη σχέση διαμέτρου κινητήριας και κινούμενης τροχαλίας), με δυνατότητα μεταβολής της φοράς περιστροφής, καθώς και στη μετάδοση της κινήσεως όταν σχηματίζεται γωνία μεταξύ του κινητήριου άξονα και του άξονα της αντλίας. Η μετάδοση με ιμάντες παρέχει ελαστικότητα στη μετάδοση της κινήσεως επιτρέποντας μικρές αποκλίσεις μεταξύ των αξονικών θέσεων, ευκολία στην εφαρμογή τους με ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως



Σχ. 9.3β

Αντλία με κοχλίες και μαγνητική σύζευξη με τη ροή υγρού λιπάνσεως και ψύξεως του συστήματος μαγνητικής συζεύξεως.



Σχ. 9.3γ

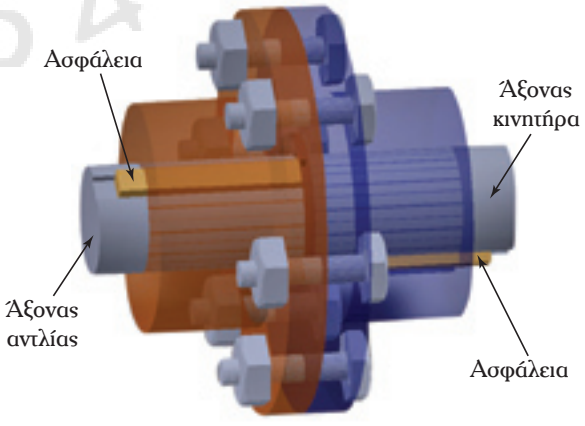
Φυγοκεντρική αντλία με πτερωτή και μαγνητική σύζευξη με τη ροή ρευστού λιπάνσεως και ψύξεως του συστήματος μαγνητικής συζεύξεως.

και χαμηλό κόστος κατασκευής και συντηρήσεως σε σύγκριση με τους συνδέσμους άμεσης μεταδόσεως και τους οδοντωτούς τροχούς.

9.3.1 Σύνδεσμοι άμεσης συζεύξεως αξόνων κινήσεως.

Οι σύνδεσμοι μεταδόσεως της κινήσεως στην άμεση ζεύξη χρησιμοποιούνται, όπως έχει αναφερθεί, για τη μετάδοση της κινήσεως μεταξύ δύο αξόνων σε σειρά, δηλαδή με τις αξονικές γραμμές τους να συμπίπτουν. Με αυτή τη σύνδεση ο κινητήρας και η αντλία είναι σχεδιασμένοι, ώστε να περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα. Μία ακόμα λειτουργία από την εφαρμογή των συνδέσμων είναι η σύνδεση δύο αξόνων που δεν είναι απαραίτητα σε τέλεια ευθυγράμμιση μεταξύ τους, εφόσον παρέχεται η δυνατότητα μέσω του συνδέσμου να απορροφάται τυχόν υφιστάμενη μικρή απόκλιση των αξόνων. Ως εκ τούτου, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι συνδέσμων, καθένας απ' τους οποίους διαθέτει διαφορετικά λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Η κυριότερη ταξινόμησή τους είναι με σταθερούς (άκαμπτους) και με ελαστικούς (ή εύκαμπτους) συνδέσμους. Αναλυτικότερα:

Οι ***σταθεροί σύνδεσμοι*** χρησιμοποιούνται κυρίως στη σύνδεση αξόνων με τέλεια ***ευθυγράμμιση*** (alignment). Η παραμικρή απόκλιση έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαντικών τάσεων στο σύνδεσμο και τους άξονες λόγω της σταθερής επαφής των τμημάτων που αποτελούν τον σύνδεσμο. Ο σύνδεσμος αποτελείται από δύο μεταλλικά στοιχεία ή τμήματα που συχνά έχουν τη μορφή περιαυχενίου (σχ. 9.3δ). Η εσωτερική διάμετρος του κάθε τμήματος του συνδέσμου είναι περίπου όση και η εξωτερική διάμετρος του άξονα, ώστε να εφαρμόζει απόλυτα στον άξονα της αντλίας ή του κινητήριου μηχανήματος. Εσωτερικά υπάρχει διαμορφωμένο ένα αυλάκι, μέσα στο οποίο διέρχεται πίρος, ο οποίος αντίστοιχα υπάρχει και στον άξονα, εξασφαλίζοντας ότι το τμήμα του συνδέσμου θα περιστρέφεται με τον άξονα χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να μετακι-



Σχ. 9.3δ

Σταθερός σύνδεσμος μεταδόσεως της κινήσεως (φλαντζωτός) σε σχήμα περιαυχενίου.

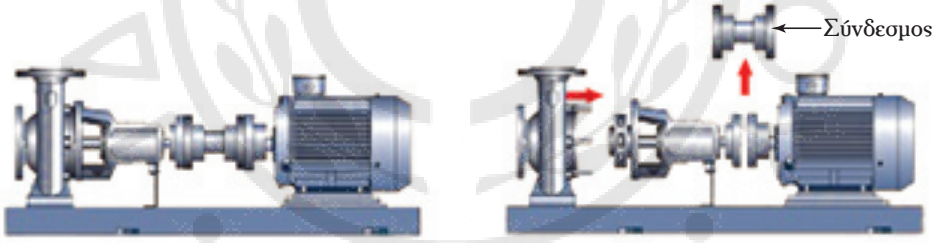
νηθεί. Η σταθερότητα του τμήματος του συνδέσμου ενισχύεται περαιτέρω με βίδα που λειτουργεί ως ασφάλεια, αποτρέποντας την αξονική του μετατόπιση μετά τη συναρμολόγηση. Εναλλακτικά σε συνδέσμους με σχήμα περιαυχενίου, χρησιμοποιείται κυλινδρική μεταλλική προσθήκη ή αποστάτης (spacer ή spool) που ενώνει τα δύο τμήματα περιαυχενίων του συνδέσμου των αξόνων (σχ. 9.3ε). Η προσθήκη εκτός από την ένωσή της προσφέρει και ευελιξία κατά την αποσυναρμολόγηση της αντλίας χωρίς να είναι απαραίτητο να μετατοπιστούν το κέλυφος και ο κινητήρας της αντλίας από τη βάση τους.

Η σύνδεση των δύο τμημάτων του συνδέσμου γίνεται με επαφή μέταλλο με μέταλλο, ενώ για να διατηρηθούν ενωμένα χρησιμοποιούνται βίδες, που εφαρμόζουν σε τρύπες στο σώμα των περιαυχενίων, και παξιμάδια.

Εκτός από τους συνδέσμους σε σχήμα περιαυχενίων (ή φλατζωτούς) υπάρχουν και άλλα είδη σταθερών συνδέσμων, όπως οι ***τύπου χιτωνίου*** (sleeve coupling) [σχ. 9.3στ(α)], οι ***κυλινδρικής στεφάνης*** (mull coupling) [σχ. 9.3στ(β)] και οι ***διαιρούμενου χιτωνίου*** (split type sleeve coupling) [σχ. 9.3στ(γ)].

2) Οι ***εύκαμπτοι σύνδεσμοι*** αποτελούνται από μεταλλικά τμήματα που έχουν τη μορφή περιαυχενίων αλλά συνδυάζουν και ελαστικά στοιχεία. Κατά τη σύνδεση των δύο τμημάτων δεν παρουσιάζουν ολίσθηση, παρά τη χρήση ελαστικών στοιχείων, και δύναται να απορροφήσουν μικρές γωνιακές και ακτινικές κλίσεις καθώς και αξονικές μετατοπίσεις μεταξύ του κινητήριου και του κινούμενου άξονα. Η παρουσία των ελαστικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στη σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων συντελούν σημαντικά στην απόσβεση των φορτίων κρούσεως, που εμφανίζονται κατά την εκκίνηση, αλλά και κατά την λειτουργία της αντλίας.

Τα ελαστικά στοιχεία μπορεί να είναι ***δακτύλιοι*** (flexible drive couplings) που τοποθετούνται στις βίδες συνδέσεως των μεταλλικών περιαυχενίων [σχ. 9.3ζ(α)], ***παρεμβύσματα*** (rubber spider couplings) τα οποία εναλλάσσονται μεταξύ των οδόντων που σχηματίζονται από τα περιαυχένια συνδέσεως [σχ. 9.3ζ(β)] ή ***ελαστικός δακτύλιος*** (flexible shaft couplings) που περιβάλλει τα δύο περιαυχένια στο σημείο επαφής τους [σχ. 9.3ζ(γ)] δημιουργώντας αντίστοιχα τρεις διαφορετικούς τύπους ευκάμπτων συνδέσμων. Ένας ακόμα τύπος εύκαμπτου συνδέ-



Σχ. 9.3ε

Προσθήκη συνδέσμου που εξυπηρετεί κατά την αποσυναρμολόγηση της αντλίας (αποσιάτης).

(α) (β) (γ)

Σχ. 9.3στ

Τύποι σταθερών συνδέσμων μεταδόσεως της κινήσεως.

σμου είναι ο ***διπλού γραναζιού*** (gear couplings) [σχ. 9.3ζ(δ)] ο οποίος αποτελείται από δύο μεταλλικά στοιχεία με περιφερειακή οδόντωση που τοποθετούνται ένα σε κάθε άξονα και περιβάλλονται από έναν ενιαίο ή διαιρούμενο δακτύλιο με εσοχές που εμπλέκονται στην αντίστοιχη οδόντωση. Ανάλογα με τον κατασκευαστή ενδέχεται να συναντώνται και άλλοι τύποι ευκάμπτων συνδέσμων όπως με ***έλασμα κυματοειδούς χάλυβα*** (grid couplings) [σχ. 9.3η(α)] ή με ***αλυσίδα*** (chain couplings) [σχ. 9.3η(β)] στην ένωση των δύο τμημάτων.

9.3.2 Ευθυγράμμιση συνδέσμων μεταδόσεως της κινήσεως.

Για να λειτουργεί η αντλία χωρίς να παρουσιάζονται κοπώσεις και φορτία από τη σύνδεση του κινούμενου μέρους με τον κινητήριο άξονα, θα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένη. Όσον αφορά στους σταθερούς συνδέσμους η ευθυγράμμιση θα πρέπει να είναι σχεδόν απόλυτη, ενώ στους εύκαμπτους μπορεί να υφίσταται μία μικρή απόκλιση, δίχως αυτό να σημαίνει ότι η χρήση του εύκαμπτου συνδέσμου καθιστά περιττή την ακριβή ευθυγράμμιση. Η απόκλιση, με τη χρήση του εύκαμπτου συνδέσμου, συνήθως επιτυγχάνεται με την παραμόρφωση των ελαστικών στοιχείων, με αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής αυτών των στοιχείων να εξαρτάται από τον βαθμό αποκλίσεως της ευθυγραμμίσεως (ή απευθυγραμμίσεως) (misaligment).

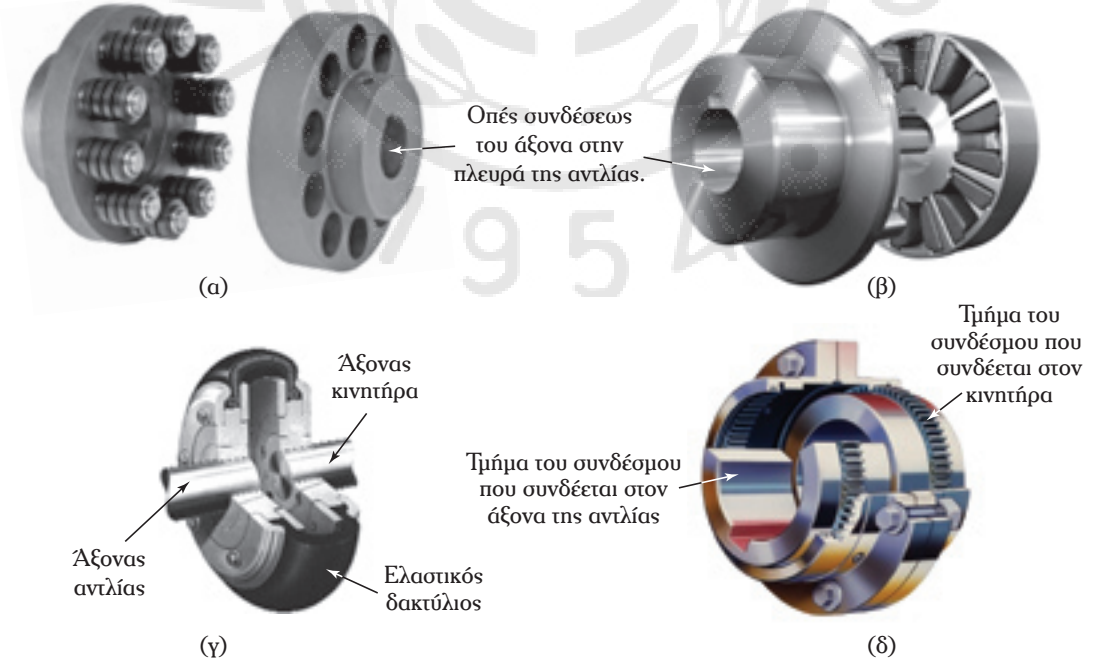
Υπάρχουν τρεις κύριες μετατοπίσεις, στις οποίες οφείλεται η απόκλιση ευθυγραμμίσεως των αξόνων και είναι:

1) Η ***αξονική μετατόπιση*** (x) (κοινώς τζόγος), όπου οι κεντρικές γραμμές των αξόνων ευθυγραμμίζονται σε κοινή κεντρική γραμμή, αλλά η αξονική θέση είναι εσφαλμένη, καθιστώντας δυνατή την αξονική κίνηση [σχ. 9.3θ(α)].

2) Η ***ακτινική μετατόπιση*** (y), όπου οι άξονες είναι παράλληλοι, αλλά δεν βρίσκεται σε μία κοινή κεντρική γραμμή [σχ. 9.3θ(β)].

3) Η ***γωνιακή μετατόπιση*** (α), όπου οι κεντρικές γραμμές των αντιστοίχων αξόνων δεν είναι παράλληλες αλλά σχηματίζουν γωνία [σχ. 9.3θ(γ)].

Ενδέχεται η μετατόπιση να αποτελεί το ***συνδυασμό των τριών*** και τότε έχομε συνδυασμένη απόκλιση ευθυγραμμίσεως x, y, α, [σχ. 9.3θ(δ)], ενώ οι μεμονωμένες αποκλίσεις μπορεί να εμφανιστούν από τη μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας. Μία τυπική αιτία στην απόκλιση της ευθυγραμμίσεως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος λειτουργίας ή η μετάδοση θερμότητας από το ρευστό που διαρρέει την αντλία και το δίκτυο. Οι μεταβολές



Σχ. 9.3ζ

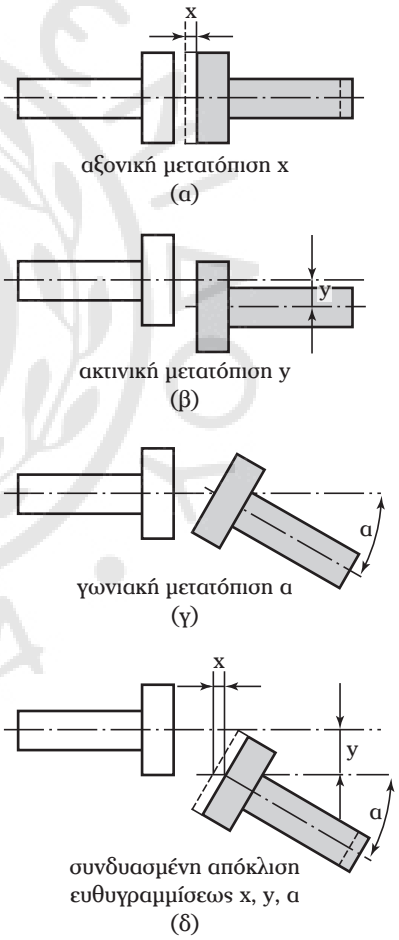
(α) Σύνδεσμοι με ελαστικούς δακτυλίους, (β) παρεμβύσματα που εναλλάσσονται μεταξύ των οδόντων, (γ) με ελαστικό δακτύλιο που περιβάλλει τα δύο περιαυχένια, (δ) διπλού γραναζιού με περιφερειακή οδόντωση.

που ενδέχεται να προκληθούν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και από τον κατασκευαστή, αλλά και από τους χειριστές της αντλίας όταν πραγματοποιούν την ευθυγράμμισή της μετά από επισκευή ή σε προγραμματισμένους ελέγχους.

Οι κατασκευαστές των συνδέσμων παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις μέγιστες επιτρεπόμενες αποκλίσεις, για κάθε είδος αποκλίσεως. Γι' αυτό είναι σημαντικό να γνωρίζομε τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή στην απόκλιση ευθυγραμμίσεως και πώς αυτή επηρεάζεται από την ταχύτητα και τη ροπή που μεταδίδεται. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται εύκαμπτος σύνδεσμος σε ηλεκτροκίνητη αντλία, η μέγιστη επιτρεπόμενη ακτινική απόκλιση είναι 0,1 mm. Η μέγιστη επιτρεπόμενη γωνιακή απόκλιση ευθυγραμμίσεως, είναι συνήθως αυτή που προκαλεί μεταβολή της αποστάσεως των δύο τμημάτων του συνδέσμου κατά 0,05 mm, όταν αυτή μετρείται σε ένα σημείο της περιμέτρου του συνδέσμου κατά την περιστροφή του άξονα χειροκίνητα.

Ο έλεγχος και η ευθυγράμμιση των αξόνων και του συνδέσμου της αντλίας μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως με ευθύγραμμο κανόνα και φίλερ[4] [σχ. 9.3ι(α)], για μεγαλύτερη ακρίβεια με ειδι-

Σχ. 9.3η
Σύνδεσμοι (α) με κυματοειδές έλασμα και (β) με αλυσίδα.



Σχ. 9.3θ
Τύποι αποκλίσεως ευθυγραμμίσεως των αξόνων, η οποία αντισταθμίζεται από τους συνδέσμους.

[4] ***Φίλερ*** (filer), ονομάζονται ειδικά μεταλλικά ελάσματα βαθμονομημένου πάχους που χρησιμοποιούνται είτε ένα-ένα, είτε σε συνδυασμό και το άθροισμα παρέχει την απόσταση μεταξύ των δύο τμημάτων του συνδέσμου σε mm.

κό όργανο το ωρολογιακό μικρόμετρο [σχ. 9.3ι(β)] ή με τη χρήση συσκευών Laser [σχ. 9.3ι(γ)]. Σημειώνεται ότι η ευθυγράμμιση είναι απαραίτητη στις οριζόντιας διατάξεως και σπάνια στις κάθετης διατάξεως αντλίες, διότι η στήριξη των τριβέων, η κάθετη διάταξη των αξόνων και η σωστή συναρμολόγηση του συνδέσμου μεταδόσεως της κινήσεως στα ίδια σημεία πριν την αποσυναρμολόγηση δεν δημιουργούν αποκλίσεις στην ευθυγράμμιση.

Προκειμένου να επιτευχθεί η ευθυγράμμιση στις αντλίες οριζόντιας διατάξεως, στα τέσσερα σημεία στηρίξεως στη βάση του ηλεκτροκινητήρα [σχ. 9.3ι(β)], χρησιμοποιούνται προσθήκες από μεταλλικά ελάσματα μικρού πάχους (σε mm) για τη διόρθωση της θέσεώς του. Με την πρόσθεση ή την αφαίρεση των προσθηκών και τις μικρές μετατοπίσεις του κινητήρα, σε συνδυασμό με τον έλεγχο του συνδέσμου μεταδόσεως της κινήσεως, η διαδικασία της ευθυγραμμίσεως μπορεί να συνοψιστεί στα βήματα που ακολουθούν:

1) Αρχικά χαλαρώνονται οι βίδες στηρίξεως του κινητήρα και γίνεται οπτική ευθυγράμμισή του με την αντλία, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι ο σύνδεσμος δεν συνθλίβεται με οποιονδήποτε τρόπο, ενώ οι βίδες που ενώνουν τα δύο τμήματα του συνδέσμου πρέπει να έχουν απομακρυνθεί.

2) Συνδέεται η συσκευή(ες) μετρήσεως, όταν χρησιμοποιείται ωρολογιακό μικρόμετρο και ελέγχεται ότι ο δείκτης(ες) κινείται ελεύθερα στην περιοχή που πρόκειται να μετρηθεί. Όταν χρησιμοποιείται ευθύγραμμος κανόνας τοποθετείται στο σημείο επαφής των δύο τμημάτων του συνδέσμου.

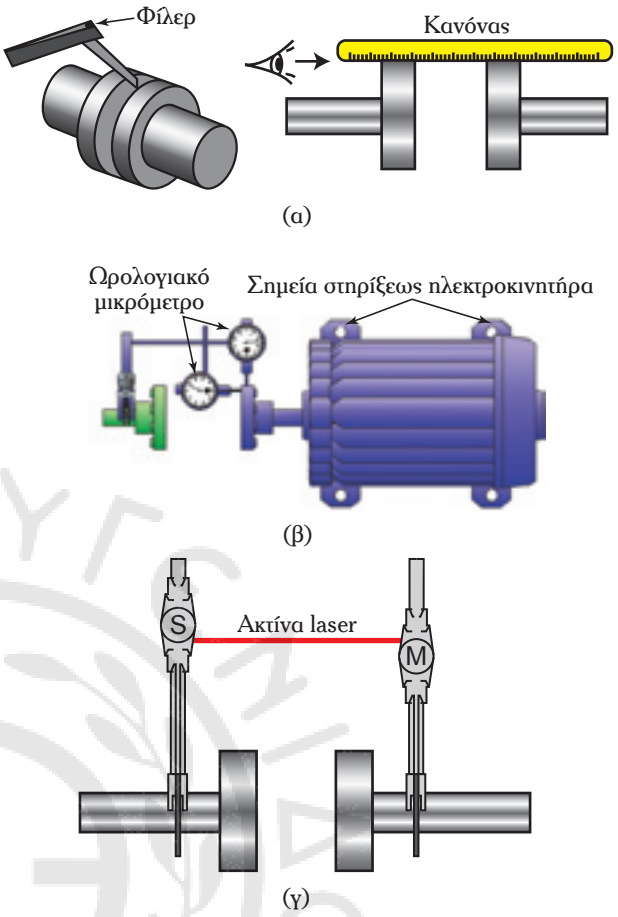
3) Ελέγχεται η πιθανή στρέβλωση στην τοποθέτηση του κινητήρα, σφίγγοντας και χαλαρώνοντας τις βίδες στηρίξεως ξεχωριστά.

4) Ρυθμίζεται το ωρολογιακό μικρόμετρο, ώστε ο δείκτης(ες) να είναι στο μηδέν, ενώ αν χρησιμοποιείται ευθύγραμμος κανόνας αυτός πρέπει να εφάπτεται και στα δύο τμήματα του συνδέσμου.

5) Περιστρέφεται ο άξονας κατά 180°, περίπου μισή περιστροφή, και διορθώνεται η θέση του κινητήρα, ώστε να απαλειφθούν οι έλεγχοι στη γωνιακή και στην ακτινική απόκλιση.

6) Με έλεγχο της αποστάσεως μεταξύ των τμημάτων του συνδέσμου από το ωρολογιακό μικρόμετρο ή το φίλερ διορθώνεται και η αξονική απόκλιση.

7) Επαναλαμβάνονται τα βήματα 5 και 6, μέχρι ο σύνδεσμος να ευθυγραμμιστεί και ταυτόχρονα συσφίγγονται σταδιακά οι βίδες στηρίξεως του ηλεκτροκινητήρα με συνεχή έλεγχο της ευθυγραμμίσεως.



Σχ. 9.3ι

Τρόποι ευθυγραμμίσεως αξόνων και συνδέσμου μεταδόσεως της κινήσεως.

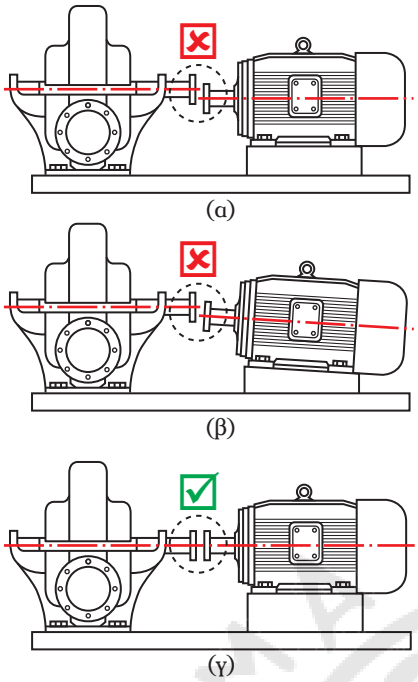
8) Εκτελείται εγκάρσια ευθυγράμμιση με τον ίδιο τρόπο, όπως στο κατακόρυφο επίπεδο.

9) Εκτελούνται οι τελικοί έλεγχοι ευθυγραμμίσεως στις δύο κάθετες και εγκάρσιες κατευθύνσεις, καθώς και η γωνιακή απόκλιση και σημειώνονται οι συνθήκες κατά τη στιγμή της ευθυγραμμίσεως, για παράδειγμα κρύος κινητήρας και θερμή αντλία και καταγράφονται για μελλοντική αναφορά.

Με τη σωστή ευθυγράμμιση επιτυγχάνονται οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας της αντλίας, στις οποίες περιλαμβάνονται η μείωση της κοπώσεως των αξόνων και των εδράνων, η μείωση της φθοράς του συνδέσμου μεταδόσεως της κινήσεως, η μείωση κραδασμών και η διατήρηση της θερμοκρασίας των μηχανημάτων σε φυσιολογικές τιμές (σχ. 9.3ια).

9.4 Φθορά αντλιών.

Η ***φθορά των αντλιών*** (pump wear), είναι απο-



Σχ. 9.3ια

(α), (β) Απόκλιση στην ευθυγράμμιση (ακατάλληλη διάταξη). (γ) Ευθυγραμμισμένος άξονας (κατάλληλη διάταξη).

τέλεσμα της διαβρώσεως και της μηχανικής καταπονήσεως και αποτελεί παράγοντα μεγάλης οικονομικής επιβαρύνσεως για το πλοίο. Προκειμένου να αντεπεξέλθει μία αντλία στις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου λειτουργεί, είναι αναγκαίο να κατασκευάζεται από ανθεκτικό υλικό κατάλληλο για το ρευστό που διακινείται. Όμως, παρά την αντοχή του υλικού κατασκευής της, η συνεχής λειτουργία προκαλεί φθορές σε διάφορες περιοχές, ανάλογα με τον τύπο της αντλίας, που επηρεάζουν την απόδοσή της. Έτσι, για κάθε τύπο αντλίας αναφέρεται ότι:

1) Στις ***εμβολοφόρες αντλίες*** εμφανίζεται φθορά στους δακτυλίους στεγανοποιήσεως των εμβόλων (ελατήρια), στους στυπειοθλίπτες στεγανοποιήσεως του βάκτρου και στις βαλβίδες. Η φθορά στους στυπειοθλίπτες είναι εύκολο να διαπιστωθεί, λόγω της εξωτερικής διαρροής που παρουσιάζεται, και να διεξαχθούν οι κατάλληλες ενέργειες συντηρήσεως και επισκευής από το προσωπικό του πλοίου. Όμως η διαρροή λόγω φθοράς στα ελατήρια των εμβόλων και τις βαλβίδες, δημιουργεί εσωτερική διαρροή, η οποία γίνεται αντιληπτή από τη μείωση στη ροή της αντλίας και τη μείωση της πιέσεως που αναπτύσσεται στους κυλίνδρους. Η αντιμετώπιση της φθοράς τότε επιτυγχάνεται με τη συντήρηση και την αντικατάσταση των ελατηρίων, των βαλβίδων ή των στοιχείων στεγανοποιήσεως των βαλβίδων που ενδέχεται να είναι από κράμα χαλκού ή ελαστικοί δακτύλιοι (o-ring).

2) Στις ***περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως*** η φθορά εμφανίζεται στη διαρροή μεταξύ των περιστρεφομένων μερών και του κελύφους. Ουσιαστικά είναι συνάρτηση της πιέσεως στις επιφάνειες μεταξύ των εξαρτημάτων, της τριβής μεταξύ των εξαρτημάτων ή συνδυασμός των δύο. Επί πλέον, η θερμότητα που αναπτύσσεται ανά μονάδα επιφανείας εξαρτάται από την πίεση και τις τριβές λόγω του αριθμού στροφών περιστροφής και συντελεί στη φθορά των εξαρτημάτων. Γι' αυτούς του λόγους οι περωτές, ειδικά των αντλιών που διακινούν ***ρευστά με λειαντικές ιδιότητες***[5], είτε είναι κατασκευασμένες από ανθεκτικό υλικό είτε λειτουργούν σε χαμηλότερες στροφές. Εάν και η μείωση των στροφών δεν περιορίζει τις συνθήκες που προκαλούν τη φθορά, τότε μειώνεται η επιφανειακή πίεση στα εξαρτήματα της αντλίας. Εξαίρεση σε αυτούς τους τρόπους αντιμετωπίσεως της φθοράς είναι η χρήση ελαστικών υλικών για την κατασκευή των στροφείων διακινήσεως του ρευστού που αποτρέπουν τη διαρροή. Παράδειγμα αποτελεί ο τρόπος διακινήσεως του ρευστού στις περισταλτικές αντλίες.

3) Στις ***δυναμικές αντλίες*** η φθορά εμφανίζεται στην περιοχή μεταξύ του στροφείου και του κελύφους της αντλίας, όπου διαχωρίζεται ο χώρος της αναρροφήσεως από τον χώρο της καταθλίψεως και στους στυπειοθλίπτες απ' όπου διέρχεται ο άξονας περιστροφής του στροφείου. Το διάκενο[6], μεταξύ του κελύφους και του στροφείου είναι τόσο μικρό ώστε να αποτρέπει τη διαρροή από την υψηλή στη χαμηλή πίεση, αλλά επιτρέπει στην αντλία να περιστρέφεται ελεύθερα. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος επισκευής της αντλίας από τη φθορά του κελύφους σε αυτή την περιοχή εγκαθίστανται ***δακτύλιοι φθοράς*** (wearing rings), οι οποίοι αντικαθιστώνται περιοδικά, εξασφαλίζοντας την αποδοτική λειτουργία της αντλίας, χωρίς να απαιτείται η αντικατάσταση του κελύφους ή της πτερωτής. Η φθορά στους στυπειο-

[5] ***Ρευστό με λειαντικές ιδιότητες*** ονομάζεται αυτό που έχει την δυνατότητα λόγω της περιεκτικότητάς του σε στερεά στοιχεία να λειαίνει τις επιφάνειες με τις οποίες έρχεται σ' επαφή.

[6] ***Διάκενο – ελευθερία*** ή ***χάρη*** ονομάζεται η μικρή απόσταση που μετρείται σε mm.

θλίπτες οφείλεται είτε στην ποιότητα του υγρού, π.χ. όταν παρασύρει σωματίδια ή άμμο με αποτέλεσμα να καταστρέφονται οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή στο σημείο στεγανοποιήσεως, είτε στην φυσιολογική φθορά μετά από μεγάλο διάστημα λειτουργίας που θα οδηγήσει σε εξωτερική διαρροή. Αυτή αντιμετωπίζεται με την αντικατάσταση του μηχανικού στυπειοθλίπτη ή των στυπείων, ανάλογα με τον μηχανισμό που χρησιμοποιείται.

9.5 Εκκίνηση και λειτουργία αντλιών γενικά.

Η εγκατάσταση και η λειτουργία κάθε αντλίας εξαρτάται από τον τύπο της και περιγράφεται από τον κατασκευαστή στο βιβλίο οδηγιών που τη συνοδεύει. Περαιτέρω η εκκίνηση και η απόδοσή της σχετίζεται και με άλλους παράγοντες, όπως η θέση εγκαταστάσεώς της σε σχέση με το σύστημα που εξυπηρετεί, ο αριθμός των αντλιών που χρησιμοποιούνται στο ίδιο δίκτυο αντλήσεως, π.χ. εάν δύο αντλίες σε ένα σύστημα αντλήσεως λειτουργούν παράλληλα ή σε σειρά. Σε γενικές όμως γραμμές, όσον αφορά στην εκκίνηση και στην λειτουργία των αντλιών, μπορούμε να αναφέρουμε ότι:

1) Η εγκατάσταση των αντλιών πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην πηγή αναρροφήσεως του υγρού, ώστε να διευκολύνεται η λειτουργία τους, η επιθεώρηση και η παρακολούθησή τους.

2) Το δίκτυο των σωληνώσεων πρέπει να είναι απλό, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό καμπυλών και με τη σωστή ευθυγράμμιση, ώστε να αποτρέπεται η δημιουργία χώρων όπου εγκλωβίζεται αέρας εμποδίζοντας τη ροή του υγρού.

3) Οι ηλεκτροκινητήρες των αντλιών πρέπει να προστατεύονται από την έκθεση σε υγρασία, έστω και αν καθορίζεται από τους κανονισμούς ότι είναι κατασκευασμένοι ως προστατευόμενου τύπου.

4) Η βάση των αντλιών πρέπει να είναι ενισχυμένη, ώστε να αντέχει στους κραδασμούς του πλοίου και τις τάσεις που αναπτύσσονται κατά την εκκίνηση και τη λειτουργία της.

5) Το κόμπλερ συνδέσεως της αντλίας με τον ηλεκτροκινητήρα πρέπει να είναι σωστά ευθυγραμμισμένο, διότι λανθασμένη ευθυγράμμιση δημιουργεί φθορά και υπερθέρμανση των εδράνων που οδηγούν σε βλάβες στον κινητήρα και την αντλία.

9.5.1 Εκκίνηση αντλιών.

Πριν την ***εκκίνηση*** μίας ***αντλίας*** (pump starting) είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται οι εξής προπαρασκευαστικοί έλεγχοι:

1) ***Έλεγχος των κρουνών***[7] των οργάνων ελέγχου, όπως μανομέτρων, θερμομέτρων και άλλων, ώστε να εξασφαλιστεί ότι είναι ανοικτά.

2) ***Έλεγχος του λιπαντικού*** των εδράνων, ώστε να εξασφαλιστεί η επαρκής λίπανση και ψύξη ή να ανοιχτεί η παροχή ψύξεως στα υδρόψυκτα έδρανα, αν υπάρχουν, και στους στυπειοθλίπτες. Με αυτό αποφεύγεται η φθορά και η υπερθέρμανση των εδράνων που ενδέχεται να οδηγήσουν σε άλλες βλάβες.

3) ***Έλεγχος για την ύπαρξη ικανοποιητικής ποσότητας υγρού στο εσωτερικό της αντλίας*** για την αρχική εκκίνηση (ανάλογα με τον τύπο της αντλίας). Εάν η στάθμη του υγρού που αναρροφάται είναι υψηλότερα από το ανώτερο σημείο της αντλίας ή το δίκτυο αναρροφήσεως βρίσκεται υπό πίεση, για να γεμίσει η αντλία με υγρό αρκεί να ανοιχθεί το επιστόμιο αναρροφήσεως και να γίνει εξαέρωση ανοίγοντας τον εξαεριστικό κρουνό που βρίσκεται εγκατεστημένος στην κορυφή του κελύφους. Διαφορετικά, εάν η στάθμη του υγρού βρίσκεται κάτω από το κέντρο του κελύφους της αντλίας η πλήρωσή της με υγρό και η εξαέρωση επιτυγχάνονται, για αντλίες θετικής εκτοπίσεως με άνοιγμα του εξαεριστικού, ενώ για δυναμικές αντλίες με την αντλία προπληρώσεως ή από εξωτερική πηγή παροχής του υγρού.

4) ***Έλεγχος των επιστομίων αναρροφήσεως*** και καταθλίψεως της αντλίας, ώστε να εξασφαλιστεί ότι είναι ανοικτά.

5) ***Έλεγχος του άξονα των φυγοκεντρικών αντλιών***, ώστε να εξασφαλιστεί ότι περιστρέφεται με ευκολία (κοινώς ελεύθερα), διαφορετικά πρέπει να ελεγχθεί και να αποκατασταθεί. Αν πρόκειται για εκκίνηση για πρώτη φορά ή μετά από επιθεώρηση, πρέπει επίσης να ελεγχθεί ότι η φορά περιστροφής του κινητήρα είναι η ίδια με την απαιτούμενη φορά λειτουργίας της αντλίας.

6) ***Έλεγχος του επιστομίου καταθλίψεως***, το οποίο:

α) σε αντλίες θετικής εκτοπίσεως πρέπει να είναι ανοικτό,

β) σε φυγοκεντρικές αντλίες, κατά την εκκίνηση το επιστόμιο της καταθλίψεως μπορεί να είναι κλειστό

[7] ***Κρουνός*** ονομάζεται η βαλβίδα (επιστόμιο) που χρησιμοποιείται για τη διακοπή ή την παροχή ενός ρευστού στο όργανο ελέγχου.

ή σχεδόν κλειστό. Με αυτόν τον τρόπο απαιτείται το ελάχιστο φορτίο από τον ηλεκτροκινητήρα που λειτουργεί την αντλία, άρα η μικρότερη ισχύς, η οποία κατά την εκκίνηση (με ανοικτό το επιστόμιο καταθλίψεως) φθάνει στο σημείο αυτόματης διακοπής της ηλεκτρικής παροχής στον ηλεκτροκινητήρα λόγω υπερφορτίσεως. Η πρακτική αυτή ως σκοπό έχει να προστατεύσει τον ηλεκτροκινητήρα της αντλίας (η οποία είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί στο μέγιστο μανομετρικό ύψος καταθλίψεως) και λόγω της αντιστάσεως στην ροή (back flow) προς το δίκτυο από το υγρό που υπάρχει μέσα σε αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της καταναλώσεως ισχύος κατά την εκκίνηση του ηλεκτροκινητήρα. Μετά την εκκίνηση είναι απαραίτητο να ανοιχθεί το επιστόμιο της καταθλίψεως της αντλίας προς το δίκτυο. Στα δίκτυα των πλοίων με επιστόμιο καταθλίψεως αυτόματου τύπου διακοπής της ροής (check valve), η βαλβίδα του επιστομίου ανοίγει με την αύξηση της πιέσεως του υγρού που προκαλείται από τη λειτουργία της αντλίας.

γ) Σε αντλίες αξονικής και μεικτής ροής, κατά την εκκίνηση πρέπει να είναι ανοικτό, διότι η ροπή κατά την εκκίνηση φτάνει στην κανονική της τιμή πριν η αντλία φτάσει στις κανονικές στροφές λειτουργίας.

δ) Σε εκχυτήρες, (εάν υπάρχει) στην έξοδο πρέπει να είναι ανοικτό κατά την εκκίνηση. Επίσης στους εκχυτήρες δεν πρέπει να ανοίγεται το επιστόμιο αναρροφήσεως εάν η ροή του κινητήριου ή βοηθητικού ρευστού λειτουργίας του δεν αποκτήσει την κανονική πίεση λειτουργίας.

9.5.2 Λειτουργία αντλιών.

Μετά την εκκίνηση και κατά τη λειτουργία της αντλίας πρέπει να ελέγχονται περιοδικώς τα ακόλουθα:

1) Η λειτουργία της αντλίας και του κινητήρα πρέπει να είναι ομαλή και αθόρυβη (π.χ. έλεγχος για θορύβους από κρούση μετάλλων, συριγμούς ή άλλους πέρα των φυσιολογικών).

2) Η θερμοκρασία των εδράνων του κελύφους και του ηλεκτροκινητήρα (εάν χρησιμοποιείται στην κίνηση της αντλίας) δεν πρέπει να υπερβαίνει το επιτρεπόμενο όριο.

3) Η κατανάλωση ενέργειας του κινητήρα, πρέπει να διατηρείται σταθερή σύμφωνα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της αντλίας που ορίζονται από τον κατασκευαστή. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η διακύμανση που παρουσιάζεται στις παραμέτρους του ρεύματος τροφοδοσίας (Amperes, Volts) κατά την εκκίνηση του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας θεωρείται φυσιολογική εάν είναι εντός των ορίων που θέτει ο κατασκευαστής.

4) Η πίεση που αναπτύσσεται και η παροχή, ανάλογα με τις λειτουργικές συνθήκες, πρέπει να διατηρούνται σταθερές και να συμφωνούν με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας.

5) Η διαρροή από τους στυπειοθλίπτες πρέπει να είναι ελάχιστη, ώστε να αποτρέπεται η υπερθέρμανση. Εάν η στεγανοποίηση πραγματοποιείται με μηχανικούς στυπειοθλίπτες αυτοί δεν πρέπει να έχουν καμία διαρροή.

Σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας μίας αντλίας, παρά το γεγονός ότι στα σύγχρονα πλοία υπάρχουν εγκατεστημένοι ελεγκτικοί μηχανισμοί και αυτοματισμοί, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται περιοδικά επιτόπιοι έλεγχοι με τους οποίους διαπιστώνεται ότι η αντλία λειτουργεί φυσιολογικά. Με τους περιοδικούς ελέγχους που προαναφέρθηκαν, προλαμβάνονται αιφνίδιες βλάβες που μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρή βλάβη των αντλιών.

Για τη διακοπή της λειτουργίας των αντλιών (κοινώς κράτηση) μετά την επιθυμητή διάρκεια λειτουργίας τους διακόπτεται η λειτουργία του κινητήριου μηχανήματος και στη συνέχεια κλείνονται τα επιστόμια αναρροφήσεως και καταθλίψεως, καθώς και το επιστόμιο της γραμμής ψύξεως στους στυπειοθλίπτες, εάν υπάρχει.

Προσοχή: Στις φυγοκεντρικές όμως αντλίες, για την αποφυγή της εμφανίσεως υδραυλικού κτυπήματος, το οποίο ενδέχεται να παρουσιαστεί εάν διακοπεί απότομα η λειτουργία της αντλίας, κλείνεται βαθμιαία το επιστόμιο καταθλίψεως, στη συνέχεια διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα και τέλος κλείνεται το επιστόμιο αναρροφήσεως.

9.6 Συντήρηση αντλιών.

Ο όρος ***συντήρηση αντλιών*** (pump maintenance) αναφέρεται στους διάφορους ελέγχους και τις εργασίες που πρέπει να πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της λειτουργικής «ζωής» μίας αντλίας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η φθορά ενός μηχανήματος είναι κατά προσέγγιση ανάλογη του τετραγώνου του χρόνου λειτουργίας του, ο προληπτικός έλεγχος και η αποκατάσταση ελαττωμάτων και φθοράς που διαπιστώνονται:

1) Προστατεύει την αντλία από σοβαρότερες βλάβες,

2) επιμηκύνει τη διάρκεια της λειτουργικής της ζωής,

3) εξασφαλίζει (σχετικά) την αξιοπιστία της και

4) περιορίζει τα έξοδα, εφόσον η βλάβη αποκαθίσταται σε πρώιμο στάδιο.

Για τη συντήρηση των αντλιών, εκτός του εξωτερικού ελέγχου κατά τη λειτουργία τους, τη λίπανση των εδράνων, του ελέγχου των στυπειοθλιπτών, του συστήματος μεταδόσεως της κινήσεως και του κινητήρα, πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να πραγματοποιούνται οι εργασίες επιθεωρήσεως-επισκευής που ορίζονται από τους κατασκευαστές. Οι επιθεωρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με την αποσυναρμολόγηση της αντλίας και περιλαμβάνουν:

1) Τον έλεγχο των εδράνων.

2) Τον έλεγχο των σαλαμαστρών του στυπειοθλίπτη ή του μηχανικού στυπειοθλίπτη.

3) Την ευθυγράμμιση του συνδέσμου αντλίας-κινητήρα και των ελαστικών στοιχείων αυτού, για τυχόν φθορές.

4) Τον έλεγχο των εσωτερικών επιφανειών του κελύφους για φθορές από μηχανική διάβρωση και σημάδια σπηλαιώσεως.

5) Τη μέτρηση της φθοράς των εδράνων του στροφείου.

6) Τον έλεγχο των ακτινικών διάκενων μεταξύ στροφείου και δακτυλίων φθοράς.

7) Τον έλεγχο των επιφανειών του στροφείου για τυχόν σπηλαίωση.

8) Την σταθερότητα στηρίξεως του στροφείου επάνω στον άξονα.

9) Τον έλεγχο της στεγανότητας των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως, αν υπάρχουν.

Τα εξαρτήματα που υπερβαίνουν λειτουργικά τα όρια φθοράς (σύμφωνα με αυτά που ορίζονται από τον κατασκευαστή) αντικαθίστανται με νέα και τα ανταλλακτικά που χρησιμοποιήθηκαν συγκεντρώνονται σε κατάλογο για παραγγελία και αποθήκευση, ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμα για να χρησιμοποιηθούν όποτε αυτό είναι αναγκαίο.

Σήμερα σχεδόν όλες οι αναγκαίες εργασίες και οι απαραίτητοι έλεγχοι περιέχονται σε έναν πίνακα (check list), ο οποίος συμπληρώνεται από το πλήρωμα που διενεργεί τον έλεγχο και διατηρείται στο αρχείο του πλοίου. Ο πίνακας αυτός αποτελεί βοήθημα όχι μόνο κατά την διάρκεια των εργασιών, αλλά χρησιμοποιείται και ως σημείο αναφοράς για την κατάσταση της αντλίας και αποδεικτικό στους ελέγχους που διενεργούνται από τις αρχές.

Η δυσλειτουργία των αντλιών ενδέχεται να οφείλεται σε διάφορες αιτίες. Ως εκ τούτου, τα συμπτώματα της ανώμαλης λειτουργίας και τα πιθανά αίτια που την προκαλούν δύναται να ταξινομηθούν σε πίνακα, στον οποίο περιλαμβάνονται και προτάσεις για την αντιμετώπισή τους.

Ο πίνακας αυτός, αντιπροσωπευτικός για κάθε τύπο αντλίας, συνήθως περιέχεται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή και αποτελεί σημείο ταχείας αναφοράς που βοηθά στην επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάζονται.

Με σκοπό την εξοικείωση με τα πιθανά αίτια δυσλειτουργίας των αντλιών και με τους αντίστοιχους τρόπους αντιμετωπίσεως και αποκαταστάσεως της βλάβης, παρατίθεται ένας τέτοιος (πίν. 9.6).

Πίνακας 9.6
Συμπτώματα και πιθανά αίτια της ανώμαλης λειτουργίας και προτάσεις για την αντιμετώπισή τους.

Σύμπτωμα – Symptom (ή βλάβη – failure).	***Πιθανά αίτια Possible causes.***	***Αποκατάσταση / Θεραπεία / Λύση Restoration/ Treatment/Solution.***
Η αναρρόφηση της αντλίας είναι αδύναμη.	Ακαθαρσίες στο φίλτρο της αντλίας.	Άνοιγμα (αποσυναρμολόγηση) και καθαρισμός του φίλτρου.
	Οι βίδες (κοχλίες) στη σύνδεση του περιαυχενίου στην αναρρόφηση, του κελύφους της αντλίας ή του φίλτρου, δεν είναι σφιγμένες σωστά.	Έλεγχος και σύσφιγξη στις βίδες (κοχλίες).
	Το στροφείο της αντλίας περιστρέφεται σε λανθασμένη κατεύθυνση.	Έλεγχος και αντιστροφή της κατευθύνσεως περιστροφής.

Σύμπτωμα – Symptom (ή βλάβη – failure).	***Πιθανά αίτια Possible causes.***	***Αποκατάσταση / Θεραπεία / Λύση Restoration/ Treatment/Solution.***
Η αναρρόφηση της αντλίας είναι αδύναμη.	Υπάρχει αέρας ή δεν υπάρχει αρκετό υγρό στην αναρρόφηση της αντλίας.	Πλήρωση του σωλήνα και της αναρροφήσεως της αντλίας με υγρό.
	Διαρροή στο σύστημα στεγανοποιήσεως (σαλαμάστρες ή μηχανικό στυπειοθλίπτη).	Έλεγχος στεγανοποιήσεως για φθορές.
	Φθορά στην αντλία.	Αντικατάσταση των φθαρμένων μερών.
	Αέρας στον σωλήνα αναρροφήσεως λόγω βλάβης στον σωλήνα (τρύπα ή θραύση) ή χαλάρωση στις βίδες των συνδέσμων του δικτύου.	Αντικατάσταση του σωλήνα, σφίξιμο των κοχλιών (βιδών).
	Μείωση της διατομής στον σωλήνα αναρροφήσεως από επικαθίσεις.	Αντικατάσταση ή καθαρισμός του σωλήνα.
	Λανθασμένες στροφές κινητήρα	Έλεγχος και ρύθμιση στροφών σύμφωνα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας.
Η αντλία δεν καταθλίβει υγρό, δεν υπάρχει παροχή.	Κλειστό επιστόμιο.	Έλεγχος των επιστομίων.
	Χαμηλή περιστροφική ταχύτητα της αντλίας.	Έλεγχος στον κινητήρα. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας πρέπει να γίνει έλεγχος στην ηλεκτρική τάση. Σε περίπτωση που ο κινητήρας κινείται από ατμό ή πεπιεσμένο αέρα πρέπει να ελεγχθεί εάν έχουν τη σωστή πίεση και παροχή.
	Η αντλία περιστρέφεται σε λανθασμένη κατεύθυνση.	Έλεγχος της κατευθύνσεως περιστροφής.
	Λανθασμένες στροφές κινητήρα.	Έλεγχος και ρύθμιση στροφών σύμφωνα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας.
	Η πτερωτή ή το φίλτρο στο δίκτυο αναρροφήσεως είναι εντελώς φραγμένα.	Αποσυναρμολόγηση και καθαρισμός πτερωτής ή φίλτρου.
	Φθορά στην αντλία	Αντικατάσταση των φθαρμένων εξαρτημάτων.
Μειωμένη κατάθλιψη από την αντλία.	Εισαγωγή αέρα από την αναρρόφηση ή από τον στυπειοθλίπτη.	Έλεγχος του δικτύου αναρροφήσεως, αντικατάσταση των στυπείων ή του μηχανικού στυπειοθλίπτη.

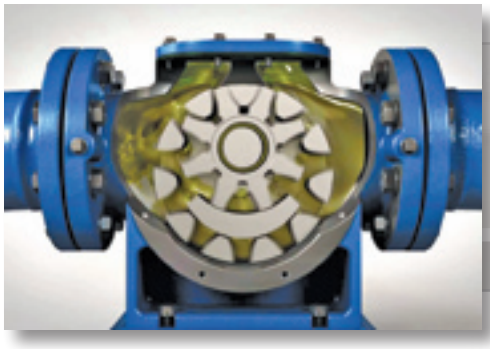
(συνεχίζεται)

Σύμπτωμα – Symptom (ή βλάβη – failure).	***Πιθανά αίτια Possible causes.***	***Αποκατάσταση / Θεραπεία / Λύση / Restoration/ Treatment/ Solution.***
Μειωμένη κατάθλιψη από την αντλία.	Χαμηλές στροφές της αντλίας.	Έλεγχος στον κινητήρα. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας πρέπει να γίνει έλεγχος στην ηλεκτρική τάση. Σε περίπτωση που ο κινητήρας κινείται από ατμό ή πεπιεσμένο αέρα είναι απαραίτητο να ελεγχθεί εάν έχουν τη σωστή πίεση και παροχή.
	Υψηλή θερμοκρασία του αντλούμενου υγρού (ατμοποίηση- σπηλαίωση στην αναρρόφηση).	Μείωση της θερμοκρασίας του υγρού, μείωση των στροφών της αντλίας.
	Το ιξώδες του υγρού είναι μεγαλύτερο από το αναμενόμενο.	Προθέρμανση του υγρού.
	Μηχανικές φθορές ή βλάβες, π.χ. φθορά στους δακτυλίους στεγανοποίησεως των φυγοκεντρικών αντλιών, κατεστραμμένο στροφείο, κατεστραμμένος στυπειοθλίπτης.	Έλεγχος, επισκευή και αντικατάσταση των φθαρμένων εξαρτημάτων.
Η αντλία δεν αναπτύσσει ικανοποιητική πίεση.	Χαμηλές στροφές της αντλίας.	Έλεγχος στον κινητήρα. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας πρέπει να γίνει έλεγχος στην ηλεκτρική τάση. Σε περίπτωση που ο κινητήρας κινείται από ατμό ή πεπιεσμένο αέρα είναι αναγκαίο να ελεγχθεί εάν έχουν την σωστή πίεση και παροχή.
	Αέρας στο υγρό.	Εξαέρωση του κελύφους, έλεγχος του δικτύου αναρροφήσεως.
	Λανθασμένη φορά περιστροφής.	Έλεγχος του κινητήριου μηχανήματος.
	Μηχανικές φθορές ή βλάβες, π.χ. φθορά στους δακτυλίους στεγανοποίησεως των φυγοκεντρικών αντλιών, κατεστραμμένο στροφείο, κατεστραμμένος στυπειοθλίπτης.	Έλεγχος, επισκευή και αντικατάσταση των φθαρμένων εξαρτημάτων.
Η αντλία λειτουργεί παράγοντας υπερβολικό θόρυβο	Θόρυβος από τον κινητήρα.	Έλεγχος των εδράνων του κινητήρα.
	Θόρυβος από την αντλία.	Μηχανική φθορά, διακοπή της λειτουργίας της αντλίας και έλεγχος.
	Θόρυβος από την αντλία, πιθανή λειτουργία σε συνθήκες σπηλαιώσεως.	Μείωση των στροφών της αντλίας, ρύθμιση της ροής μέσω των επιστομίων, μείωση της θερμοκρασίας του υγρού που διακινείται.

Σύμπτωμα – Symptom (ή βλάβη – failure).	***Πιθανά αίτια Possible causes.***	***Αποκατάσταση / Θεραπεία / Λύση / Restoration/ Treatment/ Solution.***
Η αντλία λειτουργεί παράγοντας υπερβολικό θόρυβο	Θόρυβος από τα έδρανα της αντλίας.	Μηχανική φθορά, διακοπή της λειτουργίας της αντλίας και έλεγχος των εδράνων, λίπανση ή αντικατάσταση.
	Λανθασμένη ευθυγράμμιση του συνδέσμου μεταδόσεως της κινήσεως (κόμπλερ, coupling).	Ευθυγράμμιση του συνδέσμου.
Υγρό διαρρέει από την αντλία.	Φθορά στο σύστημα στεγανοποιήσεως.	Αντικατάσταση του συστήματος που χρησιμοποιείται για την στεγανοποίηση.
	Φθορά στη στεγανοποίηση του κελύφους.	Αντικατάσταση του μέσου που χρησιμοποιείται για την στεγανοποίηση.
Η αντλία σταμάτησε.	Ξένο σώμα στην αντλία.	Απομάκρυνση του ξένου σώματος, έλεγχος της αντλίας για πιθανές ζημιές.
	Πρόβλημα στον ηλεκτροκινητήρα ή στο μηχάνημα κινήσεως.	Έλεγχος της παροχής ρεύματος στον ηλεκτροκινητήρα και ασφαλειών πίνακα, έλεγχος του μηχανήματος κινήσεως.
	Πιθανή βλάβη στον κινητήρα.	Αποσύνδεση της αντλίας απ' τον κινητήρα και περιστροφή της χειροκίνητα.
Φθορά του στροφείου από την μία πλευρά.	Λανθασμένη τοποθέτηση του στροφείου.	Αντικατάσταση του στροφείου.
	Λανθασμένη ευθυγράμμιση.	Αντικατάσταση του στροφείου, έλεγχος της ευθυγραμμίσεως.
Φθορά των δακτυλίων στεγανοποιήσεως στο εσωτερικό της αντλίας.	Λανθασμένη ευθυγράμμιση.	Έλεγχος ευθυγραμμίσεως, αντικατάσταση των δακτυλίων.
	Φθορά των εδράνων.	Έλεγχος των εδράνων, αντικατάσταση.
	Αξονική μετατόπιση του άξονα.	Ρύθμιση και ευθυγράμμιση του άξονα.
Δημιουργία ισχυρών δονήσεων.	Η ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα είναι υπερβολικά μεγάλη.	Μείωση των στροφών λειτουργίας του κινητήρα.
	Φθορά των εδράνων.	Αντικατάσταση των εδράνων.
	Κακή ευθυγράμμιση.	Ευθυγράμμιση της αντλίας.

(συνεχίζεται)

Σύμπτωμα – Symptom (ή βλάβη – failure).	***Πιθανά αίτια Possible causes.***	***Αποκατάσταση / Θεραπεία / Λύση Restoration/ Treatment/Solution.***
Η αντλία μυρίζει και εξέρχεται καπνός.	Η αντλία λειτουργεί χωρίς υγρό (ξηρή) για αρκετό χρονικό διάστημα.	Άμεση διακοπή της λειτουργίας της αντλίας, αποσυναρμολόγηση και έλεγχος εσωτερικά για πιθανές βλάβες.
Η αντλία απορροφά υπερβολική ισχύ (ή απορροφά πολλά amperes).	Άξονας σε κάμψη ή κακή ευθυγράμμιση.	Αντικατάσταση του άξονα, ευθυγράμμιση της αντλίας.
	Εμποδίζεται η περιστροφή του στροφείου.	Έλεγχος του στροφείου, περιστροφή της αντλίας χειροκίνητα.
	Φραγμένοι δακτύλιοι φθοράς.	Έλεγχος δακτυλίων και αντικατάσταση.
	Πολύ σφικτός στυπειοθλίπτης.	Ρύθμιση του στυπειοθλίπτη.
	Μεγάλη πυκνότητα ή ιξώδες του υγρού.	Θέρμανση του υγρού που διακινείται, μείωση των στροφών.
	Υψηλές στροφές περιστροφής της αντλίας.	Ρύθμιση στροφών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ
Μελέτη συστήματος αντλήσεως

10.1 Εισαγωγή.

Η αξιοπιστία στις λειτουργίες των πλοίων, όπως κάθε παραγωγικής εγκαταστάσεως, βασίζεται στην κυκλοφορία ή στην μεταφορά υγρών, που υποστηρίζεται από ανάλογου μεγέθους συστήματα αντλήσεως. Επίσης η κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία των αντλιών αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ενεργειακές παραμέτρους της εγκαταστάσεως. Επομένως, ο σωστός σχεδιασμός και η σωστή λειτουργία είναι σημαντικοί παράγοντες για τα συστήματα αντλήσεως. Στις ακόλουθες παραγράφους, παρουσιάζονται περιληπτικά ορισμένες βασικές αρχές που σχετίζονται με τον σωστό σχεδιασμό ενός συστήματος αντλήσεως, στο οποίο οι αντλίες αποτελούν δομικό στοιχείο.

Η σχεδιαστική και λειτουργική προσέγγιση ενός συστήματος αντλήσεως, απαιτεί προετοιμασία σε σχέση με τους στόχους που το σύστημα καλείται να εξυπηρετήσει. Ενδείκνυται λοιπόν να ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1) Προσδιορισμός των συνθηκών και των βασικών παραμέτρων λειτουργίας.

2) Καθορισμός των αμέσων και των μελλοντικών αναγκών, που πρέπει να καλύψει το σύστημα αντλήσεως.

3) Συγκέντρωση και ανάλυση όλων των στοιχείων λειτουργίας του.

4) Αξιολόγηση των εναλλακτικών σχεδίων και των βελτιώσεων.

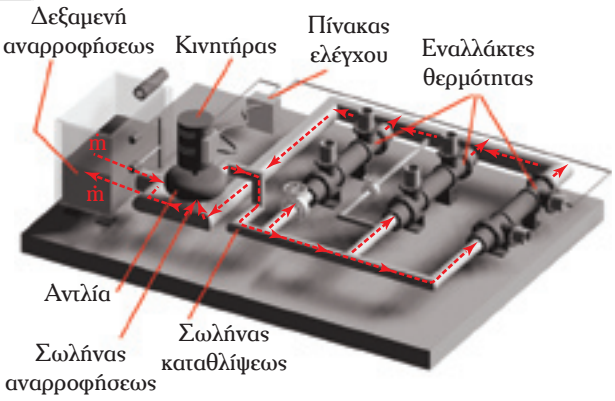
5) Καθορισμός των βελτίστων οικονομικοτεχνικών επιλογών, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα υποσυστήματα.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η καλύτερη επιλογή, διαμορφώνονται οι τεχνικές προδιαγραφές, προμηθεύεται ο σχετικός εξοπλισμός και τέλος πραγματοποιείται η εγκατάσταση του συστήματος αντλήσεως.

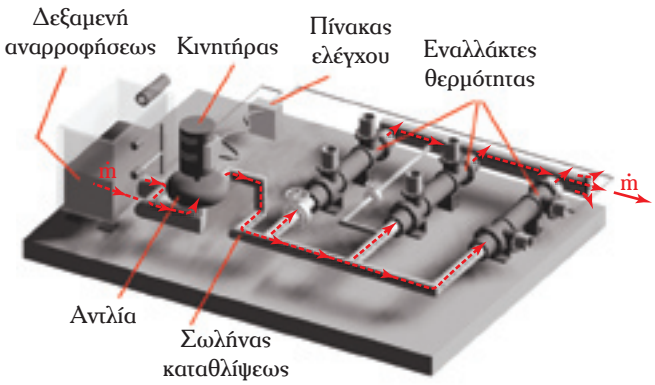
Μετά την εγκατάσταση, συνεχίζεται ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση του συστήματος, ώστε να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά. Η φάση αυτή –αν και σε σημαντικό βαθμό καθορίζεται από τις αρχικές σχεδιαστικές επιλογές– είναι ακόμα πιο σημαντική, καθώς ένα σύστημα αντλήσεως που λειτουργεί και συντηρείται σωστά, έχει εκτιμώμενο χρόνο ζωής από 15 ως 20 χρόνια.

Ένα σύστημα αντλήσεως όπως έχει αναφερθεί αποτελείται από τρία βασικά τμήματα: Το τμήμα της ***αναρροφήσεως***, το τμήμα της ***καταθλίψεως*** και την ***αντλία***. Ο σωλήνας καταθλίψεως μεταφέρει το υγρό στον ***εξοπλισμό τελικής χρήσεως*** (π.χ. εναλλάκτες θερμότητας, δεξαμενή πιέσεως και γενικότερα στον υδραυλικό εξοπλισμό). Επίσης σε αρκετές περιπτώσεις, το σύστημα αντλήσεως ενδέχεται να είναι κλειστό ή ανοικτό. ***Κλειστό*** είναι όταν το υγρό, μετά την κατάθλιψη και εφόσον διέλθει από τον εξοπλισμό χρήσεως [π.χ. εναλλάκτες θερμότητας με θάλασσα σε δίκτυο ψύξεως ΜΕΚ σχ. 8.4δ (σελ. 187) και σχ. 10.1α] επανακυκλοφορεί στον σωλήνα αναρροφήσεως, ενώ ***ανοικτό*** είναι όταν το υγρό, μετά την κατάθλιψη και εφόσον διέλθει από τον εξοπλισμό χρήσεως [π.χ. εναλλάκτες θερμότητας με γλυκό νερό σε δίκτυο ψύξεως ΜΕΚ σχ. 8.4γ (σελ. 186) και σχ. 10.1β] απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με τα όσα αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, μία δυναμική αντλία σχεδιάζεται



Σχ. 10.1α
Σύστημα αντλήσεως (κλειστό).



Σχ. 10.1β
Σύστημα αντλήσεως (ανοικτό).

προκειμένου να λειτουργήσει στο σημείο βέλτιστης αποδόσεως (ΒΕΡ) ή στη βέλτιστη περιοχή της.

Εργαζόμενη στο ΒΕΡ η αντλία, θα έχει τον μέγιστο βαθμό αποδόσεως, θα δίνει παροχή ίση με την κανονική (βέλτιστη) V_n και θα αποδίδει ύψος H_n:

$$\text{ΒΕΡ:} \quad \eta = \eta_{max} \quad \dot{V} = \dot{V}_n \quad H = H_n$$

Η αντλία φυσικά μπορεί να λειτουργήσει και σε άλλα σημεία, με μικρότερο βαθμό αποδόσεως, καθοριζόμενα από διαφορετικές τιμές ύψους και παροχής, πάντοτε όμως πάνω στην χαρακτηριστική καμπύλη της $H-\dot{V}$.

Το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως, στο οποίο είναι τοποθετημένη (ή θα τοποθετηθεί) η αντλία, κατά συνέπεια και το σημείο λειτουργίας της αντλίας, εξαρτάται όχι μόνο από την αντλία, αλλά και απ' τη σωληνογραμμή. Το σημείο αυτό βρίσκεται στην τομή της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας με την χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής. Επομένως, με δεδομένη την αντλία (και τις καμπύλες της), για να βρίσκεται το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλήσεως στη βέλτιστη περιοχή, πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα η σωληνογραμμή και ιδιαίτερα το πιο ενεργοβόρο τμήμα της, που είναι αυτό της καταθλίψεως.

Για να ισχύουν όμως οι καμπύλες της αντλίας, αλλά και για να λειτουργεί ομαλά το σύστημα αντλήσεως, θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλη διαμόρφωση του τμήματος της αναρροφήσεως, ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα σπηλαιώσεως ή ακόμα και διακοπή της αντλήσεως.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τρία κύρια ζητήματα είναι αυτά που λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος αντλήσεως: Η ***επιλογή της κατάλληλης αντλίας***, ο ***σχεδιασμός της αναρροφήσεως και καταθλίψεως***, ώστε το σύστημα να λειτουργεί ομαλά και αποδοτικά. Ο σχεδιασμός των τριών τμημάτων είναι αλληλένδετος. Προκειμένου να επιλεχθεί μια αντλία σχεδιάζεται πρόχειρα η αναρρόφηση και η κατάθλιψη. Εφόσον γίνει η επιλογή της αντλίας (ή αν υπάρχει διαθέσιμη), ασχολούμαστε πιο συγκεκριμένα με τα άλλα δύο τμήματα και τέλος με το σύστημα αντλήσεως ως σύνολο.

10.2 Κριτήρια επιλογής αντλιών.

Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας αποτελεί τη σημαντικότερη ενέργεια κατά τον σχεδιασμό του συστήματος αντλήσεως. Διευκρινίζεται ότι οι παράμετροι επιλογής είναι περισσότερες απ' όσες θα αναφερθούν στη συνέχεια και ***η επιλογή αντλίας σε ελάχιστες περιπτώσεις αποτελεί μονόδρομο.***

Βασική προϋπόθεση για τη σωστή επιλογή της αντλίας αποτελεί η αναλυτική γνώση του συστήματος αντλήσεως στο οποίο θα τοποθετηθεί. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να είναι γνωστά και να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

1) ***Οι ιδιότητες του αντλούμενου υγρού***. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στο ***ιξώδες*** του υγρού. Αν το αντλούμενο υγρό είναι παχύρρευστο, μάλλον θα αποκλειστούν οι αντλίες δυναμικού τύπου και θα χρησιμοποιηθεί κάποια περιστροφική αντλία θετικής εκτοπίσεως. Βέβαια, αν δίνεται η δυνατότητα μειώσεως του ιξώδους με θέρμανση του διακινούμενου υγρού (όπως συμβαίνει π.χ. στην διακίνηση βαρέων καυσίμων), ενδέχεται να χρησιμοποιείται και η εναλλακτική λύση αντλιών δυναμικού τύπου. Οι περιστροφικές δυναμικές αντλίες έχουν μειωμένη απόδοση όταν αντλούν υγρά μεγάλου ιξώδους και κατά συνέπεια, μεγαλύτερες απαιτήσεις ισχύος. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών (οι οποίες έχουν προκύψει για διακινούμενο υγρό το νερό), τροποποιούνται με διορθωτικούς συντελεστές, στην περίπτωση που το κινηματικό ιξώδες είναι $>20\cdot10^{-6}$ m^2/s.

Αντίστοιχης σημασίας είναι και η ***συγκέντρωση στερεών*** σωματιδίων, καθώς και το μέγεθος και η σκληρότητά τους. Αν το υγρό έχει πολύ μεγάλη συγκέντρωση στερεών, επιλέγεται μία αντλία που δεν θα φράξει ή δεν θα αποτύχει πρόωρα.

Αν το αντλούμενο υγρό συμπαρασύρει μεγάλες ***ποσότητες αερίων*** θα πρέπει να επιλεχθούν αντλίες, οι οποίες μπορούν να ανταποκριθούν, δηλαδή είτε περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, είτε αντλίες ακροφυσίου.

Αν το υγρό έχει ***διαβρωτικές ιδιότητες***, θα πρέπει να επιλεχθεί μία αντλία ειδικής κατασκευής, της οποίας η πτερωτή και τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το υγρό να αντέχουν στη διάβρωση.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά την άντληση υγρών που βρίσκονται σε ***υψηλή θερμοκρασία***. Ιδιαίτερα, για θερμοκρασίες αντλήσεως μεγαλύτερες των 90°C, πρέπει να εξετασθούν προσεκτικά τα υλικά κατασκευής της αντλίας και ιδιαίτερα ορισμένα τμήματά της, όπως το σύστημα στεγανοποιήσεως.

Η γνώση των ***πιέσεων λειτουργίας*** σχετίζεται με την επιλογή των καταλλήλων υλικών, ενώ η ***τάση ατμών*** σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία λειτουργίας σχετίζονται με το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως της αντλίας. Τέλος, η ***πυκνότητα*** του αντλούμενου υγρού, σχετίζεται άμεσα με την ισχύ της αντλίας.

2) Οι ***απαιτήσεις του συστήματος σε παροχή και ολικό ύψος***. Αυτό είναι το σημαντικότερο κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης αντλίας. Είναι λογικό η αντλία που θα επιλεχθεί να έχει βέλτιστη παροχή, αντίστοιχη με την απαιτούμενη από το σύστημα, ταυτόχρονα θα πρέπει να αποδίδει και ύψος αντίστοιχο με το ολικό ύψος που απαιτεί το σύστημα.

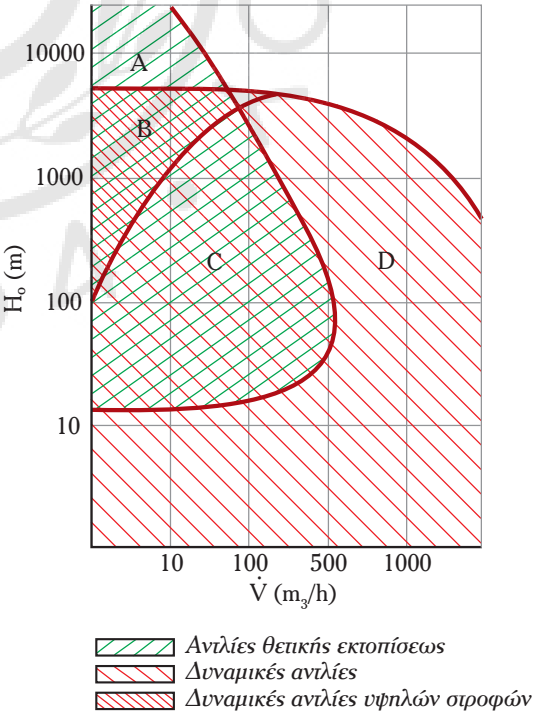
Η σχέση βέλτιστης παροχής και αποδιδόμενου ύψους της αντλίας σε ορισμένη ταχύτητα περιστροφής, εκφράζεται από την ειδική ταχύτητά της. Όπως τονίζεται στην παράγραφο 5.5.2, η έκφραση της ειδικής ταχύτητας πιθανόν να διαφέρει, ανάλογα με τον κατασκευαστή και το σύστημα. Στη συνέχεια αναφερόμαστε αποκλειστικά στην ***Παγκόσμια Ειδική Ταχύτητα*** (Universal Specific Speed) N_{SU}, η οποία αποτελεί αδιάστατο μέγεθος, εξίσωση (5.28α):

$$N_{SU} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{\dot{V}_{\eta}^{0,5}}{(g \cdot H_n)^{0,75}}$$

Για μετατροπές από ή σε εκφράσεις της ειδικής ταχύτητας N_S που δεν είναι αδιάστατες (US, Metric, SI), χρησιμοποιείται ο πίνακας 5.5 (σελ. 105).

Υπενθυμίζεται ότι οι αντλίες αξονικής ροής, οι οποίες έχουν μεγάλες ειδικές ταχύτητες, δίνουν μεγάλες παροχές αλλά αποδίδουν μικρά ύψη. Καθώς η ειδική ταχύτητα μειώνεται, μειώνονται και οι παροχές αλλά αυξάνεται η δυνατότητα αποδόσεως μεγαλυτέρων υψών. Έτσι, οι δυνατότητες μεγάλης παροχής μειώνονται στις αντλίες μεικτής ροής και ακόμα περισσότερο στις αντλίες ακτινικής ροής, με αντίστοιχη βελτίωση του αποδιδόμενου ύψους. Αν το ολικό ύψος είναι ακόμα πιο μεγάλο και η παροχή μικρότερη, χρησιμοποιούνται στροβιλαντλίες, καθώς και πολυβάθμιες φυγόκεντρες αντλίες, χωρίς να αποκλείεται η περίπτωση να χρησιμοποιούνται περιστροφικές αντλίες, στατικού τύπου (ιδιαίτερα αν το αντλούμενο υγρό είναι παχύρρευστο) ή και παλινδρομικές (για πολύ μεγάλα ύψη και πολύ μικρές παροχές). Το διάγραμμα του σχήματος 10.2α παρουσιάζει μια γενική εικόνα της χρήσεως αντλιών θετικής εκτοπίσεως ή δυναμικού τύπου, ανάλογα με τα αποδιδόμενα ύψη και τις παροχές. Παρατηρείται ότι μονόδρομος στις επιλογές παρουσιάζεται στην περιοχή A (πολύ μεγάλο ύψος – μικρή παροχή, αντλίες θετικής εκτοπίσεως) και στην περιοχή D (μικρό ύψος είτε μεγάλη παροχή, δυναμικές αντλίες). Στην αρκετά συνηθισμένη περιοχή C (μέτριο ύψος, μικρή ως μέτρια παροχή) δίνεται η δυνατότητα επιλογής αντλίας στατικού ή κινητικού τύπου. Τέλος, στην περιοχή B (μεγάλο ύψος-μικρή παροχή), μπορεί η επιλογή να γίνει μεταξύ αντλιών στατικού τύπου και δυναμικών αντλιών υψηλών στροφών.

Για την επιλογή ανάμεσα στους διάφορους τύπους των περιστροφικών δυναμικών αντλιών, αξιοποιείται η ειδική ταχύτητα. Για να γίνει κατανοητή η σχέση ύψους-παροχής με την ειδική ταχύτητα, συγκρίνονται τα ύψη πέντε αντλιών με $\dot{V}_n$ = 100 m^3/h,



Σχ. 10.2α

Επιλογή αντλίας με βάση το ολικό ύψος και την παροχή.

n = 1750 rpm και διαφορετικές ειδικές ταχύτητες N_{SU}, όπως προκύπτουν με χρήση της εξισώσεως (5.28α), (πίν. 10.2.1):

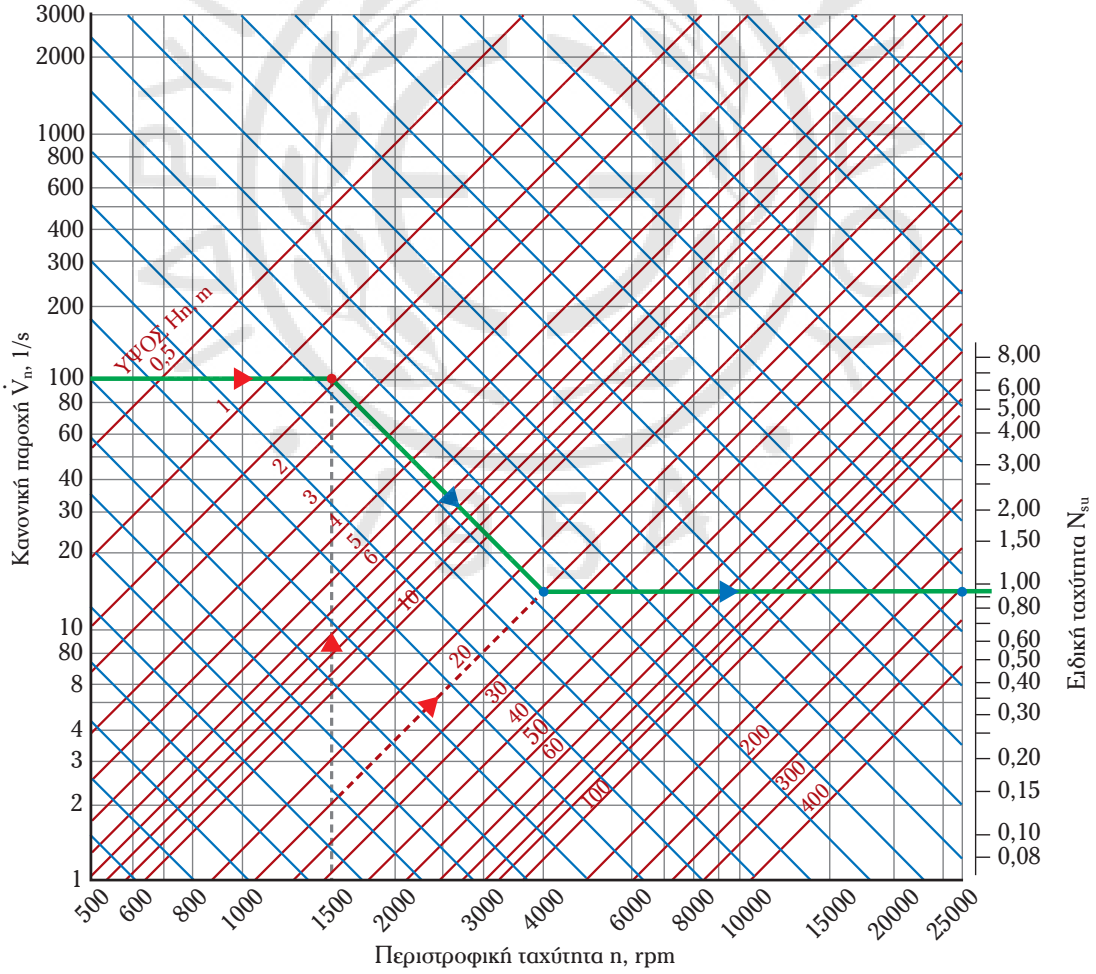
Παρατηρείται η μεγάλη διαφορά αποδιδόμενου ύψους που προκύπτει για τις αντλίες διαφορετικών ειδικών ταχυτήτων.

Πίνακας 10.2.1
Σύγκριση αντλιών διαφορετικής ειδικής ταχύτητας.

N_{SU}	***Τύπος αντλίας***	n rpm	$\dot{V}_n$ m^3/h	H_n m
0,2	Ακτινικής ροής	1750	100	83,21
1,0	Ακτινικής ροής	1750	100	9,73
2,0	Μεικτής ροής	1750	100	3,86
4,0	Αξονικής ροής	1750	100	1,53
5,0	Αξονικής ροής	1750	100	1,14

Για να αποφευχθεί η υπολογιστική διαδικασία που απαιτεί η εξίσωση (5.28), χρησιμοποιείται συχνά το σχετικό νομογράφημα του σχήματος 10.2β. Σ' αυτό, ξεκινώντας από την παροχή (άξονας τεταγμένων), πηγαίνομε ακολουθώντας οριζόντια διαδρομή στην ταχύτητα περιστροφής (άξονας τετμημένων). Στη συνέχεια ακολουθώντας την πλάγια μπλε γραμμή φτάνομε στο ύψος (το οποίο σημειώνεται με πλάγιες κόκκινες γραμμές στο σχ. 10.2β). Στο σημείο τομής λαμβάνεται η ειδική ταχύτητα της αντλίας (κλίμακα δεξιά). Για παράδειγμα μία αντλία που έχει κανονική παροχή 100 l/s, λειτουργεί στις 1500 rpm και αποδίδει ύψος 20 m, σύμφωνα με το διάγραμμα έχει ειδική ταχύτητα $N_{SU} = 0,95$. [Εφαρμόζοντας τη σχέση (5.28), προκύπτει: $N_{SU} = 0,947$].

Φυσικά το αποδιδόμενο ύψος και η παροχή εξαρτώνται και από το μέγεθος της αντλίας, τη διάμετρο της πτερωτής και τις στροφές περιστροφής της. Αλλά αν η ειδική ταχύτητα είναι δεδομένη, τα παραπάνω



Σχ. 10.2β
Νομογράφημα υπολογισμού Παγκόσμιας Ειδικής Ταχύτητας.

σημαντικά μεγέθη μεταβάλλουν κατά τον ίδιο τρόπο το αποδιδόμενο ύψος και την παροχή. Αν για παράδειγμα η αντλία του πίνακα 10.2.1 με $N_{SU} = 2$ λειτουργήσει με περιστροφική ταχύτητα 1600 rpm, η παροχή θα είναι μικρότερη και μικρότερο το αποδιδόμενο ύψος:

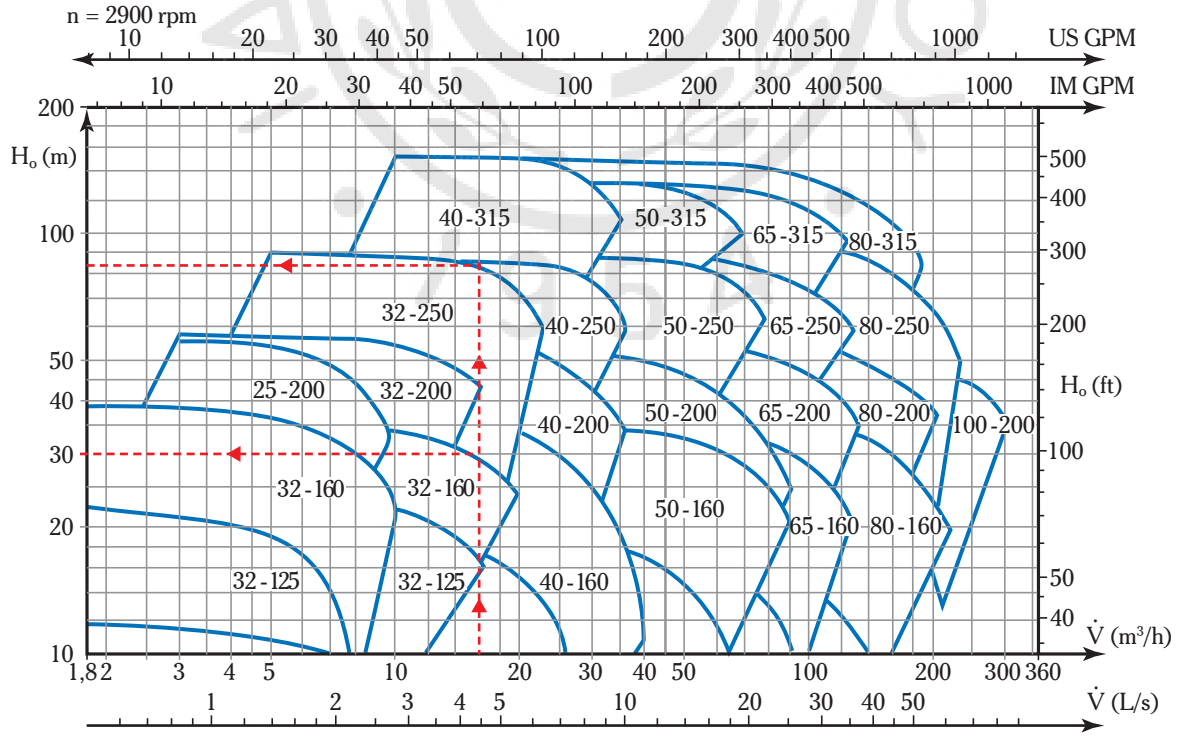
$$\frac{\dot{V}}{\dot{V}'_n} = \frac{n}{\eta'} \Rightarrow \dot{V}'_n = 91,4\,m^3/h$$

$$\frac{H_n}{H'_n} = \left(\frac{\eta}{\eta'}\right)^2 \Rightarrow H'_n = 3,23\,m$$

Σημειώνεται ότι η γνώση του ολικού ύψους που απαιτεί το σύστημα αντλήσεως, προϋποθέτει τη γνώση όλων των μεγεθών του συστήματος αντλήσεως που το καθορίζουν (στατικό ύψος, ύψος πιέσεως και ταχύτητας, στοιχεία σωλήνων). Μεταξύ αυτών είναι φυσικά και η διάμετρος του σωλήνα καταθλίψεως, αφού στο ολικό ύψος περιλαμβάνεται και το ύψος απωλειών του συστήματος.

Οι εταιρείες παραγωγής αντλιών, παρέχουν συνολικότερα διαγράμματα (τα οποία αναφέρονται σε μια οικογένεια αντλιών) για την επιλογή της κατάλληλης αντλίας σε συνάρτηση με την παροχή και το ολικό ύψος του συστήματος αντλήσεως (παράγρ. 6.2). Συνήθως επί των διαγραμμάτων αυτών σημειώνονται και ορισμένα τεχνικά στοιχεία. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο, μαζί μ' αυτά να παρείχαν για κάθε ομάδα αντλιών και την ειδική της ταχύτητα. Ένα τέτοιο διάγραμμα παρουσιάζεται στο σχήμα 10.2γ (που εκτός από τις στροφές περιστροφής, περιέχει για κάθε αντλία, την ονομαστική διάμετρο της καταθλίψεως και τη διάμετρο της πτερωτής).

3) ***Απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSHr***. Στην πλέον συνηθισμένη περίπτωση που η σχέση αποδιδόμενου ύψους-παροχής μας οδηγεί σε επιλογή δυναμικής αντλίας, μία ακόμα βασική παράμετρος είναι το NPSHr της αντλίας. Ιδιαίτερα όταν ο σχεδιασμός του συστήματος αντλήσεως δεν αφήνει σημαντικά περιθώρια για μεγάλες τιμές διαθέσιμου NPSH, η παράμετρος αυτή αποκτά πρωτεύουσα σημασία. Για παράδειγμα μια αντλία πιθανόν να είναι η πιο κατάλληλη για το σύστημα που μελετάται, με κριτήριο την κανονική παροχή και το αντίστοιχο αποδιδόμενο ύψος. Αλλά αν με βάση το διαθέσιμο NPSHa του συστήματος και το απαιτούμενο NPSHr της αντλίας, η περιοχή βέλτιστης λειτουργίας αποτελεί και περιοχή σπηλαιώσεως, η αντλία πρέπει να απορριφθεί (εκτός και αν υπάρχει τρόπος,



Σχ. 10.2γ

Διάγραμμα επιλογής αντλίας σε συνάρτηση με την παροχή και το ολικό ύψος τους συστήματος.

με αλλαγές στη σχεδίαση της αναρροφήσεως, να αυξηθεί σημαντικά το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως).

4) ***Βαθμός αποδόσεως της αντλίας***. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω κριτήρια (που σχετίζονται με την κάλυψη των λειτουργικών προϋποθέσεων που θέτει το σύστημα αντλήσεως), έχει περιοριστεί αρκετά το εύρος των προς επιλογή αντλιών. Συνήθως όμως παραμένει μεγάλος αριθμός επιλεξίμων αντλιών. Στο σημείο αυτό έχουν καλυφθεί σε σημαντικό βαθμό οι τεχνικές προϋποθέσεις και τίθεται το καθοριστικό ερώτημα που σχετίζεται με την οικονομική λειτουργία του συστήματος. Από τις αντλίες που καλύπτουν τις ανάγκες του συστήματος αντλήσεως, η προτιμότερη κατά πάσα πιθανότητα είναι εκείνη που έχει καλύτερο βαθμό αποδόσεως.

Για να καταστεί πιο σαφές το κριτήριο της οικονομικής λειτουργίας, διαμορφώνεται συχνά κι ένας επί πλέον δείκτης: ***ο λόγος της κανονικής παροχής της*** προς ***την ισχύ που καταναλώνει η αντλία***. Ο δείκτης αυτός δείχνει την παροχή ανά μονάδα καταναλισκόμενης ισχύος και επιτρέπει την άμεση σύγκριση της λειτουργίας των αντλιών από οικονομικής πλευράς.

Παράδειγμα 1.

Σε σύστημα αντλήσεως με απαιτήσεις ολικού ύψους 50 m και παροχής νερού 2000 m^3/h, πρόκειται να τοποθετηθεί δυναμική αντλία. Υπολογίζεται ότι η αντλία θα εργάζεται 8000 ώρες ετησίως. Αν έχομε να επιλέξομε μεταξύ δύο καταλλήλων αντλιών, με την πρώτη να έχει βαθμό αποδόσεως 82% και τη δεύτερη 78%, πόση θα είναι η διαφορά στο ετήσιο κόστος λειτουργίας των δύο αντλιών; Το κόστος της ενέργειας να ληφθεί ίσο με 0,05 €/kWh. Η αντλία θα τροφοδοτείται από κινητήρα επαρκούς ισχύος, βαθμού αποδόσεως 96%.

Λύση:

Δεδομένα: $V = 2000\ m^3/h$, $H = 50\ m$, $t = 8000\ h$, $\eta_1 = 0{,}82$, $\eta_2 = 0{,}78$, $\eta_к = 0{,}96$, $c = 0{,}05\ €/kWh$

Ζητούμενο: η διαφορά κόστους ΔC (Cost Difference).

Η αποδιδόμενη ισχύς της αντλίας είναι:

$$P_o = \gamma \cdot \dot{V} \cdot H_o = \rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot H_o$$

ή $$P_o = 1.000\,kg/m^3 \cdot 10\,m/s^2 \frac{2.000}{3.600} m^3/s \cdot 50\,m$$

ή $$P_o = 272{,}5\,kW$$

Η αξονική ισχύς των δύο αντλιών θα διαφοροποιείται έτσι ώστε:

$$P_{a1} = \frac{P_o}{\eta_1} = \frac{272{,}5}{0{,}82}\,kW = 332{,}32\,kW \quad \text{και}$$

$$P_{a2} = \frac{P_o}{\eta_2} = \frac{272{,}5}{0{,}78}\,kW = 349{,}36\,kW$$

Η κατανάλωση ισχύος από τον κινητήρα θα είναι:

$$P_{к1} = \frac{P_{a1}}{\eta_к} = \frac{332{,}32}{0{,}96}\,kW = 346{,}164\,kW$$

$$P_{к2} = \frac{P_{a2}}{\eta_к} = \frac{349{,}36}{0{,}96}\,kW = 363{,}915\,kW$$

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας από κάθε αντλία θα είναι:

$$E_1 = P_{к1} \cdot t = 346{,}164\,kW \cdot 8000\ h/έτος = 2.769.015\,kWh/έτος$$

$$E_2 = P_{к2} \cdot t = 365{,}515\,kW \cdot 8000\ h/έτος = 2.911.325\,kWh/έτος$$

Η διαφορά καταναλώσεως ενέργειας για κάθε έτος θα είναι:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 2.911.325\,kWh/έτος - 2.769.015\,kWh/έτος = 142.015\,kWh/έτος$$

Το κόστος ΔC της διαφοράς ΔE στην κατανάλωση ενέργειας θα είναι:

$$\Delta C = \Delta E \cdot 0{,}05\,€/kWh = 142.015\,kWh/έτος \cdot 0{,}05\,€/kWh = 7.100\,€/έτος$$

Πιο οικονομική είναι η $1^η$ αντλία.

Η οικονομική σύγκριση της ενεργειακής καταναλώσεως των δύο αντλιών θα μπορούσε να γίνει και με τη διαμόρφωση των λόγων:

$$V/P_1 = 5{,}77\,m^3/kWh = 1{,}60\,m^3/J$$

$$V/P_2 = 5{,}50\,m^3/kWh = 1{,}53\,m^3/J$$

Πέρα από τα παραπάνω κριτήρια, υπάρχουν και άλλα τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή της αντλίας και τον σχεδιασμό του συστήματος αντλήσεως, όπως η γεωμετρία της αντλίας (οριζόντια ή κάθετη), το μέγεθός της, η συμβατότητα με κινητήριες μηχανές, η απαίτηση σταθερότητας (ή μη) της παροχής ανεξαρτήτως φορτίου, η δυνατότητα λειτουργίας σε ένα εύρος περιστροφικών ταχυτήτων, η δυνατότητα αλλαγής διαμέτρων πτερωτής, η ευκολία συντηρήσεως κ.λπ..

Μεταξύ των διαφόρων επί πλέον κριτηρίων, σημαντικότερες θεωρούνται οι προδιαγραφές, με βάση τις οποίες κατασκευάστηκε η αντλία. Στον τομέα αυτόν ο ISO (International Organization for Standardization) έχει προχωρήσει σε κάποιες προδιαγραφές και κάποιες βρίσκονται σε ανάπτυξη. Επί πλέον στις ΗΠΑ ισχύουν οι προδιαγραφές ANSI/HI (American National Standards Institute - Hydraulic Institute), οι οποίες δεν είναι ακόμα επαρκώς εναρμονισμένες με τις προδιαγραφές ISO. Αυτό πρέπει να μας κάνει ιδιαίτερα προσεκτικούς και η αξιοπιστία του οργανισμού τυποποιήσεως να αποτελεί, κατά την άποψή μας, απαραίτητη προϋπόθεση για την προμήθεια εξοπλισμού.

– Η κινητήρια μηχανή της αντλίας.

Η κινητήρια μηχανή της αντλίας δεν επηρεάζει τους υδραυλικούς υπολογισμούς όμως παρέχει στον άξονα της αντλίας την (αξονική) ισχύ, το σημαντικότερο τμήμα της οποίας μεταβιβάζεται στο αντλούμενο υγρό (σχ. 4.5ε, σελ. 87). Η ισχύς που φτάνει στον άξονα της αντλίας είναι μικρότερη της ισχύος που καταναλώνει ο κινητήρας (λόγω μηχανικών απωλειών). Ο λόγος της ισχύος του κινητήρα προς την αξονική ισχύ αποτελεί τον ***βαθμό αποδόσεως του κινητήρα*** η_{κ}:

$$\eta_{\kappa} = \frac{P_{\alpha}}{P_{\kappa}} \Rightarrow P_{\alpha} = n_{\kappa} \cdot P_{\kappa} \qquad (10.1)$$

Οι αντλίες που λαμβάνουν ενέργεια από μία κινητήρια μηχανή, η οποία εξυπηρετεί και άλλους ενεργειακούς σκοπούς, καλούνται εξαρτημένες. Σ' αυτές, η μετάδοση της ισχύος στον άξονα της αντλίας γίνεται με διάφορους τρόπους (ιμάντες, γρανάζια κ.ά.).

Πιο σημαντικές και με μεγαλύτερους βαθμούς ελευθερίας στην επιλογή είναι οι ανεξάρτητες αντλίες, δηλαδή οι αντλίες στις οποίες προσαρμόζεται κινητήρια μηχανή εργαζόμενη αποκλειστικά γι' αυτήν. Η μηχανή μπορεί να είναι μία ΜΕΚ (π.χ. μια μηχανή Diesel). Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, η κινητήρια μηχανή της αντλίας είναι ένας ηλεκτροκινητήρας, συνήθως εναλλασσόμενου ρεύματος.

Οι στροφές περιστροφής των αντλιών εξαρτώνται από το σύστημα μεταδόσεως της ισχύος. Η απευθείας σύζευξη του κινητήρα με τον άξονα της αντλίας, συνεπάγεται περιορισμούς στις διαθέσιμες στροφές, στις οποίες μπορεί να λειτουργήσει. Πιο συγκεκριμένα, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, έχουν συχνότητες 50 ή 60 Hz και ανάλογα με τη σύνδεση δίνουν τις στροφές που αναφέρονται στον πίνακα 10.2.2.

Στην πράξη, οι μηχανές περιστρέφονται με λίγο περισσότερες στροφές (εξαρτώμενες από την έξοδο ισχύος και την κατασκευή). Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ***ελεγκτές στροφών*** (motor speed controllers) είναι δυνατή η λειτουργία και σε άλλες στροφές. Η μετάδοση κινήσεως με ιμάντες, γρανάζια (gearboxes) ή όταν χρησιμοποιούνται στρόβιλοι ή ΜΕΚ ως οδηγοί, επιτρέπουν επίσης την επιθυμητή ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής.

Πίνακας 10.2.2
Στροφές αναφοράς τριφασικού κινητήρα.

Αριθμός πόλων	2	4	6	8	10	12	14
Συχνότητα 50 Hz (rpm)	2900	1450	960	725	580	480	415
Συχνότητα 60 Hz (rpm)	3500	1750	1160	875	700	580	500

Πηγή: International Electrotechnical Commission – IEC.

Είναι προφανές ότι επιλέγοντας μία ανεξάρτητη αντλία, πρέπει να επιλεχθεί και ο κινητήρας της. Υπάρχουν περιπτώσεις, στις οποίες η χρήση της αντλίας καθορίζει και το είδος του κινητήρα. Έτσι, μια πυροσβεστική αντλία δεν πρέπει να εξαρτάται από την ηλεκτρική ενέργεια (ή τουλάχιστον να μπορεί να λειτουργήσει και χωρίς αυτή). Επομένως είναι εμφανής η επιλογή μιας ΜΕΚ κατάλληλης ισχύος ως κινητήριας μηχανής της αντλίας.

Ο κινητήρας που θα επιλεγεί για την κίνηση μιας αντλίας πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ισχύος του συστήματος αντλήσεως και να διαθέτει ένα επί πλέον απόθεμα ισχύος ασφάλειας. Σημαντικοί παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στην επιλογή, είναι το κόστος αγοράς και η αξιόπιστη λειτουργία. Οι ηλεκτροκινητήρες σταθερών στροφών έχουν χαμηλότερο αρχικό κόστος. Οι ακριβότερες ηλεκτρικές μηχανές μεταβλητής ταχύτητας, πλεονεκτούν στην περίπτωση που η αντλία λειτουργεί για μεγάλα διαστήματα με μικρότερες παροχές ή αντιμετωπίζει μεταβλητά φορτία, οπότε η χρήση τους συνεπάγεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Συχνά υπάρχει διαθέσιμη μεγάλη ποσότητα ατμού που δικαιολογεί το πρόσθετο κόστος ενός ατμοστροβίλου (αν και σ' αυτήν την περίπτωση αυξάνει το κόστος συντηρήσεως).

Ένα σημαντικό θέμα που σχετίζεται με την οικονομική και ομαλή λειτουργία των φυγοκέντρων αντλιών, αλλά και της επιλογής του κατάλληλου κινητήρα, είναι ο ***έλεγχος της παροχής***, ιδιαίτερα όταν η αντλία αντιμετωπίζει μεταβλητά φορτία. Για να ανταποκριθεί στις μεταβλητές ανάγκες η αντλία,

πρέπει είτε να χρησιμοποιήσομε ***πρώτον*** κάποιο σύστημα παρακάμψεως είτε ***δεύτερον*** να μεταβληθεί η καμπύλη του συστήματος ή της αντλίας, ώστε να μετακινηθεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος.

Στην ***πρώτη περίπτωση*** χρήσεως συστήματος παρακάμψεως (bypass valve) ανακυκλώνεται μέρος της παροχής που δίνει η αντλία από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση. Ο έλεγχος της παροχής είναι πολύ καλός αλλά δαπανηρός, λόγω της καταναλισκόμενης ενέργειας για την άντληση του υγρού που επανακυκλοφορεί.

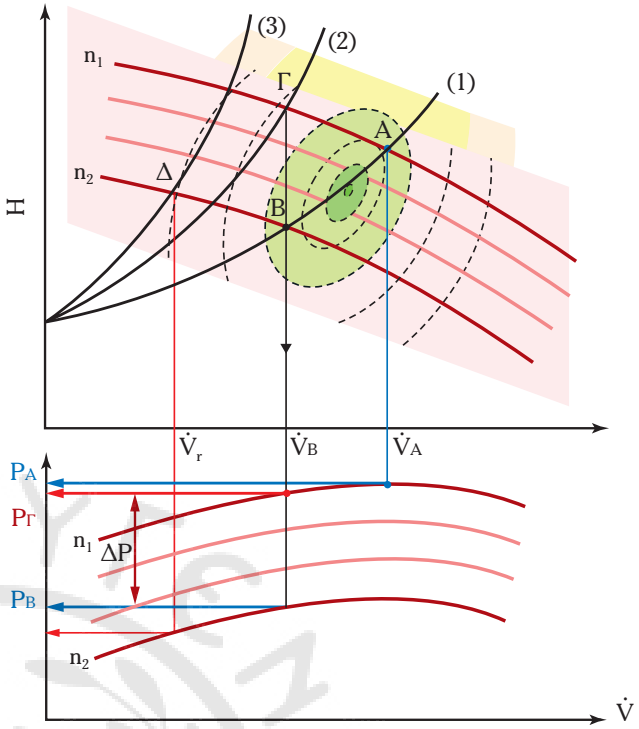
Στη ***δεύτερη περίπτωση*** για την μεταβολή της καμπύλης είτε του συστήματος είτε της αντλίας χρησιμοποιούνται ***ρυθμιστικές βαλβίδες*** (βαλβίδες στραγγαλισμού – throttle valves). Αν και ο έλεγχος της ροής είναι ικανοποιητικός, οι απώλειες ενέργειας είναι σημαντικές (αφού το σημείο λειτουργίας του συστήματος απομακρύνεται απ' την περιοχή βέλτιστης αποδόσεως).

Η μετακίνηση της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας, άρα και του σημείου λειτουργίας του συστήματος, είναι η ενεργειακά ενδεικνυόμενη λύση (το σημείο λειτουργίας συνεχίζει να βρίσκεται στη βέλτιστη περιοχή). Έχει όμως αυξημένο αρχικό κόστος, αφού πρέπει να χρησιμοποιηθούν είτε ***κινητήρες πολλαπλών ταχυτήτων***, είτε ***οδηγοί ρυθμίσεως ταχύτητας (Adjustable-speed drivers – ASD)***.

Τα παραπάνω διευκρινίζονται στο σχήμα 10.2δ: Έστω ότι το σύστημα, εφοδιασμένο με φυγόκεντρη αντλία, εργάζεται στο σημείο Α δίνοντας παροχή $\dot{V}_A$ και καταναλώνοντας ισχύ P_A. Για να μειωθεί η παροχή από $\dot{V}_A$ σε $\dot{V}_B$, υπάρχουν τρεις επιλογές:

1) Τοποθετείται σύστημα παρακάμψεως ανακυκλώνοντας από την κατάθλιψη της αντλίας στη δεξαμενή αναρροφήσεως την επί πλέον παροχή $\dot{V}_A - \dot{V}_B$. Οι καμπύλες της αντλίας και του συστήματος, άρα και το σημείο λειτουργίας δεν μεταβάλλονται. Η κατανάλωση της αντλίας παραμένει ίση με P_A.

2) Μετατοπίζεται η χαρακτηριστική του συστήματος από τη θέση 1 στη 2 (αυξάνοντας τις τοπικές απώλειες με στραγγαλισμό της βαλβίδας καταθλίψεως). Το σημείο λειτουργίας ολισθαίνει στη θέση Γ (αρκετά μικρότερου βαθμού αποδόσεως). Παρατηρείται ότι η ισχύς $P_Γ$ είναι λίγο μικρότερη από την αρχική P_A. Η χρήση επομένως αυτής της μεθόδου πλεονεκτεί λίγο ενεργειακά από τη λύση της ανακυκλώσεως. Όμως η λειτουργία της αντλίας για μεγάλο διάστημα μακριά από το BEP, συχνά εγκυμονεί κινδύνους.



Σχ. 10.2δ

Έλεγχος παροχής συστήματος αντλήσεως.

3) Μετατοπίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας H – V̇ προς τα κάτω, μειώνοντας την ταχύτητα περιστροφής από n_1 σε n_2. Το σημείο λειτουργίας μετακινείται από το Α στο Β. Η αντλία συνεχίζει να λειτουργεί στην περιοχή βέλτιστης αποδόσεως. Η κατανάλωση ισχύος είναι τώρα ίση με P_B, σημαντικά μικρότερη απ' την αρχική P_A αλλά και την $P_Γ$. Το ενεργειακό όφελος είναι ιδιαίτερα σημαντικό και από οικονομικοτεχνικής πλευράς αποτελεί συνήθως την ενδεδειγμένη λύση, παρά το αυξημένο αρχικό κόστος. Για παραπέρα μείωση της παροχής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις προηγούμενες λύσεις χωρίς σημαντικό ενεργειακό κόστος, εφόσον πλέον η καταναλισκόμενη ισχύς δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

10.3 Σχεδιασμός της αναρροφήσεως.

Όπως προαναφέραμε, για να λειτουργεί η αντλία απρόσκοπτα (άρα και το σύστημα αντλήσεως) και να έχουν ισχύ οι χαρακτηριστικές της καμπύλες, πρέπει να αποφύγεται η δημιουργία συνθηκών σπηλαιώσεως. Αυτό σημαίνει ότι κατά τον σχεδιασμό της αναρροφήσεως, πρέπει να εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως (NPSHa) ή πιο σωστά, ασφαλής διαφορά **M** μεταξύ του διαθέσιμου από το σύστημα

και του απαιτούμενου από την αντλία NPSHr (όπου Μ καλείται περιθώριο καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως):

$$M = NPSHa - NPSHr$$

Γενικά συνιστάται η διαφορά αυτή να είναι μεγαλύτερη του 25% του απαιτούμενου NPSHr της αντλίας.

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (6.14), (6.14α) και (6.14β), το NPSHa αυξάνεται όταν: ***πρώτον*** μειώνεται το στατικό ύψος αναρροφήσεως $H_{\Sigma\alpha}$ και ***δεύτερον*** μειώνεται το ύψος απωλειών στον σωλήνα αναρροφήσεως.

Η ***μείωση του στατικού ύψους αναρροφήσεως*** $H_{\Sigma\alpha}$ επιτυγχάνεται τοποθετώντας την αντλία σε όσο το δυνατόν μικρότερη υψομετρική διαφορά απ' την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής αναρροφήσεως και, αν είναι δυνατόν, χαμηλότερα απ' αυτήν (οπότε το στατικό ύψος αναρροφήσεως είναι αρνητικό). Η τοποθέτηση της αντλίας χαμηλότερα απ' τη δεξαμενή αναρροφήσεως, εκτός από το ότι βοηθά στην αντιμετώπιση της σπηλαιώσεως, λύνει και το πρόβλημα πληρώσεως των δυναμικών αντλιών, οι οποίες δεν είναι αυτοεκκινούμενες.

Η ***μείωση των απωλειών στον σωλήνα αναρροφήσεως*** και η διασφάλιση της λειτουργικότητας του συστήματος επιτυγχάνεται με την λήψη των ακολούθων μέτρων:

1) ***Μείωση του μήκους του σωλήνα αναρροφήσεως*** στο ελάχιστο αναγκαίο. Αν και το μήκος του σωλήνα αναρροφήσεως είναι γενικά μικρό, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι διπλασιασμός του μήκους σημαίνει και διπλασιασμό των γραμμικών απωλειών. Χρειάζεται όμως προσοχή για να μην δημιουργηθούν άλλα προβλήματα. Έτσι, αν η είσοδος του σωλήνα αναρροφήσεως βρίσκεται κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, κατά την αναρρόφηση της αντλίας θα δημιουργηθεί έντονος στροβιλισμός και χοάνη περιδινήσεως (ρουφήχτρα, hollow vortex) (σχ. 10.3α), με πιθανό αποτέλεσμα η αντλία να αναρροφά αέρα, με όλες τις δυσάρεστες επιπτώσεις που εξετάσαμε στην παράγραφο 5.7 (σελ. 113). Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, ο σωλήνας αναρροφήσεως πρέπει να βρίσκεται σε ικανοποιητική υψομετρική διαφορά από την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής. Σύμφωνα με το Hydraulic Institute, το ***ελάχιστο ύψος εμβαπτίσεως*** (S_{min}) σε ανοικτή δεξαμενή υπολογίζεται από τη σχέση:

Σχ. 10.3α
Σχηματισμός χοάνης περιδινήσεως στη δεξαμενή αναρροφήσεως αντλίας.

$$S_{min} = d_E + 2{,}3 \cdot v_E \cdot \sqrt{\frac{d_E}{g}} \qquad (10.2)$$

όπου: d_E η διάμετρος εισόδου του υγρού στον σωλήνα αναρροφήσεως (σε m) και v_E η ταχύτητα εισόδου (σε m/s). Σε συνδυασμό με το ελάχιστο ύψος εμβαπτίσεως, πρέπει να τηρούνται και οι σωστές αποστάσεις του στομίου του σωλήνα αναρροφήσεως από τα τοιχώματα (συνήθως >2,5 d_E) και τον πυθμένα της δεξαμενής.

Παράδειγμα 2.

Να υπολογισθεί το ελάχιστο ύψος εμβαπτίσεως σωλήνα αναρροφήσεως σε ανοικτή δεξαμενή, αν η παροχή είναι 180 m^3/h και η διάμετρος της εισόδου στο σωλήνα αναρροφήσεως είναι 22 cm.

Λύση:

Δεδομένα: $\dot{V}$=180 m^3/h = 0,05 m^3/s, d_E = 0,22 m
Ζητούμενο: S_{min}

Υπολογίζομε την ταχύτητα εισόδου:

$$v_E = \frac{4 \cdot \dot{V}_E}{\pi \cdot d_E^2} \Rightarrow v_E = 1{,}32 \text{ m/s}$$

τότε από την (10.2) προκύπτει: S_{min} = 0,67 m

2) ***Αύξηση της διαμέτρου του σωλήνα αναρροφήσεως***. Το μικρό μήκος της αναρροφήσεως δεν καθιστά ιδιαίτερα δαπανηρή την τοποθέτηση σε αυτήν σωλήνα αυξημένης διαμέτρου (άρα πιο ακριβού), ο οποίος οδηγεί σε σημαντική πτώση των απωλειών. Η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου έχει ως κριτήριο την επιθυμητή ταχύτητα στον σωλήνα

αναρροφήσεως. Αυτή πρέπει να είναι μικρή, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες, αλλά επαρκής, ώστε το ρεύμα του υγρού να συμπαρασύρει τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια και να μην επιτρέπει διαχωρισμούς και κατακαθίσεις. Αν και κάθε σύστημα έχει πιθανές ιδιομορφίες, οι συνιστώμενες ***τυπικές ταχύτητες αναρροφήσεως*** είναι οι ακόλουθες:

α) για το νερό: 1,0 – 1,5 m/s,
β) για τα ελαφρά λάδια: 1,0 m/s,
γ) για τα παχύρρευστα υγρά: 0,5 m/s
δ) για τα ζεστά υγρά: 0,6 m/s

Στην περίπτωση που το αντλούμενο ρευστό περιέχει μεγάλη ποσότητα αιωρουμένων στερεών, ως ελάχιστη ταχύτητα συνιστάται το 1,0 m/s.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι διάμετρος σωλήνα μεγαλύτερη από τη διάμετρο της φλάντζας αναρροφήσεως της αντλίας, απαιτεί εξάρτημα συστολής[1]. Η βαθμιαία συστολή πρέπει να είναι με όσο το δυνατό μικρότερη γωνία και έκκεντρη, ώστε να μειώνονται οι στροβιλισμοί του αναρροφώμενου υγρού και να αποφεύγεται η δημιουργία θύλακα αέρα στην είσοδο της αντλίας.

3) ***Ελαχιστοποίηση των τοπικών απωλειών*** στον σωλήνα αναρροφήσεως. Αυτό επιτυγχάνεται αποφεύγοντας τη μη αναγκαία τοποθέτηση εξαρτημάτων (π.χ. επιστόμια). Αν πρέπει να τοποθετηθούν εξαρτήματα αλλαγής διευθύνσεως (γωνίες), βέλτιστο είναι να έχουν μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας.

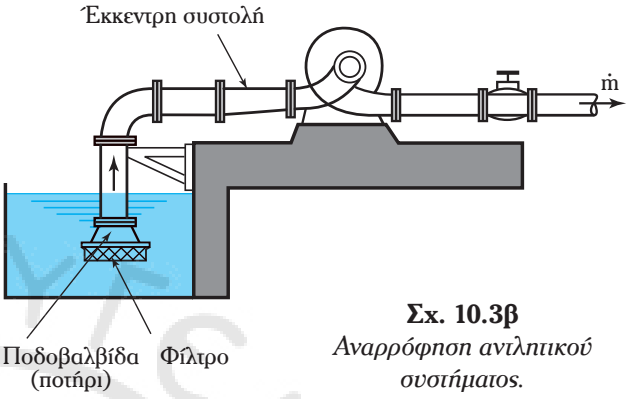
Υπάρχουν όμως αναπόφευκτες τοπικές απώλειες, καθώς και ***εξαρτήματα*** αναγκαία για την ορθή λειτουργία της αναρροφήσεως που τις αυξάνουν.

Καταρχήν υπάρχει η ***είσοδος του υγρού από τη δεξαμενή στον σωλήνα*** αναρροφήσεως. Ο συντελεστής τοπικών απωλειών K, ανάλογα με τη διαμόρφωση της εισόδου, κυμαίνεται από 0,02 ως 0,8. Επιδιώκοντας όσο το δυνατόν μικρότερη τιμή, συχνά κατασκευάζεται με είσοδο ***κωδωνοειδούς σχήματος***.

Εάν απαιτείται να αποφευχθεί η είσοδος στερεών σωματιδίων, στην είσοδο του σωλήνα τοποθετούνται ειδικά ***φίλτρα***.

Αν η δυναμική αντλία βρίσκεται υψηλότερα από τη δεξαμενή αναρροφήσεως και δεν διαθέτει ειδικό σύστημα πληρώσεως, τοποθετείται ***ποδοβαλβίδα*** (ποτήρι), ώστε να εμποδίζεται η εκκένωση (άδειασμα) του σωλήνα αναρροφήσεως. Ο συντελεστής τοπικών απωλειών του φίλτρου και της ποδοβαλβίδας είναι αρκετά μεγάλος, κυμαινόμενος από K = 2 ως K = 6.

Στο σχήμα 10.3β παρουσιάζεται αναρρόφηση συστήματος αντλήσεως με φίλτρο και ποδοβαλβίδα, καθώς και έκκεντρη συστολή.



Σχ. 10.3β
Αναρρόφηση αντλητικού συστήματος.

4) ***Εξασφάλιση στεγανότητας***. Εκτός από τα μέτρα αυξήσεως του NPSHa για την αποφυγή σπηλαιώσεως από την ατμοποίηση του αντλούμενου υγρού, πολύ σημαντικό είναι να αποφευχθεί και η σπηλαίωση αερίου. Υπενθυμίζεται ότι στον σωλήνα αναρροφήσεως παρουσιάζεται σημαντική πτώση πιέσεως. Ιδιαίτερα αν η δεξαμενή αναρροφήσεως έχει ατμοσφαιρική πίεση και βρίσκεται κάτω από την αντλία, η πίεση στον σωλήνα αναρροφήσεως είναι σημαντικά μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Επομένως, η έλλειψη πλήρους στεγανότητας θα οδηγήσει σε αναρρόφηση αέρα με αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση της αντλίας, ακόμα και την απώλεια της δυνατότητας αντλήσεως. Γι' αυτόν τον λόγο, πριν λειτουργήσει το σύστημα αντλήσεως για πρώτη φορά, υποβάλλεται σε υδραυλική πίεση η γραμμή αναρροφήσεως, ώστε να επιβεβαιωθεί η στεγανότητά της.

10.4 Σχεδιασμός – υπολογισμός της καταθλίψεως.

Άλλη σημαντική πλευρά του σχεδιασμού, αφορά στην ενεργειακή μελέτη και στην αποδοτικότητα του συστήματος αντλήσεως. Κάποιες βασικές παράμετροι είναι ήδη δεδομένες από τις ανάγκες τις οποίες καλείται το σύστημα να εξυπηρετήσει. Έτσι,

[1] Συστολή ονομάζεται ένας σωλήνας ο οποίος είναι κατασκευασμένος έτσι, ώστε να παρουσιάζει βαθμιαία μείωση της διαμέτρου του.

συνήθως είναι δεδομένο το στατικό ύψος και το ύψος πιέσεως που πρέπει να καλυφθούν ενεργειακά από την αντλία. Επίσης δεδομένη κατά προσέγγιση πρέπει να θεωρηθεί και η απόσταση, στην οποία το σύστημα θα μεταφέρει το υγρό. Επομένως, το μήκος της σωληνογραμμής έχει μία ελάχιστη τιμή, για την οποία κατά πάσα πιθανότητα θα υπάρξει υπέρβαση κατά το σχεδιασμό της εγκαταστάσεως. Τέλος, είναι γνωστό το διακινούμενο υγρό και οι συνθήκες διακινήσεως (άρα είναι γνωστές οι ιδιότητές του, όπως η θερμοκρασία, οι πιέσεις στις οποίες θα βρεθεί, το ιξώδες, η διαβρωτικότητα κ.ά.). Η γνώση των συνθηκών μεταφοράς, επιτρέπει την ***επιλογή των καταλλήλων υλικών*** κατασκευής των σωλήνων και των εξαρτημάτων.

Το ***ολικό ύψος*** που καλείται να καλύψει η αντλία, αποτελεί το άθροισμα του στατικού ύψους, του ύψους πιέσεως, του ύψους ταχύτητας και του ύψους απωλειών. Τα τρία πρώτα ύψη προσδιορίζουν τις ενεργειακές ανάγκες του συστήματος· πρόκειται επομένως για ωφέλιμη ενέργεια που, μέσω της αντλίας, αποδίδεται στο υγρό. Γνωρίζοντας τις ανάγκες που καλείται να αντιμετωπίσει το σύστημα αντλήσεως, προκύπτουν και αυτά τα τρία ενεργειακά ύψη. Παραδείγματος χάριν αν πρέπει να μεταφερθεί νερό σε χώρο με διαφορά πιέσεως 5 bar, το ύψος πιέσεως είναι:

$$H_p = \frac{\Delta_p}{\gamma} = \frac{\Delta_p}{\rho \cdot g} = \frac{5 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2} = 50 \text{ m}$$

όπου $g = 10 \text{ m/s}^2$.

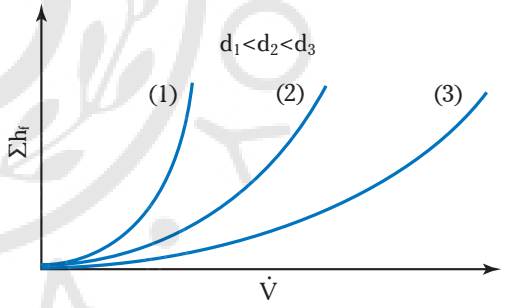
Αν η υψομετρική διαφορά είναι 15 m, τόσο είναι και το στατικό ύψος. Αν το νερό πρέπει να εξέρχεται από ακροφύσιο με ταχύτητα 20 m/s, το ύψος ταχύτητας είναι:

$$H_V = \frac{v^2}{2g} = \frac{20^2}{2 \cdot 10} = \frac{\text{m}^2/\text{s}^2}{\text{m/s}^2} = 20 \text{ m}$$

Αντίθετα, το ύψος απωλειών (γραμμικές και τοπικές απώλειες ενέργειας λόγω τριβών), εξαρτάται από την παροχή και τη διαμόρφωση της σωληνογραμμής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο σωλήνας αναρροφήσεως είναι μικρού μήκους και σχετικά μεγάλης διαμέτρου, επομένως, σύμφωνα με την εξίσωση των απωλειών, έχει μικρές απώλειες, ***το ύψος απωλειών οφείλεται κατά κύριο λόγο στον σωλήνα καταθλίψεως***. Η κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης της σωληνογραμμής εξαρτάται κατά συνέπεια από τις επιλογές που θα γίνουν σχετικά μ' αυτόν.

Στόχος είναι ***το σημείο λειτουργίας του συστήματος***, δηλαδή η τομή της χαρακτηριστικής καμπύλης της σωληνογραμμής του συστήματος με τη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας, πρώτον ***να βρίσκεται στην περιοχή βέλτιστης λειτουργίας*** της αντλίας και δεύτερον ***σε κάθε περίπτωση όχι στην περιοχή σπηλαιώσεως***. Αν σχεδιάσαμε σωστά την αναρρόφηση, η περιοχή σπηλαιώσεως βρίσκεται έξω από την περιοχή βέλτιστης λειτουργίας. Επομένως, ***για τον σχεδιασμό και την επιλογή του σωλήνα καταθλίψεως, βασικά δεδομένα αποτελούν η βέλτιστη παροχή $\dot{V}_n$ και το αντίστοιχο ύψος H_n***. Όπως είναι λογικό, πρέπει να υπάρξει φροντίδα, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τοπικές απώλειες, αποφεύγοντας εξαρτήματα, τα οποία δεν είναι αναγκαία. Επίσης, το μήκος του σωλήνα καταθλίψεως θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, αποφεύγοντας τις άσκοπες διαδρομές.

Η σημαντικότερη όμως παράμετρος είναι η διάμετρος του σωλήνα καταθλίψεως. Όπως φαίνεται στο σχήμα 10.4α, μικρή διάμετρος καταθλίψεως σημαίνει απότομη καμπύλη ύψους απωλειών-παροχής (άρα και σωληνογραμμής), εφόσον όσο μεγαλώνει η διάμετρος, τόσο μικραίνει η κλίση της καμπύλης.



Σχ. 10.4α
Καμπύλες $\Sigma h_f - \dot{V}$ για διάφορες διαμέτρους καταθλίψεως.

Η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εργασίες κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος αντλήσεως. Ο τρόπος υπολογισμού παρουσιάζεται στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Παράδειγμα 3.

Ένα σύστημα αντλήσεως νερού έχει στατικό ύψος 15 m και δεξαμενές αναρροφήσεως και καταθλίψεως ατμοσφαιρικής πιέσεως. Στο σύστημα θα εγκατασταθεί αντλία με χαρακτηριστικές καμπύλες του

σχήματος 10.4β. Το ύψος απωλειών της αναρροφήσεως για την κανονική παροχή της αντλίας είναι 3 m και ο ολικός συντελεστής τοπικών απωλειών στην κατάθλιψη ισούται με 12. Ο σωλήνας καταθλίψεως θα είναι από χυτοσίδηρο μήκους 150 m. Να υπολογισθεί η διάμετρος του σωλήνα καταθλίψεως (σε mm), ώστε το σύστημα αντλήσεως να λειτουργεί με τον μέγιστο βαθμό αποδόσεως.

Λύση:

Δεδομένα: $H_\Sigma = 15$ m, $h_a = 3$ m, καμπύλη H–V̇ σχήματος 10.4β, $L_\kappa = 150$ m, $\varepsilon_\kappa = 0{,}00026$ m, $\Sigma K_\kappa = 12$, κινηματικό ιξώδες νερού $\nu = 10^{-6}\ m^2/s$

Ζητούμενο: Βέλτιστη διάμετρος d_κ.

Βήμα 1: Από την καμπύλη H–V̇ του σχήματος 10.4β, λαμβάνεται η βέλτιστη παροχή και το αντίστοιχο ύψος (για διάμετρο πτερωτής 335 mm):

$$\dot{V}_n \approx 180\ m^3/h = 0{,}05\ m^3/s,\ H_n \approx 30\ m = H_o$$

Γι' αυτές τις τιμές θα υπολογιστεί η διάμετρος του σωλήνα καταθλίψεως.

Βήμα 2: Η εξίσωση ενέργειας του συστήματος αντλήσεως δίνει:

$$H_o = H_\Sigma + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma h_f \Rightarrow$$

για $p_1 = p_2 \Rightarrow p_2 - p_1 = 0$ και $v_2 = v_1 \Rightarrow v_2 - v_1 = 0$ προκύπτει ότι:

$$H_o = H_\Sigma + \Sigma h_f \Rightarrow \Sigma h_f = H_o - H_\Sigma = (30 - 15)\ m = 15\ m$$

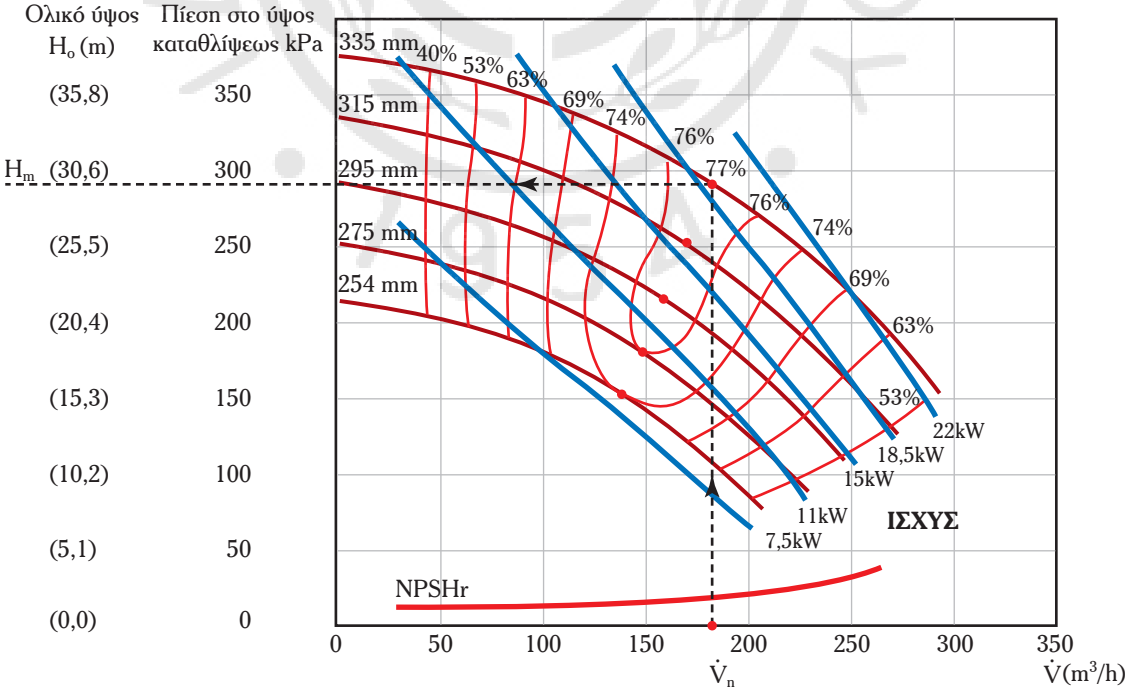
και $h_{\alpha 1f} + h_{\kappa 1f} = \Sigma h_f \Rightarrow h_{\kappa 1f} = \Sigma h_f - h_{\alpha 1f} \Rightarrow$
$\Rightarrow h_{\kappa 1f} = (15 - 3)\ m = 12\ m$

Βήμα 3: Πρέπει να αντιμετωπιστεί ένα τυπικό πρόβλημα υπολογισμού της διαμέτρου ενός σωλήνα. Σύμφωνα με την εξίσωση απωλειών:

$$h_\kappa = \frac{8}{\pi^2 g}\left(f \cdot \frac{L}{d_\kappa} + \Sigma K_\kappa\right) \cdot \frac{1}{d_\kappa^2} \cdot \dot{V}_n^2$$

Στην εξίσωση αυτή άγνωστοι είναι ο συντελεστής τριβής και η διάμετρος. Η εξίσωση επιλύεται με δοκιμές (για κάθε τιμή της διαμέτρου d λαμβάνεται αντίστοιχη τιμή του f από το διάγραμμα Moody). Έτσι διαμορφώνεται ο πίνακας, όπου v′ είναι η ταχύτητα, ε είναι η τραχύτητα του σωλήνα, d′ είναι η διάμετρος δοκιμών, Re ο αριθμός Reynolds, h′ οι υπολογιζόμενες απώλειες, h οι απώλειες που προκύπτουν από το Βήμα 2. Με διαδοχικές δοκιμές προσδιορίζεται η ζητούμενη διάμετρος (κριτήριο για διορθώσεις, το ολικό ύψος απωλειών $h_{\kappa f}$) (πίν. 10.4)

Επομένως, ο σωλήνας καταθλίψεως που θα επιλεχθεί θα έχει εσωτερική διάμετρο $\boldsymbol{d_\kappa \cong 155\ mm}$.



Σχ. 10.4β

Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικής αντλίας.

Πίνακας 10.4
Υπολογισμός διαμέτρου σωλήνα καταθλίψεως με τη μέθοδο των δοκιμών.
$h_{κf}$ = 12 m από τον υπολογισμό.

d′ (mm)	**v′** (m/s)	**ε/d′**	**Re′**	**f′**	**$h'_{κf}$** (m)	**$h'_{κf} - h_{κf}$**	**d** (mm)
100	6,37	0,00260	$6{,}37 \cdot 10^5$	0,0254	103,5	91,5	d > 100
200	1,59	0,00130	$3{,}18 \cdot 10^5$	0,0217	3,65	–8,35	d < 200
150	2,83	0,00173	$4{,}24 \cdot 10^5$	0,0230	14,29	2,29	d > 150
160	2,49	0,00163	$3{,}98 \cdot 10^5$	0,0227	10,49	–1,51	d < 160
155	2,65	0,00168	$4{,}11 \cdot 10^5$	0,0228	12,20	0,20	**d ≈ 155**

Κατά τη διαδικασία υπολογισμού της βέλτιστης διαμέτρου, δεν χρειάζεται σχολαστικός υπολογισμός, για τρεις λόγους:

1) Τα δεδομένα των καμπυλών είναι προσεγγιστικά.

2) Το σημείο λειτουργίας του συστήματος αρκεί να είναι κοντά στο BEP και

3) η διάμετρος που θα επιλεχθεί θα εξαρτηθεί από τις υπάρχουσες εσωτερικές διαμέτρους της τυποποιήσεως (άρα τις διαθέσιμες στο εμπόριο).

Οποιαδήποτε όμως προχειρότητα στον υπολογισμό δεν είναι αποδεκτή, επειδή το κόστος των σωλήνων καταθλίψεως και των εξαρτημάτων τους είναι πολύ σημαντικό, που ενδέχεται να φτάσει ως και το 40% της επενδύσεως. Αυτός είναι εξάλλου και ο λόγος που συνήθως, στα συστήματα αντλήσεως δεν χρησιμοποιούνται οι βέλτιστες από ενεργειακής πλευράς διάμετροι καταθλίψεως, αλλά λίγο μικρότερες (άρα φθηνότερες). Δηλαδή ***επιλέγεται η οικονομικοτεχνικά βέλτιστη*** διάμετρος.

Συγκεκριμενοποιώντας τη διαδικασία υπολογισμού της οικονομικά και τεχνικά βέλτιστης διαμέτρου, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι σημαντικοί ***παράγοντες***, όπως:

1) Το ***κόστος αγοράς*** (σωλήνων, συνδέσεων, εξαρτημάτων, ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και αυτοματισμών).

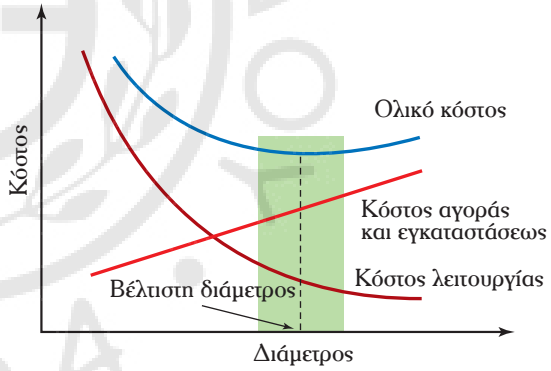
2) Το ***κόστος εγκαταστάσεως***.

3) Το ***λειτουργικό κόστος*** (κατανάλωση ενέργειας).

4) Το ***κόστος συντηρήσεως***.

5) Η ***εκτιμώμενη*** από τους κατασκευαστές ***διάρκεια ζωής***.

Το κόστος αγοράς αυξάνεται ανάλογα σχεδόν με τη διάμετρο, το κόστος εγκαταστάσεως παρουσιάζει μικρές μεταβολές, ενώ το κόστος λειτουργίας αυξάνεται σημαντικά με τη μείωση της διαμέτρου (παρουσιάζοντας χαμηλές τιμές στην περιοχή βέλτιστης λειτουργίας της αντλίας). Αν τοποθετηθούν σε άξονες με τετμημένη τη διάμετρο οι παραπάνω παράμετροι κόστους (οι δύο πρώτες ως άθροισμα) και αθροιστούν, λαμβάνεται η καμπύλη ολικού κόστους, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.4γ όπου λαμβάνεται υπόψη ότι οι παράγοντες 4 και 5 είναι ίδιοι. Σ' αυτήν εντοπίζεται η περιοχή της οικονομοτεχνικά βέλτιστης διαμέτρου. (Η γνώση τιμών αγοράς σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο συγκεκριμενοποιεί και τροποποιεί την αντίστοιχη καμπύλη).



Σχ. 10.4γ
Υπολογισμός βέλτιστης διαμέτρου σωλήνα καταθλίψεως.

Το πρόβλημα επιλογής της οικονομικοτεχνικά βέλτιστης διαμέτρου γίνεται πιο σύνθετο αν προστεθεί και η παράμετρος του υλικού κατασκευής του σωλήνα, καθώς και το κόστος συντηρήσεως. Γενικά, η διάμετρος επιλέγεται έτσι, ώστε η ταχύτητα του υγρού στον σωλήνα καταθλίψεως σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας να κυμαίνεται από 1,4 ως 3,5 m/s.

Τονίζεται ότι η παραπάνω υπολογιστική διαδικασία δεν αφορά στη διάμετρο του σωλήνα αναρροφήσεως, η οποία προσδιορίζεται αποκλειστικά από λειτουργικούς παράγοντες (βλ. παράγρ. 10.3).

Αν και ο υπολογισμός της διαμέτρου είναι πολύ σημαντικός, ο σχεδιασμός της σωληνογραμμής της καταθλίψεως δεν εξαρτάται μόνο απ' αυτόν. Πρέπει να σχεδιασθεί η σωληνογραμμή ανάλογα με τον χώρο και τη διεργασία που εξυπηρετεί το σύστημα αντλήσεως, να τοποθετηθούν τα διάφορα εξαρτήματα, να στηριχθούν οι σωληνώσεις κ.ά..

10.5 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής.

Η οικονομική διάσταση, εκτός από το κόστος λειτουργίας, εμπεριέχει και το ***αρχικό κόστος αγοράς*** της αντλίας, τη ***συντήρηση***, καθώς και την υποστήριξη του προϊόντος [επομένως την ***αξιοπιστία*** του (reliability)]. Έτσι, αν η αποδοτικότερη αντλία του παραδείγματος 1, είναι ακριβότερη κατά 35.000 € από την άλλη και διαθέτουν και οι δύο τον ίδιο βαθμό αξιοπιστίας, η διαφορά του αρχικού κόστους θα απεσβενόταν περίπου σε 5 χρόνια. Με προσδόκιμο χρόνο λειτουργίας τα 15 χρόνια, θα επιλέγαμε την πρώτη αντλία.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις αποτελούν την εισαγωγή στην οικονομοτεχνική μελέτη σχεδιασμού και προμήθειας εξοπλισμού. Μια τέτοια μελέτη βασίζεται πλέον, στην ανάλυση του κόστους για τον κύκλο ζωής του εξοπλισμού ή κάποιου τμήματός του. Είναι γνωστή διεθνώς ως ***Life Cycle Cost (LCC) Analysis***. Η Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών αντλιών (Europump) και το Hydraulic Institute διαθέτουν ειδική έκδοση με εξειδίκευση στις αντλίες («Pump Life Cycle Costs»), την οποία μπορούν να προμηθευτούν οι ενδιαφερόμενοι. Η όλη διαδικασία βασίζεται στον προσδόκιμο χρόνο λειτουργίας του εξοπλισμού και στην κοστολόγηση της αρχικής αγοράς, εγκαταστάσεως, λειτουργίας και συντηρήσεως για τον προσδόκιμο χρόνο. Η σχέση που δίνει το LCC είναι η ακόλουθη:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + (C_{env} + C_d)$$

όπου: το C σημαίνει κόστος και οι δείκτες προσδιορίζουν τις επιμέρους δαπάνες για τον κύκλο ζωής του εξοπλισμού. Ειδικότερα λοιπόν:

1) ***ic*** (initial cost): ***Τιμή αγοράς*** (αντλία, σύστημα, σωλήνες κ.λπ.).

2) ***in*** (installation): ***Κόστος εγκαταστάσεως και ενάρξεως λειτουργίας.***

3) ***e*** (energy): ***Κόστος ενέργειας*** (για όλο τον κύκλο ζωής της αντλίας).

4) ***o*** (operating): ***Λειτουργικό κόστος*** (κόστος εργασίας κανονικής επιβλέψεως).

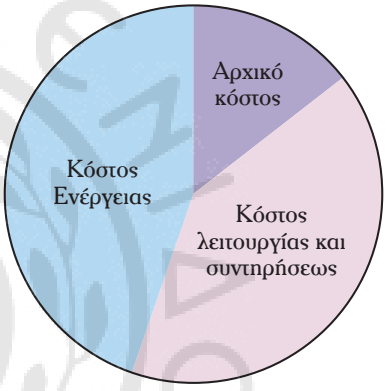
5) ***m*** (maintenance): ***Κόστος συντηρήσεως*** της αντλίας.

6) ***s:*** (loss of production): ***Απώλεια παραγωγής*** (down time).

7) ***env*** (environmental): ***Περιβαλλοντικές δαπάνες.***

8) ***d*** (decommissioning): ***Παροπλισμός.***

Για την αντλία και το σύστημα αντλήσεως γενικότερα, οι σημαντικότερες δαπάνες είναι το κόστος ενέργειας, το κόστος λειτουργίας και συντηρήσεως και το αρχικό κόστος. Η αναλογία τους εκφράζεται (σε γενικές γραμμές) στο σχήμα 10.5. Είναι επομένως οικονομικοτεχνικά λανθασμένη πιθανή επιλογή που βασίζεται στην άμεση δαπάνη, δηλαδή την τιμή αγοράς.



Σχ. 10.5
Οι σημαντικότερες δαπάνες κύκλου ζωής σε σύστημα αντλήσεως.

Μία τέτοια ανάλυση, όταν χρησιμοποιείται ως εργαλείο συγκρίσεως εναλλακτικών λύσεων (τεχνικά επαρκών) οδηγεί στην επιλογή της αποδοτικότερης (τουλάχιστον με τα διαθέσιμα στοιχεία). Μπορεί όμως και πρέπει να χρησιμοποιείται και ως ***εργαλείο συνεχούς βελτιστοποιήσεως της αποδόσεως των εγκατεστημένων συστημάτων αντλήσεως***, με τον περιορισμό της ενεργειακής καταναλώσεως, των εργασιών συντηρήσεως κ.ά.. Για να έχομε το σύστημα υπό συνεχή έλεγχο και όσο το δυνατόν πιο αποδοτικό, προτείνονται μεταξύ άλλων:

1) Ύπαρξη πλήρους αρχείου των εξαρτημάτων του συστήματος αντλήσεως (δεξαμενές, σωληνώσεις, αντλίες, βαλβίδες και στοιχεία ελέγχου των ταχυτήτων ή της κατευθύνσεως ροής κ.ά.). Το αρχείο πρέπει να περιλάβει τις τυπικές πληροφορίες, όπως το όνομα του εξαρτήματος ή το αναγνωριστικό του, τον κατασκευαστή, το μοντέλο, το μέγεθος κ.λπ..

2) Διατήρηση των χαρακτηριστικών καμπυλών

των αντλιών, σχεδίαση των χαρακτηριστικών καμπυλών των σωληνογραμμών και καταγραφή των σημείων λειτουργίας και ταχυτήτων ροής για διάφορα φορτία που αντιμετωπίζει το σύστημα.

3) Εντοπισμός των εξαρτημάτων που προκαλούν αυξημένο ύψος απωλειών για πιθανή μελλοντική (ή άμεση) αντικατάσταση (π.χ. μια σφαιρική βαλβίδα έχει πολύ υψηλό συντελεστή απωλειών και η παρουσία της στο σύστημα αντλήσεως ίσως δεν δικαιολογείται).

4) Εντοπισμός των αντλιών που λειτουργούν με χαμηλό βαθμό αποδόσεως. Μία συντηρητική ή πρόχειρη σχεδίαση του συστήματος, οδηγεί συχνά στη χρήση αντλιών μεγάλου μεγέθους, οι οποίες σπαταλούν ισχύ. Η μείωση της διαμέτρου του στροφείου ή η μελλοντική αντικατάσταση της αντλίας με μία μικρότερη, ίσως είναι η κατάλληλη ενέργεια και

5) εντοπισμός των αντλιών με υψηλές δαπάνες συντηρήσεως. Οι υψηλές δαπάνες συντηρήσεως αποτελούν ένδειξη ότι ίσως η αντλία δεν είναι κατάλληλη για το συγκεκριμένο σύστημα αντλήσεως. Η μελέτη διορθωτικών μέτρων ίσως λύσει το πρόβλημα, διαφορετικά η αντλία χρειάζεται αντικατάσταση.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Αγγλικά σύμβολα

A	επιφάνεια – εμβαδόν (m^2)
B	άνωση (N)
C	σταθερό, σταθερά
D ή d	εξωτερική ή εσωτερική διάμετρος (m)
F	δύναμη (N ή Kg_f ή Kp)
f	συντελεστής τριβής
f	ως δείκτης: απώλειες
Fr	αριθμός Froude
G	βάρος (N)
g	επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)
h	υδροστατικό ύψος (m) στήλης H_2O ή υγρού
h_f	ύψος ενεργειακών απωλειών λόγω τριβών, (m) στήλης H_2O ή υγρού
h_{fA}	ύψος ενεργειακών απωλειών στην αναρρόφηση, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_P	ύψος πιέσεως συστήματος αντλήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_v	ύψος ταχύτητας, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_α	ύψος αναρροφήσεως (m)
$H_{\alpha\alpha}$	ύψος απόλυτης πιέσεως στην επιφάνεια αναρροφήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_κ	ύψος καταθλίψεως (m)
H_o	ολικό ύψος καταθλίψεως (m)
H_Σ	στατικό ή γεωμετρικό ύψος συστήματος αντλήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
$H_{\Sigma P}$	στατικό ύψος αντλίας, (m) στήλης H_2O ή υγρού
$H_{\Sigma\alpha}$	στατικό ύψος αναρροφήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
$H_{\Sigma K}$	στατικό ύψος καταθλίψεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
I_o	ροπή αδρανείας ($kg{\cdot}m^2$)
H_m	μανομετρικό ύψος αντλίας (m)
K	συντελεστής τοπικών απωλειών
ℓ	απόσταση, διάστημα (m)
(L_1, L_2)	στροφορμή ($kg{\cdot}m^2/s$)
m	μάζα (kg)
M	ροπή δυνάμεως (Nm)
$\dot{m}$	παροχή μάζας (kg/s)
n	στροφές, συχνότητα περιστροφής (s^{-1})
NPSH	καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
NPSHa	διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
NPSHr	απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως, (m) στήλης H_2O ή υγρού
P	ισχύς (W)
p	πίεση (P_a ή bar)
p_{atm}	ατμοσφαιρική πίεση (P_α ή bar)
P_o	αποδιδόμενη, πραγματική ή ωφέλιμη ισχύς (W)
p_o	ολική πίεση (P_a)
p_v	τάση ατμών (P_a ή bar)
p_α	απόλυτη πίεση (P_a, bar)
P_α	εισερχόμενη ή αξονική ισχύς (W)
p_ε	εξωτερική πίεση (P_a)
P_ε	εσωτερική ισχύς (W)
P_η	κανονική ισχύς (W)
P_θ	θεωρητική ισχύς (W)
P_κ	ισχύς κινητήριου μηχανήματος (W)
p_υ	υδροστατική πίεση (P_a ή bar)
r	ακτίνα (m)
Re	αριθμός Reynolds
S	ολίσθηση
s, L	διαδρομή μήκος (m)
t	χρόνος (s)
u	επιτρόχιος συνιστώσα σε πτερωτή αντλίας (m/s)
V	όγκος (m^3)
$\dot{V}$	παροχή, παροχή όγκου, πραγματική παροχή (m^3/s
v	ταχύτητα (m/s)
v_r	ακτινική ταχύτητα (m/s)
v_μ	μέση ταχύτητα (m/s)
$\dot{V}_n$	βέλτιστη, κανονική παροχή (m^3/s)
W	έργο (J)
w	εφαπτομενική ταχύτητα σε πτερωτή αντλίας (m/s)
z	ύψος, υψόμετρο (m)

Ελληνικά σύμβολα

α	στατικός συντελεστής
A	ως δείκτης: αναρρόφηση
α	ως δείκτης: δίκτυο αναρροφήσεως
β	δυναμικός συντελεστής
BEP	βέλτιστο σημείο
γ	ειδικό βάρος υγρού (N/m^3)
ε	τραχύτητα (m)
η	βαθμός αποδόσεως (ολικός)
η_h	υδραυλικός βαθμός αποδόσεως
η_m	μηχανικός βαθμός αποδόσεως
η_v	ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως
κ	ως δείκτης: δίκτυο καταθλίψεως
K	ως δείκτης: κατάθλιψη
λ	κλίμακα μήκους
μ	δυναμικό ιξώδες (kg/m·s)
ν	κινηματικό ιξώδες (m^2/s)
ρ	πυκνότητα (kg/m^3)
Σh_f	συνολικό ύψος απωλειών (τριβής και τοπικών) (m)
ΣK	άθροισμα συντελεστών τοπικών απωλειών
ΣΛ	σημείο λειτουργίας
ΣP	άθροισμα απωλειών ισχύος (W)
ΣP_p	άθροισμα απωλειών ισχύος στο εσωτερικό της αντλίας (W)
ΣP_δ	άθροισμα απωλειών ισχύος λόγω διαρροών (W)
ω	γωνιακή ταχύτητα (rad/s)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

Α

αεροκώδωνες 16
αιχμή αποκοπής 58
ακροφύσιο 66
ακτινική ροή 53
άμεση σύζευξη 227
αναρρόφηση 4
αναρρόφηση αντλίας 87
αναρροφητική αντλία 11
ανεξάρτητες αντλίες 36
άντληση 4
αντλία ανυψώσεως με αέρα 68
αντλία υδραυλικού εμβόλου 67
αντλίες ακροφυσίου 65
αντλίες αξονικής ροής 55
αντλίες απλής ενέργειας 10
αντλίες διπλής ενέργειας 10
αντλίες διπλής ή αμφίπλευρης αναρροφήσεως 61
αντλίες έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου 39
αντλίες με κοχλίες 42
αντλίες με λοβούς 41
αντλίες με σπειροειδές κέλυφος 58
αντλίες μεικτής ροής 56
αντλίες περιφερειακής ροής ή στροβιλαντλίες 57
αντλίες υγρών εμβόλων 38
άνωση 72
απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως 83
απλό στροφείο 36
αποδιδόμενη, πραγματική ή ωφέλιμη ισχύς 85
αποδιδόμενο ύψος 81
απόλυτη πίεση 87
απώλειες αδράνειας 81
απώλειες δίσκου 98
απώλειες ισχύος 98
απώλειες κρούσεων 97
αριθμός Reynolds 74
ατμοσφαιρική πίεση 71

Β

βαθμίδα της αντλίας 64
βαθμός αποδόσεως αντλίας 85, 99
βακελίτης 28
βαλβίδες αναρροφήσεως 14
βαλβίδες καταθλίψεως 14
βαλβίδες με οδηγητικά πτερύγια 15
βέλτιστη ή κανονική παροχή 84
βέλτιστο σημείο λειτουργίας 59, 106, 118

Γ

γεωμετρική ομοιότητα 102
γραναζωτές ή οδοντωτές αντλίες 39

Δ

διαβρωτικές ιδιότητες υγρών 90
διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως 83
διαλυτότητα αερίων 90
διαστατική ανάλυση 101, 115
διάφραγμα αντλίας 10
διαχυτήρας 60, 66
δίδυμη ή διπλή αεραντλία 148
δισκοειδή έμβολα 13
δυναμικές αντλίες 51
δυναμική μεταβολή 4
δυναμική ομοιότητα 103

Ε

ειδική ταχύτητα 103
εισερχόμενη ή αξονική ισχύς 85
εκτόπισμα 29
εκτόπισμα της αντλίας 36
εκχυτήρας 65
έμβολα βυθίσεως 13
έμβολο απλής ενέργειας 19
έμβολο διπλής ενέργειας 19
έμβολο συμπιέσεως των υγρών ή υγρέμβολο 22
εμβολοφόρες αντλίες αξονικών εμβόλων 45

εμβολοφόρος αντλία 12
ενεργειακά ύψη 79, 81
ένσφαιροι τριβείς 65
εξαρτημένες αντλίες 36
εξίσωση της Ενέργειας 77
εξίσωση της Συνέχειας 76
επαγωγή 70
επαγωγικό στροφείο 208
επίπεδες ολισθαίνουσες βαλβίδες διανομής 24
εσωτερική ισχύς 85
εσωτερική παροχή 84
εσωτερικό αποδιδόμενο ύψος 82

Ζ

ζύγωμα 25

Η

ηλεκτρομαγνητική αντλία 69

Θ

θεώρημα του Bernoulli 52
θεωρητική παροχή 21, 84

Ι

ιδανικά ή τέλεια ρευστά 71
ιξώδες 90
ισχύς του κινητήριου μηχανήματος 84

Κ

καθαρό Θετικό Ύψος Αναρροφήσεως 83
καταθλιπτική αντλία 11
κατάθλιψη 4
κατάθλιψη της αντλίας 89
κινηματική ομοιότητα 102
κρουστικό κύμα 111
κύκλος φορτίσεως 28
κυκλοφοριακή ροή ρευστού 96

Μ

μανομετρικό ύψος 81
μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως 82
μανομετρικό ύψος καταθλίψεως 82
μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος αναρροφήσεως 83
μηχανικοί στυπειοθλίπτες 219
μηχανικός βαθμός αποδόσεως 30
μηχανισμός διανομής ατμού 22
μικροσκοπικό ρεύμα υγρού 110
μονοβάθμιες ή μονοσταδιακές αντλίες 64
μοχλός σχήματος Υ 24

Ν

νόμοι Διατηρήσεως μάζας και ενέργειας σε σύστημα αντλήσεως 75

Ο

ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως 31, 85
οδοντωτοί τροχοί ή γρανάζια 228
ολικός βαθμός αποδόσεως 86
ολίσθηση 30
ομοιότητα 96
ονομαστική παροχή 84

Π

παθητικές απώλειες 81
παλινδρομικές ή εμβολοφόρες αντλίες 9
παρεμβύσματα 217
παροχή συστήματος αντλήσεως 83
παροχή της αντλίας 29
περισταλτικές αντλίες 46
περιστροφικές αντλίες 10, 35
περιστροφικές αντλίες με έμβολα μεταβλητής διαδρομής 44
πνευματικές αντλίες 34
πολλαπλό στροφείο 36
πολυβάθμιες ή πολυσταδιακές αντλίες 65
πραγματική παροχή 21
προφύσιο 157
πτερύγιο 92
πτερυγιοφόρες αντλίες 36

Ρ

ρευστό 72
ρευστό λειτουργίας 65
ροή ρευστού 5
ροπή 31
ροπή εκκινήσεως 31

Σ

σπηλαίωση 108
σταθεροί σύνδεσμοι 230

στατική στεγανοποίηση 217
στατικό ή γεωμετρικό ύψος του συστήματος αντλήσεως 77
στατικό ή υδροστατικό ή θλιπτικό ύψος 72
στροφείο ή πτερωτή 51
στροφείο (ή ρότορας) 35
στροφείο ανοικτού τύπου 64
στροφείο ημίκλειστου τύπου 63
στροφείο κλειστού τύπου 63
στρωτή ροή 71
στυπεία 218
συντελεστής ασφαλείας 28
σύστημα αντλήσεως 4
σχετική ταχύτητα 102

Τ

τάση ατμών 90, 108
τάση ατμών, πτητικότητα 90
τζιφάρια 65
τσιμούχες 220
τυρβώδης ροή 73

Υ

υδραυλικό κτύπημα ή πλήγμα 79
υδραυλικός ατέρμονας κοχλίας 1
υδραυλικός βαθμός αποδόσεως 86
υδροστατική πίεση 71
ύψος απωλειών 80
ύψος πιέσεως 80
ύψος πιέσεως του συστήματος αντλήσεως 80
ύψος ταχύτητας 80

Φ

φυγοκεντρικές αντλίες 51
φυσικά ρευστά 71

Χ

χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών 115

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Βοηθητικά μηχανήματα πλοίων, Ι. Δάγκινης, Α. Γλύκας, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2015

Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική, Κ. Παγωνάρη, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1982

Μηχανική των ρευστών, Ν. Πάντζαλης, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2008

Αγγλική

Alfa Laval pump handbook Alfa Laval, Publisher Alfa Laval, 2001.

Cameron Hydraulic Data Book, 19th edition, *Pump Technical Books*, Flowserve.

Cavitation And The Centrifugal Pump: A Guide For Pump Users, Edward Grist, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, USA, 1998.

Centrifugal & Rotary Pumps: Fundamentals with Applications, Lev Nelik, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, USA, 1999.

Centrifugal and Axial Flow Pumps, Alexey J. Stepanoff, Krieger Publishing Company, 1957.

Centrifugal Pump Design 1st Edition, John Tuzson,John Wiley & Sons, Inc. 2000, Canada.

Centrifugal Pump Handbook, Third Edition, Sulzer Pumps, 2010, Elsevier, Inc

Centrifugal pump systems tutorial, Jacques Chaurette, Fluide Design Inc., 2005

Centrifugal Pump User's Guidebook, S. Yedidiah, 1996

Centrifugal Pumps Gólich, Johann Friedrich, Springer Heidelberg Dordrecht London New York 208, 2010

Centrifugal Pumps: Design and Application, Second Edition, Val S. Lobanoff, Robert R. Ross, Gulf Professional Publishing, 1992

Grundfos Pump Handbook, Grundfos Management A/S, 2004

Handbook of pumps and pumping, 1st Edition, Brian Nesbitt, Elsevier Science, 2006

How to Select the Right Centrifugal Pump, Robert X. Perez, AuthorHouse, E-Book, 2015

Manual for the Design of Pipe Systems and Pumps, GEA Mechanical Equipment, Tuchenhagen GmbH, 2012

Marine Auxiliary Machinery, H. D. McGeorge, Elsevier, Inc. 1999

Piping Systems Manual, Brian Silowash, McGraw-Hill Companies, Inc. USA 2010

Positive Displacement Pumps: A Guide to Performance Evaluation, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Wiley, 2007

Practical Centrifugal Pumps Design, Operation and Maintenance, Paresh Girdhar, Octo Moniz, 2005, IDC Technologies.

Pump Characteristics and Applications, Second Edition, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, 2005.

Pump Characteristics and Applications, Third Edition, Michael Volk, Taylor and Francis Group, LLC, 2014

Pump Handbook, Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald 4th Edition, McGraw-Hill Companies, Inc. 2008

Pump User's Handbook: Life Extension, Fourth Edition, Heinz P. Bloch, Allan R. Budris, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, USA,2013.

Rotodynamic Pump Design, R. K. Turton, Cambridge University Press, 1994.

Selecting Centrifugal Pumps, Technical information, KSB Aktiengesellschaft, Media Production V51 Germany, 2005

The Interaction Between Geometry and Performance of a Centrifugal Pump 1st Edition, B. Neumann, John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom, 2005

Εμβολοφόρος αντλία του Κτησιβίου (285-222 π.Χ.),
Έλληνα μαθηματικού, μηχανικού, εφευρέτη και ιδρυτή της
Σχολής Μηχανικών και Μαθηματικών στην Αλεξάνδρεια.

ISBN 978-960-337-064-2