

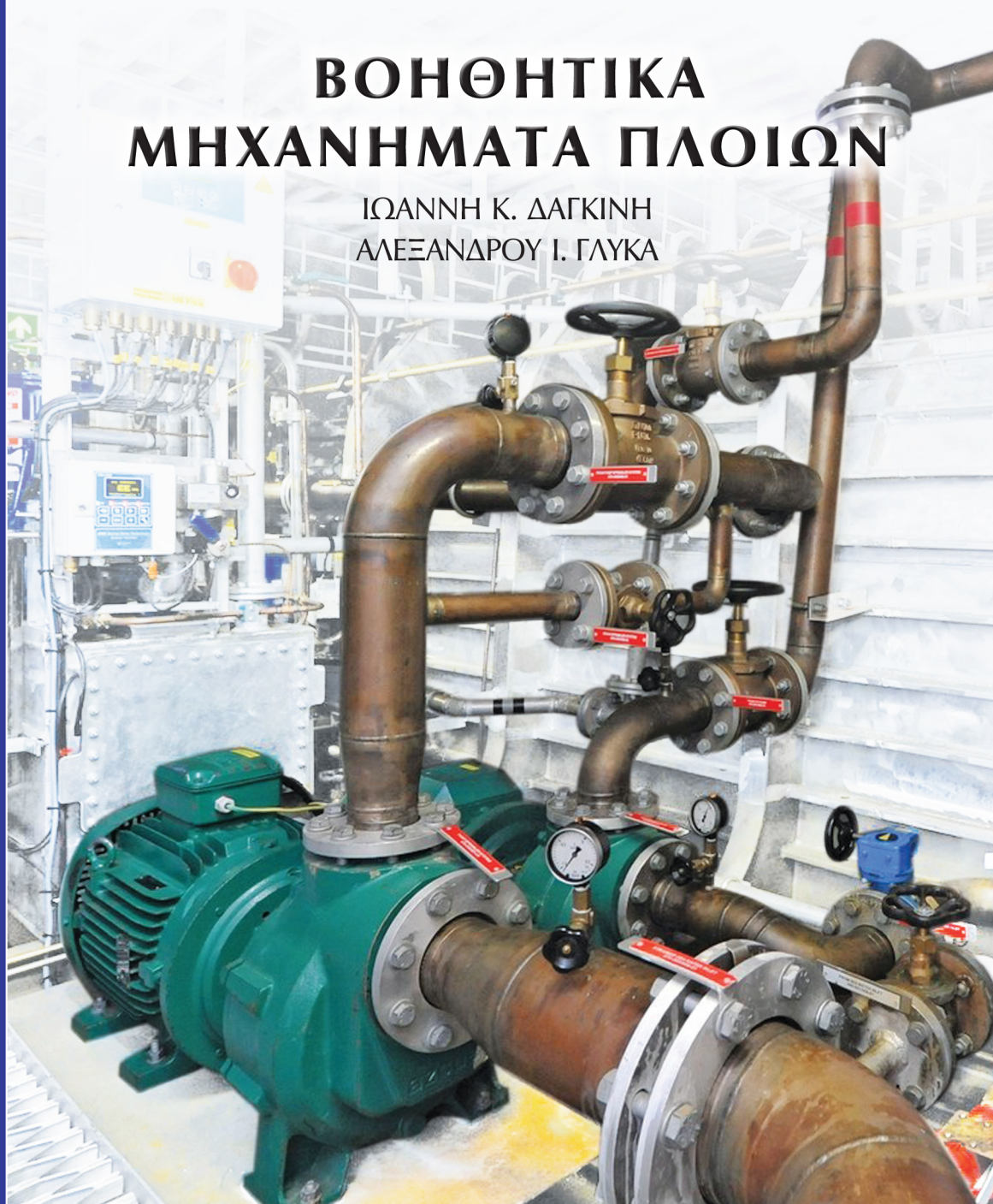


ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΛΟΙΩΝ

ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΔΑΓΚΙΝΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ Ι. ΓΛΥΚΑ



ΑΘΗΝΑ 2015

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ



Α' ΕΚΔΟΣΗ 2015

ISBN: 978-960-337-124-3

Copyright © 2015 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 «να συμβάλη εις την εκπαίδευσιν νέων ελληνικής ύπηκοότητος εν 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 κατὰ τα πρότυπα της επαγγελματικής εκπαίδευσως άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

Την 23η Φεβρουαρίου του 1956 εγκρίθηκε η σύσταση του κοινωφελούς Ιδρύματος Ευγενίδου, την διαχείριση του οποίου κατὰ 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 έθιγαν 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 εκπαίδευσως.

Εξχωριστή 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 Εκπαίδευσως Ναυτικών του Υπουργείου Ναυτιλίας. Η συγγραφή και έκδοση των εκπαιδευτικών εγχειριδίων για τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ανειθέη στο Ίδρυμα Ευγενίδου με την υπ' αριθμ. 61288/5031/8.8.1966 απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και λειπούργησε 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 εκπαίδευσως 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 ειδική ομάδας εργασίας εμπειρογνομόνων για την επικαιροποίηση των αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών για τις ΑΕΝ, τα ΚΕΣΕΝ και τα ειδικά σχολεία Πλοίαρχων και Μηχανικών, εφαρμόζοντας τις νέες απαιτήσεις εκπαίδευσης 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 εκδόσεων 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 ενεργέτη Ευγενίου Ευγενίδου.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ερμανουήλ Δρns, 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**.

Επιστημονικοί Σύμβουλοι για το βιβλίο «Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων» ο κ. **Νικόλαος Δανιήλ**, Μηχανικός Α' Ε.Ν., Αναπληρωτής Δ/ντής Σχολής Μηχανικών ΑΕΝ Χίου και 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) Μnx. Ηλ. ΕΜΠ, **Μ. Αγγελόπουλος** (1970-2003) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, **Σπ. Γουλιέλμος** (1958) Αν/ρχος, **Ξ. Αντιωνιάδης** (1959-1966) Αν/ρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Π. Γ. Τσακίρης** (1967-1969) Πλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Ελλ. Σίδερης** (1967-1969) Υποναύαρχος, **Π. Φουσιτέρης** (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. Σπαρτιώτης** (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., **Αναστ. Δημαράκης** (1981-1982) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Κ. Τσαντίλας** (1982-1984) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Α. Σιαυρόπουλος** ομ. καθηγητής Πανεπ. 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. Μπαρκασιός** (1988-1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Κ. Παπαναστασίου** (1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Γ. Λάμπρου** (1989-1992) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Κ. Κοκορέτσιος** (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. Μαρβίνος** (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. Περδούπουλος** (2008-2009) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Α. Ματσάγγος** (2009-2011) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., **Ι. Σέρρης** (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

ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΛΟΙΩΝ

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
2015



ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

Η πρόοδος που έχει σημειωθεί στους τομείς της ναυπήγησης και οι καινοτομίες στην τεχνολογική εξέλιξη έχουν ως αποτέλεσμα την συνεχή βελτίωση του μηχανολογικού εξοπλισμού των πλοίων. Καθώς αυξάνονται οι ανάγκες για αποδοτική λειτουργία του πλοίου και οι απαιτήσεις για μείωση του χρόνου παραμονής του στα λιμάνια, καθίσταται ολοένα και πιο σημαντικός ο βαθμός αξιοπιστίας του εξοπλισμού του και η ταυτόχρονη απασχόληση λιγότερων μελών του πληρώματος στη λειτουργική διαδικασία. Ως εκ τούτου, τα νεότευκτα πλοία κατασκευάζονται έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στην έμφαση που δίνεται στην βελτίωση της οικονομοτεχνικής διαχείρισής τους.

Τα βοηθητικά μηχανήματα, ως μέρος του εξοπλισμού του πλοίου, είναι αναγκαία για την εύρυθμη και ασφαλή λειτουργία των κύριων μηχανών πρόωσης, των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και διαδικασιών, όπως η φόρτιση, η εκφόρτιση, η αγκυροβολία κ.ά.. Στο βιβλίο αυτό περιλαμβάνεται η πλειονότητα των κατηγοριών των βοηθητικών μηχανημάτων που είναι εγκατεστημένα στα πλοία. Η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας τους, καθώς και η φιλοσοφία από την εφαρμογή τους στις λειτουργίες των πλοίων, έχει ως βασικό στόχο να ενισχυθεί το γνωστικό υπόβαθρο των σπουδαστών που θα ακολουθήσουν το επάγγελμα του μηχανικού των πλοίων. Το παρόν σύγγραμμα είναι επίσης καιαποπαιστικό για κάθε ενδιαφερόμενο που επιθυμεί να γνωρίσει τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανημάτων ενός πλοίου.

Έχοντας υπόψη το νέο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών (ΦΕΚ 2303, τεύχος δεύτερο, 16-9-2013), η επιλογή της ύλης και η δομή κάθε κεφαλαίου έγινε με κριτήριο την κάλυψη των βασικών θεωρητικών απαιτήσεων και την ανάπτυξη των προδιαγραφών κατασκευής που απαιτείται να γνωρίζει ο σπουδαστής. Η ύλη των βοηθητικών μηχανημάτων διδάσκεται σε τρία εξάμηνα (Β', Ε' και Στ'). Το γεγονός αυτό, σε συνάρτηση με τον μεγάλο αριθμό των τύπων των βοηθητικών μηχανημάτων και των συστημάτων, είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα βιβλίο μεγάλου όγκου, απαραίτητο όμως ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της διδασκτέας ύλης. Γι' αυτό, με σκοπό να διευκολυνθεί ο σπουδαστής στη μελέτη, το παρόν εγχειρίδιο χωρίζεται σε τέσσερα διακριτά μέρη, από τα οποία τα τρία περιέχουν τη διδασκτέα ύλη των αντίστοιχων εξαμήνων (Β', Ε' και Στ'), ενώ στο τέταρτο περιλαμβάνονται τα παραρτήματα.

Στο πρώτο μέρος περιγράφονται συγκεντρωτικά τα βοηθητικά μηχανήματα των πλοίων, τα βασικά δίκτυα που υποστηρίζουν τη λειτουργία τους, τις αντλίες και τους εναλλακτικές θερμότητας, τα οποία είναι κεφάλαια που εισάγουν τους σπουδαστές στα συστήματα υποστήριξης και καλής λειτουργίας του πλοίου. Στο δεύτερο περιγράφονται αναλυτικά οι εκκινήσεις, οι συμπιεστές, τα συστήματα των Δ/Ξ μεταφοράς υγρών και υγροποιημένων φορτίων και οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα για τη διαχείριση πειρελαϊκών προϊόντων, καθώς και τα εξαρτήματα ανάπτυξης δικτύων. Στο τρίτο μέρος περιέχεται η αναλυτική περιγραφή των φυγοκεντρικών διαχωριστών, των βραστήρων, των βαρούλκων, των συστημάτων πρόωσης και πηδαλιουχίας που συναντώνται επί του πλοίου. Στο μέρος αυτό ολοκληρώνεται η διδασκτέα ύλη με την απαραίτητη αναφορά στην ασφάλεια από την διαχείριση πειρελαϊκών προϊόντων, καθώς και τα συστήματα που εξασφαλίζουν τη φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία των πλοίων. Τέλος, το τέταρτο μέρος περιέχει τα παραρτήματα, που ενώ δεν περιέχονται στην διδασκτέα ύλη είναι απαραίτητα διότι, μαζί με τις παραγράφους σε υπόστρωμα γκρι, παρέχονται σε αυτά διευκρινίσεις, οι οποίες συμβάλλουν στην κατανόηση της ύλης. Στα παραρτήματα επίσης έχουν αναπυχθεί και δύο κεφάλαια: το πρώτο αφορά στις Επιθεωρήσεις από τις λιμενικές αρχές, που αποτελεί εισαγωγή στο βασικό κομμάτι της λειτουργικής διαχείρισης των πλοίων, και το δεύτερο στην Καθοδική προσασία των πλοίων, η οποία αποτελεί βοηθητικό σύστημα για την προσασία των μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση, αναγκαίο για την πληρέστερη εκπαίδευση των μηχανικών ΑΕΝ.

Ευχαριστίες οφείλουμε στην Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την συνεργασία της σε όλα τα στάδια συγγραφής αυτού του βιβλίου, τους επιστημονικούς συμβούλους της κ. Νικόλαο Δανιήλ, Αναπλ. Δ/ντή της Σχολής Μηχανικών ΑΕΝ Χίου και τον κ. Νικόλαο Τσίτσο, καθ. ΑΕΝ Ασπροπύργου, για τις ουσιαστικές προτάσεις τους, καθώς και τους συνεργάτες του Εκδοτικού Τμήματος του Ιδρύματος Ευγενίδου για την άφογη συνεργασία τους στην άρτια επιμέλεια και παρουσίαση του βιβλίου.

Ευχαριστούμε επίσης τον κ. Στέλιο Κοκολιά, Α' Μηχανικό Ε.Ν., για τις χρήσιμες πληροφορίες που μας παρείχε και την κα Ζηνοβία Τέπερη, φιλόλογο, για τις γλωσσικές παρατηρήσεις της, καθώς και τα παιδιά μας Κορίνα, Χαρά και Παναγιώτη για την κατανόσή τους.

Τέλος, προτιρόνουμε τους αναγνώστες, σε περίπτωση που διαπιστωθούν λάθη και παραλείψεις, να συνεισφέρουν με τις επισημάνσεις τους στην βελτίωση του βιβλίου, ώστε τυχόν προτάσεις τους να ληφθούν υπόψη σε επόμενη έκδοση.

Οι συγγραφείς



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή	2
----------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Σύντομη περιγραφή των βασικών βοηθητικών μηχανημάτων και συσκευών

1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Ταξινόμηση βοηθητικών μηχανημάτων.....	4
1.3 Συνοπτική περιγραφή των βοηθητικών μηχανημάτων.....	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αντλίες

2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Ταξινόμηση αντλιών.....	10
2.3 Βασικά στοιχεία μηχανικής ρευστών και υδραυλικών συστημάτων.....	11
2.4 Ροή των υγρών.....	13
2.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη – Στοιχεία αντλιών.....	16
2.6 Αναρρόφηση της αντλίας.....	21
2.7 Κατάθλιψη της αντλίας.....	24
2.8 Εμβολοφόρες αντλίες.....	24
2.9 Περιστροφικές αντλίες.....	41
2.10 Φυγοκεντρικές αντλίες – Γενικά.....	51
2.11 Φυγοκεντρικές αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία.....	61
2.12 Μονοσταδιακές φυγοκεντρικές αντλίες.....	62
2.13 Πολυσταδιακές φυγοκεντρικές αντλίες με ηλεκτροκινητήρα.....	63
2.14 Φυγοκεντρικές αντλίες με ατμοστρόβιλο.....	65
2.15 Απαγωγή του αέρα από τις φυγοκεντρικές αντλίες.....	70
2.16 Παροχή φυγοκεντρικών αντλιών.....	72
2.17 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλιών.....	73
2.18 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας για κάθε τύπο αντλίας.....	74
2.19 Σπηλαίωση αντλιών.....	76
2.20 Στεγανοποίηση αντλιών.....	78
2.21 Λειτουργία και συντήρηση αντλιών.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Εναλλακτές θερμότητας

3.1 Εισαγωγή.....	82
3.2 Ταξινόμηση των εναλλακτών θερμότητας.....	82
3.3 Απόδοση εναλλακτών θερμότητας.....	84
3.4 Εναλλακτές επιφάνειας.....	84
3.5 Μετάδοση θερμότητας στους εναλλακτές επιφάνειας.....	92

3.6	Ψυγεία.....	94
3.7	Ψυγεία πλοίων με μηχανές εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ).....	102
3.8	Προθερμαντήρες.....	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Δίκτυα

4.1	Δίκτυα.....	112
-----	-------------	-----

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Εκχυτήρες τζιφάρια

5.1	Εισαγωγή.....	124
5.2	Η λειτουργία των εκχυτήρων.....	126
5.3	Εκχυτήρες – Σχεδιασμός και κατάταξη εκχυτήρων.....	129
5.4	Τύποι και χρήση των εκχυτήρων.....	130
5.5	Οι εκχυτήρες αέρα και οι εφαρμογές τους.....	132
5.6	Συστήματα ενισχύσεως κενού.....	134
5.7	Εκχυτήρες σε Δ/Ξ με στροβιλαντλίες εκφορτώσεως.....	136
5.8	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εκχυτήρων.....	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Αεροσυμπιεστές

6.1	Εισαγωγή.....	140
6.2	Τύποι αεροσυμπιεστών.....	140
6.3	Παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές.....	142
6.4	Περιστροφικοί αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως.....	151
6.5	Περιστροφικοί αεροσυμπιεστές ροής.....	153
6.6	Λίπανση αεροσυμπιεστών.....	155
6.7	Ψύξη αεροσυμπιεστών.....	155
6.8	Χρήση – Δίκτυα.....	156
6.9	Εκκίνηση – Λειτουργία αεροσυμπιεστή.....	158
6.10	Συντήρηση – Πιθανές βλάβες.....	160

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Βασικά δίκτυα σωληνώσεων πλοίου

7.1	Εισαγωγή.....	161
7.2	Υλικά κατασκευής των σωληνών δικτύου.....	161
7.3	Σύνδεση σωληνών.....	162
7.4	Βαλβίδες (επιστόμια – διακόπτες).....	166
7.5	Στεγανοποίηση βαλβίδων-επιστομίων.....	169
7.6	Ταξινόμηση επιστομίων.....	172
7.7	Επενεργοποιητές σε επιστόμια ελέγχου.....	178
7.8	Υλικά στεγανοποίησης συνδέσεων δικτύου.....	180
7.9	Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα στεγανοποίησης.....	184
7.10	Εφαρμογές στεγανοποίησης.....	185
7.11	Ατμοπαγίδες.....	186
7.12	Αποχωριστές ατμού.....	188
7.13	Φίλτρα.....	188

7.14 Έλεγχος και συντήρηση δικτύων.	190
7.15 Υδραυλική δοκιμή δικτύου.	192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

Παραλαβή καυσίμων και λιπαντικών

8.1 Εισαγωγή.	192
8.2 Ανεφοδιασμός με καύσιμα.	192
8.3 Διαδικασίες ανεφοδιασμού καυσίμων.	194
8.4 Ενέργειες πριν την παραλαβή καυσίμων.	197
8.5 Αρμοδιότητες κατά τον ανεφοδιασμό καυσίμων.	199
8.6 Πρόληψη διαρροής κατά τον ανεφοδιασμό.	201
8.7 Ενέργειες μετά το πέρας του ανεφοδιασμού.	202
8.8 Απόδειξη παραδόσεως καυσίμων και ποσότητα που παραλήφθηκε.	202
8.9 Υπολογισμός της ποσότητας καυσίμων.	204
8.10 Διαδικασία δειγματοληψίας καυσίμων.	206
8.11 Διαχείριση των καυσίμων επί του πλοίου.	207

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Μεταφορά πετρελαίου, συστήματα αντλήσεως και δίκτυα φορτίου δεξαμενοπλοίων

9.1 Αργό ή ακατέργαστο πετρέλαιο.	209
9.2 Ταξινόμηση ακατέργαστου (αργού) πετρελαίου.	209
9.3 Προϊόντα αργού πετρελαίου.	211
9.4 Έννοια των όρων σημείο αναφλέξεως και σημείο αυταναφλέξεως.	212
9.5 Συνθήκες καύσεως.	213
9.6 Δεξαμενόπλοια.	216
9.7 Χαρακτηριστικά δεξαμενοπλοίων.	216
9.8 Το δίκτυο των δεξαμενοπλοίων.	219
9.9 Αντλίες φορτίου δεξαμενοπλοίων.	221
9.10 Συστήματα αποστραγγίσεως δεξαμενών φορτίου.	224
9.11 Συστήματα εξαερισμού δεξαμενών.	226
9.12 Προθέρμανση φορτίου.	229
9.13 Χειρισμός βαλβίδων στο δίκτυο φορτίου Δ/Ξ.	230
9.14 Συστήματα αντλήσεως στα χημικά Δ/Ξ.	232
9.15 Σύστημα αδρανούς αερίου.	236
9.16 Καθαρισμός δεξαμενών φορτίου Δ/Ξ.	242
9.17 Εξαερισμός δεξαμενών.	245
9.18 Επιθεώρηση και δοκιμές σωληνώσεων δικτύου και δεξαμενών κύτους.	246

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Αεριοφόρα πλοία

10.1 Εισαγωγή.	248
10.2 Δεξαμενές φορτίου.	249
10.3 Τύποι δεξαμενών φορτίου.	249
10.4 Δίκτυα σωληνώσεων.	254
10.5 Σύστημα επανυγροποίησης και έλεγχος της εξατμίσεως του φορτίου για Δ/Ξ LNG.	258
10.6 Ιδιότητες φορτίου.	260
10.7 Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό Πλοίων Μεταφοράς Χύδην Υγροποιημένων Αερίων.	263
10.8 Ασφαλιστικές διατάξεις κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση.	264

10.9 Μονάδες ελέγχου παροχής καυσίμου..	266
10.10 Μηχανισμοί για τη διαχείριση φορτίου στα υγραεριοφόρα Δ/Ξ.	273

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ *Φυγοκεντρικοί διαχωριστές*

11.1 Εισαγωγή.	282
11.2 Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων και λιπαντικών, που επηρεάζουν τη διαδικασία καθαρισμού.	282
11.3 Η φυγοκεντρική διεργασία.	284
11.4 Τύποι φυγοκεντρικών διαχωριστών.	287
11.5 Λειτουργία φυγοκεντρικών διαχωριστών.	288
11.6 Καθαρισμός πετρελαίου.	291
11.7 Φυγοκεντρικός διαχωριστής συνεχούς λειτουργίας με δίσκους.	293
11.8 Απόρριψη των ακαθαρσιών (μπλοφάρισμα).	295
11.9 Επεξεργασία βαρέων πετρελαίων.	296
11.10 Φυγοκεντρικός καθαρισμός ελαίου λιπάνσεως.	297
11.11 Λειτουργία και συντήρηση.	299

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ *Συστήματα παραγωγής νερού*

12.1 Εισαγωγή.	301
12.2 Αποστακτήρες – Βραστήρες.	301
12.3 Η διεργασία της αφαλατώσεως: Απόσταξη – Συμπύκνωση.	303
12.4 Ανάβραση – Προβολή.	304
12.5 Πίεση λειτουργίας αποστακτήρων.	305
12.6 Πολυσταδιακοί αποστακτήρες.	308
12.7 Τα δίκτυα αποστακτήρων χαμηλής πίεσης	309
12.8 Τύποι αποστακτήρων (βραστήρων).	314
12.9 Περιγραφή των αποστακτήρων-βραστήρων που χρησιμοποιούνται στα πλοία.	322
12.10 Ποιότητα και επεξεργασία αποσταγμένου νερού.	332
12.11 Συντήρηση και επισκευές αποστακτήρων-βραστήρων.	336
12.12 Ώσμωση.	337
12.13 Αντίστροφη ώσμωση.	338
12.14 Η αντίστροφη ώσμωση στα πλοία.	341

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ *Βαρούλκα φορτωτών και χειρισμών*

13.1 Εισαγωγή.	343
13.2 Βαρούλκα – Εργάτες άγκυρας.	343
13.3 Συστήματα λειτουργίας μηχανημάτων καταστρώματος.	344
13.4 Βαρούλκα – Γενικά.	345
13.5 Εργάτης και βαρούλκο άγκυρας.	352
13.6 Μηχανισμοί προσδέσεως.	355

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ *Πηδάλια*

14.1 Εισαγωγή.	357
----------------	-----

14.2	Γεωμετρία πηδαλίου – Τύποι πηδαλίων.	358
14.3	Ροπή στρέψεως πηδαλίου.	362
14.4	Διατάξεις και μηχανισμοί πηδαλίων άμεσης και έμμεσης μεταδόσεως.	368
14.5	Ηλεκτρικά πηδάλια.	371
14.6	Ηλεκτρική μετάδοση – Τηλεκίνηση.	372
14.7	Ο τριβέας και ο μηχανισμός στηρίξεως του πηδαλίου.	374
14.8	Αντλία κινούμενης στεφάνης.	376
14.9	Αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως.	378
14.10	Αντλία ολισθηρών ελασμάτων-επιθέματος (πλινθία ολισθήσεως).	379
14.11	Ασφαλιστική διάταξη περιορισμού ανάστροφης κινήσεως της αντλίας.	380
14.12	Μηχανισμοί στρέψεως πηδαλίων.	380
14.13	Ηλεκτροϋδραυλικά πηδάλια.	386
14.14	Ο μηχανισμός επαναφοράς του πηδαλίου.	390
14.15	Επιθεωρήσεις – Έλεγκοι.	391

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Συστήματα επεξεργασίας και ελέγχου λυμάτων για την προστασία του περιβάλλοντος

15.1	Εισαγωγή στη Σύμβαση MARPOL 73/78.	393
15.2	Διαχωριστές ελαίου νερού σεντίνων.	395
15.3	Συστήματα ελέγχου απορρίψεως ελαίου.	399
15.4	Αποτεφρωτές.	400
15.5	Συστήματα επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων.	402

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

Φορτία πετρελαιοειδών – Ασφάλεια

16.1	Εισαγωγή.	405
16.2	Περιεχόμενα του ISGOTT.	406
16.3	Στατικός ηλεκτρισμός.	407
16.4	Δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού στα Δ/Ξ.	408
16.5	Αγωγιμότητα στα φορτία των Δ/Ξ.	411
16.6	Ηλεκτροστατικές ιδιότητες των αερίων και των αιρουμένων σταγονιδίων (ομίχλη).	413
16.7	Προφυλάξεις από τον κίνδυνο του στατικού ηλεκτρισμού.	413
16.8	Έλεγχος ποιότητας της ατμόσφαιρας στα Δ/Ξ.	415
16.9	Μέτρηση της συγκεντρώσεως υδρογονανθράκων.	416
16.10	Μέτρηση χαμηλών συγκεντρώσεων τοξικών αερίων.	421
16.11	Μόνιμες εγκαταστάσεις ανιχνεύσεως ευφλέκτων αερίων.	422
16.12	Μέτρηση περιεκτικότητας σε οξυγόνο.	423
16.13	Κίνδυνοι για την υγεία από τις τοξικές επιδράσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά υδρόθειου και βενζολίου.	426

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

Μεταφορά υγροποιημένων αερίων

17.1	Υγροποιημένα φορτία.	429
17.2	Μέθοδοι μεταφοράς.	432
17.3	Κίνδυνοι μεταφοράς υγροποιημένων αερίων και φορτίων πετρελαιοειδών.	436
17.4	Σύγκριση των κινδύνων στη μεταφορά υγροποιημένων αερίων και στη μεταφορά υγρών πετρελαϊκών προϊόντων.	438

17.5 Προφυλάξεις κατά τη μεταφορά – Διατάξεις ασφαλείας.....	438
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΩΟ

Φορτία δεξαμενών σκάφους

18.1 Πυκνότητα – ΑΡΙ βάρους.	441
18.2 Υπολογισμός ποσότητας φορτίου σε βάρος όταν πρόκειται για ολική φόρτωση.....	443
18.3 Υπολογισμός φορτίου πριν την παραλαβή.	445
18.4 Μετατροπές μονάδων όγκου.	447
18.5 Υπολογισμός ποσότητας φορτίου που παραλήφθηκε.	448
18.6 Όρια πληρώσεως δεξαμενών με υγροποιημένο φορτίο.	450

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

Συστήματα προώσεως, χειρισμών και αποσβέσεως διατοιχισμών

19.1 Γενικά.	451
19.2 Ωστικοί τριβείς.	452
19.3 Ενδιάμεσοι τριβείς.	454
19.4 Συστήματα στεγανοποίησης άξονα-χοάνης.	454
19.5 Μειωτήρες.	459
19.6 Μέσα μείωσης του διατοιχισμού των πλοίων..	460
19.7 Η έλικα.	461
19.8 Έλικες με δακτυλίους.....	465
19.9 Σππλαιώση.....	467
19.10 Ηλεκτροπρόωση.....	468
19.11 Πρόωση Azipod.....	470
19.12 Υδροπρόωση.	470

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

Μηχανισμοί φορτοεκφορτώσεως – Γερανοί

20.1 Μηχανισμοί φορτοεκφορτώσεως.....	473
20.2 Καλύμματα στομιών κυτών	478

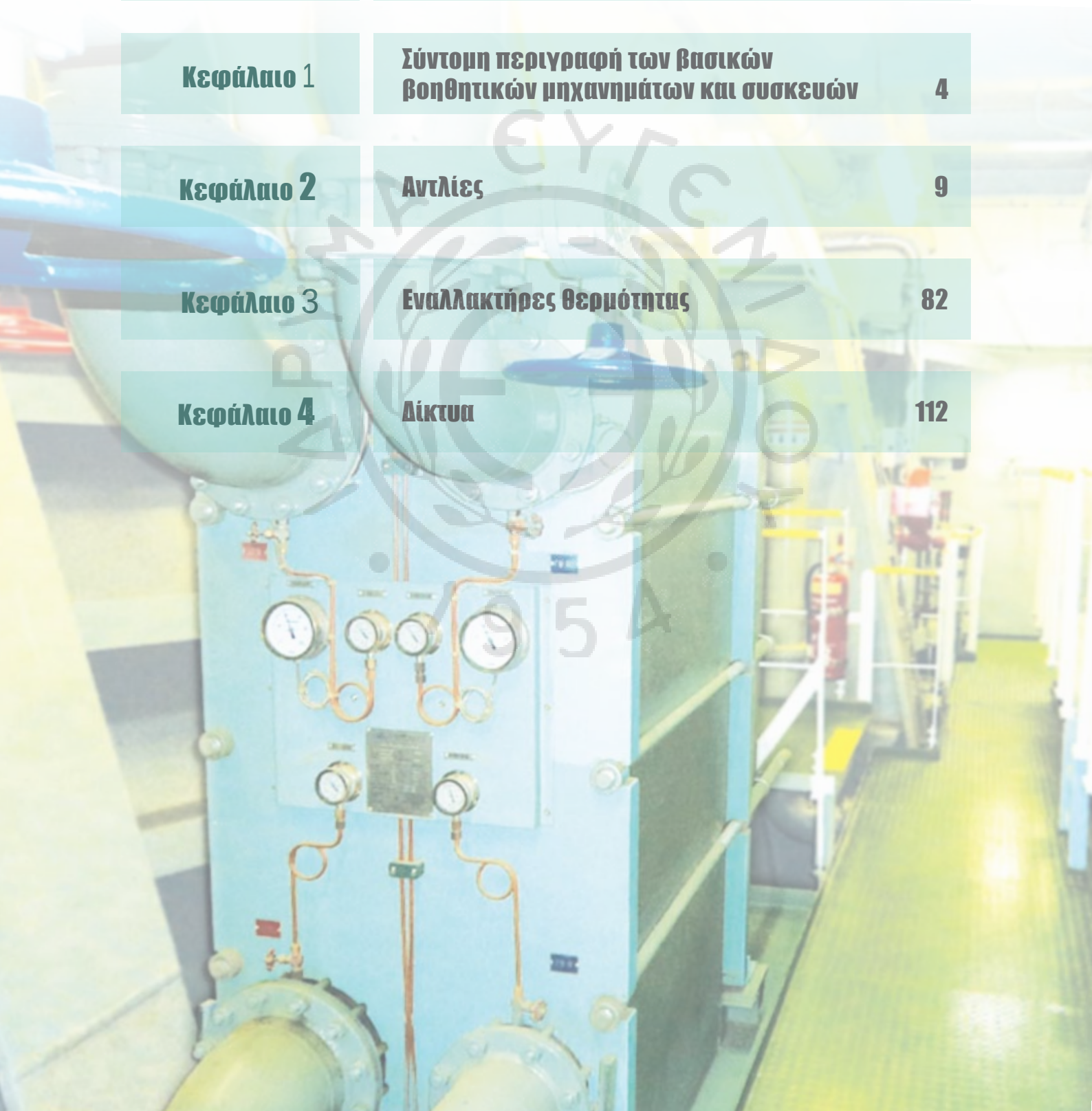
ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

Παραρτήματα

Παράρτημα Α: Επιθεωρήσεις από τις λιμενικές αρχές.....	482
Παράρτημα Β: Καθοδική προστασία πλοίων	489
Παράρτημα Γ: Σχεδιαγράμματα μηχανοστασίου δεξαμενοπλοίου	502
Παράρτημα Δ: Πίνακες (ενδεικτικοί).....	507
Γλωσσάριο	524
Ευρετήριο	527
Βιβλιογραφία	530

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή		2
Κεφάλαιο 1	Σύντομη περιγραφή των βασικών βοηθητικών μηχανημάτων και συσκευών	4
Κεφάλαιο 2	Αντλίες	9
Κεφάλαιο 3	Εναλλακτήρες θερμότητας	82
Κεφάλαιο 4	Δίκτυα	112



Εισαγωγή

Τα πλοία έχουν σχεδιαστεί με προδιαγραφές που εξασφαλίζουν την αυτονομία τους, ώστε να πραγματοποιείται ο σκοπός λειτουργίας τους με επιτυχία και πάνω απ' όλα με ασφάλεια, τόσο για το πλήρωμα ή τους επιβάτες, όσο και για το φορτίο το οποίο μεταφέρουν. Η ομαλή λειτουργία του πλοίου, είτε βρίσκεται εν πλω είτε σε λιμένα και φορτοεκφορτώνει, εξαρτάται άμεσα από την αξιοπιστία των βοηθητικών εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων που συνθέτουν τον μηχανολογικό του εξοπλισμό.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι οι **βοηθητικές εγκαταστάσεις** των πλοίων περιλαμβάνουν:

α) Τα **βοηθητικά μηχανήματα** (auxiliary machinery) ενός πλοίου, που υποστηρίζουν την ομαλή λειτουργία:

- Της **κύριας μηχανής** (main engine) και των **ηλεκτροπαραγωγών ζευγών** (diesel generators).
- Του **ατμολέβητα** (steam boiler).
- Του **συστήματος φορτοεκφορτώσεως** (cargo gear) και
- εξασφαλίζουν την άνετη **διαβίωση** του πληρώματος και πολλές άλλες λειτουργίες.

β) Τα **δίκτυα** (piping), που περιλαμβάνουν το σύστημα των σωληνώσεων για τη μεταφορά των ρευστών (υγρών, αερίων ή ατμού) και τις **καλωδιώσεις** (cabling), για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας και την τροφοδότηση των κινητήρων των μηχανημάτων. Επίσης, τα δίκτυα αποτελούν το μέσο παροχής αέρα, ρεύματος ή υδραυλικού ελαίου για τους αυτοματισμούς χειρισμών κ.λπ..

γ) Τα **εξαρτήματα χειρισμού**, που περιλαμβάνουν τις **βαλβίδες** (επιστόμια-valves) **ελέγχου ροής** ενός ρευστού εντός του δικτύου, τους διακόπτες, τις ασφαλιστικές διατάξεις, τους μειωτήρες πίεσεως, τους θερμοστάτες, τους αυτόματους ρυθμιστές κ.λπ..

δ) Τα **όργανα ελέγχου και παρακολουθήσεως της καλής λειτουργίας**, που περιλαμβάνουν τα θλιβόμετρα, τα θερμομέτρα, τους υδροδείκτες και άλλες ενδεικτικές διατάξεις και

ε) τις **εγκαταστάσεις εκτάκτου ανάγκης**, οι οποίες διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του συνόλου

των μηχανημάτων, στην περίπτωση που παρατηρηθεί αστοχία ή βλάβη ενός μηχανήματος μεμονωμένα.

Οι **βασικές κατηγορίες** των βοηθητικών εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων που τις απαρτίζουν είναι:

α) Οι **εξαρτημένες εγκαταστάσεις**, που λειτουργούν με ενέργεια, η οποία λαμβάνεται από την κύρια μηχανή. Αυτές είναι:

- Οι **εξαρτημένες αντλίες** λιπάνσεως και ψύξεως, σε μικρής και μεσαίας ιπποδυνάμεως προωστήριες μηχανές ντήζελ (diesel), σε ηλεκτρομηχανές, σε αεροσυμπιεστές κ.ά..

- Οι **εγκαταστάσεις σταδιακής προθερμάνσεως** του τροφοδοτικού νερού σε ατμοστρόβιλους, που πραγματοποιείται με την απαγωγή ατμού από τους στυπιοθλίπτες των κυρίων στροβίλων και με απομάστευση¹.

β) Οι **ανεξάρτητες ή αυτοτελείς εγκαταστάσεις**, που λειτουργούν ανεξάρτητα από την κύρια μηχανή. Αυτές είναι:

- Οι εγκαταστάσεις λιπάνσεως και ψύξεως σε μεγάλης ιπποδυνάμεως μηχανές ντήζελ.
- Η εγκατάσταση συμπυκνώσεως των εξατμίσεων και η εγκατάσταση τροφοδοσίας με νερό του λέβητα σε πλοία με ατμοστρόβιλους.
- Η εγκατάσταση παραγωγής αποσταγμένου νερού από τον βραστήρα.
- Η εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο.
- Η ψυκτική εγκατάσταση.
- Η εγκατάσταση κατασβέσεως πυρκαγιάς κ.ά..

Ως **μέρος των βοηθητικών εγκαταστάσεων**, τα βοηθητικά μηχανήματα και οι συσκευές (εγκατεστημένα ή φορητά) υποστηρίζουν την ομαλή και αποδοτική λειτουργία της κύριας μηχανής, όπως και τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου και ορίζονται ως ακολούθως:

α) **Βοηθητικά μηχανήματα** είναι τα ανεξάρτητα ή εξαρτημένα συγκροτήματα, που αποτελούνται από σταθερά και κινητά μέρη, πραγματοποιώντας μια λειτουργία ή παράγοντας έργο (π.χ. είναι η ηλεκτρομηχανή, ο μηχανισμός του πηδαλίου, οι αντλίες φορτίου,

¹ **Απομάστευση** (δηλ. εξαγωγή) ονομάζεται η απαγωγή μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες ενός στρόβιλου στις επιθυμητές πιέσεις.

οι αντλίες κυκλοφορίας νερού στα δίκτυα ψύξεως των μηχανών, οι αεροσυμπιεστές, ο εργάτης άγκυρας, οι αντλίες έρματος κ.λπ.).

β) **Βοηθητικές συσκευές** ονομάζονται τα ανάλογα συγκροτήματα από σταθερά κατά κανόνα μέρη, που εξυπηρετούν μια λειτουργία. Μερικά παραδείγματα των λειτουργιών αυτών και των βοηθητικών συσκευών είναι:

- Η εναλλαγή θερμότητας με τους προθερμαντήρες, τα ψυγεία κ.λπ..
- Η αποθήκευση ενέργειας, π.χ. με τις φιάλες αποθηκεύσεως του πεπιεσμένου αέρα προκινήσεως της μηχανής.
- Οι συσκευές καθαρισμού καυσίμων και λιπαντικών.
- Οι μειωτήρες πίεσεως, οι αυτόματοι ρυθμιστές ελέγχου και οι θερμοστάτες, που παρεμβαίνουν αυτόματα στην ολική ή μερική συνδυασμένη λειτουργία των βοηθητικών μηχανημάτων και συσκευών, ακόμα και στη λειτουργία της κύριας μηχανής προώσεως.

Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις **με βάση τις λειτουργίες** που εξυπηρετούν διακρίνονται σε:

α) **Εγκαταστάσεις προώσεως**, στις οποίες ανήκουν όσες έχουν σχέση με τη λειτουργία της κύριας μηχανής. Σε πλοία με πρόωση από μηχανή ντήζελ ή μηχανή εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ) ανήκουν οι εγκαταστάσεις λιπάνσεως, ψύξεως, παροχής πετρελαίου στους καυστήρες, παραγωγής πεπιεσμένου αέρα, παραγωγής αποσταγμένου νερού και η ηλεκτρική εγκατάσταση. Σε πλοία με ατμοστρόβιλο ανήκουν οι εγκαταστάσεις κυκλοφορίας ατμού προς το πρωωτήριο μηχανήμα, η εγκατάσταση προθερμάνσεως πετρελαίου, αφυπερθερμάνσεως¹, προθερμάνσεως και τροφοδοσίας του νερού στον λέβητα, λιπάνσεως του στρόβιλου και η ηλεκτρική εγκατάσταση.

β) **Εγκαταστάσεις χειρισμών**, που εξυπηρετούν την **πλοήγηση** και τους **χειρισμούς** του πλοίου. Είναι ανεξάρτητες από το σύστημα προώσεως και σ' αυτές ανήκουν οι εγκαταστάσεις **πηδαλιουχίσεως, μειώσεως διατοιχισμών, αγκυροβολίας και προσδέσεως** του πλοίου.

γ) **Εγκαταστάσεις ασφαλείας**, που εξυπηρετούν την ασφάλεια του πλοίου. Σ' αυτές ανήκουν η εγκατάσταση κατασβέσεως πυρκαγιάς, αντλήσεως κυτών και αντιμετώπισης διαρροής καθώς και η διάταξη διατήρησης της στεγανής υποδιαίρεσεως του πλοίου.

δ) **Εγκαταστάσεις φορτίου**, που εξυπηρετούν τη **φόρτωση**, την **εκφόρτωση**, τη **μετάθεση φορτίου** και τον **ερματισμό**, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Έτσι, οι εγκαταστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για φορτοεκφόρτωση ξηρού, υγρού, αερίου φορτίου και εμπορευματοκιβωτίων, για πλύση και αποστράγγιση δεξαμενών, τηλεχειρισμού επιστομίων και εξαερισμού δεξαμενών και

ε) σε **εγκαταστάσεις βοηθητικών υπηρεσιών**, που αναπτύσσονται εξυπηρετώντας διάφορες λειτουργικές ανάγκες του πλοίου. Αυτές είναι το δίκτυο παραλαβής και μεταγίσεως πετρελαίου, έρματος, η εγκατάσταση επεξεργασίας νερού κυτών, η ψυκτική εγκατάσταση, η εγκατάσταση κλιματισμού, αερισμού, πόσιμου νερού, νερού γενικής χρήσεως και υγιεινής και η εγκατάσταση επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων.

Όλες οι εγκαταστάσεις και τα βοηθητικά μηχανήματα που τις αποτελούν για να εκπληρώνουν τον **προορισμό τους με αξιοπιστία** πρέπει:

α) Να λειτουργούν με ασφάλεια για το προσωπικό και το περιβάλλον, σύμφωνα με τις Διεθνείς Συμβάσεις.

β) Να είναι κατασκευασμένες από κατάλληλα για κάθε περίπτωση υλικά, τα οποία προβλέπονται από τις Διεθνείς Συμβάσεις και τους κανονισμούς των Νογνωνών, όπως του Lloyd's Register of Shipping (L.R.), του American Bureau of Shipping (A.B.S.), του Det Norske Veritas (D.N.V.) κ.ά..

γ) Να έχουν απλή διάταξη παρέχοντας εύκολο χειρισμό, έλεγχο και επιθεώρηση.

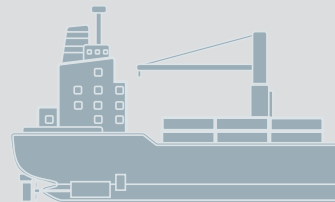
δ) Να παρέχουν με επάρκεια, καλύπτοντας με άνεση το μέγιστο των απαιτήσεων της βοηθητικής λειτουργίας, για την οποία προορίζονται, χωρίς να υφίσταται κίνδυνος υπερκοπώσεως ή πιθανής ανωμαλίας.

ε) Η εγκατάστασή τους να παρέχει ασφάλεια από πιθανές εξωτερικές βλάβες και τέλος

στ) να είναι εύκολη η διάκριση των δικτύων τους, η οποία επιτυγχάνεται με ειδικό συμβολικό χρωματισμό των σωλήνων και ανάλογες επιγραφές στα μηχανήματα, στις συσκευές, στα όργανα και στα επιστόμια.

Στα επόμενα κεφάλαια, η περιγραφή και η λειτουργία των βοηθητικών μηχανημάτων όπως και η ανάπτυξη της περιγραφής των εγκαταστάσεων και των συσκευών, πραγματοποιείται ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και στη συνέχεια με την ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών τους.

¹ **Αφυπερθερμάνωση** (desuper heating) ονομάζεται η ισοβαρής διαδικασία αφαιρέσεως ατμού από τον υπέρθερμο ατμό και η μετατροπή του σε κορεσμένο. Με την αφυπερθερμάνωση στο δίκτυο ατμού στις εγκαταστάσεις προώσεως με ατμοστρόβιλο επιτυγχάνεται ο έλεγχος της τελικής θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού με ψεκασμό.



1.1 Εισαγωγή.

Τα βοηθητικά μηχανήματα ενός πλοίου επιλέγονται για να εξυπηρετήσουν τις λειτουργικές απαιτήσεις της κύριας μηχανής προώσεως και διεργασίες όπως φόρτωση, εκφόρτωση, πρόσδεση κ.λπ.. Επομένως, ανάλογα με τον τύπο της κύριας μηχανής και του πλοίου (π.χ. πλοία χύδην φορτίου ή δεξαμενόπλοια) επιλέγονται και τα αντίστοιχα βοηθητικά μηχανήματα. Η περαιτέρω επιλογή που αφορά στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε βοηθητικού μηχανήματος και οφείλεται στην ποικιλία των κατασκευαστών, αποφασίζεται πριν από τη ναυπήγηση του πλοίου κατόπιν συνεννόησης με τον πλοιοκτήτη.

1.2 Ταξινόμηση βοηθητικών μηχανημάτων.

Τα βοηθητικά μηχανήματα ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο της κύριας μηχανής του πλοίου (πίν. 1.2.1) και τον τύπο του πλοίου (πίν. 1.2.2).

Οι βασικοί τύποι πλοίων ανάλογα με τις κυρίες μηχανές τους είναι οι εξής:

- α) Πλοίο με κύρια μηχανή ατμοστρόβιλο (ΑΣ).
- β) Πλοίο με κύρια μηχανή αεριοστρόβιλο (ΑΕ).
- γ) Πλοίο με κύρια μηχανή εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ).

- δ) Πλοίο με ηλεκτροπρόωση (ΗΛ).

Οι βασικοί τύποι πλοίων που περιγράφονται στον πίνακα 1.2.2 είναι:

- α) Δεξαμενόπλοια υγρού φορτίου (ΔΞ).
- β) Φορτηγά πλοία χύδην φορτίου (ΦΧ).
- γ) Δεξαμενόπλοια υγροποιημένου αερίου (ΥΓ).
- δ) Υπόλοιπα πλοία (ΥΠ).

Στους πίνακες αυτούς το **πράσινο χρώμα** δηλώνει τη διαθεσιμότητα των αντιστοίχων βοηθητικών μηχανημάτων, ενώ το **κόκκινο χρώμα** την απουσία. Μετά τους πίνακες, ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των μηχανημάτων, με ενδεικτικές φωτογραφίες. Στα σχεδιαγράμματα Π.Γ.1 έως Π.Γ.5 του Παραρτήματος Γ (σελ. 502-506) παρουσιάζεται η τυπική διατάξη μηχανοστασίου ενός Δ/Ξ.

Πίνακας 1.2.1

Βοηθητικά μηχανήματα ανάλογα με τον τύπο της κύριας μηχανής.

Τύπος βοηθητικού μηχανήματος	Αγγλικός όρος	Τύπος κύριας μηχανής πλοίου			
		ΑΣ	ΑΕ	ΜΕΚ	ΗΛ
Κύριο ψυγείο	Main Condenser				
Εκχυτήρες κενού	Vacuum Ejector				
Εξαεριστής	Deaerator				
Αφυπερθερμαντήρας ατμού	Desuperheater				
Αναθερμαντήρας ατμού	External superheat reheat				
Ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού	Forced draft Fan				
Προθερμαντήρας αέρα	Air heater				
Μηχανήματα διακίνησης πετρελαίου	Fuel oil injector apparatus				

(συνεχίζεται)

■ Διαθέσιμο ■ Μη διαθέσιμο

<i>Τύπος βοηθητικού μηχανήματος</i>	<i>Αγγλικός όρος</i>	<i>Τύπος κύριας μηχανής πλοίου</i>			
		<i>ΑΣ</i>	<i>ΑΕ</i>	<i>ΜΕΚ</i>	<i>ΗΛ</i>
Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού	Feed water heater				
Αντλία συμπυκνώματος	Condenser pump				
Αντλία ελαίου λιπάνσεως	Lube oil pump				
Τροφοδοτική αντλία νερού στον ατμολέβητα	Main feed water pump				
Ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως	Booster feed pump				
Αντλίες κυκλοφορίας θαλάσσης	Sea water circulating pumps				
Αντλία παροχής ή τροφοδοτήσεως πετρελαίου	Fuel oil pump				
Αντλία μεταγγίσεως πετρελαίου	Fuel oil transfer pump				
Αντλία ψύξεως χιτωνίων και πωμάτων κύριας μηχανής	Jacket cooling water pump				
Αντλία ψύξεως εμβόλων κύριας μηχανής	Piston cooling pump				
Αντλία έρματος	Ballast pump				
Αντλία γενικής χρήσεως	General service pump				
Αντλία υγιεινής	Sanitary pump				
Αντλία πόσιμου νερού	Drinking water pump				
Αντλία πυρκαγιάς	Fire pump				
Αντλία πυρκαγιάς εκτάκτου ανάγκης	Emergency fire pump				
Αντλία ραντισμού νερού κατασβέσεως	Fire Sprinkler pump				
Αντλία κύτους	Bilge pump				
Αποτεφρωτής	Incinerator				
Αντλία κινδύνου εξαντλήσεως κυτών	Emergency bilge pump				
Ψυγείο λαδιού	Lube oil heat exchanger				
Ψυγείο γλυκού νερού ψύξεως κύριας μηχανής	Main engine fresh water heat exchanger				
Μειωτήρες	Reduction gear box				
Συστήματα αυτοματισμών	Automation control systems				
Πίνακες σημάτων και δυσλειτουργιών	Alarm panel				
Φυγοκεντρικός καθαριστής διαχωριστής ελαίου	Oil separator				
Φυγοκεντρικός καθαριστής διαχωριστής πετρελαίου	Fuel oil separator				
Διαχωριστής νερών κύτους	Oil-Water separator				
Αεροσυμπιεστές	Air compressors				
Φιάλες πεπιεσμένου αέρα	Air bottles				
Βραστήρας	Fresh water generator				
Μηχανήματα πηδαλιουχίσεως	Steering gear				
Παρατροπίδια	Stabilizers				
Εργάτες και βαρούλκα προσδέσεως	Winches				

Πίνακας 1.2.2
Βοηθητικά μηχανήματα ανάλογα με τον τύπο του πλοίου.

Τύπος βοηθητικού μηχανήματος	Αγγλική ορολογία	Τύπος πλοίου			
		ΔΕ	ΦΧ	ΥΓ	ΥΠ
Μηχανήματα χειρισμού καλυμμάτων στομίων κυτών	Hatch cover gear				
Φορτοεκφορτωτικά μέσα	Cranes–Gear				
Βοηθητικοί γερανοί	Provision cranes				
Αντλίες υγρών φορτίων	Cargo pumps				
Σύστημα αδρανούς αερίου	Inert gas system				

Διαθέσιμο Μη διαθέσιμο

1.3 Συνοπτική περιγραφή των βοηθητικών μηχανημάτων.

Τα κυριότερα βοηθητικά μηχανήματα είναι τα ακόλουθα:

α) **Κύριο ψυγείο:** Είναι εναλλακτικής θερμότητας που χρησιμεύει στη συμπύκνωση του ατμού και των επιστροφών από τους ατμοστροβίλους.

β) **Εκχυτήρες κενού:** Χρησιμοποιούνται προκειμένου να δημιουργείται κενό στο κύριο ψυγείο.

γ) **Εξαεριστής:** Είναι δεξαμενή με κατάλληλη διαμόρφωση, προκειμένου να γίνεται επεξεργασία του τροφοδοτικού νερού των λεβήτων.

δ) **Αφυπερθερμαντήρας ατμού:** Είναι εναλλακτικής θερμότητας, που χρησιμεύει στη μείωση της θερμοκρασίας του ατμού.

ε) **Αναθερμαντήρας ατμού:** Είναι εναλλακτικής θερμότητας που χρησιμεύει στην αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού, στην περίπτωση που υπάρχει πολυβάθμιος ατμοστροβίλος. Παρεμβάλλεται ανάμεσα στις βαθμίδες του στροβίλου, έτσι ώστε να έχει καλύτερη απόδοση.

στ) **Ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού:** Είναι ηλεκτροκίνητοι ή στροβιλοκίνητοι περιστροφικοί ανεμιστήρες, οι οποίοι εξασφαλίζουν την αναγκαία ποσότητα καυσίγωνα αέρα στους λέβητες.

ζ) **Προθερμαντήρας αέρα:** Είναι εναλλακτικής θερμότητας, που θερμαίνει τον αέρα του ανεμιστήρα τεχνητού ελκυσμού.

η) **Μηχανήματα διακινήσεως πετρελαίου:** Τέτοια μηχανήματα είναι οι αντλίες, οι προθερμαντήρες, τα φίλτρα, οι ρυθμιστές για την κατάθλιψη του πετρελαίου ως τους καυστήρες της κύριας μηχανής των λεβήτων ή των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

θ) **Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού:** Είναι εναλλακτικής θερμότητας, που θερμαίνει το νερό πριν αυτό καταθλίβει στον λέβητα.

ι) **Αντλία συμπυκνώματος:** Είναι αντλία που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο κύριο ψυγείο και στον προθερμαντήρα του τροφοδοτικού νερού.

ια) **Αντλία ελαίου λιπάνσεως:** Είναι αντλία, στην οποία κυκλοφορεί το έλαιο λιπάνσεως της κύριας μηχανής, όπως επίσης και των τριβέων, μειωτήρων και του ωστικού τριβέα.

ιβ) **Τροφοδοτική αντλία νερού στον ατμολέβητα:** Η αντλία αυτή χρησιμοποιείται για να μεταφέρει νερό από τον εξαεριστή, το οποίο καταθλίβει στον λέβητα.

ιγ) **Ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως:** Η αντλία αυτή παρεμβάλλεται σε κάποιες εγκαταστάσεις με λέβητες υψηλής πίεσεως, μεταξύ του εξαεριστή και της τροφοδοτικής αντλίας νερού, η οποία αναρροφά από τον εξαεριστή και καταθλίβει το νερό με πίεση στην αναρρόφηση της τροφοδοτικής αντλίας νερού.

ιδ) **Αντλίες κυκλοφορίας θαλάσσης:** Με την αντλία αυτή κυκλοφορεί το θαλασσινό νερό προς το κυρίως ψυγείο και τους επιμέρους εναλλακτικές θερμότητας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την απαγωγή θερμότητας.

ιε) **Αντλία παροχής ή τροφοδοτήσεως πετρελαίου:** Η αντλία αυτή παραλαμβάνει το πετρέλαιο από τη **δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως** (service tank) ή, σε περίπτωση ανάγκης, από τις **δεξαμενές κατακαθίσεως** (settling tanks) και τροφοδοτεί τους καυστήρες είτε του λέβητα, είτε της κύριας μηχανής.

ιστ) **Αντλία μεταγίσεως πετρελαίου:** Η αντλία αυτή μεταφέρει το πετρέλαιο από τις δεξαμενές απο-

θηκεύσεως (fuel oil storage tanks) στις δεξαμενές καθιζήσεως (ή κατακαθίσεως).

ιζ) **Αντλία ψύξεως χιτωνίων και πωμάτων κύριας μηχανής:** Η αντλία αυτή κυκλοφορεί γλυκό νερό στο δίκτυο ψύξεως των χιτωνίων και πωμάτων της κύριας μηχανής.

ιν) **Αντλία ψύξεως εμβόλων κύριας μηχανής:** Με την αντλία αυτή κυκλοφορεί το γλυκό νερό στο δίκτυο ψύξεως των εμβόλων της κύριας μηχανής.

ιθ) **Αντλία έρματος:** Η αντλία αυτή χρησιμοποιείται για την πλήρωση ή εξάντληση των δεξαμενών έρματος ή τη μεταφορά έρματος από δεξαμενή σε δεξαμενή έρματος.

κ) **Αποτεφρωτής:** Η αντλία αυτή χρησιμοποιείται για την αποτέφρωση απορριμμάτων και πετρελαιοειδών αποβλήτων.

κα) **Αντλία γενικής χρήσεως:** Παρέχει νερό στο δίκτυο καταστρώματος για πλύση καταστρωμάτων, αλυσίδων, αγκυρών κ.λπ. και εναλλακτικά στα ψυγεία λαδιού των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και στην ψυκτική εγκατάσταση, στην εγκατάσταση κλιματισμού.

κβ) **Αντλία υγιεινής:** Παρέχει γλυκό νερό στους χώρους υγιεινής του πλοίου και, σε περίπτωση ανάγκης, μπορεί να τροφοδοτήσει με νερό τα βοηθητικά δίκτυα ψύξεως.

κγ) **Αντλία πόσιμου νερού:** Παρέχει πόσιμο νερό στο αντίστοιχο δίκτυο του πλοίου.

κδ) **Αντλία πυροσβέσεως (πυρκαγιάς):** Χρησιμοποιείται για την αναρρόφηση θαλασσινού νερού, το οποίο και καταθλίβει στο αντίστοιχο δίκτυο. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, όλα τα φορτηγά πλοία από 1000 GRT¹ και πάνω, καθώς και τα επιβατηγά μικρότερα από 4000 GRT πρέπει να έχουν δύο ανεξάρτητες αντλίες πυρκαγιάς. Οι αντλίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιούνται για την άντληση έρματος, κυτών και για γενική χρήση.

κε) **Αντλία πυροσβέσεως εκτάκτου ανάγκης:** Όλα τα πλοία είναι εφοδιασμένα με αντλία πυροσβέσεως εκτάκτης ανάγκης, διότι σε περίπτωση πυρκαγιάς στο μηχανοστάσιο, οι αντλίες πυροσβέσεως θα μπορούσαν να τεθούν εκτός λειτουργίας. Αυτή η αντλία βρίσκεται εκτός του μηχανοστασίου, συνήθως στον χώρο του πηδαλίου ή σε διαμέρισμα στο μπροστινό τμήμα του πλοίου.

κο) **Αντλία ραντισμού νερού κατασβέσεως:** Η αντλία αυτή τροφοδοτεί το ειδικό δίκτυο κατασβέσεως πυρκαγιάς, με ραντισμό με νερό μέσω **ψεκαστήρων** (sprinklers) και για τον λόγο αυτό ονομάζεται και **αντλία sprinkler**.

κζ) **Αντλία κύτους:** Η αντλία αυτή αναρροφεί νερό απ' τις σεντίνες στα κύπη του πλοίου και το καταθλίβει εκτός του πλοίου.

κη) **Αντλία κινδύνου εξαντλήσεως κυτών:** Είναι αντλία ηλεκτροκίνητη, ειδικής κατασκευής, ικανή να λειτουργεί και όταν είναι εμβαπτισμένη στο νερό. Είναι φορητή και χρησιμοποιείται σε έκτακτες καταστάσεις για την άντληση του νερού από το κύτος. Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι ότι ο ηλεκτροκινητήρας που διαθέτει περιβάλλεται από κώδωνα αέρα. Κατά την κατάκλυσή της, ο αέρας του κώδωνα συμπιέζεται, εμποδίζοντας έτσι την εισροή του νερού στον θάλαμο του ηλεκτροκινητήρα, προστατεύοντάς τον από βραχυκύκλωμα.

κθ) **Ψυγείο λαδιού:** Επιφανειακός εναλλακτήρας, αυλωτός ή με πλάκες, με σκοπό να πραγματοποιεί απαγωγή της θερμότητας από το λάδι λιπάνσεως της κύριας μηχανής ή άλλων μηχανημάτων.

λ) **Ψυγείο γλυκού νερού ψύξεως κύριας μηχανής:** Επιφανειακός εναλλακτήρας, αυλωτός ή με πλάκες, με σκοπό να πραγματοποιεί απαγωγή της θερμότητας από το γλυκό νερό ψύξεως της κύριας μηχανής.

λα) **Μειωτήρες:** Είναι μηχανικά συστήματα, που παρεμβάλλονται ανάμεσα στον στροφαλοφόρο άξονα μεσοστρόφων ή ταχυστρόφων κυρίων μηχανών και στον έλικοφόρο άξονα, προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των στροφών.

λβ) **Συστήματα αυτοματισμών:** Είναι αυτόματες διατάξεις που παρακολουθούν, ελέγχουν και ρυθμίζουν την ομαλή λειτουργία συστημάτων, όπως την πίεση του λαδιού, την θερμοκρασία του νερού ψύξεως, την πίεση του αέρα κ.λπ..

λγ) **Πίνακες σημάτων και δυσλειτουργιών:** Είναι διατάξεις που ενημερώνουν με ηχητικό και οπτικό σήμα για πιθανή δυσλειτουργία μηχανημάτων.

λδ) **Φυγοκεντρικός καθαριστής – διαχωριστής ελαίου:** Είναι μηχανήμα επεξεργασίας με φυγοκεντρικό καθαρισμό του ελαίου λιπάνσεως.

λε) **Φυγοκεντρικός καθαριστής – διαχωρι-**

¹ **Ολική Χωρητικότητα** (Gross Register Tonnage): ορίζεται ο συνολικός εσωτερικός όγκος όλων των μόνιμα κλειστών χώρων και σκεπασμένων του πλοίου, οι οποίοι βρίσκονται κάτω από το ανώτατο κατάστρωμα και πάνω από αυτό μετρούμενο σε κόρους (1 κόρος = 100ft³ = 2,83m³).

σπής πετρελαίου: Είναι μηχανήμα επεξεργασίας με φυγοκεντρικό καθαρισμό του πετρελαίου τροφοδοσίας της κύριας μηχανής και των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

λστ) **Διαχωριστής νερών κύτους:** Είναι η συσκευή επεξεργασίας του νερού των σεντινών του μηχανοστασίου, πριν την κατάθλιψή του στη θάλασσα.

λζ) **Αεροσυμπιεστές:** Είναι ηλεκτροκίνητα μηχανήματα παραγωγής συμπιεσμένου αέρα.

λη) **Αεροφιάλες πεπιεσμένου αέρα:** Εγκαθίστανται εντός του μηχανοστασίου, όπου αποθηκεύεται ο αέρας που παράγεται από τους συμπιεστές

λθ) **Βραστήρας:** Ο βραστήρας χρησιμοποιείται για την παραγωγή αποσταγμένου νερού από το νερό της θάλασσας.

μ) **Μηχανήματα πηδαλιουχίσεως:** Πρόκειται για διάταξη που εξασφαλίζει την περιστροφή του πηδαλίου και κατά συνέπεια την αλλαγή της διεύθυνσής του πλοίου.

μα) **Παρατροπίδια:** Είναι μηχανικές διατάξεις (δυναμικές ή στατικές), που αυξάνουν την περίοδο διατοιχισμών του πλοίου, με σκοπό την επίτευξη καλύτερης ευστάθειας σε κυματισμούς.

μβ) **Εργάτες και βαρούλκα προσδέσεως:** Είναι

μηχανήματα του καταστρώματος, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανύψωση ενός βάρους, όπως η άγκυρα, ή για την πρόσδεση του πλοίου σε λιμένες.

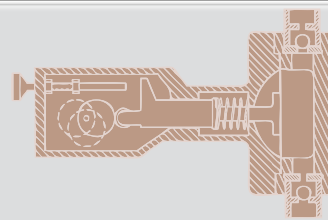
μγ) **Μηχανήματα χειρισμού καλυμμάτων στομίων κυτών:** Είναι μεταλλικές κατασκευές και συνήθως αποτελούνται από δύο ή περισσότερα μικρότερα μεταλλικά καλύμματα, πτυσσόμενα ή συρταρωτά, που καλύπτουν το στόμιο του αμπαριού. Οι μηχανισμοί των χειρισμών, ανάλογα τον τύπο του πλοίου, και τον τρόπο κατασκευής των καλυμμάτων, κινούνται από ηλεκτροκινητήρες ή υδραυλικούς κινητήρες.

μδ) **Φορτοεκφορτωτικά μέσα:** Είναι οι γερανοί, γερανογέφυρες, ιμάντες που χρησιμοποιούνται για την φορτοεκφόρτωση.

με) **Βοηθητικοί γερανοί:** Χρησιμοποιούνται για την παραλαβή προμηθειών και ανταλλακτικών. Συνήθως είναι εγκατεστημένοι στην πρύμνη του πλοίου.

μστ) **Αντλίες υγρών φορτίων:** Είναι οι αντλίες εκφορτώσεως του φορτίου των δεξαμενοπλοίων.

μζ) **Σύστημα αδρανούς αερίου:** Είναι το σύστημα παραγωγής και διαθέσεως αδρανούς αερίου για την πλήρωση των δεξαμενών φορτίου κατά την εκφόρτωση.



2.1 Εισαγωγή.

Αντλίες (pumps) ονομάζονται τα μηχανήματα που καταναλώνοντας μηχανικό έργο, πραγματοποιούν τη μεταφορά ενός υγρού από έναν χώρο σε έναν άλλο. Έτσι, κατά την άντληση πραγματοποιείται **αναρρόφηση** από τον έναν χώρο και **κατάθλιψη** στον άλλο, ενώ ταυτόχρονα προστίθεται ενέργεια στο υγρό που μετακινείται.

Αν κατά τη μεταφορά γίνεται και ανύψωση του υγρού από χαμηλότερο σημείο σε υψηλότερο ή μεταξύ του σημείου αναρροφήσεως και του σημείου κατάθλιψεως υπάρχει διαφορά πίεσεως στην ελεύθερη επιφάνειά του, τότε η αντλία προκαλεί αύξηση στη δυναμική ενέργεια του υγρού ή αύξηση της πίεσεως. Στο σχήμα 2.1α εικονίζεται η μεταφορά υγρού από την αντλία και η διαφορά πίεσεως στις ελεύθερες επιφάνειες του υγρού. Χωρίς την ύπαρξη της αντλίας, το



α) Με την ύπαρξη αντλίας στο δίκτυο η μεταφορά του υγρού μπορεί να πραγματοποιηθεί προς την δεξαμενή με μεγαλύτερη πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.



β) Χωρίς την αντλία η ροή του υγρού πραγματοποιείται προς τη δεξαμενή που στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού ασκείται η μικρότερη πίεση μέχρι οι πιέσεις στις ελεύθερες επιφάνειες να εξισωθούν.

Σχ. 2.1α

Κυκλοφορία ρευστού μεταξύ δύο δεξαμενών.

υγρό θα κινούνταν στην αντίθετη διεύθυνση μέχρι την εξίσωση των πιέσεων στις ελεύθερες επιφάνειες. Επίσης, κατά τη μεταφορά του υγρού, με τη διέλευσή του μέσα από την αντλία, επιτυγχάνεται αύξηση στην κινητική του ενέργεια με επιτάχυνση της ροής του μέσω των αγωγών (σωλήνων).

Οι αντλίες μετά τον τρόπο αποτέλεσαν μία μορφή αντικατάστασεως της φυσικής ενέργειας του ανθρώπου με τη μηχανή. Η πιο γνωστή από τις αρχικές εφαρμογές τους είναι ο **ατέρμονας κοχλίας του Αρχιμήδη**¹ (σχ. 2.1β), που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα όπου υπάρχει χαμηλή διαφορά στην **πίεση επιφάνειας**. Ορισμένες εφαρμογές της είναι η άντληση παχυρευστών υγρών και κονιαμάτων.

Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι, παρά τη ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη, οι αντλίες παράγονται σε μία φαινομενικά ατέλειωτη ποικιλία μεγεθών και τύπων. Εφαρμόζονται σε τόσο μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών, που παραμένουν η δεύτερη πιο συνηθισμένη μηχανική χρήση μετά τους ηλεκτροκινητήρες.

Η κίνηση για τη λειτουργία των αντλιών πραγματοποιείται από ηλεκτροκινητήρες, ντιζελομηχανές,



Σχ. 2.1β

Ο ατέρμονας κοχλίας του Αρχιμήδη.

¹ Αρχιμήδης: Διαπρεπής Έλληνας μαθηματικός, φυσικός και μηχανικός της αρχαιότητας (287-212 π.Χ.).

ατμομηχανές, ατμοστρόβιλους, αεροστρόβιλους ή βενζινομηχανές, από πεπιεσμένο αέρα ενώ σε περιπτώσεις μικρής παροχής μπορεί να είναι και χειροκίνητη.

Όταν μία αντλία κινείται από ανεξάρτητο μηχανήμα, όπως ένας ηλεκτροκινητήρας, ονομάζεται **ανεξάρτητη**, ενώ όταν κινείται απ' το κινητό μέρος μιας κύριας μηχανής μέσω οδοντωτών τροχών, ιμάντα, διάταξη έκκεντρου και διωστήρα ή ζυγού, τότε ονομάζεται **εξαρτημένη**.

2.2 Ταξινόμηση αντλιών.

Η εκτεταμένη χρήση των αντλιών δημιούργησε την ανάγκη ενός συστηματικού τρόπου ταξινόμησης τους.

Οι αντλίες λοιπόν που χρησιμοποιούνται στις ναυτικές εγκαταστάσεις μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη χρήση την οποία εξυπηρετούν, τα υλικά απ' τα οποία είναι κατασκευασμένες, τα υγρά που τις διαρρέουν ή ακόμα και τον τρόπο που τοποθετούνται στο χώρο.

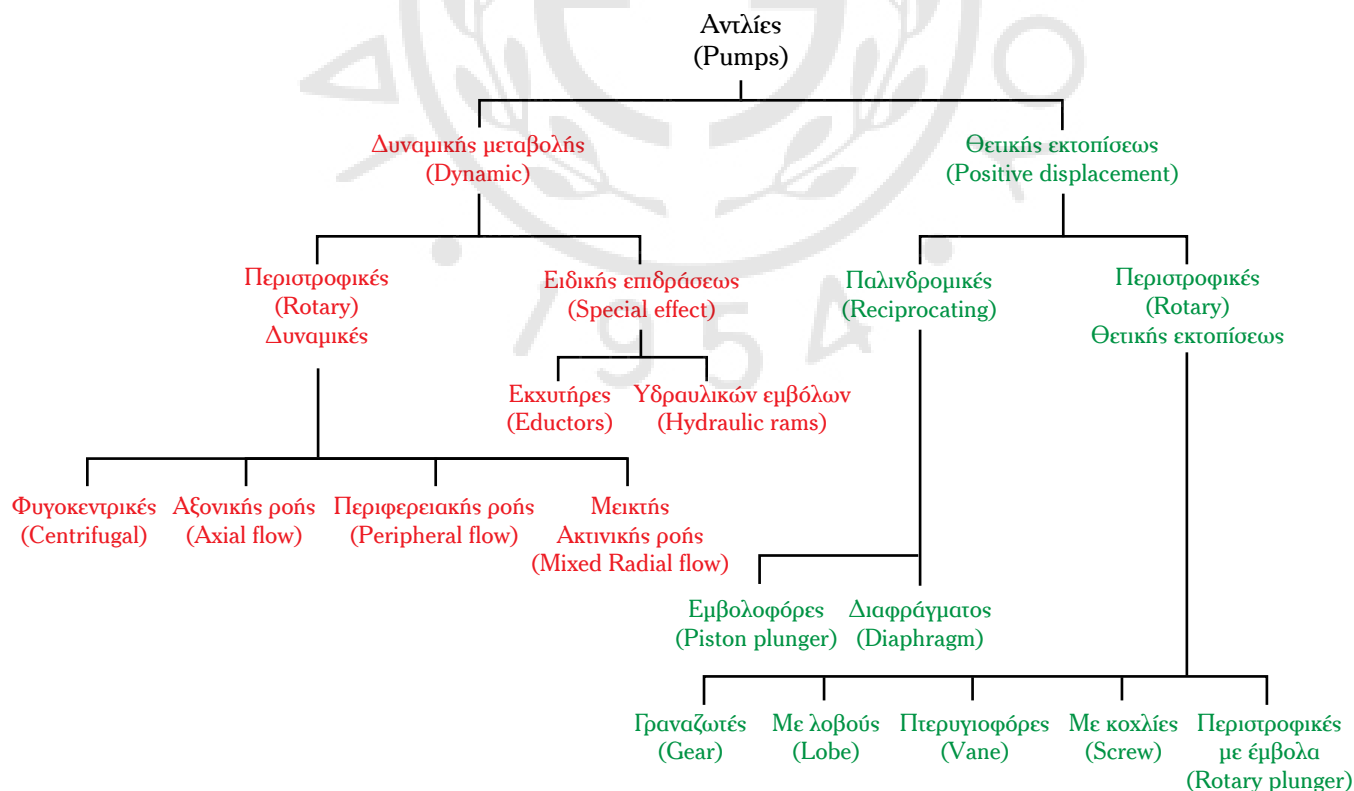
Όλοι αυτοί οι τρόποι ταξινόμησης όμως έχουν περιορισμένο πεδίο εφαρμογής και την τάση ουσιαστικά να συμπίπτουν. Έτσι, ένα πιο βασικό σύστημα

ταξινόμησης χρησιμοποιείται για τις αντλίες των ναυτικών εγκαταστάσεων ορίζοντας πρώτα την αρχή, με την οποία η ενέργεια προστίθεται στο υγρό. Κατόπιν προσδιορίζεται το μέσο με το οποίο αυτή η αρχή εφαρμόζεται σκιαγραφώντας τελικά ένα γεωμετρικό διάγραμμα χρήσεως. Το διάγραμμα του σχήματος 2.2 κατά συνέπεια, σχετίζεται με την ίδια την αντλία χωρίς να εξετάζονται εξωτερικοί παράγοντες ή τα υλικά, από τα οποία μπορεί να έχει κατασκευαστεί.

Βάσει αυτής της ταξινόμησης όλες οι αντλίες χωρίζονται στις εξής δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) Τις **αντλίες δυναμικής μεταβολής** (dynamic pumps), όταν η ενέργεια που προστίθεται συνεχώς στο υγρό αυξάνει την ταχύτητά του μέσα στην αντλία, σε τιμή μεγαλύτερη απ' αυτήν που έχει στην κατάθλιψη, ώστε η μείωση της ταχύτητας εντός ή εκτός της αντλίας να προκαλεί την αύξηση της πίεσης. Οι δυναμικές αντλίες υποδιαιρούνται σε:

– Στις **φυγοκεντρικές** (centrifugal), το υγρό μετακινείται λόγω της φυγόκεντρου δύναμης, ώστε χρησιμοποιώντας τα περιστρεφόμενα περύγια απ' τα οποία αποτελείται το στροφείο, αυξάνεται η παροχή του αντλούμενου υγρού μεταβάλλοντας την κατάσταση της κίνησής του,



Σχ. 2.2

Βασική ταξινόμηση αντλιών.

καθώς αυτό ρέει από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Οι φυγοκεντρικές αντλίες διακρίνονται περαιτέρω σε **αξονικής, περιφερειακής και ακτινικής-μεικτής ροής**.

- Στις **αντλίες ειδικής επιδράσεως** (special effect) ανήκουν οι εκκυτήρες, τα υδραυλικά έμβολα, και οι ηλεκτρομαγνητικές αντλίες φυσικού αερίου.

β) Τις **αντλίες θετικής μετατοπίσεως** (positive displacement pumps), στις οποίες η ενέργεια προστίθεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, με την εφαρμογή δυνάμεως, σ' έναν ή περισσότερους θαλάμους μεταβαλλόμενου όγκου, οι οποίοι περιέχουν ποσότητες απ' το υγρό. Η άμεση αύξηση στην τιμή της πίεσεως, δημιουργεί τις συνθήκες που απαιτούνται, ώστε να αναγκάσουν το υγρό να κινηθεί μέσω βαλβίδων ή θυρίδων προς έναν αγωγό καταθλίψεως. Οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως, υποδιαιρούνται ανάλογα με τον τρόπο κινήσεως των εξαρτημάτων που δημιουργούν την πίεση σε:

- **Εμβολοφόρες ή παλινδρομικές** (reciprocating), όταν ένα έμβολο κινούμενο μηχανικά παλινδρομεί μέσα σ' έναν κύλινδρο που περιέχει υγρό, μεταβάλλοντας τον όγκο στο εσωτερικό του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσεως του υγρού και
- **περιστροφικές** (rotary), στις οποίες το υγρό συμπιέζεται μέσα στον κύλινδρο ή στο κέλυφος της αντλίας από κατάλληλα διαμορφωμένους περιστρεφόμενους λοβούς ή έμβολα.

2.3 Βασικά στοιχεία μηχανικής ρευστών και υδραυλικών συστημάτων.

Οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση ρευστών. Ως ρευστά, χαρακτηρίζονται όλες οι ουσίες που παρουσιάζουν ροή ολισθαίνοντας ελεύθερα, έτσι ώστε να παίρνουν το σχήμα του χώρου που καταλαμβάνουν ή του μέσου διά του οποίου κινούνται, χωρίς να παρατηρείται κατάτμηση της μάζας τους όταν ασκούνται σε αυτές εξωτερικές δυνάμεις. Αντίθετα, αντιδρούν ολισθαίνοντας συνεχώς ή μετατοπίζονται εξ ολοκλήρου, ανεξάρτητα και συνεχώς. Τα ρευστά χαρακτηρίζονται από τις εξής ιδιότητες:

α) Τη δυνατότητα να συμπιέζονται (**συμπιεστό υγρών**).

β) Το **ιξώδες**, το οποίο χαρακτηρίζει την αντίσταση που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους. 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.

γ) Η **συνάφεια**, που είναι η ελκτική δύναμη, η οποία

αναπτύσσεται μεταξύ των μορίων διαφορετικών ουσιών ή υλικών, όπως η συνάφεια του υγρού με τα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει.

Με βάση τις ιδιότητες αυτές τα ρευστά διακρίνονται σε:

α) **Ιδανικά ή τέλεια** ρευστά και 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.

β) **Φυσικά ρευστά**, χαρακτηρίζονται όσα 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 υγρά διακρίνονται σε:

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

β) **εσωτερικές** είναι οι πιέσεις, όπως η υδροστατική πίεση και το στατικό ύψος.

Ειδικότερα λοιπόν πρέπει να γνωρίζουμε ότι:

α) **Ατμοσφαιρική πίεση** ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα με το βάρος της στην επιφάνεια της γης. Σύμφωνα με τη μέτρηση του Torricelli είναι ίση με 760 mm Hg (χιλιοστά στήλης υδραργύρου). Επειδή όμως, το ειδικό βάρος του υδραργύρου είναι 13,6, η ατμοσφαιρική πίεση είναι ίση προς $760 \times 13,6 = 10.330 \text{ mm H}_2\text{O}$ ή 10,33 m H₂O, επομένως:

$$1 \text{ ATM} = 760 \text{ mm Hg} \text{ ή } 1 \text{ ATM} = 10,33 \text{ m H}_2\text{O}$$

Η ατμοσφαιρική πίεση ονομάσθηκε φυσική ατμόσφαιρα και από αυτήν προέκυψε η τεχνητή ατμόσφαιρα, η οποία είναι ίση προς 10 m στήλης νερού ώστε να έχουμε:

$$1 \text{ AT} = 735 \text{ mm Hg} \text{ ή } 1 \text{ AT} = 10 \text{ m H}_2\text{O}$$

β) Η **υδροστατική πίεση**, ονομάζεται πίεση την οποία ασκεί ένα ακίνητο ρευστό σε αντικείμενο ή επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σε αυτό. Η πίεση οφείλεται στην εξωτερική δύναμη της βαρύτητας, δηλαδή στο βάρος του ρευστού που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια ή το αντικείμενο. Έτσι, αν χαρακτηριστεί ως P_v η υδροστατική πίεση, P η δύναμη που παριστάνει το βάρος του υγρού που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια και E η επιφάνεια πάνω στην οποία ασκείται η πίεση P , τότε η υδροστατική πίεση ισούται με το πηλίκιο:

$$P_v = \frac{P}{E} \quad (1)$$

όπου η P σε ton ή kg και η E σε m² ή cm² άρα

$$P_v = \frac{1t}{m^2} = \frac{1}{10} \frac{kg}{cm^2} = \frac{1}{10} \text{ At}$$

γ) **Στατικό ή υδροστατικό ή θλιπτικό ύψος (H)** ενός σημείου που βρίσκεται μέσα σε υγρό ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση του σημείου αυτού από την ελεύθερη επιφάνεια της υγρής μάζας. Έτσι, αν γ είναι το ειδικό βάρος του υγρού σε kg της μονάδας του όγκου (1 m³),

τότε η δύναμη P που ασκείται στην επιφάνεια E θα απο-
τελεί το γινόμενο της επιφάνειας του στατικού ύψους και
του ειδικού βάρους του υγρού, η οποία δίνεται από τη
σχέση:

$$P = E \cdot h \cdot \gamma \quad (2)$$

Τότε λόγω του $P_v = \frac{P}{E}$ η (2) γίνεται:

$$P_v = \frac{E \cdot h \cdot \gamma}{E} \Rightarrow P_v = h \cdot \gamma.$$

Άρα
$$h = \frac{P_v}{\gamma} \quad (3)$$

όπου: $P_v = \frac{kg}{m^2}$ και $\gamma = \frac{kg}{m^3}$ άρα:

$$h = \frac{\frac{kg}{m^2}}{\frac{kg}{m^3}} \Rightarrow h = m$$

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

Έννοιες που αφορούν στα ρευστά είναι οι ακόλου-
θες:

α) Η **Αρχή του Αρχιμήδη**. Συμφωνά με αυτή, κάθε
σώμα βυθισμένο μέσα σε υγρό δέχεται μια δύναμη που
λέγεται άνωση και είναι ίση με το βάρος του υγρού που
εκτοπίζει, ώστε αν A είναι η άνωση, τότε εκφράζεται από
τον τύπο:

$$A = \rho \cdot g \cdot V \quad (4)$$

όπου: ρ πυκνότητα του ρευστού, g η επιτάχυνση της γήι-
νης βαρύτητας ίσης με $9,81 \text{ m/s}^2$ και V ο όγκος του βυθι-
σμένου σώματος.

Έτσι, αν B είναι το βάρος του σώματος, V ο όγκος του
υγρού και γ το ειδικό βάρος του υγρού που εκτοπίζεται,
δίνεται ότι:

$$B = V \cdot \gamma \quad (5)$$

Από τα παραπάνω προκύπτουν ότι:

α) Αν το βάρος του σώματος είναι μεγαλύτερο της
άνωσης $B > A$, τότε το σώμα θα βυθιστεί.

β) Αν το βάρος είναι ίσο με την άνωση $B = A$, τότε το
σώμα θα αιωρείται μέσα στο υγρό που το περιέχει.

γ) Αν το βάρος είναι μικρότερο της άνωσης $B < A$,
τότε το σώμα θα επιπλέει.

Συμπεραίνεται ότι και οι τρεις περιπτώσεις εξαρτώνται
από το ειδικό βάρος του σώματος, το οποίο μπορεί να εί-
ναι αντίστοιχα μεγαλύτερο, ίσο ή μικρότερο από το ειδικό
βάρος του υγρού. Η εφαρμογή της αρχής του Αρχιμήδη
συναντάται στους πλωτήρες των ρυθμιστικών διατάξεων
των αντλιών και των υδραυλικών εγκαταστάσεων.

β) Η **Αρχή του Πασκάλ** (Blaise Pascal, 1623-1662
γάλλος φυσικομαθηματικός), είναι ένας από τους βασι-
κούς νόμους της υδροστατικής και καθορίζει ότι οποιαδή-

ποτε πίεση ασκείται στην επιφάνεια ενός υγρού μεταδίδε-
ται ομοιόμορφα σε αυτό προς όλες τις διευθύνσεις και σε
όλο το βάθος του. Η εφαρμογή της πραγματοποιείται στις
αντλίες και τα υδραυλικά πιεστήρια.

γ) Η **Αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων**, σύμ-
φωνα με την Αρχή αυτή όταν δύο ή περισσότερα δοχεία
οποιουδήποτε σχήματος περιέχουν το ίδιο υγρό και συ-
γκοινωνούν μεταξύ τους, η στάθμη στις ελεύθερες επι-
φάνειες του υγρού σε όλα τα δοχεία βρίσκεται στο ίδιο
ύψος.

δ) Η **θεμελιώδης εξίσωση** ή ο **θεμελιώδης Νόμος
της υδροστατικής**, αποτελείται από τον συνδυασμό της
υδροστατικής πίεσεως και της Αρχής του Πασκάλ. Σύμ-
φωνα με αυτήν προκύπτει ότι, σε ένα σημείο που βρίσκε-
ται μέσα σε ένα υγρό και στην επιφάνειά του εφαρμόζεται
εξωτερική πίεση P_e ενώ ασκούνται και δυνάμεις της γήινης
βαρύτητας. Η συνολική πίεση P_o που ασκείται στο σημείο
αυτό ισούται με το άθροισμα της εξωτερικής πίεσεως P_e
και της αντίστοιχης υδροστατικής πίεσεως P_v όπου:

$$P_o = P_e + P_v \text{ και επειδή } P_v = h \cdot \gamma \text{ τότε}$$

$$P_o = P_e + (h \cdot \gamma) \quad (6)$$

με h = στατικό ύψος και γ = ειδικό βάρος του υγρού.

ε) **Νόμος ή εξίσωση της συνέχειας της ροής**. Η
σχέση που περιγράφει τον νόμο αυτόν καθορίζει ότι η
παροχή αγωγού παραμένει σταθερή κατά μήκος του, σε
οποιαδήποτε διατομή του που διαρρέεται από υγρό. Εκ-
φράζεται από τη σχέση:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (7)$$

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

Έτσι όταν έχουμε μια σωλήνα, με την διατομή στα διά-
φορα σημεία του μήκους του να μεταβάλλεται είτε λόγω
της μορφής της, είτε λόγω της εναποθέσεως αλάτων, η
σταθερή παροχή Q στα διάφορα σημεία θα ισούται με:

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1, Q_2 = A_2 \cdot v_2, Q_3 = A_3 \cdot v_3, \dots$$

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

Τότε θα έχουμε:

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

$$\text{ή γενικά } A \cdot v = \text{σταθερό.} \quad (8)$$

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 ταχύ-
τητα να παραμένει πάντοτε το ίδιο και ίσο προς τη σταθε-
ρή παροχή του αγωγού. Η εξίσωση αυτή αποτελεί άμεση
συνέπεια της Αρχής Διατηρήσεως της Ύλης και ο νόμος
εφαρμόζεται στην κατασκευή δικτύων και διακλαδώσεων,
στην παρεμβολή συστολών ή διαστολών κ.λ.π..

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

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

όπου: Q η παροχή σε m^3/s , V , ο όγκος του υγρού σε m^3 και t ο χρόνος στον οποίο διαρκεί η ροή σε s .

Επειδή ο όγκος V του υγρού, καθώς διέρχεται από μια διατομή A του αγωγού, ισούται με $A \cdot S$ όπου: A η διατομή και S η απόσταση που διανύει το υγρό σε χρόνο t , τότε η σχέση (9) γράφεται ως:

$$Q = \frac{A \cdot S}{t} \quad \text{ή} \quad Q = \frac{A \cdot v \cdot t}{t} \Rightarrow Q = A \cdot v$$

Έτσι προκύπτει ότι η παροχή αγωγού ισούται με το γινόμενο της διατομής του αγωγού επί την ταχύτητα που έχει το ρευστό μέσα σ' αυτόν.

Εφαρμόζεται στον υπολογισμό των διαφόρων αντλιών και δικτύων, ενώ στα πλοία χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα που ονομάζονται ροήμετρα (flow meters), κατάλληλα βαθμολογημένα παρέχοντας την πληροφορία της ποσότητας ρευστού που διαρρέει το δίκτυο.

στ) Ο **θεμελιώδης νόμος ή εξίσωση της υδροδυναμικής**¹, διατυπώθηκε από τον Ολλανδό Daniel Bernoulli¹ και είναι το αποτέλεσμα της Αρχής Διατηρήσεως της ενέργειας σε κινούμενο υγρό, που ενώ μια εφαρμογή του συναντάται σε υδροστροβίλους αντιδράσεως, όπου ο οχετός εξόδου του νερού έχει διατομή προοδευτικά αυξανόμενη. Στην τελική έξοδο του νερού από τον οχετό, η ταχύτητά του είναι σχεδόν μηδενική με πίεση αντίστοιχη της ατμοσφαιρικής. Αυτό σημαίνει ότι στην έξοδο του νερού από τον τροχό του στροβίλου προς τον οχετό εξαγωγής, όπου η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη, επικρατεί πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική, αυξάνοντας έτσι την απόδοση του υδροστροβίλου. Έτσι, ο οχετός εξαγωγής δεν είναι ένας απλός οδηγητικός σωλήνας της εξαγωγής του νερού, αλλά αποτελεί οργανικό μέρος του στροβίλου.

Άλλη εφαρμογή είναι ο σπειροειδής οχετός καταθλίψεως των φυγοκεντρικών αντλιών, όπου το νερό εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα ωθούμενο από το στροφέο-πτερωτή της αντλίας. Κατά τη διέλευση του ρευστού από τον οχετό, η διατομή αυξάνεται προοδευτικά, με αποτέλεσμα η ταχύτητα του ρευστού να μειώνεται, προκαλώντας, λόγω της αύξησης στη διατομή, αντίστοιχη αύξηση της πίεσής του, η οποία εμφανίζεται ως πίεση καταθλίψεως της αντλίας. Τέλος, οι υδρομετρικές είναι άλλη μια εφαρμογή της αρχής του Bernoulli, που μαζί με την αρχή λειτουργίας του σωλήνα Venturi χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της παροχής.

2.4 Ροή των υγρών.

2.4.1 Ροή των φυσικών υγρών.

Η διαφορά της ροής των φυσικών υγρών από εκείνη της ροής των ιδανικών υγρών είναι ότι τα φυσικά ρευστά επηρεάζονται από το συμπιεστό τους, τη συνοχή των μορίων και τη συνάφεια. Σημειώνεται ότι

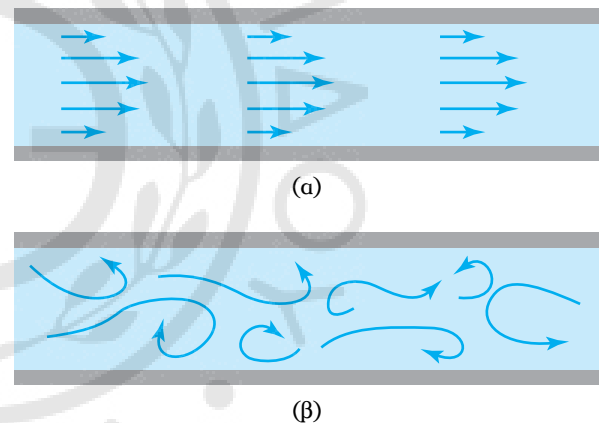
το συμπιεστό ελάχιστο επηρεάζει τη ροή διότι τα υγρά θεωρούνται πρακτικά ασυμπίεστα, σε αντίθεση με τα αέρια, στα οποία η επιρροή είναι μεγάλη.

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, να παρουσιάζουν μηδενική ταχύτητα, ενώ τα μόρια του υγρού τα οποία κινούνται στο κέντρο του αγωγού παρουσιάζουν τη μέγιστη ταχύτητα.

Έτσι, η ροή των φυσικών υγρών χαρακτηρίζεται ως:

α) **Στρωτή ή παράλληλη** (laminar), με την καταννομή των μορίων να έχει τη μορφή του σχήματος 2.4α(α) σε εγκάρσια τομή αγωγού.

β) **Στροβιλώδης ή τυρβώδης** (turbulent), όταν η κατανομή των μορίων έχει τη μορφή που εικονίζεται στο σχήμα 2.4α(β).



Σχ. 2.4α

(α) Παράλληλη και (β) στροβιλώδης 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 του αγωγού υπολογίζεται ως μία μέση ταχύτητα και συμβολίζεται με v_m .

Η ταχύτητα αυτή δεν είναι η ίδια στη στρωτή ροή και στην παράλληλη, αλλά έχει τη μορφή του σχήματος 2.4β(α) για στρωτή ροή, ενώ κατανέμεται

¹ Ο Daniel Bernoulli, ήταν Ολλανδός μαθηματικός (1700-1782).

διαφορετικά μέσα στον αγωγό όταν η ροή είναι στρωβλώδης [σχ. 2.4β(β)].

Οι έννοιες που λαμβάνονται υπόψη κατά τη ροή των υγρών από ένα δίκτυο είναι:

1) Η παροχή του σωλήνα.

Η παροχή βάσει της διαφοράς πιέσεων στα άκρα του σωλήνα για την παράλληλη ροή δίνεται από την εξίσωση ή το Νόμο **Hagen-Poiseuille**¹ παρέχοντας την πτώση πίεσεως σ' ένα υγρό που ρέει μέσα από έναν μακρύ κυλινδρικό σωλήνα, ενώ για τυρβώδη ροή δίνεται από έναν συνδυασμό εξισώσεων, οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν στην παρούσα μελέτη των αντλιών.

Ο απλούστερος τρόπος του υπολογισμού της παροχής είναι, ακολουθώντας τον γενικό τύπο παροχής και χρησιμοποιώντας τη μέση ταχύτητα v_{μ} να γραφεί:

$$Q = A \cdot v_{\mu} \quad (11)$$

όπου: A η επιφάνεια της διατομής και v_{μ} η μέση ταχύτητα ροής.

Η παράλληλη ροή του υγρού μετατρέπεται σε στρωβλώδη μέσα στον σωλήνα, όταν σύμφωνα με τον Ιρλανδό φυσικομαθηματικό Reynolds, η ταχύτητα ροής του υγρού υπερβεί ορισμένη τιμή, που ονομάζεται **κρίσιμη ταχύτητα ροής** (v_k), και προσδιορίζεται με τον λεγόμενο **συντελεστή ή αριθμό Reynolds** (R).

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

$$R = \frac{Q \cdot D}{A \cdot \nu} \quad (12)$$

όπου: ν το κινητικό ιξώδες του υγρού σε m^2/s , Q η παροχή σε m^3/s , A η διατομή σε m^2 και D η διάμετρος σε m .

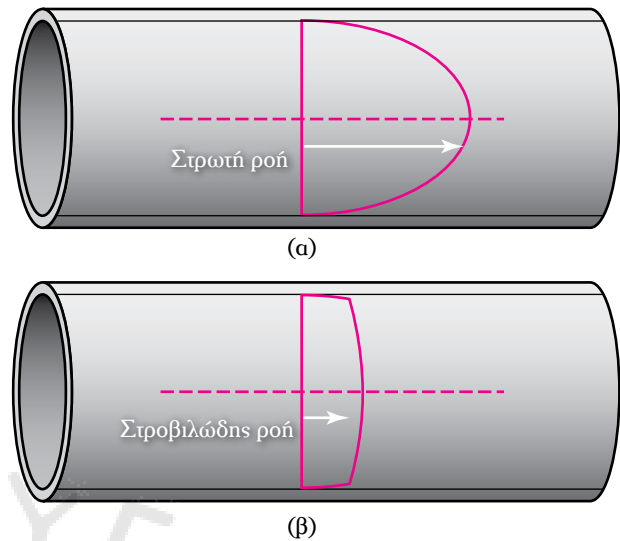
Η κρίσιμη ταχύτητα ροής δίνεται για σωλήνα επί παραδείγματι κυκλικής διατομής ως:

$$v_k = R \cdot \frac{g \cdot \nu}{\gamma \cdot r} \quad (13)$$

όπου: R ο αριθμός Reynolds, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, γ το ειδικό βάρος του υγρού, ν το κινητικό ιξώδες του υγρού και r η ακτίνα διατομής του σωλήνα.

2) Το υδραυλικό κτύπημα.

Το **υδραυλικό κτύπημα** ή **πλήγμα**, είναι ένα μη



Σχ. 2.4β

Κατανομή της ταχύτητας των μορίων του υγρού. (α) Στρωτή ροή με μεγαλύτερη ταχύτητα στο κέντρο του σωλήνα και μικρότερη κοντά στα τοιχώματα (β) η ταχύτητα των μορίων υγρού κοντά στα τοιχώματα έχει μικρή διαφορά με την ταχύτητα των μορίων στο κέντρο.

μόνιμο φαινόμενο που παρουσιάζεται στα υδραυλικά συστήματα. Η δημιουργία του οφείλεται στην απότομη μεταβολή της ταχύτητας του υγρού ή στην ισχυρή διακύμανση πίεσεως στον αγωγό, η οποία συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερη από την πίεσή που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια μόνιμης ροής του υγρού μέσα σ' αυτόν.

Το υδραυλικό κτύπημα συμβαίνει 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** 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

¹ Ο νόμος Hagen-Poiseuille αναπτύχθηκε ανεξάρτητα από τον Hagen το 1839 και τον Poiseuille το 1838 και δημοσιεύθηκε το 1840 και το 1846 από τον Poiseuille.

ή μέσω των βαλβίδων στην αναρρόφηση ή την κατάθλιψη. Η πρόληψη του φαινομένου επιτυγχάνεται:

α) Στο δίκτυο των αγωγών με **ομαλό κλείσιμο των επιστομιών** και

β) στις εμβολοφόρες αντλίες με την **προσθήκη αεροκώδωνα** (βλ. παράγρ. 2.8.4) στη σωλήνωση της αναρροφήσεως ή της καταθλίψεως ή και των δύο.

Ο αεροκώδωνας, είναι μεταλλικό δοχείο που περιέχει υγρό μέχρι μία ορισμένη στάθμη, ενώ ο υπόλοιπος χώρος καταλαμβάνεται από αέρα. Ο αέρας, καθώς συμπιέζεται ή εκτονώνεται, ανάλογα με τις πιέσεις που δέχεται από το υγρό, λειτουργεί ως ελατήριο, απορροφώντας την κρούση των απότομων μεταβολών πίεσεως και ταχύτητας, καθιστώντας ομαλή τη ροή.

3) Απώλειες λόγω αντιστάσεως στη ροή.

Μέρος της ενέργειας, που αναπτύσσεται από την αντλία σ' ένα υγρό που ρέει μέσα σ' έναν σωλήνα, καταναλώνεται σε απώλειες λόγω αντιστάσεως στη ροή. Το σύνολο των απωλειών ενέργειας εξαρτάται απ' τη διατομή και την εσωτερική κατάσταση της επιφάνειας των σωλήνων και των εξαρτημάτων (π.χ. επιστόμια), που συνδέονται στο δίκτυο.

Επίσης, οι απώλειες εξαρτώνται από την ταχύτητα, το ιξώδες του υγρού, τις τριβές και τους στροβιλισμούς που προκαλούνται στις αλλαγές διευθύνσεως του υγρού λόγω των κάμψεων των σωλήνων, από τα **επιστόμια** (valves) και άλλους παράγοντες που υπολογίζονται πειραματικά διαμορφώνοντας εμπειρικούς τύπους, με τους οποίους τελικά υπολογίζονται οι αντιστάσεις και οι απώλειες για κάθε περίπτωση.

Οι απώλειες προκαλούνται από:

α) Την αντίσταση, που προβάλλεται απ' τις σωληνώσεις στη ροή του υγρού λόγω της τριβής του με την επιφάνεια του σωλήνα με τον οποίο έρχεται σε επαφή και της στροβιλώδους ροής, που αναπτύσσεται. Το μέγεθός τους εξαρτάται από την ταχύτητα ροής του υγρού, τη θερμοκρασία του και την κατάσταση της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα. Η αντίσταση τριβής, επίσης εξαρτάται απ' 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.

β) Την αντίσταση λόγω απότομης διακυμάνσεως της διατομής του σωλήνα και της υπάρξεως διαφόρων αρμών στις συνδέσεις, όπου λόγω της παρεμ-

βολής εγκάρσιου τοιχώματος και διαφοροποιήσεως της εσωτερικής επιφάνειας, στο υγρό δημιουργούνται στροβιλισμοί, που έχουν ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ροής του.

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

δ) 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.

Μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι απώλειες λόγω τριβών σ' έναν σωλήνα αυξάνονται ανάλογα με το μήκος του και αντιστρόφως ανάλογα με τη διάμετρο. Σε μια σωλήνωση με ορισμένο μήκος και διάμετρο, η αντίσταση λόγω τριβών αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο της μέσης ταχύτητας του υγρού που διέρχεται απ' τον σωλήνα. Έτσι, λόγω της ιδιαιτερότητας κάθε δικτύου και κάθε αντλίας, οι κατασκευαστές παρέχουν πίνακες, στους οποίους περιγράφεται το ύψος σε μέτρα που απαιτείται, προκειμένου να υπερκαλυφθούν οι απώλειες από τριβές στους σωλήνες, ανάλογα με το υλικό κατασκευής και το μέγεθος.

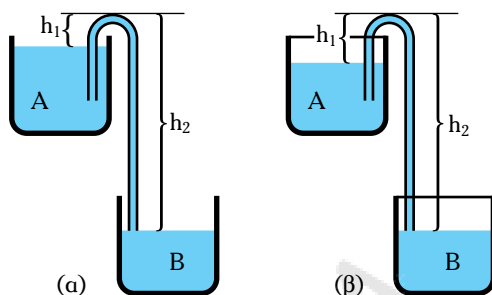
2.4.2 Ροή υγρών από σίφωνα.

Η ροή υγρών από σίφωνα αντιπροσωπεύει τη ροή που δημιουργείται από ένα δοχείο σ' ένα άλλο, το οποίο βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο και δεν είναι δυνατόν να ανοιχθεί τρύπα στον πυθμένα του δοχείου που είναι ψηλά, ώστε να πραγματοποιηθεί η μεταφορά του υγρού. Σ' αυτήν την περίπτωση για τη μεταφορά του υγρού, χρησιμοποιείται ένας σωλήνας, ο οποίος γεμίζει με υγρό και στη συνέχεια τοποθετείται κάθ' ένα απ' τα δύο άκρα του σε κάθε δοχείο.

Η διαφορά βάρους της στήλης των υγρών σε κάθε σκέλος του σωλήνα (σίφωνα), που συνδέει τα δύο δοχεία δημιουργεί τη ροή, που διατηρείται λόγω της συνοχής των μορίων του υγρού. Η διαφορά στο βάρος προκύπτει διότι το ύψος της στήλης h_1 είναι μικρότερο της στήλης h_2 , άρα το βάρος υγρού που περιέχεται στον σωλήνα h_2 είναι μεγαλύτερο απ' το βάρος του υγρού που περιέχει ο σωλήνας h_1 και λόγω της συνοχής των μορίων παρασύρει το υγρό από το δοχείο Α στο δοχείο Β [σχ. 2.4γ(α)].

Για τη λειτουργία του σίφωνα δεν απαιτείται η ύπαρξη ατμοσφαιρικής πίεσεως όπως μπορεί να

αποδειχθεί σε ένα κλειστό κύκλωμα [σχ. 2.4γ(β)]. Σε αυτό, παρέχοντας την απαραίτητη κλίση στο σύστημα, ώστε να μεταφερθεί το υγρό περιεχόμενο των δύο δοχείων στο δοχείο Α και στη συνέχεια κλείνοντας το σύστημα προς την αντίθετη πλευρά, δηλαδή προς το δοχείο Β, δημιουργείται αρχική ροή η οποία συνεχίζεται από το δοχείο Α προς το Β όταν επανέλθει το σύστημα στην κατακόρυφη θέση.



Σχ. 2.4γ

Ροή υγρών από σίφωνα.

2.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη – Στοιχεία αντλιών.

Η αντλία χαρακτηρίζεται από ορισμένα βασικά στοιχεία που προσδιορίζουν την απόδοσή της. Αυτά είναι:

1) Τα ύψη των αντλιών.

Τα ύψη των αντλιών είναι τα ακόλουθα:

α) Το **στατικό ύψος αναρροφήσεως** H_a , που ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση απ' τη στάθμη του υγρού που θα αναρροφήσει η αντλία, ως τον θάλαμο αναρροφήσεως της. Το σημείο του θαλάμου που λαμβάνεται υπόψη στη μέτρηση του στατικού ύψους, είναι για εμβολοφόρες ή παλινδρομικές αντλίες το κιβώτιο των βαλβίδων, ενώ για στις περιστροφικές ογκομετρικού τύπου ή φυγοκεντρικές ο χώρος του αγωγού στο σημείο εισόδου του υγρού στο στροφέο της αντλίας.

β) Το **στατικό ύψος καταθλίψεως** H_{κ} , που ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση από τον θάλαμο καταθλίψεως της αντλίας έως τη στάθμη του υγρού μέσα στη δεξαμενή καταθλίψεως. Όταν η κατάθλιψη πραγματοποιείται σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης [σχ. 2.5α(α)] υπολογίζεται από το μέγιστο σημείο του αγωγού καταθλίψεως, ενώ αντίστοιχα όταν η κατάθλιψη πραγματοποιείται μέσα στη δεξαμενή υπολογίζεται απ' το σημείο της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού μέσα στη δεξαμενή [σχ. 2.5α(β) και (γ)].

γ) Το **στατικό ύψος** H_o ή **ολικό στατικό ύψος** συστήματος αντλήσεως, που ονομάζεται το άθροισμα

της κατακόρυφης αποστάσεως μεταξύ των ελεύθερων επιφανειών του υγρού στις δεξαμενές αναρροφήσεως και καταθλίψεως και εκφράζεται ως $H_o = H_a + H_{\kappa}$. Οι τιμές που λαμβάνει το στατικό ύψος αναρροφήσεως είναι θετικές ή αρνητικές και εξαρτώνται από τη θέση που έχει η αντλία σε σχέση μ' 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, ενώ αντίθετα όταν βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως η τιμή είναι θετική (σχ. 2.5β).

δ) **Ύψος αντιστάσεων** H_r , που ονομάζεται το σύνολο των απωλειών, οι οποίες δημιουργούνται κατά τη ροή του υγρού, καθώς αυτό διαρρέει την αντλία, με συνέπεια την απώλεια ενέργειας από αυτό. Αποτελούν εμπόδιο στην κίνηση της φλέβας υγρού και εκφράζεται σε ύψος στήλης υγρού. Οι αντιστάσεις αυτές διακρίνονται σε:

– **Αντιστάσεις αδράνειας** που οφείλονται στην αντίδραση της αδράνειας λόγω του ύψους της στήλης υγρού, ώστε το υγρό θα πρέπει να αποκτήσει ορισμένη ταχύτητα κινήσεως v . Η ταχύτητα ορίζεται ως v_a για την αναρρόφηση της αντλίας, ενώ v_{κ} για την κατάθλιψη, διότι λαμβάνεται υπόψη η διαφορά στη διάμετρο που υπάρχει μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής στις κατασκευές, όπου είναι πιθανόν η διάμετρος του σωλήνα καταθλίψεως να είναι μικρότερη από αυτήν της αναρροφήσεως. Η αντίσταση αδράνειας ονομάζεται **δυναμικό ύψος** H_{δ} και ισούται με την κατακόρυφη απόσταση που πρέπει να πέσει το υγρό, ώστε να αποκτήσει την ταχύτητα v_a για την αναρρόφηση ή v_{κ} για την κατάθλιψη. Σε μικρής ταχύτητας εμβολοφόρες αντλίες παραλείπεται, διότι έχει ελάχιστη επίδραση λόγω της μικρής ταχύτητας του υγρού. Υπολογίζεται σε ύψος υδάτινης στήλης εκφράζοντας την κινητική ενέργεια του υγρού και δίδεται ως:

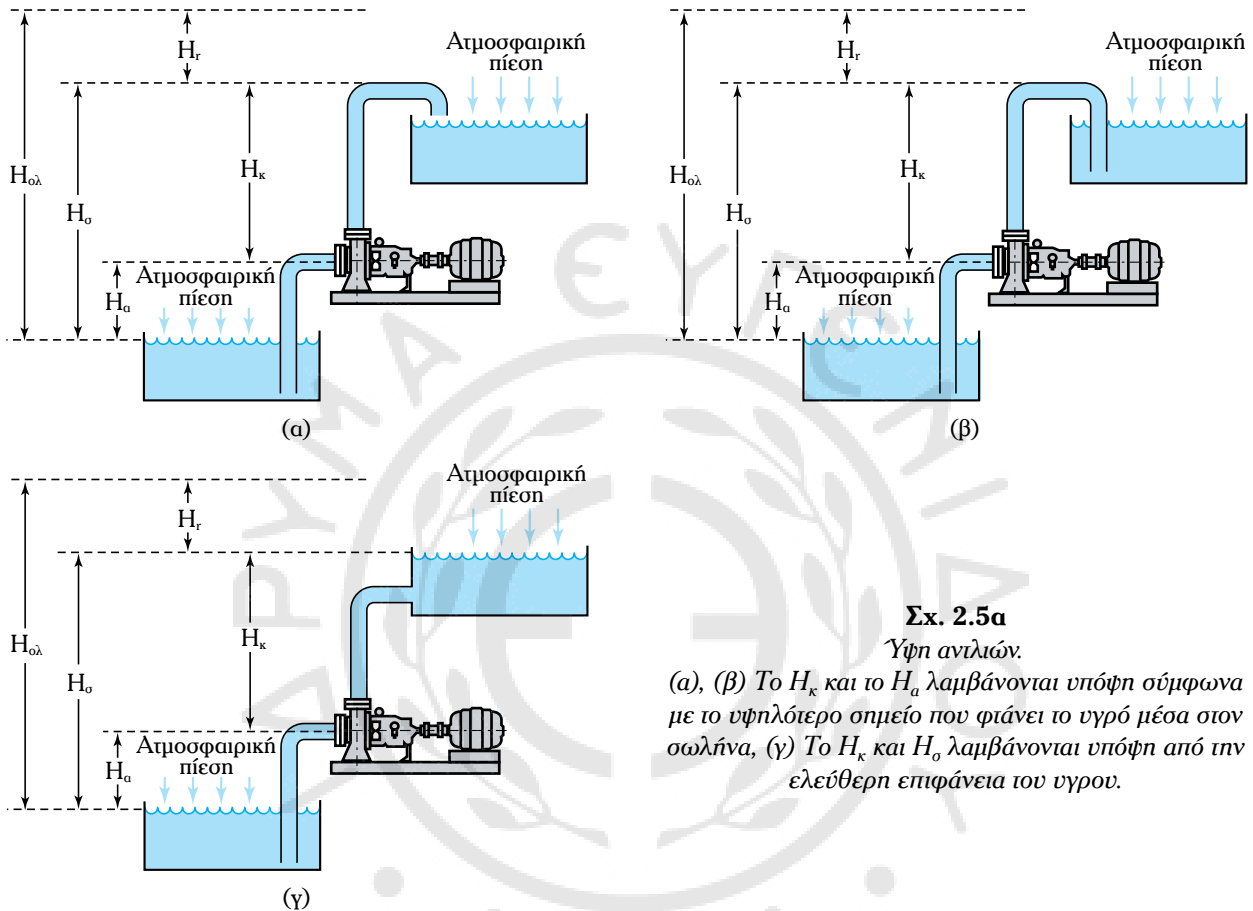
$$H_{\delta a} = \frac{v_a^2}{2g} \quad \text{για την αναρρόφηση} \quad (14)$$

$$H_{\delta \kappa} = \frac{v_{\kappa}^2}{2g} \quad \text{για την κατάθλιψη} \quad (15)$$

όπου: g η επιτάχυνση της γήινης βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$ ή $32,2 \text{ ft/s}^2$.

– Οι **παθητικές αντιστάσεις**, που οφείλονται σε τριβές, στροβιλισμούς της φλέβας ροής του υγρού, στενώσεις διατομής, διευρύνσεις διατομής, καμπύλες σωληνώσεων, παρεμβολές στοιχείων ρυθμίσεως και ελέγχου, όπως επιστόμια κ.ά.. Δημιουργούνται, είτε μέσα στην αντλία

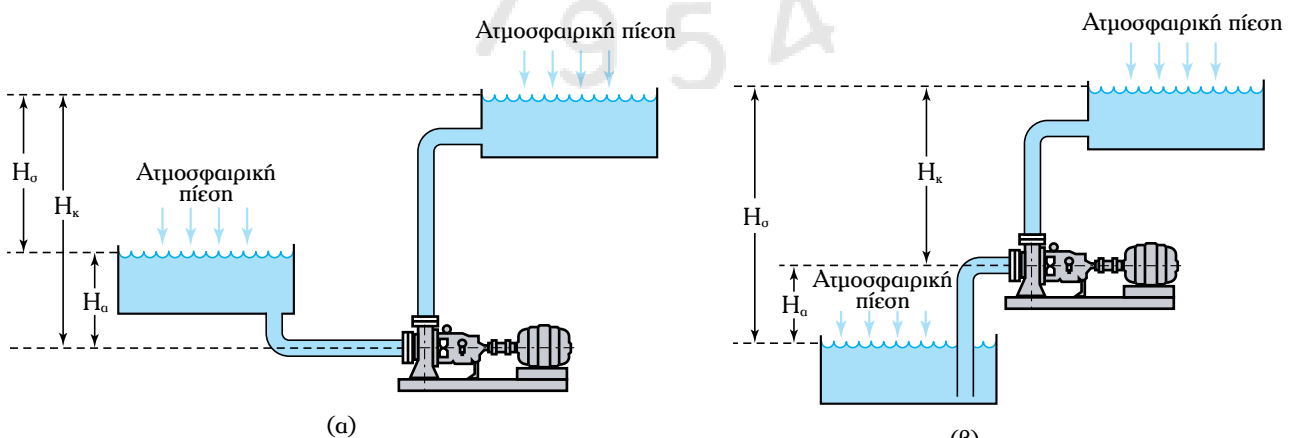
οπότε ονομάζονται **εσωτερικές**, είτε μέσα στις σωληνώσεις αναρροφήσεως και καταθλίψεως οπότε ονομάζονται **εξωτερικές**. Οι εσωτερικές ορίζονται ως H_i και αφορούν στην αντλία, ενώ οι **εξωτερικές** ορίζονται ως H_e και αφορούν στους σωλήνες απ' το σημείο συνδέσεώς τους



Σχ. 2.5α

Υψη αντλιών.

(α), (β) Το H_k και το H_a λαμβάνονται υπόψη σύμφωνα με το υψηλότερο σημείο που φτάνει το υγρό μέσα στον σωλήνα, (γ) Το H_k και H_o λαμβάνονται υπόψη από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.



Σχ. 2.5β

Στατικό ύψος.

(α) Η δεξαμενή αναρροφήσεως βρίσκεται σε υψηλότερο σημείο από την αντλία,
(β) Η δεξαμενή αναρροφήσεως βρίσκεται χαμηλότερα από την αντλία.

με την αντλία έως το τέλος τους. Οι εξωτερικές διακρίνονται περαιτέρω σε H_{ea} για την αναρρόφηση, ενώ H_{ek} για την κατάθλιψη και ορίζονται ομοίως σε υψος στήλης ύδατος.

ε) Το **ολικό ύψος** $H_{ολ}$, που είναι το άθροισμα του στατικού ύψους του συστήματος H_o και του ύψους αντιστάσεων H_r και δίνεται απ' την εξίσωση:

$$H_{ολ} = H_o + H_r \Rightarrow H_{ολ} = H_a + H_k + H_r \quad (16)$$

Για κλειστό σύστημα ισχύει

$$H_{ολ} = H_o + \frac{p_k - p_a}{\rho \cdot g} + H_r \quad (17)$$

για ανοικτό σύστημα ισχύει

$$H_{ολ} = H_o + H_r \quad (18)$$

το $\frac{p_k - p_a}{\rho \cdot g}$ είναι το ύψος διαφοράς πίεσεως μεταξύ

των επιφανειών υγρού στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη στα κλειστά συστήματα, ενώ αντίστοιχα στα ανοικτά συστήματα μηδενίζεται.

στ) **Μανομετρικό ύψος της αντλίας** H_μ , που ονομάζεται το χαρακτηριστικό ύψος και προκύπτει από τη διαφορά του ολικού ύψους καταθλίψεως με το ολικό ύψος αναρροφήσεως χωρίς να υπολογιστεί το ολικό ύψος απωλειών. Δίνεται ως:

$$H_\mu = H_k + H_a \quad (19)$$

Πρόκειται για τη χρήσιμη μηχανική ενέργεια που μεταδίδεται από την αντλία στη μονάδα βάρους του υγρού και παρέχεται από τον κατασκευαστή κάθε αντλίας. Αφορά μόνο στην ίδια την αντλία, προσδιορίζοντας το μέγεθος των ικανοτήτων της και είναι ανεξάρτητο απ' τη θέση της αντλίας, τις συνθήκες εγκαταστάσεώς της, τις κάμψεις και το μήκος των σωληνώσεων, τα παρεμβαλλόμενα επιστόμια κ.λπ..

Ο καθορισμός του H_μ από τις μανομετρικές ενδείξεις στην αναρρόφηση και την κατάθλιψη της αντλίας δίνεται από τη σχέση:

$$H_\mu = \frac{p_k - p_a}{\gamma} + \frac{v_k^2 - v_a^2}{2g} + (z_k - z_a) \quad (20)$$

όπου: p_k η στατική πίεση καταθλίψεως, p_a η στατική πίεση αναρροφήσεως, v_k η ταχύτητα του ρευστού στην κατάθλιψη, v_a η ταχύτητα του ρευστού στην αναρρόφηση, $\gamma = \rho \cdot g$ το ειδικό βάρος του ρευστού και $(z_k - z_a)$, η κατακόρυφη απόσταση των μανομέτρων.

Επειδή η είσοδος και η έξοδος του ρευστού είναι κοντά, τότε $(z_k - z_a) \approx 0$.

Από την παροχή της μάζας $(\dot{m})^1$ μιας αντλίας, η οποία είναι:

$$m = \rho_a \cdot A_a \cdot v_a = \rho_k \cdot A_k \cdot v_k \frac{kg}{s},$$

για ασυμπίεστη ροή, για παράδειγμα στα υγρά γίνεται $A_a \cdot v_a = A_k \cdot v_k$ και εφόσον οι συνήθεις διατομές εισόδου και εξόδου είναι ίσες, άρα $v_a \cdot v_k$, το ολικό μανομετρικό ύψος εκφράζεται ως:

$$H_\mu = \frac{p_k - p_a}{\gamma} = H_k - H_a \text{ σε } m \quad (21)$$

Όλα τα υψή που αναφέρθηκαν υπολογίζονται σε μέτρα ή πόδια στήλης νερού, με αντιστοιχίες μεταξύ των πιέσεων:

Για το μετρικό σύστημα:

1 ATM = 1,033 kg/cm² = 10,33 m στήλης ύδατος
1 τεχνητή ατμόσφαιρα 1 AT = 1 kg/cm² = 10 m στήλης ύδατος.

Ενώ στο αγγλοσαξονικό σύστημα:

1 ATM = 14,7 psi = 34,5 ft στήλης ύδατος,
1 AT = 14,2 psi = 32,8 ft στήλης ύδατος.

Στην πράξη, τα ύψη μπορεί να μετρηθούν με την προσαρμογή κενόμετρου στην αναρρόφηση της αντλίας και θλιβόμετρου στην κατάθλιψη, ώστε στον υπολογισμό να λαμβάνεται το αλγεβρικό άθροισμα των ενδείξεων. Οι ενδείξεις τους είναι σε m/ft ή στήλης ύδατος. Σε περιπτώσεις που το νερό ρέει προς την αναρρόφηση της αντλίας λόγω βαρύτητας, δηλαδή υπάρχει αρνητικό ύψος αναρροφήσεως, τότε τοποθετείται θλιβόμετρο και στην αναρρόφηση.

2) Παροχή της αντλίας.

Ως **παροχή Q της αντλίας** χαρακτηρίζεται ο όγκος του υγρού που αποδίδεται στο στόμιο της καταθλίψεως της αντλίας στη μονάδα του χρόνου και εκφράζεται σε κυβικά ανά δευτερόλεπτο (m³/s), σε κυβικά ανά ώρα (m³/h) και σε λίτρα ανά λεπτό (l/min).

Η παροχή 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, η παροχή διακρίνεται σε:

¹ Ο ρυθμός ροής της μάζας ή παροχή της μάζας $(\dot{m})$ είναι η μάζα μιας ουσίας η οποία διέρχεται από μια δεδομένη επιφάνεια ανά χρόνο όπου ρ η πυκνότητα μάζας του ρευστού, A η διατομή ή επιφάνεια μέσα από την οποία ρέει το ρευστό και v η ταχύτητα του ρευστού.

α) **Θεωρητική παροχή** (Q_θ), δηλαδή ο όγκος του υγρού που θα έπρεπε να αποδίδει η αντλία αν δεν υπήρχαν εσωτερικές ή εξωτερικές διαρροές.

β) **Πραγματική παροχή** (Q_n), δηλαδή ο όγκος του υγρού που αποδίδεται στον σωλήνα καταθλίψεως στη μονάδα του χρόνου για ορισμένο μανομετρικό ύψος (H).

γ) **Βέλτιστη παροχή** (Q_{opt}), δηλαδή η παροχή που αποδίδεται όταν η αντλία λειτουργεί με τον μέγιστο βαθμό αποδόσεως της.

δ) **Εσωτερική παροχή** (Q_{in}), δηλαδή ο όγκος του υγρού που διέρχεται εσωτερικά της αντλίας στη μονάδα του χρόνου και είναι το άθροισμα της πραγματικής παροχής και των εσωτερικών διαρροών:

$$Q_{in} = Q_n + Q_\delta \quad (22)$$

όπου: Q_δ η παροχή που διαρρέει εσωτερικά της αντλίας.

Η εσωτερική διαρροή οφείλεται στην διαφορά πιέσεως μεταξύ των πλευρών καταθλίψεως και αναρροφήσεως της πτερωτής και εξαρτάται από το μέγεθος του διακένου και το ιξώδες του ρευστού.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαρροή προς το που είναι εγκατεστημένη η αντλία η εσωτερική διαρροή θα είναι ίση με την θεωρητική εάν αφαιρεθεί η πραγματική παροχή δηλαδή $Q_\delta = Q_\theta - Q_n$. Τότε από τη σχέση (22) αντικαθιστώντας την εσωτερική παροχή Q_δ προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= Q_n + Q_\delta \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{in} &= Q_n + Q_\theta - Q_n \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{in} &= Q_\theta \end{aligned} \quad (23)$$

Γενικά για τη θεωρητική Q_θ , την εσωτερική Q_{in} και την πραγματική Q_n παροχή ισχύει ότι $Q_\theta \geq Q_{in} > Q_n$.

ε) **Ελάχιστη παροχή** (Q_{min}), δηλαδή η ελάχιστη παροχή, με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς, χωρίς να υποστεί βλάβη.

στ) **Μέγιστη παροχή** (Q_{max}), δηλαδή η μέγιστη παροχή, με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς χωρίς να υποστεί βλάβη.

ζ) **Ονομαστική παροχή** (Q_N), δηλαδή η παροχή η οποία ισχύει για τη λειτουργία της αντλίας στην ονομαστική ταχύτητα v_N , στο ονομαστικό ολικό ύψος H_N , και για αντλούμενο υγρό σύμφωνα μ' αυτό που

αναφέρεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

3) Ισχύς ή ιπποδύναμη αντλίων.

α) Αξονική ισχύς.

Εισερχόμενη ισχύς ή αξονική ισχύς (N_i) ονομάζεται η ισχύς που μεταβιβάζεται στον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα και είναι πάντα μεγαλύτερη από την ωφέλιμη ισχύ της αντλίας. Σχετίζεται με τον βαθμό αποδόσεως της αντλίας και ορίζεται ως λόγος της ωφέλιμης ή υδραυλικής ισχύος προς την αξονική ισχύ που δίνεται στην αντλία για τη λειτουργία της. Δίνεται από την εξίσωση:

$$\eta = \frac{N_\omega}{N_i} \quad (24)$$

όπου: η ο βαθμός αποδόσεως, N_ω η ωφέλιμη ισχύς και N_i η αξονική ισχύς αντλίας.

β) Ωφέλιμη ισχύς.

Η ωφέλιμη ή υδραυλική ισχύς μιας αντλίας υπολογίζεται από το ωφέλιμο έργο που αποδίδεται από την αντλία στο υγρό και είναι το γινόμενο της παροχής της αντλίας Q_n με το στατικό ύψος της H_o και το ειδικό βάρος του υγρού $\gamma = \rho \cdot g$ και δίδεται ως:

$$N_\omega = \gamma \cdot Q_n \cdot H_o \quad \text{σε} \quad \frac{kp \cdot m}{s} \quad (25)$$

όπου: γ το ειδικό βάρος σε kp/m^3 , Q_n η πραγματική παροχή σε m^3/s και H_o το ύψος σε m .

Για τον υπολογισμό της ωφέλιμης ισχύς σε ίππους (HP)¹ διαιρείται το ωφέλιμο έργο με τον αριθμό 75 διότι $1 \text{ HP} = 75 \text{ kp} \cdot m/s$.

$$\text{Άρα:} \quad N_\omega = \frac{\gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{75} \quad \text{σε HP} \quad (26)$$

Όταν το ειδικό βάρος του υγρού γ δίνεται σε kg/dm^3 (κιλά ανά κυβική παλάμη ή λίτρα) τότε λόγω της ιδιότητας $1000 \text{ dm}^3 = 1 \text{ m}^3$, η ωφέλιμη ισχύς δίνεται ως:

$$N_\omega = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{75} \quad \text{σε HP.}$$

Στην περίπτωση που η αντλία διακινεί νερό που το ειδικό βάρος είναι $\gamma = 1 \text{ kg/dm}^3$, η σχέση N_ω γίνεται:

¹ HP: Ιπποδύναμη (horsepower) είναι η μέτρηση της ενέργειας, που παρουσιάζει την πραγματοποίηση έργου και μετράται σε ίππους. Η χρήση της μονάδας ισχύος HP είναι για να μετρηθεί η ισχύς ενός κινητήρα. Η πλησιέστερη μονάδα μετατροπής είναι η ηλεκτρική ενέργεια, όπου $1 \text{ HP} = 746 \text{ watts}$.

$$N_{\omega} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot Q_{\pi} \cdot H_o}{75} \text{ σε HP ή}$$

$$N_{\omega} = 13,3 \cdot Q_{\pi} \cdot H_o \text{ σε HP.}$$

γ) Πραγματική ισχύς.

Η πραγματική ισχύς, η οποία απαιτείται στον άξονα της αντλίας είναι μεγαλύτερη απ' την ωφέλιμη, διότι πρέπει να καλυφθούν όλες οι υδραυλικές και μηχανικές απώλειες. Έτσι, η εισερχόμενη ισχύς N , που μεταβιβάζεται στον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα υπολογίζεται ως:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q_{\pi} \cdot H_{o\lambda}}{75 \cdot \eta} \text{ σε HP} \quad (27)$$

ή

$$N = \frac{\gamma \cdot Q_{\pi} \cdot H_{o\lambda}}{120 \cdot \eta} \text{ σε kW}^1$$

όπου: γ σε kg/m^3 , Q_{π} σε m^3/s , $H_{o\lambda}$ σε m , και η ο ολικός βαθμός αποδόσεως της αντλίας.

Επίσης για γ σε kg/dm^3 , η σχέση (27) δίνεται ως:

$$N = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot Q_{\pi} \cdot H_{o\lambda}}{75 \cdot \eta} \text{ σε HP.}$$

4) Βαθμός αποδόσεως αντλιών.

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, ώστε το έργο που αποδίδει η αντλία να είναι μικρότερο από αυτό που παρέχεται στον άξονά της. Ανάλογα με τη φύση των απωλειών, ο βαθμός της αποδόσεως διακρίνεται σε:

α) **Ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως** (η_v): Είναι ο λόγος της πραγματικής παροχής (Q_{π}) προς τη θεωρητική παροχή Q_{θ} της αντλίας ή λόγω της σχέσεως (23) με την Q_{in} διότι $Q_{in} = Q_{\theta}$. Παρέχει το μέτρο των απωλειών, οι οποίες οφείλονται στις διαρροές από το διάκενο μεταξύ της στρεφόμενης περωτής και του σταθερού κελύφους ή της μη τέλει στεγανότητας των βαλβίδων, τις απώλειες από τους συσπειρωθλίπτες κ.λπ.. Τότε, παρατηρείται το φαινόμενο της ολισθήσεως του υγρού από την κατάθλιψη προς τον χώρο της αναρροφήσεως ή από το εσωτερικό της αντλίας προς το περιβάλλον. Ο ογκομετρι-

κός βαθμός αποδόσεως δίνεται από τον τύπο:

$$\eta_v = \frac{Q_{\pi}}{Q_{\theta}} \quad (28)$$

και κυμαίνεται από 80 έως 98%. Οι μεγαλύτερες τιμές αντιστοιχούν σε αντλίες θετικής εκτοπίσεως που είναι σε άριστη κατάσταση, ενώ οι μικρότερες στις φυγοκεντρικές αντλίες, ιδιαίτερα όταν λόγω φθοράς έχουν αυξηθεί τα διάκενα μεταξύ κινητών και σταθερών τμημάτων.

β) **Υδραυλικό βαθμό αποδόσεως** (η_H): 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 κατεύθυνσεως ροής του. Έτσι, εξαρτάται από το μήκος των σωληνώσεων, τον αριθμό των καμπυλών, τα είδη και τον αριθμό των βαλβίδων και των οργάνων ελέγχου που παρεμβάλλονται στις σωληνώσεις. Δίνεται ως:

$$\eta_h = \frac{H_o}{H_{o\lambda}} \quad (29)$$

και ορίζεται ως ο λόγος του στατικού ύψους H_o , προς το ολικό υψος $H_{o\lambda}$ που αποτελεί τη θεωρητική ενέργεια, η οποία παραλαμβάνει το υγρό απ' την αντλία, μειωμένη κατά τις υδραυλικές απώλειες.

γ) **Έργο των αντλιών**, που χαρακτηρίζεται ως:

– **Ωφέλιμο έργο**, και δίνεται από το γινόμενο της πραγματικής παροχής με το ειδικό βάρος του υγρού και το στατικό υψος, σύμφωνα με τον τύπο:

$$\Omega E = Q_{\pi} \cdot \gamma \cdot H_o \quad (30)$$

– **Θεωρητικό έργο**, που δίδεται από το γινόμενο της θεωρητικής παροχής, με το ειδικό βάρος του υγρού και το ολικό υψος, $H_{o\lambda}$. Είναι μεγαλύτερο απ' το ωφέλιμο έργο, διότι το ολικό υψος είναι το άθροισμα του στατικού ύψους με το υψος αντιστάσεων και δίδεται από τον τύπο:

$$\Theta E = Q_{\theta} \cdot \gamma \cdot H_{o\lambda} \quad (31)$$

– **Χορηγούμενο έργο**, το οποίο παρέχεται στον άξονα της αντλίας από το κινητήριο μηχανήμα

¹ kW: μονάδα μετρήσεως ηλεκτρικής ισχύος 1 KW = 1000 watts, 1 W = 1 J/s δηλαδή η μεταφορά ενέργειας 1 Joule (J) σε χρονικό διάστημα 1 δευτερολέπτου (s).

της. Είναι μεγαλύτερο απ' το θεωρητικό, διότι εδώ συμπεριλαμβάνονται και οι απώλειες λόγω τριβών της αντλίας.

δ) **Ενδεικτικό βαθμό αποδόσεως** η_m : Εκφράζεται ως το πηλίκο του ωφέλιμου με το θεωρητικό έργο όπως στη σχέση:

$$\eta_Q = \frac{\Omega E}{\Theta E} = \frac{Q_n \cdot \gamma \cdot H_o}{Q_\theta \cdot \gamma \cdot H_{o\lambda}} \quad \text{ή} \quad (32)$$

από τη σχέση υδραυλικού βαθμού αποδόσεως η_h και ογκομετρικού βαθμού αποδόσεως η_v , που εκφράζεται ως:

$$\eta_\epsilon = \frac{Q_n \cdot H_o}{Q_\theta \cdot H_{o\lambda}} \Rightarrow \eta_\epsilon = \eta_v \cdot \eta_h \quad (33)$$

ε) **Μηχανικό βαθμό αποδόσεως** η_m : Εξαρτάται κυρίως από τις δυνάμεις τριβής μεταξύ των κινουμένων μερών μιας αντλίας. Η αξονική ισχύς N_i η οποία μεταδίδεται στην αντλία θα μετατραπεί σε ισχύ του διακινούμενου υγρού N και σε ισχύ των μηχανικών απωλειών, που διατίθεται για να υπερνικήσει τις απώλειες τριβής των κινουμένων μερών της αντλίας N_k . Έτσι ως μηχανικός βαθμός αποδόσεως ορίζεται ο λόγος:

$$\eta_m = \frac{N}{N_i} \quad (34)$$

ή ο λόγος του θεωρητικού προς το χορηγούμενο έργο από το κινητήριο μηχανήμα:

$$\eta_m = \frac{\Theta E}{X E}$$

Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως ανάλογα με τον τύπο της αντλίας κυμαίνεται από 0,70 έως 0,98. Στις φυγοκεντρικές αντλίες μικρού μεγέθους και πλήρους ακτινικής ροής κυμαίνεται από 0,91 και φτάνει έως 0,98 για αντλίες μεγάλου μεγέθους μεικτής ροής.

στ) **Ολικός βαθμός αποδόσεως** (η) **των αντλίων**: Είναι το πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος προς την χορηγούμενη ισχύ από το κινητήριο μηχανήμα, παρέχοντας το μέτρο για το σύνολο των απωλειών σε τριβές και στροβιλισμούς και ορίζεται ως:

$$\eta = \frac{N_o}{N_i} \quad \text{ή}$$

$$\eta = \frac{\gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{N_i} \Rightarrow N_i = \frac{\gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{\eta}$$

Από την σχέση (34) του μηχανικού βαθμού αποδόσεως προκύπτει ότι:

$$\eta_m = \frac{N}{N_i} \Rightarrow N_i = \frac{N}{\eta_m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_i = \frac{\gamma \cdot Q_\theta \cdot H_{o\lambda}}{\eta_m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_i = \frac{\gamma \cdot \frac{Q_n}{\eta_v} \cdot \frac{H_o}{\eta_h}}{\eta_m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_i = \frac{\gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{\eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_h} \quad (36)$$

τότε από (35) και (36) προκύπτει ότι:

$$\frac{\gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{\eta} = \frac{\gamma \cdot Q_n \cdot H_o}{\eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_h} \quad \text{και}$$

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_h \quad (37)$$

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 για τη δυναμικές, υπάρχει μέγιστη απόδοση στο βέλτιστο ύψος και πτώση της αποδόσεως όταν αποκλίνει από αυτό. Στις περιστροφικές αντλίες οι υδραυλικές απώλειες η_h που οφείλονται στις εσωτερικές τριβές και τους στροβιλισμούς είναι αμελητέες, ώστε σε πρακτικές εφαρμογές να λαμβάνεται ίσο με τη μονάδα $\eta_h = 1$ και η σχέση να δίνεται ως:

$$\eta \approx \eta_m \cdot \eta_v \quad (38)$$

2.6 Αναρρόφηση της αντλίας.

Για την άντληση ενός υγρού που βρίσκεται σε δεξαμενή τοποθετημένη υψηλότερα από την αντλία και στην ελεύθερη επιφάνειά του ασκείται ατμοσφαιρική πίεση, το αποτέλεσμα είναι το υγρό να ρέει προς την αντλία. Η ροή του υγρού οφείλεται στο στατικό ύψος αναρροφήσεως που προκύπτει από την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσεως στην επιφάνεια του υγρού. Η αντλία προσθέτει ενέργεια στο υγρό μόνο για τη διέλευση από το υπόλοιπο σύστημα.

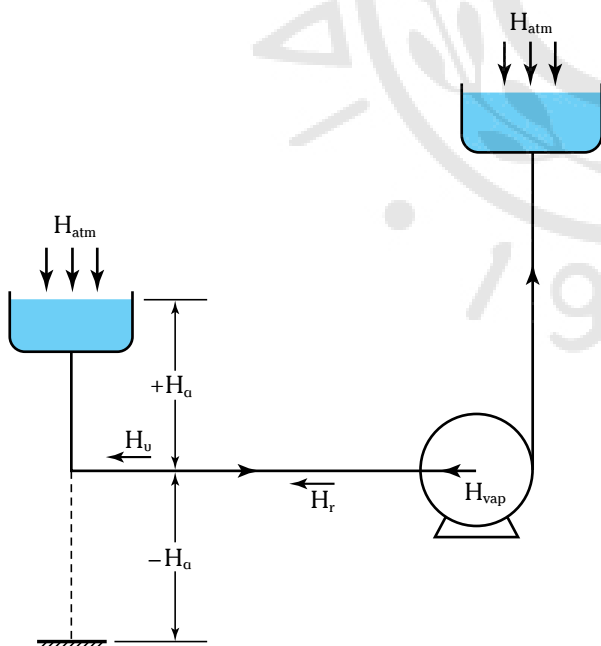
Όταν η δεξαμενή, που βρίσκεται το υγρό, βρίσκεται χαμηλότερα, η αντλία θα πρέπει να δημιουργήσει την απαραίτητη πτώση πίεσεως, ώστε με την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσεως, να μεταφερθεί το υγρό προς την αντλία. Η πτώση πίεσεως, είναι το κενό αναρροφήσεως (vacuum) της αντλίας και είναι μια απόλυτη πίεση, μικρότερη από εκείνη που επικρατεί στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Έτσι, το

υγρό λόγω της διαφοράς των πιέσεων, αναγκάζεται να κινηθεί μέσω του σωλήνα απ' τον χώρο υψηλότερης πίεσης, όπου η πίεση είναι η ατμοσφαιρική, στον χώρο χαμηλότερης πίεσης, 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 πίεσης που ασκείται στην επιφάνεια του υγρού, αν υποτεθεί ότι η πτώση πίεσης που δημιουργείται από την αντλία φτάνει το τέλειο κενό. Αυτό ονομάζεται **θεωρητικό ύψος αναρροφήσεως** φτάνοντας τα 10,33 m ή 34,5 ft, που είναι σχεδόν αδύνατο να πραγματοποιηθεί διότι στα στοιχεία που επηρεάζουν την πλευρά της αναρροφήσεως του συστήματος αντλήσεως περιλαμβάνονται, εκτός του στατικού ύψους του υγρού και της επιδράσεως της ατμοσφαιρικής πίεσης, και οι εξής παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό της πραγματικής αναρροφήσεως της αντλίας:

α) Το **καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως** (Net Pressure Suction Head – NPSH), που χρησιμοποιείται στον έλεγχο των συνθηκών στην αναρρόφηση, κάτω από τις οποίες πρέπει να λειτουργεί η αντλία για να αποφευχθεί η σπηλαίωση (σχ. 2.6). Αυτό καθορίζεται από:

– Το βαρομετρικό ύψος H_{atm} που επιδρά στην



Σχ. 2.6

Υψη που επηρεάζουν την αναρρόφηση της αντλίας.

ελεύθερη επιφάνεια του υγρού στην πλευρά της αναρροφήσεως.

- Την κάθετη απόσταση H_a από το κέντρο της αντλίας έως την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού που εκφράζει το στατικό ύψος αναρροφήσεως και προστίθεται αλγεβρικά στο βαρομετρικό ύψος H_{atm} της επιφάνειας του υγρού.
- Τις απώλειες αντιστάσεως τριβής στον σωλήνα αναρροφήσεως που αποτελούν το στατικό ύψος H_r .
- Τις απώλειες λόγω ταχύτητας ροής του υγρού, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη μόνο σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ροής και ορίζονται ως H_v . Σε αντίθετη περίπτωση είναι αμελητέες.

Η αναρρόφηση της αντλίας μπορεί να θεωρηθεί επαρκής, όταν το άθροισμα των παραπάνω απωλειών $H_v + H_r \pm H_a$ είναι μικρότερο του H_{atm} , 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 του σχεδιασμού της. Έτσι, το άθροισμα των συνολικών απωλειών δίνεται από τα $H_{atm} \pm H_a - H_r - H_v - H_{vap}$, γνωστό ως διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως $NPSH_1^1$. Στα συστήματα, όπου το ύψος από αντιστάσεις της ταχύτητας ροής είναι αμελητέο, αυτό παραλείπεται.

Το διαθέσιμο θετικό ύψος αναρροφήσεως $NPSH_8$, αναφέρεται στην εγκατάσταση (σύστημα αναρροφήσεως) και για τον υπολογισμό του διακρίνουμε δυο περιπτώσεις. Όταν έχουμε **ανύψωση στην αναρρόφηση** (suction lift) όπου η αντλία είναι επάνω από την επιφάνεια του υγρού, το στατικό ύψος αναρροφήσεως παίρνει αρνητική τιμή, ενώ όταν έχουμε **θετική αναρρόφηση** (positive suction), όπου η αντλία είναι κάτω από την επιφάνεια του υγρού, το στατικό ύψος αναρροφήσεως παίρνει θετική τιμή, έτσι ώστε το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως ($NPSH_8$) να δίνεται από τον τύπο:

$$NPSH_8 = \frac{10,2}{\rho} [P_{bar} + P_{atm} - P_{vap}] - H_r \pm H_{sa} \quad (38)$$

όπου: 10,2 m, το ύψος του νερού το οποίο ισοδυναμεί στην πίεση 1 bar, ρ η πυκνότητα του υγρού στην μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας σε kg/lit, P_{bar} , η βα-

¹ $NPSH_8$ = Net Positive Suction Head Available.

ρομετρική πίεση στην είσοδο της αντλίας σε bar, P_{atm} η ελάχιστη πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού στην πλευρά αναρροφήσεως σε bar (η οποία είναι αρνητική όταν υπάρχει κενό), P_{vap} , οι πιέσεις εξατμίσεων του υγρού στην μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας σε bar, H_a το στατικό ύψος αναρροφήσεως σε m και H_r οι απώλειες ύψους λόγω αντιστάσεων στο δίκτυο σωλήνων αναρροφήσεως σε m.

Οι κατασκευαστές αντλιών παρέχουν επίσης το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως $NPSH_a^1$, που χαρακτηρίζει την αντλία και μετράται σε m στήλης νερού. Αποτελεί συνάρτηση της παροχής της αντλίας και συνήθως αυξάνεται, καθώς αυξάνεται η παροχή.

Η σχέση μεταξύ απαιτούμενου ($NPSH_a$) και διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως ($NPSH_g$) πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως να είναι πάντοτε μεγαλύτερο του απαιτούμενου ($NPSH_g > NPSH_a$). Ανεπαρκής τιμή του διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως έχει ως αποτέλεσμα τη σππλάιωση απ' τη δημιουργία φυσαλίδων στο υγρό κατά τη λειτουργία της αντλίας, την αύξηση του επιπέδου θορύβου πάνω από το καθορισμένο όριο και απόσπαση υλικού της αντλίας μεγαλύτερο απ' το συγκεκριμένο όριο επιτρεπόμενης φθοράς.

β) Η **θερμοκρασία του υγρού**, ώστε όσο πιο θερμό είναι το υγρό τόσο δυσκολότερα αναρροφάται από την αντλία. Αυτό συμβαίνει διότι κάτω απ' την επίρεια 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 πηπτικότητα διακόποντας τη 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.

γ) Το **ειδικό βάρος του υγρού**, που επηρεάζει ανάλογα την ικανότητα αναρροφήσεως της αντλίας

και εξαρτάται από το βάρος του υγρού που περιέχει η στήλη αναρροφήσεως. Έτσι, όσο μικρότερο ή ειδικά ελαφρύτερο είναι το υγρό, τόσο ευκολότερα πραγματοποιείται η αναρρόφηση του από την αντλία και αντίστροφα.

δ) Το **ιξώδες του υγρού**, που είναι το μέτρο ρευστότητας του υγρού και με βάση τον συντελεστή ιξώδους του ένα υγρό χαρακτηρίζεται ως παχύρρευστο, με αποτέλεσμα να αναρροφάται ή λεπτόρρευστο που έχει ως αποτέλεσμα την ευκολότερη αναρρόφηση του.

ε) Οι **αντιστάσεις στη σωλήνωση αναρροφήσεως** οι οποίες όσο λιγότερες είναι τόσο ευκολότερα πραγματοποιείται η αναρρόφηση με την αντλία. Οι αντιστάσεις εξαρτώνται από:

- Τη διάμετρο του σωλήνα, με αποτέλεσμα να μειώνονται όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρός της.
- Την εσωτερική υφή των σωλήνων, ώστε όταν είναι λείοι να μην δημιουργούνται δυνάμεις τριβής μεταξύ του υγρού και των τοιχωμάτων του σωλήνα.
- Τη διεύθυνσή τους, ώστε όταν οι σωλήνες είναι ίσοι χωρίς διακυμάνσεις της διαμέτρου, μειώνονται οι τριβές απ' τον στροβιλισμό του υγρού.
- Τις παρεμβολές στη σωλήνωση από όργανα ρυθμίσεως και ελέγχου, ώστε όσο το δυνατόν λιγότερες είναι αυτές τόσο πιο ομαλή είναι η ροή του υγρού.

στ) Η **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 και στις περιστροφικές αντλίες όσο μικρότερα είναι τα διάκενα του στροφείου με το κέλυφος.

Επίσης, η ικανότητα αναρροφήσεως μιας αντλίας επηρεάζεται από τον τύπο της, ώστε σε εμβολοφόρες με μεγάλο αριθμό εμβολισμών ή σε περιστροφικές όπου οι στροφές ανά λεπτό είναι πολλές, επηρεάζεται αρνητικά. Στις εμβολοφόρες αντλίες επηρεάζεται και από το διάκενο μεταξύ του εμβόλου και του καπακιού (πώματος), δυσκολεύοντας την αναρρόφηση όταν είναι μεγάλο.

Έτσι για παράδειγμα, σύμφωνα με τα παραπάνω, το **θεωρητικό ύψος αναρροφήσεως** (suction lift) μιας αντλίας στην επιφάνεια της θάλασσας με το

¹ $NPSH_a$ = Net Positive Suction Head Required.

νερό στους 15°C είναι $1,013 \times 10,2 = 10,3 \text{ m}$ όπου: $1,013 \text{ bar}$ η βαρομετρική πίεση (1 atm) και $10,2 \text{ m}$ το μανομετρικό ύψος του νερού, το οποίο ισοδυναμεί με την πίεση 1 bar ($1 \text{ bar} = 105 \text{ N/m} = 14,51 \text{ lb/m}^2$).

Πρακτικά όμως, το ύψος αναρροφήσεως φτάνει μόνο τα 7 m σε ιδανικές συνθήκες, λόγω των απωλειών από τις τριβές στον 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). Για παράδειγμα, σε θερμοκρασία 50°C , το νερό θα έφτανε σε θερμοκρασία βρασμού αν η απόλυτη πίεση ήταν $0,14 \text{ bar}$. Έτσι, η ικανότητα ανυψώσεως μιας αντλίας θα μειωνόταν σε $10,2 \cdot (1,013 - 0,14) = 9 \text{ m}$ μειώνοντας το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως NPSH_8 . Ως αποτέλεσμα το ύψος αναρροφήσεως είναι τόσο μικρό, όσο επιτρέπεται από τις συνθήκες λειτουργίας της αντλίας.

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 ταχύτητα ροής χαμηλή, μικρότερη από 1 m/sec .

Στην προσπάθεια μείωσης των απωλειών που επηρεάζουν το ύψος αναρροφήσεων 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 χώρους στη φλέβα ροής του υγρού. Αυτοί οι χώροι αρχικά γεμίζονται με υγρό.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες, που δεν 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 αναρροφήσεων τον αέρα** (priming devices) στον σωλήνα αναρροφήσεως ή διάταξη πληρώσεως του σωλήνα με υγρό.

2.7 Κατάθλιψη της αντλίας.

Η κατάθλιψη μιας αντλίας θεωρητικά θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε απεριόριστο ύψος. Στην πράξη όμως, μέρος της ενέργειας που παρέχεται για τη λειτουργία της διαχέεται με τη μορφή θερμότητας

στο περιβάλλον. Το υπόλοιπο θα μετατραπεί σε αύξηση της πίεσεως και της ταχύτητας ροής του υγρού.

Από την αύξηση της πίεσεως 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 κατάθλιψεως της αντλίας, οι απώλειες, οι οποίες περιγράφονται παραπάνω, αντιμετωπίζονται:

α) Με ειδικά χαρακτηριστικά στην κατασκευή της.

β) Με μελέτη στα χαρακτηριστικά των σωληνώσεων του δικτύου και

γ) με τον υπολογισμό του συνόλου των απωλειών λόγω τριβών.

Έτσι, σύμφωνα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και την ικανότητα των αντλιών:

α) Η κατάθλιψη σε μεγάλα ύψη επιτυγχάνεται με αντλίες εκτοπίσεως, και πολυβάθμιες φυγοκεντρικές.

β) Για την κατάθλιψη σε μικρότερο ύψος και την αύξηση της ταχύτητας του υγρού χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες.

2.8 Εμβολοφόρες αντλίες.

Οι εμβολοφόρες αντλίες, είναι αντλίες θετικής εκτοπίσεως. Η αντλητική τους ικανότητα επιτυγχάνεται με τη μείωση ή την αύξηση του όγκου ενός χώρου, ο οποίος περιέχει το υγρό. Αποτελούνται από έναν ή περισσότερους κυλίνδρους μέσα σε κάθε έναν από τους οποίους παλινδρομεί ένα έμβολο, εκτοπίζοντας συγκεκριμένο όγκο υγρού σε κάθε διαδρομή του.

Η αρχή λειτουργίας της εμβολοφόρου αντλίας, είναι η ίδια με τη βασική αρχή που ένα σώμα εκτοπίζει όγκο υγρού ίσο με τον όγκο του. Για παράδειγμα, όταν ένας κύβος πάγου βυθιστεί μέσα σ' ένα ποτήρι γεμάτο με νερό, ο όγκος του νερού που θα εκτοπιστεί είναι ίσος με τον όγκο του βυθισμένου κύβου πάγου μέσα στο νερό.

Έτσι, αν ένα κυλινδρικό στερεό, όπως ένα έμβολο βυθιστεί μέσα σ' 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. 2.8α).

Αν ο κύλινδρος που παλινδρομεί το έμβολο είναι

συνδεμένος σ' ένα δίκτυο, τότε με την κίνηση του εμβόλου άλλοτε εισέρχεται το υγρό (ή αναρροφάται) στον κύλινδρο, στον οποίο παλινδρομεί το έμβολο και άλλοτε εξέρχεται (ή καταθλίβεται) απ' αυτόν. Η κίνηση των εμβόλων στον κύλινδρο επιτυγχάνεται μέσω διωστήρα και στροφάλου, που συνδέονται με εξωτερική πηγή, η οποία δίνει την κινητική ενέργεια, ενώ η διέλευση του υγρού από την αντλία πραγματοποιείται μέσω βαλβίδων αναρροφήσεων και καταθλίψεως τοποθετημένες στο πώμα (ή καπάκι) του κυλίνδρου.

Οι εμβολοφόρες αντλίες διακρίνονται:

α) **Αναρροφητικές** ή **καταθλιπτικές**, ανάλογα με τον τρόπο αντήλξεως και παροχής του υγρού. Η αναρροφητική αντλία σ' έναν κύκλο λειτουργίας της αναρροφά το υγρό και μέσω βαλβίδας το ανυψώνει ενώ στη συνέχεια αυτό ρέει μόνο του. Γι' αυτόν το λόγο ονομάζονται και **ανυψωτικές**. Η καταθλιπτική αντλία αποτελεί επέκταση της ανυψωτικής, διότι αναρροφά το υγρό μέσω βαλβίδας, το ανυψώνει και στη συνέχεια το καταθλίβει μέσω βαλβίδας υπερνικώντας μία εξωτερική αντίσταση.

β) **Απλής** ή **διπλής ενέργειας** (η διάκριση αφορά μόνο στις καταθλιπτικές αντλίες). Απλής ενέργειας, ονομάζονται οι αντλίες, όταν το υγρό κατά την αναρρόφηση και την κατάθλιψη έρχεται σε επαφή μόνο με τη μια πλευρά του εμβόλου, ενώ διπλής ενέργειας ονομάζονται οι αντλίες, όταν το υγρό έρχεται σε επαφή και με τις δύο πλευρές του εμβόλου.

γ) **Μονοκύλινδρες** και **πολυκύλινδρες** ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων.

δ) **Οριζόντιες**, **κάθετες** ή **κεκλιμένες** ανάλογα με τη διάταξη στον χώρο.

ε) **Χειροκίνητες**, **ατμοκίνητες**, **πετρελαιοκίνητες**, **πλεκτροκίνητες** ή **υδραυλικής κινήσεως** ανάλογα με το μέσο λειτουργίας τους.

στ) **Απενθείας** ή **άμεσης μεταδόσεως**, όταν το έμβολο κινείται κατευθείαν από το κινητήριο μηχανήμα και στροφαλοκίνητες ή στροφαλοφόρες όταν κινούνται μέσω συστήματος στροφάλου διωστήρα ζυγώματος και βάκτρου.

ζ) **Απλής διατάξεως** (simplex) ή **συζευγμένης διατάξεως** (duplex). Αυτή η διάκριση αφορά στο σύρτη διανομής ατμού¹. Απλής διατάξεως είναι όταν ο σύρτης κάθε κυλίνδρου κινείται από το βάκτρο του εμβόλου, στο οποίο διανέμει τον ατμό, ενώ διπλής

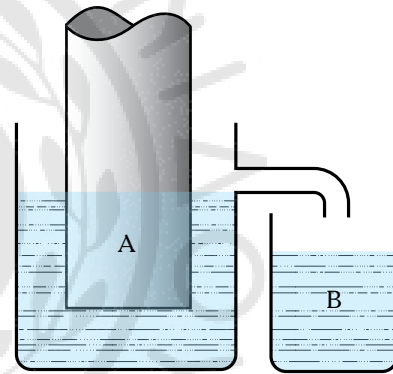
όταν κάθε σύρτης διανομής του ατμού κινείται από το βάκτρο του εμβόλου του άλλου συγκροτήματος.

2.8.1 Αναρροφητική αντλία.

Η αναρροφητική αντλία αποτελείται απ' τον κύλινδρο με τον οποίο συνδέεται ο σωλήνας της αναρροφήσεως, 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.

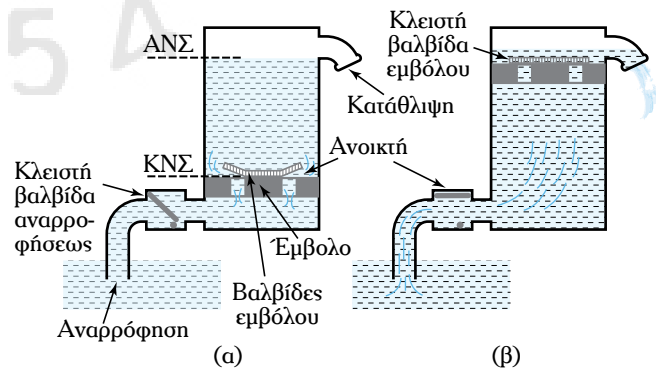
Ο κύλινδρος στο επάνω μέρος, όπου γίνεται η κατάθλιψη του υγρού, είναι ανοικτός στο περιβάλλον, οπότε εκεί ασκείται πίεση ίση με την ατμοσφαιρική (σχ. 2.8β).

Στο σχήμα 2.8β(α) φαίνεται το έμβολο στο Κάτω Νέκρο Σημείο (ΚΝΣ) της διαδρομής του, με τη βαλβίδα αναρροφήσεως κλειστή, ενώ οι βαλβίδες στην επιφάνεια του εμβόλου είναι ανοικτές και ο κύλιν-



Σχ. 2.8α

Δοχεία μέσω των οποίων μεταφέρεται ο όγκος του υγρού.



Σχ. 2.8β

Δοχεία μέσω των οποίων μεταφέρεται ο όγκος του υγρού.

¹ Σύρτης διανομής ατμού είναι η συσκευή με έμβολο και θυρίδες που με την κίνηση του εμβόλου είτε αποκαλύπτονται οι θυρίδες και διέρχεται ατμός είτε αποκρύπτει θυρίδες διακόπτοντας τη διέλευση του ατμού.

δρος γεμάτος με υγρό. Καθώς το έμβολο κινείται, προς το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) της διαδρομής του, η πίεση του υγρού κλείνει τις βαλβίδες του εμβόλου δημιουργώντας κενό μέσα στον κύλινδρο, στον χώρο που δημιουργείται στην κάτω πλευρά του εμβόλου. Τότε, ανοίγει η βαλβίδα αναρροφήσεως και το υγρό εισέρχεται στον κύλινδρο. Το υγρό που υπάρχει ήδη στην πάνω πλευρά του εμβόλου, διατηρεί τις βαλβίδες του εμβόλου κλειστές, ενώ ταυτόχρονα η ποσότητα του υγρού που φτάνει στη θυρίδα εξαγωγής ρέει έξω απ' τον κύλινδρο [σχ. 2.8β(β)]. Όταν ολοκληρωθεί η διαδρομή προς τα πάνω και το έμβολο αρχίσει να κατεβαίνει, οι βαλβίδες στην επιφάνεια του εμβόλου ανοίγουν, ενώ η βαλβίδα αναρροφήσεως κλείνει λόγω της πίεσης 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 κάτω σημείο 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.

2.8.2 Καταθλιπτική αντλία.

Η εμβολοφόρος καταθλιπτική αντλία, (σχ. 2.8γ) είναι αντλία απλής ενέργειας. Αποτελείται από τον κύλινδρο, το έμβολο, τις σωληνώσεις δικτύου αναρροφήσεως και καταθλίψεως, όπου αντίστοιχα τοποθετούνται, την ανεπίστροφη βαλβίδα αναρροφήσεως και τη ανεπίστροφη βαλβίδα καταθλίψεως.

Καθώς το έμβολο κινείται προς το ΑΝΣ η βαλβίδα καταθλίψεως παραμένει κλειστή, ώστε με το κενό που δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο επιτυγχάνεται η εισαγωγή υγρού από τη βαλβίδα αναρροφή-

σεως. Η αναρρόφηση συνεχίζεται ως το τέλος της διαδρομής του εμβόλου προς το ΑΝΣ.

Στη συνέχεια, το έμβολο αρχίζει να κινείται προς το ΚΝΣ κλείνοντας τη βαλβίδα αναρροφήσεως, ώστε το υγρό μέσα στον κύλινδρο, λόγω της πίεσης που δέχεται από το έμβολο, να ανοίξει την βαλβίδα καταθλίψεως και με πίεση να διοχετευθεί μέσα στον σωλήνα εξαγωγής υπερνικώντας την αντίσταση του ολικού ύψους καταθλίψεως [παράγρ. 2.5 (1)].

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

Για εμβολοφόρες αντλίες διπλής ενέργειας, ο κύκλος λειτουργίας είναι ο ίδιος. Η διαφορά, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8δ είναι ότι στο έμβολο το υγρό έρχεται σε επαφή και με τις δύο όψεις του, καθώς και στη διάταξη των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως στο χιτώνιο του κυλίνδρου όπου υπάρχουν βαλβίδες και στα δύο τερματικά σημεία της διαδρομής του εμβόλου.

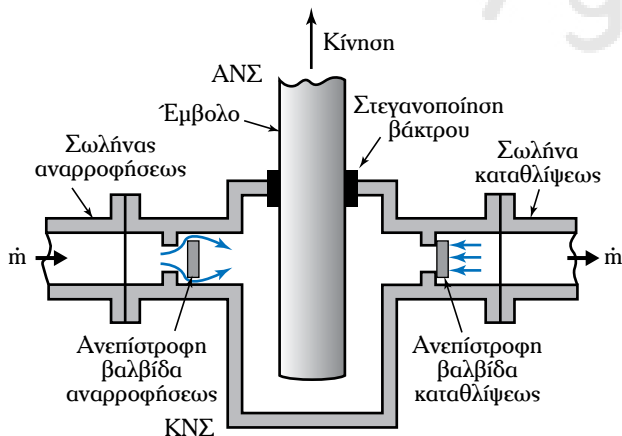
Οι βαλβίδες τοποθετούνται με τέτοιον τρόπο, ώστε όταν το έμβολο κινείται προς τη μία διεύθυνση να αναρροφάται υγρό από την μία πλευρά και ταυτόχρονα να καταθλίβει από την άλλη και αντίθετα.

Η πίεση καταθλίψεως, λόγω της διακυμάνσεως της πίεσης από την παλινδρόμηση του εμβόλου, δεν είναι σταθερή. Γι' αυτόν τον λόγο τοποθετείται στο δίκτυο καταθλίψεως ένας αεροκώδωνας (βλ. παράγρ. 2.8.4), εξομαλύνοντας αυτές τις διακυμάνσεις.

2.8.3 Τα βασικά μέρη μιας εμβολοφόρου αντλίας.

Μία εμβολοφόρος αντλία, αποτελείται από τον κύλινδρο με το χιτώνιο, το έμβολο, τις βαλβίδες, το καπάκι (πώμα) και ανάλογα με τον τρόπο μεταδόσεως της κινήσεως της έχει βάκτρο, άμεσα συνδεδεμένο με το κινητήριο μηχανήμα ή διωστήρα και στρόφαλο όταν το έμβολο κινείται μέσω στροφάλου. Τα βασικά μέρη των εμβολοφόρων αντλιών είναι:

α) Ο κύλινδρος και το χιτώνιο, όπου πραγματοποιείται η αύξηση της πίεσης καταθλίψεως, με αποτέλεσμα να λειτουργεί συνεχώς κάτω από συνθήκες κοπώσεως. Στο σώμα των κυλίνδρων, σε πολλές αντλίες οριζόντιας διατάξεως, υπάρχουν θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως, ενώ στις κάθετες αντλίες οι θυρίδες ή βαλβίδες αναρροφήσεως και κα-



Σχ. 2.8γ
Καταθλιπτική αντλία.

ταθλίψεως τοποθετούνται στο καπάκι του κυλίνδρου.

Ο κύλινδρος συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή ορείχαλκο και χυτοχάλυβα όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν οι αντλίες σε μεγάλες πιέσεις. Για αντλίες με περισσότερα από ένα έμβολα ο κύλινδρος κατασκευάζεται με πολλές εισόδους ίσες με τον αριθμό των εμβόλων. Εσωτερικά, στο σώμα των κυλίνδρων, εφαρμόζονται ορειχάλκινα χιτώνια με μήκος ελαφρώς μεγαλύτερο από τη διαδρομή του εμβόλου, επιτυγχάνοντας την ομαλή λειτουργία της αντλίας. Τα χιτώνια κατασκευάζονται από ορείχαλκο ή Ni-resist¹ και άλλα υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση.

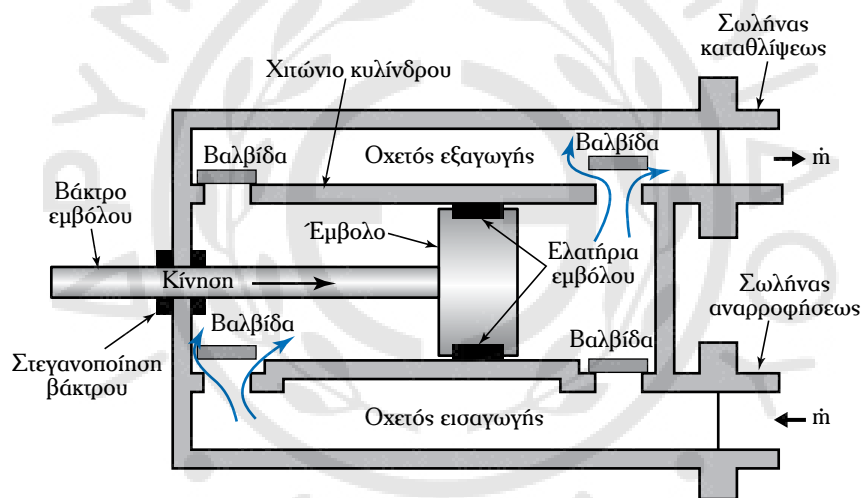
β) Τα **έμβολα**, που αποτελούν την αντλία, και ανάλογα με τον σχεδιασμό ή τον τρόπο λειτουργίας, διακρίνονται σε:

– **Έμβολα βυθίσεως**, έχουν μήκος πολύ μεγαλύτερο απ' τη διάμετρό τους και κατασκευάζονται συμπαγή ή κοίλα. Η στεγανότητα σ' αυτά, λόγω

του μεγάλου μήκους τους, εξασφαλίζεται με την εφαρμογή κατάλληλου στυπιοθλίπτη που βρίσκεται επάνω στον κύλινδρο, στην πλευρά εισόδου του εμβόλου. Το υλικό κατασκευής τους είναι ο ορείχαλκος ή ο ανοξείδωτος χάλυβας.

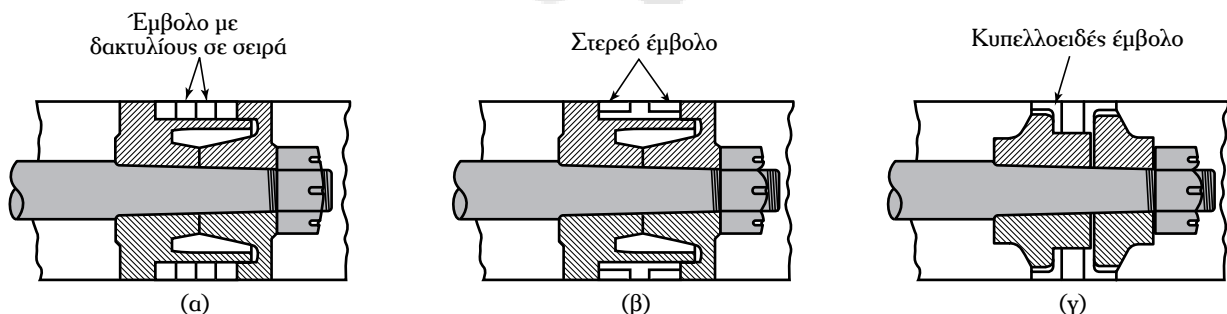
– **Δισκοειδή έμβολα**, που έχουν μικρότερο μήκος από τη διάμετρό τους και οφείλουν το όνομά τους στην ομοιότητά τους με δίσκο. Σχεδιάζονται με διάφορους τύπους, αλλά αυτοί που συνήθως συναντώνται είναι:

- Ο **τύπος εμβόλου με δακτυλίους σε σειρά** (body and follower) [σχ. 2.8ε(α)]. Για τη λειτουργία και τη στεγανοποίηση του εμβόλου, τοποθετούνται σε υποδοχή στο σώμα του δακτύλιου σε σειρά από ινώδες μαλακό υλικό ή από σκληρό συνθετικό (εβονίτη ή άλλο).
- Ο **τύπος στερεού εμβόλου** (solid piston) [σχ. 2.8ε(β)], οι δακτύλιοι του οποίου κα-



Σχ. 2.88

Εμβολοφόρος αντλία διπλής ενέργειας.



Σχ. 2.8ε

Τύποι δισκοειδών εμβόλων.

¹ Ni-resist είναι κράμα χυτοσιδήρου αποτελούμενο από γραφίτη και ωστενίτη.

τασκευάζονται από κυτοσίδηρο, 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 πίεσης του υγρού κάτω από τους δακτυλίους, διατηρεί την επαφή τους με τα χιτώνια, δημιουργώντας την απαραίτητη στεγανότητα.

- Ο **τύπος κυπελλοειδούς εμβόλου** (cup piston) [σχ. 2.8ε(γ)], που αποτελείται από το σώμα και τους δακτυλίους σε σχήμα κυπέλλου. Οι δακτύλιοι κατασκευάζονται από ελαστικό ενισχυμένο με ίνες ή άλλο συνθετικό υλικό.

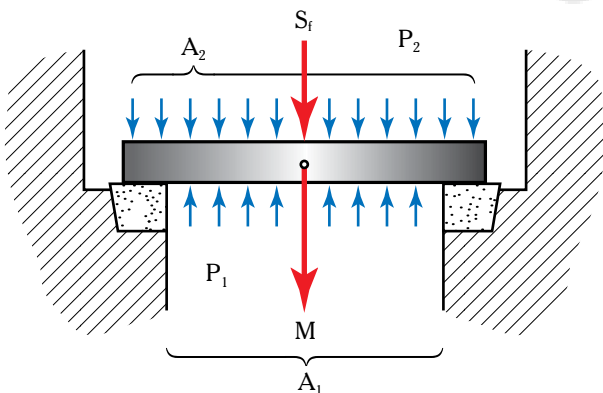
γ) Οι **βαλβίδες**, που ελέγχουν τη ροή του υγρού, το οποίο διακινείται από την αντλία διακρίνονται σε **βαλβίδες αναρροφήσεως** και **βαλβίδες καταθλίψεως** και στην πιο απλή μορφή τους:

- Λειτουργούν με τη δημιουργία κενού, που ανοίγει τη βαλβίδα αναρροφήσεως.
- Λειτουργούν με την πίεση του υγρού που αυξάνεται, καθώς συμπιέζεται από το έμβολο ανοίγοντας τη βαλβίδα καταθλίψεως.
- Μένουν κλειστές και οι δύο βαλβίδες, όταν δεν υπάρχει πίεση.

Μία βαλβίδα είναι κλειστή, όταν οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω και κάτω από αυτήν βρίσκονται σε ισορροπία (σχ. 2.8στ). Η ισορροπία εκφράζεται από τη σχέση:

$$p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2 + S_f + M \quad (39)$$

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 έντα-



Σχ. 2.8στ

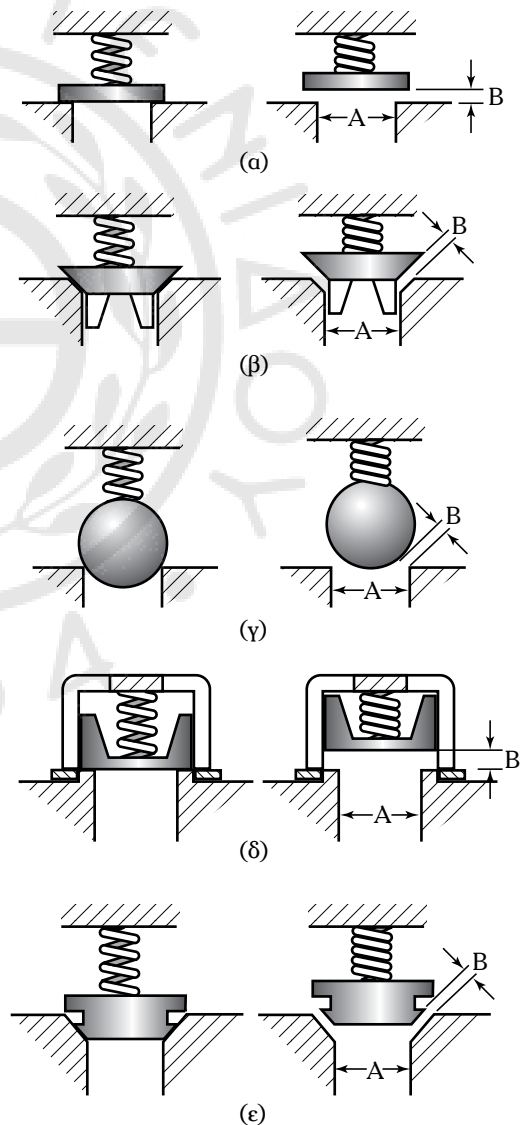
Λειτουργία βαλβίδας.

ση 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) (σχ. 2.8ζ) 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 $1/4 D$ όπου: D η διάμετρος της έδρας της, οπότε για:

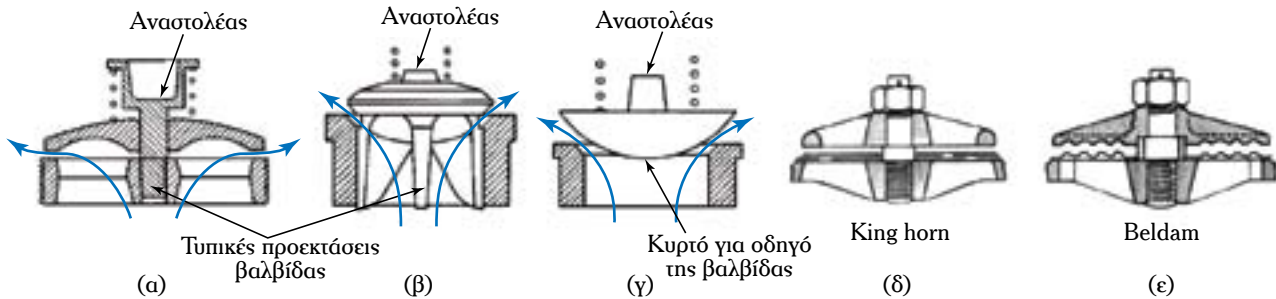
$$\pi \cdot D \cdot h = \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow h = \frac{D}{4} \quad (40)$$

A=Διατομή έδρας
B=Περιοχή διαρροής



Σχ. 2.8ζ

Περιοχή διαρροής για κάθε τύπο βαλβίδας.



Σχ. 2.8n
Τύποι βαλβίδων.

Η περιοχή διαρροής διαφέρει μεταξύ των διαφόρων τύπων βαλβίδων (σχ. 2.8ζ).

Καθώς το υγρό διέρχεται από την περιοχή διαρροής εμφανίζονται απώλειες στην ικανότητα παροχής της αντλίας. Αυτές οφείλονται στις τριβές και στον στροβιλισμό που παρουσιάζει το υγρό λόγω της εκτροπής της φλέβας ροής του. Έτσι, με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι απώλειες, 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 $0,40 \cdot D$.

Στην επάνω επιφάνεια της βαλβίδας υπάρχει σταθερή προεξοχή, που ονομάζεται **αναστολέας** (inhibitor), ώστε να ρυθμίζεται το μέγιστο άνοιγμά της στα επιθυμητά όρια. Στην κάτω πλευρά της, υπάρχει οδηγός είτε με τη μορφή κεντρικού άξονα και κινείται μέσα σε κυλινδρική υποδοχή, είτε με τη μορφή προεκτάσεων τοποθετημένες περιφερειακά στην κάτω πλευρά της βαλβίδας [σχ. 2.8n (α), (β), (γ)].

Το υλικό κατασκευής για επίπεδες και κωνικές βαλβίδες είναι ορείχαλκος, ενώ οι δισκοειδείς μπορεί να κατασκευάζονται από ελαστικό ή δέρμα σε διάφορες μορφές, όπως οι βαλβίδες τύπου King horn [σχ. 2.8n(δ)] και κυματοειδούς τύπου Beldam [σχ. 2.8n(ε)], οι οποίες κατασκευάζονται από ορείχαλκο.

2.8.4 Αεροκώδωνες.

Οι αεροκώδωνες είναι συσκευές που παρέχουν στο υγρό τον τρόπο να συνεχίσει να ρέει στο δίκτυο ενός υδραυλικού συστήματος, όταν πάψει να ενεργεί η ωστική δύναμη που το ωθεί. Αυτό συμβαίνει όταν το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ σε μία εμβολοφόρο αντλία. Έτσι, αποτρέπεται η απότομη μείωση της πίεσης από την ξαφνική διακοπή της ροής του υγρού, ενώ ταυτόχρονα αποφεύγονται οι απώλειες μέρους της ενέργειας που ασκούνται στο

υγρό, σε κάθε αποδοτική διαδρομή¹ του εμβόλου.

Ο αεροκώδωνας αποτελείται από έναν μεταλλικό θάλαμο, που περιέχει υγρό μέχρι μια ορισμένη στάθμη, ενώ ο υπόλοιπος χώρος καταλαμβάνεται από αέρα υπό πίεση. Τοποθετείται μεταξύ της βαλβίδας καταθλίψεως και του στομίου συνδέσεως του δικτύου καταθλίψεως μίας αντλίας ή μεταξύ του στομίου αναρροφήσεως και της βαλβίδας αναρροφήσεως ή μπορεί να τοποθετηθεί και στις δύο πλευρές.

Με την κατάθλιψη από την αντλία κατά τη λειτουργία της, το υγρό που παρέχεται λόγω της αντιστάσεως που συναντά δεν περνάει όλο προς το δίκτυο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ανάλογα και η πίεσή του. Έτσι, μια ποσότητα του υγρού οδηγείται προς τον αεροκώδωνα αυξάνοντας την πίεση του αέρα που υπάρχει μέσα σ' αυτόν, από το ίδιο το υγρό, σε τιμή ανάλογη με την πίεση στη βαλβίδα καταθλίψεως.

Με τη διακοπή της ροής από την αντλία, ο αέρας εκτονώνεται και το συγκεντρωμένο υγρό από τον αεροκώδωνα επιστρέφει στο δίκτυο, επιτυγχάνοντας συνεχή ροή, μέχρι η πίεση στο εσωτερικό του αεροκώδωνα να εξισωθεί με την πίεση του ύψους στήλης υγρού του δικτύου καταθλίψεως. Σ' 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 να εξισωθεί με την πίεση του δικτύου όπου καταθλίβεται το υγρό.

Σε αεροκώδωνες, όταν η πίεση λειτουργίας τους ρυθμίζεται με την παροχή συμπιεσμένου αέρα στον θάλαμο της συσκευής, η πίεση του αέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει την πίεση της στήλης υγρού, διότι ο αέρας εισέρχεται στο δίκτυο μειώνοντας την απόδοση της αντλίας.

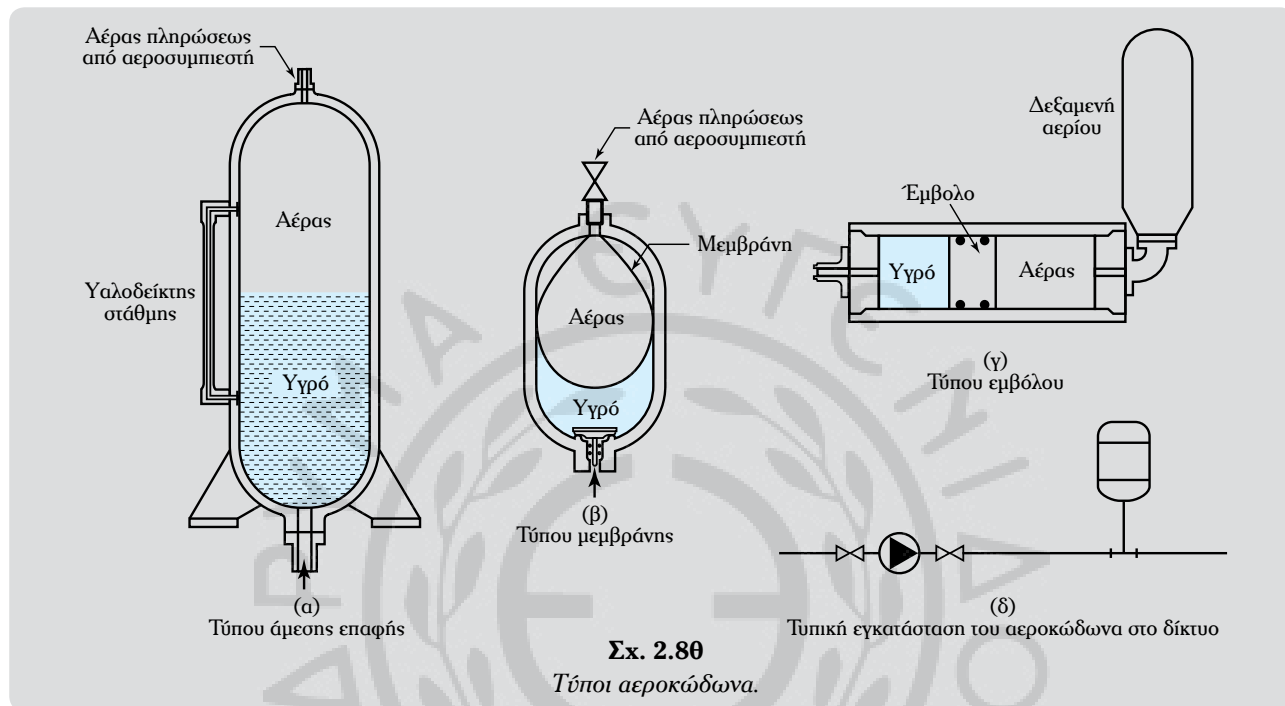
Με την προσθήκη του αεροκώδωνα στην κατάθλιψη της αντλίας επιτυγχάνεται ομαλή και συνεχής ροή, προστατεύοντας το δίκτυο από το υδραυλικό κτύπημα λόγω απότομων διακυμάνσεων στην πίεση του υγρού, ενώ όταν τοποθετούνται στην πλευρά της αναρροφήσεως επιτυγχάνεται η ομαλή εισαγωγή του υγρού στον κύλινδρο της αντλίας, αποτρέποντας τα κτυπήματα στις βαλβίδες και τα καπάκια της.

¹ Αποδοτική διαδρομή είναι η διαδρομή του εμβόλου, όπου υπάρχει κατάθλιψη.

Η στάθμη του υγρού σε μεγάλους αεροκώδωνα (σχ. 2.80) ελέγχεται από υαλοδείκτη, όπου εμφανίζεται η στάθμη εσωτερικά του θαλάμου. Επίσης, φέρουν μανόμετρο ελέγχου της πίεσης, καθώς και εξαεριστικό κρουνό ρυθμιζόμενο να ανοίξει όταν η πίεση αυξηθεί. Σημειώνεται ότι η πίεση ρυθμίσεως του εξαεριστικού δεν πρέπει να υπερβαίνει την πίεση καταθλίψεως της αντλίας, διότι μπορεί να

προκληθούν βλάβες στην αντλία και στο δίκτυο.

Ο ολικός όγκος του αεροκώδωνα είναι 2-4 φορές μεγαλύτερος απ' τον όγκο του κυλίνδρου της αντλίας ή μπορεί να εξαρτάται απ' το μήκος του δικτύου στο οποίο εγκαθίσταται, ενώ ο αεροθάλαμος είναι συνήθως 1,2 – 1,5 φορές μεγαλύτερος απ' τον όγκο που προέρχεται από το έμβολο όταν κινείται μέσα στον κύλινδρο.



Σχ. 2.80

Τύποι αεροκώδωνα.

2.8.5 Χαρακτηριστικές καμπύλες ροής εμβολοφόρων αντλιών.

Η εφαρμογή των εμβολοφόρων αντλιών αφορά σε δίκτυα όπου απαιτείται μεγάλη πίεση καταθλίψεως ή μεταφορά του υγρού σε μεγάλο ύψος, ενώ ταυτόχρονα ο ρυθμός ροής του κυμαίνεται από πολύ χαμηλά έως πολύ υψηλά επίπεδα.

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

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 καταθλίβεται το ρευστό αντιδρά με τη ροή στη δημιουργία πιέσεως¹. Δεδομένου όμως ότι η συχνότητα αυτών των διακυμάνσεων επηρεάζεται απ' τον αριθμό των εμβόλων, η αύξηση του αριθμού τους έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συχνότητας των διακυμάνσεων.

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 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**

¹ Για παράδειγμα με ένα έμβολο οι διακυμάνσεις είναι μεγάλες λόγω διακοπής της καταθλίψεως όταν το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, με δύο έμβολα μειώνονται διότι όταν σταματήσει η κατάθλιψη του ενός εμβόλου αρχίζει η κατάθλιψη από το δεύτερο, με τρία μειώνεται ακόμα περισσότερο κ.λπ..

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 γραμμής που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.81(α), με τη διακύμανση της ροής να συνεχίζεται όπως η διακεκομμένη γραμμή μέχρι να μηδενιστεί, ενώ στη συνέχεια, αυξάνεται λόγω της καταθλίψεως υγρού από την άλλη όψη του εμβόλου. Όμως, με την ύπαρξη αεροκώδωνα στην κατάθλιψη, η ροή ακολουθεί τη συνεχή γραμμή του που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.81(β), με τη διακύμανση να παρουσιάζεται αισθητά μικρότερη.

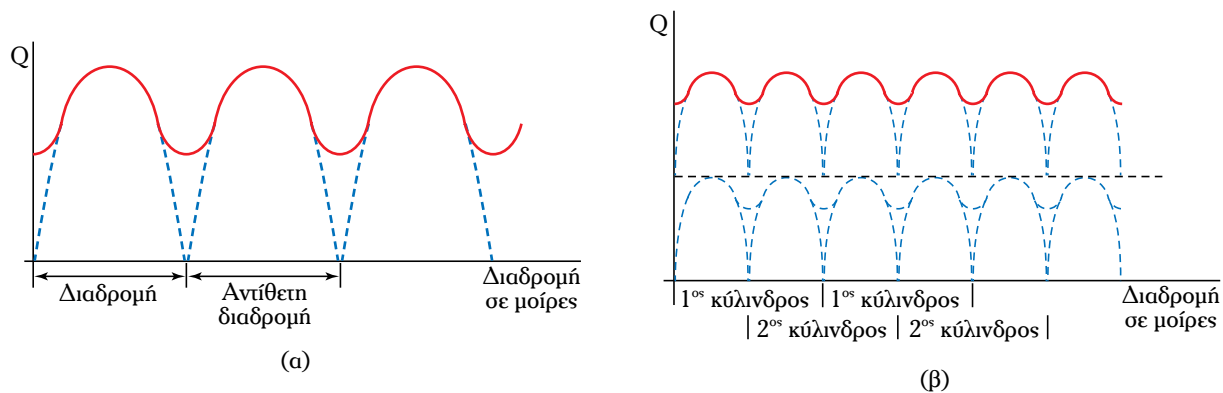
Για **αντλίες με συζευγμένη διάταξη διπλής ενέργειας** (duplex pump), λόγω διαφοράς φάσεως της καταθλίψεως του υγρού από τους κυλίνδρους κατά μισή διαδρομή, το διάγραμμα της ροής θα είχε τη μορφή του που φαίνεται στο σχήμα 2.81(β). Οι καμπύλες καταθλίψεως ροής των δυο κυλίνδρων αποτελούν το άθροισμα καθ' ύψος των καμπυλών, με αποτέλεσμα η ροή να ακολουθεί τη συνεχή γραμμή του διαγράμματος και οι διακυμάνσεις με την εφαρμογή αεροκώδωνα να μειώνονται ακόμα περισσότερο.

Συγκρίνοντας τα σχήματα 2.81(α) και (β), διαπιστώνουμε ότι 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 απ' το σημείο της αντλίας μ' ένα έμβολο.

Για τις στροφαλοκίνητες αντλίες, η διακύμανση της ροής οφείλεται στη χαρακτηριστική κίνηση που μεταδίδεται από τον περιστρεφόμενο στρόφαλο στο

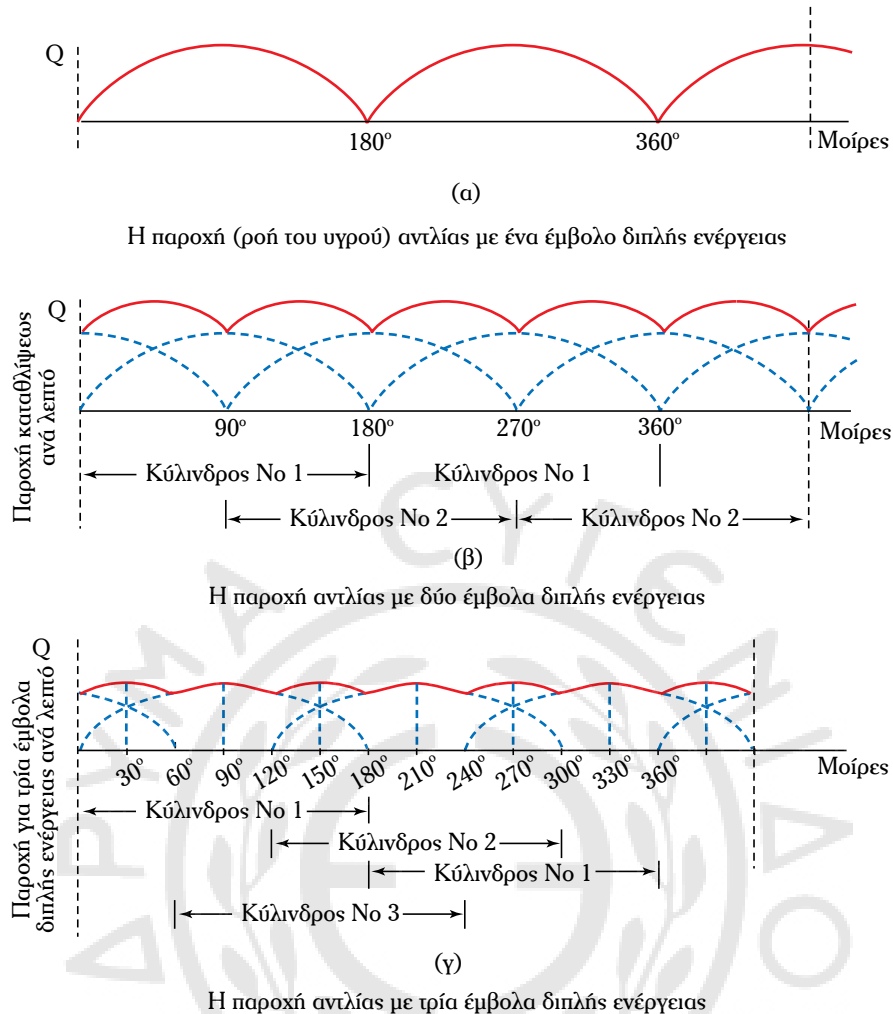
έμβολο μέσω του διωστήρα, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι στιγμιαίες μετακινήσεις του εμβόλου δεν είναι ανάλογες με τις στιγμιαίες γωνίες περιστροφής του στροφάλου. Τότε, η κίνηση του στροφάλου, ο οποίος κινείται με σταθερές στροφές, καθώς μετατρέπονται σε γραμμική κίνηση του εμβόλου, δημιουργεί πάντα μια μεταβαλλόμενη 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. Έτσι, η ποσότητα του υγρού που καταθλίβεται από μια αντλία με ένα **έμβολο διπλής ενέργειας** (simple double – acting pump) έχει τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 2.81α(α). Αντίστοιχα, μία αντλία με δύο έμβολα διπλής ενέργειας, 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, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.81α(β). Η αντλία με τρία έμβολα διπλής ενέργειας έχει τη συνεχή γραμμή που φαίνεται στο σχήμα 2.81α(γ). Διαπιστώνεται ότι με περισσότερους κυλίνδρους το αποτέλεσμα της καμπύλης ροής της καταθλίψεως του υγρού είναι ομαλότερο, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση αεροκώδωνα να μην είναι απαραίτητη. Για μονοκύλινδρες αντλίες απλής ενέργειας το διάγραμμα καταθλίψεως της ροής είναι ανάλογο με το παραπάνω, 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.



Σχ. 2.81

Ροή σε εμβολοφόρες αντλίες.



Σχ. 2.8ια

Ροή σε στροφαλοκίνητες εμβολοφόρες αντλίες.

2.8.6 Παροχή εμβολοφόρων αντλιών.

Η **θεωρητική παροχή** (theoretical flow rate) μιας αντλίας υπολογίζεται σε κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h) ή σε κυβικά μέτρα ανά λεπτό ή δευτερόλεπτο [m^3/min ή m^3/s αντίστοιχα] ή σε κυβικές παλάμες ανά λεπτό (dm^3/min) και εξαρτάται απ' τον τύπο και τον αριθμό των εμβόλων. Ως αποτέλεσμα:

α) Η θεωρητική παροχή Q_θ σε μια αντλία απλής ενέργειας δίνεται απ' τη σχέση:

$$Q_\theta = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot 60 \cdot n \quad \text{σε} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (41)$$

όπου: D η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου, S η διαδρομή του εμβόλου και n ο αριθμός παλινδρομήσεων του εμβόλου.

Το $\frac{\pi}{4} \cdot D^2 = F$, αντιπροσωπεύει την ενεργό επι-

φάνεια του εμβόλου, η οποία μπορεί να γραφεί στη σχέση (41) ως F , ώστε η παροχή δίνεται ως εξής:

$$Q_\theta = F \cdot S \cdot 60 \cdot n \quad \text{σε} \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (42)$$

Σε εμβολοφόρες αντλίες που κινούνται με σρόφαλο, το S στη σχέση (42) ισούται με $2R$ και η σχέση (41) δίνεται ως εξής:

$$Q_\theta = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot 2R \cdot 60 \cdot n \quad \text{ή}$$

$$Q_\theta = \frac{\pi}{2} \cdot D^2 \cdot R \cdot 60 \cdot n \quad \text{σε} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (43)$$

β) Για εμβολοφόρες αντλίες διπλής ενέργειας, όπου d η διάμετρος του διωστήρα του εμβόλου, ο όγκος του υγρού που μετατοπίζεται σε κάθε εμβολισμό είναι $\frac{\pi}{4} D^2 \cdot S$ κατά τη μια φορά, που κινείται

από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ. Στην αντίθετη φορά (από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ) λόγω του διωστήρα του εμβόλου, ο όγκος υγρού που μετατοπίζεται είναι:

$$\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot S,$$

ώστε η ενεργός επιφάνεια του εμβόλου

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D^2 - \frac{d^2}{2} \right) \cdot S$$

και η θεωρητική παροχή δίνεται απ' τη σχέση:

$$Q_\theta = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D^2 - \frac{d^2}{2} \right) \cdot S \cdot 60 \cdot n \text{ σε } m^3/h$$

$$\text{ή } Q_\theta = 2F \cdot S \cdot 60 \cdot n.$$

γ) Για αντλίες με περισσότερους κυλίνδρους και με τα έμβολα τους να κινούνται από τον ίδιο στροφαλοφόρο άξονα, η συνολική παροχή της αντλίας υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη σχέση της παροχής με τον αριθμό των εμβόλων.

Η θεωρητική παροχή της αντλίας προκύπτει από τα γεωμετρικά της στοιχεία, χωρίς να υπολογίζονται διάφορες απώλειες, που υπάρχουν από διαρροή στις βαλβίδες, διότι στην πραγματικότητα δεν είναι απόλυτα στεγανές, από τα έμβολα, τους στυπιοθλίπτες κ.ά.. Επομένως, η πραγματική παροχή Q είναι μικρότερη της θεωρητικής Q_θ , λόγω των διαρροών. Οι απώλειες αυτές μετρώνται από τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως της αντλίας, ο οποίος δίνεται από τον λόγο της πραγματικής προς τη θεωρητική παροχή (σχέση 28). Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως η_V , η πραγματική παροχή της αντλίας δίνεται ως:

$$Q_n = \eta_V \cdot Q_\theta \quad (45)$$

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

2.8.7 Εμβολοφόρες αντλίες πλοίων.

Οι εμβολοφόρες ή αντλίες, που συνήθως χρησιμοποιούνται στα πλοία, σύμφωνα με τη διαθέσιμη ενέργεια και τον σκοπό που εξυπηρετούν διακρίνονται σε:

1) Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως.

α) Λειτουργία.

Το μέσο κινήσεως για τη λειτουργία των αντλιών

αυτών είναι ο ατμός που παρέχεται στον κύλινδρο ατμού. Αποτελούνται από:

α) Έναν ή περισσότερους κυλίνδρους ατμού σε οριζόντια ή παράλληλη διάταξη με κατάλληλες συνδέσεις εισαγωγής και εξαγωγής του ατμού.

β) Το έμβολο του ατμού με τα ελατήρια.

γ) Το βάκτρο άμεσης μεταδόσεως στο οποίο συνδέονται το έμβολο ατμού και το υγρό έμβολο (έμβολο διακινήσεως του υγρού της αντλίας-υγρέμβολο) του κυλίνδρου της αντλίας.

δ) Τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του ατμού λειτουργίας.

ε) Τον μηχανισμό χειρισμού του ατμού λειτουργίας, που μετακινεί τη βαλβίδα ατμού στη σωστή σειρά για την παραγωγή της παλινδρομικής κινήσεως.

στ) Τους κυλίνδρους μεταφοράς ρευστού της αντλίας, οι οποίοι είναι ένας ή δύο σε οριζόντια ή παράλληλη διάταξη.

Κατά τη λειτουργία μίας αντλίας ατμού, η κίνηση του εμβόλου διπλής ενέργειας επιτυγχάνεται με την παροχή επαρκούς πίεσεως ατμού σε μια πλευρά του εμβόλου, ενώ ταυτόχρονα εξέρχεται ο ατμός που υπάρχει στην άλλη πλευρά του. Η εκτόνωση του ατμού είναι πολύ μικρή κατά την είσοδό του στον χώρο του κυλίνδρου, διότι η παροχή του γίνεται με σταθερό ρυθμό σ' όλη τη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας.

Η αποφυγή συγκρούσεως των κινουμένων μερών (δηλ. το έμβολο ατμού ή το υγρό έμβολο, καθώς και του βάκτρου άμεσης συνδέσεώς τους), λόγω ελλείψεως μηχανικού τέρματος στο τέλος κάθε διαδρομής, επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση διανομής του ατμού. Η απόσβεση της εντάσεως στην κίνηση του εμβόλου, πραγματοποιείται καθώς καλύπτονται από το έμβολο οι θυρίδες εξαγωγής στο τέλος κάθε διαδρομής του, ώστε ένα μέρος του ατμού να παγιδεύεται μεταξύ του εμβόλου ατμού και του σώματος του κυλίνδρου. Μετά τη σύντομη παύση στο τέλος της διαδρομής, ο ατμός που εισέρχεται στην αντίθετη πλευρά του το πιέζει αναγκάζοντάς το να κινηθεί στην αντίθετη κατεύθυνση.

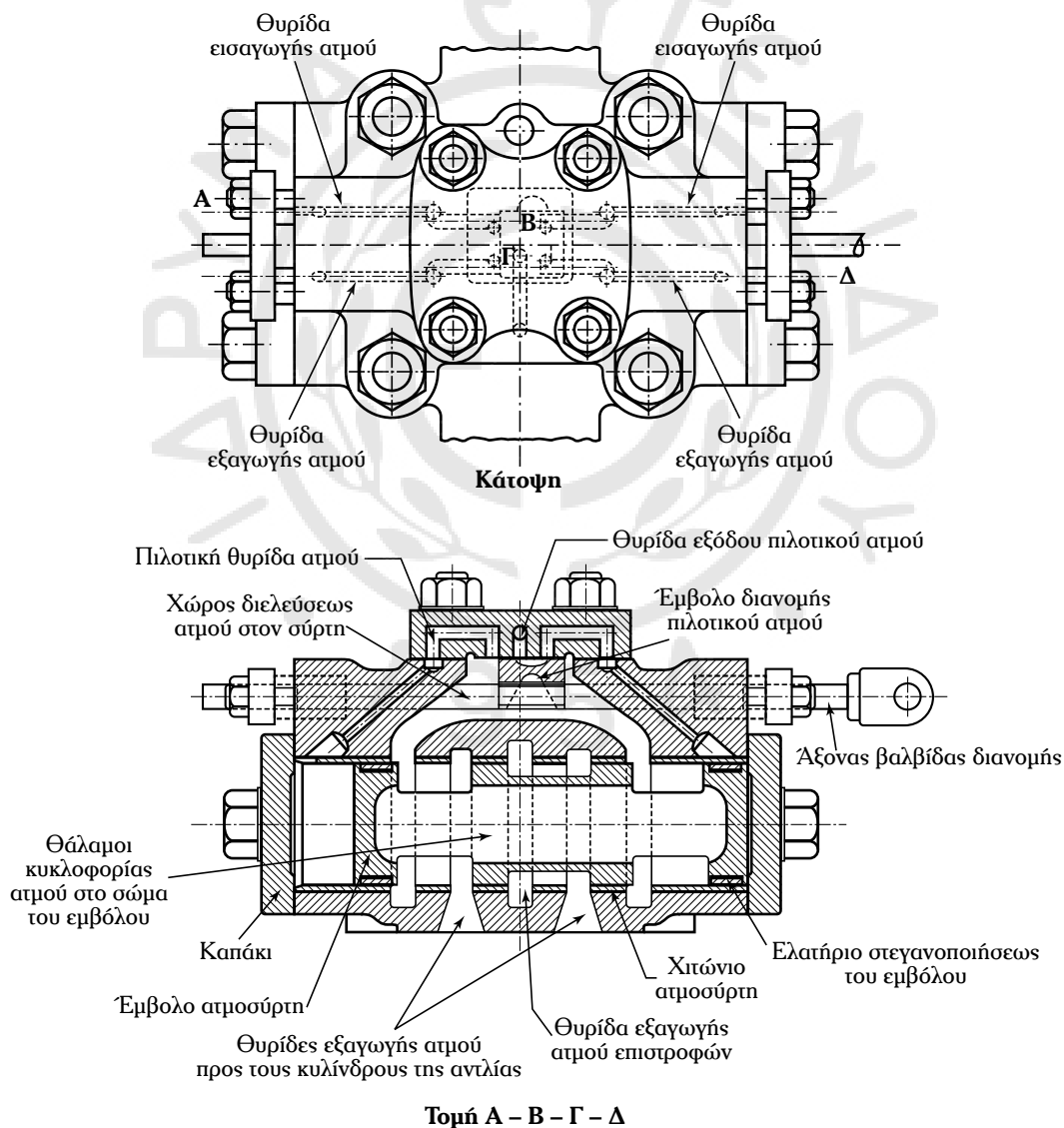
Η παροχή στις βαλβίδες ατμού ελέγχεται από μηχανισμό διανομής, ο οποίος ρυθμίζει την παλινδρομική κίνηση. Η λειτουργία των μηχανισμών διανομής διαφέρει μεταξύ των τύπων των αντλιών και εξαρτάται απ' τον αριθμό κυλίνδρων. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι:

α) Ο **μηχανισμός διανομής ατμού στη βαλβίδα απλής διατάξεως** (simplex) (σχ. 2.8ιβ). Αυτός

δεν μπορεί να λειτουργήσει μηχανικά διότι η βαλβίδα παροχής ατμού στον κύλινδρο ελέγχεται με τον μηχανισμό διανομής συνδεδεμένο στο βάκτρο του εμβόλου του ίδιου κυλίνδρου. Κατά συνέπεια, ο έλεγχος της βαλβίδας δεν γίνεται άμεσα από την κίνηση του βάκτρου στη θυρίδα εισαγωγής ατμού 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 αυτός να παρέχεται εναλλάξ στα δύο άκρα της κεντρικής βαλβίδας. Η διάταξη του (σχ. 2.8ιβ) αποτελεί έναν από τους διαθέσιμους μηχανισμούς αυτής της λειτουργίας.

Με την πιλοτική βαλβίδα στην δεξιά θέση ο ατμός λειτουργίας από το δίκτυο ρέει μέσω των θυρίδων μετακινώντας την κύρια βαλβίδα δεξιά, ώστε ο ατμός διερχόμενος απ' τις θυρίδες της κύριας βαλβίδας να εισέρχεται στη θυρίδα αριστερά του κυλίνδρου. Ταυτόχρονα, η πιλοτική βαλβίδα συνδέει τον χώρο δεξιά της κύριας βαλβίδας με την θυρίδα εξαγωγής, όπου ελευθερώνεται ο παγιδευμένος ατμός, ενώ στο κάτω σημείο το έμβολο της κύριας βαλβίδας εξωτερικά συνδέει τη θυρίδα του ατμού εισαγωγής με τη θυρίδα ατμού εξαγωγής.

Το έμβολο του ατμού στον κύλινδρο κινείται προς τα δεξιά, ενώ μέσω της συζευγμένης συνδέσεως με



Σχ. 2.8ιβ
Μηχανισμός διανομής ατμού.

το βάκτρο του εμβόλου, η πιλοτική βαλβίδα κινείται αριστερά. Σ' αυτήν τη θέση, ο προηγούμενος κύκλος, με την πιλοτική βαλβίδα δεξιά, επαναλαμβάνεται. Ο ατμός ρέει στο αριστερό άκρο της κύριας βαλβίδας και ο ατμός λειτουργίας διέρχεται από τις θυρίδες που θα μετακινήσουν το έμβολο του ατμού στην αντίθετη κατεύθυνση. Επειδή η κύρια βαλβίδα λειτουργεί με την παροχή ατμού έχει μόνο δύο θέσεις λειτουργίας, δεξιά ή αριστερά μέσα στο σώμα του κυλίνδρου, χωρίς κάποιο ενδιάμεσο νεκρό σημείο, ώστε ο ατμός ρέει προς τη μία ή προς την άλλη πλευρά του εμβόλου ανάλογα με τη θέση του.

Η ρύθμιση όλων των βαλβίδων γίνεται εξωτερικά απ' το σώμα των βαλβίδων, παρέχοντας τη δυνατότητα η αντλία να ρυθμίζεται ακόμα και όταν βρίσκεται σε λειτουργία.

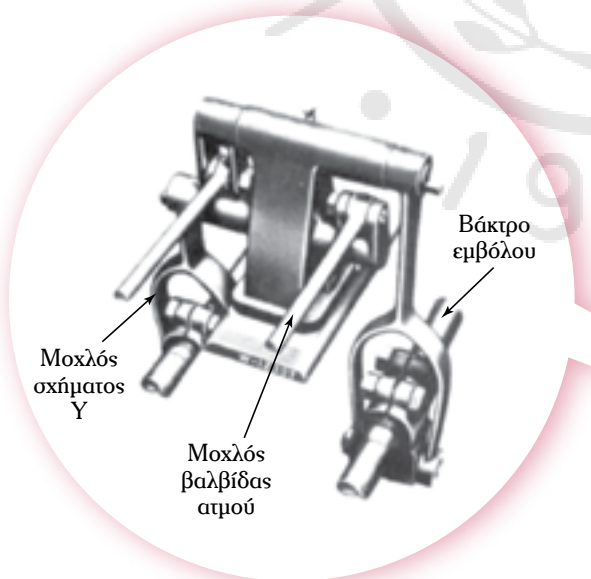
β) Ο **μηχανισμός διανομής ατμού στη βαλβίδα συζευγμένης διατάξεως** (duplex), ο οποίος αφορά σε αντλίες με δυο κυλίνδρους σε παράλληλη διάταξη, που λειτουργούν σε συνδυασμό, ως ενιαία μονάδα. Το βάκτρο του εμβόλου σ' έναν κύλινδρο της αντλίας, κατά τον κύκλο λειτουργίας του, επιδρά στη βαλβίδα ατμού ελέγχοντας την εισαγωγή ή την εξαγωγή του ατμού στον άλλο κύλινδρο της αντλίας (σχ. 2.8γ).

Ο **μοχλός σχήματος Υ** (wish bone-shaped) του βάκτρου της μίας πλευράς είναι συνδεδεμένος

με άξονα στη βαλβίδα παροχής ατμού στο δεύτερο κύλινδρο και μέσω άλλου μοχλού γίνεται η αντίστοιχη σύνδεση του πρώτου κυλίνδρου. Έτσι, όταν το πρώτο έμβολο έχει ολοκληρώσει τη διαδρομή του, πρέπει να σταματήσει μέχρι η δική του βαλβίδα παροχής ατμού να ενεργοποιηθεί απ' την κίνηση του βάκτρου του δεύτερου εμβόλου. Επειδή μία απ' τις δυο βαλβίδες ατμού είναι πάντα ανοικτή, δεν υπάρχει νεκρό σημείο, με αποτέλεσμα η αντλία να ξεκινάει άμεσα με την παροχή ατμού. Οι κινήσεις των δύο εμβόλων είναι συγχρονισμένες, παρέχοντας μία στρωτή ροή του υγρού χωρίς υπερβολικές δονήσεις και διακοπές.

γ) Οι **επίπεδες ολισθαίνουσες βαλβίδες διανομής ατμού** (flat slide steam valves). Σ' αυτές ο ατμός εισέρχεται στην αντλία μέσω δύο εξωτερικών θυρίδων στην κορυφή του κυλίνδρου ατμού, ενώ η εξαγωγή επιτυγχάνεται μέσω των κεντρικών θυρίδων (σχ. 2.8δ). Οι βαλβίδες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται στις περισσότερες αντλίες διπλής ενέργειας. Το τύπου *D* καπάκι των ατμοθυρίδων ολισθαίνει πάνω στο επίπεδο τμήμα (καθρέπτη), που βρίσκονται αυτές, ώστε το ζύγωμα της αντλίας να κινεί τον ατμοσύρτη της άλλης. Η πίεση, η οποία ασκείται στο επάνω μέρος της βαλβίδας απ' τον ατμό την κρατάει σε επαφή με τον καθρέπτη.

Χρησιμοποιούνται σε πιέσεις ατμού έως 17 bar

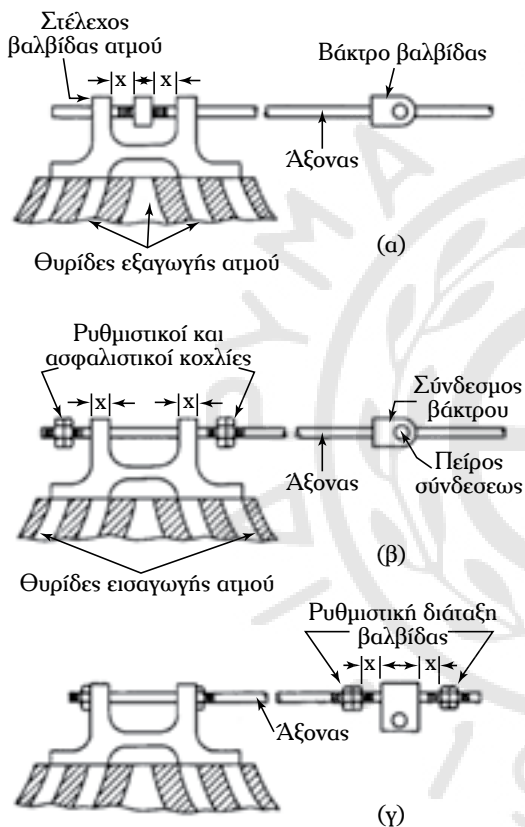


Σχ. 2.8γ

Σύζευξη βάκτρων εμβόλων (Worthington reciprocating pump).

και η ρύθμισή τους επιτυγχάνεται απ' τον άξονα που εικονίζεται στο σχήμα 2.8ιδ(γ). Η διάρκεια αποδοτικής λειτουργίας τους λόγω της τριβής των επιφανειών επεκτείνεται όταν επιτρέπεται η λίπανση των εφαιπομένων επιφανειών.

Σε μεγάλες αντλίες, η πίεση του ατμού λειτουργίας τους αυξάνεται, οπότε ανάλογα αυξάνεται και η δύναμη που απαιτείται για την κίνηση αυτού του τύπου της βαλβίδας προκαλώντας αστάθεια στην λειτουργία της. Για τον λόγο αυτό σε μεγάλες αντλίες χρησιμοποιούνται βαλβίδες των άλλων τύπων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα.



Σχ. 2.8ιδ

Λεπτομέρεια ολισθαίνουσας βαλβίδας διανομής ατμού.

Στις **αντλίες δύο κυλίνδρων σε σύζευξη** (duplex steam pumps) όπου η ολισθαίνουσα βαλβίδα διανομής του ατμού δεν παρέχει την απαραίτητη ισορροπία στην κίνηση των εμβόλων λόγω του μεγάλου μεγέθους της χρησιμοποιείται βαλβίδα εξισορροπήσεως (σχ. 2.8ιε), η οποία μπορεί να λειτουργήσει χωρίς λίπανση σε πιέσεις και θερμοκρασίες πάνω από 17 bar και 250°C αντίστοιχα. Σε πολύ μεγάλες πιέσεις ένα μηχανικό σύστημα διακόπτει την παροχή του ατμού οδηγούμενο απ' το έμβολο, καθώς περνάει από τις θυρίδες ατμού.

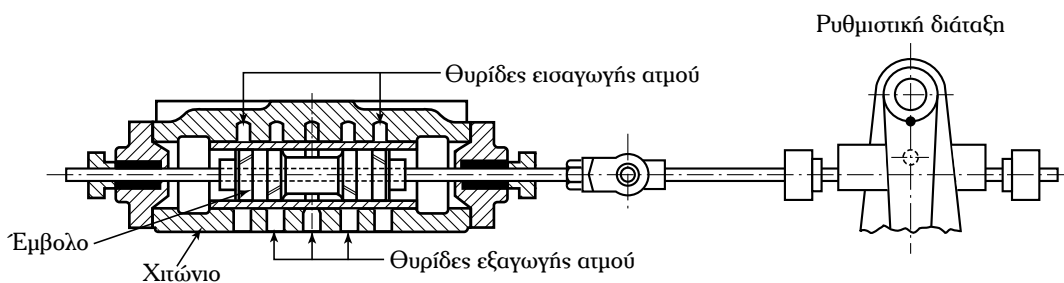
β) Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μεταδόσεως που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

Οι αντλίες άμεσης μεταδόσεως με ατμό χρησιμοποιούνται ως τροφοδοτικές νερού στους λέβητες, ως αντλίες μεταφοράς και καταθλίψεως πετρελαίου στους καυστήρες, ως αντλίες κύτους και πυρκαγιάς, πόσιμου νερού κ.λπ., με χαρακτηριστικό τύπο την τροφοδοτική αντλία Worthington και την αντλία Weir.

α) Η **τροφοδοτική αντλία τύπου Worthington** χρησιμοποιείται ως βοηθητική στα δίκτυα ατμού. Η κατασκευή και η ζεύξη τους παρουσιάζονται στο σχήμα 2.8ιστ και τοποθετούνται σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη. Είναι αντλίες διπλής ενέργειας εμβόλων, και όταν είναι σε ζεύξη, η κίνηση των εμβόλων πραγματοποιείται μέσω της συζευγμένης συνδέσεως των βάρων, που ρυθμίζουν την παροχή του ατμού. Ο μηχανισμός διανομής του ατμού είναι τύπου με ολισθαίνουσες βαλβίδες.

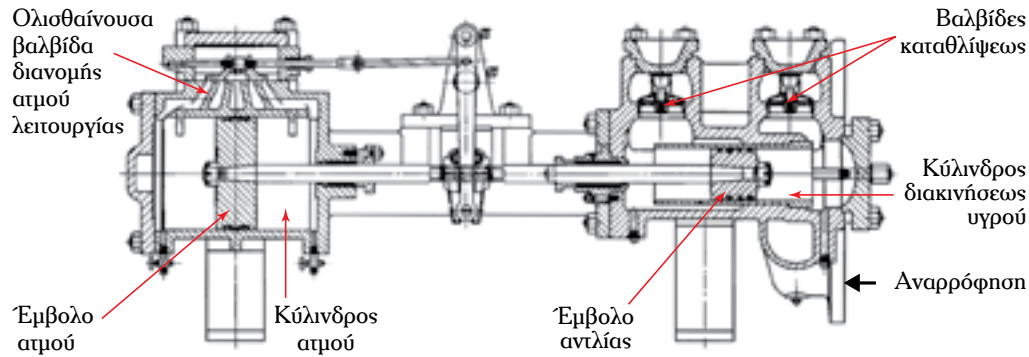
Η προστασία από την πρόσκρουση των εμβόλων στο καπάκι του κυλίνδρου επιτυγχάνεται με τον εγκλωβισμό μέρους του ατμού από το έμβολο, το οποίο καλύπτει τις θυρίδες καταθλίψεως, καθώς πλησιάζει στο τέλος της διαδρομής του και συμπιέζοντας τον εγκλωβισμένο ατμό βοηθάει στην ομαλή αλλαγή της πορείας του εμβόλου στα νεκρά σημεία.

β) Η **αντλία ή ιππάριο τύπου Weir** (σχ. 2.8ιζ) είναι κάθετου τύπου μονοκύλινδρη όταν οι απαιτή-



Σχ. 2.8ιε

Ολισθαίνουσα βαλβίδα διανομής ατμού υψηλής πίεσης.



Τομή βοηθητικής αντλίας σε οριζόντια διάταξη

Σχ. 2.8ιστ*Βοηθητική αντλία ατμού Worthington.*

σεις παροχής είναι μικρές και δικύλινδρη όταν οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες. Είναι διπλής ενέργειας, με χωριστές βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως σε κάθε πλευρά του εμβόλου και ταχύτητα που κυμαίνεται από 25-40 πλήρεις διαδρομές ή εμβολισμούς το λεπτό. Η διατομή του κυλίνδρου ατμού είναι διπλάσια περίπου απ' την διατομή του κυλίνδρου υγρών, ώστε η συνολική δύναμη που μεταβιβάζεται μέσω του βάκτρου στη μικρότερη επιφάνεια του εμβόλου υγρών της αντλίας να προκαλεί πολύ μεγαλύτερη αύξηση στην πίεση του υγρού απ' αυτήν που έχει ο ατμός.

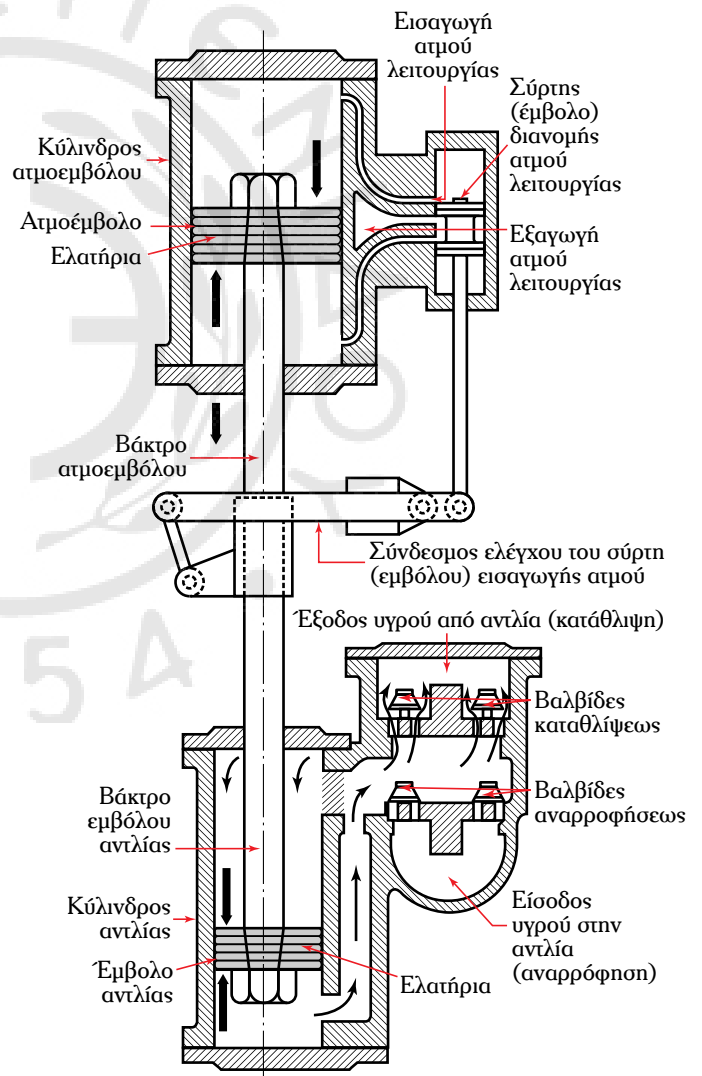
Η αύξηση στην πίεση του υγρού είναι απαραίτητη, ειδικά όταν η αντλία χρησιμοποιείται ως τροφοδοτική νερού στον λέβητα, όπου το νερό κατά την εισαγωγή του πρέπει να υπερνικήσει την πίεση του ατμού. Ο μηχανισμός διανομής του ατμού είναι απλής διατάξεως.

γ) Λειτουργία κυλίνδρων υγρών στις αντλίες ατμού.

Η αναρρόφηση και η κατάθλιψη του υγρού στον κύλινδρο της αντλίας, πραγματοποιείται μέσω βαλβίδων ή θυρίδων που είναι τοποθετημένες είτε στο σώμα του κυλίνδρου, είτε πάνω στο έμβολο. Η λειτουργία τριών αντλιών, που συνήθως συναντώνται σε ναυτικές εγκαταστάσεις παρουσιάζεται αμέσως:

α) Η **αντλία απλής ενέργειας με τρεις σειρές βαλβίδων**, που τοποθετούνται επάνω στο έμβολο (σχ. 2.8ιζ).

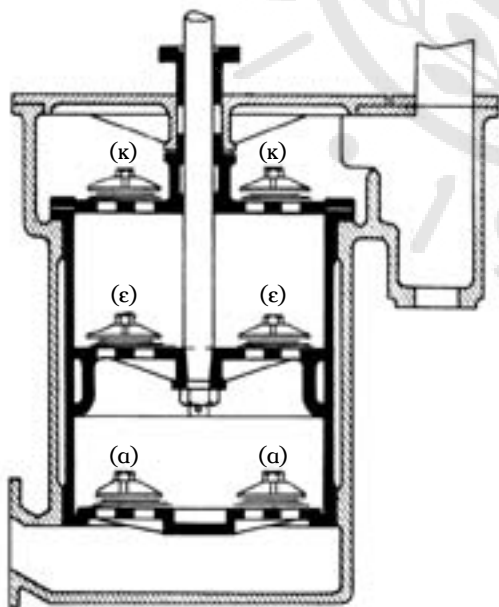
Το υγρό, με την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου, εισέρχεται στον κύλινδρο απ' τις βαλβίδες της αναρροφήσεως (α) λόγω του κενού που δημιουργείται από την κίνηση του εμβόλου προς το ΑΝΣ.

**Σχ. 2.8ιζ***Ινπάριο τύπου Weir (κάθετη διάταξη).*

Στη συνέχεια, καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, πιέζοντας το υγρό που έχει γεμίσει τον χώρο κάτω από το έμβολο, διέρχεται μέσω των βαλβίδων στην πάνω πλευρά του (ε). Καθώς η κίνηση επαναλαμβάνεται, το υγρό που βρισκόταν στην πάνω πλευρά του εμβόλου πιέζεται και καταθλίβεται απ' τις βαλβίδες του κυλίνδρου (κ), ενώ ταυτόχρονα αναρροφά νέο υγρό μέσω της βαλβίδας (α). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε κάθε παλινδρομική κίνηση του εμβόλου (σχ. 2.8in).

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 χαμηλά. Τα βάρη 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.

β) **Οι αντλίες με θυρίδες τύπου Edwards** (σχ. 2.8iθ). Το νερό στην αντλία 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, το οποίο ακολουθώντας την κοιλότητα του κυλίνδρου εκτινάσσεται περιφερειακά και εισέρχεται στο επάνω μέρος του εμβόλου.



Σχ. 2.8in

Αντλία με τρεις βαλβίδων στο έμβολο.

(α) Βαλβίδα αναρρόφησης, (ε) βαλβίδα εμβόλου (κ) βαλβίδα καταθλίψεως.

Καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, αποκαλύπτοντας τις θυρίδες του κυλίνδρου μαζί με το υγρό παρασύρεται και αέρας. Το υγρό μαζί με τον αέρα συμπιέζονται και καταθλίβεται, με την κίνηση του εμβόλου απ' 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.

γ) **Δίδυμη ή διπλή αεραντλία** (dual air pump) ή **δίδυμη αεραντλία weir**.

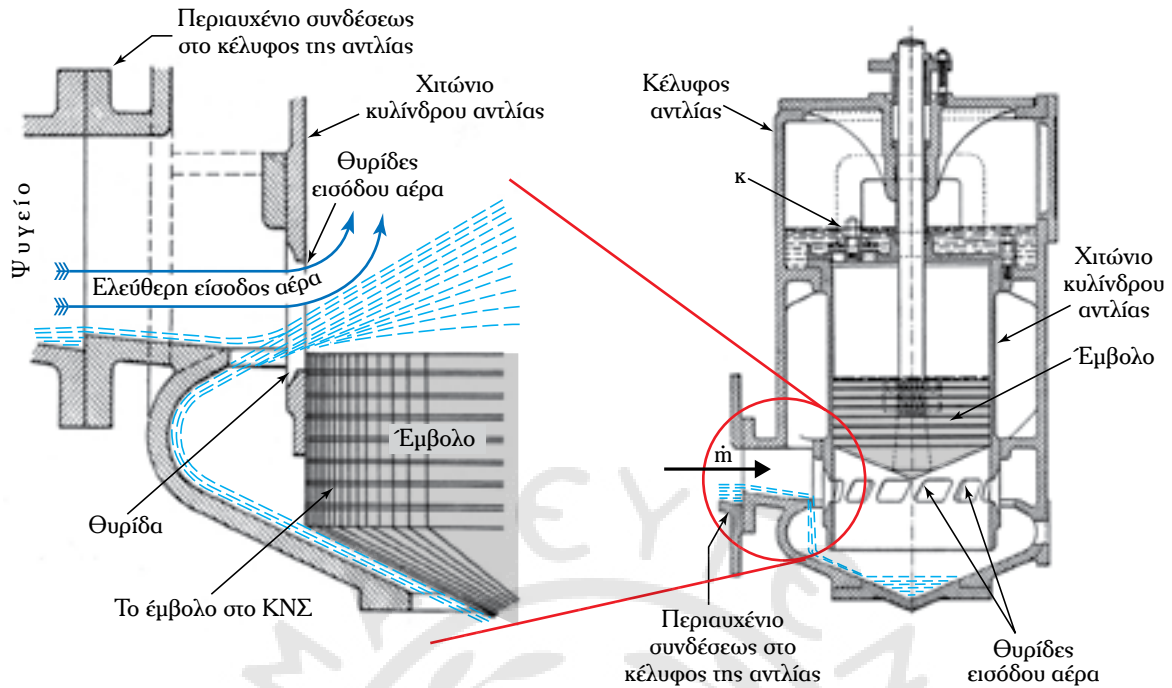
Συναντάται κυρίως σε παλαιότερες εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων, εξυπηρετώντας τις ανάγκες υψηλού κενού. Αποτελείται από μία αντλία (Α), η οποία χρησιμοποιείται για την αναρρόφηση του αέρα από το ψυχρότερο μέρος του ψυγείου και ονομάζεται **ξηρή**, ενώ η αναρρόφηση του συμπυκνώματος πραγματοποιείται από ιδιαίτερη αντλία σε παράλληλη διάταξη με την πρώτη που ονομάζεται **αντλία υγρών** (Β).

Η διάταξη των αντλιών εικονίζεται στο σχήμα 2.8κ, με τις δύο αντλίες σε παράλληλη διάταξη. Η κίνηση της αντλίας επιτυγχάνεται από κύλινδρο ατμού, με το βάρη του συνδεδεμένο στο έμβολο της υγρής αντλίας, ενώ το ίδιο βάρη του εμβόλου ατμού μέσω ζυγού κινεί την ξηρή αντλία, ώστε τα δύο έμβολα στις αντλίες να κινούνται αντίθετα.

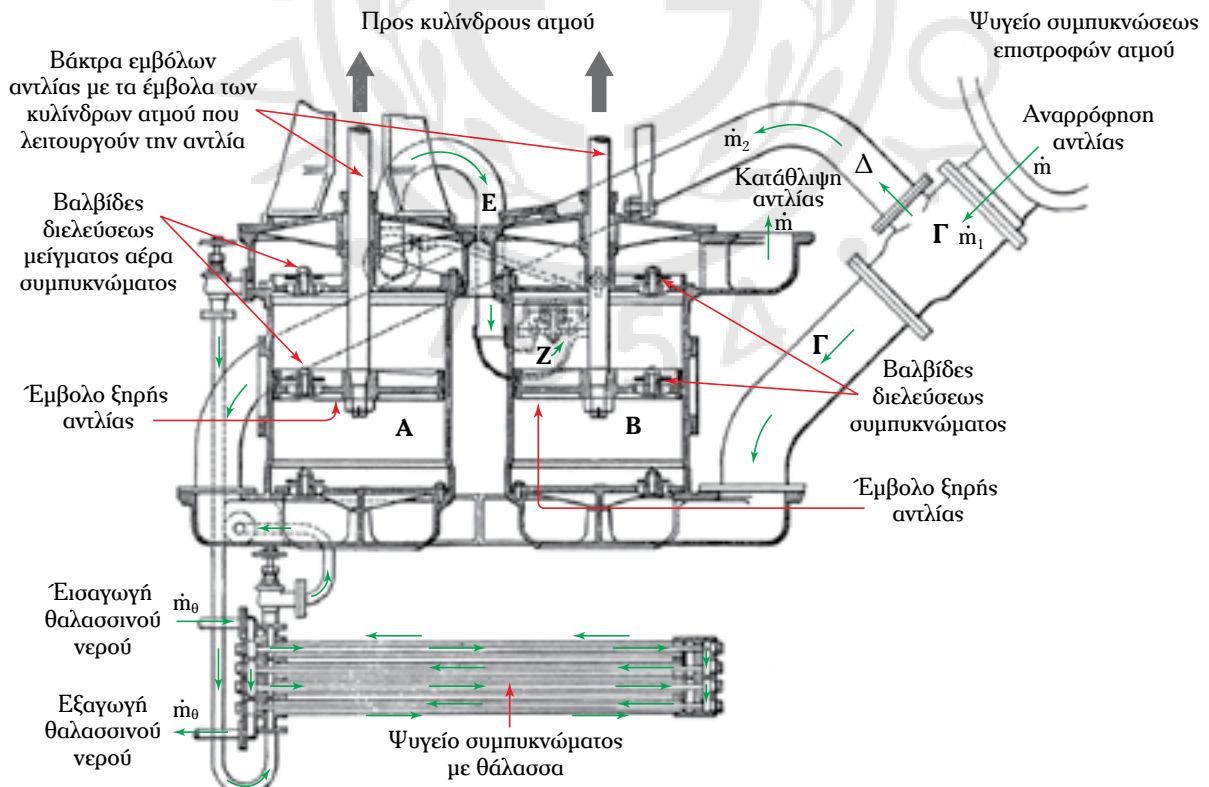
Η υγρή αντλία Β αναρροφά το συμπύκνωμα και μέρος του αέρα μέσω του σωλήνα Γ, ενώ η ξηρή αντλία Α αναρροφά μόνο αέρα και μη συμπυκνωμένους ατμούς απ' το υψηλότερο σημείο μέσω του αγωγού Δ. Η όλη εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με ψυγείο, που λειτουργεί με θαλασσινό νερό.

Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, ο αέρας που αναρροφάται αναμειγνύεται με νερό απ' 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 από θάλασσα και στη συνέχεια αναρροφάται απ' την ξηρή αεραντλία. Το μείγμα αέρα και συμπυκνώματος οδηγείται ξανά μέσω του σωλήνα στο ψυγείο της θάλασσας, όπου ψύχεται εκ νέου δημιουργώντας συνεχή επανακυκλοφορία.

Το πλεόνασμα συμπυκνώματος αέρα που δημιουργείται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας, οδηγείται μέσω βαλβίδας καταθλίψεως στο επάνω μέρος του εμβόλου της υγρής αντλίας. Στη συνέχεια, καταθλίβεται με το υπόλοιπο συμπύκνωμα που



Σχ. 2.8ιθ
Αντλία τύπου Edwards.



Σχ. 2.8κ
Δίδυμη αεραντλία.

αναρροφάται από την υγρή αντλία προς το θερμοδοχείο ή τη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού.

Οι κύλινδροι των δύο αντλιών διαθέτουν αναπνευστική βαλβίδα, που παραμένει κλειστή στην ξηρή αεραντλία, ενώ στην υγρή ανοίγεται σε περίπτωση ανάγκης προς αποφυγή κύπνων. Σ' αυτήν την αντλία, λόγω της επανακυκλοφορίας και της ψύξεως του συμπυκνώματος από το ψυγείο θαλάσσης, επιτυγχάνεται χαμηλότερη θερμοκρασία του μείγματος αέρα-συμπυκνώματος. Ο κύλινδρος ατμού, που δίνει κίνηση στην αντλία, είναι ίδιος μ' αυτόν στα ιππάρια Weir, ενώ όταν στο σύστημα προστίθεται εκχυτήρας η διάταξη ονομάζεται **αντλία με εκχυτήρα Weir-Paragon**.

Η χρήση των αντλιών ατμού άμεσης μεταδόσεως παρέχει τη δυνατότητα η πίεση και η ροή του υγρού να πραγματοποιείται σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ των ορίων που προβλέπονται απ' 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 απ' 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 που είναι σχεδιασμένο το έμβολο να αναπτύξει στον κύλινδρο των υγρών. Η τιμή αυτή περιορίζεται από τη διαθέσιμη πίεση του ατμού ή από τον λόγο διαφοράς στη διατομή του εμβόλου ατμού με το έμβολο στον κύλινδρο της αντλίας που διακινεί το υγρό.

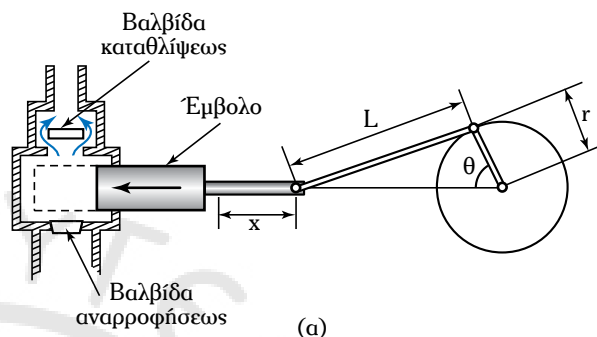
2) Στροφαλοκίνητες-εμβολοφόρες αντλίες με σύστημα στροφάλου-διωστήρα ζυγώματος-βάκτρον.

Οι στροφαλοκίνητες αντλίες είναι αντλίες με έμβολο που κινείται μέσω στροφάλου διωστήρα και βάκτρον (σχ. 2.8κα). Η περιστροφική κίνηση του στροφάλου γίνεται γραμμική στο βάκτρο του εμβόλου, το οποίο μπορεί να είναι απλής ενέργειας, έμβολο διπλής ενέργειας δισκοειδές ή έμβολο βυθίσεως ανάλογα με τον τύπο της αντλίας. Τα έμβολα κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο, ορείχαλκο ή χάλυβα με δακτυλίους στεγανοποίησης από ενισχυμένο ελαστομερές. Τα χιτώνια των αντλιών αποτελούνται από μέταλλο Niresist, ενώ στην ευθυγράμμιση της κινήσεως του εμβόλου μπορεί να υπάρχουν αρθρώσεις στη σύνδεση

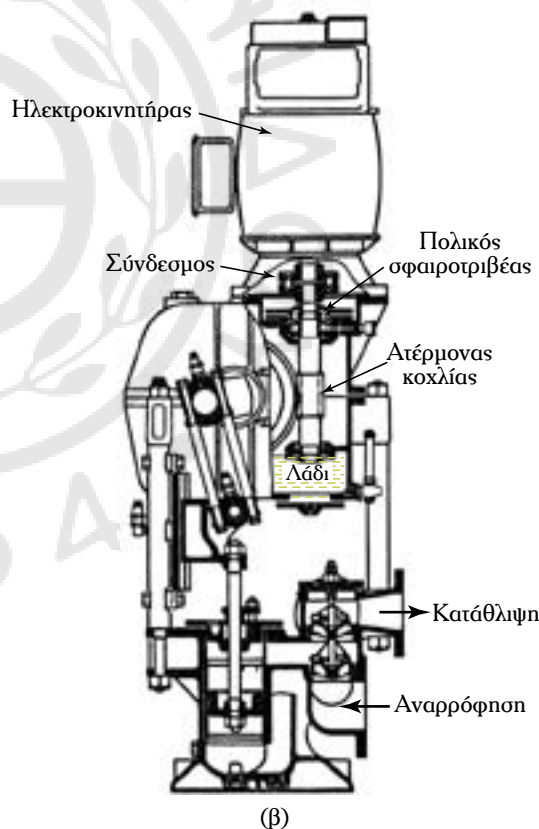
του διωστήρα με το βάκτρο που ολισθαίνουν μέσα σε οδηγητικούς κυλίνδρους¹.

Οι στροφαλοκίνητες αντλίες είναι μονοκύλινδρες ή πολυκύλινδρες, με τους κυλίνδρους σε παράλληλη διάταξη, ενώ ο στροφαλοφόρος άξονας τοποθετείται οριζόντια πάνω απ' τους κυλίνδρους.

Για την κίνησή τους χρησιμοποιούνται ηλεκτρο-



Τυπική διάταξη στροφαλοκίνητης αντλίας



Τομή στροφαλοκίνητης αντλίας

Σχ. 2.8κα

Στροφαλοκίνητη αντλία.

¹ Οδηγητικοί κύλινδροι ονομάζονται οι κύλινδροι που τοποθετούνται γύρω από το βάκτρο, ώστε να διατηρούν την παλινδρομική κίνησή του χωρίς να παρασύρονται από τον διωστήρα που κινείται από στρόφαλο.

κινητήρες που μεταδίδουν την κίνηση στον στροφαλοφόρο άξονα μέσω συστήματος ατέρμονα κοχλίας ή μέσω τροχαλίας με ιμάντες. Στα πλοία τις συναντάμε στο δίκτυο πόσιμου νερού, στο δίκτυο υγιεινής, για την εξάντληση κυτών κ.λπ..

3) Αντλίες με διαφράγματα.

Οι αντλίες αποτελούνται απ' το διάφραγμα, το οποίο είναι μία ελαστική μεμβράνη που κινείται είτε μηχανικά, είτε υδραυλικά, είτε πνευματικά (δηλ. με αέρα). Αναλυτικότερα:

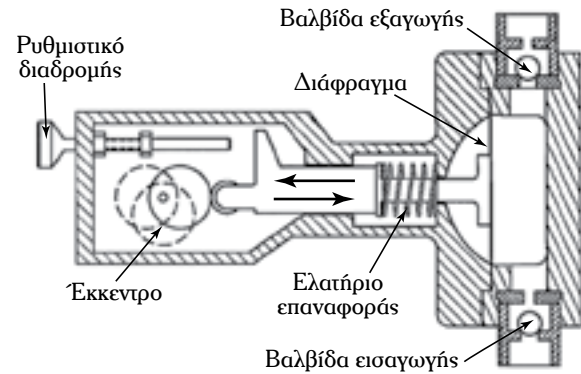
α) Στις μηχανικά κινούμενες αντλίες το διάφραγμα παλινδρομεί απ' το έμβολο που κινείται από έκκεντρο, ώστε με την ώθηση να καταθλίβει το υγρό, ενώ με την επαναφορά του εμβόλου με τη βοήθεια της εντάσεως του ελατηρίου, καθώς περιστρέφεται το έκκεντρο γίνεται η αναρρόφηση (σχ. 2.8κβ). Στα πλοία συναντώνται ως δοσομετρικές αντλίες διότι μετατοπίζουν προϋπολογισμένη ποσότητα υγρού σε κάθε εμβολισμό.

β) Οι πνευματικές αντλίες με διαφράγματα (πομόνες), αποτελούνται απ' το βάκτρο, επάνω στα άκρα του οποίου συνδέονται τα δύο διαφράγματα (σχ. 2.8κγ). Ο αέρας λειτουργίας για την κίνηση του βάκτρου παρέχεται μέσω βαλβίδας διανομής του αέρα, αναγκάζοντάς το να κινηθεί αξονικά, παρασύροντας τα διαφράγματα που παλινδρομούν παράλληλα. Με αυτόν τον τρόπο όταν με το ένα διάφραγμα γίνεται η αναρρόφηση, με το άλλο γίνεται η κατάθλιψη και εναλλάξ. Η αναρρόφηση και η κατάθλιψη πραγματοποιούνται μέσω βαλβίδων οι οποίες είναι τύπου **κλαπέ** (flap) επιτρέποντας την άντληση υγρών που περιέχουν στερεά σωματίδια με μέγεθος που πλησιάζει τη διάμετρο της βαλβίδας, ή είναι **σφαιρικές βαλβίδες** (ball) εξασφαλίζοντας καλύτερη στεγανότητα και αντοχή ή βαλβίδες, που κλείνουν από την επίδραση της εντάσεως **ελατηρίου** (porpet).

Οι πνευματικές αντλίες με διαφράγματα, λόγω της κατασκευής τους, έχουν την ικανότητα να εργάζονται ξηρές (δεν διέρχεται υγρό) χωρίς να καταστρέφονται και είναι κατάλληλες για την άντληση παχυρευστών υγρών. Η παροχή τους ρυθμίζεται με την παροχή του αέρα λειτουργίας στην βαλβίδα διανομής, έχουν αυτόματη αναρρόφηση και καταθλίβουν σε μεγάλο υψος που εξαρτάται απ' την πίεση του αέρα λειτουργίας.

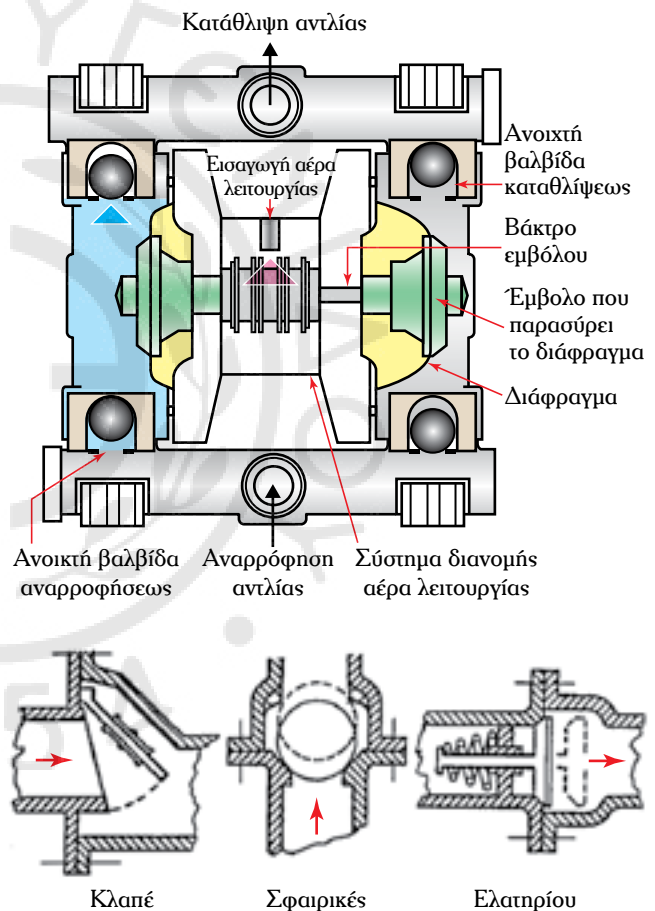
2.9 Περιστροφικές αντλίες.

Οι **περιστροφικές αντλίες** εκτοπίσεως ή **ογκομετρικού τύπου** (volumetric type), είναι μία κα-



Σχ. 2.8κβ

Αντλία διαφράγματος με μηχανική κίνηση.



Σχ. 2.8κγ

Αντλία διπλού διαφράγματος και τύποι βαλβίδων.

τηγορία αντλιών θετικής εκτοπίσεως, που αναγκάζουν το υγρό να ρέει με πίεση. Διαθέτουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις εμβολοφόρες παλινδρομικές αντλίες, με τη διαφορά ότι το κινητό μέρος στις εμβολοφόρες εκτελεί παλινδρομική κίνηση, ενώ στις περιστροφικές περιστρέφεται εκτοπίζοντας σε κάθε

περιστροφή του κινητήριου άξονα μία πεπερασμένη ποσότητα υγρού.

Οι αντλίες αποτελούνται από το κέλυφος ή το σώμα, πάνω στο οποίο υπάρχουν οι θυρίδες της εισαγωγής και εξαγωγής του υγρού. Το κέλυφος μαζί με τα καπάκια (ένα σε κάθε πλευρά) και τα κινητά μέρη της αντλίας, δημιουργούν έναν θάλαμο που περιέχει το μεταφερόμενο υγρό. Τα κινητά μέρη ή στροφείο έχουν μικρά διάκενα με το σταθερό περίβλημα, ώστε να επιτυγχάνεται η ελεύθερη περιστροφή του στροφείου.

Το όνομα του στροφείου εξαρτάται από τον ειδικό τύπο των κινουμένων μερών, που χρησιμοποιούνται σε κάθε περιστροφική αντλία και ανάλογα μπορεί να αποτελείται από περύγια, κοχλίες, λοβούς, οδοντωτούς τροχούς, έμβολα που ολισθαίνουν κ.ά..

Το στροφείο στηρίζεται κατάλληλα στα καπάκια του κελύφους. Στο σημείο των καπακιών, όπου ο άξονας περιστροφής προεξέχει για να συνδεθεί με το κινητήριο μηχανήμα, δημιουργείται **θάλαμος στεγανότητας** (seal champer), ενώ η πρόληψη διαρροής πραγματοποιείται από **μηχανισμό στεγανοποιήσεως** (mechanical seal) ή **παρεμβύσματα-σαλαμάστρες** (packings) ή **συνθετικούς ενισχυμένους με μέταλλο δακτυλίους στεγανοποιήσεως** (τοιμούχες-oilseals-simmerringe).

Με τη λειτουργία της αντλίας, το υγρό παγιδεύεται σε μικρούς περιστρεφόμενους θαλάμους που σχηματίζονται μεταξύ των κινητών και των σταθερών τμημάτων της. Καθώς αυτοί οι θάλαμοι διέρχονται από τη θυρίδα εισαγωγής, γεμίζουν με υγρό και με τη συνεχή περιστροφή του στροφείου το υγρό εξέρχεται με πίεση προς το δίκτυο από τη θυρίδα εξαγωγής.

Τα διάκενα μεταξύ των κινουμένων και των σταθερών μερών της αντλίας πρέπει να είναι τόσα, ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα. Έτσι, ελαχιστοποιείται η ποσότητα του υγρού που διαρρέει μεταξύ των περιστρεφόμενων θαλάμων, επηρεάζοντας άμεσα την απόδοση των αντλιών αυτής της κατηγορίας.

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 να λειτουργεί η αντλία.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των αντλιών είναι:

α) Το **εκτόπισμα της αντλίας**, (displacement) Q_d , δηλαδή ο ολικός όγκος του υγρού που εκτοπίζεται σε κάθε περιστροφή του άξονα ή σε μονάδα του

χρόνου. 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.

β) Η **ολίσθηση** (slip) Q_s , που αντιπροσωπεύει την ποσότητα του υγρού που διαρρέει από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση μέσω των διακένων των θαλάμων, οι οποίοι δημιουργούνται από το στροφείο της αντλίας σε κάθε περιστροφή του άξονα ή σε μονάδα του χρόνου. Αυξάνεται με την πίεση καταθλίψεως και μειώνεται με την αύξηση στο ιξώδες του υγρού. Για μια συγκεκριμένη αντλία, με σταθερό ιξώδες υγρού και διαφορά πιέσεως, η ροή ολισθήσεως είναι συνάρτηση των διακένων υψωμένα στον κύβο.

γ) Η **παροχή** Q (flow rate), που είναι ίση με την καθαρή ποσότητα του υγρού που καταθλίβεται στη μονάδα του χρόνου κάτω από συγκεκριμένες λειτουργικές συνθήκες. Δίνεται από τη διαφορά του εκτοπίσματος, αν αφαιρεθεί η ολίσθηση σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q = Q_d - Q_s \quad (46)$$

Μ' αυτήν τη σχέση υπολογίζεται ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως, που ορίζεται ως το πηλίκο της πραγματικής διά την θεωρητική παροχή. Μετράται με υδρομετρική ή με καταμέτρηση στη δεξαμενή του παρεχόμενου όγκου υγρού σε δεδομένο χρόνο.

Όπως έχει αναφερθεί, οι συνθήκες αναρροφήσεως και καταθλίψεως επιδρούν στην παροχή της αντλίας. Έτσι, το ιξώδες του υγρού, η τάση στη 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 να καταθλίσουν το υγρό, υπερβαίνει τη μέγιστη πίεση, στην οποία η αντλία μπορεί να διατηρήσει τη στεγανότητα των θαλάμων της. Έτσι, ανάλογα με τον τύπο της ή λόγω φθοράς των κινουμένων μερών επηρεάζεται αντίστοιχα η στεγανότητα στο εσωτερικό της αντλίας.

2.9.1 Τύποι περιστροφικών αντλιών.

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

α) **Απλού στροφείου** (single rotor). Είναι οι αντλίες με περύγια ή σύρτες (vane) με υγρά έμβολα (liquid piston), με έμβολα μεταβλητής διαδρομής ακτινικά ή αξονικά (radial or axial pistons), εκκεντρικού ελικοειδούς ρότορα (eccentric rotor) και περισταλτικές (peristaltic).

β) **Αντλίες πολλαπλού στροφείου** (multiple rotor). Είναι οι γραναζωτές (gear), με λοβούς (lobe), με κοχλίες (screw).

Ανάλογα με τον τρόπο κινήσεώς τους, οι αντλίες μπορεί να είναι:

α) **Εξαρτημένες**, όταν η κίνησή τους παρέχεται από κινούμενο μέλος άλλης μηχανής μεταδίδοντας την κίνηση με γρανάζια.

β) **Ανεξάρτητες**, όταν κινούνται από ηλεκτροκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα.

Στα πλοία χρησιμοποιούνται ως αντλίες πετρελαίου λεβήτων, σε δίκτυα λιπάνσεως ή ψύξεως ηλεκτρομηχανών, στην 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 των περιστροφικών αντλιών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής ιδιότητες των υλικών:

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

β) 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 ομα-

λή και αποδοτική λειτουργία της αντλίας.

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

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

α) Το κέλυφος από χυτοσίδηρο, χυτοχάλυβα ή ορείχαλκο.

β) Το στροφείο από συνθετικό ελαστικό, από χυτοχάλυβα ή σφυρήλατο χάλυβα ή ορείχαλκο.

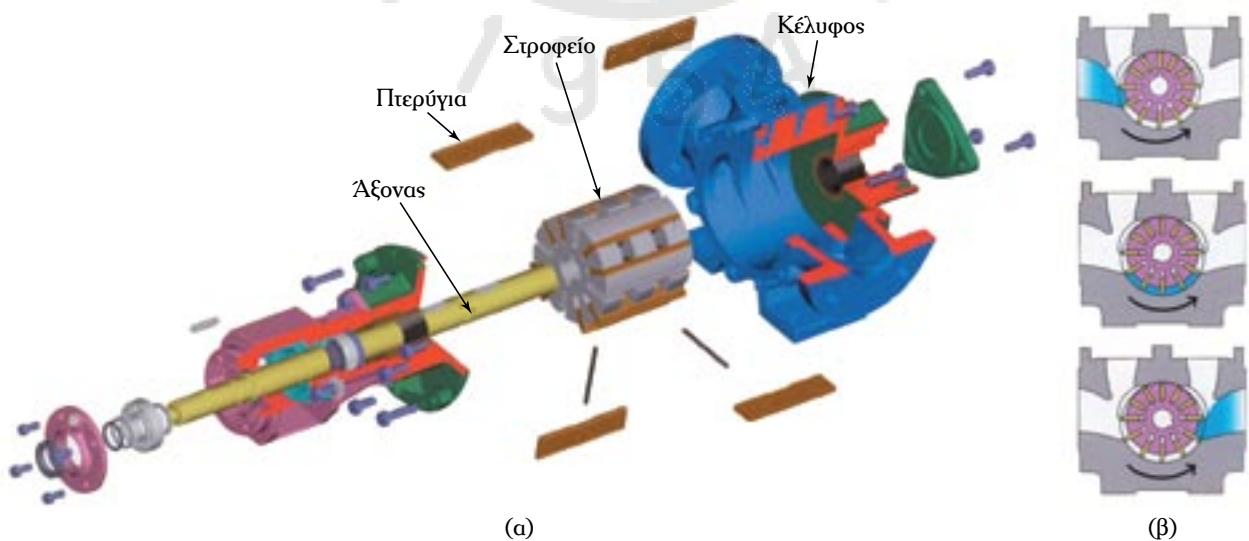
γ) Οι βαλβίδες από χυτοχάλυβα, φωσφορούχο ορείχαλκο, κράμα χαλκού-κασσίτερου, ανοξείδωτο χάλυβα ή μέταλλο Monel.

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

1) Πτερυγιοφόρες αντλίες (Vane pump).

Οι αντλίες αυτού του τύπου αποτελούνται από ένα κυλινδρικό κέλυφος, μέσα στο οποίο περιστρέφεται το στροφείο. Πάνω στο στροφείο υπάρχουν ακτινικά υποδοχές και σε κάθε υποδοχή ολισθαίνουν ελεύθερα τα περύγια [σχ. 2.9α(α)].

Το κέντρο περιστροφής του στροφείου δεν συμπίπτει με το κέντρο του κυλινδρικού κελύφους, ώστε με την περιστροφή του τα ολισθαίνοντα περύγια παρασύρονται απ' τη φυγόκεντρο δύναμη και κρατούνται σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου. Με την παράκεντρη περιστροφή του στροφείου σε σχέση με τον κύλινδρο, τα περύγια αναγκάζονται να παλινδρομούν μέσα στις υποδοχές και



Σχ. 2.9α

Πτερυγιοφόρος αντλία. (α) Τμήματα πτερυγιοφόρου αντλίας και (β) ροή υγρού σε πτερυγιοφόρο αντλία (τομή).

μαζί με τις δύο παράπλευρες πλάκες του κελύφους δημιουργούν θαλάμους μεταβαλλόμενου όγκου. Καθώς το στροφείο κινείται με τη φορά του βέλους [σχ. 2.9α(β)], στο θάλαμο που δημιουργείται μεταξύ δύο περυγίων εισέρχεται υγρό, καθώς αυτός διέρχεται από την εισαγωγή.

Με την περιστροφή, τα περύγια απομακρύνονται απ' το κέντρο και ο θάλαμος αυξάνεται δημιουργώντας το κενό για την αναρρόφηση του υγρού. Στη συνέχεια, προοδευτικά ο θάλαμος μειώνεται, με αποτέλεσμα το υγρό να εκτοπίζεται στην κατάθλιψη. Για να διευκολυνθεί η παλινδρομική κίνηση των περυγίων όταν η ταχύτητα περιστροφής δεν είναι υψηλή, εσωτερικά της υποδοχής τοποθετούνται ελατήρια που ωθούν τα περύγια προς την περιφέρεια.

Οι περυγιοφόρες αντλίες έχουν υψηλό βαθμό αποδόσεως, χαμηλή στάθμη θορύβου και μεγάλη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται στη μεταγίση πετρελαίου από μία δεξαμενή σε άλλη, ενώ οι υψηλής ταχύτητας περυγιοφόρες αντλίες χρησιμοποιούνται στην αύξηση της πίεσεως λειτουργίας του ελαίου σε υδραυλικά δίκτυα.

2) Αντλίες υγρών εμβόλων.

Οι αντλίες με υγρά έμβολα (liquid pump) κατασκευάζονται σε δύο τύπους:

α) Τις **αντλίες με ελλειπτικό κέλυφος**, που έχουν θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως στην εσωτερική πλήμνη και ονομάζονται **αντλίες τύπου ακροφυσίου** (nozzle type pump).

β) Τις **αντλίες με εκκεντρικό κυκλικό κέλυφος**, στις οποίες η αναρρόφηση και η κατάθλιψη πραγμα-

τοποιείται από θυρίδες στην παράπλευρη εγκάρσια πλάκα του κελύφους και ονομάζονται **τύπου πλάκας** (plate type pump).

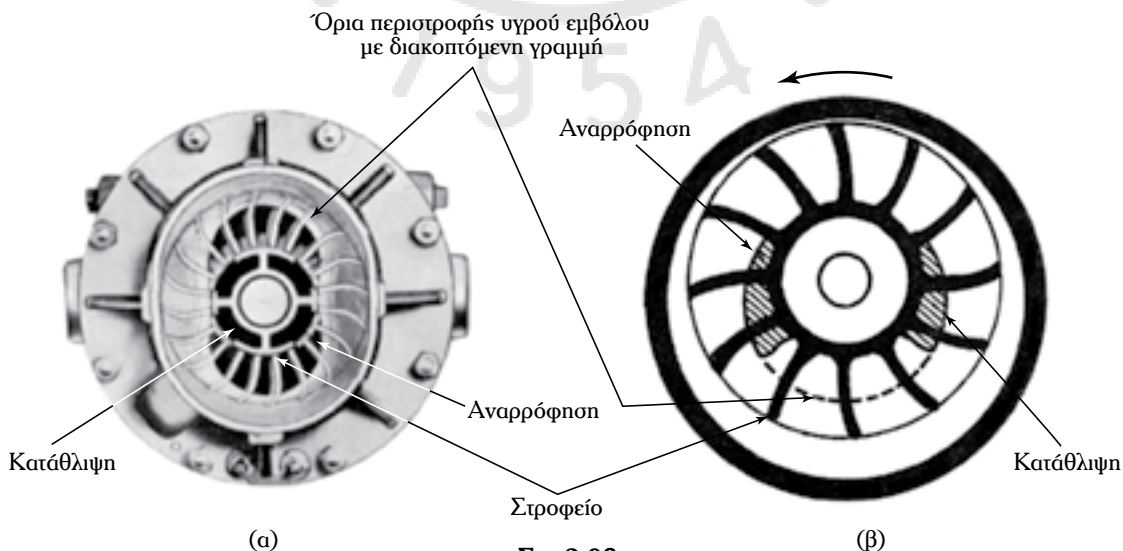
Το στροφείο και στους δύο τύπους αντλιών αποτελείται από περύγια, που δημιουργούν τους θαλάμους αναρροφήσεως και καταθλίψεως του υγρού. Η στεγανότητα μεταξύ των θαλάμων πραγματοποιείται με την παροχή νερού, που περιστρέφεται μαζί με το στροφείο. Το νερό, ακολουθώντας το σχήμα του κελύφους, εισέρχεται και εξέρχεται στους θαλάμους μεταξύ των περυγίων αυξομειώνοντας τον όγκο τους (σχ. 2.9β).

Κάθε φορά που το νερό εξέρχεται δημιουργεί κενό αναρροφήσεως του αέρα απ' τις θυρίδες εισαγωγής, ενώ εισερχόμενο δημιουργεί την 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 έχουν μεγάλο ύψος αναρροφήσεως. Η λειτουργία τους διαρκεί μέχρι να απομακρυνθεί όλος ο αέρας απ' τον σωλήνα αναρροφήσεως και να αρχίσει η αναρρόφηση απ' την κύρια αντλία.

3) Αντλίες έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου (eccentric helical rotor).

Με τη λειτουργία αυτών των αντλιών εξασφαλίζεται η ομαλή μεταφορά του υγρού, χωρίς στροβιλι-



Σχ. 2.9β

Αντλία υγρών εμβόλων.

σμούς ή παλμούς. Η παροχή είναι συνεχής, ενώ με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του ελικοειδούς στροφείου επιτυγχάνεται η αντιστροφή της ροής.

Η αντλία αποτελείται από ένα χαλύβδινο ελικοειδές στροφείο, ενώ το κέλυφος κατασκευάζεται εσωτερικά από ελαστομερές υλικό (σχ. 2.9γ).

Το στροφείο έχει τη μορφή μονής σπείρας με κυκλική διατομή και καθώς περιστρέφεται δημιουργείται ένας κάθετος κύκλος, ο οποίος κινείται κατά μήκος της ευθείας που περνά απ' 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 να δημιουργεί τη ροή του υγρού.

Οι αντλίες αυτές είναι κατάλληλες για μεταγίσεις παχυρευστών υγρών, όπως τα υπολείμματα δεξαμενών ελαίου ή πετρελαίου (sludge), και υγρών με μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά σωματίδια, ινώδη υλικά, αέρια και ουσίες που δημιουργούν αφρό.

4) Οι γραναζωτές ή οδοντωτές αντλίες.

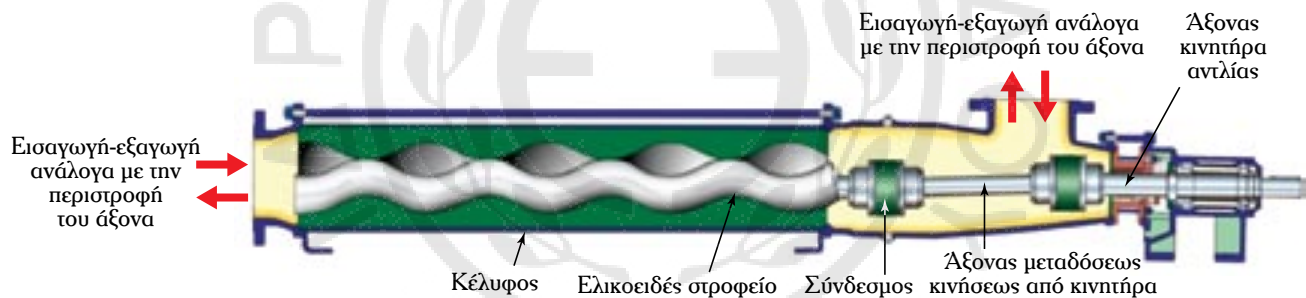
Οι γραναζωτές αντλίες, ανήκουν στις περιστρο-

φικές αντλίες πολλαπλού στροφείου και διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες σύμφωνα με την κατασκευή και τη λειτουργία των στροφείων τους:

α) Στις **αντλίες με εξωτερικά γρανάζια** ή με **εξωτερικής οδοντώσεως τροχούς** (external gear pumps), οι οποίοι αποτελούνται από δύο άξονες, που φέρουν οδοντωτούς τροχούς. Οι δύο οδοντωτοί τροχοί έχουν την ίδια διάμετρο, τον ίδιο αριθμό δοντιών και το ίδιο βήμα. Περιστρέφονται σ' ένα κέλυφος που περιβάλλει και τους δύο τροχούς, ενώ δύο παράπλευρες πλάκες ολοκληρώνουν τον θάλαμο κυκλοφορίας του.

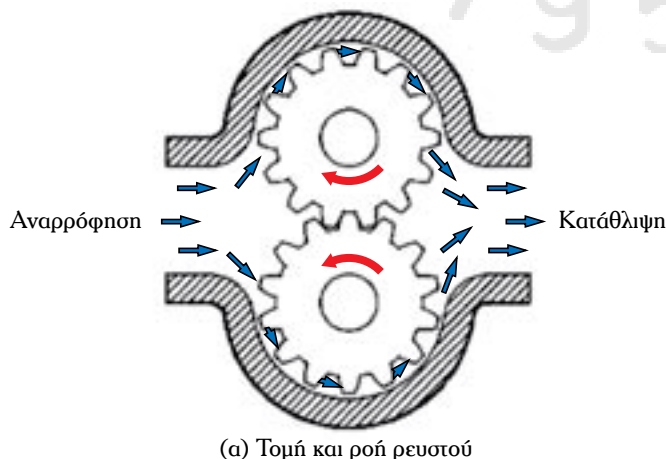
Η κίνηση για την περιστροφή των οδοντωτών τροχών παρέχεται στον έναν απ' τους δύο άξονες και κατά την εμπλοκή των δοντιών μεταδίδεται η κίνηση στον δεύτερο. Οι τροχοί στρέφονται με αντίθετη φορά, μεταφέροντας το υγρό απ' την αναρρόφηση μέσα σε θαλάμους, που δημιουργούνται περιφερειακά με το κέλυφος της αντλίας. Όταν τα δόντια εμπλέκονται πάλι το υγρό ωθείται στην κατάθλιψη με πίεση (σχ. 2.9δ).

Λόγω της στεγανότητας, η δύναμη που αναπτύσσεται είναι πολύ υψηλή, δημιουργώντας καταπονήσεις



Σχ. 2.9γ

Αντλία ελικοειδούς στροφείου.



Σχ. 2.9δ

Γραναζωτή αντλία με εξωτερικό γρανάζι.

στα γρανάζια και στους τριβείς (έδρανα) της αντλίας, με αποτέλεσμα την ακτινική φόρτιση των γραναζιών. Για τη μείωση αυτής της ακτινικής ώσεως ανοίγονται στα γρανάζια διαμετρικές αυλακώσεις που επικοινωνούν αντιδιαμετρικούς χώρους ή μέσω αγωγών επικοινωνίας στο κέλυφος συνδέονται οι περιοχές υψηλής πίεσης με την πλευρά της αναρρόφησης και οι περιοχές χαμηλής πίεσης με την πλευρά της κατάθλιψης. Ορισμένοι τύποι αντλιών με αγωγούς επικοινωνίας στο κέλυφος διαθέτουν και ρυθμιστικές βαλβίδες. Επίσης, οι καταπονήσεις οι οποίες οφείλονται στο υγρό που παγιδεύεται, καθώς το δόντι του ενός γραναζιού εμπλέκεται μεταξύ των δύο δοντιών 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 από χυτοσίδηρο ή ντουραλουμίνιο, ενώ οι παράπλευρες πλάκες από φωσφορούχο ορείχαλκο ή άλλο ειδικό κράμα. Το σχήμα των γραναζιών του στροφέιου, ανάλογα με την κατασκευή, εκτός από ευθύ μπορεί να είναι ελικοειδές ή ψαροκόκαλο.

Η πίεση που επιτυγχάνεται με τις γραναζωτές αντλίες φτάνει τα 250 psi, η δε ταχύτητα λειτουργίας κυμαίνεται από 800 έως 3600 rpm, με την παροχή στις μέγιστες στροφές να φτάνει σε υψηλά επίπεδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της υψηλής στάθμης του θορύβου και των καταπονήσεων των αντλιών, η ταχύτητα περιστροφής στην πράξη δεν ξεπερνάει το όριο των 1500 rpm.

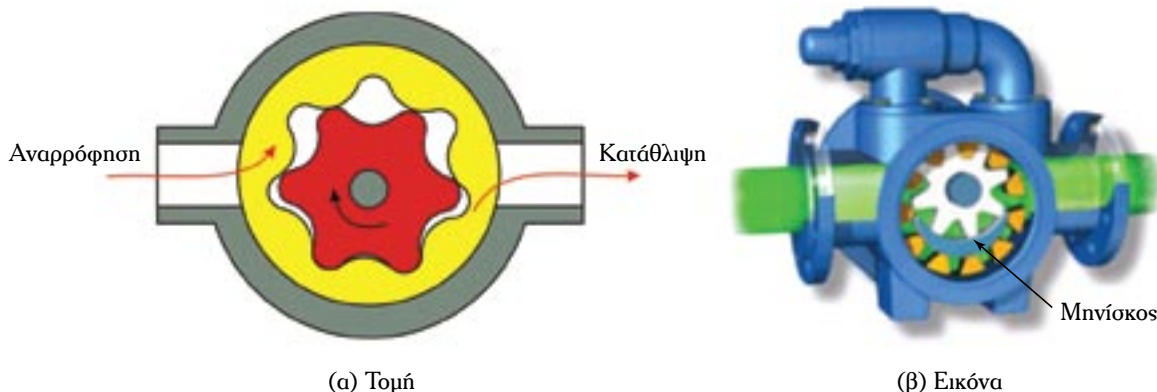
Η αύξηση στην απόδοση των αντλιών επηρεάζεται απ' το διάκενο μεταξύ των δοντιών του στροφέιου και το διάκενο μεταξύ αυτών και του κελύφους, ώστε όσο μικρότερο είναι, τόσο αυξάνεται η απόδοση της αντλίας.

Σε ορισμένους τύπους, η μετάδοση της κινήσεως πραγματοποιείται με γρανάζια κινήσεως πάνω σε κάθε άξονα, που στη συνέχεια μεταδίδουν την κίνηση σε οδοντωτούς τροχούς για τη μεταφορά του υγρού. Σ' αυτού του τύπου τις κατασκευές, το διάκενο μεταξύ των δοντιών του στροφέιου πρέπει να είναι μεγαλύτερο απ' το διάκενο των δοντιών στους τροχούς κινήσεως ώστε να μην εφάπτονται οι τροχοί του στροφέιου μεταξύ τους, παρέχοντας ελευθερία κινήσεως, χωρίς να επηρεάζεται ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας.

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

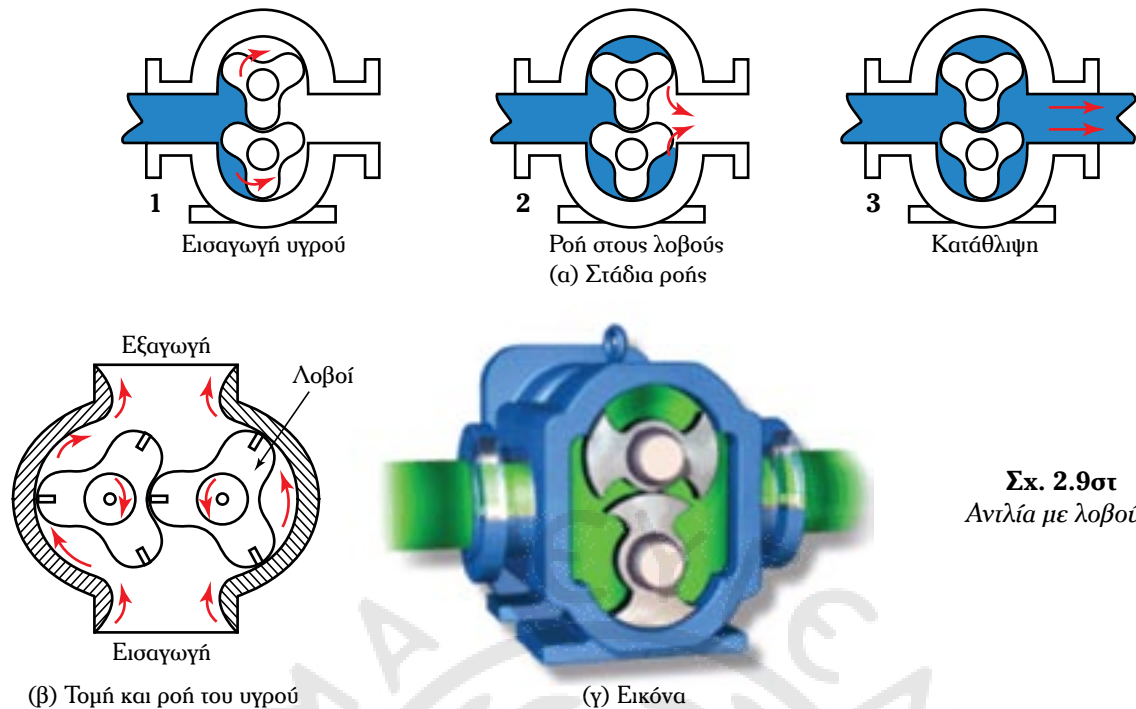
Καθώς τα δόντια περιστρέφονται με την φορά του που φαίνεται στο σχήμα 2.9ε(α), παρασύρουν τον εξωτερικό δακτύλιο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος των θαλάμων υγρού. Έτσι δημιουργείται το κενό για την αναρρόφηση και στη συνέχεια εισέρχονται στις εσοχές του δακτυλίου παρέχοντας το υγρό στην κατάθλιψη. Το σύστημα γρανάζι-δακτύλιος περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος, ενώ παράπλευρα του κελύφους υπάρχουν πλάκες που δημιουργούν τον χώρο κυκλοφορίας του υγρού.

Σε άλλο τύπο αντλίας με εσωτερικό γρανάζι στον χώρο μεταξύ των δοντιών των δυο τροχών υπάρχει μηνίσκος (ημισελήνοειδές διάφραγμα), διατηρώντας τη στεγανότητα ανάμεσα στην αναρρόφηση



Σχ. 2.9ε

Γραναζωτή αντλία με εσωτερικό γρανάζι.



Σχ. 2.9στ
Αντλία με λοβούς.

και στην κατάθλιψη [σχ. 2.9ε(β)]. Τα διάκενα μεταξύ των τμημάτων που αποτελούν την αντλία είναι μικρά, ώστε να επιτυγχάνεται επαρκής στεγανοποίηση μεταξύ των θαλάμων, διατηρώντας την απόδοση της αντλίας σε ικανοποιητικά επίπεδα.

5) Αντλίες με λοβούς.

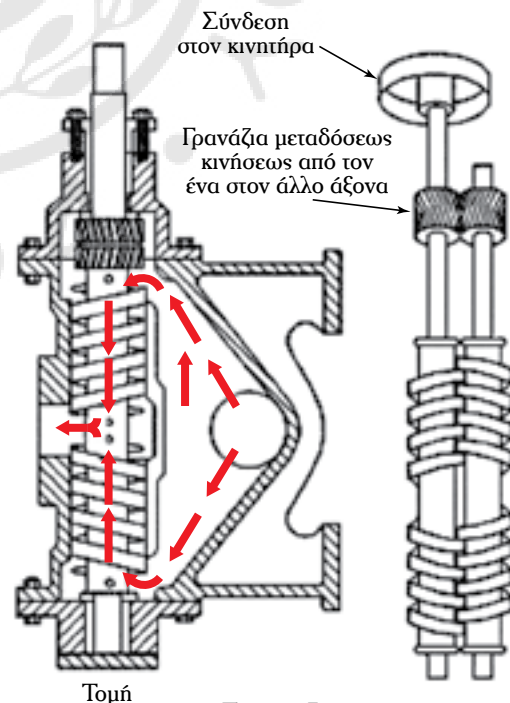
Οι αντλίες με λοβούς (lobe pumps) (σχ. 2.9στ), κατασκευάζονται και λειτουργούν όπως οι γραναζωτές, με τη διαφορά ότι κάθε στροφέιο έχει έναν ή περισσότερους λοβούς. Οι επιφάνειες των στροφείων έχουν τέτοια μορφή, ώστε να «συνεργάζονται» εξασφαλίζοντας συνεχώς στεγανότητα μεταξύ τους και με το εσωτερικό 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 στεγανότητα κατά την περιστροφή των λοβών. Ο χρονισμός των στροφείων πραγματοποιείται εξωτερικά απ' το κέλυφος της αντλίας με γρανάτζα, που τοποθετούνται στους άξονες των στροφείων. Η χρήση των αντλιών με λοβούς τους ενδείκνυται στην μετάγγιση παχυρρευστών υγρών.

6) Αντλίες με κοχλίες.

Οι αντλίες με κοχλίες (screw pumps) αποτελούνται απ' το κέλυφος και τους ατέρμονες κοχλίες, που στρέφονται μέσα σ' αυτό. Ανάλογα με τη διάταξη και τον τρόπο λειτουργίας τους διακρίνονται σε δύο τύπους:

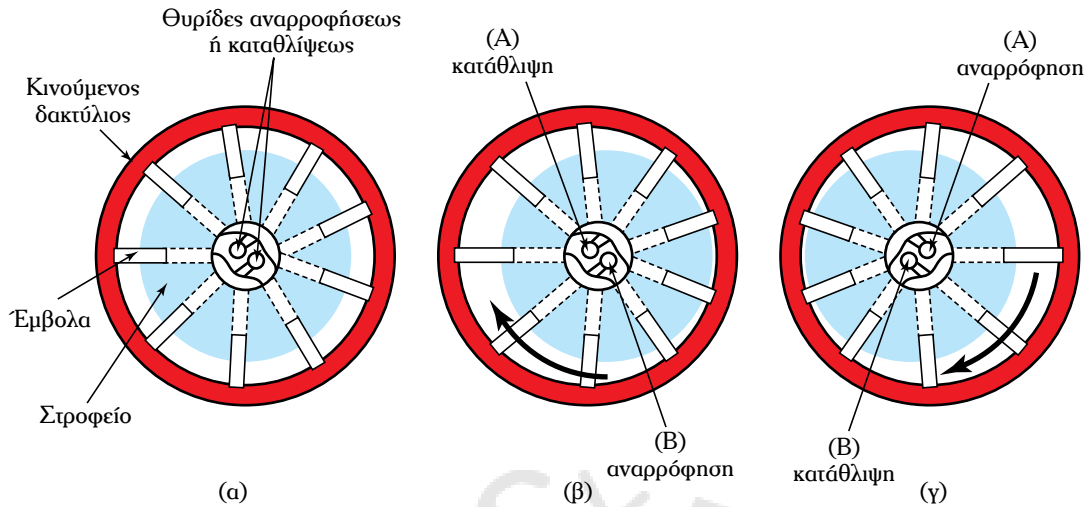
α) Τις **αντλίες με χρονιζόμενους ή σύγχρονους κοχλίες**, που κατασκευάζονται με δύο άξονες, έναν με δεξιόστροφο κι έναν με αριστερόστροφο κοχλία (σχ. 2.9ζ). Ο ένας άξονας συνδέεται στο κινητήριο μηχανήμα και δίνει κίνηση στον άλλο με γρανάτζα, έτσι ώστε οι κοχλίες, ενώ εμπλέκονται με ακρίβεια να μην έρχονται σε επαφή. Οι κοχλίες με το κέλυ-



Τομή

Σχ. 2.9ζ

Αντλία με σύγχρονους κοχλίες.



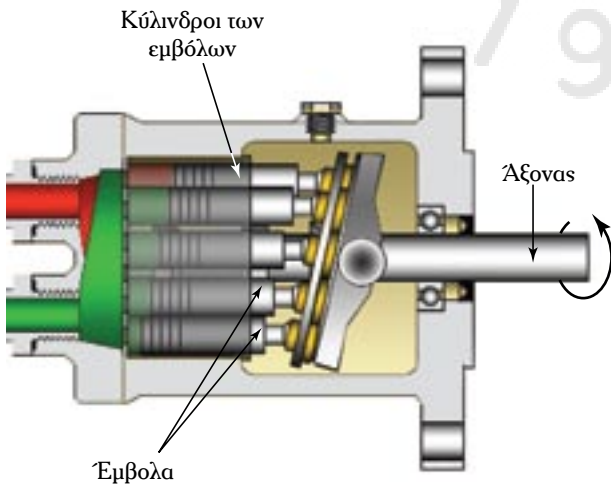
Σχ. 2.90

Εμβολοφόρος αντλία ακτινικών εμβόλων με την μετατόπιση του εξωτερικού δακτυλίου· η αναρρόφηση γίνεται κατάθλιψη και αντίστροφα

β) Εμβολοφόρες αντλίες αξονικών εμβόλων.

Τα έμβολα σ' αυτές τις αντλίες βρίσκονται είναι σε παράλληλη διάταξη γύρω απ' τον άξονα περιστροφής του στροφείου (σχ. 2.91). Το στροφείο αποτελείται από τους κυλίνδρους των εμβόλων και περιστρέφεται από τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα, που δίνει κίνηση στην αντλία. Οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής του λαδιού, 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 καταθλίζουν το λάδι.

Η ελεύθερη άκρη του βάκτρου των εμβόλων,



Σχ. 2.91

Εμβολοφόρος αντλία αξονικών εμβόλων.

εφάπτεται κατάλληλα σε πλινθία που ολισθαίνουν στην επιφάνεια δίσκου (λεκάνης) με το επίπεδό της κάθετο στον άξονα περιστροφής του στροφείου. Στην λεκάνη παρέχεται η δυνατότητα να μεταβάλλει την κλίση της προς τον άξονα από εξωτερικό μηχανισμό ελέγχου.

Στην κάθετη θέση της λεκάνης, τα έμβολα ολισθαίνουν χωρίς να παλινδρομούν και δεν γίνεται αναρρόφηση ή κατάθλιψη. Όταν μεταβληθεί η θέση της προς τον άξονα, τα έμβολα που ολισθαίνουν συνεχώς στην επιφάνειά της αρχίζουν να παλινδρομούν μεταβάλλοντας τον εσωτερικό χώρο του κυλίνδρου. Με την απομάκρυνση των εμβόλων, σε σχέση με το καπάκι της αντλίας, επιτυγχάνεται η αναρρόφηση και αντίστοιχα, όσο αυτά το πλησιάζουν ακολουθώντας τη λεκάνη καταθλίβεται το λάδι από τη θυρίδα στο δίκτυο. Η παροχή της αντλίας μπορεί και μεταβάλλεται ανάλογα με την κλίση της λεκάνης, ώστε στο δίκτυο να παρέχεται περισσότερο ή λιγότερο λάδι.

Η ταχύτητα περιστροφής και η πίεση καταθλίψεως των αντλιών είναι μεγάλες, ώστε να δημιουργούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για τη χρήση τους στην παροχή υδραυλικού ελαίου στα έμβολα στρέψεως του πιδαλίου, σε υδραυλικά βαρούλκα κ.λπ..

Ανάλογα με την κατασκευή των αντλιών αυτών μπορεί η κλίση να δίνεται στη λεκάνη ή στο στροφείο με τα ίδια αποτελέσματα. Τα έμβολα των αντλιών επίσης μπορεί να διαθέτουν βάκτρο ή να επιμηκύνεται το σώμα τους και να δημιουργούνται σφαιρικά

άκρα, που εφάπτονται με τα πλινθία ολισθήσεως στη λεκάνη (σχ. 2.91α).

8) Περισταλτικές αντλίες.

Η μετατόπιση του υγρού, όπως και η στεγανότητα της αναρροφήσεως με την κατάθλιψη των αντλιών αυτού του τύπου βασίζεται στην ελαστικότητα του εύκαμπτου μέλους τους. Αυτό μπορεί να είναι ελαστικός σωλήνας, ελαστική περωτή ή ελαστικό χιτώνιο.

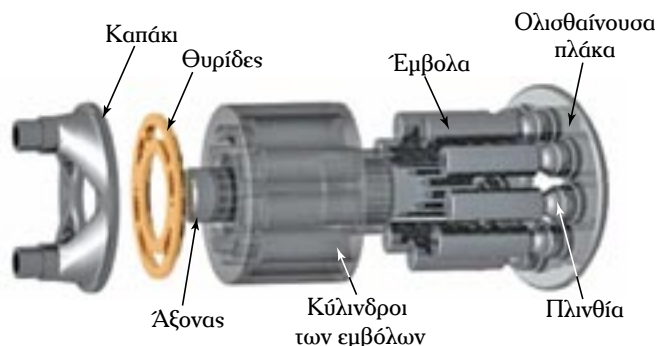
α) Στην **αντλία με ελαστικό σωλήνα** [σχ. 2.91β(α)], η κίνηση δίνεται σε στροφέιο με περιφερειακά διάκενα. Με την περιστροφή πιέζεται ο ελαστικός σωλήνας σταδιακά, επιτυγχάνοντας την άντληση και τη μεταφορά του υγρού. Λόγω της συγκεκριμένης ποσότητας, που μεταφέρεται σε κάθε μετατόπιση του στροφέιου σε σχέση με τον σωλήνα, οι αντλίες χρησιμοποιούνται ως δοσομετρικές.

β) Στην **αντλία με ελαστικά περύγια** [σχ. 2.91β(β)], η αναρρόφηση και η κατάθλιψη επιτυγχάνεται με το στροφέιο, που αποτελείται από τα εύκαμπτα περύγια και περιστρέφεται μέσα στον κύλινδρο, που αποτελεί και το κέλυφος της αντλίας, στην περιφέρεια του οποίου βρίσκονται η αναρρόφηση και η κατάθλιψη. Συνήθως είναι εξαρτημένες αντλίες, στις οποίες μετάδοση της κινήσεως στο στροφέιο γίνεται από άξονα, που κινείται από το κύριο μηχανήμα που εξυπηρετούν. Χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του νερού ψύξεως σε μικρής ιπποδυνάμεως μηχανές και σε αεροσυμπιεστές.

γ) Η **αντλία με ελαστικό χιτώνιο** αντίθετα με την προηγούμενη αποτελείται από το μεταλλικό ή από σκληρό συνθετικό υλικό στροφέιο, που περιστρέφεται εκκεντρικά μέσα στο ελαστικό χιτώνιο [σχ. 2.91β(γ)]. Μ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η κυκλοφορία του ρευστού. Χρησιμοποιούνται ως δοσομετρικές αντλίες σε χαμηλές στροφές για μικρές απαιτήσεις παροχής π.χ. για την παροχή χημικού υγρού συντηρήσεως στους λέβητες κ.ά..

2.9.2 Παροχή περιστροφικών αντλιών.

Ο υπολογισμός της παροχής ($\dot{Q}$) μίας περιστροφικής αντλίας θετικής εκτοπίσεως προκύπτει από τη συσχέτιση του όγκου υγρού που μετακινείται (V), τις στροφές ανά λεπτό (n) και τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως (η_V). Οι περιστροφικές αντλίες, όπως περιγράφονται στις προηγούμενες παραγράφους, κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους με αποτέλεσμα στον υπολογισμό του όγκου του υγρού που



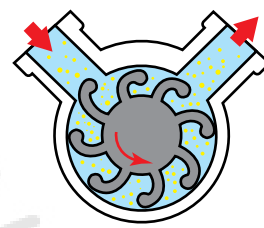
Σχ. 2.91α

Αντλία με επιμήκυνση στα έμβολα.



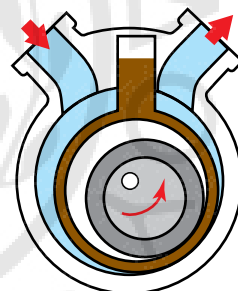
Ελαστικού σωλήνα

(α)



Με ελαστικά περύγια

(β)



Με ελαστικό χιτώνιο

(γ)

Σχ. 2.91β

Τύποι περισταλτικών αντλιών.

μετακινείται, επειδή είναι συνάρτηση των γεωμετρικών στοιχείων του στροφέιου της αντλίας, να απαιτείται και ένας ανάλογος τύπος. Έτσι:

α) Για **γρاناζωτή ή οδοντωτή αντλία** με δύο οδοντωτούς τροχούς (ευθείς ή ελικοειδείς), ο όγκος του υγρού που μετακινείται από το στροφέιο (V) σε μια στροφή του κάθε τροχού είναι το γινόμενο της επιφάνειας διατομής του διαστήματος μεταξύ δύο συνεχόμενων δοντιών (F), του μήκους των δοντιών (l) και του αριθμού των δοντιών του κάθε τροχού (z). Η επιφάνεια διατομής του διαστήματος μεταξύ δύο συνεχόμενων δοντιών (F), είναι το γινόμενο του τόξου της βασικής περιφέρειας μεταξύ δύο συνεχόμενων

δοντιών επί το ύψος του δοντιού (σχ. 2.9ιγ).

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

$$V = 2 \cdot F \cdot l \cdot z \text{ σε m}^3 \text{ ή dm}^3 \quad (47)$$

όπου: F , η επιφάνεια διατομής του διαστήματος μεταξύ δύο συνεχόμενων δοντιών σε m^2 ή dm^2 , l το μήκος των δοντιών σε m ή dm και z , ο αριθμός των δοντιών.

Τότε η θεωρητική παροχή Q_θ της αντλίας για αριθμό στροφών (n), προκύπτει από τη σχέση:

$$Q_\theta = V \cdot n \cdot 60 \text{ σε m}^3/\text{h} \\ \text{ή } Q_\theta = V \cdot n \text{ σε dm}^3/\text{min} \quad (48)$$

β) Για **κοχλιοειδή αντλία**, η θεωρητική παροχή υπολογίζεται από το γινόμενο του όγκου, που μεταφέρεται με τον αριθμό των στροφών. Αλλά από τη μορφή των στροφειών ο ελικοειδής δακτυλιοειδής μεταφερόμενος όγκος του υγρού δίνεται ως:

$$V = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot \beta \quad (49)$$

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

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

$$Q_\theta = 2 \cdot V \cdot n \cdot 60$$

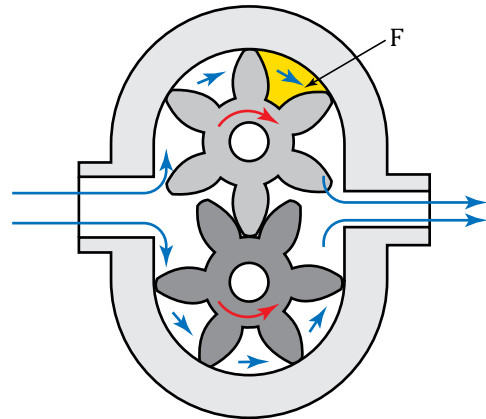
Με την αντικατάσταση του όγκου, η θεωρητική παροχή μπορεί να γραφεί και ως:

$$Q_\theta = 2 \cdot \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot \beta \cdot n \cdot 60 \text{ ή} \\ Q_\theta = 30 \cdot \pi (D^2 - d^2) \beta \cdot n \text{ σε m}^3/\text{h} \quad (50)$$

Η πραγματική παροχή των αντλιών, λόγω των απωλειών δίνεται από τον πολλαπλασιασμό της θεωρητικής παροχής Q_θ με τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως (η_V) απ' τη σχέση:

$$Q_\theta = Q_\theta \cdot \eta_V \quad (51)$$

Επομένως κάθε τύπος περιστροφικής αντλίας έχει διαφορετική πραγματική παροχή, διότι μεταβάλλεται ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως από τον οποίο εξαρτάται. Οι μεταβολές στον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως οφείλονται στον διαφορετικό τρόπο κατασκευής κάθε αντλίας και καθορίζονται από το ποσοστό των εσωτερικών διαρροών, λόγω της φθοράς που παρουσιάζουν τα μηχανικά μέρη και της πίεσεως που αναπτύσσει η αντλία.



Σχ. 2.9ιγ.

Επιφάνεια διατομής μεταξύ δύο συνεχόμενων δοντιών (F).

2.10 Φυγοκεντρικές αντλίες – Γενικά.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες, ανήκουν στην κατηγορία των δυναμικών αντλιών. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη μεταβολή της κινητικής καταστάσεως του υγρού με τη μετατροπή της κινητικής του ενέργειας. Έτσι, η μεγάλη ταχύτητα ροής, που αρχικά προσδίδεται στο υγρό, μετατρέπεται σε στατική πίεση, δηλαδή αναπτύσσεται δυναμική δράση. Το μέγεθος αυτής της αλλαγής εξαρτάται, από τις διαστάσεις, το σχήμα του χώρου απ' όπου διέρχεται το υγρό και την ταχύτητα λειτουργίας του στροφείου.

Η ταχύτητα ανάπτυξη των φυγοκεντρικών αντλιών οφείλεται:

- Στην υψηλή απόδοση με μικρό όγκο και βάρος.
- Στο σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής τους.
- Στη συνεχή και ομοιόμορφη περιστροφική τους κίνηση χωρίς να παρουσιάζονται διακυμάνσεις στην πίεση και την παροχή (όπως συμβαίνει με τις εμβολοφόρες παλινδρομικές αντλίες).
- Στην απλότητα σχεδιασμού τους.
- Στη δυνατότητα εύκολης συνδέσεως με διάφορους τύπους κινητήρων.
- Στην ικανότητά τους στον χειρισμό μεγάλης ποσότητας υγρών.

Οι αντλίες αυτές αποτελούν το 80–90% των εγκατεστημένων αντλιών στην πετρελαϊκή βιομηχανία, ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι η ευρεία χρήση των φυγοκεντρικών αντλιών κατέστη δυνατή με τις σημαντικές εξελίξεις στους τομείς των ηλεκτροκινητήρων, των ατμοστροβίλων και των μηχανών εσωτερικής καύσεως. Πριν από αυτές τις εξελίξεις το εύρος της χρήσεως των αντλιών θετικής μετατοπίσεως ήταν μεγαλύτερο.

Στην ουσία μία φυγοκεντρική αντλία αποτελείται από το **ελικοειδές κέλυφος** (volute casing), το **στροφείο-περωτή**, το οποίο τοποθετείται σε **άξονα**, που υποστηρίζεται από τους **ένοσφαιρους τριβείς** στο **κέλυφος** ή εξωτερικά της αντλίας και από τον **στυπαιοθλίπτη** (σχ. 2.10α).

Το ελεύθερο άκρο του άξονα συνδέεται κατάλληλα στο μηχανισμό κινήσεως της αντλίας και καθώς το στροφείο περιστρέφεται, επιταχύνει εκτοπίζοντας το υγρό που υπάρχει στο εσωτερικό του, ενώ νέο υγρό διέρχεται απ' την περωτή αντικαθιστώντας την ποσότητα που εκτοπίζεται. Έτσι, δημιουργείται σταθερή ροή από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη και το στροφείο επιδρά αυξάνοντας την ταχύτητα του υγρού μέσω μηχανικής δράσεως. Αυτή η ταχύτητα είναι η κινητική ενέργεια που στη συνέχεια μετατρέπεται σε πίεση στο κέλυφος. Η πίεση διατηρείται στην αντλία με κατάλληλη στεγανοποίηση στα σημεία συναρμο-λογήσεώς της, και στο σημείο εισόδου του άξονα στο κέλυφος με στυπαιοθλίπτη. Στη συνέχεια, το υγρό διοχετεύεται στο δίκτυο από κατάλληλη έξοδο στο κέλυφος της αντλίας.

Σε κανονικές συνθήκες, η ταχύτητα λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών κυμαίνεται από 1500 rpm έως 3000 rpm, ενώ ορισμένοι τύποι αντλι-

ών είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε ταχύτητες της τάξεως των 5000–25.000 rpm.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες ταξινομούνται:

α) Ανάλογα με τον τρόπο ροής του υγρού υπό την επίδραση του στροφείου.

β) Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του κελύφους της αντλίας.

γ) Σύμφωνα με την εισαγωγή του υγρού στην αντλία.

δ) Σύμφωνα με το είδος του στροφείου.

Περαιτέρω υποδιαίρεση γίνεται ως εξής:

α) Ανάλογα με τις βαθμίδες που περικλείουν, διακρίνονται σε **μονοβάθμιες**, **διβάθμιες** και **πολυβάθμιες**.

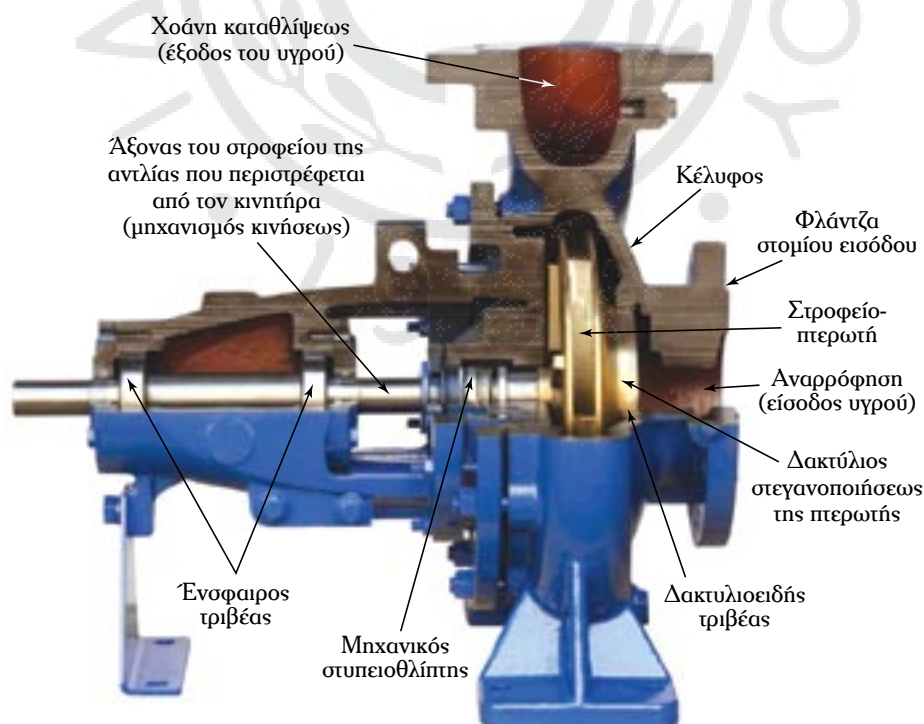
β) Ανάλογα με τη θέση του άξονα περιστροφής διακρίνονται σε **οριζόντιες**, **κάθετες** και **κεκλιμένες**.

γ) Ανάλογα με το κινητήριο μηχανήμα διακρίνονται σε **ατμοκίνητες**, **πεντρελαιοκίνητες**, **ηλεκτροκίνητες** και **υδραυλικής ενέργειας**.

2.10.1 Ταξινόμηση των αντλιών σύμφωνα με τον τρόπο ροής του υγρού.

1) Φυγοκεντρικές.

Φυγοκεντρικές αντλίες (centrifugal pumps) χα-

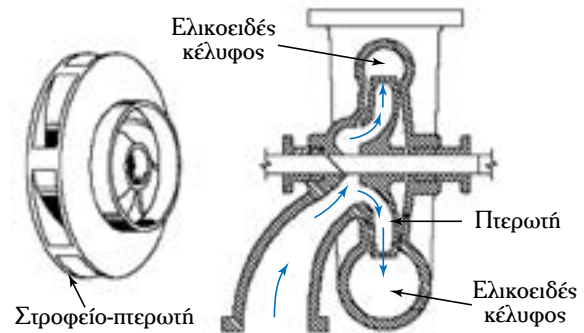


Σχ. 2.10α
Φυγοκεντρική αντλία.

ρακτηρίζονται όλες οι αντλίες που αποτελούνται από το στροφέιο (impeller), το οποίο φέρει πτερύγια (κοινώς πτερωτή) και περικλείεται μέσα σ' ένα κέλυφος (σχ. 2.10β). Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται από τον κινητήρα, το υγρό επιταχύνεται απ' το πτερύγιο του στροφέιου με ταχύτητα εξαρτώμενη από την ταχύτητα περιστροφής και το σχήμα του πτερυγίου. Το υγρό υπό την επίδραση της πτερωτής εκκινάσσεται προς το σπειροειδές κέλυφος στην περιφέρεια της αντλίας λόγω της φυγόκεντρου δυνάμεως, για να οδηγηθεί στη συνέχεια στον σωλήνα καταθλίψεως. Λόγω της μετακινήσεως του υγρού γύρω από το κέντρο του στροφέιου αναπτύσσεται κενό, που συμπληρώνεται με την αναρρόφηση νέας ποσότητας υγρού από τον σωλήνα αναρροφήσεως προς το σημείο χαμηλής πίεσεως. Το νέο υγρό διέρχεται από την πτερωτή προς την περιφέρεια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται σταθερή ροή απ' την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη της αντλίας.

2) Αντλίες αξονικής ροής (axial pumps).

Το στροφέιο της αντλίας αποτελείται από πτερύγια στερεωμένα σε πλήμνη που τοποθετείται στον άξονά της (σχ. 2.10γ). Η θέση των πτερυγίων είναι υπό γωνία προς το επίπεδο περιστροφής του άξονα, με το όλο σύστημα να περιστρέφεται μέσα σε οχετό που αποτελεί το κέλυφος της αντλίας. Το υγρό δεν

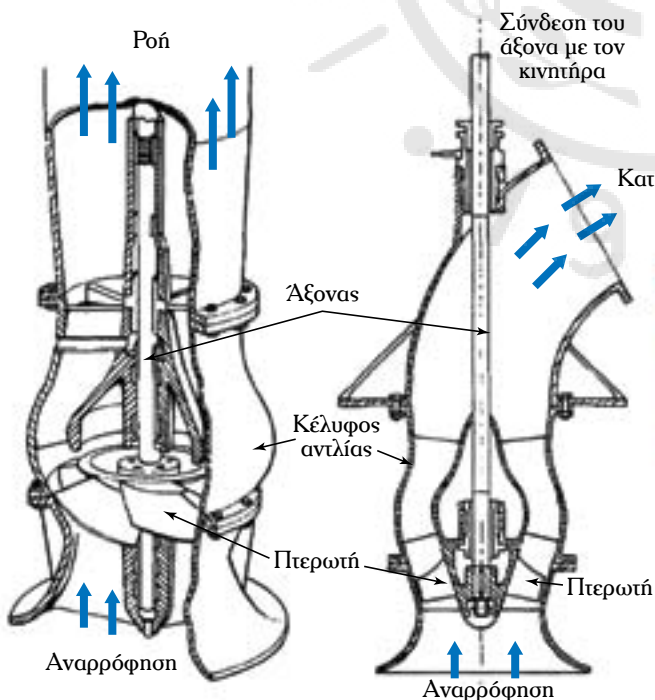


Σχ. 2.10β

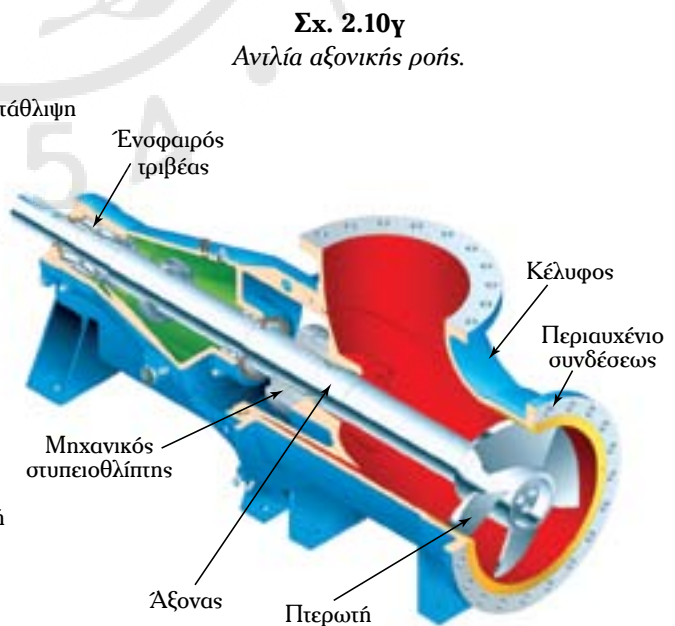
Φυγοκεντρική αντλία.

φυγοκεντρίζεται, αλλά τα περιστρεφόμενα πτερύγια του ασκούν ώθηση, ώστε αυτό να κινείται παράλληλα με τον άξονα της αντλίας, γι' αυτό και ονομάζονται **αξονικής ροής** ή **ελικοφόρες** λόγω του σχήματος του στροφέιου.

Για την αύξηση της αποδόσεως της αντλίας στην αναρρόφηση τοποθετούνται σταθερά οδηγητικά πτερύγια, που εξασφαλίζουν την ομαλή διέλευση του υγρού μειώνοντας τους στροβιλισμούς. Επίσης, το κέλυφος της αντλίας κατασκευάζεται με ελαφρώς μικρότερη διάμετρο στην αναρρόφηση πριν την έλικα, επιτυγχάνοντας την αύξηση της ταχύτητας του υγρού προς αυτήν, ενώ μετά η διάμετρος διευρύνεται ελαφρώς ελαττώνοντας την ταχύτητα του υγρού με αντίστοιχη αύξηση της πίεσεως.



(α) Τομή κάθετης διατάξεως αντλίας αξονικής ροής



(β) Τομή οριζόντιας αντλίας αξονικής ροής

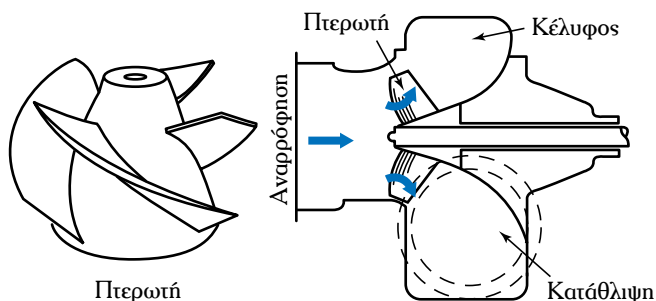
Οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται σε συστήματα με απαιτήσεις μεγάλης παροχής σε μικρό ύψος καταθλίψεως. Λόγω κατασκευής, η αναρρόφηση της αντλίας πραγματοποιείται μόνο όταν είναι τοποθετημένη χαμηλότερα απ' τη στάθμη του υγρού που πρόκειται να αντληθεί και η κατάθλιψη της φτάνει ως 1,5 At.

Η λειτουργία της είναι δυνατόν να αναστραφεί και επιτυγχάνεται με αναστροφή της περιστροφής του άξονα από το κινητήριο μηχανήμα ή με τη χρήση έλικας μεταβλητού βήματος ρυθμίζοντας τη θέση των αναστρεφόμενων περυγίων. Έτσι, η αναρρόφηση μετατρέπεται σε κατάθλιψη και εναλλάξ, επιτυγχάνοντας με γρήγορο χειρισμό και μεγάλη ακρίβεια την επιθυμητή ποσότητα στη δεξαμενή, όπως όταν χρησιμοποιούνται ως **αντλίες ερματισμού** (ballast pump) ρυθμίζοντας με ακρίβεια τη διαγωγή του πλοίου.

3) Αντλίες μεικτής ροής.

Η λειτουργία και η μορφή των **αντλιών μεικτής ροής** (mixed flow pumps) είναι συνδυασμός των δυο προηγούμενων αντλιών. Μια αντλία αποτελείται από το στροφέιο με περύγια τοποθετημένα υπό γωνία προς τον άξονα περιστροφής. Η αναρρόφηση πραγματοποιείται από οχετό και η κατάθλιψη είτε σε οχετό με μεγαλύτερη διάμετρο και κατάλληλα σταθερά οδηγητικά περύγια, οπότε ονομάζεται **διαγώνια**, είτε σε σπειροειδές κέλυφος οπότε ονομάζεται **ελικοειδής**.

Το υγρό εισέρχεται αξονικά στην αντλία και εξέρχεται από το στροφέιο κινούμενο αξονικά και ακτινικά ταυτόχρονα (σχ. 2.10δ). Μ' αυτόν τον τρόπο, η αύξηση της πίεσης του υγρού δημιουργείται από την ώθηση των περυγίων ταυτόχρονα με την επίδραση της φυγοκεντρικής δυνάμεως λόγω της διευθύνσεως προς την περιφέρεια του κελύφους.



Σχ. 2.10δ

Αντλία μεικτής ροής.

2.10.2 Ταξινόμηση αντλιών σύμφωνα με τον τρόπο κατασκευής του κελύφους.

Σύμφωνα με τον τρόπο κατασκευής του κελύφους οι αντλίες ταξινομούνται σε:

1) Αντλίες με σπειροειδές κέλυφος ή ελικοφρακτες.

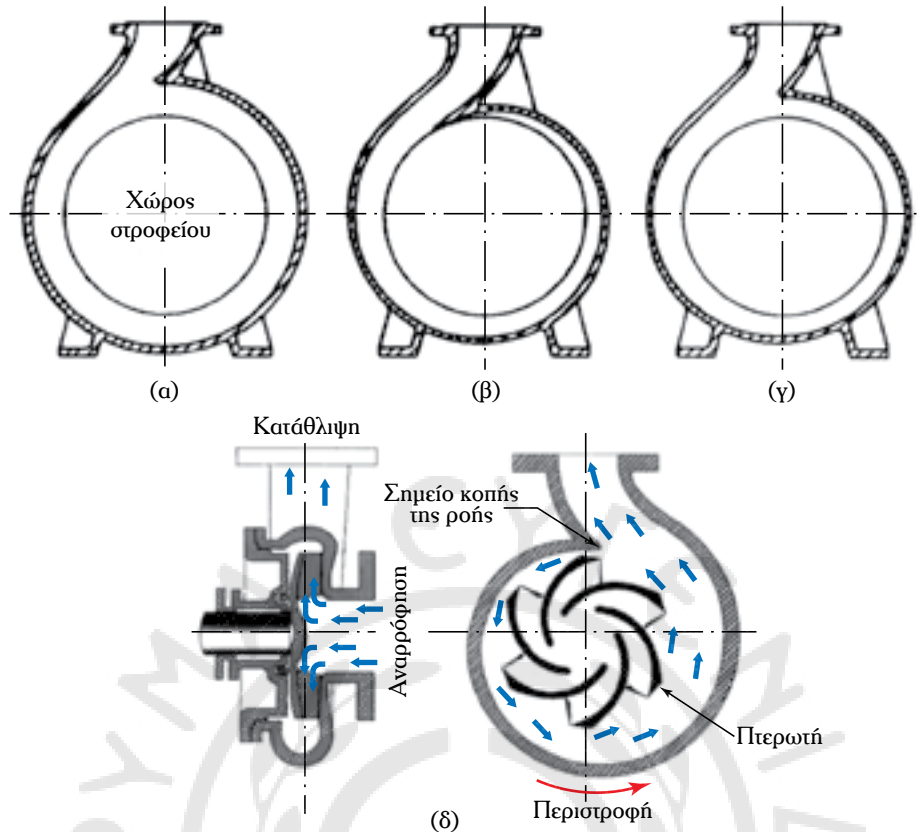
Η αντλία της μορφής αυτής αποτελείται από το κινητό μέρος που ονομάζεται **στροφέιο** ή **δρομέας** και το σταθερό κέλυφος που περιβάλλει το στροφέιο. Η αναρρόφηση πραγματοποιείται από το κενό που δημιουργείται στο κέντρο του στροφείου και συμπληρώνεται με νέο υγρό. Το υγρό που υπήρχε μέσα στην περωτή της αντλίας εκκινάσσεται προς την περιφέρεια του κελύφους λόγω της φυγοκεντρικής δυνάμεως.

Το κέλυφος έχει εσωτερικά αγωγό κυκλικής συνήθως διατομής, που αυξάνεται προοδευτικά σχηματίζοντας έναν αγωγό σπειροειδούς σχήματος στην περίμετρό του. Το υγρό μετά την έξοδό του από την περωτή οδηγείται στον σπειροειδή αγωγό, όπου η ταχύτητά του ελαττώνεται βαθμιαία, ενώ αντίστοιχα αυξάνεται η πίεσή του μέχρι την έξοδο προς τον σωλήνα καταθλίψεως, σύμφωνα με την εξίσωση συνέχειας της ροής και την εξίσωση του Bernoulli.

Το στροφέιο είναι τοποθετημένο στο κέντρο ή εκκεντρα του κελύφους, ενώ μεταξύ του στροφείου και του κελύφους υπάρχει διάκενο, αποτρέποντας την επαφή κινητών και σταθερών μερών όταν η αντλία λειτουργεί. Όταν το στροφέιο είναι συγκεντρικό προς το κυκλικό κέλυφος, η απόσταση της περιφέρειας του στροφείου από το κέλυφος είναι σταθερή περιμετρικά [σχ. 2.10ε(α)]. Όταν το στροφέιο είναι έκκεντρα τοποθετημένο, η απόσταση του στροφείου από το κέλυφος είναι μεταβλητή και γίνεται ελάχιστη σχηματίζοντας μία αιχμή στο σημείο εξαγωγής του υγρού, που ονομάζεται **αιχμή** ή **σημείο κοπής του υγρού** [σχ. 2.10ε(β)]. Ένας ενδιαμέσος τύπος αντλίας είναι αυτός που κατασκευάζεται από συνδυασμό των χαρακτηριστικών των δύο προηγούμενων αντλιών κυκλικού και κοχλιοειδούς [σχ. 2.10ε(γ)].

Με τη λειτουργία της αντλίας αυτής (σχ. 2.10ε(δ)) η κατανομή της πίεσης του υγρού γύρω από το στροφέιο στις ελικοφρακτες αντλίες, όπως και η πίεση που αναπτύσσεται στην κατάθλιψη, δεν είναι ομοιόμορφη, αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα του στροφείου και το άνοιγμα της βαλβίδας καταθλίψεως. Έτσι:

α) Η άνιση κατανομή της πίεσης στο εσωτερι-



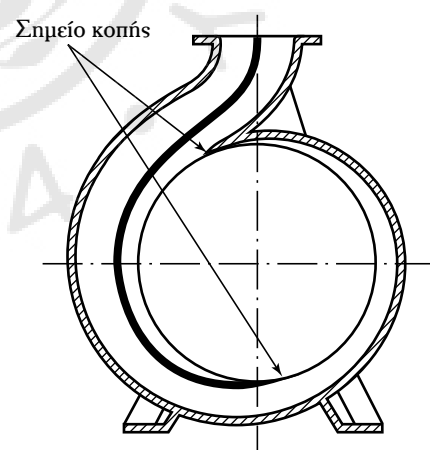
Σχ. 2.10ε

Τύποι κελύφους φυγοκέντρων αντλιών. (α) Στροφεύο συγκεντρικά τοποθετημένο προς το κέλυφος, (β) στροφεύο έκκεντρα τοποθετημένο προς το κέλυφος, (γ) συνδυασμός των δύο τύπων και (δ) ροή υγρού στον συνδυασμένο τόπο συγκεντρικά και έκκεντρα τοποθετημένου στροφεύου.

κό της αντλίας γύρω από το στροφεύο δημιουργεί ακτινική ώση, η οποία ασκείται στα έδρανα του άξονα περιστροφής και του στροφεύου, προκαλώντας ταχεία φθορά των εδράνων και κάμψη του άξονα περιστροφής, καθώς και τη φθορά σε μηχανικούς στυπαιοθλίπτες, με αποτέλεσμα την απώλεια της στεγανότητας.

Στις έκκεντρες αντλίες η ακτινική ώση ελαχιστοποιείται όταν η αντλία λειτουργεί στις συνθήκες σχεδιασμού της (σημείο βέλτιστης παροχής), ενώ αυξάνεται όταν απομακρύνεται από αυτές, σε τιμές αποκλίσεως κάτω από 30% ή πάνω από 120%. Για να αντιμετωπιστεί η ακτινική ώση, το κέλυφος κατασκευάζεται με διαχωριστικό τοίχωμα, ώστε το διπλό κέλυφος που δημιουργείται να ζυγοσταθμίζει τα υδραυλικά φορτία με τον διαχωρισμό της ροής. Έτσι, το διαχωριστικό τοίχωμα δημιουργεί δύο αντιδιαμετρικά σημεία κοπής του υγρού με αποτέλεσμα τη μείωση της ακτινικής ώσεως (σχ. 2.10στ).

Αντίθετα, στις συγκεντρικές αντλίες, που η από-



Σχ. 2.10στ

Αντλία με αντιδιαμετρικά σημεία κοπής.

σταση της περιφέρειας της περωτίς από το κέλυφος είναι σταθερή περιμετρικά, η ακτινική ώση μεγιστοποιείται όταν η αντλία λειτουργεί στις συνθήκες σχεδιασμού της, καλύπτοντας όλες τις υπόλοιπες πιθανές περιοχές λειτουργίας.

β) Όταν ο 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 μία μικρή ποσότητα καταθλίβεται στο εσωτερικό απ' το στροφείο και επιστρέφει μέσω των διακένων στην αναρρόφηση. Η κυκλοφορία αυτή απορροφά ενέργεια απ' την περιστροφή του άξονα και τη μετατρέπει σε κινητική ενέργεια που δαπανάται σε στροβιλισμούς και τριβές μέσα στην αντλία και τελικά καταλήγει σε απώλεια, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση της αντλίας.

γ) Όταν το άνοιγμα της βαλβίδας καταθλίψεως είναι σταθερό αυξάνοντας τις στροφές του στροφείου αυξάνει η πίεση, δηλαδή το μανομετρικό ύψος της αντλίας και η παροχή της, ενώ όταν ελαττώνονται οι στροφές συμβαίνει το αντίθετο.

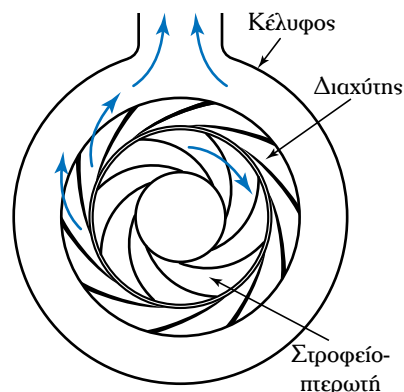
2) Αντλίες με κέλυφος σταθερών περυγίων ή στροβιλοφυγόκεντρες.

Στις αντλίες αυτές το κέλυφος έχει εσωτερικά σταθερά οδηγητικά περύγια σχηματίζοντας αποκλίνοντες οχετούς με προοδευτικά αυξανόμενη διατομή, με αποτέλεσμα το υγρό που εκτινάσσεται απ' το στροφείο-περωτή όταν διέρχεται από τους οχετούς να ελαττώνεται η ταχύτητά του, που μετατρέπεται ομαλά σε πίεση (σχ. 2.10ζ). Το σχήμα του κελύφους είναι κυλινδρικό, ενώ το στροφείο είναι τοποθετημένο στο κέντρο του. Τα περύγια του κελύφους περιβάλλονται από δακτυλιοειδή οχετό σταθερής διατομής που οδηγεί το νερό προς την κατάθλιψη.

Ο οχετός αποκαλείται διαχυτήρας και συντελεί στην αύξηση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας όταν λειτουργεί στις συνθήκες σχεδιασμού της. Όταν όμως οι συνθήκες λειτουργίας αποκλίνουν απ' τις συνθήκες σχεδιασμού, προκαλείται αποκόλληση της ροής από την επιφάνεια των σταθερών περυγίων, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του βαθμού αποδόσεως.

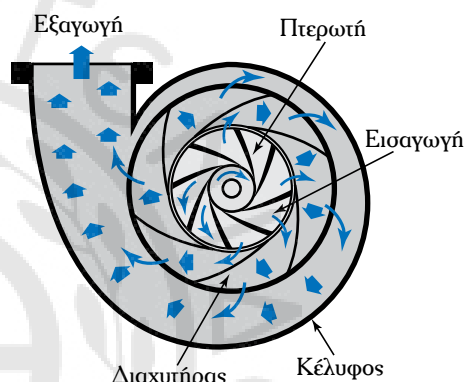
3) Αντλίες με κέλυφος μεικτού τύπου (ελικόφρακτη στροβιλοφυγόκεντρη).

Οι αντλίες αυτές αποτελούνται από σταθερά περύγια μέσα στο κέλυφος, που εξωτερικά περιβάλλεται από σπειροειδή οχετό καταθλίψεως (σχ. 2.10η). Η αύξηση της πίεσεως του υγρού επιτυγχάνεται με



Σχ. 2.10ζ

Αντλία με κέλυφος σταθερών περυγίων.



Σχ. 2.10η

Αντλία μεικτού τύπου.

τον συνδυασμό των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των δύο προηγούμενων τύπων. Έτσι σ' αυτού του τύπου τις αντλίες μέσα από σταθερά περύγια διαχύσεως διέρχεται το υγρό και στη συνέχεια οδηγείται προς την κατάθλιψη, μέσω του σπειροειδούς οχετού, που κατασκευάζεται με βαθμιαία αυξανόμενη διατομή.

2.10.3 Ταξινόμηση σύμφωνα με την εισαγωγή του υγρού στην αντλία.

Στην υποδιαίρεση αυτή των αντλιών υπάγονται τα εξής δύο είδη:

α) Αντλία **απλής εισόδου** ή **μονόπλευρης αναρροφήσεως**, όταν το υγρό οδηγείται από τον σωλήνα αναρροφήσεως μέσα στο στόμιο εισόδου στο κέντρο της περωτής μόνο απ' τη μία πλευρά της αντλίας. Όπως εικονίζεται στο σχήμα 2.10θ η στήριξη του άξονα της αντλίας γίνεται σε εξωτερικά έδρανα, ενώ η στεγανοποίηση της περωτής μεταξύ του χώρου αναρροφήσεως και καταθλίψεως σε δακτυλίου στο εσωτερικό του κελύφους. Στο κέλυφος για την

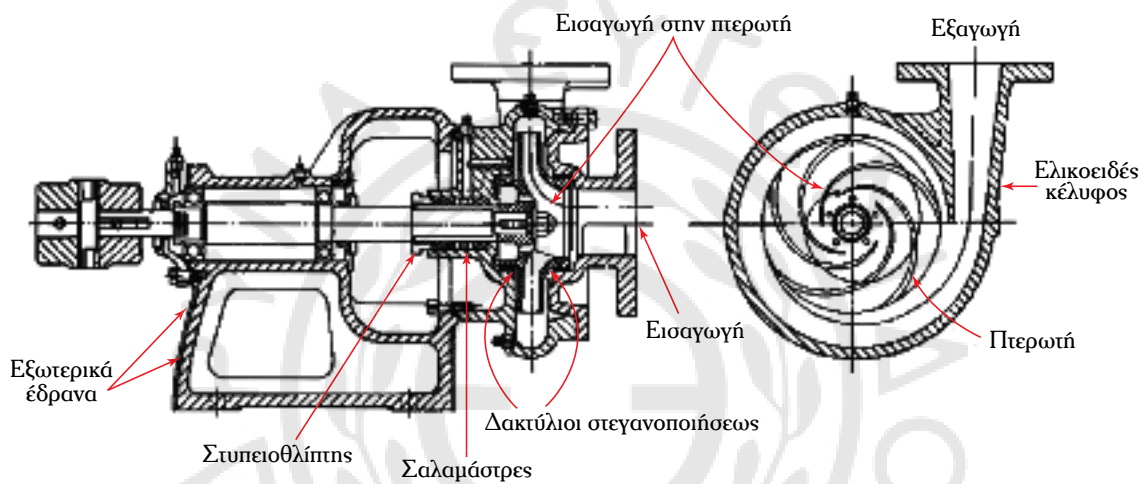
πρόληψη διαρροών υπάρχει κατάλληλη διάταξη από στυπιοθλίπτη με σαλαμάστρες ή μηχανικός στυπιοθλίπτης.

Κατά την περιστροφή με την αναρρόφηση δημιουργείται αξονική ώση στην περωτή, λόγω του κενού που τείνει να μετατοπίσει την περωτή προς το στόμιο της αναρροφήσεως από τη διαφορά πιέσεως που υπάρχει στις δύο πλευρές της περωτής. Όταν η αξονική ώση είναι μικρή, παραλαμβάνεται απ' τα έδρανα της αντλίας, ενώ η μεγαλύτερη ώση αντισταθμίζεται με οπές στον δίσκο της περωτής ή με επικοινωνία του χώρου πάνω και κάτω απ' την περωτή με σωλήνα εξισορροπήσεως.

Η παροχή τους είναι από 15–6000 m³/h και σε μανομετρικό ύψος που φτάνει τα 10–180 m ανάλογα με τον τύπο της αντλίας, ενώ η διάταξη του άξονα μπορεί να είναι κάθετη ή οριζόντια.

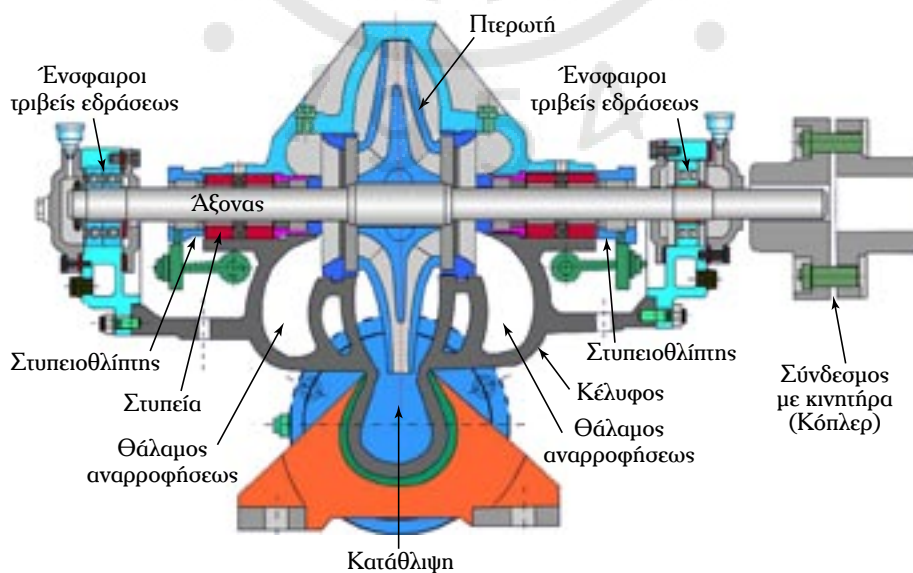
β) **Αντλία διπλής εισόδου ή αμφίπλευρης αναρροφήσεως** (σχ. 2.10ι). Η είσοδος του υγρού στην αντλία πραγματοποιείται και απ' τις δύο πλευρές της περωτής, στο κατάλληλα διαμορφωμένο κέλυφος, που είναι συμμετρικό ως προς το μεσοκάθετο επίπεδο στον άξονα της αντλίας.

Το κέλυφος διαιρείται αξονικά σε δύο ημικελυφη και δεν έχει σταθερά περύγια, ενώ ο άξονας μπορεί να είναι κάθετος ή οριζόντιος. Σε οριζόντια διατάξε-



Σχ. 2.10θ

Αντλία απλής εισόδου.



Σχ. 2.10ι

Αντλία διπλής εισόδου.

ως αντλίες, στο κάτω ημικέλυφος είναι ενσωματωμένες οι θυρίδες εισόδου και εξόδου του υγρού, ενώ στις κάθετες διατάξεις οι θυρίδες τοποθετούνται στο σταθερό τμήμα του διαιρούμενου κελύφους διευκολύνοντας την επιθεώρησή της. Λόγω της συμμετρίας που παρουσιάζεται στην κατασκευή της αντλίας, η πίεση στις δύο πλευρές της περωτής είναι θεωρητικά η ίδια, ώστε έχουν υδραυλική εξισορρόπηση χωρίς να εμφανίζεται αξονική ώση κατά την διέλευση του υγρού απ' την περωτή.

Στην πράξη όμως, λόγω των αναποφεύκτων κατασκευαστικών ατελειών και τις άνισες φθορές των εξαρτημάτων εμφανίζεται πολύ μικρή αξονική ώση κατά τη λειτουργία της αντλίας. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετούν μεγάλες παροχές και κατασκευάζονται με στροφεία διαμέτρου ανάλογα με το υγρό και το επιθυμητό ύψος καταθλίψεως, ενώ η παροχή τους φτάνει και τα $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

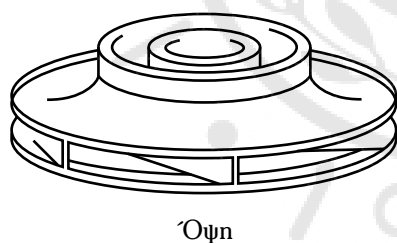
2.10.4 Ταξινόμηση σύμφωνα με το είδος του στροφείου-περωτής (impeller).

Το είδος του στροφείου-περωτής χαρακτηρίζεται από τον τρόπο κατασκευής του, οπότε υπάρχουν τριών ειδών στροφεία-περωτές, τα **κλειστού τύπου** τα **ημίκλειστα** και τα **ανοικτά**. Όλα τα στροφεία αποτελούνται από την πλήμνη, απ' την οποία διέρχεται

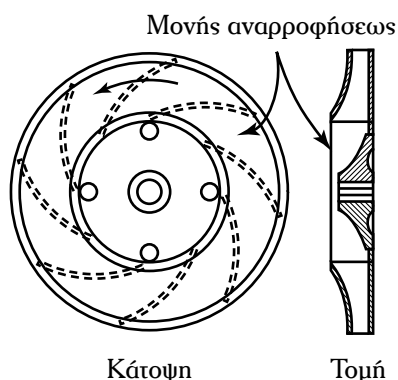
ο άξονας περιστροφής, και τα περύγια με αντίθετη συνήθως κλίση προς την φορά περιστροφής του στροφείου. Έτσι λοιπόν διακρίνουμε σε:

α) **Στροφεία-περωτές κλειστού τύπου** (closed impellers) (σχ. 2.10α). Αυτά αποτελούνται από δύο δίσκους που μεταξύ τους υπάρχουν συνήθως από 3–7 περύγια. Για τις αντλίες απλής εισόδου στον δίσκο της μίας πλευράς υπάρχει ένα κυκλικό άνοιγμα (τρύπα) στο κέντρο της περωτής, ώστε να εισέρχεται το υγρό στα περύγια, ενώ στις αντλίες διπλής εισόδου το κυκλικό άνοιγμα υπάρχει στους δίσκους και των δύο πλευρών. Η διάμετρος του ανοίγματος συμπίπτει με την εσωτερική διάμετρο εισόδου του υγρού στην αντλία, επιτυγχάνοντας την ομαλή είσοδό του στα περύγια. Επίσης, η στεγανοποίηση σ' αυτό το σημείο πραγματοποιείται με έναν **δακτύλιο τριβής** (wear ring) μεταξύ της περωτής και του κελύφους της αντλίας με πολύ μικρό διάκενο. Οι περωτές αυτού του τύπου έχουν μεγάλο βαθμό αποδόσεως, αναπτύσσουν υψηλή πίεση, ενώ εμφανίζουν μικρότερη αξονική ώση.

β) **Ημίκλειστα στροφεία-περωτές** (semi-open impellers), (σχ. 2.10β). Σε αυτά τα στροφεία δεν υπάρχει δίσκος στην πλευρά της αναρροφήσεως, αλλά μόνο στην κάτω πλευρά, αποτελώντας προέκταση της πλήμνης. Οι ημίκλειστες περωτές

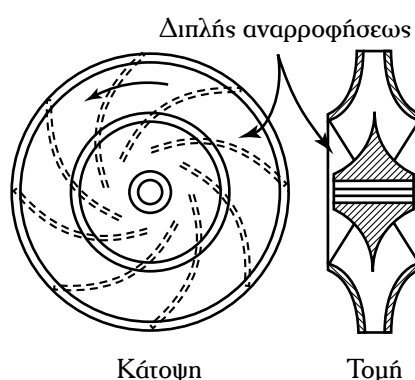


Όψη



Κάτοψη

Τομή



Κάτοψη

Τομή

Σχ. 2.10α

Στροφεία-περωτές κλειστού τύπου

έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τις περωτές κλειστού τύπου, διότι καταργούνται οι τριβές στον δίσκο της πλευράς εισαγωγής του υγρού και χρησιμοποιούνται όταν το υγρό μπορεί να περιέχει αιωρούμενα σωματίδια ή ίνες. Λόγω της ελεύθερης πλευράς των περυγίων, η απόσταση της περωτής από το κέλυφος στην ανοικτή πλευρά των περωτών πρέπει να είναι ελάχιστη, επιτυγχάνοντας τη μείωση των διαφυγών του υγρού μεταξύ των περυγίων. Σε σχέση με τα στροφεία κλειστού τύπου μειονεκτούν διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξονική ώση.

γ) **Ανοικτά στροφεία-περωτές** (open impellers) (σχ. 2.10ιγ), όπου μόνο τα περύγια υπάρχουν στην πλήμνη του στροφείου χωρίς να υπάρχουν δίσκοι πάνω από αυτά. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας υγρού σε αντλίες αξονικής ροής, χωρίς να έχουν μεγάλο μανομετρικό ύψος καταθλίψεως. Επίσης, χρησιμοποιούνται για αντλίες μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ή σε αντλίες που μεταφέρουν υγρά με μεγάλα αιωρούμενα σωματίδια.

Η ροή του υγρού στην έξοδο της αντλίας καθορίζεται από μία σημαντική παράμετρο, την ειδική ταχύτητα της αντλίας N_s , η οποία δεν εξαρτάται από τον τύπο και τη φύση του αντλούμενου υγρού ή το μέγεθος της αντλίας, αλλά μόνο από τον τύπο και το σχήμα του στροφείου-περωτή (impeller).

Η ειδική ταχύτητα για μονοβάθμια αντλία δίνεται από τη σχέση:

$$N_s = \frac{\eta \cdot \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (52)$$

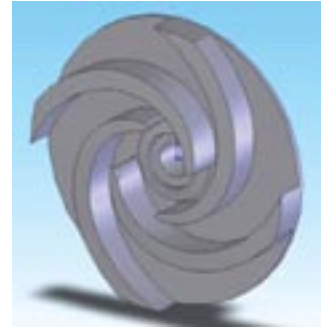
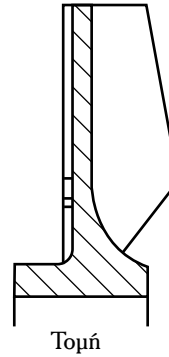
όπου: n η ταχύτητα της αντλίας σε στροφές ανά λεπτό rpm, Q η παροχή σε γαλόνια ανά λεπτό (GPM) στο σημείο μέγιστης αποδόσεως και H το ολικό ύψος (total head) στο σημείο μέγιστης αποδόσεως.

Για πολυβάθμιες αντλίες η σχέση (50) δίνεται ως:

$$N_s = \frac{\eta \cdot \sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{i}\right)^{\frac{3}{4}}} \quad (53)$$

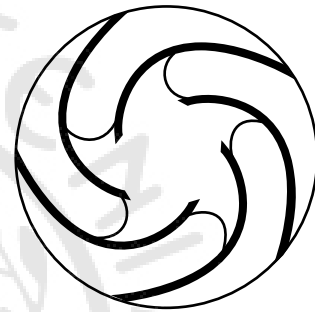
όπου: i ο αριθμός των βαθμίδων διότι το ολικό ύψος αναπτύσσεται σε κάθε στροφείο κατά $\frac{H}{i}$, ενώ σε αντλία με στροφείο διπλής εισόδου δίνεται ως:

$$N_s = \frac{\eta \cdot \sqrt{\frac{Q}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (54)$$



Σχ. 2.10ιβ

Ημίκλειστο στροφείο-περωτή.

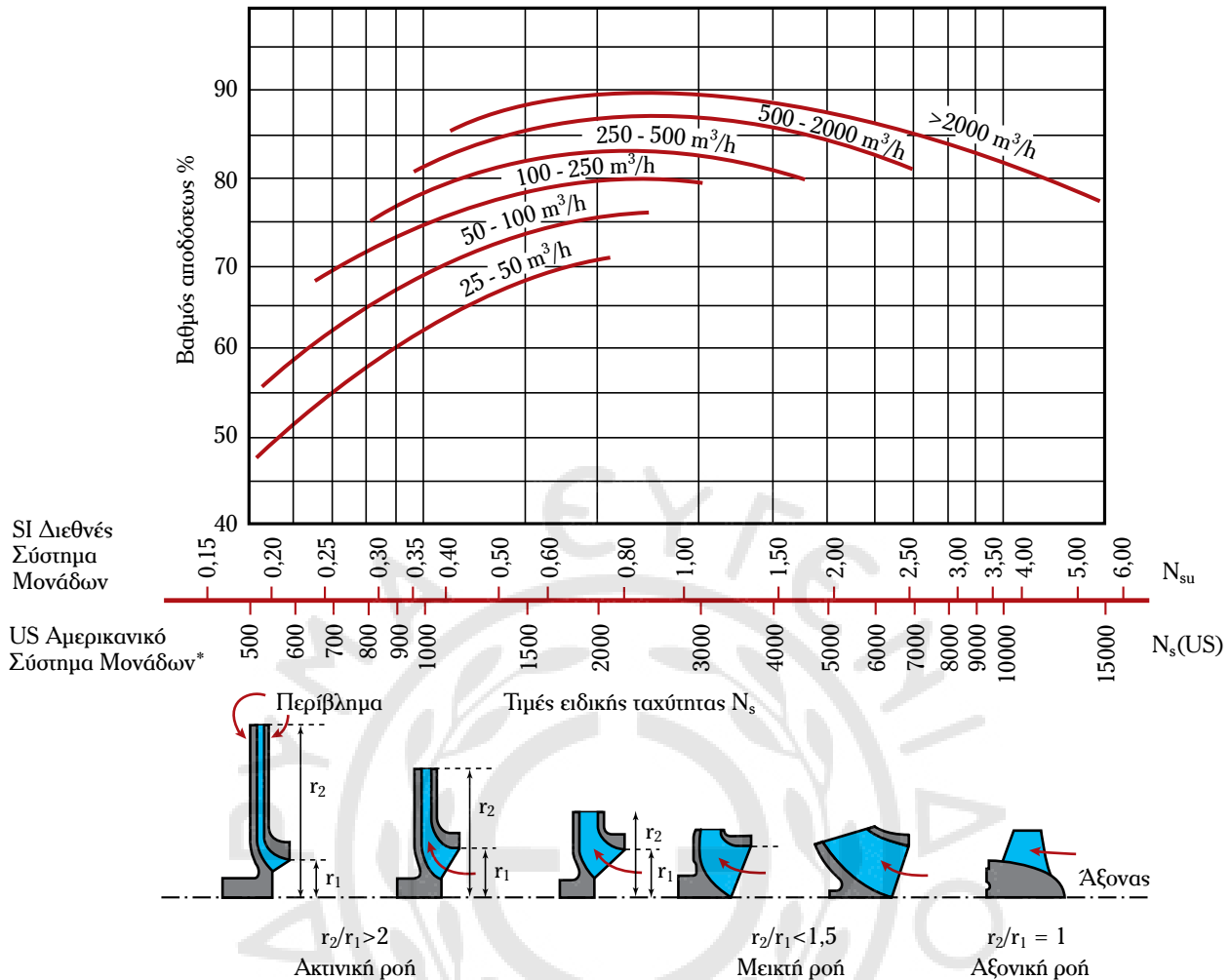


Σχ. 2.10ιγ

Ανοικτά στροφεία-περωτές.

διότι κάθε πλευρά της περωτής παρέχει το μισό της συνολικής παροχής Q .

Σύμφωνα με την ειδική ταχύτητα στο διάγραμμα του σχήματος 2.10ιδ δίνονται οι τύποι των περωτών που χρησιμοποιούνται. Έτσι, καθώς η ειδική ταχύτητα από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας αυξάνεται, καθιστά αναγκαία την αλλαγή στην κατασκευή της περωτής από ακτινικού τύπου σε αξονικού τύπου. Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να πούμε ότι για χαμηλή ειδική ταχύτητα, χαμηλές ροές και μεγάλο ύψος καταθλίψεως, χρησιμοποιούνται κλειστού τύπου ή ακτινικά στροφεία, ενώ για υψηλή ειδική ταχύτητα, υψηλή ροή και χαμηλό ύψος καταθλίψεως χρησιμοποιούνται ανοικτού τύπου ή αξονικά στροφεία.



* Για το Αμερικανικό Σύστημα Μονάδων US η σχέση της ειδικής ταχύτητας προκύπτει από τη σχέση της ειδικής ταχύτητας (52) $N_s = \frac{\eta \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$ όπου: $Q = GPM$ και $H = \text{feet}$, ώστε $N_s = \frac{\eta \cdot \sqrt{GPM}}{H^{3/4}}$. Ενώ για το Διεθνές Σύστημα SI στη σχέση της ειδικής ταχύτητας (52) οι μονάδες της παροχής και του ύψους είναι αντίστοιχα $Q = \frac{m^3}{\text{hour}}$ και $H = \text{meter}$, ώστε $N_s = \frac{\eta \cdot \sqrt{m^3/hr}}{m^{3/4}}$. Οι μονάδες της ειδικής ταχύτητας των στροφείων N_s δίνονται πάντα σε στροφές ανά λεπτό (rpm).

Σχ. 2.10ιδ

Απεικόνιση ειδικής ταχύτητας (N_s) σε σχέση με τον βαθμό αποδόσεως (η) ανάλογα με το σχήμα των περωτών.

2.10.5 Ταξινόμηση αντλιών σύμφωνα με τον αριθμό των βαθμίδων τους.

Ως βαθμίδα της αντλίας ορίζεται ο συνδυασμός μιας περωτής και μιας διατάξεως που οδηγεί τη ροή του υγρού. Κάθε βαθμίδα επιτυγχάνει το ολικό ή μέρος του ολικού μανομετρικού ύψους που αναπτύσσεται από ένα ή περισσότερα στροφέα (περωτές) αντίστοιχα. **Η ταξινόμηση αυτή αφορά σχεδόν στις αποκλειστικά στις δυναμικές αντλίες.** Η οδηγητική διάταξη μπορεί να είναι περίβλημα στα-

θερών περυγίων, σπειροειδές ή δακτυλιοειδές κέλυφος. Έτσι, οι φυγοκεντρικές αντλίες, σύμφωνα με τον αριθμό των βαθμίδων τους, διακρίνονται σε:

α) **Μονοβάθμιες** ή **μονοσταδιακές**, όταν το ολικό μανομετρικό υψος αναπτύσσεται από μία περωτή. Η πίεση εξαρτάται από τη διάμετρο της περωτής ή τις στροφές της ή και από τα δυο, ώστε για να αναπτυχθεί μεγαλύτερη πίεση πρέπει να αυξηθούν ανάλογα. Όμως, λόγω της ταυτόχρονης αύξησης των απωλειών είναι προτιμότερο η αύξηση της επιθυμητής πίεσης να επιτυγχάνεται με τη χρήση

αντλιών με περισσότερες βαθμίδες (πολυβάθμιες).

β) **Πολυβάθμιες ή πολυσταδιακές**, όταν το ολικό μανομετρικό ύψος αναπτύσσεται από δυο ή περισσότερες περωτές σε σειρά, μέσα σε ένα κοινό, κατάλληλα διαμορφωμένο κέλυφος. Αποτελούνται από τον άξονα επάνω απ' τον οποίο τοποθετούνται δυο ή περισσότερες περωτές (στροφεΐα) σε εναλλαγή με σταθερά οδηγητικά περύγια στο κέλυφος, ώστε η κατάθλιψη της μιας περωτής να αποτελεί την αναρρόφηση της επόμενης κ.ο.κ.. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων, που προκύπτει από την ποικιλία των περωτών ή του κελύφους. Η αξονική ώση στις πολυβάθμιες αντλίες είναι μεγαλύτερη από τις μονοβάθμιες, λόγω της υπάρξεως πολλών περωτών στη σειρά. Για την εξισορρόπηση των αξονικών ώσεων χρησιμοποιούνται περωτές διπλής εισόδου του υγρού ή τοποθετούνται απλής εισόδου αντίθετα κατά ζεύγη, ώστε με την αντίθετη ώση των περωτών, επιτυγχάνεται η εξισορρόπηση των αξονικών δυνάμεων. Οι πολυβάθμιες αντλίες επιτυγχάνουν μεγάλες παροχές με μεγάλη πίεση καταθλίψεως και χρησιμοποιούνται ως τροφοδοτικές αντλίες για την εισαγωγή νερού στον λέβητα υπερνικώντας την πίεση στο εσωτερικό του ατμοϋδροθάλαμου.

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 εξωτερικά του κελύφους, ενώ η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με παρεμβύσματα σε κατάλληλα διαμορφωμένο στυπιοθλίπτη ή μηχανικούς στυπιοθλίπτες σε μεγάλες πιέσεις και θερμοκρασίες.

2.11 Φυγοκεντρικές αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

Η ποικιλία των λειτουργιών σ' ένα πλοίο επιτρέπει τον διαχωρισμό των φυγοκεντρικών αντλιών σε διάφορες ομάδες όπως:

α) Αντλίες που χρησιμοποιούνται στην εξυπηρέτηση της λειτουργίας των μηχανών προώσεως ανάλογα με την εγκατάσταση, όπως για μηχανές ατμού ή εσωτερικής καύσεως ή των μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

β) Αντλίες ειδικών εγκαταστάσεων, όπως παραγωγής γλυκού νερού (fresh water generator) ή μεταγίσεως καυσίμων (transfer pump) κ.λπ..

γ) Αντλίες για την άντληση κυτών (bilge pump) και διαχείρισεως έρματος (ballast pumps).

δ) Αντλίες γενικής χρήσεως (general service pumps) και εξυπηρέτησεως υγιεινής για το πλήρωμα και τους επιβάτες κ.λπ..

ε) Αντλίες προωθήσεως (booster pumps).

στ) Αντλίες φορτίου δεξαμενοπλοίων (cargo pumps).

Η χρήση των αντλιών, ως σκοπό έχει τη μεταφορά υγρών υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας, που μπορεί να έχουν υψηλή διαβρωτική δράση, ενώ πιθανόν σ' αυτά να αιωρούνται και στερεά σωματίδια. Γι' αυτό, τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να ανταποκρίνονται ανάλογα στην κάθε περίπτωση, ως εξής:

α) Στις αντλίες που χρησιμοποιούνται για το νερό ψύξεως της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών, στο δίκτυο γλυκού νερού ή του πόσιμου νερού, το υλικό κατασκευής του κελύφους είναι υψηλής ποιότητας χυτοσίδηρος, η περωτή από χαλκό ή κράμα χαλκού και ο άξονας από ανοξείδωτο χάλυβα για υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση.

β) Οι αντλίες θαλάσσης, απ' τις οποίες διέρχεται η θάλασσα, κατασκευάζονται με κέλυφος από ορείχαλκο, περωτή από κράμα χαλκού και αλουμίνιο και άξονα από ανοξείδωτο χάλυβα. Όταν η στεγανοποίηση γίνεται με παρεμβύσματα (σαλαμάστρες) ή όταν χρησιμοποιούνται μηχανικοί στυπιοθλίπτες, οι άξονές τους κατασκευάζονται από άλλα κράματα ανοξείδωτου χάλυβα.

γ) Στις τροφοδοτικές αντλίες των λεβήτων, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της πιέσεως, λειτουργίας τους, χρησιμοποιείται χυτοσίδηρος για το κέλυφος, ενώ ο άξονας και η περωτή κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα.

δ) Οι αντλίες φορτίου, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, κατασκευάζονται από:

- Ορείχαλκο για τα δεξαμενόπλοια.
- Ανοξείδωτο χάλυβα για το κέλυφος, το στροφέιο και για τον άξονα, κατάλληλος για τα περισσότερα χημικά φορτία στα χημικά πλοία.
- Κράμα νικελίου-χάλυβα, για τις αντλίες χαμηλής θερμοκρασίας του φορτίου των υγραεριοφόρων (Liquefied Gas Carrier).

Επίσης, θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε:

α) Να είναι ανθεκτικές στα δυναμικά φορτία που προκύπτουν από την κίνηση των πλοίων, λόγω της λειτουργίας τους σε μια κινούμενη πλατφόρμα.

β) Να αντέχουν το ζεστό περιβάλλον λειτουργίας του μηχανοστασίου, το οποίο ενδεχομένως να είναι υγρό και διαβρωτικό λόγω της υγρασίας που μεταφέρεται με τον θαλασσινό αέρα.

γ) Να είναι κατάλληλες για λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή, όπως συμβαίνει κατά τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο λιμάνι ή εν πλώ ή κατά την εκφόρτωση του πλοίου.

δ) Να ελαχιστοποιείται το μέγεθος και το βάρος τους, που αποτελεί 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.

Οι αντλίες που περιγράφονται στη συνέχεια αναφέρονται σε τύπους αντλιών, που συνήθως χρησιμοποιούνται στα πλοία. Είναι γενικού χαρακτήρα και μπορεί να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις βάσει των απαιτήσεων σε συγκεκριμένες εγκαταστάσεις ή των ιδιαιτέρων σχεδιαστικών χαρακτηριστικών κάθε κατασκευαστή.

2.12 Μονοσταδιακές φυγοκεντρικές αντλίες.

Οι μονοσταδιακές αντλίες απλής αναρροφήσεως κατασκευάζονται με οριζόντιο ή και κάθετο άξονα σε μεγάλο εύρος παροχών που κυμαίνονται από 100 – 7000 m³/h, με υψηλό μανομετρικό ύψος καταθλίψεως και ταχύτητα περιστροφής, που εξαρτάται από τις απαιτήσεις της παροχής και του ύψους καταθλίψεως.

Ανάλογα με το μέγεθος και τον κατασκευαστή σχεδιάζονται με αξονικά διαιρούμενο κέλυφος, το οποίο μπορεί να είναι μονής ή διπλής σπειρώσεως ή για μικρότερες αντλίες με το κέλυφος που ανοίγει από την πάνω πλευρά. Τα περιαυχένια συνδέσεως

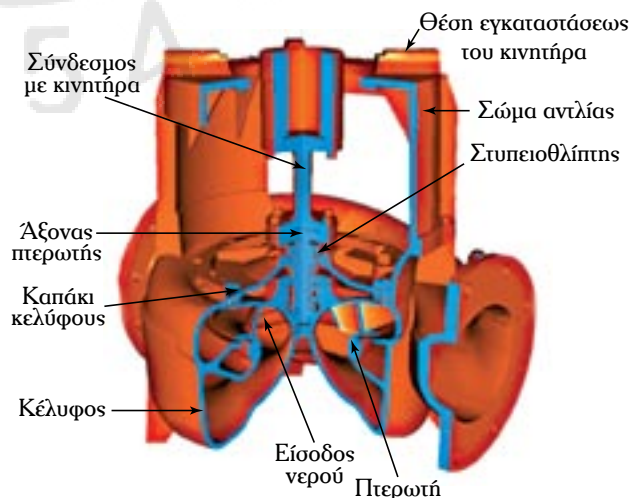
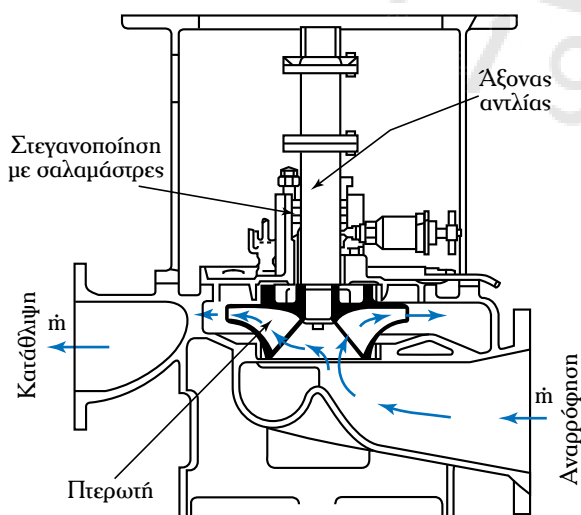
με τους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως βρίσκονται στις οριζόντιες αντλίες στο κάτω ημικέλυφος, ενώ στις κάθετες αντλίες στα πλάγια του σταθερού ημικελύφους, διευκολύνοντας την αποσυναρμολόγηση (εξάρμωση) για επιθεώρηση ή επισκευή.

Ο άξονας μεταδόσεως κινήσεως της περωτής συνδέεται με κινητήριο μηχανήμα, που συνήθως είναι ηλεκτροκινητήρας με σύνδεσμο συζεύξεως (coupling), που συγκρατείται με βίδες, παξιμάδια και κατάλληλα διαμορφωμένο ελαστικό δακτύλιο, επιτυγχάνοντας την ομαλή εκκίνηση και μετάδοση της κινήσεως από τον ηλεκτροκινητήρα στον άξονα της αντλίας (σχ. 2.12α).

Η στήριξη του άξονα πραγματοποιείται με ρουλεμάν στην πλευρά του κινητήριου μηχανήματος (σχ. 2.12β), ενώ σε αντλίες με άξονα μεγάλου μήκους, η στήριξη του άξονα περιστροφής μπορεί να πραγματοποιείται και από δύο ρουλεμάν σε κατάλληλα διαμορφωμένη υποδοχή [φωλιά ρουλεμάν (bearing housing)] στο επάνω μέρος του κελύφους της αντλίας.

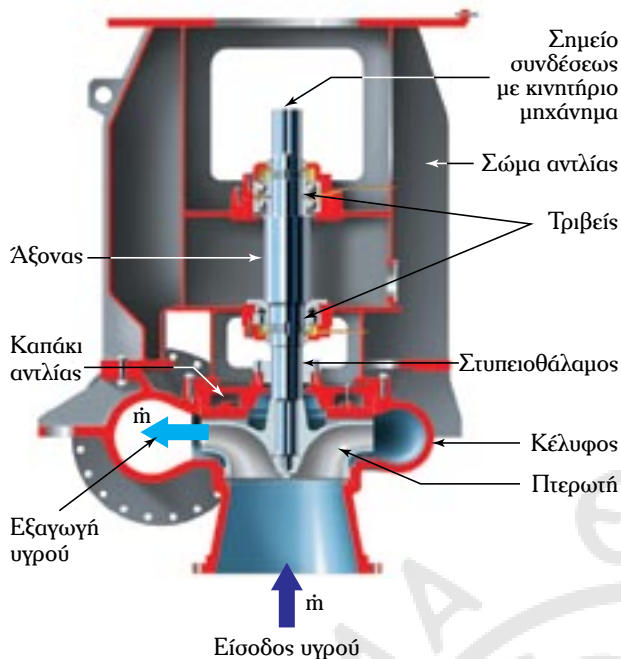
Η στεγανοποίηση του άξονα στην έξοδο απ' το κέλυφος συνήθως πραγματοποιείται με μηχανικό στυπιοθλίπτη ή με μαλακά παρεμβύσματα (σαλαμάστρες), κατάλληλα για το υγρό που διαρρέει την αντλία και τη θερμοκρασία του.

Η στεγανοποίηση του στροφείου-περωτής με το κέλυφος, στον διαχωρισμό της αναρροφήσεως από την κατάθλιψη, πραγματοποιείται με δακτυλίους (mouth-wear rings), αφήνοντας μικρό διάκενο, περιορίζοντας το μέγεθος των απωλειών. Οι δακτύλιοι τοποθετούνται είτε με πίεση παραμένοντας σταθερά



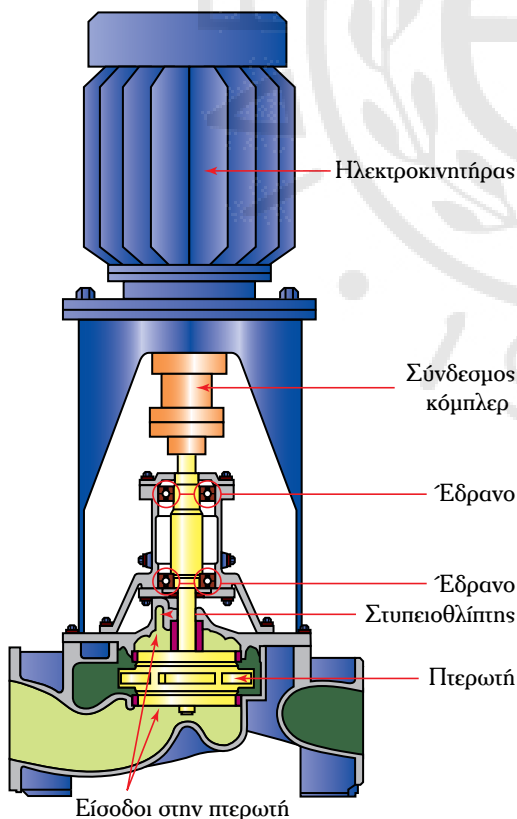
Σχ. 2.12α

Μονοσταδιακή αντλία.



Σχ. 2.12β

Αντλία με κάθετο άξονα και στήριξη με τριβείς σε δύο σημεία.



Σχ. 2.12γ

Μονοσταδιακή αντλία με πτερωτή διπλής εισόδου.

στη θέση τους, είτε ασφαλίζονται με βίδες. Αντικαθίστανται όταν υπερβούν τα όρια φθοράς, που ορίζονται από τον κατασκευαστή.

Χρησιμοποιούνται ως αντλίες θαλασσινού ή γλυκού νερού για την ψύξη της κύριας μηχανής, για την ψύξη εμβόλων, ως αντλίες κυκλοφορίας θαλάσσης στα δίκτυα ψύξεως κ.λπ..

Σε μεγάλες παροχές η πτερωτή μπορεί να είναι διπλής εισόδου (σχ. 2.12γ). Αν τα άκρα του άξονα εξέρχουν απ' τις δυο πλευρές του κελύφους η στήριξη του στροφείου επιτυγχάνεται με ρουλέμαν και στις δυο εξόδους του άξονα από την αντλία (vertical between-bearings centrifugal pump).

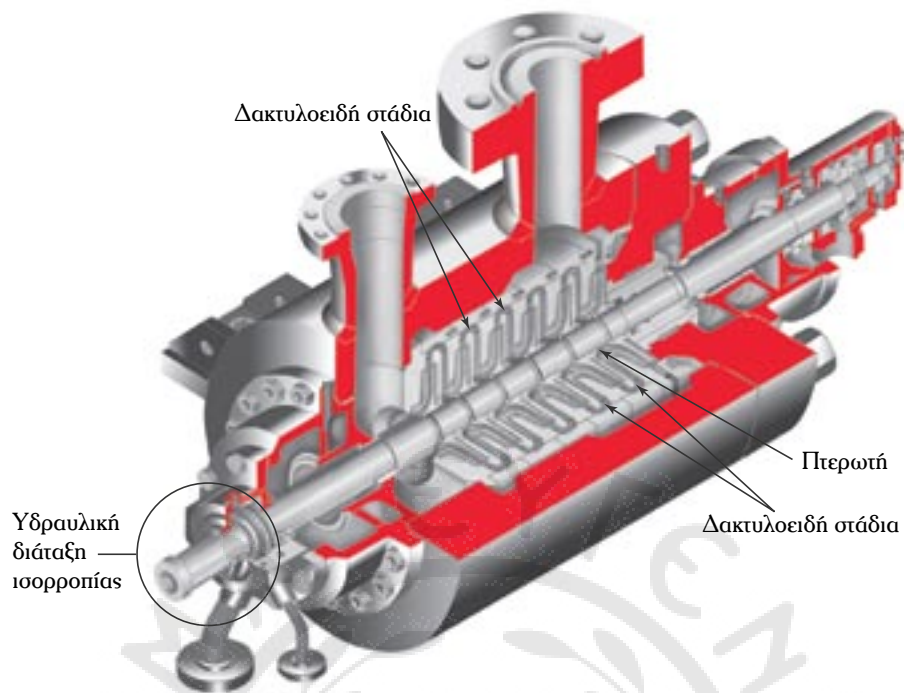
2.13 Πολυσταδιακές φυγοκεντρικές αντλίες με ηλεκτροκινητήρα.

Οι αντλίες αυτές τοποθετούνται οριζόντια, 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 απ' την επιθυμητή παροχή και την πίεση καταθλίψεως.

Το κέλυφος της αντλίας αποτελείται από έναν αριθμό δακτυλιοειδών σταδίων, όσα είναι και τα στροφεία, που συγκρατούνται μεταξύ του κελύφους της αναρροφήσεως και της καταθλίψεως με κοχλίες συσφίξεως (σχ. 2.13α). Σε άλλου τύπου πολυσταδιακές αντλίες, το κέλυφος χωρίζεται αξονικά σε δύο ημικελύφη στο επίπεδο του άξονα και πάνω στο κάθε ημικέλυφος δημιουργούνται θάλαμοι. Η ροή του υγρού διέρχεται εναλλάξ από τους θαλάμους και τα στροφεία, ώστε να δημιουργείται η ροή από το στροφείο του ενός σταδίου στο επόμενο (σχ. 2.13β).

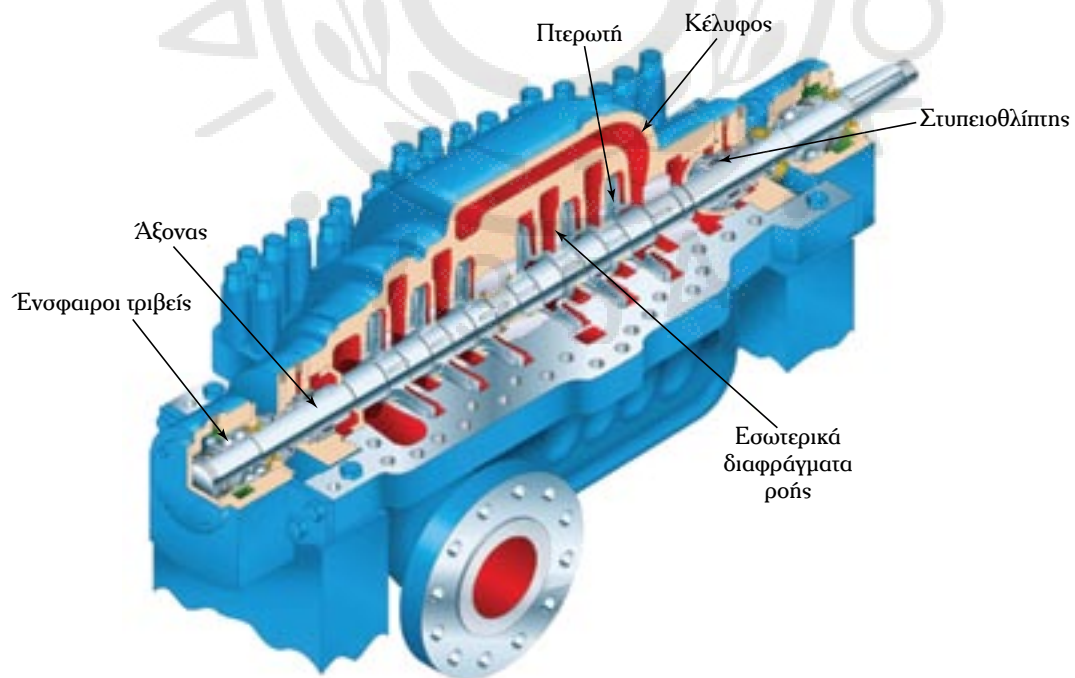
Η στήριξη του άξονα πραγματοποιείται σε κάθε άκρο του που εξέρχεται απ' το κέλυφος με τριβέα εδράσεως, ενώ η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται από στύπιοθλίπτη με σαλαμάστρες υψηλής ποιότητας και αντοχής ή μηχανικό στύπιοθλίπτη.

Οι τριβείς όπου εδράζεται ο άξονας, αναλόγως με τον κατασκευαστή και το μέγεθος της αντλίας, μπορεί να είναι: α) **Ένοφairoι τριβείς**, με την αξονική τους θέση να ορίζεται από δακτυλιοειδή ελατήρια που λαμβάνουν τις αξονικές ώσεις κατά τη λειτουργία της αντλίας, ή με μία β) **υδραυλική διάταξη ισορροπίας**, διατηρώντας τον άξονα στη σωστή θέση σε όλα τα φορτία λειτουργίας.



Σχ. 2.13α

Πολυσταδιακή αντλία με δακτυλίους.



Σχ. 2.13β

Πολυσταδιακή αντλία με ημικέλυφος ροής.

Η βασική απαίτηση κατά την εκκίνηση αυτού του τύπου των αντλίων είναι η πίεση καταθλίψεως να φτάνει γρήγορα στο επιθυμητό επίπεδο λειτουργίας, ώστε να μειώνεται η φθορά και η κόπωση των σημείων εδράσεως. Γι' αυτόν τον λόγο τοποθετείται στην κατάθλιψη επιστόμιο με ανεπίστροφη βαλβίδα, η οποία σε κάποια επιστόμια λειτουργεί υπό την επίδραση της εντάσεως ελατηρίου.

Για την προστασία της αντλίας, όταν η πίεση αναρροφήσεως στο πρώτο στάδιο πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο σημείο, τοποθετείται **πρεσσοστά-*της*** (pressure switch) αποτρέποντας την ανώμαλη λειτουργία της αντλίας και τη λειτουργία σε συνθήκες που προκαλούν σπηλαίωση.

2.14 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, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ατμοστροβίλος ως κινητήριο μέσο της αντλίας.

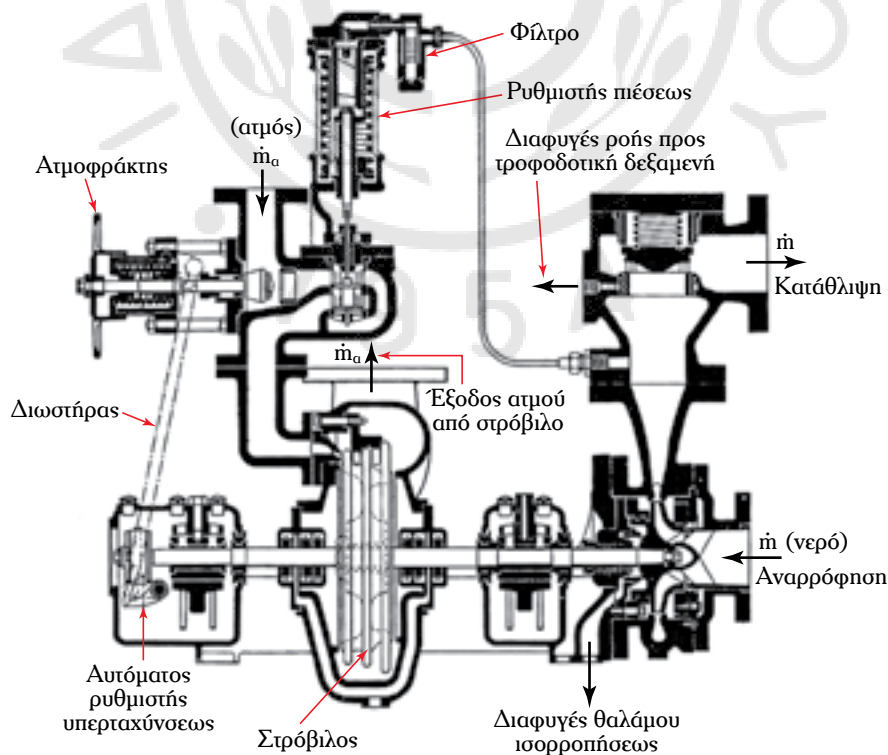
Επίσης, η απόδοση και η αξιοπιστία μίας φυγοκεντρικής αντλίας, που κινείται με ατμοστροβίλο παρέ-

χοντας σταθερή παροχή, είναι ιδανική για να καλύψει τις ανάγκες σε νερό του ατμολέβητα. Μ' αυτές τις αντλίες αντιμετωπίζεται η μικρή ικανότητα του λέβητα να αποθηκεύσει ικανοποιητική ποσότητα τροφοδοτικού νερού, σε σχέση με την ποσότητα που χρειάζεται για την ατμοπαραγωγή. Ταυτόχρονα βελτιώνει τον κύκλο αποδόσεως του συστήματος, χρησιμοποιώντας τις εξατμίσεις της αντλίας στην προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Χαρακτηριστικοί τύποι αυτών των αντλιών είναι οι στροβιλαντλίες τροφοδοτήσεως Weir και οι στροβιλαντλίες τροφοδοτήσεως Coffin (παράγρ. 2.14.3).

2.14.1 Στροβιλαντλία με λίπανση ελαίου.

Ένα από τα κύρια μέρη της αντλίας είναι ο ατμοστρόβιλος, ο οποίος είναι τροχός δράσεως τριών διαβαθμίσεων ταχύτητας, με τον άξονά του να επεκτείνεται μεταδίδοντας άμεσα την περιστροφική κίνηση στο στροφέιο της μονοσταδιακής φυγοκεντρικής αντλίας (σχ. 2.14α). Η στήριξη του άξονα πραγματοποιείται σε τριβείς και η λίπανση γίνεται με λάδι.

Ο ατμός εισέρχεται στον στρόβιλο μέσω του ατμοφράκτι που είναι μόνιμα ανοικτός. Στη συνέχεια μέσω βαλβίδας διπλής επικαθίσεως διέρχεται από



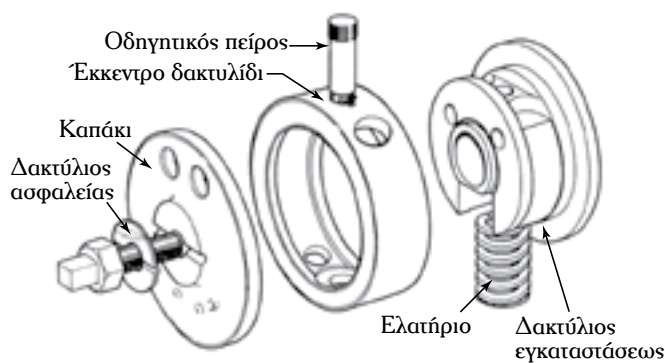
Σx. 2.14a

Αντλία αιμοσιροβίλου με λίπανση ελαίου.

τα ακροφύσια που βρίσκονται στο κέλυφος, παρέχοντας τον ατμό προς τα περύγια για την περιστροφή του στροβίλου. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο της βαλβίδας διπλής επικαθίσεως, ελέγχεται από το βάκτρο της, που συνδέεται με έναν ρυθμιστή πίεσης.

Ο ρυθμιστής αποτελείται από κύλινδρο με έμβολο, που στην επάνω πλευρά του ενεργεί η πίεση της καταθλίψεως της αντλίας, ενώ στο κάτω μέρος του ενεργεί εντατικό ελατήριο. Έτσι ο ατμός που εισέρχεται εξαρτάται από την πίεση καταθλίψεως της αντλίας και η ποσότητα της εισαγωγής ατμού επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση εντάσεως του ελατηρίου από ρυθμιστικό περικόχλιο, που ενεργεί στο έμβολο. Αν ο ρυθμιστής είναι εντελώς ανοικτός και ο ατμός δεν επαρκεί για την τροφοδότηση του λέβητα, ανοίγονται τα βοηθητικά ακροφύσια που υπάρχουν στο κέλυφος του στροβίλου. Έτσι, ο ρυθμιστής πίεσης παρέχει μια ισορροπημένη λειτουργία, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της καταναλώσεως.

Η ταχύτητα περιστροφής του κοινού άξονα του στροβίλου και της αντλίας, ελέγχεται από δακτυλιοειδή διακόπτη ασφαλείας υπερταχύσεως (overspeed trip) (σχ. 2.14β). Αυτός αποτελείται από έναν αζυγοστάθμητο δακτύλιο, που το βάρος του είναι διανεμημένο έκκεντρα, ενώ με τη βοήθεια εσωτερικού ελατηρίου και οδηγητικού πείρου διατηρείται ομόκεντρος προς τον άξονα. Όταν η ταχύτητα περιστροφής φτάσει το προκαθορισμένο όριο της εντάσεως που ρυθμίζεται το εσωτερικό ελατήριο, ωθείται ο διωστήρας συνδέσεώς του με τον κύριο ατμοφράκτη απασφαλίζοντας το ελατήριο. Τότε ακαριαία κλείνει ο κύριος ατμοφράκτης, διακόπτοντας τη ροή του ατμού στον στρόβιλο. Για να πραγματοποιηθεί εκ νέου η εκκίνηση της αντλίας πρέπει να οπλίσει το βάκτρο με το ελατήριο, ώστε να οπλίσει ξανά ο κύριος ατμοφράκτης παρασύροντας τη βαλβίδα στην ανοικτή θέση.



Σχ. 2.14β

Δακτυλιοειδής διακόπτης ασφαλείας.

2.14.2 Στροβιλαντλία με υδrolίπανση.

Η επιτυχής ανάπτυξη τριβέων με υδrolίπανση αποτελεί μία πιο σύγχρονη μορφή της στροβιλαντλίας τύπου Weir, επιτρέποντας την κατασκευή μιας ενιαίας μονάδας του στροβίλου με την αντλία, με ένα κοινό κέλυφος (σχ. 2.14γ). Η αντλία αυτή είναι διβάθμια μονάδα, με τον στρόβιλο δράσεως και την περωτή της αντλίας προσαρμοσμένα στον ίδιο άξονα, χωρίς να υπάρχουν εξωτερικοί τριβείς στα άκρα του άξονα, αλλά η στήριξή του επιτυγχάνεται με ενδιάμεσους τριβείς.

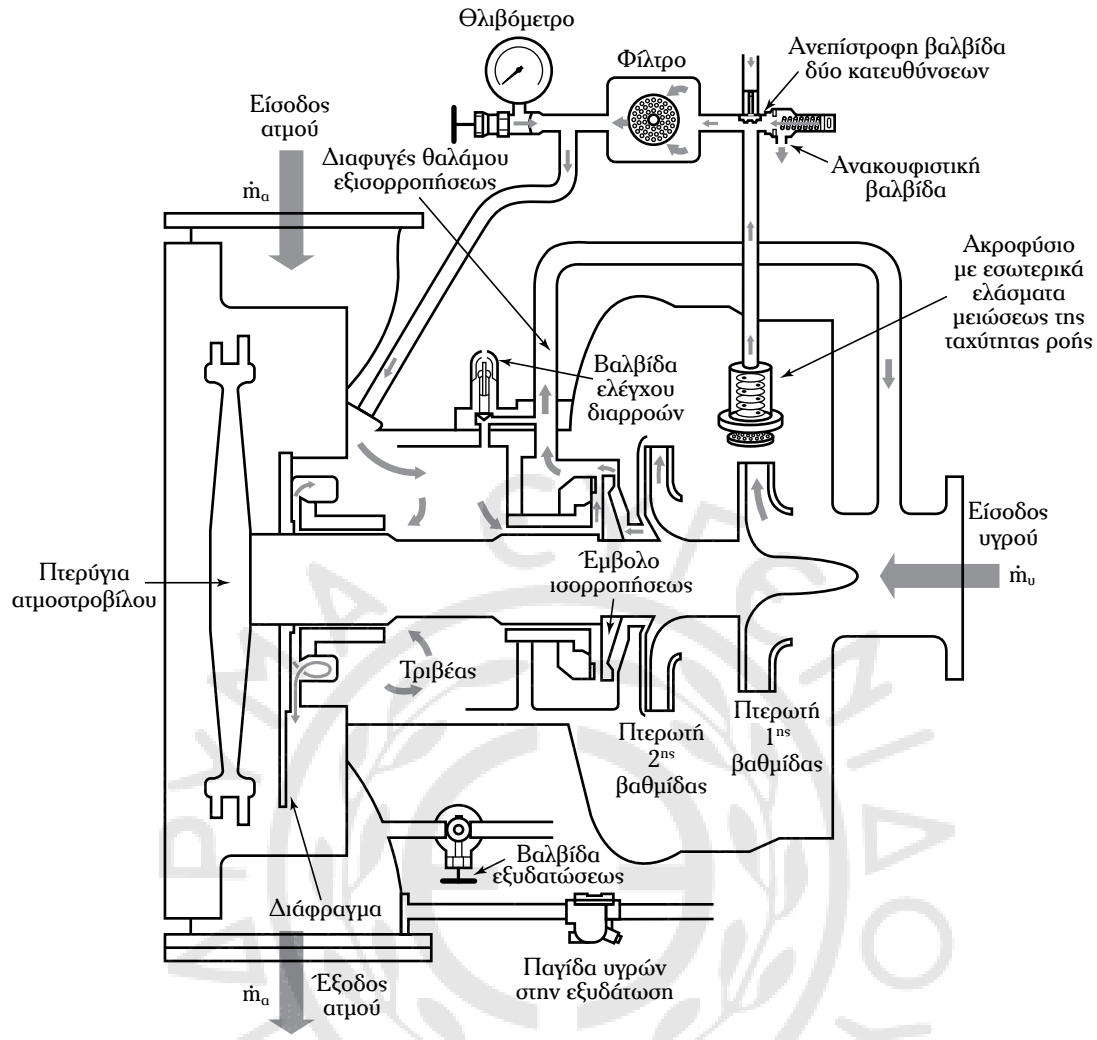
Το στροφείο του στροβίλου κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα και συνδέεται με τον άξονα της αντλίας μέσω συνδέσμου ακτινικής οδοντώσεως με ειδικό σχεδιασμό, ώστε να επιτρέπεται η ελεύθερη ακτινική διαστολή του διατηρώντας την ευθυγράμμισή του. Η σύνδεση με αυτόν τον τρόπο εμποδίζει τη μεταφορά της θερμότητας προς τον τριβέα του άξονα της αντλίας ενεργώντας ως διάφραγμα, διευκολύνοντας επί πλέον την αποσυναρμολόγηση για επισκευή, χωρίς να επηρεάζεται η δυναμική ζυγοστάθμιση του μηχανήματος.

Η πλευρά της αντλίας αποτελείται από δύο στροφεία απλής αναρροφήσεως (ακραίας εισαγωγής), δυναμικά ζυγοσταθμισμένα και είναι κατασκευασμένα από σπλιπνό ανοξείδωτο χάλυβα. Από ανοξείδωτο χάλυβα κατασκευάζονται επίσης οι διάχυτοι 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 αυτόματα ρυθμιστική διάταξη μ' ένα έμβολο ζυγοσταθμίσεως που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα.

Η υδrolίπανση των τριβέων κατά τη διάρκεια λειτουργίας πραγματοποιείται με τη διέλευση νερού από το ακροφύσιο, που αποτελείται από πολλά εμποδιστικά διαφράγματα, και βρίσκεται στην κατάθλιψη της περωτής της πρώτης βαθμίδας της αντλίας (σχ. 2.14γ). Το νερό στη συνέχεια ρέει μέσω φίλτρου προς τους τριβείς, ενώ η αύξηση της πίεσης αποτρέπεται με ασφαλιστική βαλβίδα τοποθετημένη στον σωλήνα νερού προς τους τριβείς. Το νερό που διέρχεται από τους τριβείς αναμειγνύεται με την εξαγωγή του στροβίλου, ενώ οι διαφυγές από τον θάλαμο ισορροπήσεων επιστρέφουν στην αναρρόφηση της αντλίας.

Κατά την εκκίνηση, την κράτηση ή τη διάρκεια



Σχ. 2.14γ

Στροβιλαντλία με υδρολίπανση.

αναμονής της αντλίας, το νερό προς τους τριβείς παρέχεται από εξωτερική πηγή, που συνήθως είναι η αντλία συμπυκνώματος. Το νερό εισέρχεται στην αντλία μέσω ανεπίστροφης βαλβίδας που συνδέεται στον σωλήνα νερού προς τους τριβείς, που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.14γ.

Η φθορά των τριβέων έχει ως αποτέλεσμα τη διέλευση μεγαλύτερης ποσότητας υγρού από τα διάκενα του τριβέα με τον άξονα και βαθμιαία πώση της πίεσης του λιπαντικού νερού στον κεντρικό θάλαμο. Για να αντιμετωπιστεί η πώση της πίεσης του λιπαντικού νερού, ρυθμίζεται η βαλβίδα επιστροφής των διαφυγών προς την αναρρόφηση της αντλίας.

2.14.3 Στροβιλαντλία Coffin.

Οι στροβιλαντλίες Coffin, χρησιμοποιούνται ως τροφοδοτικές νερού των λεβήτων και είναι φυγο-

κεντρικές μονοσταδιακές αντλίες υψηλής ταχύτητας (σχ. 2.14δ). Πληρούν τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την εγκατάσταση σε ένα πλοίο όπως:

α) Την συμπαγή κατασκευή με μικρό όγκο και βάρος.

β) Την αξιοπιστία για συνεχή λειτουργία χωρίς ιδιαίτερη επίβλεψη.

γ) Την απλότητα στην κατασκευή διευκολύνοντας τις περιοδικές επιθεωρήσεις.

δ) Την μεγάλη απόδοση με χαμηλό λειτουργικό κόστος.

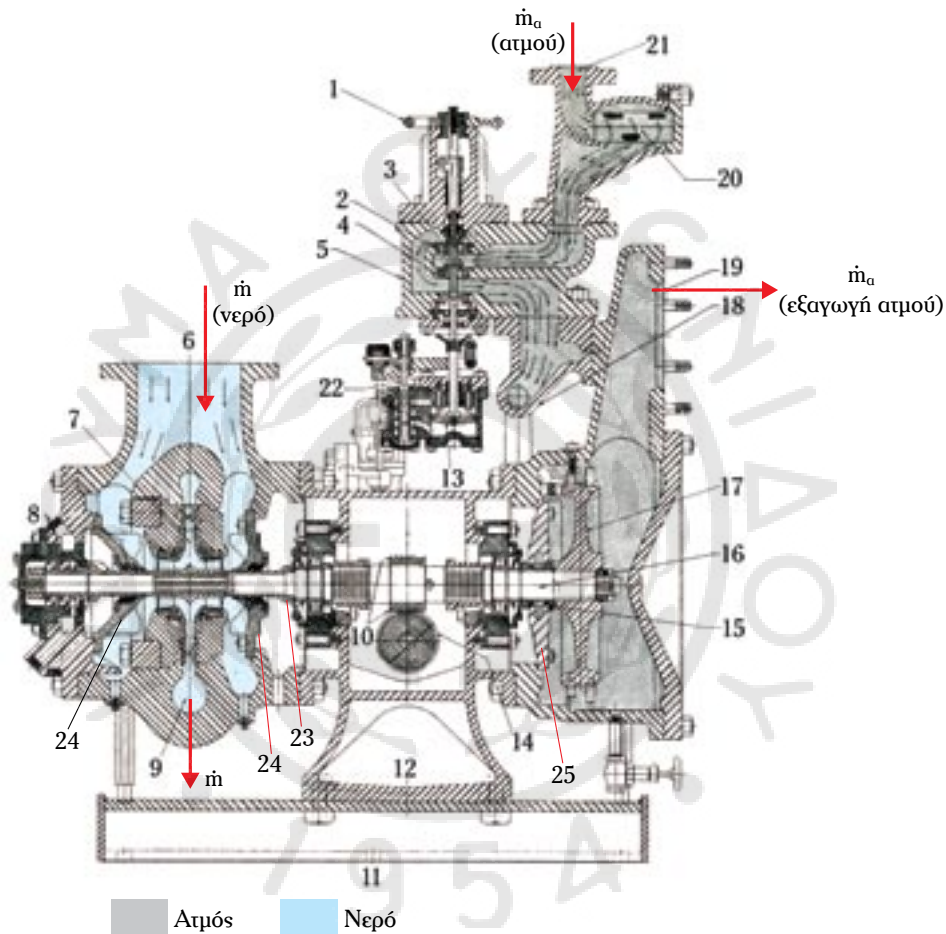
Οι στροβιλαντλίες Coffin είναι κατασκευασμένες να λειτουργούν με ατμό, η θερμοκρασία του οποίου φτάνει τους 520°C και η ταχύτητα περιστροφής τους φτάνει τις 9000 rpm, που είναι σχεδόν διπλάσια απ' αυτήν των συμβατικών αντλιών. Η βελτίωση της αποδόσεως της αντλίας οφείλεται στη μείωση των

μηχανικών απωλειών, εφόσον ο στρόβιλος και η περωτή της αντλίας προσαρμόζονται σ' έναν κοινό άξονα από ανοξείδωτο χάλυβα ή μέταλλο monel.

Τα εξαρτήματα της αντλίας, όπως ο τροχός του στρόβιλου, ο διαχυτήρας, το κάλυμμα του διαχυτήρα, οι δακτύλιοι φθοράς, τα διαφράγματα και οι εισαγωγές, κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα, ενώ το κέλυφος από χυτοχάλυβα ή ανοξείδωτο χάλυβα.

Η περωτή της αντλίας είναι σχεδιασμένο, ώστε

να επιτυγχάνεται τέλεια ισορροπία κατά τις αξονικές ώσεις. Είναι διπλής αναρροφήσεως ή μονής σε μικρότερες αντλίες και φέρει οπές ισορροπήσεως της υδραυλικής ώσεως. Η ταχύτητα του νερού υπό την επίδραση της περωτής της αντλίας μετατρέπεται σε πίεση στον διαχυτήρα, με αποτέλεσμα η ταχύτητά του στο ελκικόφραγμα να είναι σχετικά μικρή. Η στεγανότητα εξασφαλίζεται με ειδικά κατασκευασμένα παρεμβύσματα.



1. Αιμοφράκτης
2. Άνω έδρα βαλβίδας
3. Βαλβίδα ελέγχου
4. Κάτω έδρα βαλβίδας
5. Αιμοκιβώτιο
6. Αναρρόφηση αντλίας
7. Περωτή αντλίας
8. Ωστικός τριβέας
9. Κατάθλιψη αντλίας
10. Αιέρμονας
11. Βάση αντλίας
12. Δεξαμενή λαδιού
13. Έμβολο ελαιοκινητήρα

14. Αιέρμονας κινήσεως ρυθμιστή της αντλίας
15. Συμπιεστική άξονα
16. Άξονας
17. Τροχός στρόβιλου
18. Εισαγωγή ατμού
19. Εξαγωγή στρόβιλου
20. Φίλτρο ατμού
21. Εισαγωγή ατμού
22. Οδηγός βαλβίδα λαδιού
23. Δακτύλιοι φθοράς
24. Διαχυτήρας και κάλυμμα διαχυτήρα
25. Διάφραγμα

Σχ. 2.146
Αντλία Coffin.

Οι τριβείς της αντλίας είναι τύπου κυλινδροτριβών, σχεδιασμένοι με ακρίβεια, ώστε να είναι ανθεκτικοί σε υψηλά φορτία και μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Μ' αυτούς εξασφαλίζεται η συγκεντρική περιστροφή του άξονα ελαττώνοντας στο ελάχιστο τα διάκενα των δακτυλίων φθοράς.

Η αντλία διαθέτει ωστικό τριβέα, τύπου διπλού ένσφαιρου τριβέα, που τοποθετείται στο εξωτερικό κέλυφος. Έτσι, επιτρέπεται η αυτόματη ρύθμιση της αξονικής θέσεως όλων των κινητών μερών της, χωρίς να απαιτείται η χρήση μεταλλικών προσθηκών ρυθμίσεως θέσεως του άξονα ή άλλων ρυθμιστικών μέσων.

Η λίπανση πραγματοποιείται από γραναζωτή αντλία, που κινείται μέσω ατέρμονα τροχού εγκατεστημένου στον κύριο άξονα. Η πίεση του ελαίου λιπάνσεως είναι σταθερή, ανεξάρτητα απ' τη μεταβολή της ταχύτητας και του φορτίου της μονάδας και επιτυγχάνεται με τον έλεγχο από την αυτόματη ρυθμιστική και την ασφαλιστική βαλβίδα.

Η αντλία διαθέτει επίσης:

α) **Ελαιοκινητήρα**, ο οποίος αποτελείται από κύλινδρο με έμβολο και ρυθμιστική ή οδηγό βαλβίδα. Έχει μεγάλη ισχύ και βαθμό ευαισθησίας, προκειμένου να ενεργοποιεί τη βαλβίδα ελέγχου του ατμού και αυτή να ανταποκρίνεται στις ωθήσεις του ρυθμιστή σταθερής πίεσεως και του ρυθμιστή υπερταχύνσεως.

β) **Ρυθμιστή σταθερής πίεσεως**, που ανταποκρίνεται στις στιγμιαίες πιέσεις απ' την κατάθλιψη του νερού με τη βοήθεια του ελαιοκινητήρα, ώστε να διατηρεί σταθερή ρυθμιζόμενη πίεση καταθλίψεως ανεξάρτητα από την παροχή της αντλίας.

γ) **Φυγοκεντρικό ρυθμιστή υπερταχύνσεως** για την προστασία της αντλίας, ο οποίος επεμβαίνει αυτόματα σε προκαθορισμένη ταχύτητα. Σε περίπτωση απώλειας της αναρροφήσεως ο ρυθμιστής περιορίζει αυτόματα την ταχύτητα και επαναφέρει την αντλία σε κανονική λειτουργία, όταν αποκατασταθεί η αναρρόφηση.

δ) **Διακόπτη υπερβολικής αντιθλίψεως**¹, που κλείνει αυτόματα τη βαλβίδα εισαγωγής του ατμού σε περίπτωση υπερβολικής αντιθλίψεως στην εξαγωγή του στροβίλου.

Για τη λειτουργία της αντλίας ο ατμός παρέχεται μέσω του ανεμοφράκτη. Ο έλεγχος της αντλίας, μετά τη διέλευση του ατμού από τον ατμοφράκτη, πραγ-

ματοποιείται 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 πίεσεως. Ταυτόχρονα, η βαλβίδα χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του ρυθμιστή υπερταχύνσεως, του διακόπτη αντιθλίψεως και στην 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 πίεσεως του ελαίου λιπάνσεως ή υπερβολικής αντιθλίψεως. Η λειτουργία επαναλαμβάνεται αυτόματα, μόλις η πίεση του λαδιού 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.

2.14.4 Αντλίες συμπυκνώματος δύο σταδίων.

Οι αντλίες αυτές είναι κάθετα τοποθετημένες φυγοκεντρικές αντλίες με δύο ή περισσότερα στάδια (σχ. 2.14ε). Η αναρρόφηση της αντλίας γίνεται



Σχ. 2.14ε

Αντλία δύο σταδίων.

¹ Αντίθλιψη ονομάζεται η δυσκολία που συναντά ένα ρευστό στη διέλευση από έναν σωλήνα ή οχετό.

μέσω σωλήνα που συνδέεται στον πυθμένα του κύριου ψυγείου συμπυκνώματος, ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής ροή προς την περωτή της πρώτης βαθμίδας (παράγρ. 2.15).

Η κίνηση της αντλίας πραγματοποιείται με τη σύνδεση του άξονά της σε ηλεκτροκινητήρα, ενώ σε κάποιες εγκαταστάσεις κινείται από ατμοστρόβιλο δράσεως συνδεδεμένο στον άξονά της 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.

Η κάτω περωτή αποτελεί το **πρώτο στάδιο** και τοποθετείται με την οπή αναρροφήσεως του υγρού προς τα πάνω, ώστε να αποβάλλεται αυτόματα ο αέρας που τυχόν παρασύρεται με το συμπύκνωμα. Για την απαγωγή του αέρα, που συγκεντρώνεται, ένας σωλήνας συνδέεται από το κέλυφος πάνω από το στροφείο του πρώτου σταδίου στο επάνω μέρος του κελύφους του ψυγείου συμπυκνώματος.

Η **περωτή του δεύτερου σταδίου** τοποθετείται με την οπή αναρροφήσεως προς τα κάτω, επιτυγχάνοντας την ισορροπία στην υδραυλική πίεση από τις δύο περωτές, μειώνοντας την αξονική ώση, που ασκείται στον τριβέα στηρίξεως του άξονα. Έτσι, με τη διέλευση του συμπυκνώματος από τις δύο περωτές επιτυγχάνεται η υψηλή πίεση καταθλίψεως.

Μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σταδίου, 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 στυπαιοθλίπτη και παρέμβυσμα (σαλαμάστρα), είτε με μηχανικό στυπαιοθλίπτη.

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 ταχύτητας, για να ρυθμίζει την ταχύτητα της αντλίας σύμφωνα με το φορτίο του δικτύου ή για να τη διατηρεί σταθερή όταν η αντλία λειτουργεί σε άφορτη ή έμφορτη κατάσταση. Επιπρόσθετα, η ταχύτητα της αντλίας ελέγχεται και με αυτόματο διακόπτη υπερταχύνσεως.

2.15 Απαγωγή του αέρα από τις φυγοκεντρικές αντλίες.

Η αρχική αναρρόφηση των φυγοκεντρικών αντλιών επιτυγχάνεται όταν η αντλία βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της στάθμης του υγρού που πρόκειται να μεταφερθεί. Γι' αυτό, στα πλοία συνήθως οι αντλίες θαλάσσης τοποθετούνται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και οι άλλες φυγοκεντρικές αντλίες κάτω από τη στάθμη του υγρού της δεξαμενής που πρόκειται να μεταφερθεί, εξασφαλίζοντας την αρχική αναρρόφηση. Όμως, η μεταβολή στο βύθισμα του πλοίου μπορεί να μεταβάλλει το ύψος αναρροφήσεως, όπως συμβαίνει στην αντλία έκτακτης ανάγκης ή στην αντλία σεντινών, η αναρρόφηση της οποίας βρίσκεται αναγκαστικά υψηλότερα από τη στάθμη της επιφάνειας του υγρού.

Σ' αυτήν την περίπτωση προσαρμόζονται στην κυρία αντλία εξαρτημένες μικρότερες αντλίες θετικής μετατοπίσεως, απομακρύνοντας τον αέρα από το σωλήνα αναρροφήσεως της αντλίας και βοηθούν στη δημιουργία του απαραίτητου κενού, ώστε να γεμίσει με υγρό ο σωλήνας αναρροφήσεως και η αντλία. Τότε μόνο η περωτή της αντλίας είναι ικανό να συνεχίσει την αναρρόφηση και η φυγοκεντρική αντλία να λειτουργεί κάτω από φυσιολογικές συνθήκες.

Οι αντλίες προπληρώσεως που συναντώνται στα πλοία είναι:

- α) Οι εμβολοφόρες, που τείνουν να εξαλειφθούν.
- β) Οι περιστροφικές αντλίες τύπου υγρών εμβόλων.
- γ) Οι έκκεντρες αντλίες με περύγια, που έχουν την ικανότητα να αφαιρέσουν τον αέρα, παρουσιάζουν όμως μεγάλη φθορά των περυγίων, ενώ συχνά τα περύγια κολλούν μέσα στα αυλάκια που παλινδρομούν.

- δ) Οι εκχυτήρες οι οποίοι είναι αποτελεσματικοί αν το μέγεθός τους είναι το κατάλληλο με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του δικτύου, αλλά παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση.

Στη συνέχεια αναλύονται οι δύο συνηθέστεροι τύποι.

2.15.1 Εμβολοφόρες αντλίες προπληρώσεως.

Μία εμβολοφόρος αντλία προπληρώσεως συνδέεται σε ηλεκτροκίνητη μονοβάθμια αντλία κατακόρυφου τύπου (σχ. 2.15α). Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει τον άξονα της κύριας αντλίας και ο άξονας

της μέσω ατέρμονα κοχλία κινεί τον τροχό (1), μέσα στον οποίο είναι σφηνωμένος ο εμβολοφόρος άξονας της αντλίας προπληρώσεως (2).

Επάνω στον άξονα της αντλίας προπληρώσεως συνδέονται τα έμβολα βυθίσεως (3) και καθώς παλινδρομούν μέσα στα χιτώνια του κυλίνδρου (4), όπου συνδέεται ο σωλήνας αναρροφήσεως επιτυγχάνεται η δημιουργία κενού για την πλήρωση της αντλίας με υγρό. Ο αέρας μαζί με το υγρό καταθλίβονται σε θάλαμο διαχωρισμού και μέσω βελονοειδούς βαλβίδας (σχ. 2.15α) που διαθέτει ο θάλαμος, ο αέρας εξέρχεται στο περιβάλλον. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο της βελονοειδούς βαλβίδας ελέγχεται από πλωτήρα με ελατήριο, ώστε όσο υπάρχει αέρας μέσα στον θάλαμο αυτή να παραμένει ανοικτή.

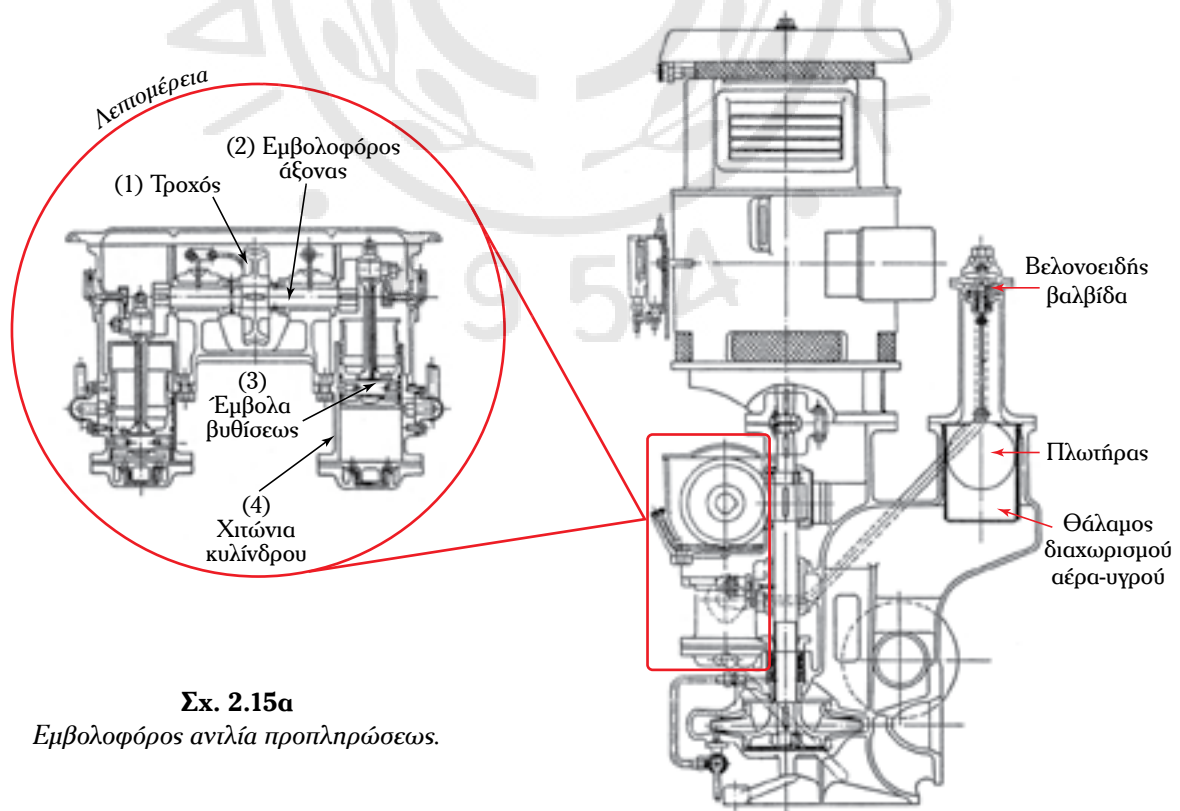
Όταν η στάθμη του υγρού στον θάλαμο αυξηθεί, ο πλωτήρας υπερνικώντας την ένταση του ελατηρίου κλείνει τη βελονοειδή βαλβίδα. Όταν ο σωλήνας αναρροφήσεως και η κυρία αντλία είναι γεμάτος υγρό, η αντλία προπληρώσεως συνεχίζει να περιστρέφεται άεργη, απορροφώντας ελάχιστη από την ισχύ του κινητήρα.

2.15.2 Περιστροφικές αντλίες προπληρώσεως.

Η περιστροφική αντλία μπορεί να είναι υγρών

εμβόλων ή με περύγια. Η αναρρόφηση της αντλίας υγρών εμβόλων, πραγματοποιείται από την αναρρόφηση της κύριας αντλίας και καταθλίβει σ' έναν θάλαμο διαχωρισμού, όπως η εμβολοφόρος. Η σύνδεση για τη μετάδοση της κινήσεως από τον άξονα της φυγοκεντρικής αντλίας πραγματοποιείται μέσω ενός τροχού, επενδυμένο με συνθετικό αντιολισθητικό υλικό στα σημεία επαφής με το δίσκο μεταδόσεως της κινήσεως στην αντλία προπληρώσεως (σχ. 2.15β).

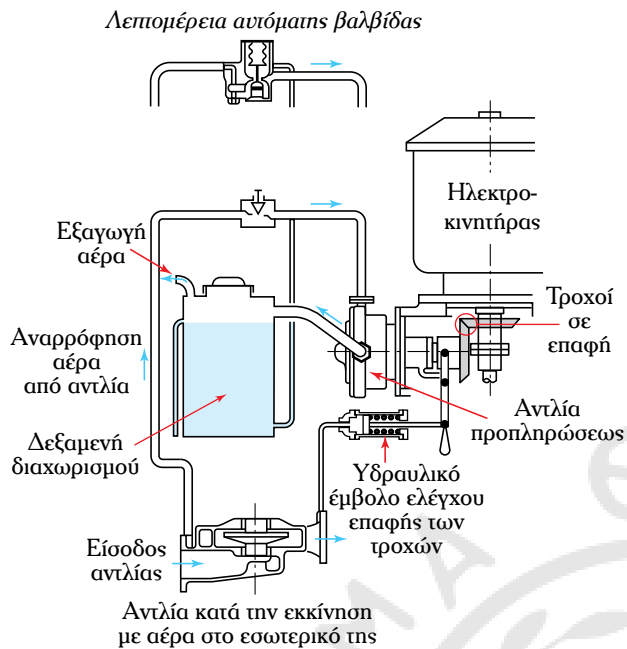
Με την εκκίνηση της κύριας αντλίας αρχίζει να περιστρέφεται και ο τροχός, παρασύροντας σε περιστροφή τον άξονα της αντλίας υγρών εμβόλων. Η επαφή του τροχού με τον άξονα της φυγοκεντρικής αντλίας ελέγχεται από ένα υγρό έμβολο και ο κύλινδρος του εμβόλου συνδέεται με σωλήνα στην κατάθλιψη της φυγοκεντρικής 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.



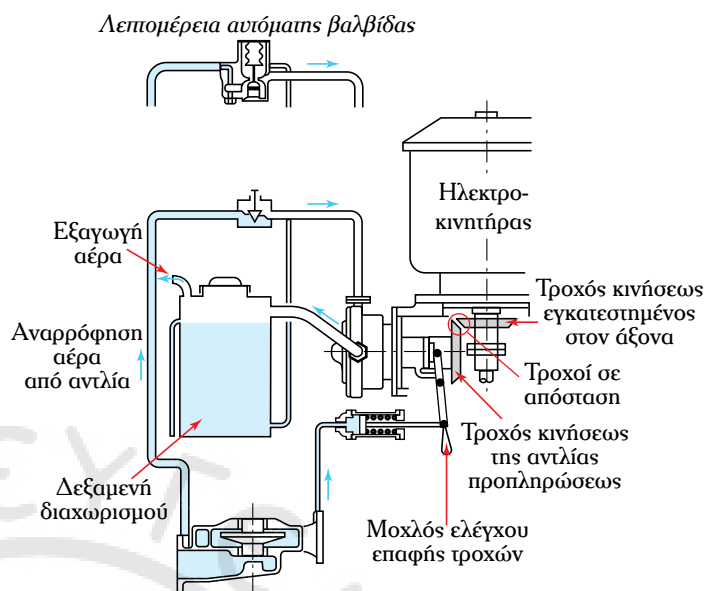
Σχ. 2.15α

Εμβολοφόρος αντλία προπληρώσεως.

ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ



ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ



Σχ. 2.15β

Περιστροφική αντλία προπληρώσεως.

2.15.3 Φυγοκεντρικές αντλίες αυτόματης πλήρωσεως.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους, 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 αναρρόφηση που στηρίζεται στην αρχή της διαχύσεως εξαλείφοντας την ανάγκη για εγκατάσταση αντλίας προπληρώσεως.

Οι αντλίες αυτόματης αναρροφήσεως έχουν ειδική διαμόρφωση στο κέλυφος (σχ. 2.15γ) με διευρυμένη αναρρόφηση, στην οποία μπορεί να τοποθετείται και κλαπέ, διπλό περίβλημα που αποτελεί το κέλυφος και έναν θάλαμο διαχωρισμού στην κατάθλιψη. Η αντλία γεμίζεται με υγρό μόνο κατά την αρχική της εκκίνηση, ώστε όσες φορές σταματά, στη συνέχεια μέσα στο κέλυφος της αντλίας και στον θάλαμο διαχωρισμού παραμένει μια ποσότητα υγρού.

Όταν η αντλία ξεκινά και υπάρχει αέρας στον σωλήνα αναρροφήσεως, το υγρό που υπάρχει ήδη μέσα στην αντλία διέρχεται από την περωτή δημιουργώντας το κενό αναρροφήσεως. Έτσι, το στρόφείο καταθλίβει προς το θάλαμο διαχωρισμού ένα μείγμα υγρού και αέρα. Εκεί, ο αέρας διαχωρίζεται και οδηγείται προς τον σωλήνα καταθλίψεως, ενώ

το υγρό επιστρέφει στην περωτή μέσω του διπλού διαφράγματος ή μέσω εξωτερικού σωλήνα επανακυκλοφορίας στην αναρρόφηση της περωτής, όπου αναμειγνύεται με νέα ποσότητα αέρα από τον σωλήνα αναρροφήσεως. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να αφαιρεθεί όλος ο αέρας προς την κατάθλιψη και η αντλία να λειτουργεί κανονικά.

Βέβαια, η επανακυκλοφορία μιας ποσότητας του υγρού συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας με αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός αποδόσεως. Γι' αυτό οι αντλίες κατασκευάζονται συνήθως για λειτουργία με χαμηλή ισχύ και χρησιμοποιούνται στην άντληση σεντινών.

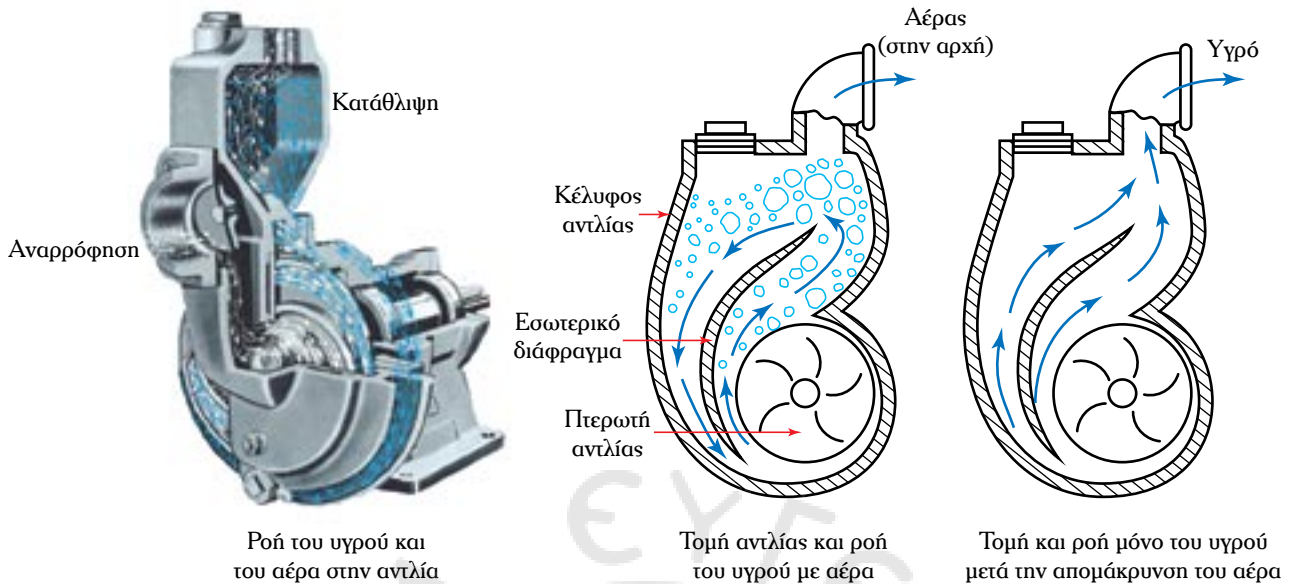
2.16 Παροχή φυγοκεντρικών αντλιών.

Ο υπολογισμός της θεωρητικής παροχής των φυγοκεντρικών αντλιών γίνεται από τη διατομή του σωλήνα αναρροφήσεως και την ταχύτητα του υγρού όταν διέρχεται από αυτή. Δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\theta} = \pi \cdot d^2 \cdot v_a \text{ σε m}^3/\text{sec} \quad (55)$$

όπου: d η διάμετρος του σωλήνα σε m και v_a η ταχύτητα του υγρού σε m.

Η πραγματική παροχή, όπως και στους άλλους τύπους αντλιών, δίνεται από το γινόμενο της θεωρητικής παροχής με τον ογκομετρικό βαθμό αποδό-



Σχ. 2.15γ

Φυγοκεντρική αντλία αυτόματης αναρροφήσεως.

σεως η_V λόγω των απωλειών. Η πραγματική παροχή εκφράζεται από τη σχέση:

$$Q_n = \eta_V Q_\theta \quad (56)$$

2.17 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλιών.

Κάθε χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της αντλίας παριστάνει γραφικά τη μεταβολή ενός χαρακτηριστικού μεγέθους της σε σχέση με ένα άλλο. Έτσι, σύμφωνα με τα λειτουργικά δεδομένα των αντλιών παρέχονται από τους κατασκευαστές διαγράμματα, στα οποία παριστάνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της κάθε αντλίας εκφράζοντας τις μεταβολές του ολικού ύψους (H), της αξονικής ισχύος (N_i), του βαθμού αποδόσεως (η), του καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως (NPSH), ως συνάρτηση της παροχής (Q).

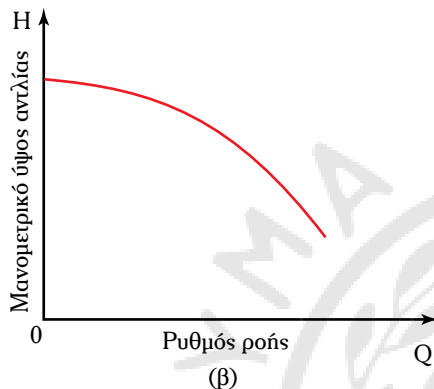
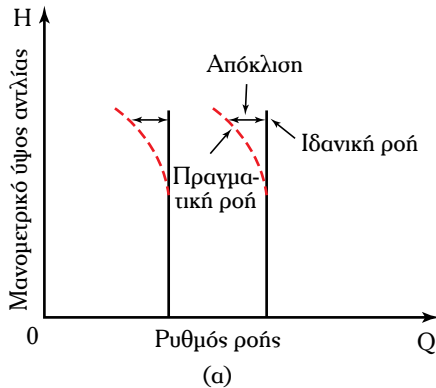
Συνήθως, οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας παριστάνονται στο ίδιο διάγραμμα και είτε αφορούν σε συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής της αντλίας που αναγράφεται σε αυτό, είτε σε περισσότερες από μία ταχύτητες που σημειώνονται σε κάθε καμπύλη. Επίσης, μπορεί να εκφράζονται σε διαφορετικά διαγράμματα για καμπύλες υγρών διαφορετικού ιξώδους. Τα διαγράμματα γενικά παρέχουν απαραίτητες πληροφορίες για τη λειτουργία των αντλιών τόσο κατά τις δοκιμές και την παραλαβή τους, όσο και στη μετέπειτα χρήση τους.

Η χαρακτηριστική καμπύλη παροχής-ολικού ύψους (Q-H) αποτελεί τη σημαντικότερη καμπύλη κάθε αντλίας, με το σχήμα της να εξαρτάται από την κατηγορία και τον τύπο της αντλίας, ώστε:

α) Σε αντλίες θετικής μετατοπίσεως (εμβολοφόρες, περιστροφικές), οι χαρακτηριστικές καμπύλες παροχής ολικού ύψους θεωρητικά είναι ευθείες, κάθετες στον άξονα της παροχής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.17α(α) με κάθε ευθεία να αντιστοιχεί σε ορισμένο αριθμό στροφών. Στην πραγματικότητα όμως, όταν αυξάνεται το υψος λόγω της διαρροής από την πλευρά της υψηλής πίεσης, προς την πλευρά της χαμηλής πίεσης μειώνεται η παροχή και οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας κλίνουν προς τα αριστερά, όπως η διακεκομμένη γραμμή του σχήματος.

β) Σε δυναμικές αντλίες (φυγοκεντρικές) για σταθερή ταχύτητα, παρουσιάζεται αύξηση της παροχής καθώς το ύψος ελαττώνεται και αντίστροφα μείωση της παροχής καθώς το ύψος αυξάνεται [σχ. 2.17α(β)].

Εκτός των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας της αντλίας λαμβάνεται υπόψη η χαρακτηριστική καμπύλη του αντλητικού συστήματος, παριστάνοντας γραφικά τη μεταβολή του ολικού ύψους της σωληνώσεως του συστήματος H_z , σε συνάρτηση με τη μεταβολή της παροχής Q. Για την κατασκευή της καμπύλης λαμβάνεται υπόψη ότι το ολικό ύψος του συστήματος αποτελείται από δυο μέρη:



Σχ. 2.17α

Φυγοκεντρική αντλία αυτομάτης αναρροφήσεως.

Το στατικό μέρος, το οποίο εκφράζεται με το άθροισμα του στατικού ύψους H_o , που είναι ανεξάρτητο της παροχής, με το υψος της διαφοράς πιέσεως των δύο δεξαμενών και δίνεται ως:

$$\text{στατικό μέρος} = H_o + \frac{p_o - p_i}{\rho \cdot g} \quad (55)$$

όπου: p_o η πίεση στην έξοδο της εγκαταστάσεως, p_i η πίεση στην είσοδο της εγκαταστάσεως και g η σταθερά της βαρύτητας.

Το δυναμικό μέρος, που είναι το άθροισμα του ύψους απωλειών με το υψος διαφοράς ταχύτητας και δίνεται ως:

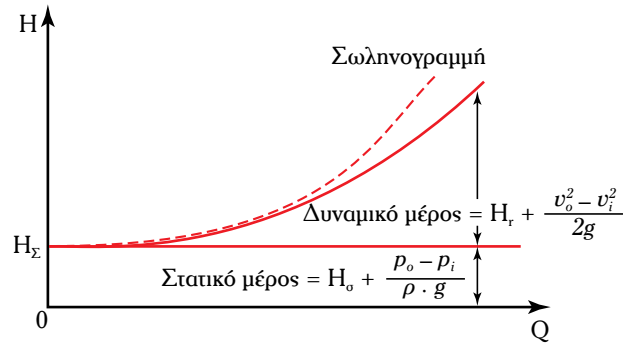
$$\text{δυναμικό μέρος} = H_r + \frac{v_o^2 - v_i^2}{2g} \quad (56)$$

όπου: v_o , η ταχύτητα ροής στη διατομή εξόδου της εγκαταστάσεως, v_i η ταχύτητα ροής στη διατομή εισόδου της εγκαταστάσεως, H_r , το ύψος αντιστάσεων.

Η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής (H_Σ) περιγράφεται από τη σχέση:

$$H_\Sigma = H_o + \zeta \cdot Q^2 \quad (57)$$

όπου: H_o το στατικό υψος, ζ ο συντελεστής αντιστά-



Σχ. 2.17β

Χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής.

σεως αναρροφήσεως και καταθλίψεως ή $\zeta = \zeta_a + \zeta_k$ και Q η παροχή σε m^3/s , και εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια που πρέπει να προσδίδεται στο υγρό, ώστε να διακινείται μέσω των σωληνώσεων με παροχή Q .

Έτσι, η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνώσεως έχει τη μορφή της συνεχούς γραμμής του διαγράμματος του σχήματος 2.17β, όπου με το στατικό μέρος επηρεάζεται η δημιουργία του διαγράμματος, διότι για μηδενική παροχή πάλι απαιτείται ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας για να υπερνικήσει τη στατική διαφορά της πίεσης του συστήματος. Όπως φαίνεται από την καμπύλη για μεγαλύτερες παροχές, οι απαιτήσεις σε μανομετρικό υψος αυξάνονται στη δεύτερη δύναμη, ενώ αν για κάποιο λόγο αυξηθούν οι τριβές (π.χ. αύξηση της τραχύτητας στο εσωτερικό των σωλήνων από την επικάλυψη αλάτων) η χαρακτηριστική καμπύλη θα είναι η διακεκομμένη γραμμή, όπου η παροχή είναι μικρότερη.

Αν η χαρακτηριστική καμπύλη ολικού ύψους-παροχής της αντλίας ($H-Q$) και η χαρακτηριστική καμπύλη του αντλητικού συστήματος που εξυπηρετεί η αντλία σχεδιαστούν στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων με την ίδια κλίμακα, το σημείο τομής των δύο καμπυλών ορίζει το ύψος και την παροχή με τα οποία λειτουργεί η αντλία. Αυτό βοηθάει στη σωστή επιλογή της αντλίας που θα χρησιμοποιηθεί, για την οποία πρέπει το σημείο τομής των δύο καμπυλών να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστου βαθμού αποδόσεως της αντλίας (σχ. 2.17γ).

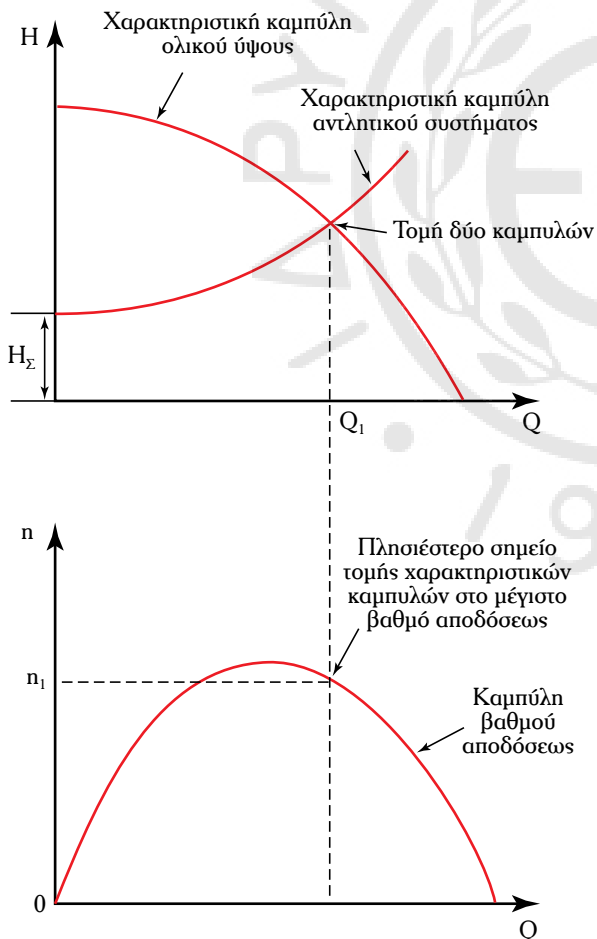
2.18 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας για κάθε τύπο αντλίας.

Η τυπική μορφή των διαγραμμάτων που δίνονται από τους κατασκευαστές με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας για κάθε τύπο αντλίας είναι:

α) **Για περιστροφικές αντλίες θετικής μετατόπισης.** Σε γραναζωτή αντλία με εξωτερική οδόντωση (σχ. 2.18α), παρέχεται η σχέση μεταξύ της πίεσης καταθλίψεως, της παροχής και της ιπποδυνάμεως για τρεις χαρακτηριστικές ταχύτητες, σε 200 rpm, 400 rpm και 600 rpm.

Για οδοντωτή αντλία με στεφάνη εσωτερικής οδόντωσης (σχ. 2.18β), παρέχεται η σχέση μεταξύ καταθλίψεως, ιπποδυνάμεως και παροχής, σε δυο υγρά με διαφορετικό ιξώδες: το υγρό Α με μικρότερο ιξώδες (20 cSt) και ταχύτητα περιστροφής της αντλίας 360 rpm, όπου οι χαρακτηριστικές καμπύλες παριστάνονται με τη συνεχή γραμμή, και το υγρό Β με μεγαλύτερο ιξώδες (90 cSt) και ταχύτητα περιστροφής της αντλίας 270 rpm, όπου παριστάνονται με τη διακεκομμένη γραμμή.

β) Για **αντλίες αξονικής ροής** παριστάνονται οι μεταβολές ύψους-παροχής στο πρώτο διάγραμμα και



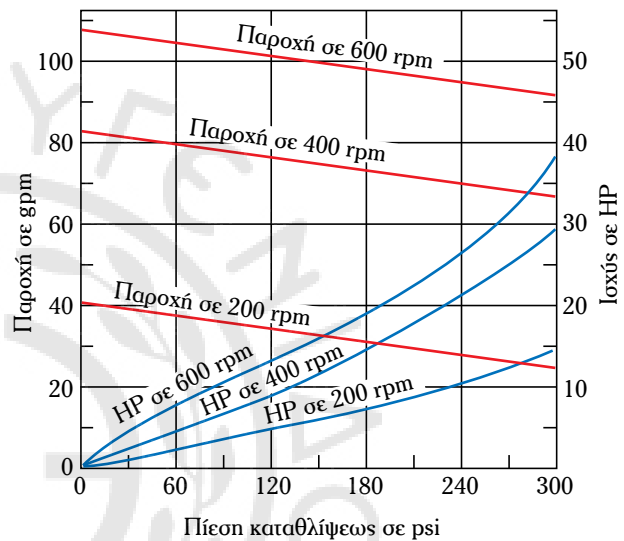
Σχ. 2.17γ

Επιλογή αντλίας σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες και τον βαθμό αποδόσεως.

ισχύος-παροχής στο δεύτερο, σε διάφορες κλίσεις των περυγίων της έλικας. Οι διάφορες μεταβλητές ποσότητες του διαγράμματος δίνονται ως εξής: το ολικό ύψος H σε m, η ισχύς P σε kW, η παροχή Q σε m^3/h και η κλίση των περυγίων σε μοίρες.

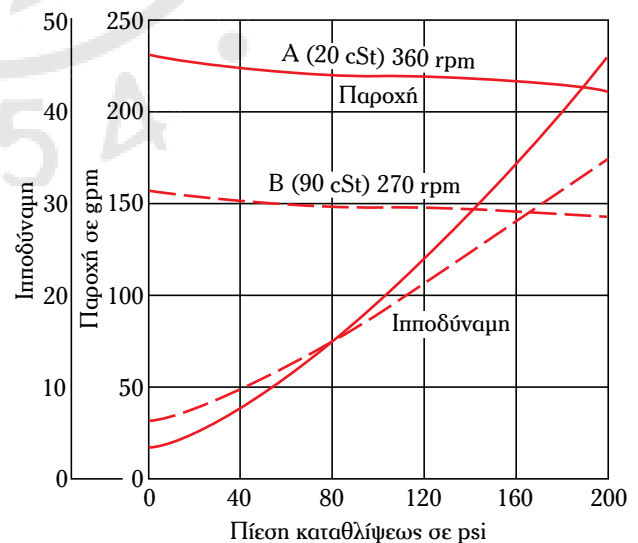
γ) Για **φυγοκεντρικές αντλίες**, οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας απλοποιώντας τη διαδικασία επιλογής τους, μπορεί να παρουσιάζονται με τους δυο τρόπους:

Με σταθερή ταχύτητα, αλλά με τα στροφεία (περωτές) σε διάφορες διαμέτρους, από ένα σύ-



Σχ. 2.18α

Χαρακτηριστικές καμπύλες γραναζωτής αντλίας.



Σχ. 2.18β

Χαρακτηριστικές καμπύλες οδοντωτής αντλίας δύο υγρών διαφορετικού ιξώδους.

νολο καμπυλών ολικού ύψους-παροχής (H-Q) [σχ. 2.18δ(α)].

Με διαφορετικές ταχύτητες, αλλά με σταθερή διάμετρο πτερωτής, από ένα σύνολο καμπυλών ολικού ύψους-παροχής [σχ. 2.18δ(β)].

Ο βαθμός αποδόσεως στα διαγράμματα εμφανίζεται με διακεκομμένες καμπύλες, που τέμνουν τις καμπύλες που σχηματίζονται από τις διάφορες διαμέτρους και τις διάφορες ταχύτητες λειτουργίας της αντλίας. Για να βρεθεί το λειτουργικό σημείο στη χαρακτηριστική καμπύλη, πρέπει να είναι γνωστά τα βασικά καθήκοντα που εξυπηρετεί η αντλία και τις απαιτούμενες επιδόσεις της, που εκφράζονται από την παροχή και το ολικό ύψος (πίεση). Για παράδειγμα, η δεύτερη χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας με παροχή 41/s και ολικό ύψος 25 m απαιτεί η αντλία να λειτουργεί στις 2100 στροφές ανά λεπτό για βαθμό αποδόσεως της τάξεως 70%.

Άλλη μορφή διαγράμματος με τις τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες για μονοβάθμια αντλία είναι αυτή του που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.18ε. Η διακεκομμένη γραμμή έχει χαραχθεί με βάση τη μέγιστη απόδοση λειτουργίας και προσδιορίζει ότι με τις στροφές που έχει δημιουργηθεί το διάγραμμα και η παροχή 900m³/h το μανομετρικό ύψος της αντλίας Ημ είναι ίσο με 21 m, η ισχύς $N = \text{BHP} = 75 \text{ HP}$ και η απόδοσή της $\eta = 82\%$.

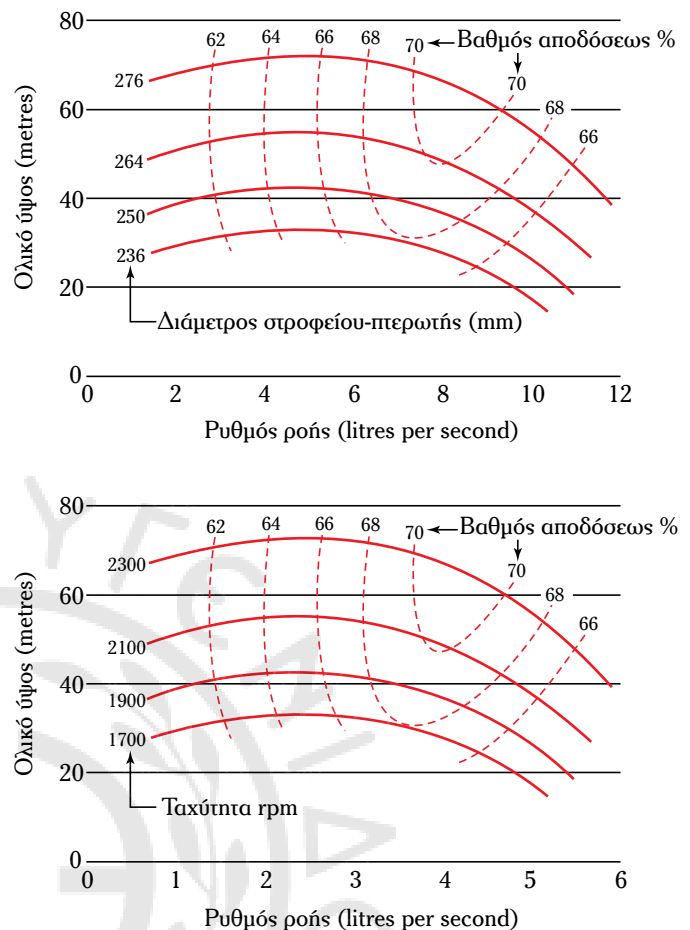
Τα διαγράμματα μπορεί να έχουν τη μορφή του σχήματος 2.18στ, όπου εμφανίζεται το εύρος λειτουργίας της αντλίας, ώστε ανάλογα με τον τύπο από τα κατασκευαστικά της χαρακτηριστικά να επιλεγεί ο καταλληλότερος για τις απαιτήσεις του συστήματος.

2.19 Σηπλάϊωση αντλιών.

Η σηπλάϊωση αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως κατά τη λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών, μειώνοντας την απόδοση και την αξιοπιστία τους.

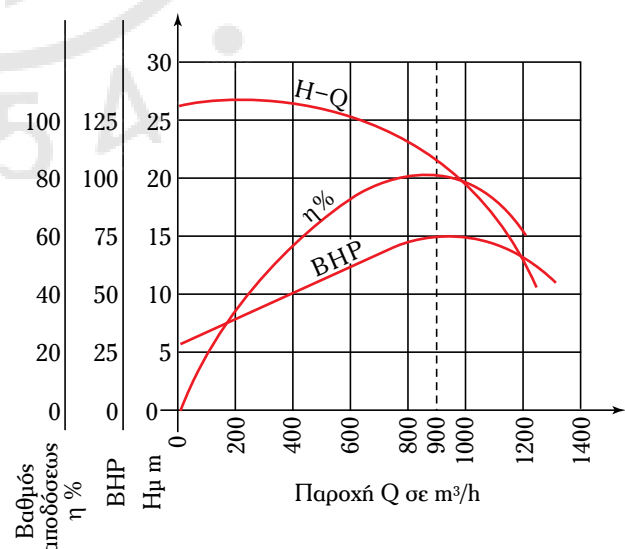
Σηπλάϊωση ονομάζεται το φαινόμενο αναπτύξεως φυσαλίδων ατμού από το ίδιο το υγρό που προέρχονται από την εξάτμισή του σε περιοχές ροής, όπου η στατική πίεση ελαττώνεται μέχρι ή και κάτω από την τιμή ατμοποίησης του υγρού για τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτήν την περιοχή.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, το υγρό εξατμίζεται ακαριαία δημιουργώντας τις φυσαλίδες ατμού, οι οποίες μεταφέρονται στις γύρω περιοχές. Όμως, η στατική πίεση με τη ροή του υγρού δεν είναι στα-



Σχ. 2.18δ

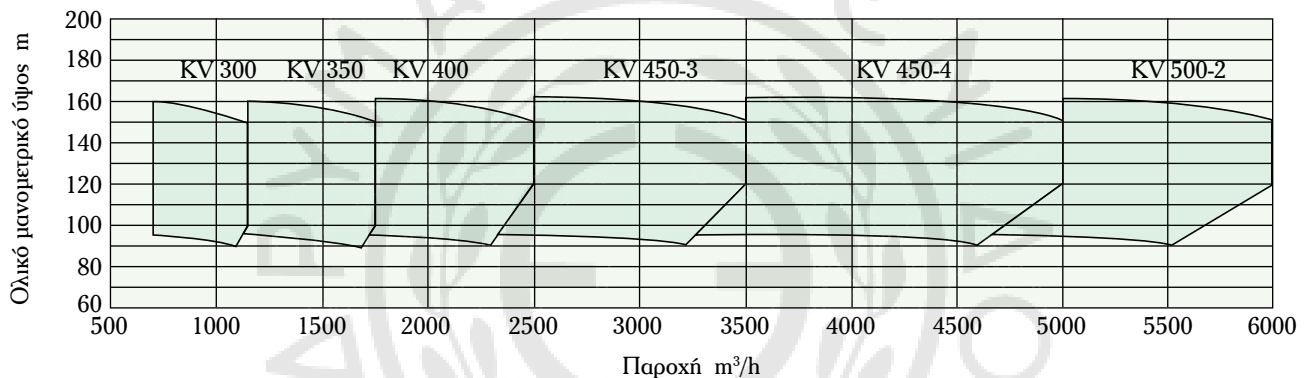
Καμπύλες λειτουργίας φυγοκεντρικής αντλίας.



Σχ. 2.18ε

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας μονοβάθμιας αντλίας.

Μοντέλο αντλίας			KV300	KV350	KV400	KV450-3	KV450-4	KV500-2
Παροχή m³/h			1000	1500	2000 2500	3000 3500	4000 4500 500	5500 6000
Ολικό μανομετρικό ύψος	m		120	130	135	140	145	150
Στροφές	rpm		1750	1810	1540 1580	1370 1410	1170 1180 1190	1090 1100
Ισχύς στον άξονα	kW		420	660	890 1110	1370 1360	1890 2120 2360	2680 2930
Διάμετρος	Αναρρόφηση	mm	350	400	450	600	600	700
	Κατάθλιψη	mm	300	350	400	450	450	500
Βάρος		kg	1030	1300	1400	2400	3000	3800



Σχ. 2.18στ

Εύρος λειτουργίας τύπων φυγοκεντρικών αντλιών και κύρια στοιχεία αυτών.

θερή, ώστε οι φυσαλίδες, καθώς μεταφέρονται στις γύρω περιοχές, όπου η πίεση μεταβάλλεται σε τιμές μεγαλύτερες της τιμής ατμοποίησης του υγρού, να πραγματοποιείται η ακαριαία συμπύκνωσή τους. Με την ακαριαία συμπύκνωση, ο όγκος που καταλαμβάνει κάθε φυσαλίδα συμπληρώνεται από το υγρό που την περιέβαλε, με αποτέλεσμα στο σημείο αυτό να προκαλείται απότομη υδραυλική κρούση. Έτσι, αν η συμπύκνωση της φυσαλίδας γίνει επάνω σε μία στερεή επιφάνεια, λόγω της μεγάλης πίεσεως που ασκείται από την υδραυλική κρούση, προκαλείται τοπική καταστροφή στο σημείο αυτό.

Το φαινόμενο στις φυγοκεντρικές αντλίες παρατηρείται στις στέρρες επιφάνειες, οι οποίες καθορίζουν τη ροή και οφείλεται στο γεγονός ότι εκεί αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας της παροχής του υγρού, άρα και οι μικρότερες τιμές στατικής πίεσεως.

Η ανάπτυξη των επαναλαμβανομένων υδραυλικών κρούσεων με ταχύτατο ρυθμό μέσα στην περιοχή ροής της αντλίας, προκαλεί καταστρεπτικά αποτελέσματα στις επιφάνειες των στροφείων, στο κέλυφος κ.ά., ενώ η δημιουργία φυσαλίδων προκαλεί διακοπή της ροής, η οποία εμφανίζεται ως απότομη μείωση στην απόδοση της αντλίας.

Οι επιφάνειες των μετάλλων, που έχουν υποστεί βλάβη από σπηλαίωση, για αντλίες χαμηλής πίεσεως, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από χυτοσίδηρο, φαίνονται σπογγώδεις, γεμάτες κοιλότητες που προχωρούν βαθιά μέσα στο μέταλλο, ενώ για αντλίες υψηλής πίεσεως στα τμήματα, που για να αυξηθεί η αντοχή τους κατασκευάζονται από χάλυβα, εμφανίζεται με τη μορφή αυλακώσεων με λεία επιφάνεια.

Όταν υπάρχουν διαλυμένα αέρια στο αντλούμενο υγρό σχηματίζονται φυσαλίδες απ' τα αέρια με

την πύση πίεσεως, χωρίς να χρειάζεται η πίεση να μειωθεί μέχρι την πίεση ατμοποίησης του υγρού. Η σπηλαίωση σ' αυτές τις αντλίες οφείλεται στα διάφορα αέρια, που είναι διαλυμένα στο υγρό και ονομάζεται **σπηλαίωση αερίου**, η οποία οδηγεί στην πύση της αποδόσεως της αντλίας και του ολικού ύψους, αλλά δεν είναι τόσο επικίνδυνη για την καταστροφή του υλικού.

Η σπηλαίωση συνήθως δημιουργείται στην πλευρά της αναρροφήσεως της αντλίας όπου υπάρχουν οι χαμηλότερες πιέσεις. Έτσι το καθαρό ύψος αναρροφήσεως είναι ένας σημαντικός παράγοντας, που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό του συστήματος. Επίσης, εμφανίζεται στην εσωτερική πλευρά των περυγίων, στα σημεία όπου το υγρό ρέει μέσω διακένων στεγανότητας ή σε απότομη αύξηση των στρωφών, με αποτέλεσμα να αμακρύνεται η ροή από τις επιφάνειες του μετάλλου. Στην πλευρά της καταθλίψεως εμφανίζεται σε σημεία αποκολλήσεως της ροής.

Η αποτροπή της σπηλαιώσεως επιτυγχάνεται με την ομαλή διαμόρφωση των διόδων ροής, με τη σωστή κατασκευή του σχήματος των περυγίων, αλλά κυρίως με την εξασφάλιση κατάλληλης ελάχιστης πίεσεως στην πλευρά της αναρροφήσεως της αντλίας.

2.20 Στεγανοποίηση αντλιών.

Η στεγανοποίηση των αντλιών, στα καπάκια των κυλίνδρων για εμβολοφόρες και στα σημεία συνδέσεως του κελύφους για περιστροφικές, πραγματοποιείται με λεπτές **ισόντες** (gasket) από χαρτί ή περμανίτη, ώστε να μην επηρεάζονται τα λειτουργικά διάκενα της αντλίας. Στις εμβολοφόρες αντλίες, στα βάκτρα των εμβόλων διπλής ενέργειας υπάρχουν στυπιοθάλαμοι στους οποίους τοποθετούνται σαλαμάστρες επιτυγχάνοντας τη στεγανοποίηση του κυλίνδρου.

Στις φυγοκεντρικές αντλίες, στα σημεία, απ' όπου εξέρχεται ο άξονας της περωτής για να συνδεθεί με το κινητήριο μηχανήμα ή στην αντίθετη πλευρά του κελύφους, όταν εξέρχεται ο άξονας για να συνδεθεί στους τριβείς ή στα έδρανα στηριζέως του, η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με παρεμβύσματα και στυπιοθλίπτη ή μηχανικούς στυπιοθλίπτες, που τοποθετούνται σε κατάλληλα διαμορφωμένους στυπιοθαλάμους του κελύφους τους.

Ο σκοπός των παρεμβυσμάτων (σαλαμάστρες) και του μηχανικού στυπιοθλίπτη είναι να εξασφαλίσουν τη στεγανότητα της αντλίας, αποτρέποντας τη διαρροή του υγρού έξω από αυτήν κατά τη λειτουργία

της. Επίσης, προλαμβάνουν τις διαρροές όταν η στάθμη του υγρού που αναρροφάται βρίσκεται υψηλότερα από την αντλία και εισέρχεται σ' αυτήν με τη βαρύτητα. Αν η αντλία βρίσκεται πάνω απ' τη στάθμη του υγρού που αναρροφά, ώστε η άντληση να επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη κενού, τότε με τα παρεμβύσματα εμποδίζεται η είσοδος του αέρα η οποία καθιστά προβληματική την εκκίνηση, αλλά και τη λειτουργία της.

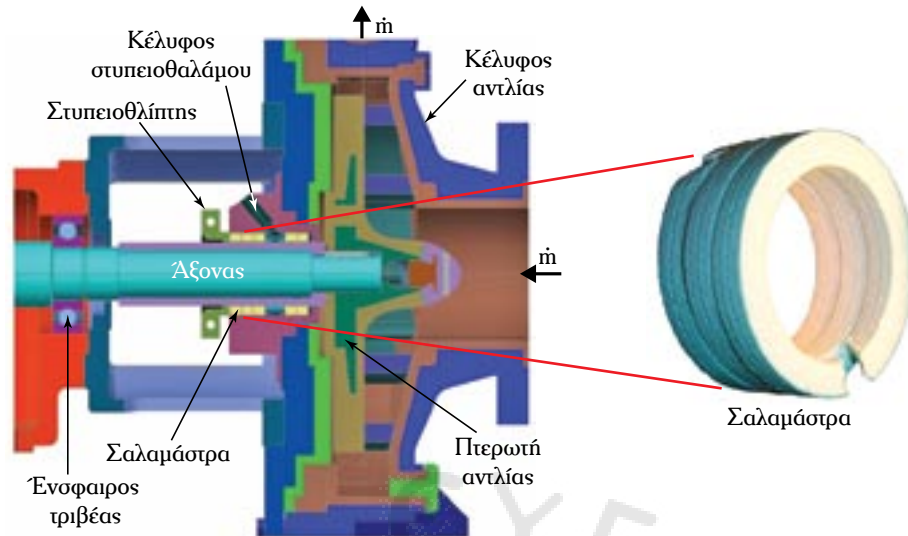
Με τους συμβατικούς στυπιοθλίπτες και τα παρεμβύσματα (σαλαμάστρες) (σχ. 2.20α), η στεγανότητα εξασφαλίζεται με τοποθέτηση 4-6 σαλαμάστρων, που συμπιέζονται με τον στυπιοθλίπτη. Με τη συμπίεση, οι σαλαμάστρες ελαχιστοποιούν το διάκενο αποτρέποντας τη διαρροή, ενώ επιτρέπουν ταυτόχρονα την περιστροφή του άξονα.

Στο εμπόριο διατίθενται διάφορα είδη σαλαμάστρων κάθε μία απ' τις οποίες είναι κατασκευασμένη από υλικό κατάλληλο για το ρευστό που διαρρέει 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, όπως στις περιστροφικές αντλίες. Σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους μπορούν να ταξινομηθούν γενικά σε αυτές που είναι κατασκευασμένες από βαμβακερές ίνες, ίνες λιναριού, γραφίτη ή Ramie. Κάποιοι ενδεικτικοί τύποι και κάποια από τα χαρακτηριστικά τους είναι:

α) **Λινάρι εμποτισμένο με Teflon**, που είναι κατάλληλο για αξονικά πλοίων, υδραυλικά συστήματα και άλλες ναυπηγικές εφαρμογές. Οι συνθήκες λειτουργίας, στις οποίες μπορούν να ανταποκριθούν είναι: πίεση 80 bar, θερμοκρασία 150°C, ταχύτητα 5 m/s, pH 5-10.

β) **Βαμβακερές ίνες εμποτισμένες με Teflon και ειδικό λιπαντικό**, εξασφαλίζοντας ελάχιστη φθορά στους άξονες. Αποτελεί έναν τύπο γενικής χρήσεως σε ναυπηγικές εφαρμογές. Οι συνθήκες λειτουργίας που μπορούν να ανταποκριθούν είναι: πίεση 200 bar, θερμοκρασία 100°C, ταχύτητα 10 m/s, pH 2-10.

γ) **Συνθετικές ίνες εμποτισμένες με Teflon και λιπαντικό υψηλής θερμοκρασίας**. Είναι κατάλληλες για χρήσεις σε περιστροφικές και παλινδρομικές αντλίες οι οποίες διαχειρίζονται γενικώς χημικά λάδια, διαλύτες, ελαφρά οξέα κ.ά.. Οι συνθήκες



Σχ. 2.20α

Στυπαιοθλίπτης και σαλαμάστρες.

λειτουργίας στις οποίες μπορούν να ανταποκριθούν είναι πίεση 140 bar, θερμοκρασία 260°C, ταχύτητα 10 m/s, pH 3-12.

δ) **Τις καθαρού γραφίτη 98% και προσθήκη σωματιδίων Inconel.** Οι συνθήκες λειτουργίας στις οποίες μπορούν να ανταποκριθούν είναι: πίεση 300 bar, θερμοκρασία από -190 έως 650°C, ενώ σε μη οξειδωτικό περιβάλλον από -190 έως 3000°C, pH 0-14.

ε) **Ανόργανες ύλες με την προσθήκη ορυκτέλαιου και γραφίτη,** κατάλληλες για αντλίες που περιέχουν νερό, αλκάλια, λάδια και γενικώς χημικά. Οι συνθήκες λειτουργίας στις οποίες μπορούν να ανταποκριθούν είναι: πίεση 140 bar, θερμοκρασία 480°C, ταχύτητα 15 m/s, pH 3-12.

Στα πλοία χρησιμοποιούνται σαλαμάστρες είτε ως έτοιμα προκατασκευασμένα δακτυλίδια, είτε από ρολό, από το οποίο κόβεται το απαιτούμενο κομμάτι. Το σωστό μήκος μπορεί να μετρηθεί τυλίγοντας τη σαλαμάστρα γύρω από τον άξονα ή να μετρηθεί ο άξονας. Το διαγώνιο κόψιμο, ώστε να καλύπτονται οι δύο άκρες κατά την εφαρμογή, βοηθάει στην καλύτερη στεγανοποίηση, ενώ στις αντλίες η σύσφιξη κατά την εφαρμογή γίνεται με πίεση του στυπαιοθλίπτη 1,05 έως 2 φορές από την πίεση λειτουργίας.

Οι σημαντικές τριβές, που δημιουργούνται μεταξύ του άξονα και των σαλαμάστρων προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία προλαμβάνεται με την κατάθλιψη καθαρού υγρού. Η μικρή διαρροή του νερού απ' τον στυπαιοθάλαμο ενεργεί ως ψυκτικό μέσο, αλλά και ως λιπαντικό στο διάκενο του

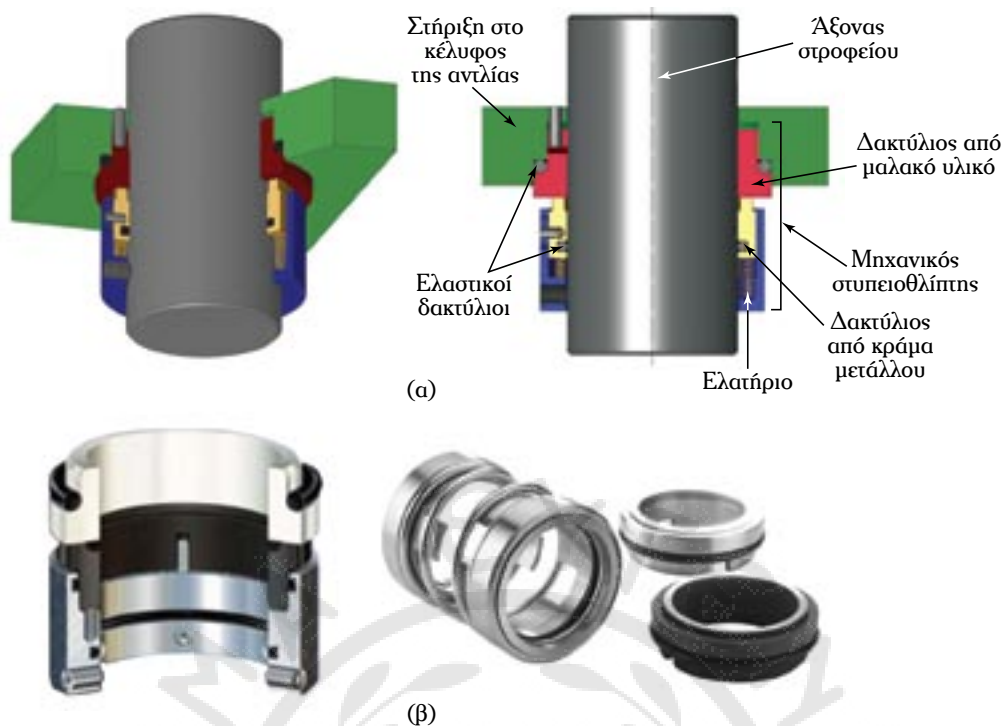
άξονα με τη σαλαμάστρα. Το υγρό για την ψύξη, όταν από την αντλία διακινείται νερό ή μη πτητικό υγρό, παρέχεται από την ίδια την αντλία μέσω κατάλληλου σωλήνα, που συνδέει την πλευρά καταθλίψεως της δεύτερης βαθμίδας σε σπειροειδή σχετικό με τον στυπαιοθάλαμο, διαφορετικά η παροχή του υγρού γίνεται από ανεξάρτητη εξωτερική πηγή.

Οι **μηχανικοί στυπαιοθλίπτες** (mechanical seals) (σχ. 2.20β), χρησιμοποιούνται όταν το υγρό που διαρρέει την αντλία είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό, υψηλής θερμοκρασίας εφόσον είναι ανθεκτικοί για θερμοκρασίες έως 260°C, και η αντλία λειτουργεί με πολλές στροφές. Η στεγανοποίηση εξασφαλίζεται με την επαφή των δυο δακτυλίων, εκ των οποίων ο ένας κατασκευάζεται από κράμα μετάλλου που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα, ενώ ο άλλος από μαλακό υλικό κάρβουνου-γραφίτη (carbon-graphite) και τοποθετείται σταθερά πάνω στο κέλυφος της αντλίας. Η συνεχής επαφή των δακτυλίων επιτυγχάνεται με την ένταση του ελατηρίου, ενώ η εφαρμογή των δυο δακτυλίων πάνω στον άξονα και το κέλυφος για την στεγανοποίηση πραγματοποιείται με ελαστικούς δακτυλίους (o-rings).

Τα **πλεονεκτήματα** που προσφέρουν οι μηχανικοί στυπαιοθλίπτες άξονα σε σύγκριση με τις σαλαμάστρες είναι ότι:

α) Ελαχιστοποιείται η απώλεια ισχύος, διότι οι επιφάνειες της στεγανοποίησης δίνουν ένα πολύ μικρό ποσοστό τριβής.

β) Διατηρούν τη στεγανότητά τους σε μικρές μετατοπίσεις και κραδασμούς του άξονα.



Σχ. 2.20β
Μηχανικός στυπιοθλίπτης.

γ) Ο άξονας δεν τρίβεται με το στεγανοποιητικό, όπως συμβαίνει με τις σαλαμάστρες, μειώνοντας το κόστος επισκευής διότι δεν καταστρέφεται λόγω φθοράς.

δ) Μετά την τοποθέτηση δεν απαιτείται ρύθμιση για τη στεγανοποίηση.

2.21 Λειτουργία και συντήρηση αντλιών.

Η εγκατάσταση και η λειτουργία κάθε αντλίας εξαρτάται από τον τύπο της και περιγράφεται από τον κατασκευαστή στο βιβλίο οδηγιών που τη συνοδεύει.

Γενικά όμως μπορούμε να αναφέρουμε ότι:

α) Η εγκατάσταση των αντλιών πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην πηγή αναρροφήσεως του υγρού, ώστε να διευκολύνεται η λειτουργία της, να είναι εύκολη η επιθεώρηση και η παρακολούθησή της.

β) Το δίκτυο των σωληνώσεων να είναι απλό με το μικρότερο δυνατό αριθμό καμπυλών και με τη σωστή ευθυγράμμιση, ώστε να αποτρέπεται η δημιουργία χώρων όπου εγλωβίζεται αέρας εμποδίζοντας τη ροή του υγρού.

γ) Οι ηλεκτροκινητήρες των αντλιών να προστατεύονται απ' την έκθεση σε υγρασία, έστω κι αν

ορίζεται από τους κανονισμούς να είναι κατασκευασμένοι ώστε να είναι ανθεκτικοί στις ιδιαιτερότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

δ) Η βάση των αντλιών να είναι ισχυρή, ώστε να αντέχει στους κραδασμούς του πλοίου και τις τάσεις που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία της.

ε) Να είναι σωστά ευθυγραμμισμένο το σημείο συνδέσεως της αντλίας με τον ηλεκτροκινητήρα, διότι κακή ευθυγράμμιση δημιουργεί φθορά των εδράνων, υπερθέρμανση των τριβών και βλάβες στον κινητήρα και την αντλία.

Πριν την εκκίνηση είναι απαραίτητο:

α) Να ελέγχεται αν οι κρουνοί των οργάνων ελέγχου είναι ανοικτοί.

β) Να ελέγχεται το λιπαντικό των εδράνων, ώστε εξασφαλίζοντας την επαρκή λίπανση να αποφεύγεται υπερθέρμανση και άλλες βλάβες ή να ανοικτεί η παροχή ψύξεως στα υδρόψυκτα έδρανα, αν υπάρχουν, και στους στυπιοθλίπτες.

γ) Να ελέγχεται το υγρό στο εσωτερικό της αντλίας για την αρχική εκκίνηση ανάλογα με το τύπο, διαφορετικά να γίνεται εξαέρωση εάν δεν υπάρχει εγκατεστημένη αντλία προπληρώσεως.

δ) Να ελέγχονται τα επιστόμια αναρροφήσεως και καταθλίψεως ώστε να είναι ανοικτά.

ε) Να ελέγχεται ο άξονας στις φυγοκεντρικές αντλίες, ώστε να περιστρέφεται ελεύθερα, διαφορετικά να ελεγχθεί ο λόγος για τον οποίο δεν περιστρέφεται και να αποκατασταθεί. Αν πρόκειται για πρώτη φορά εκκινήσεως ή μετά από επιθεώρηση, πρέπει επίσης να ελεγχθεί η φορά περιστροφής του κινητήρα ότι είναι η ίδια με την απαιτούμενη φορά λειτουργίας της αντλίας.

Μετά την εκκίνηση και κατά τη λειτουργία της αντλίας πρέπει να ελέγχεται, ώστε:

α) Η λειτουργία της αντλίας και του κινητήρα να είναι ομαλή και αθόρυβη.

β) Η πίεση, η παροχή και η κατανάλωση ενέργειας να είναι σύμφωνες με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά μεγέθη της αντλίας, που ορίζονται από τον κατασκευαστή.

γ) Η διαρροή από τους στυπιοθλίπτες να είναι ελάχιστη, ώστε οι σταγόνες του υγρού να αποτρέπουν την υπερθέρμανση, ενώ οι μηχανικοί στυπιοθλίπτες δεν πρέπει να έχουν καμία διαρροή.

Για τη συντήρηση των αντλιών εκτός του εξωτερικού ελέγχου κατά τη λειτουργία τους, πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα επιθεωρήσεις, που ορίζονται απ' τους κατασκευαστές. Οι επιθεωρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με την αποσυναρμολόγηση της αντλίας και περιλαμβάνουν:

α) Τους τριβείς.

β) Τις σαλαμάστρες του στυπιοθλίπτη ή το μηχανικό στυπιοθλίπτη.

γ) Την ευθυγράμμιση του συνδέσμου αντλίας κινητήρα και των ελαστικών στοιχείων αυτού για τυχόν φθορές.

δ) Τις εσωτερικές επιφάνειες για φθορές από μηχανική διάβρωση και σημάδια σπλαιώσεως.

ε) Τη μέτρηση της φθοράς των εδράνων της περωτής.

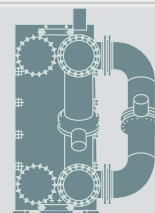
στ) Τα ακτινικά διάκενα μεταξύ περωτής και δακτυλίων φθοράς.

ζ) Τις επιφάνειες της περωτής για τυχόν σπλαιώση.

η) Τη σταθερότητα στηρίξεως της περωτής επάνω στον άξονα.

θ) Τον έλεγχο της στεγανότητας των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως αν υπάρχουν.

Τα τμήματα που έχουν βρεθεί να υπερβαίνουν λειτουργικά όρια φθοράς, συμφωνά 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 και να χρησιμοποιηθούν όποτε αυτό είναι αναγκαίο.



3.1 Εισαγωγή.

Οι **εναλλακτήρες θερμότητας** είναι οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, και οι οποίες συμμετέχουν στη λειτουργική διαδικασία των μηχανικών συστημάτων.

Η βασική κατανόηση των μηχανικών μερών, απ' τα οποία αποτελείται ένας εναλλακτήρας θερμότητας, είναι σημαντική τόσο για την ανάλυση της λειτουργίας του, όσο και των λειτουργιών που εξυπηρετεί.

Στους εναλλακτήρες θερμότητας η μεταφορά πραγματοποιείται από ένα ρευστό, το οποίο μπορεί να είναι υγρό ή αέριο, σ' ένα άλλο. Οι λόγοι που καθιστούν απαραίτητη αυτήν τη μεταφορά είναι:

α) Η θέρμανση ενός ρευστού χαμηλής θερμοκρασίας με τη χρήση ενός ρευστού υψηλής θερμοκρασίας.

β) Η μείωση της θερμοκρασίας ενός θερμού ρευστού με τη χρήση ενός ρευστού χαμηλότερης θερμοκρασίας.

γ) Ο βρασμός ενός ρευστού με τη χρήση ενός θερμού ρευστού.

δ) Η συμπύκνωση των ατμών ενός ρευστού με τη χρήση ρευστού χαμηλής θερμοκρασίας.

ε) Ο βρασμός ενός ρευστού, που επιτυγχάνεται με συμπύκνωση των ατμών ενός άλλου ρευστού.

Ανεξάρτητα απ' τη λειτουργία για την οποία προρίζεται ένας εναλλακτήρας, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μεταφορά της θερμότητας, είναι απαραίτητο να υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά των συναλλασσόμενων ρευστών.

Επίσης, η μετάδοση της θερμότητας των ρευστών που συμμετέχουν, όπως είναι γνωστό από τον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο και σύμφωνα με την Αρχή Carnot, πραγματοποιείται με τη ροή της θερμότητας μόνο απ' τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

3.2 Ταξινόμηση των εναλλακτών θερμότητας.

Οι εναλλακτήρες θερμότητας διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

α) Στους **εναλλακτήρες** (heat exchangers) **αναμείξεως** (direct mixing of contact exchangers) ή **εξ επαφής**, όταν τα δύο ρευστά αναμειγνύονται μεταξύ τους. Χρησιμοποιούνται μόνο στα ψυγεία αναμείξεως των εκχυτήρων, επιτυγχάνοντας την ψύξη του μείγματος εξαγωγής των εκχυτήρων, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κενού των ψυγείων ατμού. Στους εναλλακτήρες αυτούς, προς αποφυγή της μόλυνσής του τροφοδοτικού νερού του δικτύου με άλατα, η ψύξη πραγματοποιείται με νερό που καταθλίβεται από την αντλία συμπυκνώματος.

β) Στους **εναλλακτήρες επιφάνειας** (surface heat exchangers), που κυρίως χρησιμοποιούνται στα πλοία και στους οποίους το θερμό και το ψυχρό ρευστό διαχωρίζονται μεταξύ τους από μεταλλικό σώμα ορισμένου πάχους, το οποίο συνήθως έχει τη μορφή σωλήνα (αυλού) ή πλάκας.

Σύμφωνα με τη ροή των δύο ρευστών που συμμετέχουν στη μετάδοση θερμότητας, οι εναλλακτήρες διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) Στους **εναλλακτήρες παράλληλης ροής** ή **ομορροής** (parallel flow heat exchanger), στους οποίους τα δύο ρευστά ρέουν στην ίδια διεύθυνση (σχ. 3.2α). Τα ρευστά εισέρχονται στον εναλλακτήρα απ' την ίδια πλευρά που έχουν τη μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά. Καθώς ρέουν παράλληλα μέσα σε αυτόν πραγματοποιείται η μεταφορά της θερμότητας και στο τέλος της διαδρομής τους, καθώς πλησιάζουν στην έξοδο του εναλλακτήρα, οι θερμοκρασίες τους τείνουν να εξισωθούν. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού είναι πάντοτε υψηλότερη απ' τη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού με τη χαμηλή θερμοκρασία στις εξόδους του εναλλακτήρα.

β) Στους **εναλλακτήρες αντίθετης ροής** ή **αντιρροής** (counter-flow heat exchanger), στους οποίους τα δύο ρευστά εισέρχονται στον εναλλακτήρα από αντίθετες πλευρές και τον διαρρέουν με αντίθετες διευθύνσεις (σχ. 3.2β). Στην κατηγορία αυτών των εναλλακτών το ρευστό με την υψηλότερη θερμοκρασία εισέρχεται κοντά στην έξοδο του ρευστού με τη χαμηλότερη θερμοκρασία, ενώ η εξαγωγή του ρευστού με την υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται στην πλευρά εισαγωγής του ρευστού με τη χαμηλή θερμοκρασία. Οι εναλλακτήρες αυτού του τύπου ροής έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση στη μετάδοση της θερμότητας απ' τους άλλους τύπους ροής.

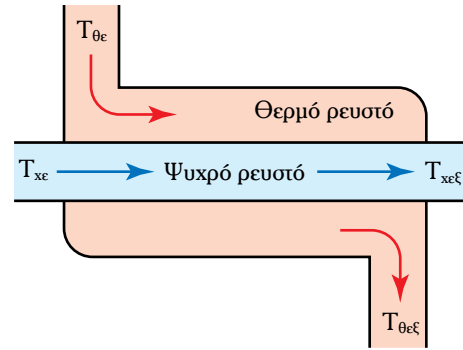
γ) Στους **εναλλακτήρες σταυρωτής ή κάθετης ροής** (cross flow heat exchanger) (σχ. 3.2γ), στους οποίους τα δύο ρευστά διαρρέουν τον εναλλακτήρα με κάθετη διεύθυνση το ένα ρευστό με το άλλο. Η απαιτούμενη επιφάνεια (E_x) μεταδόσεως της θερμότητας στους εναλλακτήρες σταυρωτής ροής δίνεται από κατάλληλους πίνακες και είναι μεταξύ της απαιτούμενης επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας εναλλακτήρα παράλληλης ροής και αντίθετης ροής για μεταφορά της ίδιας θερμότητας μεταξύ των δύο ρευστών, ώστε η σχέση των επιφανειών μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$E_{\text{παράλληλης ροής}} > E_{\text{σταυρωτής ροής}} > E_{\text{αντίθετης ροής}} \quad (1)$$

Με τους εναλλακτήρες θερμότητας επιδιώκεται είτε η θέρμανση ενός ρευστού από ένα άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία που στην περίπτωση αυτή ονομάζονται **θερμαντήρες** (heaters), είτε η απαγωγή της θερμότητας ενός ρευστού από ένα άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία, που στην περίπτωση αυτή ονομάζονται **ψυγεία** ή **ψυκτές** (coolers). Στις περιπτώσεις που κατά τη διεργασία της μεταφοράς θερμότητας πραγματοποιείται εξάτμιση ονομάζονται **εξατμιστές** (evaporators), ενώ όταν πραγματοποιείται συμπύκνωση του θερμού ρευστού από το ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας ονομάζονται **συμπυκνωτές** (condensers).

Οι τύποι των εναλλακτών θερμότητας που συναντάμε στα πλοία ποικίλλουν και ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνονται σε:

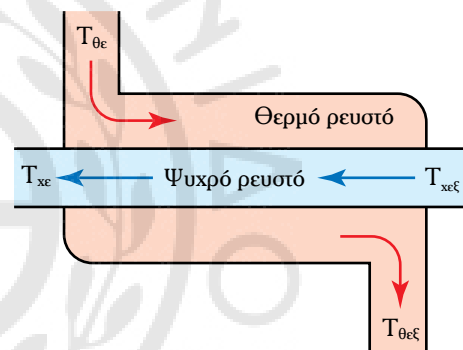
- Ψυγεία ή συμπυκνωτές των εξατμίσεων στις μηχανές ατμού και στους στροβίλους.
- Ψυγεία του νερού ψύξεως των χιτωνίων των ΜΕΚ, του ελαίου λιπάνσεως ή των εμβόλων.
- Προθερμαντήρες.
- Βραστήρες.
- Οικονομητές.



$T_{χε}$ θερμοκρασία εισόδου ψυχρού ρευστού.
 $T_{χεξ}$ θερμοκρασία εξόδου ψυχρού ρευστού.
 $T_{θε}$ θερμοκρασία εισόδου θερμού ρευστού.
 $T_{θεξ}$ θερμοκρασία εξόδου θερμού ρευστού.

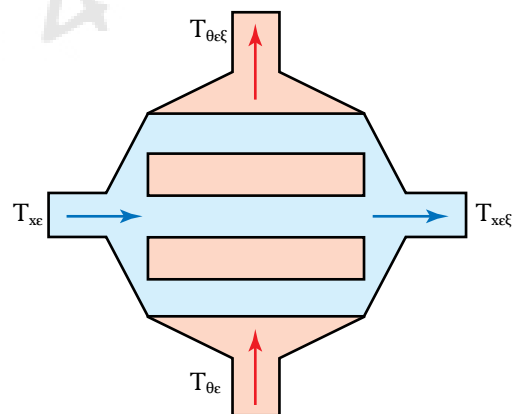
Σχ. 3.2α

Παράλληλη ροή ρευστών
 στους εναλλακτήρες ομορροής.



Σχ. 3.2β

Αντίθετη ροή ρευστών
 στους εναλλακτήρες αντιρροής.



Σχ. 3.2γ

Σταυρωτή (κάθετη) ροή των ρευστών
 στους εναλλακτήρες σταυρωτής ή κάθετης ροής.

- στ) Υπερθερμαντήρες.
- ζ) Αφυπερθερμαντήρες.
- η) Αναθερμαντήρες.

3.3 Απόδοση εναλλακτών θερμότητας.

Στη μελέτη σχετικά με την απόδοση των εναλλακτών θερμότητας, η μεγαλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται στους εναλλακτές θερμότητας αντίθετης ροής [σχ. 3.3α(α)], σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η **μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά** (ΔT), μεταξύ των δύο ρευστών κατά μήκος του εναλλακτήρα θερμότητας αντίθετης ροής μεγιστοποιείται σε σχέση με τον εναλλακτήρα παράλληλης ροής [σχ. 3.3α(β)], ενώ για τον εναλλακτήρα σταυρωτής ροής λαμβάνει ενδιάμεση τιμή.

Συνεπώς, η μέση λογαριθμική τιμή της θερμοκρασίας στον εναλλακτήρα αντίθετης ροής είναι μεγαλύτερη απ' τη μέση λογαριθμική τιμή της θερμοκρασίας για τον ίδιο εναλλακτήρα θερμότητας, όταν η ροή των ρευστών είναι παράλληλη ή σταυρωτή. Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά για τους εναλλακτές θερμότητας δίνεται απ' την εξίσωση:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (2)$$

όπου: ΔT_1 , η διαφορά θερμοκρασίας στην είσοδο δύο ρευστών και ΔT_2 , η διαφορά θερμοκρασίας των δύο ρευστών στην εξαγωγή.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμικής ισχύς (heat transfer rate) μεταξύ των δύο ρευστών δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{Q} = U \cdot A_o \cdot \Delta T \quad (3)$$

όπου:

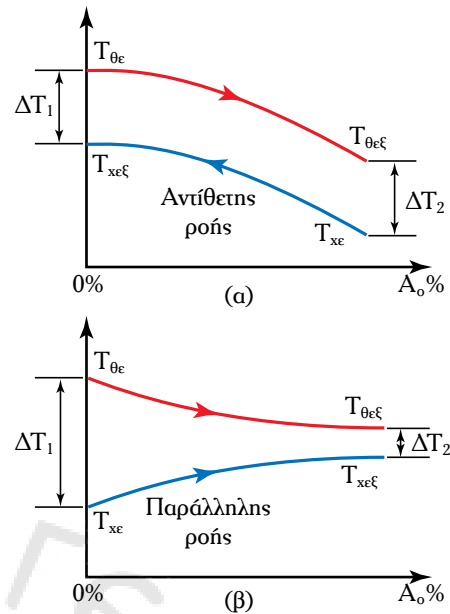
$\dot{Q}$ ο ρυθμός μεταφοράς θερμικής ισχύος σε kJ/s ή kW,

U ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε

$$\frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{ή} \quad \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}},$$

A_o η επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας σε m^2 ,
 ΔT η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά σε $^\circ\text{C}$.

Η βελτίωση στην απόδοση ενός εναλλακτήρα θερμότητας, εκτός της αντιθέσεως στη ροή των ρευστών, επιτυγχάνεται με τη δημιουργία κάμψεων στους αυλούς όπως τους αυλούς στο σχήμα 3.3β ή



Σχ. 3.3α

Μεταβολή θερμοκρασιακής διαφοράς εναλλακτών.



Σχ. 3.3β

Εναλλακτής πολλοπλής ροής με αυλούς με κάμψη.

με την τοποθέτηση διαφραγμάτων, ώστε το ρευστό να ακολουθεί πολλαπλές διαδρομές σε αυτόν. Τότε οι εναλλακτές ονομάζονται **πολλαπλής ροής**.

3.4 Εναλλακτές επιφάνειας.

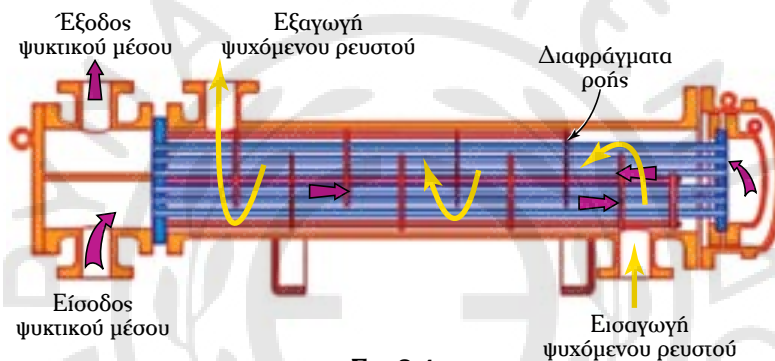
Σύμφωνα με την κατασκευή τους οι εναλλακτές επιφάνειας διακρίνονται σε: **αυλωτούς εναλλακτές θερμότητας** (shell & tube heat exchangers), **κυψελωτούς εναλλακτές** (strut tube heat exchangers) και σε **εναλλακτές με επίπεδες πλάκες ή φύλλα** (plate heat exchangers).

3.4.1 Αυλωτοί εναλλακτήρες θερμότητας.

Η τυπική μορφή ενός αυλωτού εναλλακτήρα επιφανείας παριστάνεται στο σχήμα 3.4α. Αποτελείται από δύο αυλοφόρες πλάκες, τους αυλούς, το κέλυφος (σώμα) και τα δύο καπάκια του κελύφους (τα λεγόμενα πώματα). Το κέλυφος έχει τη μορφή μεγάλου σωλήνα με μικρό μήκος, που περιέχει τους αυλούς, και πάνω σ' αυτό στηρίζονται οι δύο αυλοφόρες πλάκες, ενώ τα δύο καπάκια τοποθετούνται στις ανοικτές πλευρές του. Η ροή των δύο ρευστών παρουσιάζεται με τη φορά που έχουν τα βέλη του σχήματος 3.4α, ενώ η αύξηση της αποδόσεως επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση διαφραγμάτων των αυλοφόρων πλακών, ώστε το ρευστό να ακολουθεί πολλαπλές διαδρομές, εξωτερικά των αυλών. Γι' αυ-

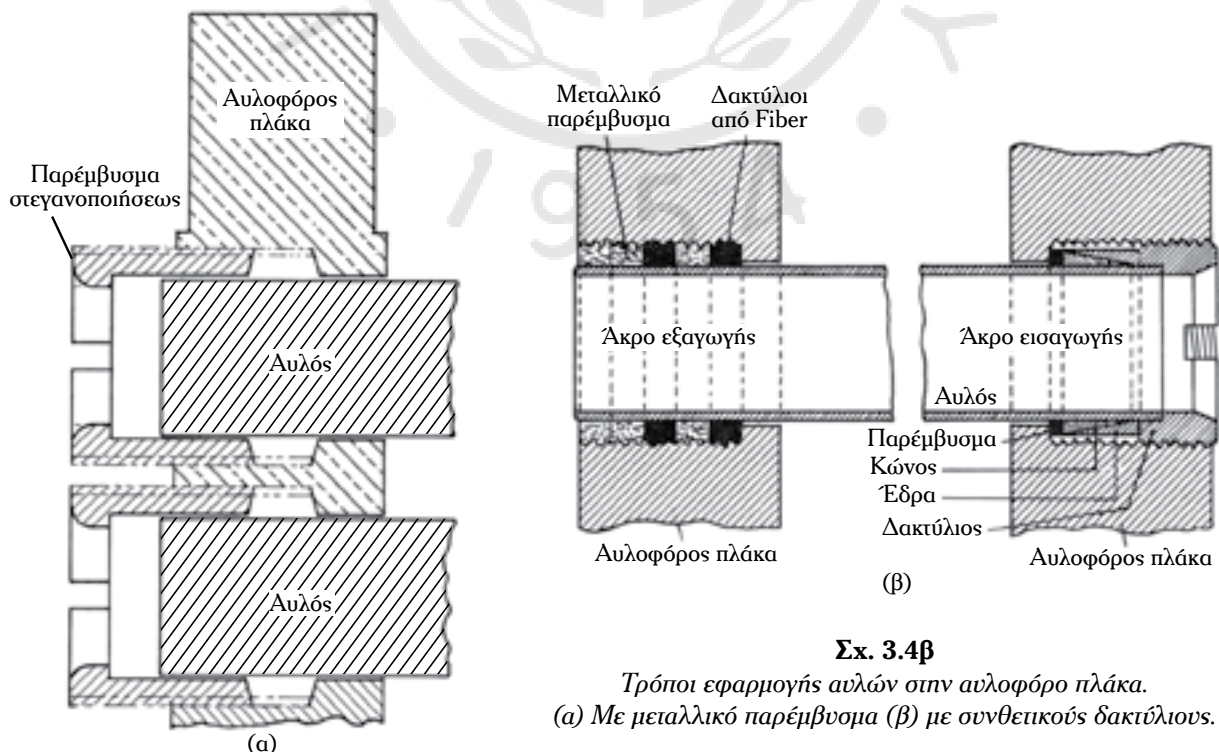
τόν τον λόγο οι εναλλακτήρες θερμότητας αυτού του τύπου ονομάζονται **πολλαπλής διαδρομής**.

Τα ίδια διαφράγματα επίσης στηρίζουν τους αυλούς, ώστε μαζί με τις αυλοφόρες πλάκες και τους αυλούς να δημιουργούν ένα ενιαίο σύνολο που ονομάζεται **tube stack**. Η σύνδεση των αυλών στην αυλοφόρο πλάκα επιτυγχάνεται με την εκτόνωση του ενός ελεύθερου άκρου του κάθε αυλού σε τρύπες που δημιουργούνται (από τον κατασκευαστή) στην επιφάνεια της αυλοφόρου πλάκας [σχ. 3.4β(α)], ενώ το άλλο άκρο κάθε αυλού στεγανοποιείται με παρεμβύσματα και στυπιοθλίπτη, σε αντίστοιχες τρύπες της αυλοφόρου πλάκας. Εναλλακτικά η στεγανοποίηση των αυλών με την αυλοφόρο πλάκα πραγματοποιείται με παρεμβύσματα (π.χ. δακτύλιοι Fiber), τα οποία



Σχ. 3.4α

Αυλωτός εναλλακτήρας πολλαπλής ροής με διαφράγματα.



Σχ. 3.4β

Τρόποι εφαρμογής αυλών στην αυλοφόρο πλάκα.

(α) Με μεταλλικό παρέμβυσμα (β) με συνθετικούς δακτύλιους.

εκτονώνονται με τη βοήθεια στυπιοθλίπτη και στις δύο ελεύθερες άκρες του αυλού [σχ. 3.4β(β)]. Όταν χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα με στυπιοθλίπτη, η τρύπα στην αυλοφόρο πλάκα διαμορφώνεται κατάλληλα με σπείρωμα, ώστε τα παρεμβύσματα να εκτονώνονται, καθώς συμπίεζονται από τον στυπιοθλίπτη. Ο στυπιοθλίπτης έχει σχήμα δακτυλίου και διαθέτει αντίστοιχο σπείρωμα με το σπείρωμα της τρύπας στην αυλοφόρο πλάκα [σχ. 3.4(β)β].

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των καπακιών και του κελύφους είναι ο χυτοσίδηρος ή ο χάλυβας, ενώ οι αυλοί κατασκευάζονται από κράμα αλουμινίου-ορειχάλκου (aluminium brass) (76% χαλκός, 22% Sn, 2% αλουμίνιο). Η επιτυχής χρήση αυτού του υλικού στην κατασκευή των αυλών οφείλεται στην ανθεκτικότητά του στη διάβρωση.

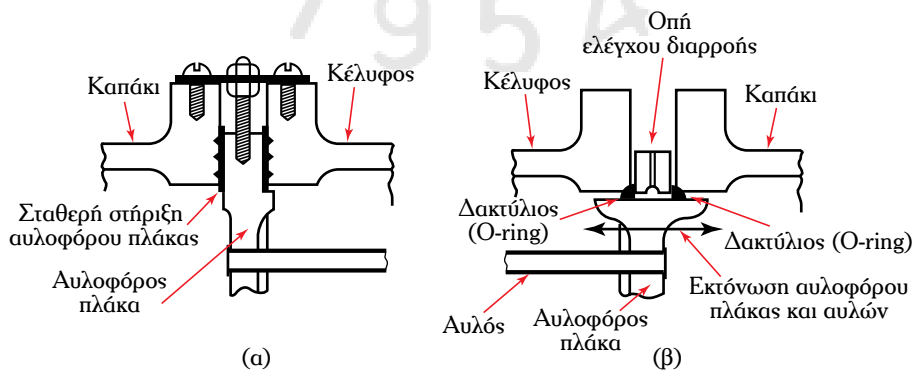
Πρώωρη διάβρωση των αυλών μπορεί να οφεί-

λεται στη ρύπανση της θάλασσας ή της **τυρβώδους ροής**¹ (στροβιλοειδούς) του θαλασσινού νερού, η οποία αποτρέπει με τη ρύθμιση της ταχύτητας του νερού, που διέρχεται από αυτούς. Η ταχύτητα ροής στους αυλούς από κράμα αλουμινίου-ορειχάλκου, προς αποφυγή της διαβρώσεως λόγω της προσκρούσεως του νερού, έχει ανώτατο όριο τα 2,5 m/s, ενώ δεν πρέπει να είναι μικρότερη του 1 m/s, διότι τότε δημιουργούνται καθαλατώσεις στις επιφάνειες, οι οποίες οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Η συναρμολόγηση της αυλοφόρου πλάκας με τους αυλούς και το σώμα του ψυγείου πραγματοποιείται με το καπάκι και η στεγανοποίηση με ελαστικά παρεμβύσματα ή περμανίτη (σχ. 3.4γ). Η αυλοφόρος πλάκα στη μία πλευρά στερεώνεται σταθερά μεταξύ κελύφους και καπακιού [σχ. 3.4δ(α)], ενώ στην άλλη στεγανοποιείται στο κέλυφος με **συνθετικούς δακτύλιους** (O-rings) [σχ. 3.4δ(β)], ώστε να επιτρέ-

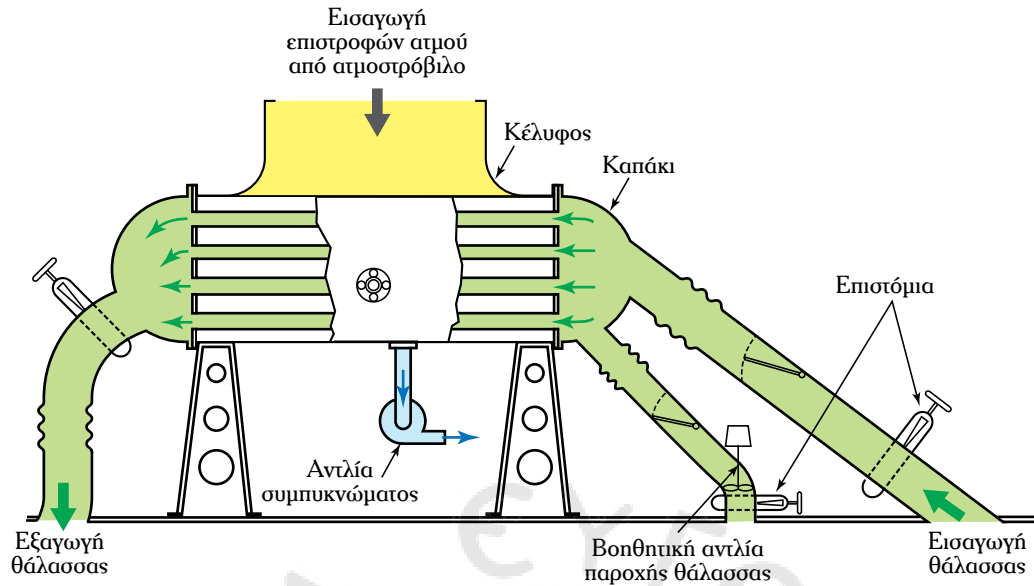


Σχ. 3.4γ
Αυλωτός εναλλακτήρας θερμότητας.



Σχ. 3.4δ
Στεγανοποίηση αυλοφόρου πλάκας στις δύο πλευρές ενός εναλλακτήρα.

¹ Η τυρβώδης ροή επιδιώκεται διότι αυξάνει τον ολικό συντελεστή μεταφοράς ενέργειας (overall heat transfer coefficient).



Σχ. 3.4ε

Διάταξη ψυγείου (συμπυκνωτή ατμοστρόβιλου) με κουτάλα.

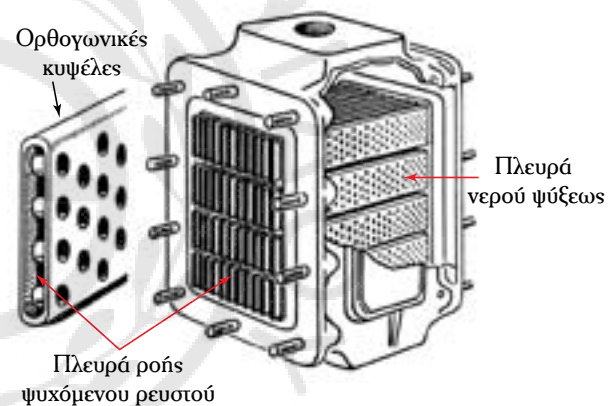
πεται η ελεύθερη εκτόνωση των υλικών κατασκευής λόγω της διακυμάνσεως της θερμοκρασίας και να προλαμβάνονται οι στρεβλώσεις των αυλών.

Η στεγανοποίηση με τα συνθετικά παρεμβύσματα επιτρέπει την ακτινική περιστροφή του tube stack κατά 180°, παρατείνοντας τη ζωή του ψυγείου εφόσον αντιστρέφεται η ροή. Επίσης, με την περιστροφή αποτρέπεται η δημιουργία σημείων πολώσεως και φθοράς λόγω της συνεχούς προσκρούσεως του νερού στα ίδια σημεία.

Η πρόληψη της φθοράς των τμημάτων του ψυγείου από τη διάβρωση λόγω ηλεκτρολύσεως, από τη ροή της θάλασσας, επιτυγχάνεται τοποθετώντας κομμάτια από ψευδάργυρο σε ειδικά σημεία στηρίξεως μέσα στο ψυγείο.

Όταν τα ψυγεία με αυλούς τοποθετούνται οριζόντια, η εισαγωγή του νερού ψύξεως πρέπει να γίνεται από την κάτω πλευρά, διότι έτσι απομακρύνεται ευκολότερα ο αέρας που συγκεντρώνεται στα ψυγεία κατά τη λειτουργία τους.

Η εισαγωγή του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται απ' τις αντλίες του δικτύου ψύξεως. Σε μεγάλα ψυγεία εγκαταστάσεων στροβίλων μπορεί να πραγματοποιείται με διάταξη, που ονομάζεται **κουτάλα** (scoop) (σχ. 3.4ε) και η οποία βρίσκεται στο κύτος του πλοίου. Αυτή ανοίγει όταν το πλοίο ταξιδεύει, ώστε να παρέχει την απαραίτητη ποσότητα θάλασσας. Στην εγκατάσταση τοποθετείται και βοηθητική αντλία για την παροχή θάλασσας, όταν η ταχύτητα του πλοίου δεν επαρκεί για την εισαγωγή της στο ψυγείο και επί-



Σχ. 3.4στ

Κυψελωτός εναλλακτήρας θερμότητας.

σης βοηθητικό ψυγείο που χρησιμοποιείται στο λιμάνι αντιμετωπίζοντας τη συμπύκνωση επιστροφών από μικρές καταναλώσεις, ώστε το κύριο ψυγείο να διατηρείται καθαρό.

3.4.2 Κυψελωτοί εναλλακτήρες (hive exchangers).

Οι εναλλακτήρες αυτοί αποτελούνται από ορθογωνικές κυψέλες που διαρρέονται απ' το ένα ρευστό, ενώ το άλλο ρευστό διέρχεται μέσα από μεγάλο αριθμό αυλών καθέτων προς τις κυψέλες (σχ. 3.4στ). Τα στοιχεία μεταδόσεως της θερμότητας συγκρατούνται από δύο καπάκια με κατάλληλα διαμορφωμένες συνδέσεις για τους σωλήνες παροχής του νερού. Οι ορθογωνικές κυψέλες συνδέονται σταθερά δημιουρ-

γώντας ένα ενιαίο κιβώτιο. Το νερό ψύξεως περιβάλλει τα κιβώτια, ενώ ταυτόχρονα διέρχεται και μέσα από μικρούς κάθετους αυλούς, που έχει κάθε ένα απ' αυτά. Το ψυχόμενο ρευστό κυκλοφορεί στην εξωτερική πλευρά των αυλών ανάμεσα στα διάκενα που δημιουργούνται στις εξωτερικές επιφάνειες των αυλών. Ο σκοπός των αυλών, που έχει το κάθε κιβώτιο, είναι η αύξηση της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για την ψύξη του αέρα λόγω του μικρού διακένου των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας και συναντώνται συνήθως στα ψυγεία του αέρα εισαγωγής των ηλεκτρομηχανών.

3.4.3 Εναλλακτήρες με επίπεδες πλάκες ή φύλλα (plate heat exchangers).

Οι ελασματοειδείς θερμικοί εναλλακτήρες ή εναλλακτήρες με επίπεδες πλάκες ή φύλλα, αποτελούνται από επίπεδες πλάκες, διαμορφωμένες με αυλακώσεις τύπου V (σχ. 3.4ζ), παράλληλα τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη, με οπές ροής, δημιουργώντας μια στιβάδα σχισμών ροής μεταξύ των πλακών.

Οι σχισμές ροής ή διάκενα ροής, διαρρέονται εναλλακτικά από τα ρευστά, τα οποία λαμβάνουν μέρος στη θερμική εναλλαγή. Έτσι, το ένα ρευστό διέρχεται από τη μία πλευρά των πλακών, ενώ το άλλο διέρχεται από άλλη πλευρά στο διάκενο που δημιουργείται μεταξύ των δύο πλακών. Ο διαχωρισμός της ροής των ρευστών και η στεγανοποίηση επιτυγχάνονται από κατάλληλα συνθετικά παρεμβύσματα από ελαστικό νιτρίλιο μεταξύ των πλακών, τα οποία εφαρμόζονται σε ειδικά διαμορφωμένα αυλάκια.

Η βασική κατασκευή αποτελείται (σχ. 3.4η) από:

- α) Την δοκό άνω στηρίξεως.
- β) Τις συνδέσεις των ρευστών (σωληνώσεις).
- γ) Την σταθερή πλάκα.
- δ) Το υποστήριγμα.
- ε) Την κινητή πλάκα στηρίξεως.
- στ) Τις πλάκες θερμικής εναλλαγής.
- ζ) Την κάτω οδηγητική ράβδο.
- η) Τα συνθετικά στεγανοποιητικά πλαίσια-παρεμβύσματα και
- θ) τους κοχλίες με τα περικόχλια συσφίξεως.

Η στιβάδα από πλάκες του εναλλακτήρα, που αποτελούν τις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας, τοποθετούνται μεταξύ της σταθερής και της κινητής πλάκας μεγαλύτερου πάχους, ενώ όλα μαζί στηρί-

ζονται στις δύο παράλληλες μεταλλικές ράβδους, η μία στο επάνω και η άλλη στο κάτω μέρος, που αποτελούν ταυτόχρονα τους διαδρόμους για την ευθυγράμμισή τους.

Η σύσφιγξη της στιβάδας μαζί με τις πλάκες στηρίξεως πραγματοποιείται με τις μεταλλικές ράβδους, που έχουν σπείρωμα και παξιμάδια (σχ. 3.4η). Στη σταθερή πλάκα, η οποία αποτελεί την βάση στηρίξεως των πλακών, εφαρμόζονται τέσσερις σωλήνες ευθυγραμμισμένοι με τον εσωτερικό οχετό ροής που σχηματίζεται από τη στιβάδα των πλακών, όπου συνδέονται οι σωλήνες εισαγωγής και εξαγωγής των ρευστών με την υψηλή και τη χαμηλή θερμοκρασία αντίστοιχα.

Κάθε εναλλακτήρας είναι εφοδιασμένος με πίνακα αναγνωρίσεως στερεωμένο στην εξωτερική πλευρά της σταθερής πλάκας, όπου αναγράφονται δεδομένα σχετικά με τον τύπο, τον σειριακό αριθμό εργοστασίου, τις επιτρεπόμενες πιέσεις λειτουργίας σε bar, τις επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας σε °C, την πίεση ελέγχου, το βάρος του (κενού ρευστών) και το όριο συσφίξεως του «μ max»/«μ min» σε mm. Το όριο συσφίξεως «μ», (σχ. 3.4θ) είναι το μέτρο μεταξύ των πλακών του σκελετού, στον οποίο πρέπει να συσφιγχθεί η στιβάδα πλακών εναλλαγής θερμότητας. Εάν η σύσφιγξη γίνει κάτω του ορίου «μ min», μπορεί να προκληθεί βλάβη στη στιβάδα των πλακών.

Με τη σύνδεση των σωλήνων, τη διάταξη των πλακών, μαζί με τα συνθετικά παρεμβύσματα στεγανότητας που δημιουργούν τα περάσματα, το θερμό ρευστό ρέει εναλλακτικά μεταξύ των επιπέδων πλακών μεταδόσεως θερμότητας, ενώ το ψυχρό ρευστό ρέει στα ενδιάμεσα περάσματα κατά την ίδια χρονική στιγμή προς την αντίθετη κατεύθυνση (σχ. 3.4η).

Οι αυλακώσεις στην επιφάνεια κάθε πλάκας εξασφαλίζουν:

α) Τις αναταράξεις στη ροή των ρευστών επιτυγχάνοντας την αύξηση της αποδόσεως κατά τη μεταφορά της θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται εφόσον ο όγκος του ρευστού που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας είναι μεγαλύτερος, αυξάνοντας τον συντελεστή θερμότητας α^1 σε σύγκριση με τον όγκο του ρευστού που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια όταν η ροή είναι ομαλή (στρωτή).

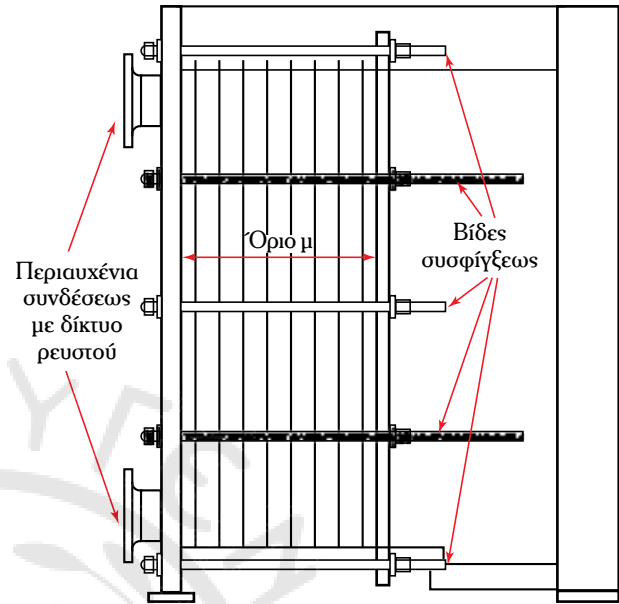
β) Την αναταραχή του ρευστού (τυρβώδης ροή), η οποία, αντίθετα με την ομαλή ροή, προκαλεί μεί-

¹ Με τις αναταράξεις του ρευστού επιτυγχάνεται αύξηση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας α .



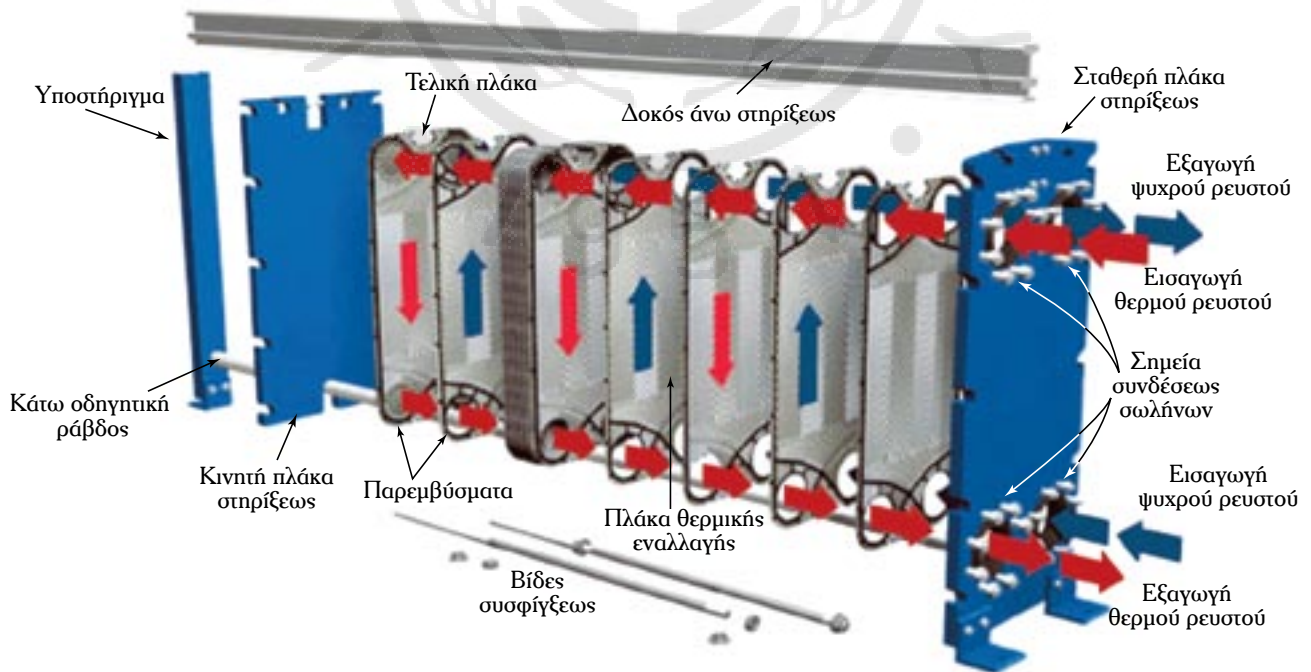
Σχ. 3.47

Τύποι επιφανειών εναλλακτήρα θερμότητας και εφαρμογή παρεμβυσμάτων (με κόκκινο χρώμα φαίνεται η διαμόρφωση των αυλακώσεων).



Σχ. 3.40

Μέτρο συσφίξεως «μ».



Σχ. 3.4n

Εναλλακτήρας θερμότητας με πλάκες (φύλλα) και παράσταση της ροής των δύο ρευστών.

ωση της **στατικής μεμβράνης**¹, που δημιουργείται από το ίδιο το ρευστό στην επιφάνεια της πλάκας και αποτελεί εμπόδιο στη ροή της θερμότητας.

γ) Την ακαμψία της πλάκας, επιτρέποντας τη χρήση λεπτοτέρων πλακών, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως στη μεταφορά της θερμότητας.

δ) Την αύξηση στην επιφάνεια εναλλαγής της θερμότητας (σύμφωνα με την εξίσωση 3 σελ. 84).

Οι δύο πλάκες στηρίξεως κατασκευάζονται από χάλυβα, ενώ οι πλάκες εναλλαγής θερμότητας κατασκευάζονται από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι το τιτάνιο ή επίστρωση τιτανίου, το οποίο έχει υψηλή τιμή, είναι όμως ελαφρύ με πυκνότητα $4,5 \text{ kg/m}^3$ ή από κράμα αλουμινίου-χαλκού, του οποίου η χρήση αποφεύγεται για εναλλακτικές πλοίων λόγω της ευαισθησίας του από τη μόλυνση των παρακτίων υδάτων. Η διάβρωση που προκαλείται από την αναταραχή στη ροή του ρευστού, αποτρέπεται με τη ρύθμιση της ροής του. Οι κοιλίες συσφίξεως και τα περικόχλια κατασκευάζονται από κράμα χάλυβα υψηλής ποιότητας και μπορεί πολλές φορές να είναι επιψευδαργυρωμένα.

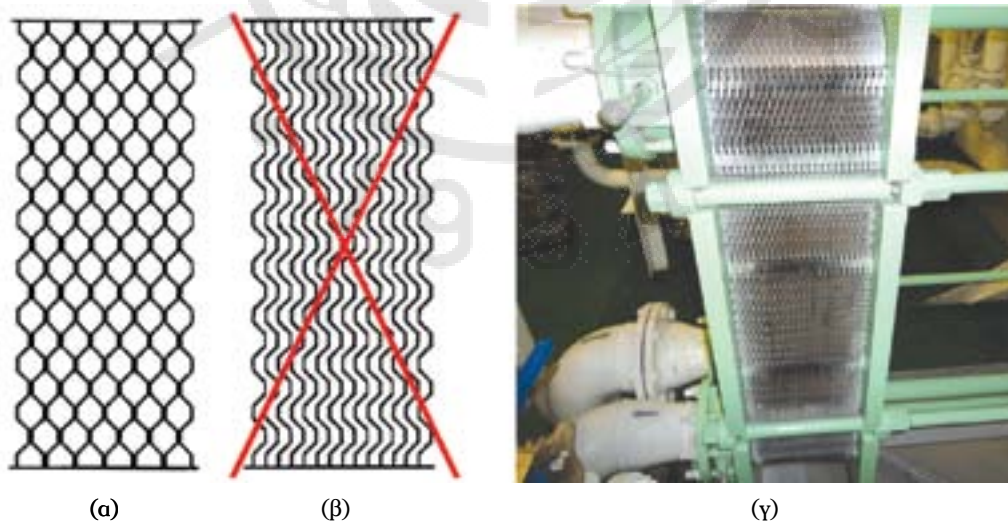
Εάν οι πλάκες θερμικής εναλλαγής έχουν αναρτηθεί σωστά, τότε η σταβάδα εμφανίζει πλάγιως ένα συνεχόμενο κυψελοειδές σχήμα (σχ. 3.4i).

Η στερέωση των ελαστικών παρεμβυσμάτων για

τη στεγανοποίηση και τη δημιουργία των διαδρομών ροής των δύο ρευστών πραγματοποιείται με τη χρήση κατάλληλης κόλλας, ενώ το υλικό αντέχει σε θερμοκρασίες που φτάνουν έως τους 110°C . Σε υψηλότερες θερμοκρασίες το ελαστικό σκληραίνει, χάνοντας την αντοχή του και τη στεγανοποίηση που προσφέρει. Για την αποκόλλησή του από τις επιφάνειες των πλακών λόγω φθοράς του συνθετικού υλικού, χρησιμοποιείται υγρό άζωτο, το οποίο παγώνει το υλικό προκαλώντας τη συστολή και τη θραύση του. Έτσι, απομακρύνεται εύκολα αποφεύγοντας τη χρήση αιχμηρών αντικειμένων που καταστρέφουν την επιφάνεια της πλάκας.

Ο καθαρισμός του εναλλακτήρα με πλάκες πραγματοποιείται είτε με **αντίστροφη απόπλυση**, είτε με **αποσυναρμολόγηση** και **απομάκρυνση** χειροκίνητα από κάθε επιφάνεια των προσκολλημένων σωματιδίων ακαθαρσιών, που μεταφέρονται από τα ρευστά.

Η μέθοδος καθαρισμού με αντίστροφη απόπλυση, βρίσκει εφαρμογή όταν τα ρευστά περιέχουν χονδροειδή σωματίδια ακαθαρσιών και βουλώνουν τα κανάλια εισόδου. Πρόκειται για μικρής χρονικής διάρκειας αντιστροφή της κατευθύνσεως ροής, απομακρύνοντας τα σωματίδια ακαθαρσιών από τον εναλλακτήρα. Η αντιστροφή της κατευθύνσεως ροής διενεργείται με την εγκατάσταση σωληνώσεων και επιστομιών (σχ. 3.4ia). Όταν τα προσκολλημένα



Σχ. 3.4i

(α) Σωστή και (β) λάνθασμένη τοποθέτηση πλακών θερμικής εναλλαγής, όπως φαίνονται στην πλευρά του εναλλακτήρα μετά τη συναρμολόγηση. (γ) Εικόνα του εναλλακτήρα μετά την συναρμολόγηση.

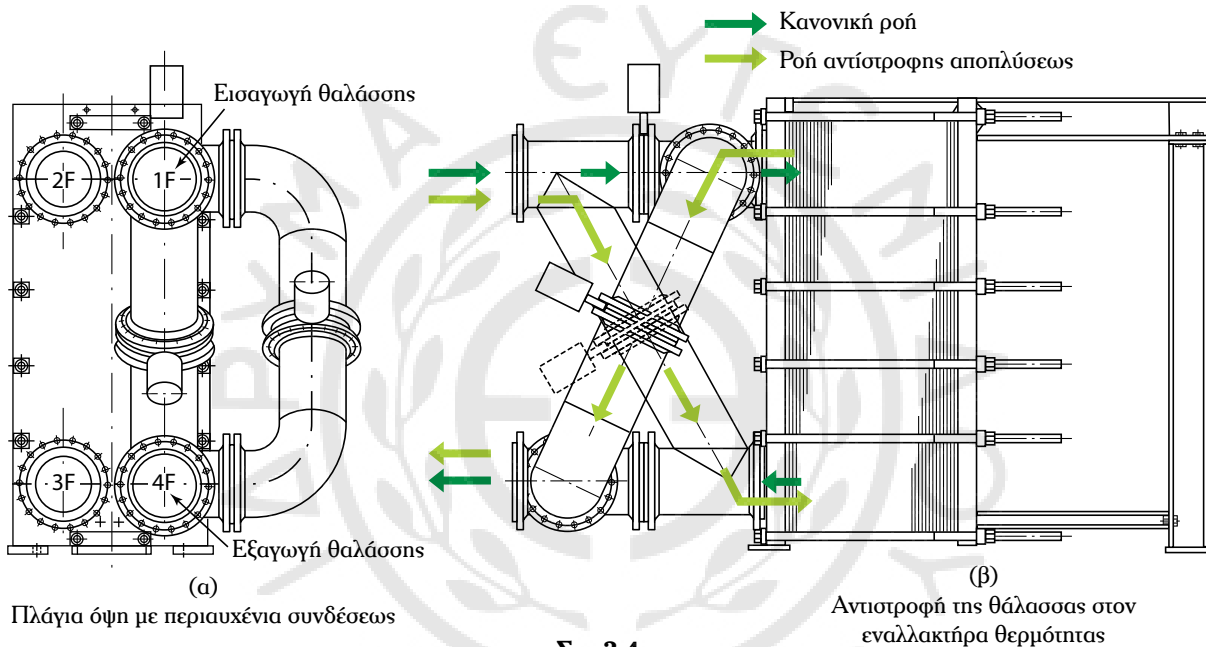
¹ Στατική μεμβράνη, σύμφωνα με τη Μηχανική Ρευστών, είναι το οριακό στρώμα από το ίδιο το ρευστό στις επιφάνειες μεταφοράς της θερμότητας.

σωματίδια ακαθαρσιών δεν απομακρύνονται με τη μέθοδο αντίστροφης αποπλύσεως, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής εναλλαγής, τότε πρέπει να προτιμηθεί ο χειροκίνητος καθαρισμός.

Κατά τον χειροκίνητο καθαρισμό πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αποσυναρμολόγηση, διότι λανθασμένοι χειρισμοί κατά το λύσιμο των περικολίων μπορεί να προκαλέσει στρέβλωση των πλακών. Η χαλάρωση των περικολίων συσφίξεως πρέπει να πραγματοποιείται με ομοιόμορφα μικρά βήματα εναλλάξ, για παράδειγμα στα σημεία 1-2-3-4 η σύσφιγξη πρέπει να πραγματοποιείται διαγώνως 1-2 και 3-4 [σχ. 3.4ιβ(α)], ώστε να αποτραπεί

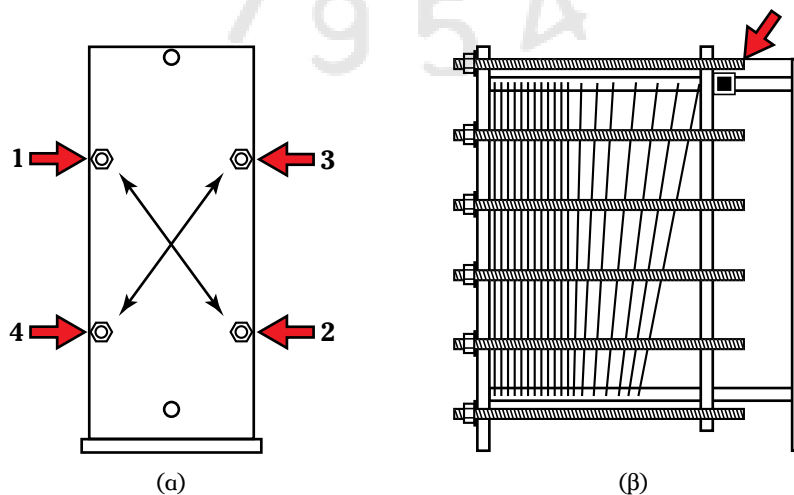
η υπερφόρτιση μεμονωμένων συσφιγκτήρων και η στρέβλωση, ενώ αντίστοιχα διαγώνια πρέπει να πραγματοποιείται η χαλάρωση σε εναλλάκτες με περισσότερους κοχλίες συσφίξεως. Στη συνέχεια, απομακρύνονται τα περικόχλια συσφίξεως και μετατοπίζεται η ελεύθερη πλάκα με τις πλάκες εναλλαγής θερμότητας πάνω στις δοκούς στηρίξεως, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4ιβ(β), δημιουργώντας τον ελεύθερο χώρο προσβάσεως για τον καθαρισμό.

Στον χειροκίνητο καθαρισμό πρέπει να αποφεύγεται η χρήση σκληρών εργαλείων καθαρισμού (π.χ. βούρτσες με μεταλλικές τρίχες), διότι μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στις μεταλλικές επιφάνειες



Σχ. 3.4ια

Διάταξη σωληνώσεων και επιστομιών για καθαρισμό αντίστροφης αποπλύσεως.



Σχ. 3.4ιβ

(α) Πλευρά ελεύθερης πλάκας και (β) διαγώνια χαλάρωση των κοχλίων συσφίξεως.

των ελασμάτων και στις επιφάνειες των πλαισίων στεγανοποίησης. Οι μεταλλικές επιφάνειες που έχουν υποστεί βλάβες, μπορεί να οδηγήσουν σε διάβρωση των ελασμάτων, ενώ βλάβες στις επιφάνειες των πλαισίων στεγανοποίησης οδηγούν σε διαρροές του εναλλακτήρα κατά την επανέναρξη λειτουργίας. Σε περίπτωση επικαθίσεως στις επιφάνειες μεγάλων και χονδρών σωματιδίων ρυπάνσεως χρησιμοποιείται αντλία νερού υψηλής πίεσης για την απομάκρυνσή τους. Το ακροστόμιο της αντλίας είναι στραμμένο κάθετα επάνω στα πλαίσια στεγανοποίησης, προκειμένου να αποφευχθεί η χαλάρωσή τους. Στο τέλος, πραγματοποιείται απόπλυση και στις δύο πλευρές με τρεχούμενο ζεστό νερό και μία μαλακή βούρτσα.

Για την αποφυγή της χρήσεως αιχμηρών αντικειμένων, ο καθαρισμός των επιφανειών από τις επικαθίσεις των αλάτων ή των ακαθαρσιών πραγματοποιείται με τη χρήση χημικών καθαριστικών. Αυτά όμως μπορεί να προσβάλλουν το υλικό του πλαισίου στεγανοποίησης προκαλώντας διαρροές. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται χημικά ασφαλή για το υλικό.

Μετά τον καθαρισμό, εφαρμόζονται οι ράβδοι συσφίξεως στις υποδοχές των πλακών στηρίξεως και με έλεγχο των διαστάσεων του ψυγείου, όπως και στην αποσυναρμολόγηση, η σύσφιξη πραγματοποιείται με μικρά βήματα διαγώνια και εναλλάξ.

Η σύσφιξη πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια, διότι η απόκλιση κάτω του ορίου μέτρου συσφίξεως «μ min» οδηγεί γενικά σε ζημιές των ελασμάτων θερμικής εναλλαγής, ενδεχομένως σε λειτουργική ανεπάρκεια του εναλλακτήρα και απώλεια της στεγανότητας από τα ελαστικά παρεμβύσματα. Γι' αυτό, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η στιβάδα των πλακών έχει συσφισθεί μέχρι το απαιτούμενο όριο συσφίξεως «μ», ώστε «μ min» < «μ» < «μ max».

Με την επανέναρξη λειτουργίας του εναλλακτήρα θερμότητας ελέγχεται ότι:

α) Όλες οι συνδέσεις σωληνώσεων είναι συνδεδεμένες σταθερά.

β) Όλα τα απαιτούμενα τμήματα του εναλλακτήρα έχουν εγκατασταθεί πλήρως.

γ) Το επιτρεπόμενο μέτρο συσφίξεως «a min» δεν βρίσκεται κάτω του ορίου.

δ) Δεν υπάρχουν μέσα σε αυτόν κατάλοιπα προηγούμενων διεργασιών (π.χ. μέσα καθαρισμού).

ε) Ο εναλλακτήρας απαερώνεται-εξαερώνεται.

στ) Αποφεύγονται οι ισχυρές μεταβολές της πίεσης, που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την κανονική λειτουργία του.

Από τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** της εγκατάστασης των εναλλακτών με πλάκες είναι:

α) Η ευκολία της αποσυναρμολογήσεως για την απομάκρυνση και τον καθαρισμό των επικαθίσεων στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας.

β) Η υψηλή απόδοσή τους σε σχέση με τους άλλους τύπους εναλλακτών, διότι με την ίδια παροχή ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση από συσκευές μικρότερου μεγέθους.

Η αύξηση στην απόδοση και ο μικρός χώρος που καταλαμβάνεται με την εγκατάσταση των εναλλακτών θερμότητας με πλάκες τείνουν να εκτοπίσουν τη χρήση των αυλωτών. Όμως, η τελική επιλογή του τύπου εναλλακτήρα που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον σκοπό που εξυπηρετεί.

3.5 Μετάδοση θερμότητας στους εναλλακτικές επιφάνειες.

Θεωρητικά, η μετάδοση θερμότητας στους εναλλακτικές επιφάνειες πραγματοποιείται ως σύνθετη διάβαση της θερμότητας, που διέρχεται από αλληλάλληλα στρώματα ή θερμικές αντιστάσεις. Οι αντιστάσεις αυτές δημιουργούνται από το πάχος της πλάκας από την οποία αποτελείται ο εναλλακτήρας ή το τοίχωμα του αυλού και τις μεμβράνες των ρευστών πάνω στις επιφάνειες αυτές. Στην πράξη όμως, και κατά τη λειτουργία του εναλλακτήρα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή του είναι πολλοί. Έτσι, η βέλτιστη επιλογή, παρά το γεγονός ότι το κόστος είναι συνήθως το κύριο κριτήριο αξιολογήσεως, εξαρτάται και από άλλα κριτήρια που επηρεάζουν την απόδοσή του. Τα κριτήρια αυτά περιλαμβάνουν:

α) Το ανώτερο και το κατώτερο όριο πίεσης κατά τη λειτουργία.

β) Τη θερμική απόδοση του εναλλακτήρα.

γ) Τις διακυμάνσεις και τις μεταβολές της θερμοκρασίας των ρευστών.

δ) Το είδος του ρευστού.

ε) Την πτώση πίεσης κατά μήκος του εναλλακτήρα.

στ) Τον ρυθμό ροής του ρευστού.

ζ) Τη ρύπανση των επιφανειών.

η) Τις απαιτήσεις συντηρήσεως και καθαρισμών και

θ) τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή του.

Για όλα αυτά, μαζί με την ιδιαιτερότητα του λειτουργικού περιβάλλοντος του πλοίου, απαιτείται η γνώση των διαφόρων τύπων εναλλακτών, ώστε

το αποτέλεσμα της επιλογής να είναι ο συνδυασμός της αποδόσεως με την αξιοπιστία.

Ο ρυθμός ροής της θερμότητας ενός εναλλακτήρα με αυλούς ή πλάκες απ' το υγρό με υψηλότερη θερμοκρασία σε υγρό με χαμηλότερη, είναι αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των δύο ρευστών, της αγωγιμότητας του υλικού κατασκευής των πλακών που αποτελούν την ψυκτική επιφάνεια του εναλλακτήρα και του πάχους της.

Στην περίπτωση που κανένα απ' τα δύο ρευστά δεν κινείται, η αγωγιμότητά τους, με συντελεστές μεταφοράς της θερμότητας a_1 και a_2 των υγρών πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη, διότι σε στατικές συνθήκες, καθώς το ένα ρευστό χάνει θερμότητα, ενώ το άλλο κερδίζει, η θερμοκρασιακή διαφορά μειώνεται σταδιακά επιβραδύνοντας τον ρυθμό μεταφοράς της θερμότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι όταν ένα ρευστό κινείται σε επαφή με στερεή επιφάνεια, στο κέντρο ροής το ρευστό έχει μεγαλύτερη ταχύτητα, ενώ όσο πλησιάζουμε στην επιφάνεια μεταφοράς της θερμότητας (αυλός ή πλάκα) σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα ρευστού (οριακό στρώμα μεμβράνης ρευστού) που κινείται με ελάχιστη ταχύτητα ή παραμένει ακίνητο. Έτσι, η θερμοκρασία από το ρευστό T_θ (υψηλή) μειώνεται, καθώς διέρχεται πρώτα μέσω της μεμβράνης του ρευστού σε θερμοκρασία $T_{\theta\mu}$ (υψηλή θερμοκρασία στην επιφάνεια του μετάλλου του θερμού ρευστού) και στη συνέχεια μειώνεται περισσότερο, διερχόμενη μέσα απ' τη στερεά επιφάνεια του αυλού ή της πλάκας από θερμοκρασία $T_{\theta\mu}$ σε $T_{x\mu}$ (χαμηλή θερμοκρασία στην επιφάνεια του μετάλλου του ψυχρού ρευστού). Στη συνέχεια, διέρχεται μέσω του οριακού στρώματος της μεμβράνης που σχηματίζεται στην πλευρά του ρευστού χαμηλής θερμοκρασίας και από $T_{x\mu}$ γίνεται T_x (χαμηλή), η οποία λαμβάνεται ως θερμοκρασία του ψυχρού ρευστού (σχ. 3.5α).

Ανεξάρτητα απ' το πάχος που έχει το οριακό στρώμα της μεμβράνης από το ακίνητο ρευστό, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην αύξηση της αντιστάσεως κατά τη διάβαση της θερμότητας. Η αντίσταση αυτή εκφράζεται από τον λεγόμενο **συντελεστή αγωγιμότητας** (film coefficient) του ρευστού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το πάχος του οριακού στρώματος της μεμβράνης είναι:

α) Ο συντελεστής ιξώδους του ρευστού, με το πάχος της μεμβράνης του ρευστού στην επιφάνεια της πλάκας ή του αυλού να μειώνεται όσο το ρευστό έχει χαμηλότερο ιξώδες και γίνεται πιο λεπτόρρευστο.

β) Η ταχύτητα με την οποία κινείται το ρευστό ώστε όσο αυξάνει, τόσο μικρότερο είναι το πάχος της μεμβράνης.

Έτσι όταν λόγω της αύξησεως της ταχύτητας η ροή μετατραπεί από στρωτή σε στροβιλώδη (τυρβοειδή), η μεμβράνη που σχηματίζεται στην επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας διασπάται ή διαφορετικά το ρευστό υπερβαίνει την κρίσιμη ταχύτητα ροής.

Λαμβάνοντας υπόψη έναν ρυθμό ροής της θερμότητας ΔQ μέσω του στοιχείου (αυλού ή πλάκας) επιφάνειας ΔA , έχουμε:

$$\Delta Q = a_1(T_\theta - T_{\theta\mu}) \cdot \Delta A + \left(\frac{\lambda}{y}\right) \cdot (T_{\theta\mu} - T_{x\mu}) \cdot \Delta A + a_2 \cdot (T_{x\mu} - T_x) \cdot \Delta A \quad (4)$$

όπου: a_1 ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην πλευρά του ρευστού υψηλής θερμοκρασίας, a_2 ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην πλευρά του ρευστού υψηλής θερμοκρασίας, λ η θερμική αγωγιμότητα του υλικού του αυλού ή της πλάκας και y το πάχος του τοιχώματος μεταξύ των δύο ρευστών του αυλού ή της πλάκας.

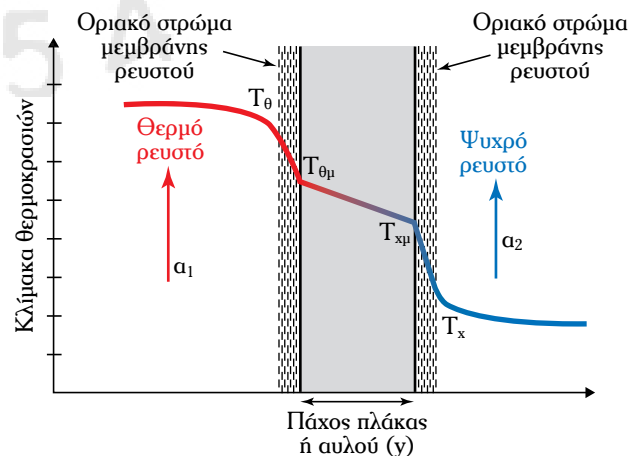
Αν ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι U , η εξίσωση (4) μπορεί να γραφεί ως:

$$U = \frac{\Delta Q}{(T_h - T_c) \cdot \Delta A} \quad (5)$$

τότε

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{y}{\lambda} \quad (6)$$

και αποτελεί τη βασική εξίσωση της αποδόσεως του εναλλακτήρα θερμότητας, όταν η επιφάνεια μεταφο-



Σχ. 3.5α

Διάβαση της θερμότητας της μεμβράνης και του μετάλλου, που αποτελεί την πλάκα ή τον αυλό.

ράς θερμότητας είναι καθαρή. Οι τιμές των h_1 και h_2 καθορίζονται αντίστοιχα από τα ρευστά και τις συνθήκες ροής στις δύο πλευρές της επιφάνειας.

Επί πλέον όροι μπορούν να προστεθούν στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης, αντιπροσωπεύοντας την αντίσταση στη ροή της θερμότητας απ' την εναπόθεση αλάτων ή ακαθαρσιών, που συσσωρεύονται και στις δύο πλευρές της επιφάνειας, αυξάνοντας την αντίσταση στη διάβαση της θερμότητας (σχ. 3.5β).

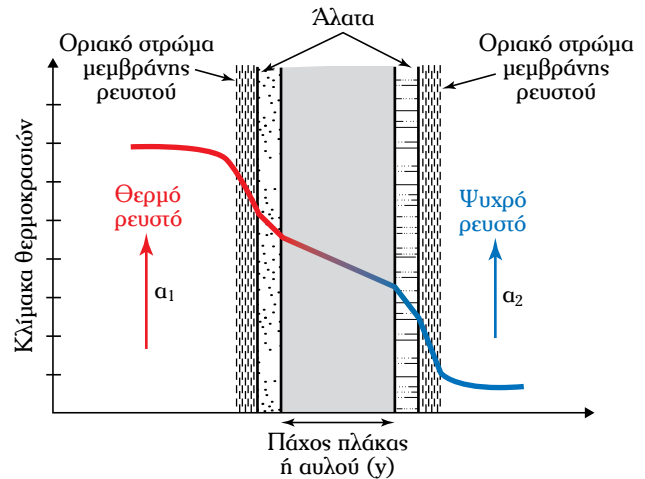
Ο υπολογισμός της ψυκτικής επιφάνειας ή της επιφάνειας μεταδόσεως της θερμότητας και ο έλεγχος αυτής, προκύπτουν από τον υπολογισμό με βάση εμπειρικά δεδομένα των κατασκευαστών. Οι τιμές που προκύπτουν, περιέχουν και το απαραίτητο περιθώριο ασφάλειας λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως η ρύπανση των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας του ψυγείου ή οι απώλειες λόγω της φθοράς με την πάροδο λειτουργίας του, π.χ. οι φραγμένοι αυλοί κ.ά.. Έτσι, σ' έναν καινούργιο εναλλακτήρα ή μετά από τον καθαρισμό, πιθανόν να απαιτείται κάθε φορά ρύθμιση της ταχύτητας κυκλοφορίας, αποτρέποντας ανεπιθύμητες απώλειες θερμότητας λόγω **υπερεπάρκειας της ψυκτικής επιφάνειας**¹.

3.6 Ψυγεία.

Η θερμότητα που παράγεται με τη λειτουργία των μηχανημάτων πρέπει να απομακρυνθεί απ' αυτά, ώστε να επιτευχθεί η αποδοτική λειτουργία τους. Η απαιτούμενη ψύξη τους πραγματοποιείται κυρίως με την κυκλοφορία νερού, λαδιού ή αέρα από αυτή.

Στα πλοία, η άφθονη παροχή θαλασσινού νερού μπορεί να επιτύχει την ψύξη των μηχανημάτων. Όμως, η άμεση χρήση του στην ψύξη ενός μηχανήματος θα προκαλούσε επικαθίσεις και διάβρωση των επιφανειών λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε άλατα. Επίσης, η ρύπανση των παρακτιών περιοχών από βιομηχανικά και άλλα απόβλητα προκαλούν επιπρόσθετα προβλήματα στη χρήση του θαλασσινού νερού ως άμεσο ψυκτικό μέσο. Γι' αυτούς τους λόγους η χρήση του προορίζεται ως έμμεσο ψυκτικό μέσο.

Η απαγωγή της θερμότητας απ' τα μηχανήματα, η οποία μεταφέρεται από κάποιο ρευστό (νερό, λάδι ή αέρας), πραγματοποιείται με συσκευές που ονομάζονται **ψυγεία** ή ακριβέστερα **ψυκτήρες** (coolers) όταν το ρευστό που ψύχεται είναι υγρό.



Σχ. 3.5β

Επίδραση των αλάτων στη διάβαση της θερμότητας.

Με τον όρο **ψυγεία** εννοούμε τους εναλλακτήρες θερμότητας, όπου επιτυγχάνεται ο υποβιβασμός της θερμοκρασίας ή η ψύξη ενός ρευστού από ένα άλλο. Το ρευστό που χρησιμοποιείται για να μειωθεί η θερμοκρασία ονομάζεται **ψυκτικό μέσο** και στην προκειμένη περίπτωση για τα ψυγεία ενός πλοίου είναι το θαλασσινό νερό.

Σε πλοία με κλειστό κύκλωμα ψύξεως, όπου κυκλοφορεί γλυκό νερό, η ψύξη του επιτυγχάνεται με την παροχή θαλασσινού νερού σε **κεντρικό ψυγείο** (central cooler) της εγκαταστάσεως.

Όταν το ρευστό που ψύχεται είναι ατμός, με την ψύξη του πραγματοποιείται μερική ή ολική συμπύκνωσή του και συνεπώς αντίστοιχα μετάβασή του σε υγρή κατάσταση. Αυτή η διεργασία συμβαίνει στα ψυγεία των ατμομηχανών και των στροβίλων, στα ψυγεία επιστροφών του δικτύου ατμού, στα ψυγεία των επιστροφών των αντλιών με τουρμπίνα (Cargo Oil Pump Turbine-COPT) και στα ψυγεία των ψυκτικών μηχανών, οπότε ονομάζονται **ψυγεία συμπεκνώσεως** ή **συμπυκνωτές** (condensers).

3.6.1 Ψυγεία συμπεκνώσεως ή συμπυκνωτές.

Τα ψυγεία που χρησιμοποιούνται στα πλοία με πρόωση από ατμοστροβίλους αλλά και στα Δ/Ξ με αντλίες φορτίου που κινούνται από ατμοστροβίλο, ονομάζονται **συμπυκνωτές** (condensers). Οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούνται για συμπύκνωση των ατμών από την εξάτμιση του ατμοστροβίλου και την επιστροφή τους στο λέβητα.

¹ Υπερεπάρκεια της ψυκτικής επιφάνειας παρουσιάζεται όταν λόγω καθαρών επιφανειών μετά τη συντήρηση πρέπει να ελαττωθεί η ροή του ψυκτικού μέσου στο ψυγείο, ώστε να μειωθεί ο ρυθμός απαγωγής της θερμότητας.

1) Κύριο ψυγείο ατμοστροβιλοκινήτων πλοίων.

Όσο εκτονώνεται ο ατμός μέσω ενός στροβίλου τόσο αυξάνεται και η απόδοσή του, εφόσον αποσπά τη μέγιστη ποσότητα απ' το διαθέσιμο έργο της χρήσιμης ενέργειας του ατμού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία κενού και τη διατήρησή του στην εξαγωγή του στροβίλου σε χαμηλό επίπεδο.

Το **ψυγείο του ατμού** ή **συμπυκνωτής** (steam condenser) είναι ένα κύριο στοιχείο στον κύκλο του ατμού των δικτύων προώσεως με ατμομηχανή ή στροβίλο. Σε αυτό, από τον ατμό των επιστροφών αφαιρείται η λανθάνουσα θερμότητα μετατρέποντας την κατάσταση του ατμού σε υγρό συμπύκνωμα με ψύξη υπό σταθερή πίεση και σταθερή θερμοκρασία. Σκοπός της διεργασίας είναι η δημιουργία και η διατήρηση του απαραίτητου κενού καθώς και η απόρριψη θερμότητας¹ για την αποδοτική λειτουργία της ατμομηχανής ή του στροβίλου.

Από τη μελέτη της λειτουργίας των ατμομηχανών είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το κενό (πίεση κάτω από την ατμοσφαιρική) στην εξαγωγή τους, τόσο μεγαλύτερος είναι ο θερμοδυναμικός βαθμός αποδόσεώς τους και τόσο μεγαλύτερη η ισχύς που αποδίδουν, μειώνοντας την ειδική κατανάλωση σε ατμό και καύσιμο. Επίσης, η διατήρηση του υψηλού κενού στο ψυγείο συμπυκνώματος στροβίλων έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς το μέγεθος του βαθμού εκτονώσεως του ατμού μέσα σ' αυτούς.

Το κενό μέσα στο ψυγείο δημιουργείται με τη συμπύκνωση των επιστροφών του ατμού και με την αφαίρεση των υδρατμών, που δεν έχουν συμπυκνωθεί, καθώς και του ατμοσφαιρικού αέρα. Το κενό εκφράζει τη διαφορά της απόλυτης πίεσεως ως τη μία ατμόσφαιρα. Έτσι όσο η απόλυτη πίεση στο εσωτερικού του ψυγείου είναι μικρότερη, τόσο υψηλότερο θα είναι το κενό, φθάνοντας την τιμή του απόλυτου κενού όταν αυτή η διαφορά μηδενιστεί.

Το κενό του ψυγείου μετράται σε χιλιοστά ή εκατοστά ή ίντσες στήλης υδραργύρου με την τιμή 759,968 mmHg, που αντιπροσωπεύει το τέλειο ή απόλυτο κενό. Συνήθως ακολουθείται η ακέραια τιμή 760 mmHg, που ισούται με 76 cmHg ή 30 inHg ή σε ποσοστό κενού 100%.

Μέσα στο ψυγείο επικρατούν ενδιάμεσες τιμές, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, απ' το μηδέν μέχρι το απόλυτο κενό. Σε κάθε τιμή του κενού αντιστοιχεί και μία απόλυτη πίεση των ατμών, ενώ σε κάθε τιμή απόλυτης πίεσεως αντιστοιχεί και μία θερμοκρασία που βρίσκεται από τους ειδικούς πίνακες ατμού της Θερμοδυναμικής.

Στις παλινδρομικές μηχανές ατμού το κενό φθάνει μέχρι και 686 mmHg ή 90% με αντίστοιχη θερμοκρασία ατμών τους 46 °C, ενώ στους στροβίλους φθάνει ως και την τιμή των 752 mmHg ή 99% με αντίστοιχη θερμοκρασία 11,5 °C.

Το κενό στον συμπυκνωτή θα πρέπει να διατηρείται, όσο πρακτικά είναι δυνατόν, κοντά στην τιμή των 736 mmHg, ώστε να επιτρέπεται η μέγιστη εκτόνωση του ατμού, με σκοπό τη μέγιστη παραγωγή έργου απ' τον στροβίλο. Αν ένας συμπυκνωτής είναι αεροστεγώς μονωμένος, η ακαριαία μείωση στον όγκο του ατμού που εισέρχεται με τη συμπύκνωσή του και η απομάκρυνση του συμπυκνώματος με τον ρυθμό σχηματισμού του, θα ήταν αρκετή στη δημιουργία και τη διατήρηση του κενού.

Όμως, πρακτικά είναι αδύνατον να αποτραπεί η εισαγωγή του αέρα και η εξάλειψη των αερίων που δεν συμπυκνώνονται γι' αυτόν τον λόγο απαιτούνται κάποια βοηθητικά μηχανήματα και συσκευές, που αρχικά θα δημιουργήσουν και στη συνέχεια θα διατηρήσουν το κενό. Αυτά είναι:

α) Οι εκχυτήρες κενού για την απομάκρυνση του αέρα, που δημιουργούν το κενό.

β) Η αντλία συμπυκνώματος, της οποίας η αναρρόφηση είναι στο χαμηλότερο σημείο του συμπυκνωτή και

γ) η αντλία κυκλοφορίας που παρέχει το θαλασσινό νερό ψύξεως.

Οι εκχυτήρες κενού (βλ. κεφ. 5 σελ. 124) αναρροφούν τον αέρα με τους μη συμπυκνωμένους ατμούς μέσω κατάλληλης διατάξεως που εφαρμόζεται στο κέλυφος του συμπυκνωτή. Ο ατμός που διέρχεται απ' το ακροφύσιο του εκχυτήρα παρέχεται από το δίκτυο ατμού, ενώ η κατάθλιψή του οδηγείται στο ψυγείο των εκχυτήρων. Το κενό είναι δυνατόν να επιτευχθεί με έναν εκχυτήρα και ένας δεύτερος ενδέχεται να συνδέεται παράλληλα στο δίκτυο ως εφεδρικός. Για δίκτυα με εκχυτήρες συνδεδεμένους σε σειρά, η δημιουργία του κενού γίνεται σε δύο στάδια.

¹ Στο ψυγείο έχουμε απόρριψη θερμότητας. Η συσκευή είναι απαραίτητη. Εδώ επιβεβαιώνεται η ισχύς του 2ου Θερμοδυναμικού Νόμου, που ορίζει ότι η θερμότητα ρέει πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα και ποτέ αντίθετα.

Η αναρρόφηση του εκχυτήρα του πρώτου σταδίου γίνεται από τον συμπυκνωτή, ενώ η αναρρόφηση του εκχυτήρα του δεύτερου σταδίου συνδέεται στη **χοάνη καταθλίψεως** (diffuser) του πρώτου εκχυτήρα. Η κατάθλιψη του δεύτερου σταδίου οδηγείται στο ψυγείο συμπυκνώματος των εκχυτήρων, όπου ο ατμός συμπυκνώνεται με την κυκλοφορία νερού απ' το συμπύκνωμα του κύριου ψυγείου.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η υγραποίηση των μη συμπυκνωμένων ατμών από το ψυγείο, αλλά και η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού πριν επιστρέψει στο δίκτυο του λέβητα. Σε περιπτώσεις που μαζί με τον αέρα πρέπει να αφαιρεθούν και μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνωμένων ατμών προκαλείται η υπερφόρτισή τους. Για την πρόληψή της χρησιμοποιείται κατάλληλη διάταξη από διάφραγμα μέσα στο ψυγείο, που συμβάλλει στον αποχωρισμό του αέρα και στη συγκέντρωσή του σε σημεία υψηλότερα απ' τη στάθμη του συμπυκνώματος, ώστε η απαγωγή του να γίνεται ευκολότερα. Τα σημεία αυτά ονομάζονται **τμήματα ψύξεως** του αέρα, όπου φθάνει ο εισερχόμενος ατμός, αφού πρώτα έρθει σε επαφή με μεγάλο αριθμό αυλών και έχει υποστεί επαρκή συμπύκνωση. Ο αέρας που είναι αναμεμιγμένος ψύχεται επαρκώς, ώστε αποκτώντας μικρότερο όγκο να απομακρύνεται ευκολότερα.

2) Περιγραφή συμπυκνωτών.

Ένας συμπυκνωτής (σχ. 3.6α) αποτελείται απ' το κυλινδρικό κέλυφος, που συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο, και τις αυλοφόρες πλάκες ή καθρέπτες από ορείχαλκο (70% Cu, 29% Zn, 1% Sn) ή από **μέταλλο muntz**¹, που εφαρμόζονται στις δύο πλευρές του κυλίνδρου. Όμοιας κατασκευής είναι και τα ενδιάμεσα διαφράγματα στηρίξεως των αυλών. Οι αυλοφόρες πλάκες είναι διάτρητες και στις τρύπες που σχηματίζονται εφαρμόζονται οι αυλοί.

Οι αυλοί κατασκευάζονται από κράμα χαλκού και νικέλιο (70% Cu, 30% Ni) ή ορείχαλκο (75% Cu και 25% Zn) ή ορείχαλκο αλουμινίου (76% Cu, 22% Zn, 2% Al), με εξωτερική διάμετρο από 16–20 mm. Είναι **τραβηχτοί**² χωρίς ραφή, ώστε να επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής τους.

Η τοποθέτηση των αυλών στις αυλοφόρες πλάκες πραγματοποιείται σε ρομβοειδή διάταξη και τα άκρα τους προσαρμόζονται πάνω σε αυτές:

α) Με την εκτόνωσή τους μέσα στις τρύπες της πλάκας και στα δύο άκρα από κατάλληλο εργαλείο εκτονώσεως.

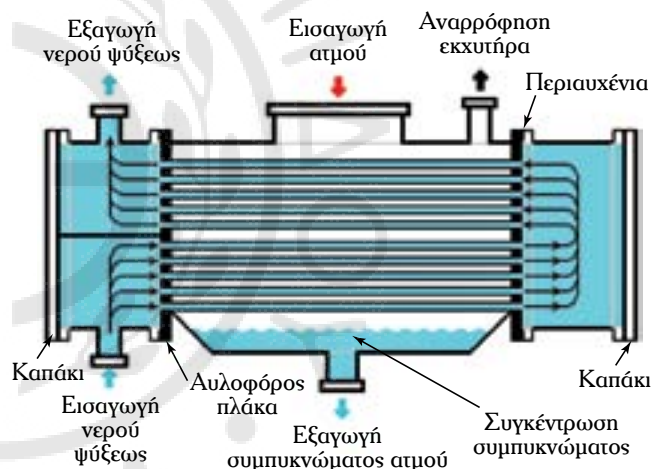
β) Με την εκτόνωση του ενός άκρου του αυλού, ενώ το άλλο στεγανοποιείται με στυπιοθλίπτη.

γ) Με στυπιοθλίπτη και στα δύο άκρα.

Όταν χρησιμοποιούνται στυπιοθλίπτες, οι τρύπες που ανοίγονται στις αυλοφόρες πλάκες είναι κατάλληλα διαμορφωμένες, ώστε να δημιουργούνται εσοχές (στυπιοθάλαμοι), όπου τοποθετούνται τα **παρεμβύσματα** (racking) από συνθετικά υλικά και μέταλλο, τα οποία συμπιέζονται από στυπιοθλίπτες με σπείρωμα (σχ. 3.6β).

Με τη σύνδεση των αυλών με παρεμβύσματα, εκτός απ' την επιθυμητή στεγανοποίηση, επιτυγχάνεται η απόσβεση της διαστολής των υλικών, λόγω της αύξησής της θερμοκρασίας.

Η πτώση ή η κάμψη των αυλών λόγω του μήκους και της ήπιας σκληρότητας του υλικού κατασκευής τους, προλαμβάνεται με την προσθήκη ελασμάτων



Σχ. 3.6α

Συμπυκνωτής διπλής ροής.



Σχ. 3.6β

Σύνδεση αυλού με παρεμβύσματα.

¹ Muntz μέταλλο είναι κράμα ορείχαλκου που περιέχει 60% χαλκό, 40% ψευδάργυρο και ίχνη σιδήρου.

² Τραβηχτοί αυλοί είναι οι αυλοί που κατασκευάζονται με εφελκυσμό (τράβνηγμα), ώστε να μην υπάρχει ένωση που αποδυναμώνει την αντοχή τους στη διάβρωση και σε συνθήκες λειτουργίας υπό πίεση.

στηρίξεως. Μία πλάκα στην είσοδο του ατμού λειτουργεί ως διάφραγμα, αποτρέποντας την πρόκληση φθοράς απ' την άμεση επαφή του ατμού με τους πρώτους αυλούς του συμπυκνωτή.

Στις ανοικτές πλευρές του κυλινδρικού κελύφους, όπου εφαρμόζονται οι αυλοφόρες πλάκες, συνδέονται τα πώματα ή τα καπάκια του συμπυκνωτή, κατασκευασμένα από χυτοσίδηρο, χάλυβα ή ορείχαλκο. Στα πώματα υπάρχουν λαιμοί, με τους οποίους συνδέονται οι σωλήνες εισαγωγής και εξαγωγής της **θάλασσας ψύξεως**, ενώ φέρουν νευρώσεις (ευθύγραμμα τμήματα μετάλλου για ενίσχυση) όπως νευρώσεις υπάρχουν και στο κέλυφος του συμπυκνωτή.

Εκτός των λαιμών συνδέσεως, στα πώματα υπάρχουν θυρίδες επιθεωρήσεως και καθαρισμού των αυλών, θυρίδες στο επάνω μέρος του κελύφους για επιθεώρηση του θαλάμου ατμού, ο κρουνός συγκοινωνίας του κελύφους με την τροφοδοτική δεξαμενή, καθώς και λαιμοί προσαρμογής των οργάνων ελέγχου της λειτουργίας του συμπυκνωτή.

Το σύστημα του συμπυκνωτή συμπληρώνεται από:

- α) Τη βαλβίδα εισαγωγής του ατμού.
- β) Το επιστόμιο εισαγωγής χημικών.
- γ) Το επιστόμιο εκκενώσεως.
- δ) Τον υδροδείκτη της στάθμης συμπυκνώματος.
- ε) Το κενόμετρο.
- στ) Τους εξαεριστικούς κρουνούς στο κέλυφος και στο πάνω μέρος του πώματος του συμπυκνωτή, στην πλευρά της εξαγωγής του νερού ψύξεως.

Ο συμπυκνωτής αποτελεί απαραίτητο στοιχείο στο δίκτυο ατμού, διότι συμβάλλει:

α) Στην οικονομική λειτουργία της εγκαταστάσεως, δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα όπου κυκλοφορεί το τροφοδοτικό νερό του λέβητα και στο οποίο μπορεί να συγκεντρώνονται υγροποιημένοι ατμοί από άλλα δίκτυα, όπως του ατμού στεγανότητας των στυπιοθλιπτών κ.λπ.. Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται η συνεχής πλήρωση του δικτύου με φρέσκο νερό, εφόσον το συμπύκνωμα επιστρέφει στη δεξαμενή του τροφοδοτικού νερού. Ένας τρόπος πληρώσεως με τροφοδοτικό νερό του δικτύου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του ψυγείου με κρουνό (επιστόμιο) συγκοινωνίας, που ονομάζεται και **μεικτός**. Ανοίγοντας το επιστόμιο, λόγω του κενού που επικρατεί στο εσωτερικό του συμπυκνωτή, αναρροφάται το νερό απ' τη δεξαμενή του τροφοδοτικού νερού μέχρι η στάθμη του νερού μέσα στο κέλυφος να φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο.

β) Στη μείωση του κόστους λειτουργίας της εγκαταστάσεως, περιορίζοντας την κατανάλωση του καυσίμου που απαιτείται για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του λέβητα, διατηρώντας μέρος της θερμότητας μέσα στην εγκατάσταση.

γ) Στην απαλλαγή του τροφοδοτικού νερού από μεγάλη ποσότητα οξυγόνου, που βρίσκεται διαλυμένο σ' αυτό. Η παραμονή του στο δίκτυο θα είχε καταστροφικές συνέπειες στους λέβητες.

δ) Στην αύξηση της αποδόσεως του κύκλου λειτουργίας, μεγιστοποιώντας τις τιμές που λαμβάνουν οι διαφορές θερμοκρασίας ΔT και πίεσεως ΔP μεταξύ της πηγής ενέργειας, που είναι ο λέβητας και του σημείου ψύξεως, που είναι ο συμπυκνωτής.

3) Κατάταξη ψυγείων συμπυκνώσεως.

Τα ψυγεία συμπυκνώσεως, όπως και οι εναλλακτικές επιφάνειες, ανάλογα με τη ροή διακρίνονται σε:

α) **Απλής ροής**, όταν το νερό ψύξεως εισέρχεται απ' τη μία πλευρά του συμπυκνωτή και εξέρχεται από την άλλη διανύοντας μόνο μία διαδρομή μέσα σ' αυτόν.

β) **Διπλής ροής** ή **αναστρεφόμενης**, όταν ο συλλέκτης χωρίζεται σε δύο μισά με τη βοήθεια διαχωριστικής πλάκας ή διαφράγματος. Το νερό εισέρχεται στον συλλέκτη του συμπυκνωτή στην κάτω πλευρά διαρρέοντας τους μισούς αυλούς, που βρίσκονται στο κάτω μέρος προς τη μία κατεύθυνση, όπως χωρίζονται απ' το διάφραγμα. Στη συνέχεια, η πορεία αντιστρέφεται στο πίσω τμήμα του συλλέκτη (καπάκι) διαρρέοντας τους αυλούς της πάνω πλευράς με αντίθετη κατεύθυνση.

Επίσης, ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους διακρίνονται:

α) Σε **κυλινδρικά** και **ελλειπτικά**, με τρόπο λειτουργίας ανάλογο με τον προαναφερόμενο.

β) Σε **αποιεϊδή** ή **καρδιοειδή** [σχ. 3.6γ(α)]. Κατασκευάζονται με αυτήν τη μορφή, διότι κατά τη συμπύκνωση ελαττώνεται ο όγκος του ατμού. Αντίστοιχα ελαττώνεται και η διατομή διελεύσεως, ώστε να διατηρείται σταθερή η ταχύτητα ροής του ατμού που διαρρέει το ψυγείο.

γ) Σε **αντιστρεφόμενης ροής ατμού** (contra flow), διότι με την ύπαρξη διαφραγμάτων ελέγχεται η πορεία του ατμού [σχ. 3.6γ(β)].

δ) Σε **ψυγεία αναθερμάνσεως** (regenerative condensers), όταν με κατάλληλα διαφράγματα επανακυκλοφορίας μίας ποσότητας ατμού μέσα στο

συμπύκνωμα διατηρούν τη θερμοκρασία του συμπυκνώματος σε επίπεδα που δεν επηρεάζουν την απόδοση της εγκατάστασης [σχ. 3.6γ(γ)].

4) Παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός ψυγείου συμπυκνώματος.

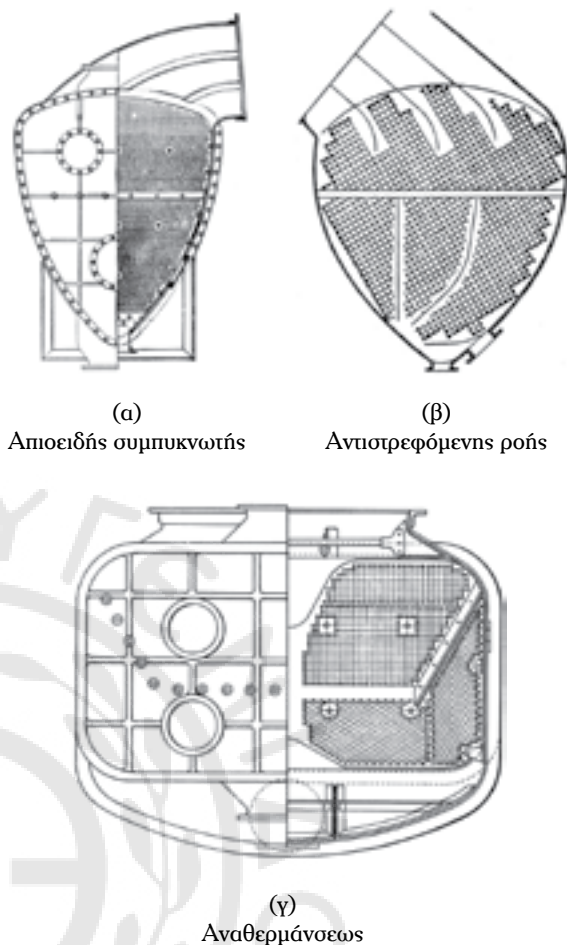
Η απόδοση της λειτουργίας ενός ψυγείου συμπυκνώματος επηρεάζεται από:

α) Τον **ρυθμό συμπυκνώσεως** και τη **διαφορά θερμοκρασίας**, διότι μέσα στο ψυγείο οι εξατμίσεις τείνουν να συμπυκνωθούν σε πίεση, τόση όση αντιστοιχεί από τους πίνακες ατμού στη θερμοκρασία της επιφάνειας των αυλών. Κατά τη φάση της συμπυκνώσεως, η ροή της λανθάνουσας θερμότητας πρέπει να πραγματοποιείται από τον ατμό προς την εξωτερική επιφάνεια των αυλών και στη συνέχεια μέσω του υλικού της επιφάνειας μεταδόσεως θερμότητας προς το ψυκτικό μέσο, που είναι το θαλασσινό νερό.

β) Την **παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα**, που δημιουργεί πρόσθετη αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας. Ο αέρας προσκολλάται στις επιφάνειες των αυλών, απομονώνοντάς τους κατά κάποιον τρόπο απ' τον ατμό, με αποτέλεσμα την πλημμελή συμπύκνωση, καθώς και τη μείωση του κενού στο ψυγείο. Ο αέρας μπορεί να εισέλθει στο ψυγείο διαλυμένος με το τροφοδοτικό νερό ή από τα σημεία στεγανοποίησης των μηχανημάτων λόγω κακής στεγανότητας των στυπαιοθλιπών των στροβίλων χαμηλής πίεσης (Χ.Π.) και υψηλής πίεσης (Υ.Π.), των ενώσεων στεγανότητάς τους κ.ά.. Ο αέρας απομακρύνεται από εκχυτήρες αέρα, ενώ ταυτόχρονα παρασύρει τις εξατμίσεις ατμού, που δεν έχουν συμπυκνωθεί.

γ) Τη **ροή του ατμού**, η οποία ακολουθεί διαδρομή απ' την εισαγωγή των εξατμίσεων μέσα στο ψυγείο προς τα τμήματα ψύξεως ατμού που υπάρχουν σ' αυτό και επικρατεί η μικρότερη πίεση. Κατά τη διαδρομή ο ατμός συμπυκνώνεται, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη διατομή διελεύσεως να ελαττώνεται οδηγώντας ορισμένους κατασκευαστές στη διαμόρφωση ψυγείων με αποειδή ή καρδιοειδή μορφή. Για την ομοιόμορφη κατανομή της ροής του ατμού σε μεγαλύτερο αριθμό αυλών και σε όλο το μήκος τους, δημιουργήθηκαν διαμήκεις αγωγοί μεταξύ των αυλών επιτυγχάνοντας την κατά μήκος διανομή του ατμού.

Η κυριότερη ένδειξη ικανοποιητικής ανταποκρίσεως του ψυγείου στις απαιτήσεις της εγκατάστασής ως προώσεως με ατμό είναι η τιμή του κενού, που μεγιστοποιεί την απόδοση της εγκατάστασης. Η



Σχ. 3.6γ

Διάκριση εναλλακτικών με βάση την διαμόρφωση της ροής.

μέτρησή της γίνεται με ειδικό βαθμονομημένο όργανο μόνιμα εγκατεστημένο, το **κενόμετρο**.

Οι κυριότερες αιτίες χαμηλού κενού ή «πτώσεως» του είναι:

α) Η είσοδος αέρα στα μηχανήματα και στις συσκευές που βρίσκονται υπό κενό.

β) Η ανεπαρκής λειτουργία των εκχυτήρων απαγωγής του αέρα.

γ) Η ανεπαρκής απομάκρυνση του συμπυκνώματος από το ψυγείο.

δ) Η υψηλή θερμοκρασία του νερού κυκλοφορίας.

ε) Η ανεπάρκεια ροής του θαλασσινού νερού κυκλοφορίας που μπορεί να οφείλεται σε μικρή ταχύτητα της αντλίας ή μερική έμφραξη των αυλών.

στ) Η υπερφόρτιση και η υπερθέρμανση του ψυγείου.

ζ) Το ακάθαρτο ψυγείο στο εσωτερικό των αυ-

λών λόγω επικαθίσεως αλάτων ή στο εξωτερικό τους στην πλευρά του ατμού.

η) Το ακάθαρτο¹ ψυγείο στο εξωτερικό των αυλών, δηλαδή στην πλευρά του ατμού, λόγω επικαθίσεων λαδιού που προέρχονται είτε από την εσωτερική λίπανση των μηχανημάτων, είτε από διαρροή των προθερμαντήρων ελαίου, όπου αυτοί χρησιμοποιούνται.

θ) Τη διάβρωση των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας του ψυγείου.

5) Λειτουργία της εγκαταστάσεως.

Η προετοιμασία λειτουργίας της εγκαταστάσεως πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε το ψυγείο να εκκινήσει σωστά. Ατελείς χειρισμοί ή βιαστικές ενέργειες μπορεί να προκαλέσουν παραμόρφωση των αυλών, ενώ απότομες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία της συσκευής μπορεί να οδηγήσουν στην απώλεια της στεγανότητας των αυλών ή σε ρήγμα στο κέλυφος.

Σε περίπτωση εισόδου μεγάλης ποσότητας αέρα στο ψυγείο θα ελαττωθεί σοβαρά το κενό, προκαλώντας πτώση της αποδόσεως στη λειτουργία της εγκαταστάσεως και θα πρέπει να ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα για την αποκατάστασή του (π.χ. ανίχνευση της αιτίας εισόδου αέρα και αποκατάσταση της βλάβης).

Αν παρουσιαστεί απώλεια του κενού με ταυτόχρονη υπερθέρμανση του ψυγείου ή άνοδος της στάθμης του συμπυκνώματος, πρέπει να διακόπεται η λειτουργία των μονάδων που εξατμίζουν σε αυτό ή να ελαττωθεί η ταχύτητά τους έως ότου αποκατασταθεί η ανωμαλία. Η ασφαλιστική βαλβίδα που υπάρχει στον συλλέκτη εισαγωγής του νερού πρέπει να είναι ρυθμισμένη στα 15 psi. Επίσης, είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται έλεγχος του νερού συμπυκνώματος με χημική ανάλυσή του, για την ανίχνευση διαρροών που μολύνουν το τροφοδοτικό νερό, προλαμβάνοντας ανωμαλίες στη λειτουργία του συστήματος.

Το ηλεκτρικό **αλατόμετρο** (salinity meter) πρέπει να διατηρείται σε καλή κατάσταση λειτουργίας,

ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις λειτουργίας του συστήματος.

Όπως η εκκίνηση, έτσι και η κράτηση της εγκαταστάσεως θα πρέπει να γίνεται με προσοχή, ώστε κατά την απομόνωση του ψυγείου να αποφεύγονται οι απότομες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία και η πτώση της να γίνεται σταδιακά και ομαλά.

6) Συντήρηση.

Η συντήρηση του ψυγείου συμπυκνώματος ως σκοπό έχει την προστασία των επιφανειών από τη διάβρωση, ενώ ο καθαρισμός του ελαχιστοποιεί την αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας εξασφαλίζοντας την αποδοτική λειτουργία του.

Για την προστασία απ' τη διάβρωση λόγω της ηλεκτρολύσεως χρησιμοποιούνται προστατευτικές πλάκες ψευδαργύρου ή μαλακού χάλυβα. Η **μηχανική διάβρωση** (erosion), που προσβάλλει τις αυλοφόρες πλάκες και τους αυλούς εσωτερικά, προλαμβάνεται ρυθμίζοντας την ταχύτητα ροής του νερού ψύξεως, ενώ εξωτερικά των αυλών η πρόληψη της διαβρώσεως επιτυγχάνεται διατηρώντας σε καλή κατάσταση το διάφραγμα στην εισαγωγή του ατμού.

Οι επιφάνειες μεταδόσεως της θερμότητας πρέπει να διατηρούνται καθαρές, απομακρύνοντας τις επικαθίσεις αλάτων εσωτερικά των αυλών με χημικό καθαρισμό ή με ειδικές βούρτσες.

Ο καθαρισμός των εξωτερικών επιφανειών των αυλών από ελαιώδεις επικαθίσεις γίνεται με τον βρασμό του ψυγείου, δηλαδή την ελεγχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας.

Τα ψυγεία συμπυκνώματος, που πρόκειται να μείνουν για κάποιο χρονικό διάστημα εκτός λειτουργίας, προκειμένου να διατηρήσουν τη στεγανότητά τους και να παραμείνουν καθαρά, πρέπει να είναι είτε εντελώς γεμάτα με νερό στην πλευρά της θάλασσας είτε τελείως κενά. Αυτό εξαρτάται από τη μέθοδο στεγανοποιήσεως στα άκρα των αυλών. Όταν οι αυλοί είναι εκτονωμένοι και στα δύο άκρα ή εκτονωμένοι στο ένα άκρο εισόδου και με στυπιοθλίπτη με μεταλλικό ή συνθετικό παρέμβυσμα στην έξοδο

¹ Σε όλους τους εναλλακτικές θερμότητας μετά από μια περίοδο λειτουργίας παρουσιάζεται το φαινόμενο της ρυπάνσεως ή της διαβρώσεως των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας. Και στις δύο περιπτώσεις παρουσιάζεται μια πρόσθετη αντίσταση στη ροή της θερμότητας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποδόσεως του εναλλακτήρα.

Η πρόσθετη αυτή αντίσταση λαμβάνεται υπόψη με τον συντελεστή ρυπάνσεως R_f , ο οποίος συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U . Ο συντελεστής R_f προσδιορίζεται πειραματικά από τις τιμές του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (U) για καθαρές και ρυπασμένες επιφάνειες του εναλλακτήρα και ορίζεται ως: $R_f = \frac{1}{U_p} - \frac{1}{U_k}$ όπου: οι δείκτες p και k αναφέρονται σε ρυπασμένο και καθαρό εναλλακτήρα αντίστοιχα.

ή με στυπαιοθλίπτη με συνθετικό παρέμβυσμα στην είσοδο και στυπαιοθλίπτη με μεταλλικό παρέμβυσμα στην έξοδο, διατηρούνται κατά την περίοδο ακινησίας τους τελείως κενοί και στεγνοί. Μία εβδομάδα περίπου πριν τεθούν ξανά σε λειτουργία πρέπει να γεμίζονται με νερό και να διατηρούνται έτσι έως την ημέρα εκκίνησης.

Η συντήρηση, αντίθετα, των ψυγείων συμπυκνώματος, στα οποία οι αυλοί στεγανοποιούνται με ινώδη παρεμβύσματα, όταν βρίσκονται εκτός λειτουργίας, πραγματοποιείται διατηρώντας τα γεμάτα με νερό, ώστε να αποτρέπεται η ξήρανση των υλικών στεγανοποίησης, που αποτελεί την αιτία διαρροής όταν θα τεθούν ξανά σε λειτουργία.

7) Βλάβες – Επισκευές.

Οι πιθανές βλάβες που παρατηρούνται στα ψυγεία συμπυκνώματος οφείλονται στη διάβρωση και στην απώλεια στεγανότητας [σχ. 3.6δ(α)]. Η πρόληψη, όπως έχει αναφερθεί, πραγματοποιείται με τοποθέτηση πλακών ψευδαργύρου, με έλεγχο της ροής των ρευστών και με ομαλές μεταβολές στις θερμοκρασίες λειτουργίας. Οι αναπόφευκτες όμως φθορές σε αυλοφόρες πλάκες και αυλούς αντιμετωπίζονται ως εξής:

α) Σε περίπτωση πορώδους αυλοφόρου πλάκας (μικρές οπές φθοράς στην επιφάνεια του μετάλλου) οι πόροι αποκαθίστανται με διάνοιξη (καλαπάτσμα) ή με κασσιτεροκόλληση ή με την επάλειψη εποξικών ρητινών αναμειγξας, π.χ. bronze steel, Belzona, κ.λπ. εφόσον έχει προηγηθεί ο απαραίτητος καθαρισμός και η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας.

β) Η αποκατάσταση ρωγμής σε αυλοφόρο πλάκα επιτυγχάνεται με διάνοιξη οπών, όπου δημιουργείται σπείρωμα και στη συνέχεια τοποθετείται βίδα. Οι βίδες που τοποθετούνται στην αρχή και στο τέλος της ρωγμής πρέπει να την υπερκαλύπτουν.

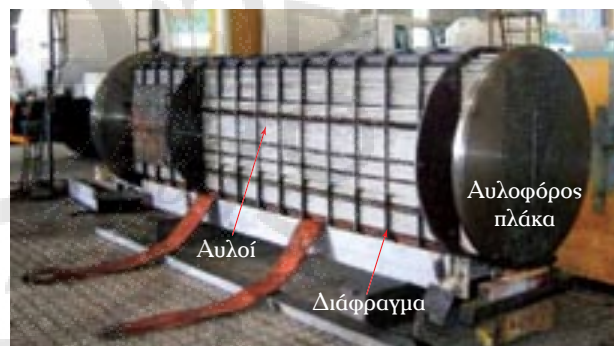
γ) Η κακή στεγανοποίηση των αυλών αντιμετωπίζεται με αντικατάσταση των στοιχείων στεγανότητας ή με την εκ νέου εκτόνωση των αυλών, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

δ) Σε περίπτωση διαρροής, λόγω διατρήσεως ενός αυλού, τοποθετούνται πώματα (τάπες) από μέταλλο ή πλαστικό με αδιάβροχη κόλλα και στα δύο άκρα του αυλού, ώστε να απομονωθεί. Όταν ο αριθμός απομονωμένων αυλών είναι μεγάλος, επηρεάζοντας την απόδοση του ψυγείου, τότε γίνεται μερική ή ολική αντικατάσταση αυτών και ακολουθείται έλεγχος της στεγανότητας με υδραυλική δοκιμή.

Η δοκιμή της στεγανότητας των ψυγείων πραγματοποιείται με τους ακόλουθους τρόπους:

α) Εκκενώνεται το ψυγείο και στον χώρο του ατμού παρέχεται αέρας με πίεση 5 psi. Στη συνέχεια, με αργό ρυθμό γεμίζει το ψυγείο με νερό απ' την πλευρά που κυκλοφορεί η θάλασσα, τοποθετώντας σταδιακά στις θυρίδες επιθεωρήσεως τα πώματα, καθώς η στάθμη του νερού ανεβαίνει κοντά στα ανοίγματα [σχ. 3.6δ(β)]. Έτσι, ελέγχοντας συνεχώς το νερό, σε περίπτωση διαρροής αυλού, θα παρουσιαστούν φυσαλίδες αέρα. Όταν πλησιάζει το νερό στο επάνω μέρος, όπου δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν αυτοί οι αυλοί με νερό και ταυτόχρονα να ελέγχονται με οπτική επαφή, χρησιμοποιείται παχύ στρώμα διαλυμένου σαπουνιού. Έτσι, καλύπτοντας τους αυλούς με τον αφρό σαπουνιού όταν υπάρχει διαρροή αυλού, θα σχηματίζονται φυσαλίδες. Άλλος τρόπος ελέγχου είναι πλησιάζοντας στον αυλό ένα αναμμένο κερί, ώστε ο εξερχόμενος αέρας από τον αυλό που έχει τη διαρροή να σβήσει τη φλόγα του.

β) Όταν η διαρροή είναι μεγάλη και οφείλεται στη θραύση κάποιου αυλού, αφαιρούνται οι θυρί-



(α)



(β)

Σχ. 3.6δ

Ψυγείο συμπυκνώματος. (α) Αυλοφόρες πλάκες με αυλούς και διαφράγματα. (β) Η στάθμη του νερού καλύπτει τους μισούς αυλούς κατά τον έλεγχο.

δες επιθεωρήσεως και τίθενται σε λειτουργία οι εκχυτήρες, ώστε στον χώρο διελεύσεως του ατμού να δημιουργηθεί κενό. Στη συνέχεια, πλησιάζοντας μία φλόγα κοντά στα άκρα των αυλών, το κενό που υπάρχει στην πλευρά του ατμού θα δημιουργήσει αναρρόφηση από τον αυλό που έχει τη διαρροή. Η ψύξη των εκχυτήρων, που απαιτείται μ' αυτήν τη μέθοδο εντοπισμού διαρροής, πρέπει να εξασφαλίζεται με τη λειτουργία της αντλίας συμπυκνώματος στην επανακυκλοφορία.

γ) Τέλος, η μέθοδος με τη χρήση **ανιχνευτή διαρροών** (leak detector), αποτελεί έναν εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό μέσα στο νερό στον χώρο ατμού του ψυγείου, διαλύεται μια ποσότητα χρωστικής ύλης, που έχει ως βάση το φθόριο. Ο χώρος γεμίζει με νερό, ενώ ταυτόχρονα διαλύεται η χρωστική ουσία σε αναλογία νερού που ορίζεται στις οδηγίες, ανακατεύοντας το νερό με την παροχή αέρα από κατάλληλο σωλήνα και ακροσωλήνιο. Μετά την πλήρωση του ψυγείου ελέγχεται η εξωτερική επιφάνεια των αυλοφόρων πλακών, ώστε σε περίπτωση διαρροής η χρωστική ουσία να εμφανίζεται με έντονη πρασινοκίτρινη λάμψη.

Κατά τη λειτουργία και σ' όλες τις εργασίες που πραγματοποιούνται θα πρέπει να λαμβάνονται οι ανάλογες προφυλάξεις, παρέχοντας την απαραίτητη ασφάλεια. Για τον λόγο αυτόν:

α) Πρέπει η ασφαλιστική βαλβίδα, που υπάρχει στον συλλέκτη εισαγωγής νερού κυκλοφορίας να είναι ρυθμισμένη σε 15 psi.

β) Πρέπει σε περίπτωση μεγάλης διαρροής να γίνεται κράτηση του συστήματος και έλεγχος.

γ) Πρέπει να πραγματοποιείται τακτικός έλεγχος κατά τη λειτουργία και οι μηχανισμοί ελέγχου να λειτουργούν επαρκώς.

δ) Απαγορεύεται η προσέγγιση φλόγας ή άλλου εξαρτήματος, που μπορεί να προκαλέσει σπινθήρα σε ψυγείο, που μόλις έχει ανοιχθεί και δεν έχει πραγματοποιηθεί καλός εξαερισμός με αέρα ή ατμό, διότι η πιθανή ύπαρξη υδρογόνου ή άλλου αερίου μπορεί να προκαλέσει έκρηξη.

ε) Πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα και να εκτελούνται οι αναγκαίες ενέργειες και επιθεωρήσεις για την αποφυγή εγκαυμάτων ή άλλου ατυ-

χήματος στο προσωπικό πριν και κατά τη διάρκεια βρασμού ή τη χρήση χημικών καθαρισμού.

8) Υπόψυξη – Αναθέρμανση.

Η ψύξη που πραγματοποιείται στον συμπυκνωτή ατμού του τροφοδοτικού νερού, όπως και η αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς επηρεάζει την απόδοση του συστήματος [σχ. 3.6ε(α)].

Όταν η θερμοκρασία του νερού ψύξεως που κυκλοφορεί είναι πολύ χαμηλή, έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση μεγάλου ποσού θερμότητας που περιέχει ο ατμός κατά την είσοδό του στο ψυγείο. Έτσι, προκαλεί τον υποβιβασμό της θερμοκρασίας του συμπυκνώματος που συγκεντρώνεται στον πυθμένα του ψυγείου κατά 5° – 10° C χαμηλότερα απ' τη θερμοκρασία κορεσμού, η οποία αντιστοιχεί στο κενό (απόλυτη πίεση), που επικρατεί μέσα στο ψυγείο σύμφωνα με τους πίνακες ατμού. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **υπόψυξη**¹.

Επίσης, ο εξαερισμός του ψυγείου σχετίζεται με την υπόψυξη, διότι η ποσότητα φυσικού αερίου, όπως το οξυγόνο, μπορεί να παραμείνει διαλυμένη στο νερό σε θερμοκρασίες κάτω απ' τη θερμοκρασία κορεσμού, η οποία εξαρτάται απ' τον βαθμό υποψύξεως.

Για τη μείωση του βαθμού υποψύξεως που προκαλείται όταν η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού είναι χαμηλή, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

α) Η ανακύκλωση μέρους του νερού ψύξεως, ώστε ο συμπυκνωτής να λειτουργεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κατασκευής του.

β) Η αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνώματος, που επιστρέφει στο δίκτυο τροφοδοτικού νερού του λέβητα με αναθέρμανση. Αυτή επιτυγχάνεται με τη δημιουργία διαδρομών κυκλοφορίας ατμού στο κάτω μέρος του ψυγείου μεταξύ των χαμηλότερων αυλών [σχ. 3.6ε(β)]. Ο ατμός στη συνέχεια διέρχόμενος προς τα πάνω συναντά το συμπύκνωμα, που δημιουργείται στην εξωτερική επιφάνεια των αυλών, υγροποιείται και μαζί μ' αυτό ρέει προς τα κάτω αυξάνοντας τη θερμοκρασία του συμπυκνώματος. Η αναθέρμανση που προκαλείται στη θερμοκρασία του συμπυκνώματος φτάνει μέχρι και 1°C χαμηλότερη απ' τη θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο κενό. Η αναθέρμανση συμβάλλει στη μείωση της καταναλώσεως καυσίμου

¹ Η μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο ρευστών παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 3.6ε(α), όπου στο ζεστό ρευστό (επιστροφές ατμού που συμπυκνώνεται) μειώνεται η θερμοκρασία, ενώ στο νερό ψύξεως αυξάνεται. Οι επιστροφές ατμού στην αρχή ψύχονται με μείωση της θερμοκρασίας τους μέχρι την κατάσταση κορεσμένου ατμού (σημεία 1-2). Στη συνέχεια υγροποιούνται με σταθερή θερμοκρασία (σημεία 2-3) και στο τέλος υποψύχονται (σημεία 3-4) στον πυθμένα του εναλλακτήρα (ψυγείο συμπυκνώματος).

λόγω της μείωσης των θερμικών απωλειών. Τα ψυγεία που κατασκευάζονται με βάση την αρχή αυτή ονομάζονται **αναθερμαντήρες** [σχ. 3.6ε(γ)].

3.6.2 Βοηθητικά ψυγεία εγκαταστάσεων ατμού.

Εκτός του κύριου ψυγείου συμπυκνώματος, άλλα ψυγεία που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις ατμού είναι:

α) Το **βοηθητικό ψυγείο συμπυκνώματος** που χρησιμοποιείται σε μεγάλες εγκαταστάσεις ατμού με σκοπό την εξυπηρέτηση της λειτουργίας των στροβιλοηλεκτρικών μηχανών και των βοηθητικών μηχανημάτων για να μην λειτουργεί το κύριο ψυγείο όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι. Η κυκλοφορία του νερού ψύξεως στο ψυγείο πραγματοποιείται από μικρότερη αντλία κυκλοφορίας με ανάλογες διαστάσεις ή εξυπηρετείται με μία απ' τις βοηθητικές αντλίες έρματος. Η απαγωγή του αέρα για τη δημιουργία κενού πραγματοποιείται από ιδιαίτερη αεραντλία.

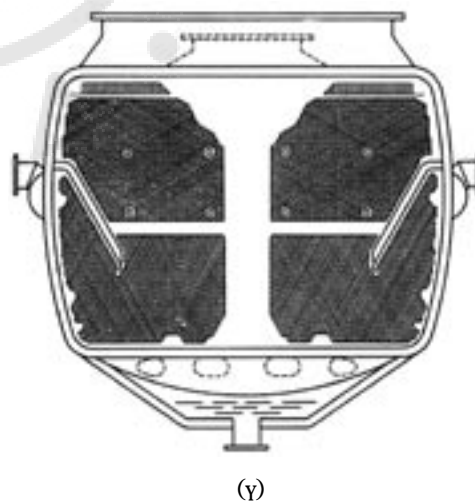
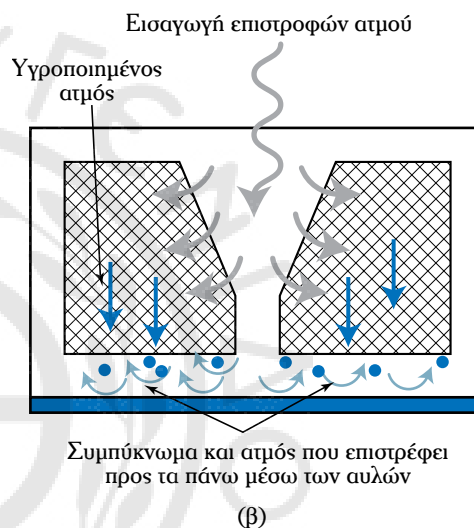
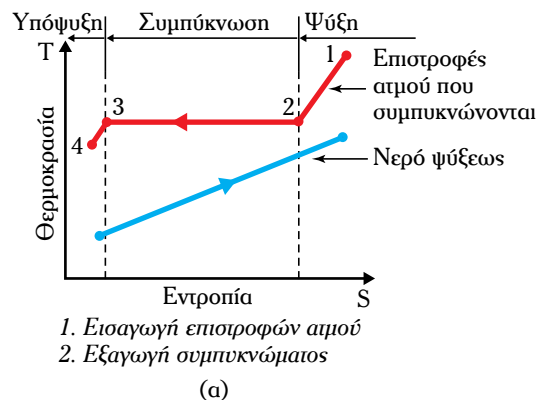
β) Το **ψυγείο των εκχυτήρων**, το οποίο ψύχει την εξαγωγή του μείγματος ατμού αέρα και μη συμπυκνωμένων εξατμίσεων, που αναρροφούνται από το κύριο ψυγείο.

γ) Το **ψυγείο υγρών**, στο οποίο ψύχονται οι εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων μετά τη χρήση τους στον προθερμαντήρα τροφοδοτικού νερού. Είναι ψυγείο με αυλούς και διαφράγματα, που υποχρεώνουν τα υγρά να παραμείνουν περισσότερο μέσα σ' αυτό, ώστε να αποβάλλεται το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητάς τους. Ως ψυκτικό μέσο το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στους αυλούς είναι το νερό από την κατάθλιψη της αντλίας συμπυκνώματος του κύριου ψυγείου επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την προθέρμανσή του. Όταν τα υγρά προέρχονται από παλινδρομικά βοηθητικά μηχανήματα με πιθανότητα να περιέχουν λάδι απ' τη λίπανσή τους, πριν εισέλθουν στο ψυγείο πραγματοποιείται διεργασία απομακρύνσεως των ελαίων, προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση του δικτύου.

δ) Τα **ψυγεία λαδιού**, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ψύξη του λαδιού λιπάνσεως και του λαδιού των μειωτήρων στροφών των στροβίλων. Πρόκειται για εναλλακτικές επιφάνειες και ανάλογα με τον κατασκευαστή μπορεί να είναι αυλωτά, με επίπεδες πλάκες ή κυψελωτά.

3.7 Ψυγεία πλοίων με μηχανές εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ).

Στις εγκαταστάσεις των πλοίων, όπου η πρόωση



Σχ. 3.6ε

(α) Διάγραμμα πραγματικής μεταβολής θερμοκρασιών στον συμπυκνωτή, (β) οχηματική παράσταση συμπυκνωτή-ψυγείου ατμού και (γ) συμπυκνωτής με αναθέρμανση.

πραγματοποιείται από ΜΕΚ χρησιμοποιούνται εναλλακτικές θερμότητες, για τη μετάδοση της θερμότητας των διαφόρων ρευστών, που διαρρέουν τα δίκτυα, εξυπηρετώντας την καλή λειτουργία της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων. Έτσι, η λειτουργία των εναλλακτικών θερμότητας σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων.

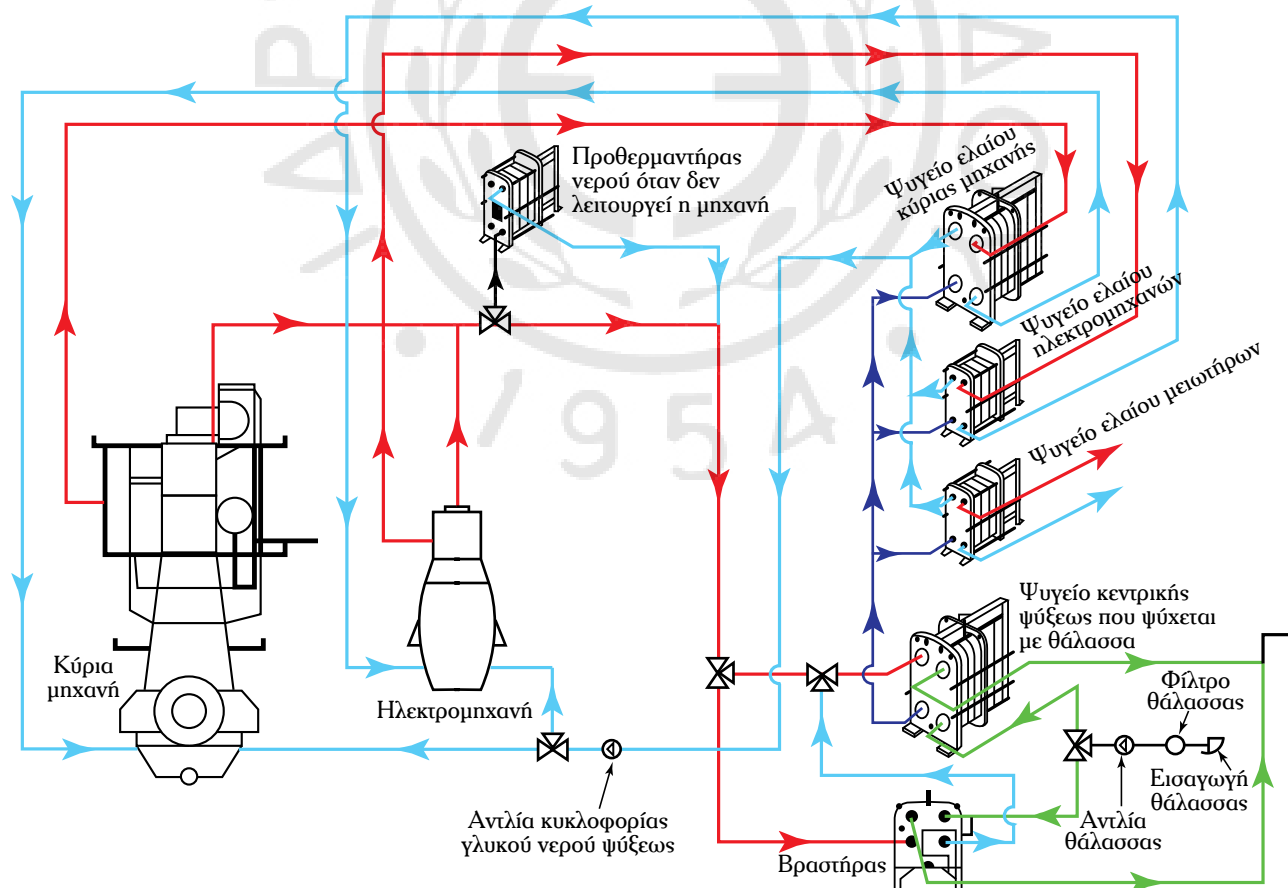
Οι εναλλακτικές θερμότητας είναι αυλωτοί, με πλάκες ή κυψελωτοί, και η επιλογή του τύπου που χρησιμοποιείται εξαρτάται απ' το είδος του ρευστού που τους διαρρέει (βλ. παράγρ. 3.4), ενώ άλλος ένας παράγοντας στην επιλογή του τύπου του εναλλακτήρα, που θα εγκατασταθεί στο δίκτυο του πλοίου, είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά που τίθενται απ' τον σχεδιασμό του. Βασικό σκοπό έχουν την ψύξη του ενός ρευστού από ένα άλλο, γι' αυτόν τον λόγο ονομάζονται **ψυγεία** ή ακριβέστερα **ψυκτές** (coolers). Η ροή μεταξύ των ρευστών μέσα στα ψυγεία είναι αντίθετη, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοσή τους κατά τη μεταφορά της θερμότητας.

Στα ψυγεία με αυλούς, η ροή του ψυκτικού μέσου

συνήθως πραγματοποιεί δύο διαδρομές αντίθετης κατευθύνσεως και επιτυγχάνεται με κατάλληλο διάφραγμα στο πώμα (καπάκι) εισαγωγής του. Το ψυκτικό μέσο που κυκλοφορεί στο ψυγείο είναι θαλασσινό ή γλυκό νερό που ψύχεται σε **κεντρικό ψυγείο** (central cooler) από θάλασσα και εξαρτάται από το σύστημα ψύξεως που χρησιμοποιείται στο πλοίο (σχ. 3.7α). Τα ψυγεία στα πλοία είναι διπλά (δηλ. δύο ψυγεία ελαίου ψύξεως της κύριας μηχανής κ.ά.), αλλά για λόγους ευκρίνειας στο σχήμα παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα ψυγείο για κάθε λειτουργία.

Σε εγκαταστάσεις με ψυγεία που κατασκευάζονται με αυλούς, το ψυχόμενο ρευστό που διαρρέει το ψυγείο πραγματοποιεί περισσότερες από μία διαδρομές με την προσθήκη διαφραγμάτων καθέτων προς τους αυλούς.

Στα δίκτυα όπου χρησιμοποιούνται ψυγεία με πλάκες ή κυψελωτά, ο τρόπος λειτουργίας τους είναι με πολλαπλές διαδρομές μέσω των πλακών που αποτελούν το ψυγείο και τη διέλευση των ρευστών μέσω αυλών και κυψελών (βλ. παράγρ. 3.4.1 έως 3.4.3).



Σχ. 3.7α

Τυπική διάταξη δικτύου κεντρικής ψύξεως.

Η παροχή και η ρύθμιση της ποσότητας των ρευστών που διαρρέουν τα ψυγεία επιτυγχάνονται από ρυθμιστικές βαλβίδες και επιστόμια, ενώ σε κάθε ψυγείο υπάρχει κρουνός εξαερώσεως για την απομάκρυνση τυχόν εγκλωβισμένου αέρα και κρουνός εξυδατώσεως για την εκκένωσή του. Οι ρυθμιστικές βαλβίδες ροής είναι αυτόματες και ελέγχονται με αέρα, ενώ παίρνουν εντολή από ηλεκτρικές θερμοκρασίας παρέχοντας ανάλογη ποσότητα αέρα στη βαλβίδα, ώστε να αυξάνεται ή να μειώνεται η διέλευση του ρευστού μέσα απ' το ψυγείο.

3.7.1 Ψυγείο κεντρικής ψύξεως.

Η εγκατάσταση ή όχι του ψυγείου κεντρικής ψύξεως (central cooler) εξαρτάται από τον σχεδιασμό του δικτύου ψύξεως του πλοίου· γι' αυτόν τον λόγο δεν συναντάται σε όλα τα πλοία.

Ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι με πλάκες (σχ. 3.7β), λόγω της μεγάλης επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας που επιτυγχάνεται, ενώ ο όγκος του ψυγείου είναι μικρός. Σκοπό έχει την ψύξη του γλυκού νερού που κυκλοφορεί μέσω ιδιαίτερης αντλίας κυκλοφορίας σ' ένα κλειστό κύκλωμα, το οποίο δημιουργείται για την ψύξη των άλλων ψυγείων του μηχανοστασίου. Έτσι, αποτρέπεται η επαφή της θάλασσας με τις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας των επιμέρους ψυγείων μειώνοντας τις επικαθίσεις αλάτων, τη διάβρωση των επιφανειών και τις απαιτήσεις καθαρισμού τους.

Η θάλασσα, που αποτελεί το ψυκτικό μέσο του κεντρικού ψυγείου, έρχεται σε επαφή μόνο σε αυτό

το τμήμα του δικτύου ψύξεως των ψυγείων του μηχανοστασίου.

3.7.2 Το ψυγείο νερού ψύξεως της κύριας μηχανής (jacket cooler).

Το ψυγείο αυτό χρησιμοποιείται για την ψύξη του αποσταγμένου νερού που κυκλοφορεί περιφερειακά των **χιτωνίων** (jackets) στο σώμα της μηχανής και για την ψύξη των **καπακιών** (covers). Η κυκλοφορία του επιτυγχάνεται με την αντλία χιτωνίων σε κλειστό κύκλωμα και τα ψυγεία που χρησιμοποιούνται είναι αυλωτά ή με πλάκες.

Στα αυλωτά [σχ. 3.7γ(α)] το ψυκτικό μέσο μπορεί να είναι θαλασσινό ή γλυκό νερό αν χρησιμοποιείται ψύξη σε κεντρικό ψυγείο. Το ψυκτικό μέσο διαρρέει τους αυλούς του ψυγείου, ενώ εξωτερικά απ' αυτούς κυκλοφορεί το νερό ψύξεως της μηχανής σε πολλαπλές διαδρομές λόγω των διαφραγμάτων.

Στο σχήμα 3.7γ(β) εικονίζεται το ψυγείο με πλάκες, όπου το νερό ψύξεως εισέρχεται στο κάτω μέρος του ψυγείου και εξέρχεται από το επάνω, διαρρέοντας εναλλάξ τις διαδρομές που σχηματίζονται απ' τις πλάκες, ενώ το ψυχόμενο ρευστό εισέρχεται στην επάνω πλευρά και εξέρχεται από την κάτω.

3.7.3 Το ψυγείο λαδιού.

Το ψυγείο λαδιού (oil cooler) χρησιμεύει στην ψύξη του ελαίου λιπάνσεως της μηχανής και είναι τύπου αυλών ή με επίπεδες πλάκες. Η ψύξη του ελαίου επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία θαλασσινού νερού απ' την αντλία κυκλοφορίας θάλασσας ή



(α)



(β)

Σχ. 3.7β

(α) Ψυγείο κεντρικής ψύξεως με πλάκες (β) συνδεδεμένο στο δίκτυο.

με γλυκό νερό όταν στο δίκτυο ψύξεως χρησιμοποιούνται ψυγεία κεντρικής ψύξεως. Η λειτουργία τους είναι ανάλογη μ' αυτήν των ψυγείων νερού ψύξεως της κύριας μηχανής.

3.7.4 Τα ψυγεία νερού ψύξεως των καυστήρων της μηχανής (fuel valves cooler).

Πρόκειται για μικρά ψυγεία, συνήθως με αυλούς, που χρησιμοποιούνται όταν εσωτερικά στο σώμα των καυστήρων κυκλοφορεί γλυκό νερό για την ψύξη τους. Η εγκατάστασή τους εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής και γι' αυτόν τον λόγο δεν συναντώνται σε όλα τα πλοία.

3.7.5 Τα ψυγεία του αέρα καύσεως της κύριας μηχανής (air coolers).

Τα ψυγεία αυτά χρησιμοποιούνται στις μηχανές με υπερπλήρωση, ώστε ψύχοντας τον αέρα εισαγω-

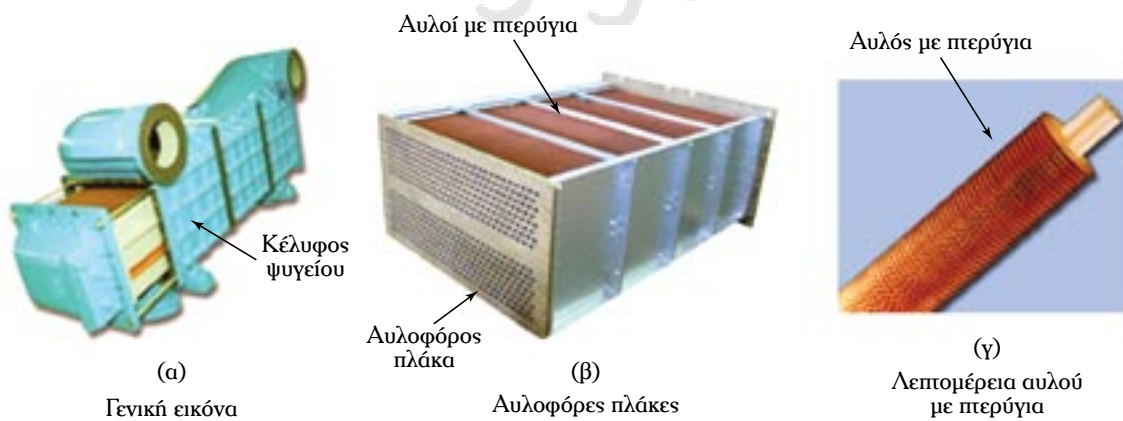
γής να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση. Τοποθετούνται μεταξύ στροβίλοσυμπιεστή και οχετού σαρώσεως πάνω στο σώμα της μηχανής, με σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα που εισέρχεται στους θαλάμους καύσεως, διότι η θερμοκρασία του αυξάνεται απ' τη συμπίεση στον αεριοστρόβιλο.

Ο αέρας ψύχει κατά τη φάση της σαρώσεως τους κυλίνδρους και τις θυρίδες ή τις βαλβίδες, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Παράλληλα, επιτυγχάνεται μείωση του ειδικού όγκου του αέρα, λόγω συστολής του με την ψύξη και έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερου βάρους αέρα να εισέρχεται στους κυλίνδρους αυξάνοντας τον βαθμό αποδόσεως. Τα ψύγεια αυτά κατασκευάζονται με αυλούς, μέσα στους οποίους διέρχεται το ψυκτικό μέσο (θαλασσινό ή γλυκό νερό), ενώ εξωτερικά στην πλευρά που διέρχεται ο αέρας, πάνω στους αυλούς τοποθετούνται λεπτά περύγια αυξάνοντας την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας (σχ. 3.7δ).



Σχ. 3.7γ

Ψυγεία χιτωνίων: (α) με αυλούς, (β) με πλάκες.



Σχ. 3.7δ

Ψυγείο αέρα καύσεως κύριας μηχανής (air cooler).

3.7.6 Τα ψυγεία γεννητριών (d/g air coolers).

Τα ψυγεία αυτά χρησιμοποιούνται για τη μείωση της θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής σε μεγάλες ηλεκτρογεννήτριες, με παρόμοιο σκοπό και λειτουργία με αυτήν των ψυγείων αέρα σαρώσεως. Είναι αυλωτού τύπου ή κυψελωτά. Τα ψυγεία με αυλούς έχουν περύγια στην εξωτερική πλευρά των αυλών, αυξάνοντας την επιφάνεια μεταδόσεως θερμότητας, ενώ σε κάποια απ' αυτά ο αυλός είναι διπλός, αποτελούμενος από έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό, που τον περιβάλλει.

3.7.7 Ψυγεία βοηθητικών εγκαταστάσεων πλοίων.

Άλλα ψυγεία που συναντάμε στα πλοία είναι τα ψυγεία των βραστήρων, των αεροσυμπιεστών, των εγκαταστάσεων κλιματισμού, τα ψυγεία νερού κ.λπ., τα οποία είναι αυλωτού ή τύπου πλακών.

Στα Δ/Ξ με πρόωση MEK, όταν στην εκφόρτωση χρησιμοποιούνται αντλίες με ατμοστρόβιλο, χρησιμοποιούνται ψυγεία συμπυκνώσεως ατμού και ψυγεία εκχυτήρων για τις εξαγωγές των ατμοστρόβιλων και τις επιστροφές ατμού όταν υπάρχουν βαρούλκα και εργάτες ατμού στο κατάστρωμα. Η λειτουργία τους είναι ίδια με τους συμπυκνωτές που χρησιμοποιούνται στα πλοία με ατμοστρόβιλο.

3.7.8 Συντήρηση και επισκευή.

Η εξασφάλιση της καλής λειτουργίας ενός ψυγείου εξαρτάται απ' τη συντήρηση των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας. Όταν αυτές οι επιφάνειες είναι καθαρές και οι διαδρομές που ακολουθούν τα ρευστά δεν εμποδίζονται από ξένα σώματα, τότε τα ψυγεία λειτουργούν παρέχοντας τη μέγιστη απόδοση σχεδιασμού τους. Η διάβρωση από το θαλασσινό νερό, όπως και οι καθαλατώσεις στις επιφάνειες μεταδόσεως είναι οι συνηθέστεροι λόγοι μείωσης της αποδόσεως του ψυγείου. Η μέθοδος καθαρισμού των επιφανειών, που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, εξαρτάται από το είδος των επικαθίσεων και τον τύπο του ψυγείου. Μαλακές επικαθίσεις απομακρύνονται με τη χρήση βούρτσας, ενώ για καθαλατώσεις μεγάλης εκτάσεως πραγματοποιείται χημικός καθαρισμός.

Για τον καθαρισμό τους τα ψυγεία με αυλούς απομονώνονται απ' το δίκτυο και στη συνέχεια αφαιρούνται τα καπάκια στις πλευρές του ψυγείου απ' όπου διέρχεται η θάλασσα, ώστε να είναι εφικτή η

πρόσβαση στους αυλούς με βούρτσες καθαρισμού. Μετά τον καθαρισμό, τα ψυγεία πλένονται με γλυκό νερό, συναρμολογούνται και τίθενται σε λειτουργία ανοίγοντας τα επιστόμια που τα συνδέουν με το δίκτυο ψύξεως.

Εκτός του καθαρισμού, για τη συντήρηση των ψυγείων πρέπει να ελέγχεται και η στεγανότητά τους. Στα ψυγεία με αυλούς ελέγχεται η αυλοφόρος πλάκα στα σημεία απ' όπου διέρχονται οι αυλοί και αν διαπιστωθεί κάποια διαρροή, ο αυλός είτε εκτονώνεται εκ νέου, είτε σφραγίζεται (ταπώνεται) με παρεμβύσματα από ορείχαλκο. Αν ο αριθμός των σφραγισμένων αυλών υπερβεί το όριο επηρεάζοντας την απόδοση του ψυγείου, πραγματοποιείται αντικατάσταση των αυλών. Υπερβολικές επικαθίσεις αλάτων στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας αντιμετωπίζονται με χημικό καθαρισμό [χρήση σουλφαμικού οξέος (safacid) ή με κάποιο άλλο διαλυτικό των αλάτων], ώστε με την απομόνωση του ψυγείου από το δίκτυο κατά τη διεργασία καθαρισμού δημιουργείται επανακυκλοφορία του διαλύματος καθαρισμού, απομακρύνοντας τα άλατα.

Τα ψυγεία με πλάκες αποσυναρμολογούνται, προκειμένου να απομακρυνθούν από τις επιφάνειες μεταδόσεως θερμότητας οι επικαθίσεις αλάτων και οι ακαθαρσίες. Οι φθαρμένες πλάκες αντικαθίστανται, όπως και τα παρεμβύσματα στεγανοποιήσεως. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη συναρμολόγηση των ψυγείων αυτών, διότι υπερβολική δύναμη στο σφίξιμο μεταξύ των πλακών δημιουργεί στρεβλώσεις και διαρροές των υγρών στα σημεία στεγανοποιήσεως όταν το ψυγείο συνδεθεί ξανά στο δίκτυο.

Σε τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει να ελέγχονται και οι πλάκες ψευδαργύρου που χρησιμοποιούνται για την προστασία από την ηλεκτρόλυση των επιφανειών. Αν αυτές έχουν φθαρεί, πρέπει να αντικαθίστανται με νέες.

3.8 Προθερμαντήρες.

Οι *προθερμαντήρες* (preheaters) είναι εναλλακτές θερμότητας, στους οποίους επιτυγχάνεται η αύξηση στη θερμοκρασία ενός ρευστού με τη μεταφορά της θερμότητας από άλλο ρευστό που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία.

Στις εγκαταστάσεις των πλοίων οι προθερμαντήρες χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση νερού, πετρελαίου, λαδιού και αέρα. Ανάλογα με το ρευστό που προθερμαίνουν και τον σκοπό για τον οποίο

χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε **προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού, προθερμαντήρες πετρελαίου, προθερμαντήρες ελαίου και προθερμαντήρες αέρα**.

Η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται, όπως στους εναλλακτές θερμότητας, από το θερμό ρευστό σ' αυτό με τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Η διαφορά με τη χρήση των προθερμαντήρων σε σχέση με τα ψυγεία είναι ότι το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας ενός ψυχρού ρευστού με την απαγωγή της θερμότητας απ' το ρευστό με υψηλότερη θερμοκρασία. Με αυτόν τον τρόπο αξιοποιείται η θερμότητα του ατμού, για παράδειγμα για να αυξήσει τη θερμοκρασία του αργού πετρελαίου.

3.8.1 Προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού.

Οι **προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού** (feed water heaters) χρησιμοποιούνται για την αύξηση της θερμοκρασίας του τροφοδοτικού νερού στον λέβητα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μείωση στη διαφορά θερμοκρασίας του νερού που εισέρχεται στον λέβητα, το οποίο όταν συγκεντρώνεται στον συμπυκνωτή έχει θερμοκρασία που κυμαίνεται στους 40°C, σε σχέση με το νερό που ατμοποιείται στον λέβητα, που έχει θερμοκρασία 250°C. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται η κόπωση των υλικών και οι ισχυρές παραμορφώσεις, απομακρύνοντας τον κίνδυνο πιθανής θραύσεως των αυλών ή του κελύφους του ατμοϋδροθάλαμου, προλαμβάνοντας βλάβες και διαρροές. Τελικά με τους προθερμαντήρες αυξάνεται ο βαθμός αποδόσεως της εγκαταστάσεως.

Οι προθερμαντήρες συμβάλλουν στη μείωση της καταναλώσεως του καυσίμου, διότι χρησιμοποιείται επωφελώς η θερμότητα στα διάφορα στάδια συμπυκνώσεως, που διαφορετικά θα χανόταν με την απαγωγή μέσω του νερού κυκλοφορίας του ψυγείου στο περιβάλλον. Επίσης, το τροφοδοτικό νερό απορροφά λιγότερη θερμότητα από αυτή που παράγεται, με την καύση του καυσίμου στον λέβητα, για την εκ νέου θέρμανσή του.

Με την προθέρμανση ελαττώνεται και η περιεκτικότητα του διαλυμένου αέρα στο νερό και ως εκ τούτου περιορίζονται οι διαβρώσεις του λέβητα που οφείλονται στο ελεύθερο οξυγόνο.

Οι προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού στις εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων είναι τοποθετημένοι σε σειρά. Ως θερμαντικό μέσο χρησιμοποιείται ατμός, με απομάστευση, από ορισμένες διαβαθμί-

σεις του ατμοστροβίλου. Ανάλογα με το στάδιο κατά το οποίο πραγματοποιείται η απομάστευση, οι προθερμαντήρες ονομάζονται **υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσεως**.

Η τροφοδοσία των προθερμαντήρων πραγματοποιείται απ' την τροφοδοτική αντλία του λέβητα, με το τροφοδοτικό νερό να διαρρέει τους αυλούς, ενώ εξωτερικά των αυλών τους κυκλοφορεί ο ατμός που προέρχεται από απομάστευση. Οι αυλοί είναι τραπεζοειδείς (βλ. σελ. 96 υποσημείωση 2) χωρίς ραφή, κατασκευασμένοι από κράμα **χαλκού-νικελίου** (cupronickel). Το κέλυφος κατασκευάζεται από μαλακό χάλυβα με κατάλληλα διαμορφωμένες συνδέσεις για τους σωλήνες του δικτύου, ενώ τα καπάκια κατασκευάζονται από μαλακό σφυρήλατο χάλυβα και διαθέτουν συνδέσεις για τους σωλήνες, καθώς και θυρίδες επιθεωρήσεως.

Στην προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού σε μεγάλες εγκαταστάσεις λεβήτων των ατμοστροβίλων γίνεται απαγωγή της θερμότητας των καυσαερίων του λέβητα, διαφορετικά αυτή η θερμότητα θα χανόταν στο περιβάλλον. Η εκμετάλλευσή της πραγματοποιείται μέσα σε ιδιαίτερη συσκευή, η οποία είναι ενσωματωμένη στον λέβητα και ονομάζεται **οικονομητήρας** (economizer).

3.8.2 Λέβητες καυσαερίων.

Στα πλοία με MEK χρησιμοποιείται ένας άλλος εναλλακτήρας θερμότητας, ο οποίος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα των καυσαερίων της κύριας μηχανής. Πρόκειται για μια μορφή οικονομητήρα, που δεν χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του λέβητα, αλλά το νερό του λέβητα με την απαγωγή της θερμότητας από τα καυσαέρια της κύριας μηχανής, ατμοποιείται τους αυλούς και γι' αυτό ονομάζεται **λέβητας καυσαερίων** (gas boiler).

Το τροφοδοτικό νερό του λέβητα καυσαερίων προέρχεται από τον **ατμοϋδροθάλαμο** μέσω **αντλίας κυκλοφορίας** (gas boiler circulation pump) και επιστρέφει ξανά στον ατμοϋδροθάλαμο του λέβητα ως ατμός. Το εξωτερικό των αυλών του λέβητα καυσαερίων, όπου διέρχονται τα καυσαέρια, έχει λεπτά πτερύγια ή μικρά κυλινδρικά ελάσματα επιτυγχάνοντας την αύξηση της επιφάνειας μεταδόσεως της θερμότητας.

Στον οικονομητήρα, καθώς και στον λέβητα καυσαερίων, πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να πραγματοποιείται εκκαπνισμός, κατά τον οποίο μέσω κατάλληλης διατάξεως παρέχεται στον χώρο διελεύ-

σεως των καυσαερίων ατμός ή αέρας, ώστε να απομακρυνθούν οι επικαθίσεις αιθάλης στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τα καυσαέρια. Η αιθάλη που επικάθεται στις επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας, δημιουργεί αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας, μειώνοντας την απόδοση του λέβητα καυσαερίων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες της θερμικής ενέργειας.

3.8.3 Προθερμαντήρες βαρέος πετρελαίου (*heavy fuel oil heaters*).

Η προθέρμανση του πετρελαίου πραγματοποιείται, με σκοπό:

α) Να ελαττωθεί το ιξώδες του και να γίνει πιο λεπτόρρευστο στις δεξαμενές αποθηκεύσεως για ευκολότερη άντληση.

β) Τον ταχύτερο διαχωρισμό στις δεξαμενές καθίζεσης με βαρύτητα και την άντληση απ' τις δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως.

γ) Την επεξεργασία του στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές με διαχωρισμό και διαύγαση.

δ) Την άντλησή του μέσω των φίλτρων και τον ικανοποιητικό ψεκασμό του απ' τους καυστήρες της μηχανής ή τον καυστήρα του λέβητα.

Η προθέρμανση στις δεξαμενές πραγματοποιείται με τη χρήση οφιοειδών σωλήνων, απ' όπου διέρχεται ατμός, μεταφέροντας τη θερμότητα στο πετρέλαιο που τους περιβάλλει. Οι προθερμαντήρες πετρελαίου είναι εναλλακτικές επιφάνειες οριζόντιας ή κατακόρυφης τοποθέτησεως και ο ατμός είναι το μέσο θερμάνσεως. Οι συνηθισμένοι τύποι προθερμαντήρων πετρελαίου είναι οι:

α) **Προθερμαντήρες με αυλούς απλής διαδρομής** (σχ. 3.8α), που είναι όμοιοι με τους εναλλακτικές θερμότητας απλής ροής και στους οποίους ο ατμός διέρχεται εξωτερικά των αυλών, ενώ το πετρέλαιο εσωτερικά.

β) **Προθερμαντήρες με οφιοειδείς σωλήνες** (σχ. 3.8β), που αποτελούνται από σωλήνες μέσα απ' τους οποίους διέρχεται ατμός και εξωτερικά κυκλοφορεί το πετρέλαιο. Οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι σε έναν κύλινδρο που κλείνει με δύο καπάκια και περιελίσσονται σε μία ή περισσότερες σπείρες. Έτσι, οι σωλήνες είναι ελεύθεροι να διαστέλλονται με τις

μεταβολές της θερμοκρασίας και λόγω κατασκευής ο καθαρισμός τους γίνεται με ευκολία, εφόσον οι αυλοί απομακρύνονται μαζί με το πώμα του προθερμαντήρα. Ένα πλεονέκτημα των προθερμαντήρων που δεν διαθέτουν αυλούς, αλλά ενιαίο σπειροειδή σωλήνα, είναι ότι μειώνονται οι πιθανότητες μόλυνσεως του ατμού ή διαρροής του πετρελαίου από τυχόν διαφυγές στα σημεία εκτονώσεως επάνω στην αυλοφόρο πλάκα και ότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

γ) Οι **προθερμαντήρες με περύγια** (σχ. 3.8γ) ή με **μικρά κυλινδρικά ελάσματα**. Στους προθερμαντήρες αυτούς, τα περύγια είναι συγκολλητά στο κυλινδρικό σώμα του προθερμαντήρα που διαρρέεται με ατμό και το σώμα τοποθετείται μέσα σε κυλινδρικό κέλυφος. Σκοπός των περυγιών ή των ελασμάτων είναι η αύξηση της επιφάνειας μεταδόσεως της θερμότητας με μείωση των διαστάσεων του προθερμαντήρα. Για τον καθαρισμό τους, αφαιρείται όλο το κυλινδρικό σώμα απ' το κέλυφος από τη μία πλευρά. Στην πλευρά αυτή προσαρμόζονται και οι σωλήνες παροχής του ατμού. Ο καθαρισμός στο σώμα του προθερμαντήρα πετρελαίου πραγματοποιείται είτε με τη χρήση καταλλήλων χημικών για τη διάλυση του πετρελαίου από τα μικρά διάκενα των ελασμάτων που αυξάνουν την επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας, είτε με τη χρήση καθαρού πετρελαίου.

3.8.4 Προθερμαντήρες ελαίου (*lube oil heaters*).

Οι συσκευές αυτές προορίζονται για την προθέρμανση του ελαίου που χρησιμοποιείται στη λίπανση των μειωτήρων και στην προθέρμανση του ελαίου λιπάνσεως πριν τη διεργασία **διαυγάσεως**¹. Σε όλους τους τύπους των πλοίων, οι προθερμαντήρες ελαίου είναι επιφανειακής μεταδόσεως θερμότητας και λειτουργούν με ατμό· κατασκευαστικά είναι όμοιοι με τους προθερμαντήρες πετρελαίου. Οι προθερμαντήρες ελαίου μπορεί να είναι:

α) **Αυλωτοί**, με κυλινδρικό σώμα και ελάσματα όπως αυτοί που περιγράφονται στους προθερμαντήρες πετρελαίου.

β) Με **επίπεδες πλάκες**.

γ) **Ηλεκτρικής θερμάνσεως**, όπου η προθέρμανση του λαδιού επιτυγχάνεται με στοιχεία ηλεκτρι-

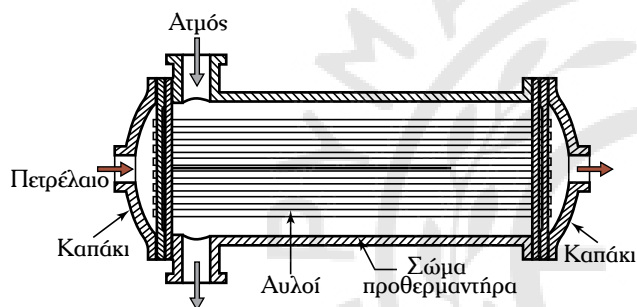
¹ Διαύγαση (clarification) είναι η μηχανική επεξεργασία που πραγματοποιείται με σκοπό την απομάκρυνση από το υγρό αιωρημάτων ή στερεών ύλων που δημιουργούν κινδύνους από τη χρήση του, π.χ. αιωρήματα στο έλαιο της λιπάνσεως της μηχανής που θα προκαλούσαν την πλημμυρή λίπανση των εξαρτημάτων.

κής αντιστάσεως. Τα στοιχεία εισέρχονται μέσα στους χαλύβδινους αυλούς του προθερμαντήρα, μεταδίδοντας τη θερμοκρασία στο λάδι που κυκλοφορεί.

3.8.5 Οι προθερμαντήρες νερού Butterworth.

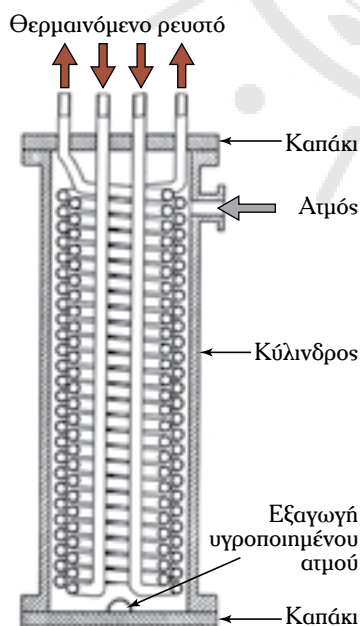
Οι προθερμαντήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση του νερού καθαρισμού των δεξαμενών πετρελαίου με το σύστημα Butterworth (βλ. κεφ. 9 σελ. 242). Πρόκειται για επιφανειακούς εναλλακτήρες με αυλούς (σχ. 3.8δ), που διαρρέονται από ατμό, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του νερού για την πλύση των δεξαμενών, προθερμαίνοντάς το στην επιθυμητή τιμή.

Οι προθερμαντήρες Butterworth έχουν την δυνατότητα προθερμάνσεως $120-200 \text{ m}^3/\text{h}$ θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία $85-90^\circ\text{C}$, ενώ η πίεση του ατμού που χρησιμοποιείται είναι $10-14 \text{ bar}$.



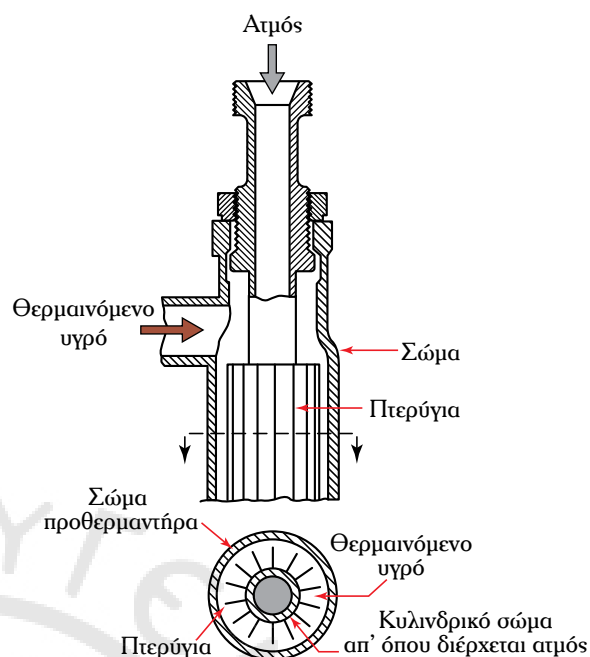
Σχ. 3.8α

Προθερμαντήρας με αυλούς απλής διαδρομής.



Σχ. 3.8β

Προθερμαντήρας με οφιοειδή σωλήνια.



Σχ. 3.8γ

Προθερμαντήρας βαρέος πετρελαίου με πτερύγια.



(α)



(β)

Σχ. 3.8δ

(α) Προθερμαντήρας νερού Butterworth (β) σε τομή.

Στο σχήμα 3.8ε παρουσιάζεται ένας προθερμαντήρας Butterworth δύο σταδίων, ο οποίος αποτελείται από:

- α) Τον προθερμαντήρα.
- β) Το ψυγείο συμπυκνώματος του ατμού και
- γ) ένα ασφαλιστικό επιστόμιο με ελατήριο για την εκτόνωση του ατμού, όταν υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο ασφαλείας (π.χ. 15 bar).

Με τη λειτουργία του συστήματος το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο πρώτο στάδιο όπου προθερμαίνεται, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η ψύξη και η περαιτέρω συμπύκνωση του ατμού.

Στη συνέχεια το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο δεύτερο στάδιο, όπου επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία από τον ατμό. Η εισαγωγή του ατμού και η θερμοκρασία επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του επιστομίου εισαγωγής του ατμού από ελεγκτικό μηχανισμό.

Το ζεστό θαλασσινό νερό στη συνέχεια μέσω του δικτύου πλύσεως των δεξαμενών οδηγείται στον μηχανισμό εκτοξεύσεώς του μέσα στη δεξαμενή (σχ. 3.8στ).

Το θαλασσινό νερό, με τα υπολείμματα από τον καθαρισμό των δεξαμενών που συγκεντρώνονται στον πυθμένα, απομακρύνεται με τις αντλίες φορτίου προς τη δεξαμενή ακαθάρτων ή προς τη θάλασσα μέσω τη συσκευής ελέγχου περιεκτικότητας ελαίου (oil discharge monitor).

Για την ασφάλεια και την προστασία από τυχόν ανάμειξη του φορτίου με θαλασσινό νερό ή την ατυχηματική απόρριψη φορτίου προς τη θάλασσα χρησιμοποιείται ένα κομμάτι σωλήνα (προσθήκη

σωλήνα), το οποίο συνδέεται στο δίκτυο όταν πραγματοποιείται πλύση των δεξαμενών φορτίου και απομακρύνεται όταν η πλύση έχει ολοκληρωθεί.

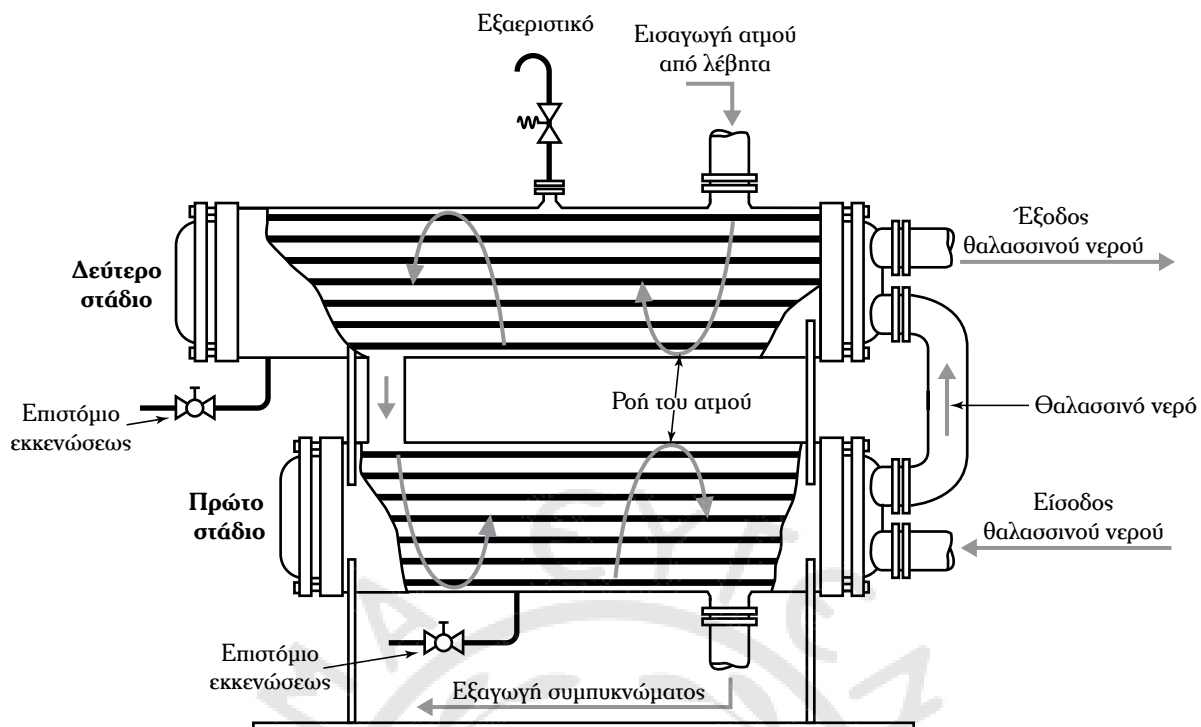
3.8.6 Συντήρηση – επισκευές προθερμαντήρων.

Οι προθερμαντήρες, όπως όλοι οι εναλλακτήρες, πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να επιθεωρούνται και να καθαρίζονται απ' τις επικαθίσεις ακαθαρσιών, εξαιτίας των οποίων εμποδίζεται η μετάδοση της θερμότητας αποτελώντας τον κυριότερο παράγοντα στη μείωση της αποδόσεώς τους.

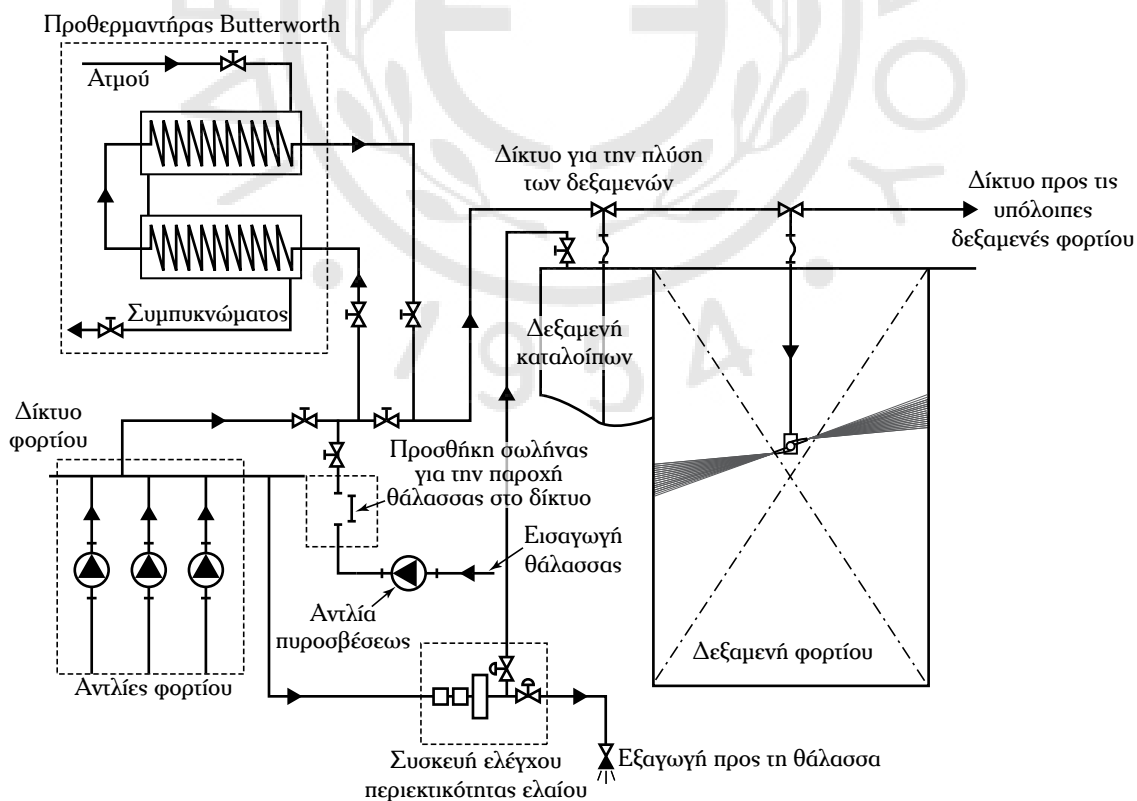
Η διαδικασία καθαρισμού που ακολουθείται είναι η ακόλουθη:

- α) Η απομόνωση των προθερμαντήρων από το δίκτυο.
- β) Η απομάκρυνση των υγρών μέσω των εξυδατωτικών κρουών¹.
- γ) Η αποσυναρμολόγησή τους.
- δ) Ο οπτικός έλεγχος των επιφανειών για διάβρωση.
- ε) Ο καθαρισμός των επιφανειών, που πρέπει να γίνεται με τα κατάλληλα μέσα αποφεύγοντας τη χρήση αιχμηρών αντικειμένων, τα οποία προκαλούν καταστροφή των επιφανειών.
- στ) Ο χημικός καθαρισμός, όπου και όταν απαιτείται.
- ζ) Η αντικατάσταση των φθαρμένων τμημάτων ή το τάπωμα των αυλών στους προθερμαντήρες με αυλούς.
- η) Η συναρμολόγησή τους.
- θ) Ο έλεγχος της στεγανότητας και
- ι) η σύνδεση των προθερμαντήρων στο δίκτυο.

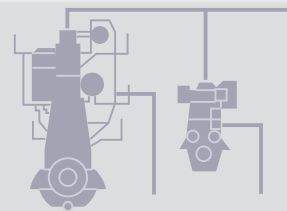
¹ Εξυδατωτικός κρουός ονομάζεται μία βαλβίδα στο χαμηλότερο σημείο μιας δεξαμενής, μέσω της οποίας μπορεί να γίνει η εκκένωση μιας δεξαμενής ή να απομακρυνθεί κάποια ποσότητα υγρού. Ανάλογα με τους προθερμαντήρες, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των υγρών που συμπυκνώνονται στο χαμηλότερο σημείο του προθερμαντήρα.



Σχ. 3.8ε
Προθερμαντήρας Butterworth δύο σταδίων.



Σχ. 3.8στ
Τυπική διάταξη δικτύου πλήσεως με προθερμαντήρα Butterworth.



4.1 Δίκτυα.

Οι σωλίνες των δικτύων (pipe lines) που διέρχονται απ' τους χώρους του πλοίου δημιουργούν ομάδες σωλίνων που αναπτύσσονται σε παράλληλη ή κάθετη διάταξη, γι' αυτό είναι απαραίτητη η εξωτερική τους σήμανση, παρέχοντας την πληροφορία του είδους του ρευστού που τους διαρρέει. Μια πρακτική που ακολουθείται διεθνώς είναι ο εξωτερικός **χρωματισμός των σωλίνων** (color code)¹ με δακτυλίσους, ώστε κάθε χρώμα να αντιστοιχεί σε ανάλογο ρευστό. Τα χρώματα που χρησιμοποιούνται είναι **πράσινο** για τη θάλασσα, **μπλε** για το γλυκό νερό, **λευκό** ή **γκρι** για τον αέρα, **ασημί** για τον ατμό, **μαύρο** για λύματα, ακαθαρσίες και έρμα, **κίτρινο** για το λάδι, **κόκκινο** για το δίκτυο πυροσβέσεως, **καφέ** για το βαρύ πετρέλαιο και **χάλκινο** για το πετρέλαιο ντήζελ.

Μ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται ευκολότερη η διάκριση του ρευστού που διαρρέει τον σωλίνη, χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγησή του.

Επίσης, τα δίκτυα ενός πλοίου και η ανάπτυξή τους παριστάνονται αναλυτικά σε σχέδια που παρέχονται από τους κατασκευαστές. Σ' αυτά αναφέρονται λεπτομερώς:

- α) Η ανάπτυξη του δικτύου των σωλίνων και των παρακάμψεων.
- β) Το μέγεθος των σωλίνων (pipe size).
- γ) Ο αριθμός και ο τύπος των επιστομίων ή βαλβίδων.
- δ) Η θέση των μηχανημάτων στη διάταξη του δικτύου.
- ε) Η θέση και ο αριθμός των αντλιών.
- στ) Ο εναλλακτικός τρόπος συνδέσεως και εξυπηρέτησεως ενός δικτύου από άλλα δίκτυα.

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναφέρονται τα βασικά δίκτυα που συναντώνται γενικά στα πλοία και σχετίζονται με τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανημάτων, ενώ κάποια απ' αυτά αναλύονται περαιτέρω, με την ανάπτυξη των βοηθητικών μηχανημάτων σε αντίστοιχα κεφάλαια.

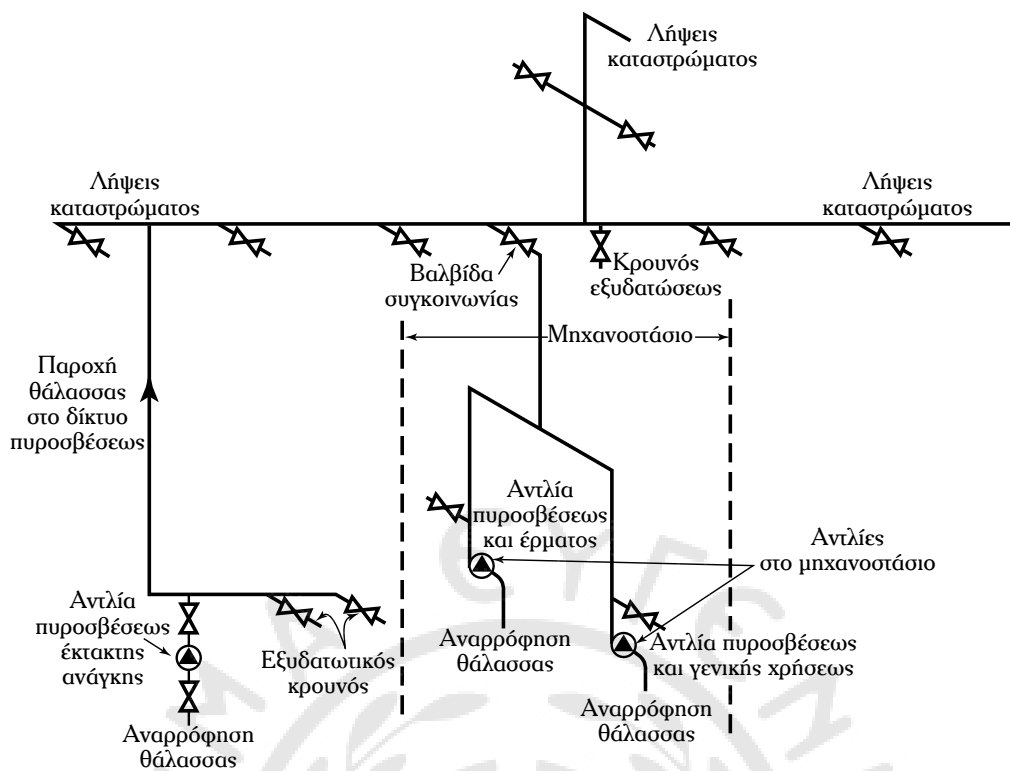
4.1.1 Δίκτυα πυροσβέσεως (πυρκαγιάς).

Τα μόνιμα **δίκτυα πυροσβέσεως** (πυρκαγιάς) (fire lines) αναπτύσσονται με σκοπό την άμεση ανταπόκριση της καταστολής μιας πυρκαγιάς. Ορισμένα από αυτά είναι ειδικά σχεδιασμένα για συγκεκριμένους τύπους πλοίων, ενώ όλα χαρακτηρίζονται κυρίως από το μέσο κατασβέσεως που χρησιμοποιείται. Οι εγκαταστάσεις των μόνιμων δικτύων πυροσβέσεως που συνήθως συναντώνται στα πλοία είναι το δίκτυο πυροσβέσεως με θάλασσα, το μόνιμο σύστημα πυροσβέσεως με διοξείδιο του άνθρακα, το μόνιμο σύστημα πυροσβέσεως με αφρό και το μόνιμο σύστημα καταιονισμού. Αναλυτικότερα:

1) Το νερό αποτελεί το κύριο μέσο πυροσβέσεως στο πλοίο και το **δίκτυο πυροσβέσεως με θάλασσα** ή **δίκτυο πυρκαγιάς** (fire main line) αποτελεί τη βασική εγκατάσταση για την καταπολέμηση της πυρκαγιάς. Το δίκτυο εκτείνεται σε όλο το μήκος του πλοίου, απ' τους χώρους του μηχανοστασίου ως το υψηλότερο σημείο του, ενώ σε καίρια σημεία είναι εγκατεστημένοι σταθμοί με κρουνοί που ονομάζονται και **λήψεις νερού** (σχ. 4.1α). Στις λήψεις συνδέονται εύκαμπτοι σωλίνες με ακροφύσια διπλής λειτουργίας, από τα οποία εκτοξεύεται νερό, είτε σε συμπαγή ροή, είτε με τη μορφή σταγονιδίων-ομίχλης. Στο κατάστρωμα επίσης τα ακροφύσια συνδέονται σε σταθερή βάση (κοινώς κανονάκια), που περιστρέφονται εκτοξεύοντας το νερό με πίεση προς διάφορες κατευθύνσεις. Η πίεση του νερού κυμαίνεται από $5 - 10 \text{ kg/cm}^2$ ($1 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ kP/cm}^2$) και με τον συνδυασμό των σταθερών ακροφυσίων με αυτά που συνδέονται στους εύκαμπτους σωλίνες (μάνικες) επιτρέπεται η παροχή του νερού για την κατάσβεση πυρκαγιάς σε όλα τα σημεία του πλοίου.

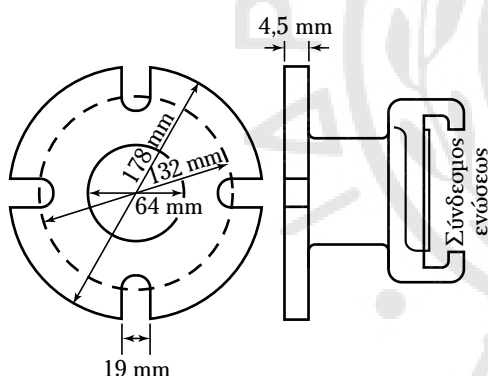
Η θάλασσα που διαρρέει το δίκτυο πυροσβέσεως παρέχεται από δύο αντλίες, που είναι εγκατεστημένες στο μηχανοστάσιο. Ανοίγοντας κατάλληλα επιστόμια, εξυπηρετούνται και άλλα δίκτυα, γι' αυτό ονομάζο-

¹ Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14726-1, που ορίζει τα βασικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα των πλοίων.



Σχ. 4.1α

Διαγραμματική παράσταση δικτύου πυροσβέσεως.



Σχ. 4.1β

Διεθνής σύνδεσμος ξηράς.

νται **αντλίες πυροσβέσεως** και **γενικής χρήσεως** (fire and general service pumps). Στην περίπτωση αποκλεισμού του μηχανοστασίου ή διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, κατά την οποία δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι αντλίες πυροσβέσεως και γενικής χρήσεως του μηχανοστασίου, η θάλασσα στο δίκτυο πυροσβέσεως παρέχεται μέσω του επιστομίου συγκοινωνίας από την **αντλία πυροσβέσεως έκτακτης ανάγκης** (emergency fire pump). Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα πυροσβέσεως είναι κατασκευασμένοι από γαλβανισμένο χάλυβα, ενώ ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του πλοίου, η διάμετρός τους κυμαίνεται από 50 – 178 mm.

Σε κατάλληλη θέση του κύριου δικτύου πυροσβέσεως, συνήθως στην πρύμνη του καταστρώμα-

τος του πλοίου, εγκαθίσταται ο διεθνής σύνδεσμος ξηράς (σχ. 4.1β), που αποτελείται από μια φλάντζα (περιαυχένιο) με συγκεκριμένες διαστάσεις και τρόπο κατασκευής, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα, ενώ πάνω σε αυτήν εφαρμόζεται ένας σύνδεσμος ενώσεως. Η φλάντζα, όπως και τα υλικά στεγανοποίησης, πρέπει να είναι ανθεκτική σε πίεση λειτουργίας 10,5 bar, ενώ συνδέεται στη φλάντζα του σωλήνα του δικτύου με τέσσερις βίδες διαμέτρου 16 mm, μήκους 50 mm, με οκτώ ροδέλες, που αντιστοιχούν σε δύο για κάθε βίδα.

2) Στο **μόνιμο σύστημα πυροσβέσεως με διοξείδιο του άνθρακα** (CO₂ system), το αέριο CO₂ διαχέεται μέσω σωλήνων στον κλειστό χώρο, όπου έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά, εκτοπίζοντας τον αέρα

και μαζί το οξυγόνο, που υποστηρίζει την καύση, επιτυγχάνοντας την κατάσβεση της πυρκαγιάς. Το σύστημα αποτελείται απ' τις φιάλες αποθηκεύσεως του διοξειδίου του άνθρακα που είναι εγκατεστημένες στον χώρο αποθηκεύσεως του CO₂ και ο αριθμός τους εξαρτάται από την απαιτούμενη ποσότητα CO₂ που πρέπει να αποθηκευτεί. Το σύστημα επίσης αποτελείται από την καμπίνα ελέγχου, μία διάταξη ενεργοποιήσεως του συστήματος, η οποία ενεργεί στις βαλβίδες των φιαλών, την κύρια βαλβίδα απ' την οποία διέρχεται το διοξείδιο του άνθρακα, το δίκτυο των σωλήνων διανομής και τα ακροφύσια του μηχανοστασίου (σχ. 4.1γ).

Το μόνιμο σύστημα πυροσβέσεως (CO₂) χρησιμοποιείται όταν η πυρκαγιά είναι αρκετά σοβαρή και για να χρησιμοποιηθεί, απαιτείται η εκκένωση του μηχανοστασίου ή του κλειστού χώρου που προστατεύεται.

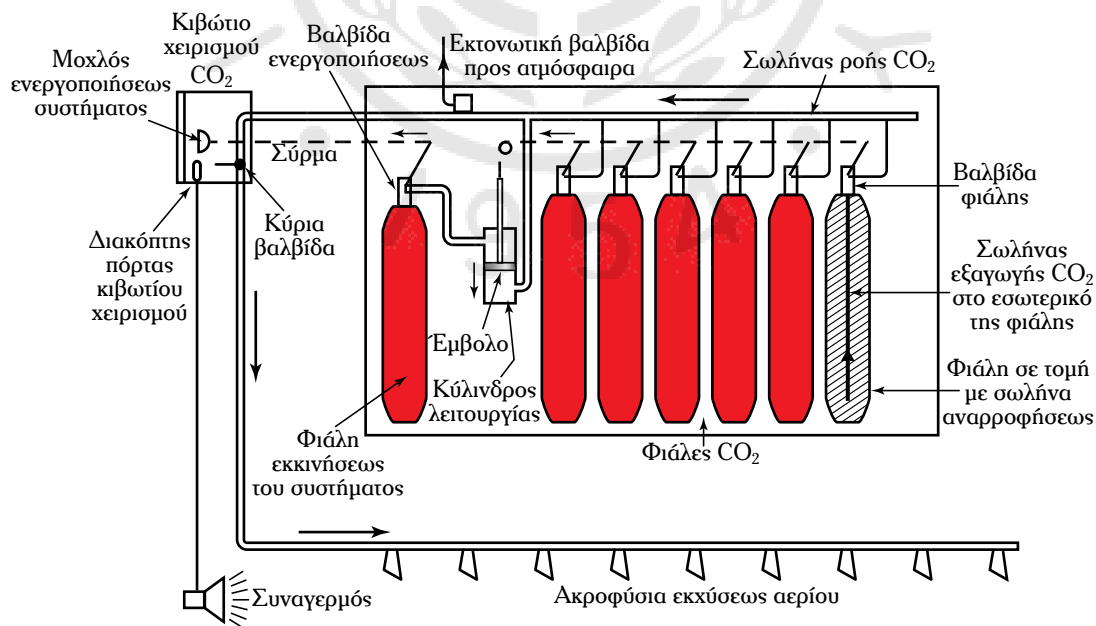
Η εκκίνηση του συστήματος πραγματοποιείται από την καμπίνα χειρισμού, ενώ η πόρτα της καμπίνας διαθέτει διακόπτη (σχ. 4.1δ). Με το άνοιγμα της πόρτας, όπου είναι εγκατεστημένος ο μοχλός ενεργοποίησης και η κύρια βαλβίδα χειρισμού, ενεργοποιείται συναγερμός για την εκκένωση του μηχανοστασίου, προλαμβάνοντας ατυχήματα από τον εγκλωβισμό μελών του πληρώματος σ' αυτό. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις πλοίων, στην καμπίνα χειρισμού, υπάρχει επί πλέον διακόπτης διακοπής της λειτουργίας των

ανεμιστήρων εξαερισμού του μηχανοστασίου και των αντλιών παροχής καυσίμου των μηχανημάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση πριν την εκκίνηση της διαδικασίας πυροσβέσεως με την απελευθέρωση του αερίου είναι όλες οι πόρτες και τα ανοίγματα του μηχανοστασίου να είναι κλειστά.

Η ενεργοποίηση του συστήματος πραγματοποιείται με μοχλό χειρισμού, που συνδέεται μέσω σύρματος σε βαλβίδα της φιάλης εκκίνησης του συστήματος (σχ. 4.1γ). Το αέριο που ελευθερώνεται από τη φιάλη εκκίνησης του συστήματος μετατοπίζει το έμβολο ενός κυλίνδρου και το βάκτρο του εμβόλου συνδέεται με σύρμα στις βαλβίδες των φιαλών αποθηκεύσεως του CO₂. Οι βαλβίδες των φιαλών, όταν ανοίξουν, παρέχουν το αέριο στο δίκτυο πυροσβέσεως μέσω της κύριας βαλβίδας, ώστε να πραγματοποιηθεί στιγμιαία η απελευθέρωση της απαραίτητης ποσότητας του αερίου που απαιτείται στο μηχανοστάσιο για την κατάσβεση της πυρκαγιάς.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς¹, το 85% του αερίου πρέπει να έχει απελευθερωθεί εντός δύο λεπτών, ενώ η ποσότητα του αερίου πρέπει:

α) Να είναι επαρκής, παρέχοντας όγκο ελεύθερου αερίου ίσο με το 40% του όγκου του χώρου στον οποίο εκτονώνεται, εκτός αν η οριζόντια περιοχή που περικλείεται από τα τοιχώματα του χώρου εκτονώσεως του αερίου είναι μικρότερη του 40% του γενικού χώρου που πρέπει να καλυφθεί απ' το αέριο.



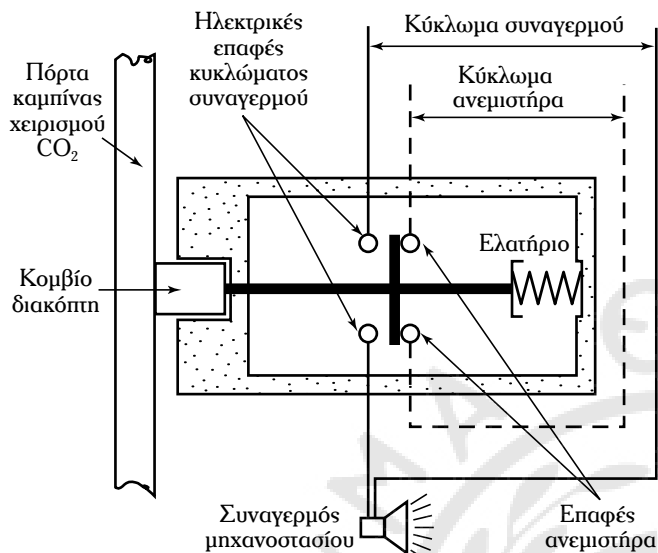
Σχ. 4.1γ

Διάταξη μόνιμου συστήματος πυροσβέσεως με διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

¹ Διεθνής Κώδικας για τα συστήματα πυροσβέσεως στα πλοία (IMO-SOLAS INTERNATIONAL Code Fire Safety Systems Annex 6).

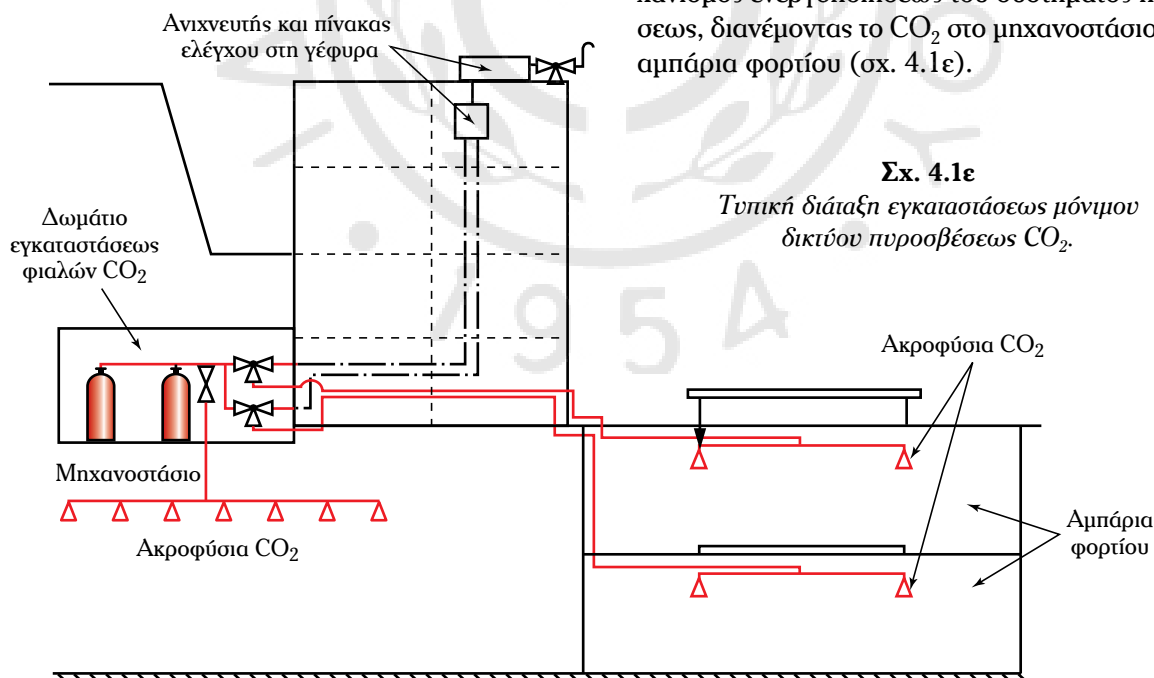
β) Να είναι επαρκής, παρέχοντας όγκο ελεύθερου αερίου ίσο με το 35% του συνολικού χώρου στον οποίο εκτονώνεται και να τον καλύπτει σε μέγιστο χρονικό όριο δύο λεπτών.

Οι σωλήνες διανομής του δικτύου είναι κατασκευ-



Σχ. 4.16

Διάταξη διακόπτη πόρτας κιβωτίου χειρισμού καμπίνας CO₂.



Σχ. 4.1ε

Τυπική διάταξη εγκαταστάσεως μόνιμου δικτύου πυροσβέσεως CO₂.

ασμένοι από γαλβανισμένο μαλακό χάλυβα για να προστατεύονται από τη διάβρωση, ενώ οι φιάλες από χυτοχάλυβα υπόκεινται σε **υδραυλική δοκιμή**¹ με πίεση περίπου 228 bar.

Το CO₂ στις φιάλες αποθηκεύεται σε υγρή μορφή και με πίεση περίπου 52 bar (750 lib/in²). Η πίεση αυτή μεταβάλλεται υπό την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, που δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 55°C. Μέσα στις φιάλες υπάρχει σωλήνας (σίφωνας) αναρροφήσεως, εξασφαλίζοντας ότι το CO₂ εξέρχεται από τις φιάλες σε υγρή κατάσταση. Σε διαφορετική περίπτωση, το CO₂ θα εξατμιζόταν στην επιφάνεια του υγρού, όπου, απορροφώντας τη λανθάνουσα θερμότητα, θα προκαλούσε το πάγωμα του υπόλοιπου CO₂, που υπάρχει στη φιάλη. Το περιεχόμενο κάθε φιάλης ελέγχεται με ζύγιση ή με τη βοήθεια συσκευής ενδείξεως στάθμης με ακτινοβολία, ενώ η επαναπλήρωσή τους είναι απαραίτητη, αν κατά τον έλεγχο διαπιστωθεί ότι η απώλεια βάρους στο περιεχόμενο κάποιας φιάλης υπερβαίνει το 10%.

Ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, ο έλεγχος του συστήματος πυροσβέσεως με CO₂ μπορεί να πραγματοποιηθεί από καμπίνα, που περιέχει ανιχνευτή καπνού και βρίσκεται εγκατεστημένη στη γέφυρα. Στην καμπίνα αυτή είναι εγκατεστημένος και ο μηχανισμός ενεργοποιήσεως του συστήματος πυροσβέσεως, διανέμοντας το CO₂ στο μηχανοστάσιο και στα αμπάρια φορτίου (σχ. 4.1ε).

¹ Υδραυλική δοκιμή ονομάζεται η διαδικασία ελέγχου της αντοχής σε κόπωση ενός δοχείου ή σωλήνα, με την χρήση ενός ρευστού (νερού ή υδραυλικού ελαίου) σε συνθήκες ελεγχόμενης πίεσεως. Στα συστήματα πυροσβέσεως σε υδραυλική δοκιμή υπόκεινται οι φιάλες CO₂, οι πυροσβεστήρες και οι σωλήνες του δικτύου πυροσβέσεως.

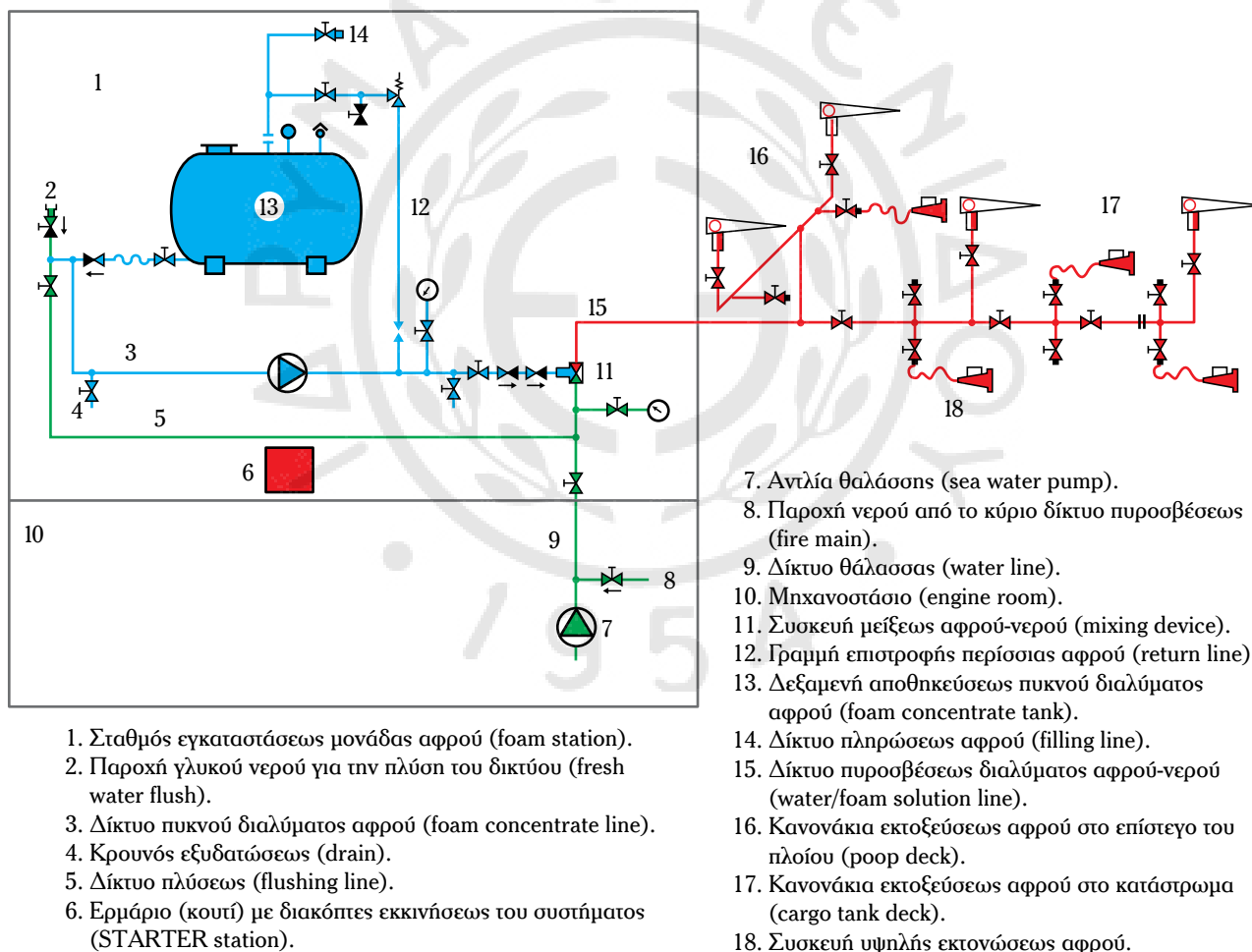
Μία εναλλακτική λύση για την αποθήκευση του CO₂ σε μεμονωμένες φιάλες για τις μεγάλες εγκαταστάσεις είναι η αποθήκευσή του σε δεξαμενή. Με αυτόν τον τρόπο αποθηκεύσεως απαιτείται ψυκτική μονάδα, ώστε να διατηρείται το CO₂ σε πίεση 21 bar στους -17°C. Η δεξαμενή πρέπει να είναι κατασκευασμένη από χάλυβα με πρόσμειξη 3,5% σε νικέλιο¹.

Για την ψύξη του CO₂ χρησιμοποιούνται δύο ψυκτικές μονάδες, με δυνατότητα η κάθε μία από μόνη της να διατηρήσει την απαιτούμενη θερμοκρασία στη δεξαμενή αποθηκεύσεως. Για να προφυλαχτεί η δεξαμενή σε περίπτωση βλάβης της ψυκτικής μονάδας, είναι εγκατεστημένη ασφαλιστική διάταξη ρυθμισμένη να ανοίξει όταν η πίεση υπερβεί τα 24,5 bar, οδηγώντας το CO₂, μέσω σωλήνα, σε σημείο όπου δεν

υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν ατυχήματα από την ελευθέρωσή του προς την ατμόσφαιρα.

3) Το **μόνιμο σύστημα πυροσβέσεως με αφρό** (foam system) (σχ. 4.1στ) χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση πυρκαγιών σε υγρά στο κατάστρωμα και στις δεξαμενές φορτίου.

Η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη έτσι, ώστε η κατάλληλη ποσότητα υγρού αφρού από τη δεξαμενή αποθηκεύσεως να αναμειγνύεται μέσω **αντόματος ρυθμιστικής μονάδας** (inductor) με μεγάλη ποσότητα νερού και στη συνέχεια να καταθλίβεται στο κύριο δίκτυο πυροσβέσεως. Το μείγμα, στη συνέχεια, μέσω του κύριου δικτύου εξέρχεται απ' τους πυροσβεστικούς κρουνοί ή τα κανονάκια αφρού, που είναι τοποθετημένα στο κατάστρωμα του πλοίου.



Σχ. 4.1στ

Διάταξη μόνιμου συστήματος πυροσβέσεως με αφρό.

¹ Το κράμα χάλυβα με πρόσμειξη 3,5% σε νικέλιο χρησιμοποιείται για μεταλλικές κατασκευές (δεξαμενές, σωλήνες κ.ά.), όπου το υλικό είναι απαραίτητο να έχει χαμηλό συντελεστή διαστολής, ώστε να προλαμβάνεται ο κίνδυνος θραύσεως π.χ. της δεξαμενής, από την θερμική κόπωση.

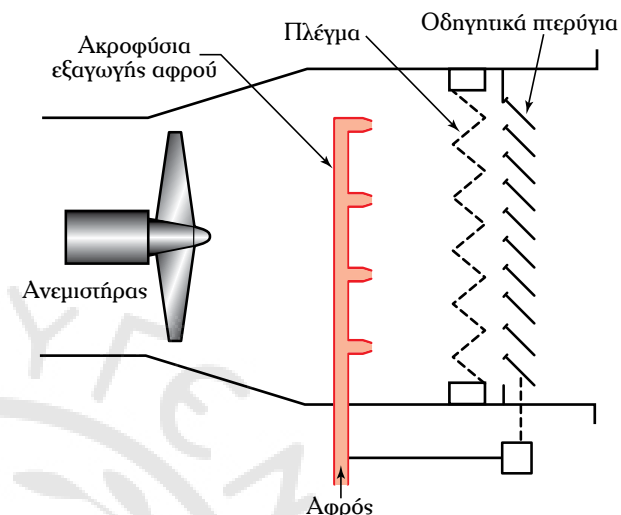
ου. Απ' το κύριο δίκτυο τροφοδοτούνται επίσης και οι φορητές συσκευές εκτοξεύσεως αφρού, ενώ για την κατάσβεση μιας πυρκαγιάς σε σημεία υψηλού κινδύνου στο πλοίο, ενδέχεται να υπάρχουν εγκατεστημένα και μόνιμα ακροφύσια παροχής αφρού.

Για την παραγωγή μεγάλου όγκου αφρού χρησιμοποιούνται συστήματα υψηλής εκτονώσεως, με τα οποία παράγεται ο αφρός με την ανάμειξη μείγματος νερού, αφρού και αέρα σε κατάλληλη συσκευή. Η συσκευή (σχ. 4.1ζ) αποτελείται από κυματοειδές πλέγμα, όπου ο αριθμός των οπών καθορίζει τον βαθμό εκτονώσεως και τον όγκο του παραγόμενου αφρού. Ο αέρας παρέχεται από ηλεκτροκίνητο ανεμιστήρα, ενώ είναι εγκαταστημένα και κατάλληλα οδηγητικά περύγια που οδηγούν τον αφρό προς το σημείο της πυρκαγιάς.

Η ταχύτητα παραγωγής του αφρού πρέπει να είναι επαρκής για την πλήρωση του μέγιστου χώρου που προστατεύεται με ρυθμό ανόδου του αφρού μέσα στον χώρο που καταθλίβεται 1 m/s.

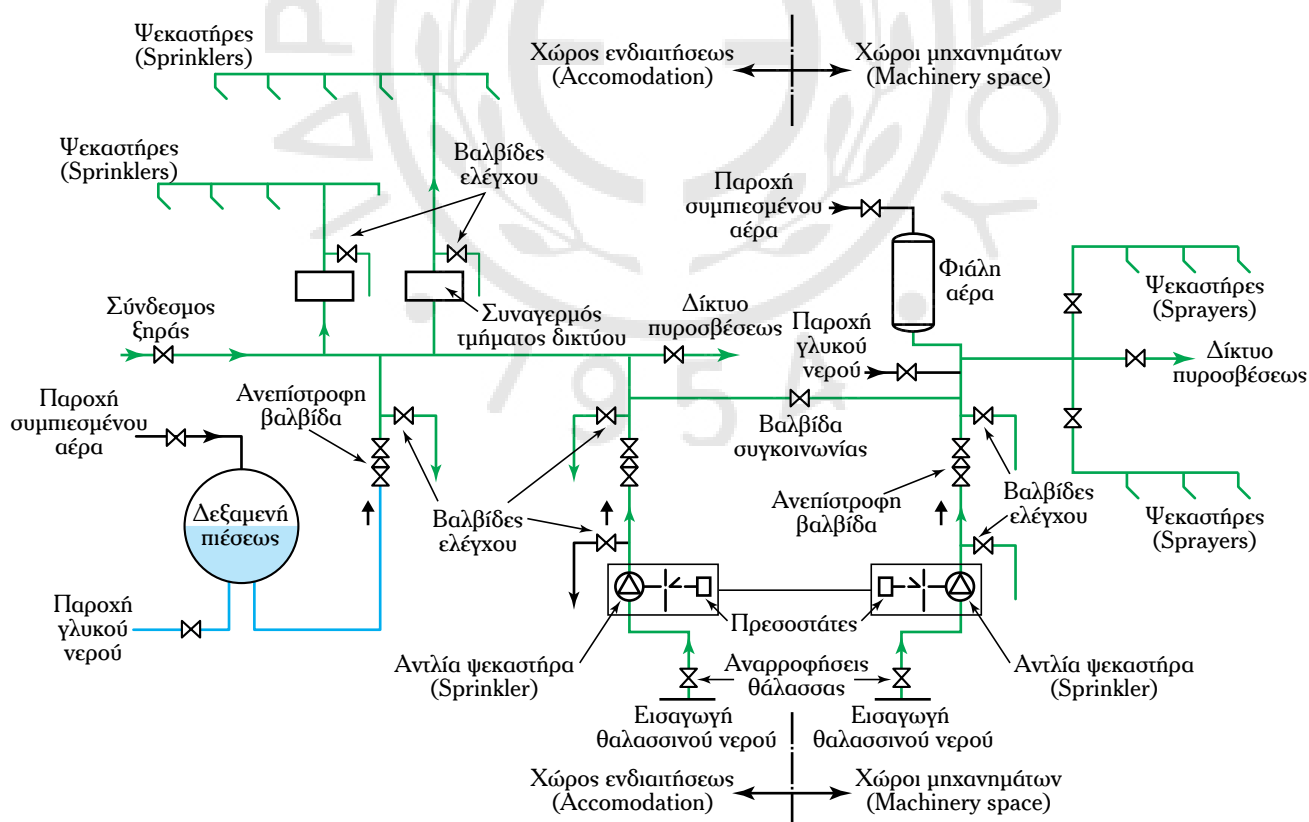
4) Το **μόνιμο σύστημα καταιονισμού** (sprinkler system) (σχ. 4.1η), αποτελεί ένα αυτόματο σύ-

στημα ανιχνεύσεως της φωτιάς και καταιονισμού με νερό στους χώρους ενδιαίτησεως, ενώ με κάποιες διαφοροποιήσεις στον **εξοπλισμό** και στον **τρόπο λειτουργίας** του συστήματος, χρησιμοποιείται και σε χώρους όπου είναι εγκατεστημένα μηχανήματα.



Σχ. 4.1ζ

Παράσταση συσκευής υψηλής εκτονώσεως αφρού.



Σχ. 4.1η

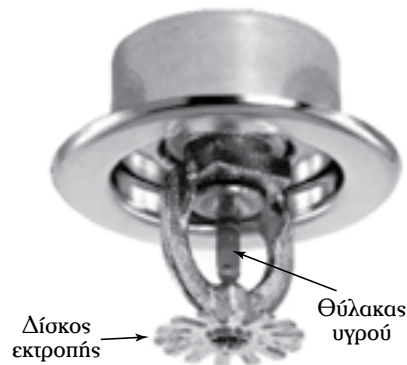
Τυπικό δίκτυο με ψεκαστήρες σε μόνιμο σύστημα καταιονισμού.

Η εγκατάσταση είναι έτοιμη για χρήση όταν διατηρείται υπό πίεση το δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται με την είσοδο συμπιεσμένου αέρα στη δεξαμενή πίεσης, που περιέχει το γλυκό νερό για την άμεση αρχική παροχή νερού στο δίκτυο. Η τοπική αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου, ο οποίος προστατεύεται από τον ψεκαστήρα καταιονισμού, προκαλεί τη διαστολή του υγρού που περιέχει ένας **θύλακας** (quartzoid), ο οποίος διατηρεί κλειστό το στόμιο εξαγωγής νερού του ψεκαστήρα (σχ. 4.10). Με την αύξηση της θερμοκρασίας και τη διαστολή του υγρού προκαλείται η θραύση του θύλακα. Τότε το νερό εξέρχεται με πίεση, ψεκάζοντας τον χώρο της πυρκαγιάς. Η παροχή νερού από τον ψεκαστήρα προκαλεί την πτώση της πίεσης στη δεξαμενή με το γλυκό νερό, με αποτέλεσμα να ενεργοποιηθεί η αντλία πυροσβέσεως, η οποία αναρροφώντας θαλασσινό νερό τροφοδοτεί το δίκτυο για όσο χρόνο απαιτείται για την κατάσβεση της πυρκαγιάς. Η αρχική διατήρηση του δικτύου γεμάτου με γλυκό νερό έχει ως σκοπό την προστασία των μηχανημάτων και των ψεκαστήρων από τη διάβρωση που θα προκαλούσε η παραμονή του θαλασσινού νερού σ' αυτό.

Το δίκτυο καταιονισμού χωρίζεται σε τμήματα (ανάλογα με το μέγεθος το δικτύου), σε κάθε ένα από τα οποία είναι εγκατεστημένοι από 150 έως 200 ψεκαστήρες, που αποτελούν τον μέγιστο, από τους κανονισμούς του IMO, επιτρεπόμενο αριθμό. Κάθε τμήμα του δικτύου ελέγχεται από μηχανισμό ενεργοποίησης συναγερμού, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται απεικόνιση, προσδιορίζοντας το τμήμα όπου υπάρχει φωτιά.

Η διαφοροποίηση των ψεκαστήρων (sprayers), που είναι εγκατεστημένοι στο τμήμα του δικτύου το οποίο προστατεύει τους χώρους των μηχανημάτων, είναι ότι δεν διαθέτουν θύλακα με υγρό που διαστέλλεται. Η ενεργοποίηση του δικτύου γίνεται από χειροκίνητη βαλβίδα, ενώ το σύστημα βρίσκεται υπό πίεση από συμπιεσμένο αέρα, που όταν μειωθεί, ενεργοποιείται η αντλία παροχής θαλασσινού νερού στους ψεκαστήρες.

Τα δύο δίκτυα που προστατεύουν τους χώρους ενδιατήσεως και μηχανημάτων συνδέονται με βαλβίδα, η οποία συνήθως διατηρείται κλειστή. Η επιθεώρηση του συστήματος είναι αναγκαία και πραγματοποιείται από δοκιμές σε βαλβίδες διαφορετικών τμημάτων του συστήματος. Εάν μετά τη χρήση του συστήματος ή κατά τον έλεγχο του διαπιστωθεί ότι στο δίκτυο υπάρχει θαλασσινό νερό, πρέπει να εκ-



Σχ. 4.10

*Ψεκαστήρας νερού με θύλακα υγρού
(sprinkler with quartzoid).*

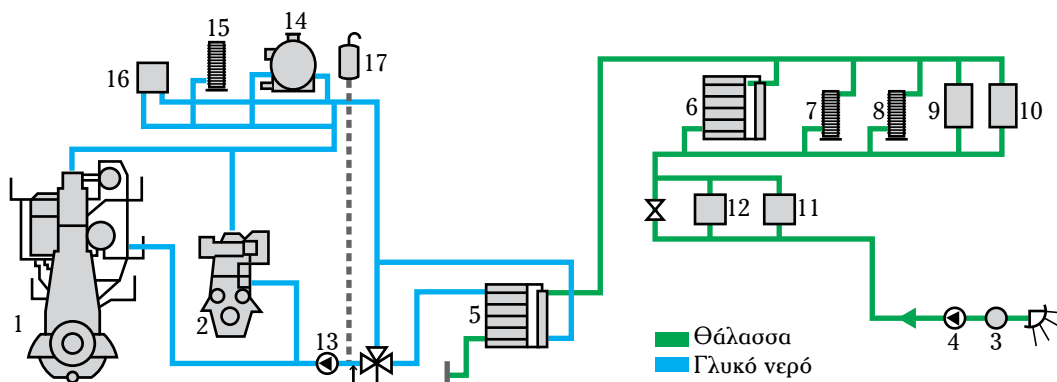
κενωθεί και να πληρωθεί εκ νέου με γλυκό νερό, προλαμβάνοντας τη διάβρωση.

4.1.2 Δίκτυο ψύξεως.

Σκοπός της αναπτύξεως του **δικτύου ψύξεως** (cooling sea water line) είναι η απαγωγή της θερμότητας που παράγεται στα μηχανήματα απ' τη λειτουργία τους. Το ψυκτικό μέσο που κυκλοφορεί στο δίκτυο ενός πλοίου είναι το θαλασσινό νερό, που ψύχει άμεσα ή έμμεσα τα ψυγεία των επί μέρους δικτύων ψύξεως κάθε μηχανήματος.

α) Στο δίκτυο με άμεση ψύξη, η **κύρια αντλία θαλάσσης** (main sea water pump) κυκλοφορεί τη θάλασσα μέσα από τα **ψυγεία των χιτωνίων της κύριας μηχανής** (jacket coolers), το **ψυγείο ελαίου της κύριας μηχανής** (engine lube oil coolers), το **ψυγείο εμβόλων της κύριας μηχανής** (M/E piston coolers), τα **ψυγεία χιτωνίων και ελαίου των ηλεκτρομηχανών** (D/G jacket και oil coolers), το **ψυγείο συμπυκνώματος** (condenser), το **ψυγείο επιστροφών ατμού** (drain cooler), το **ψυγείο του αεροσυμπιεστή** (air compressor coolers), τα **ψυγεία των κλιματιστικών μηχανημάτων** (air condition coolers) και μέσα από μικρότερα ψυγεία ή συσκευές ανάλογα με τον τύπο κατασκευής του πλοίου (σχ. 4.11).

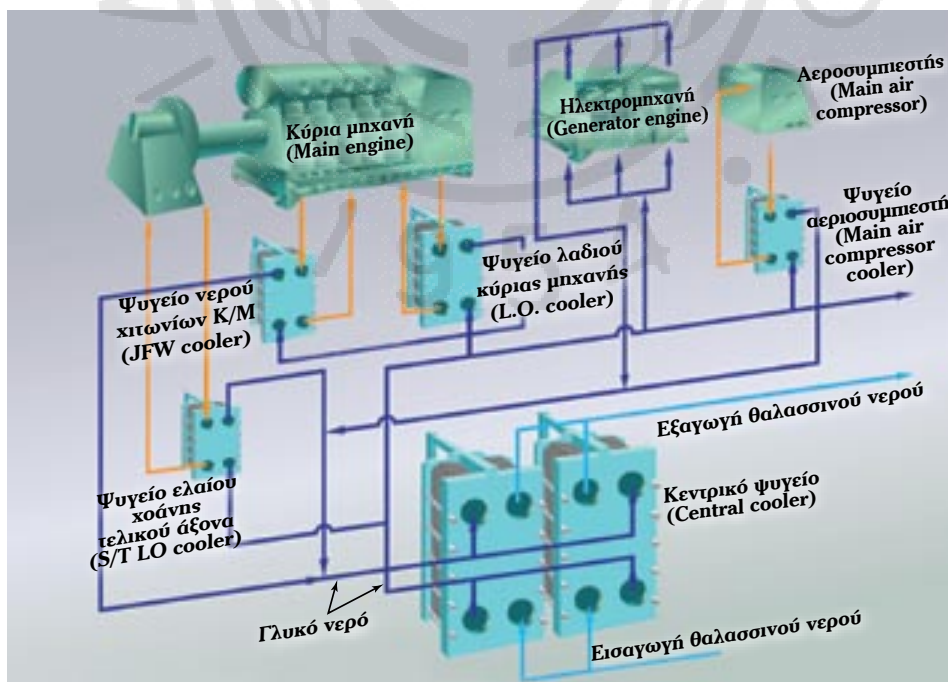
β) Στο δίκτυο με έμμεση ψύξη με θάλασσα ή **κεντρικό σύστημα ψύξεως** (central cooling system), η κυκλοφορία του θαλασσινού νερού περιορίζεται μόνο στα δύο **κεντρικά ψυγεία** (central coolers) (σχ. 4.11α). Το δίκτυο ψύξεως για τα ψυγεία των επιμέρους μηχανημάτων, όπως της κύριας μηχανής, των ηλεκτρομηχανών κ.λπ. είναι ένα κλειστό κύκλωμα που διαρρέεται από γλυκό νερό. Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται σ' αυτό το σύστημα ψύξεως είναι



1. Κύρια μηχανή (main engine).
2. Ηλεκτρομηχανή (auxiliary engine).
3. Φίλτρο θαλάσσης (sea-water filter).
4. Αντλία θαλάσσης (sea-water pump).
5. Ψυγείο γλυκού νερού χιτωνίων [fresh-water cooler (central cooler)].
6. Ψυγείο ελαίου κύριας μηχανής (lubricating oil cooler, main engine).
7. Ψυγείο ελαίου ηλεκτρομηχανής (lubricating oil cooler, auxiliary engine).
8. Ψυγείο μειωτήρα (gear oil cooler).
9. Ψυγείο αεροσυμπιεστή (compressor cooler).
10. Ψυγείο συμπυκνώματος (condenser).
11. Ψυγείο αέρα υπερπληρώσεως κύριας μηχανής (charging air cooler, main engine).
12. Ψυγείο αέρα υπερπληρώσεως ηλεκτρομηχανής (charging air cooler, auxiliary engine).
13. Αντλία γλυκού νερού ψύξεως (fresh-water pump).
14. Βραστήρας (destination unit).
15. Προθερμαντήρας γλυκού νερού (heat exchanger for central heating).
16. Προθερμαντήρας γενικής χρήσεως (heat exchanger for utility water).
17. Δεξαμενή εκτονώσεως νερού χιτωνίων (expansion tank).

Σχ. 4.11

Τυπική διάταξη κυκλοφορίας θαλασσινού νερού από τα ψυγεία και γλυκού νερού ψύξεως από κεντρικό ψυγείο για την ψύξη του νερού χιτωνίων.



Σχ. 4.11α

Τυπική διάταξη δικτύου κεντρικής ψύξεως.

οι **κύριες αντλίες θαλάσσης**, που αντλούν το θαλασσινό νερό. Μετά τη διέλευσή του από το κεντρικό ψυγείο, επιστρέφει στο περιβάλλον, ενώ η κυκλοφορία του γλυκού νερού στο κλειστό δίκτυο πραγματοποιείται από τις **αντλίες κυκλοφορίας του γλυκού νερού** (central cooler fresh water pumps). Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του γλυκού νερού κυκλοφορίας στα επιθυμητά επίπεδα, η οποία επηρεάζεται από τη θερμοκρασία της θάλασσας και το φορτίο των μηχανημάτων που λειτουργούν, εγκαθίστανται αυτόματες ρυθμιστικές διατάξεις. Η διάταξη στο δίκτυο του γλυκού νερού αποτελείται από το αυτόματο επιστόμιο και το επιστόμιο παρακάμψεως, απ' τα οποία ρυθμίζεται η ποσότητα του γλυκού νερού που διέρχεται από το κεντρικό ψυγείο, ενώ αντίστοιχη διάταξη μπορεί να είναι εγκατεστημένη και στο δίκτυο της θάλασσας, που διέρχεται από το κεντρικό ψυγείο. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα ψυγεία και οι αντλίες των δικτύων είναι διπλά, με δυνατότητα να λειτουργούν εναλλάξ ή παράλληλα.

Το δίκτυο ψύξεως του πλοίου εξαρτάται από τον τρόπο σχεδιάσεως και το έτος ναυπηγήσεως του πλοίου, με το δίκτυο έμμεσος ψύξεως να συναντάται στις νεότερες κατασκευές. Συγκρίνοντας τα δύο δίκτυα διαπιστώνεται ότι:

α) Το άμεσο δίκτυο, ενώ σχεδιαστικά και πρακτικά φαίνεται πιο απλό σε σχέση με το έμμεσο, μειονεκτεί, διότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι πιο ανθεκτικά στη διάβρωση, λόγω του θαλασσινού νερού που το διαρρέει και το αναγκάζει να έχει μικρότερη διάρκεια λειτουργικής ζωής.

β) Στο άμεσο δίκτυο ο καθαρισμός των ψυγείων π.χ. ελαίου της κύριας μηχανής, του νερού ψύξεως των χιτωνίων της, των ψυγείων συμπυκνώματος κ.λπ. λόγω του θαλασσινού νερού που τα διαρρέει και της υψηλής θερμοκρασίας του ψυχόμενου ρευστού, δημιουργεί στις επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας ευκολότερα καθαλατώσεις, ενώ υδρόβιοι οργανισμοί και ακαθαρσίες που παρασύρονται επιβάλλουν τον συχνό καθαρισμό των ψυγείων. Αντίθετα στο έμμεσο δίκτυο η θάλασσα περιορίζεται στην ψύξη του κεντρικού ψυγείου, ενώ το υπόλοιπο δίκτυο διαρρέεται από γλυκό νερό, με αποτέλεσμα τα υλικά κατασκευής του δικτύου να μην καταπονούνται από διάβρωση και ο καθαρισμός από καθαλατώσεις και υδρόβιους οργανισμούς να περιορίζεται στο κεντρικό ψυγείο, που έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό νερό.

γ) Το έμμεσο δίκτυο πλεονεκτεί του άμεσου διότι μέσω **παρακάμψεως** (by pass) περιορίζεται στο

ελάχιστο η διέλευση γλυκού νερού από το κύριο ψυγείο, όταν η θερμοκρασία της θάλασσας είναι πολύ χαμηλή. Τότε η ψύξη των ψυγείων του δικτύου επιτυγχάνεται με επανακυκλοφορία στο κλειστό δίκτυο του γλυκού νερού.

δ) Τέλος, το έμμεσο δίκτυο πλεονεκτεί του άμεσου διότι σε περίπτωση βλάβης σε κάποιο από τα ψυγεία που διαρρέονται από **ελαιώδη** και **πετρελαϊκά ρευστά**, η ρύπανση περιορίζεται στο κλειστό δίκτυο του γλυκού νερού δίχως να διαρρέονται αυτά στο περιβάλλον. Αντίθετα με το άμεσο, οποιαδήποτε διαρροή στο έμμεσο δίκτυο μπορεί να προκαλέσει είτε ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος είτε ανάμειξη του δικτύου με θαλασσινό νερό.

4.1.3 Δίκτυα πετρελαίου.

Τα **δίκτυα πετρελαίου** (fuel oil and diesel oil lines) αναπτύσσονται με σκοπό την παροχή του καυσίμου, την παραλαβή, τη μετάγγιση και την επεξεργασία του. Τα δίκτυα αυτά είναι:

α) Το **δίκτυο πετρελαίου της κύριας μηχανής** με τις **ενισχυτικές αντλίες παροχής καυσίμου** (booster pumps), τα φίλτρα και τους προθερμαντήρες που είναι εγκατεστημένοι στο δίκτυο.

Μέσω του δικτύου αυτού παρέχεται το καύσιμο στους καυστήρες για τη λειτουργία της κύριας μηχανής, σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία επιτυγχάνεται από τους προθερμαντήρες. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του καυσίμου που το διαρρέει οι σωλίνες καλύπτονται με κατάλληλη μόνωση αποτρέποντας τις θερμικές απώλειες στο περιβάλλον του μηχανοστασίου. Σε πολλά δίκτυα μέσα από τη μόνωση παράλληλα με τους σωλίνες του καυσίμου αναπτύσσεται ένα δίκτυο με σωλίνες που διαρρέονται από ατμό για την διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας.

β) Το **δίκτυο παραλαβής καυσίμων**, μέσω του οποίου γίνεται η πλήρωση των δεξαμενών πετρελαίου, και το **δίκτυο μεταγγίσεως** από δεξαμενή σε δεξαμενή του καυσίμου, που πραγματοποιείται απ' τις **αντλίες μεταγγίσεως βαρέος πετρελαίου** [Heavy Fuel Oil (HFO) transfer pumps] και τις **αντλίες μεταγγίσεως πετρελαίου ντίζελ** (diesel oil transfer pump).

γ) Το **δίκτυο επεξεργασίας και καθαρισμού του πετρελαίου**, που αναπτύσσεται για την παροχή του πετρελαίου στους φυγοκεντρικούς καθαριστές.

δ) Το **δίκτυο παροχής καυσίμου των ηλεκτρομηχανών**, με το οποίο παρέχεται το καύσιμο για τη

λειτουργία των ηλεκτρομχανών. Ανάλογα με το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται, το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι μονωμένο, όπως το δίκτυο της κύριας μηχανής για βαρύ πετρέλαιο ή να μην απαιτείται μόνωση όταν διαρρέεται από πετρέλαιο ντήζελ και

ε) το **δίκτυο παροχής καυσίμου στους λέβητες**, στο οποίο είναι εγκατεστημένα τα φίλτρα, οι προθερμαντήρες και οι αντλίες πετρελαίου των λεβήτων.

4.1.4 Δίκτυα λιπάνσεως.

Τα δίκτυα λιπάνσεως ως σκοπό έχουν είτε την λίπανση των μηχανημάτων, είτε τη μεταφορά ελαίου από δεξαμενή σε δεξαμενή.

Το κυριότερο από τα δίκτυα λιπάνσεως είναι το **δίκτυο λιπάνσεως της κύριας μηχανής** (lubricating oil line), το οποίο αναπτύσσεται με σκοπό την παροχή του λιπαντικού ελαίου στα σημεία επαφής των κινουμένων μερών της, π.χ. σταυρούς, τριβείς εδράσεως κ.λπ.. Η παροχή ελαίου πραγματοποιείται από τις αντλίες λιπάνσεως της κύριας μηχανής (M/E lube oil pumps). Παράλληλα με το δίκτυο λιπάνσεως αναπτύσσεται το δίκτυο επεξεργασίας και καθαρισμού του ελαίου λιπάνσεως απ' τους φυγοκεντρικούς καθαριστές ελαίου, μέρος του οποίου είναι και το δίκτυο πληρώσεως με λιπαντικό έλαιο από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως. Η θερμοκρασία που μεταφέρεται απ' το έλαιο λιπάνσεως απομακρύνεται στα ψυγεία ελαίου, που είναι εγκατεστημένα στο δίκτυο και ψύχονται είτε με θαλασσινό είτε με γλυκό νερό, όταν χρησιμοποιείται σύστημα κεντρικής ψύξεως. Άλλα δίκτυα ελαίου είναι:

α) Το **δίκτυο παραλαβής και μεταγγίσεως**, μέσω του οποίου γίνεται η πλήρωση των δεξαμενών αποθηκεύσεως ελαίου και των βοηθητικών μηχανημάτων.

β) Το **δίκτυο ελαίου λιπάνσεως των ηλεκτρομχανών**. Επειδή η λίπανση των ηλεκτρομχανών πραγματοποιείται από εξαρτημένες αντλίες, το δίκτυο ελαίου λιπάνσεως τους αναφέρεται στο δίκτυο που αναπτύσσεται για την παροχή λιπαντικού ελαίου από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως στις ελαιολεκάνες των ηλεκτρομχανών.

γ) Το **δίκτυο ελαίου λιπάνσεως των μειωτήρων**. Το δίκτυο αυτό μπορεί να αποτελεί μέρος του δικτύου λιπάνσεως της κύριας μηχανής ή να είναι ανεξάρτητο και να εξυπηρετείται από άλλη αντλία και σύστημα καθαρισμού.

δ) Το **δίκτυο ελαίου ψύξεως τριβέων** των ατμοστροβίλων ή των αεριοστροβίλων, ανάλογα με την εγκατάσταση προώσεως του πλοίου.

4.1.5 Δίκτυα συμπιεσμένου αέρα.

Στα **δίκτυα συμπιεσμένου αέρα** (compressed air line) ανήκουν: το **δίκτυο αέρα υψηλής πίεσεως** για την εκκίνηση της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομχανών, το **δίκτυο αέρα ελέγχου των μηχανημάτων και των αυτοματισμών**, το **δίκτυο καθαρισμού του ατμολέβητα καυσαερίων** (gas boiler economizer) και το **δίκτυο αέρα γενικής χρήσεως**, που εκτείνεται σ' όλο το πλοίο και χρησιμοποιείται για τη λειτουργία φορητών μηχανημάτων, εργαλείων κ.λπ..

Επίσης, συμπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται σε πλοία με εγκαταστάσεις προώσεως ατμού για τον καθαρισμό των λεβήτων με τη μέθοδο του **εκκαπνισμού** (soot-blower). Στο δίκτυο είναι εγκατεστημένοι οι αεροσυμπιεστές για την παραγωγή του συμπιεσμένου αέρα, οι φιάλες αποθηκεύσεώς του και οι μειωτήρες πίεσεως του αέρα στα επιθυμητά επίπεδα για κάθε προοριζόμενη χρήση.

4.1.6 Δίκτυο εξαντλήσεως κυτών και αντιμετώπισεως διαρροής (bilge water line).

Το δίκτυο αυτό αναπτύσσεται με σκοπό την άντληση και κατάθλιψη εκτός πλοίου των νερών, λαδιών και πετρελαίων που συγκεντρώνονται στον πυθμένα του σκάφους μέσα στα διπύθμενα (κοινώς κούτσες) ή στα παραπύθμενα ή στα κύπη (κοινώς σεντίνες) του πλοίου. Το μείγμα που συγκεντρώνεται αποτελείται από νερό, πετρέλαιο και λάδι, που προέρχονται από μικρές απώλειες των μηχανημάτων και των σωλήνων των δικτύων, από νερά που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες καθαρισμών, καθώς και νερά απ' τις υγροποιήσεις στις εσωτερικές επιφάνειες του ίδιου του σκάφους, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.

Η άντληση των υγρών πραγματοποιείται απ' τις **αντλίες κύτους**, που πρέπει να είναι ικανές να αντλούν όχι μόνο τις μικρές παραπάνω ποσότητες, αλλά και μεγαλύτερες, που μπορεί να προέλθουν από μια σοβαρή διαρροή. Οι αντλίες κύτους είναι: η **αντλία σεντινών** (bilge pump), μέσω επιστομιών συγκοινωνίας που είναι εγκατεστημένα στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση μεγάλης διαρροής νερού χρησιμοποιούνται οι **αντλίες πυροσβέσεως και γενικής χρήσεως** (fire and general service pump), που βρίσκονται στο μηχανοστάσιο.

Ειδικότερα σε περίπτωση μεγάλης διαρροής θάλασσας στο χώρο του μηχανοστασίου, που θέτει σε κίνδυνο το σκάφος και την ασφάλεια του πληρώματος, υπάρχει εγκατεστημένο στον δίκτυο αναρροφής των κυρίων αντλιών θαλάσσης (κυκλοφορίας) στα **ψυγεία του μηχανοστασίου** (main sea water pumps) επιστόμιο μεγάλων διαστάσεων, που αναρροφά απ' τον χώρο του μηχανοστασίου και καταθλίβει μέσω των ψυγείων στη θάλασσα. Το επιστόμιο αυτό ονομάζεται **σωσιβίος κρουνός**, ο οποίος ανοίγεται σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, ενώ ταυτόχρονα για να αυξηθεί η αναρρόφηση από το μηχανοστάσιο κλείνεται ολικά ή μερικά η αναρρόφηση της αντλίας κυκλοφορίας από τη θάλασσα. Η αναρρόφηση του σωσιβίου κρουνού βρίσκεται στην επάνω πλευρά του εσωτερικού πυθμένα του κατώτερου καταστρώματος του μηχανοστασίου (τελευταίο πανιόλο).

4.1.7 Δίκτυο έρματος (ballast water line).

Με τη φόρτωση ή την εκφόρτωση, όπου οι διαφορές βάρους και βυθίσματος είναι μεγάλες, δημιουργείται καμπική φόρτιση στο κύτος του πλοίου. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτές οι δυνάμεις αποτρέποντας τον κίνδυνο να προκληθεί μόνιμη παραμόρφωση ή θραύση του σκάφους χρησιμοποιείται **έρμα** (ballast). Το έρμα είναι θαλασσινό νερό με το οποίο πραγματοποιείται η πλήρωση των **δεξαμενών έρματος** (ballast tanks), καθώς και των πρωραίων και πρυμναίων δεξαμενών ζυγοσταθμίσεως, όταν το πλοίο είναι άφορτο ή με την εξάντλησή του από αυτές επιτυγχάνοντας την απαιτούμενη ευστάθεια.

Στη διακίνηση του έρματος χρησιμοποιείται το αντίστοιχο δίκτυο, το οποίο εξυπηρετείται από **αντλίες έρματος** (ballast pumps), που είναι μεγάλης παροχής, ώστε η πλήρωση ή η εξάντληση να ανταποκρίνεται στη μεγάλη ταχύτητα, με την οποία πραγματοποιείται η εκφόρτωση ή η φόρτωση του πλοίου. Το δίκτυο που αναπτύσσεται είναι απαραίτητα χωρισμένο από τα υπόλοιπα δίκτυα πληρώσεως ή εξαντλήσεως άλλων δεξαμενών ή διπυθμένων, μέσα στα οποία υπάρχει το πετρέλαιο, το γλυκό νερό για την τροφοδοσία των μηχανημάτων και το πόσιμο νερό. Ακόμη και στα Δ/Ξ, η διαχείριση του έρματος πραγματοποιείται από δίκτυο που, σύμφωνα με

τους διεθνείς κανονισμούς για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, είναι διαφορετικό απ' αυτό του φορτίου. Έτσι, αποτρέπεται η ανάμειξη των διαφόρων υγρών, είτε στις δεξαμενές φορτίου είτε στις δεξαμενές αποθηκεύσεως, και η πιθανότητα να προκληθεί ρύπανση από τη μεταφορά πετρελαιοειδών με τη διακίνηση του θαλασσέρματος.

Με σκοπό την ασφάλεια του πλοίου, προκειμένου να υπάρχουν περισσότερες εναλλακτικές δυνατότητες μεταφοράς των υγρών, είναι δυνατόν το δίκτυο έρματος να συνδέεται μέσω επιστομίων και σωλήνων με τα δίκτυα εξαντλήσεως κυτών και το δίκτυο πυρκαγιάς ή πυροσβέσεως.

4.1.8 Δίκτυο πόσιμου νερού.

Σκοπός αυτού του δικτύου είναι η παροχή πόσιμου νερού, που αναρροφά η **αντλία πόσιμου νερού** (drink fresh water pump) από τη δεξαμενή αποθηκεύσεως, και η διανομή του για χρήση από το πλήρωμα και τους επιβάτες. Οι λήψεις είναι εγκατεστημένες σε συγκεκριμένα σημεία και σε κατάλληλες θέσεις των χώρων ενδιαιτήσεως του πλοίου, που παρέχουν θερμό και ψυχρό νερό από κατάλληλα μηχανήματα, ενώ το ίδιο δίκτυο παρέχει νερό και στα μαγειρεία. Για την παροχή του νερού υπό σταθερή πίεση στα σημεία καταναλώσεώς του, το δίκτυο πόσιμου νερού βρίσκεται συνεχώς υπό πίεση. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση, μετά την κατάθλιψη της αντλίας, **πιεστικού πνεύμονα**¹ που συμπληρώνεται με αέρα από το δίκτυο συμπιεσμένου αέρα.

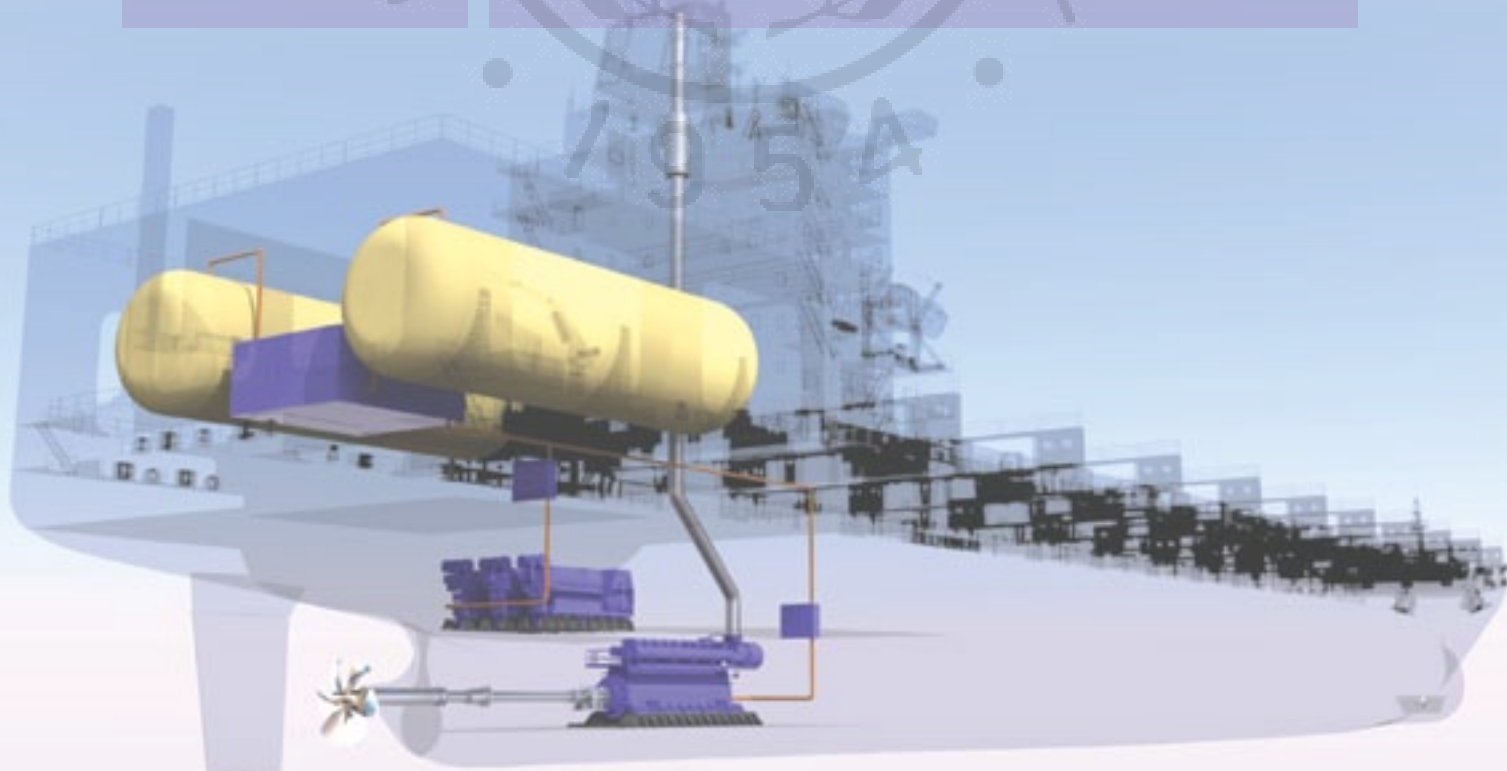
4.1.9 Δίκτυο υγιεινής (κοινώς λάτρης).

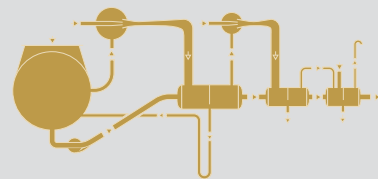
Αντίστοιχα με το δίκτυο πόσιμου νερού, αναπτύσσεται και το **δίκτυο γλυκού νερού ή δίκτυο λάτρης** (sanitary water line), το οποίο παρέχει το νερό για διάφορες χρήσεις στους χώρους ενδιαιτήσεως, όπως μπάνια, πλυντήρια, τουαλέτες και για τις εργασίες καθαρισμού και πλύσεως δαπέδων, καταστρωμάτων κ.λπ.. Η παροχή του νερού στο δίκτυο πραγματοποιείται από την **αντλία γλυκού νερού** (sanitary water pump), που παρέχει το νερό σε πιεστικό πνεύμονα, τον οποίο διατηρεί το δίκτυο υπό σταθερή πίεση με συμπιεσμένο αέρα.

¹ Πιεστικός πνεύμονας ονομάζεται μια φιάλη (μεταλλική), η οποία περιέχει νερό και αέρα υπό πίεση για να διατηρείται η πίεση του δικτύου σταθερή.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Κεφάλαιο 5	Εκχυτήρες - Τζιφάρια	124
Κεφάλαιο 6	Αεροσυμπιεστές	140
Κεφάλαιο 7	Βασικά δίκτυα σωληνώσεων πλοίου	161
Κεφάλαιο 8	Παραλαβή καυσίμων και λιπαντικών	193
Κεφάλαιο 9	Μεταφορά πετρελαίου, συστήματα αντλήσεως και δίκτυα φορτίου δεξαμενοπλοίων	209
Κεφάλαιο 10	Αεριοφόρα πλοία	248





5.1 Εισαγωγή.

Ο **εκχυτήρας** (ejector)¹ είναι ένας στατικός τύπος αντλίας απλός στην κατασκευή του. Η λειτουργία του βασίζεται στη διαφορά πίεσεως που δημιουργείται εξαιτίας της υψηλής ταχύτητας ενός ρευστού και στη μεταβολή της καθώς διαρρέει έναν αγωγό. Το ρευστό λειτουργίας (συνήθως αέρας, νερό ή ατμός) μπορεί να είναι σε υγρή ή σε αέρια μορφή. Καθώς εκτοξεύεται το ρευστό ($\dot{m}_1$) μέσα στον κυλινδρικό αγωγό, απ' τον οποίο αποτελείται ο εκχυτήρας, συμπαρασύρεται ένα άλλο ρευστό ($\dot{m}_2$), που περιβάλλει το ακροφύσιο εκτοξεύσεως (σχ. 5.1α).

Οι εκχυτήρες ονομάζονται **παροχικοί σίφωνες** ή συνήθως **τζιφάρια** από το όνομα του Γάλλου μηχανικού και εφευρέτη τους Henri Giffard (1825–1882).

– Αρχή λειτουργίας των εκχυτήρων.

Η αρχή λειτουργίας των εκχυτήρων βασίζεται στην εφαρμογή του σωλήνα Venturi² (Venturi ef-

fect) και στην Αρχή του **Daniel Bernoulli**³ (Bernoulli's Principle).

Η Αρχή του Bernoulli δημοσιεύθηκε το 1738 και προβλέπει ότι σε ένα ιδανικό ρευστό (δηλ. ένα ρευστό με μηδενικό ιξώδες) κάθε μεταβολή στην πίεση συνοδεύεται με αντίστροφη μεταβολή της ταχύτητας. Έτσι, όταν ένα ρευστό κινείται σε οριζόντια κατεύθυνση και η πίεσή του μεταβάλλεται από p_1 μεγαλύτερη (ή μικρότερη) σε p_2 μικρότερη (ή μεγαλύτερη), η μεταβολή της πίεσεως θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας, προκαλώντας την επιτάχυνση του ρευστού από v_1 μικρότερη ταχύτητα (ή μεγαλύτερη) σε v_2 μεγαλύτερη (ή μικρότερη) σύμφωνα με τον Δεύτερο Νόμο του Νεύτωνα.

Η θεμελιώδης σχέση **έργο ισούται με μεταβολή της κινητικής ενέργειας** για τους εκχυτήρες μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\left. \begin{aligned} (\Delta P) \cdot A \cdot S &= \Delta E \dots \dots \dots (\alpha) \\ \text{Δύναμνη } F &= AS = V \dots \dots (\beta) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \Rightarrow \Delta P = \frac{\Delta E}{V} \quad (\gamma) \end{aligned}$$

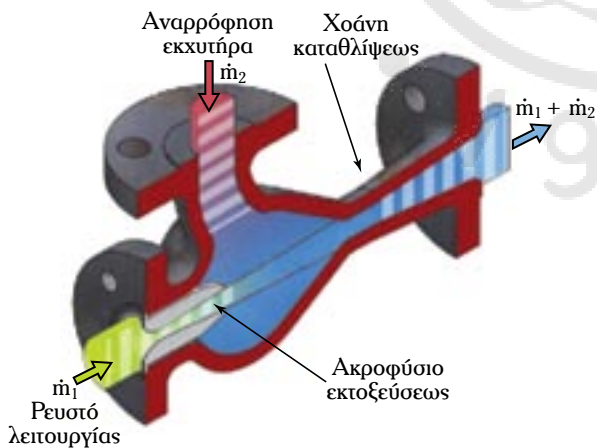
$$\begin{aligned} & (\text{μεταβολή της πίεσεως}) \cdot \text{εμβαδόν} \cdot \text{διάστημα} = \\ & = (\text{μεταβολή της κινητικής ενέργειας}) \end{aligned}$$

η οποία εκφράζεται ως:

$$\begin{aligned} & (\text{μεταβολή της πίεσεως}) + \\ & + \text{μεταβολή της} \left(\frac{\text{κινητικής ενέργειας}}{\text{όγκο}} \right) = 0 \end{aligned}$$

Με άλλα λόγια, η ροή σε οριζόντιο σωλήνα εκφράζεται απ' τη σχέση:

$$p + \left(\frac{1}{2} \frac{mv^2}{V} \right) = \text{σταθερό} \quad (1)$$



Σχ. 5.1α
Εκχυτήρας.

¹ Εκχυτήρας είναι αντλία που εκβάλλει, εκκύνει με ορμή ένα ρευστό. Όταν το ρευστό που διαρρέει τον εκχυτήρα είναι νερό, μπορεί να έχει λάβει και την ονομασία και ως educator.

² Giovanni Battista Venturi, Ιταλός φυσικός (1746–1822).

³ Daniel Bernoulli: Ολλανδός μαθηματικός (1700–1782).

γνωστή και ως **εξίσωση του Bernoulli** όπου, p η πίεση, $\frac{1}{2} \rho v^2$ η κινητική ενέργεια και V ο όγκος.

Το πηλίκο $m/V = \rho$, όπου: ρ η σταθερή πυκνότητα του ρευστού¹, η εξίσωση του Bernoulli² για ροή σε οριζόντιο σωλήνα ενός (ασυμπίεστου) ρευστού εκφράζεται ως:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{σταθερό} \quad (2)$$

Τότε σε έναν σωλήνα με μεταβλητή διατομή (σχ. 5.1β) σύμφωνα με την εξίσωση (2) η πίεση ελαττώνεται όταν αυξάνεται η ταχύτητα. Αυτή η πρόταση ονομάζεται **Αρχή του Bernoulli**.

Η **εξίσωση της συνέχειας** για στρωτή ροή είναι $\rho A v = \text{σταθερό}$ (3). Παρόλο που κάθε παράγοντας μπορεί να μεταβάλλεται από ένα τμήμα ροής σε ένα άλλο, το γινόμενο τους παραμένει σταθερό. Αν θεωρήσουμε δύο σημεία που τα ονομάζουμε 1 και 2, η εξίσωση (3) είναι ισοδύναμη με την $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$ (4). Για σχεδόν ασυμπίεστα υγρά, οι παράγοντες ρ_1 και ρ_2 είναι περίπου ίσοι. Άρα η εξίσωση (4) γράφεται απλούστερα: $A_1 v_1 = A_2 v_2$ ($\rho = \text{σταθερή}$) (5). Το γινόμενο $A \cdot v$, με διαστάσεις (μήκος)³/χρόνος, είναι η παροχή, δηλαδή ο όγκος του ρευστού που περνάει από ένα σημείο ενός σωλήνα στη μονάδα του χρόνου. Για ασυμπίεστα ρευστά, τόσο η ροή της μάζας όσο και η παροχή είναι σταθερές σε έναν σωλήνα. Η εξίσωση (3) [ή η ισοδύναμη της εξίσωση (4)] είναι γνωστή ως **εξίσωση της συνέχειας**.

Η εξίσωση της συνέχειας συνδέει την ταχύτητα και τη διατομή. Για τις περιοχές που ορίζονται ως 1 και 2 στο σχήμα 5.1β, η εξίσωση του Bernoulli μπορεί να γραφεί:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (6)$$

Από την εξίσωση της συνέχειας [$A_1 v_1 = A_2 v_2$ ($\rho = \text{σταθερή}$)] λαμβάνουμε ότι:

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) v_1 \quad (7)$$

Αν αντικαταστήσουμε την ταχύτητα v_2 της εξίσωσης (6), με το δεξί μέλος της εξίσωσης (7), η εξίσωση (6) εκφράζεται ως εξής:

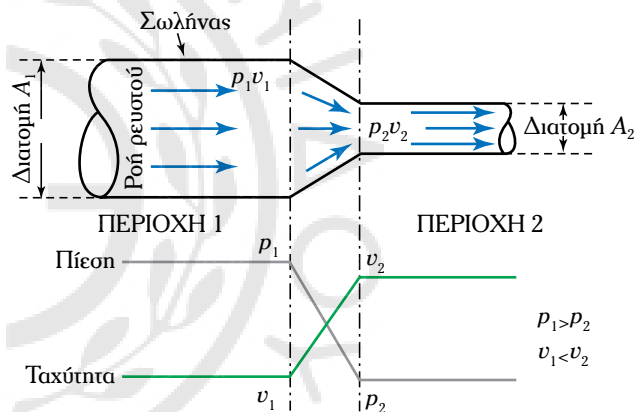
$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] \cdot v_1^2 \quad (8)$$

Η εξίσωση αυτή χρησιμεύει σε μια μέθοδο καθορισμού της ταχύτητας ροής με βάση τη μέτρηση της πίεσης, με δεδομένο ότι ο σωλήνας του σχήματος 5.1γ έχει παντού σταθερή διατομή A_1 , εκτός από μια μικρή περιοχή, όπου παρουσιάζει μια στένωση στο εμβαδόν του A_2 . Τα εμβαδά A_1 και A_2 είναι γνωστά και η διαφορά πίεσης $p_1 - p_2$ μπορεί να μετρηθεί. Τότε η ταχύτητα v_1 στο ομοιόμορφο τμήμα του σωλήνα μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (9)$$

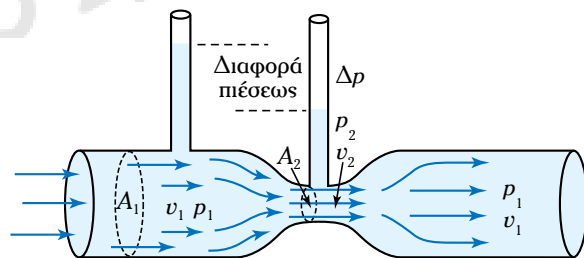
ο οποίος προκύπτει απευθείας από την εξίσωση (8).

Η Αρχή του Bernoulli εφαρμόζεται στον **σωλήνα Venturi**, που είναι ένας σωλήνας με διατομή A_1 που συγκλίνει σε διατομή A_2 . Στη συνέχεια αποκλίνει



Σχ. 5.1β

Σωλήνας με διατομή A_1 και A_2 .



Σχ. 5.1γ

Σωλήνας Venturi.

¹ Για ένα ασυμπίεστο ρευστό η σχέση $\rho = \Delta m / \Delta V$ ισχύει για οποιονδήποτε πεπερασμένο όγκο.

² Κατά μήκος του πεδίου ροής το άθροισμα της στατικής, της δυναμικής και της υψομετρικής πίεσης παραμένει σταθερό p , όπου: p η στατική πίεση, $1/2 \rho \cdot v^2$ (ρ πυκνότητα, v ταχύτητα) η δυναμική πίεση, $\rho g h$ η υψομετρική πίεση (h υψομετρική διαφορά). Σε οριζόντια ροή η υψομετρική πίεση παραμένει σταθερή ($h = 0$) κατά μήκος της και η αρχή του Bernoulli γίνεται $p + 1/2 \rho v^2 = \text{σταθερό}$.

και με δύο σωλήνες, οι οποίοι συνδέονται ένας στο αποκλίνον και ένας στο συγκλίνον τμήμα (σχ. 5.1γ), που χρησιμοποιείται στη λειτουργία των εκχυτήρων. Σύμφωνα με τους νόμους της υδροδυναμικής, η ταχύτητα ενός ρευστού θα πρέπει να αυξηθεί, καθώς διέρχεται μέσω μίας συστολής, ώστε να ικανοποιηθεί η διατήρηση της ενέργειας, αυξάνοντας την κινητική ενέργεια του ρευστού. Το όφελος όμως σε κινητική ενέργεια του ρευστού, που μπορεί να προκύψει λόγω της αυξήσεως στην ταχύτητά του μέσω της συστολής, αναιρείται με την πώση της πίεσεως.

Έτσι, στον σωλήνα Venturi, το ρευστό με υψηλή πίεση διερχόμενο από το τμήμα του σωλήνα που στενεύει (συγκλίνον) αυξάνει την ταχύτητά του, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η πίεση. Στη συνέχεια, καθώς εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα στο ευρύ τμήμα του σωλήνα (αποκλίνον) μειώνεται η ταχύτητα και αυξάνεται η πίεση.

Η χαμηλή πίεση στο στενό τμήμα του σωλήνα συνεπάγεται πώση της πίεσεως και δημιουργεί κενό αναρροφήσεως από τον σωλήνα που συνδέεται σ' αυτό. Αποτέλεσμα είναι στο ευρύ τμήμα του σωλήνα, μετά την εξαγωγή από τη συστολή, να έχουμε ένα μείγμα του ρευστού υψηλής πίεσεως και του ρευστού που αναρροφάται στο στενό τμήμα του σωλήνα.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1γ, χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Bernoulli, για ασυμπίεστα ρευστά η θεωρητική πώση στην πίεση ($p_1 - p_2$) κατά τη συστολή θα δοθεί από τη σχέση:

$$\frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (10)$$

όπου: ρ η πυκνότητα του ρευστού, v_1 η ταχύτητα του ρευστού στο ευρύ τμήμα του σωλήνα (χαμηλή) και v_2 η ταχύτητα του ρευστού στο στενό τμήμα του σωλήνα (υψηλή).

Αυτό προϋποθέτει ότι το ρευστό, το οποίο εκτός από υγρό μπορεί να είναι κονιορτοποιημένο υλικό π.χ. τοιμέντο, άμμος, μέταλλευμα, κάρβουνο κ.ά., δεν είναι σημαντικά συμπίεσιμο, παρά τις διακυμάνσεις στην πίεση, και η πυκνότητα αναμένεται να παραμείνει σταθερή.

5.2 Η λειτουργία των εκχυτήρων.

Σύμφωνα με την Αρχή του Bernoulli «*όταν η ταχύτητα ενός ρευστού αυξάνεται, η πίεση μειώνεται και αντίστροφα*». Αυτό επιτυγχάνεται όταν το ρευστό διέρχεται μέσω ενός συγκλίνοντος ακροφυσίου (σχ. 5.2α). Σ' αυτό φαίνεται ένας σωλήνας με ένα επι-

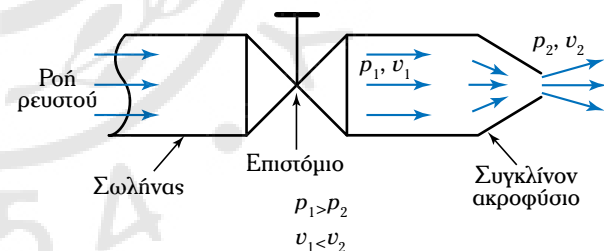
στόμιο, που διαρρέεται από ρευστό υπό πίεση και η κατάθλιψή του γίνεται στο περιβάλλον.

Στην πλευρά της κατάθλιψεως τοποθετείται ένα ακροφύσιο, ενώ η άλλη πλευρά του σωλήνα συνδέεται με την πηγή παροχής του ρευστού. Όταν το επιστόμιο ανοίξει, το ρευστό διέρχεται απ' τον σωλήνα και εξέρχεται από το ακροφύσιο, με αποτέλεσμα, καθώς το ρευστό εκτοξεύεται, να κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα (v_2) απ' αυτήν που κινείται μέσα στον σωλήνα και με μικρότερη πίεση (p_2) αντίστοιχα. Έτσι, μέσω του συγκλίνοντος ακροφυσίου η πίεση θα μετατραπεί σε κινητική ενέργεια (ταχύτητα).

Αν είχαμε τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε τον αέρα που περιβάλλει το ακροφύσιο στην κατάθλιψη του ρευστού, θα βλέπαμε να δημιουργείται μία μικρή δίνη ρεύματος αέρα, που οφείλεται στην εκτόξευση του ρευστού, καθώς μεταδίδει μέρος της κινητικής του ενέργειας στον αέρα που το περιβάλλει.

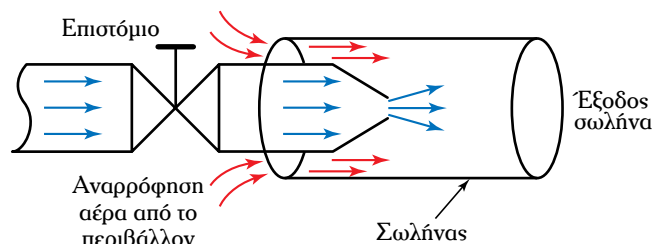
Τοποθετώντας έναν σωλήνα γύρω από την εξαγωγή του ακροφυσίου παρατηρείται ότι τα δυνητικά ρεύματα εξαφανίζονται και δημιουργείται μία σταθερή ροή αέρα που κινείται μέσα στον σωλήνα, με την ίδια κατεύθυνση με το ρευστό, το οποίο καταθλίβεται από το ακροφύσιο (σχ. 5.2β).

Καλύπτοντας τον σωλήνα που περιβάλλει το ακροφύσιο στην πλευρά αναρροφήσεως του αέρα και αφήνοντας μόνο μία είσοδο στον σωλήνα, δημι-



Σχ. 5.2α

Κατάθλιψη ρευστού μέσω ακροφυσίου στο περιβάλλον.



Σχ. 5.2β

Σωλήνας που περιβάλλει το ακροφύσιο.

ουργείται αναρρόφηση από την ελεύθερη είσοδο και κατάθλιψη προς την έξοδο του σωλήνα (σχ. 5.2γ). Έτσι, στη βασική μορφή λειτουργίας ενός εκχυτήρα, χρησιμοποιείται η διαθέσιμη ενέργεια της ταχύτητας που αναπτύσσεται από τη μετατροπή της πίεσης στο ακροφύσιο.

Το ρευστό που εκτοξεύεται υπό πίεση λειτουργεί ως αντλία για το δευτερεύον ρευστό που αναρροφάται. Αυτό συμβαίνει διότι, καθώς το ρευστό εξέρχεται απ' το ακροφύσιο με υψηλή ταχύτητα, προσκρούει στο δευτερεύον ρευστό και μεταδίδει μέρος της κινητικής του ενέργειας, αναγκάζοντάς το να κινηθεί προς την ίδια κατεύθυνση.

Με τον ίδιο τρόπο, το ρευστό υψηλής πίεσης p του σχήματος 5.2δ διερχόμενο από το συγκλίνον ακροφύσιο Α, με διατομή Δ , αποκτά υψηλή ταχύτητα και χαμηλή πίεση, ενώ στη συνέχεια εξερχόμενο από το ακροφύσιο αναμειγνύεται με το ρευστό που το περιβάλλει.

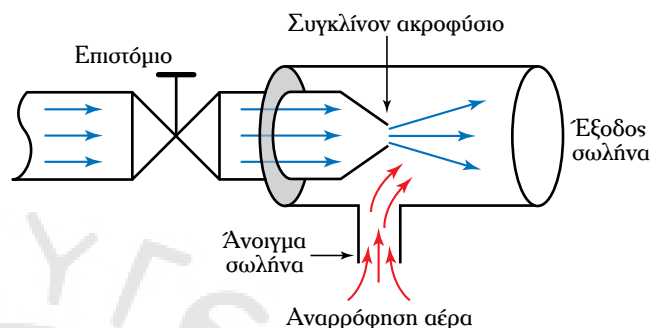
Η διαφορά στην πίεση, εξωτερικά της εξαγωγής του ακροφυσίου με την κατάθλιψη των δύο ρευστών, δημιουργεί κενό στον θάλαμο Θ που το περιβάλλει. Το κενό έχει ως αποτέλεσμα την αναρρόφηση του ρευστού N , διότι στην επιφάνειά του ασκείται ατμοσφαιρική πίεση. Αν ο οχετός O , όπου οδηγείται το μείγμα, είναι ένα αποκλίνον ακροφύσιο, η αύξηση της διατομής θα προκαλέσει πτώση της ταχύτητας, με συνέπεια την αύξηση της πίεσης. Το αποκλίνον ακροφύσιο ονομάζεται **διαχυτήρας**.

Το σύστημα συγκλίνοντος ακροφυσίου, θαλάμου και οχετού καταθλίψεως λειτουργεί μέσω του σωλήνα αναρροφήσεως Σ , που συνδέεται στον θάλαμο, ως αντλία για το ρευστό N .

Έτσι, οι εκχυτήρες είναι αντλίες, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην υψηλή ταχύτητα ενός ρευστού μέσου, που εκτοξεύεται σε έναν κυκλικό οχετό

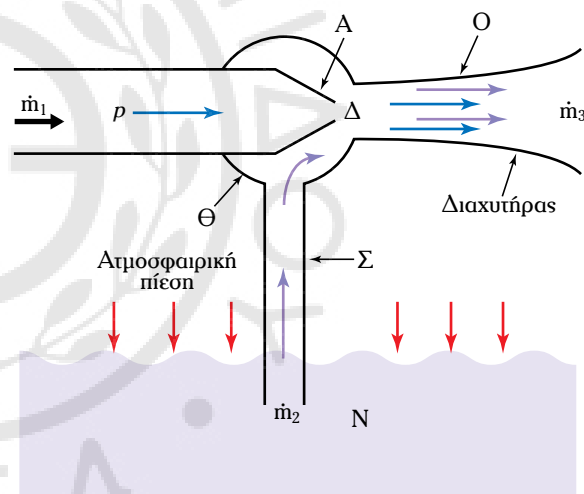
συμπαράσυνοντας το ρευστό που υπάρχει γύρω από αυτό (σχ. 5.2ε).

Στον οχετό τα δύο ρευστά αναμειγνύονται προοδευτικά και η υψηλή ταχύτητα του ρευστού λειτουργίας αρχίζει να μειώνεται, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πίεση του μείγματος στο αποκλίνον ακροφύσιο σε επίπεδο ανάλογο της πίεσης του δικτύου.



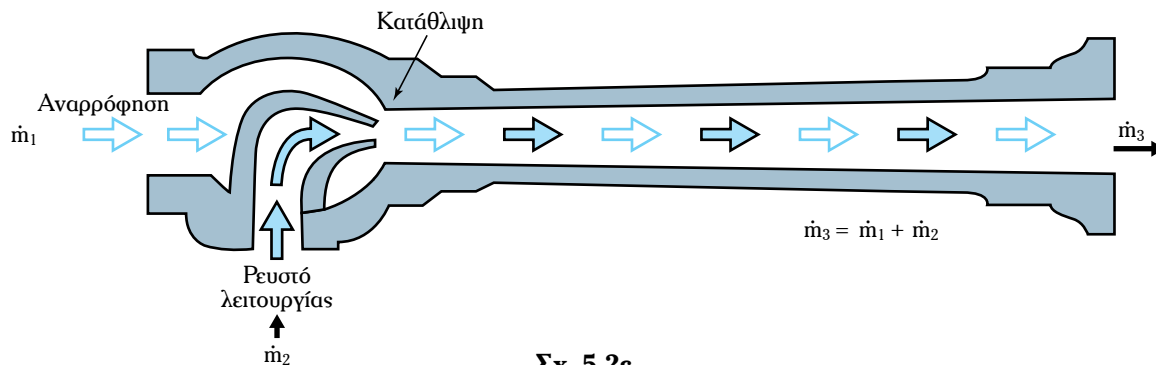
Σχ. 5.2γ

Αναρρόφηση αέρα από άνοιγμα σε πλευρά του σωλήνα.



Σχ. 5.2δ

Αναρρόφηση ρευστού από εκχυτήρα.



Σχ. 5.2ε

Λειτουργία εκχυτήρα.

Η λειτουργία του εκχυτήρα και οι μεταβολές στην πίεση και στην ταχύτητα του ρευστού παριστάνονται σταδιακά στο σχήμα 5.2στ όπου:

α) Στο διάγραμμα (α) παρουσιάζεται η διακύμανση στην πίεση του ρευστού λειτουργίας και του ρευστού που αναρροφάται. Με την έξοδο του ρευστού λειτουργίας απ' το ακροφύσιο η πίεση ελαττώνεται δημιουργώντας το κενό αναρροφήσεως (διάστημα 1). Τα δύο ρευστά αναμειγνύονται στο συγκλίνον τμήμα της χοάνης (διάστημα 2), ενώ στη συνέχεια η πίεση του μείγματος αυξάνεται σταδιακά στο αποκλίνον τμήμα (διάστημα 3).

β) Αντιθέτως, στο διάγραμμα (β) η ταχύτητα του ρευστού λειτουργίας αυξάνεται κατά την έξοδό του από το ακροφύσιο (διάστημα 1). Καθώς αναμειγνύεται με το ρευστό που αναρροφάται, η ταχύτητά του ελαττώνεται, ενώ η ταχύτητα του ρευστού που αναρροφάται αυξάνεται, με το μείγμα να ρέει με μία ενδιάμεση ταχύτητα (διάστημα 2). Τελικά, η ταχύτητα του μείγματος ελαττώνεται με τη διέλευσή του από το αποκλίνον τμήμα της χοάνης (διάστημα 3).

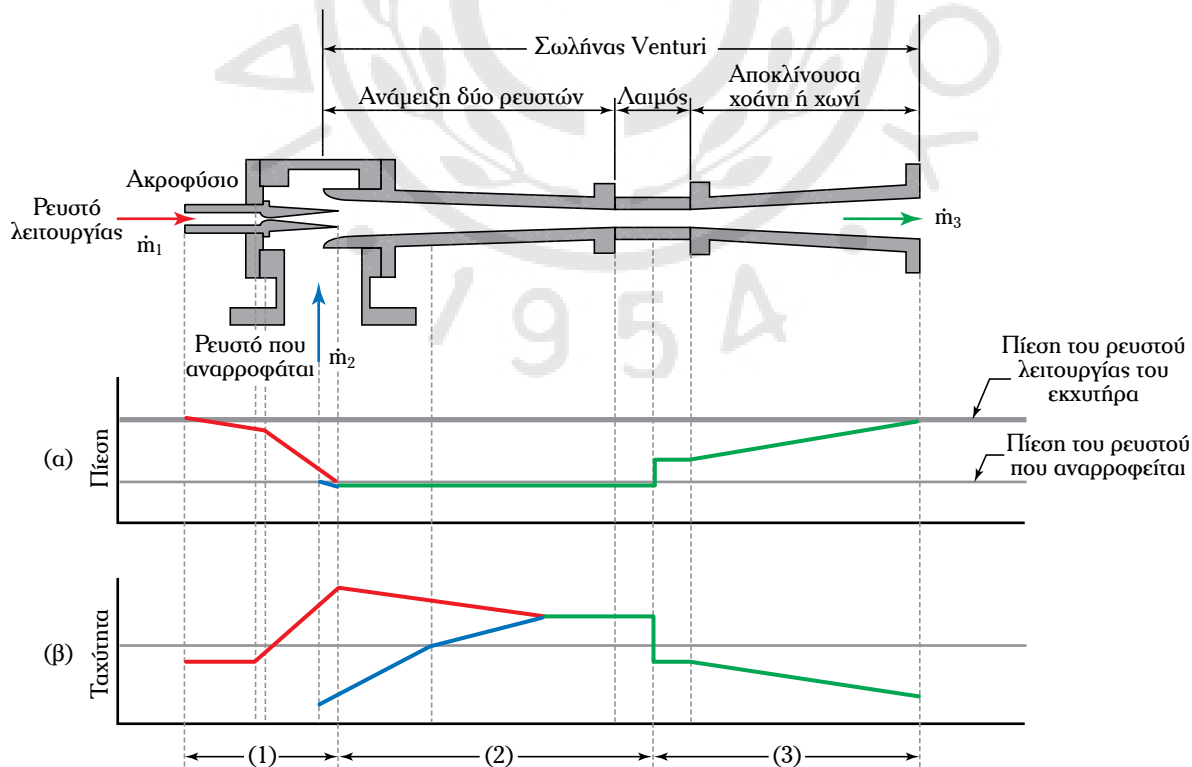
5.2.1 Ρευστά λειτουργίας εκχυτήρων.

Το ρευστό που χρησιμοποιείται στη λειτουργία ενός εκχυτήρα μπορεί να είναι ατμός, νερό ή αέρας,

με την πίεση παροχής του να είναι πάντα μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, προκειμένου:

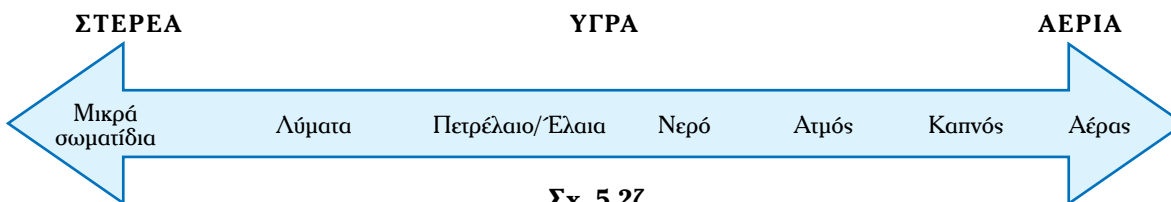
α) Όταν το **διερχόμενο ρευστό είναι ατμός** υψηλής πίεσεως (p_1) που εκτονώνεται, μέσω ενός συγκλίνοντος ακροφυσίου, σε χαμηλότερη πίεση (p_2), μέρος της θερμικής του ενέργειας να μετατρέπεται σε κινητική (όπως γνωρίζουμε από τη Θερμοδυναμική) και να εκδηλώνεται ως ταχύτητα του ατμού. Η ταχύτητα που αποκτά ο ατμός διερχόμενος από αυτό, εξαρτάται από την αντίστοιχη πτώση πίεσεως για μια συγκεκριμένη διατομή και η πτώση της πίεσεως από p_1 σε p_2 έχει αντίστοιχη αύξηση της ταχύτητας από v_1 σε v_2 . Η μεγαλύτερη τιμή της ταχύτητας επιτυγχάνεται κατά την έξοδο του ατμού από το ακροφύσιο, ενώ το βάρος του διερχόμενου ατμού είναι το ίδιο σε οποιαδήποτε διατομή του.

β) Όταν το **διερχόμενο ρευστό είναι νερό**, η ενέργεια του ακροφυσίου να είναι ανάλογη δίκως να πραγματοποιείται εκτόνωση, όπως στον ατμό, και να αποτελεί το πιο αποδοτικό μέσο για τη λειτουργία ενός εκχυτήρα. Η ταχύτητά του στην έξοδο του ακροφυσίου είναι μεγαλύτερη από εκείνη που είχε στη είσοδό του και αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης του ακροφυσίου στη διατομή διόδου, εφόσον ο διερχόμενος όγκος (και συνεπώς και το



Σχ. 5.2στ

Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας εκχυτήρα.



Σχ. 5.2ζ

Φάσμα εφαρμογής εκχυτήρων.

βάρος του νερού λόγω της διατηρήσεως της μάζας¹⁾ είναι ο ίδιος. Έτσι, η ενέργεια πίεσεως του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια.

γ) Όταν το **διερχόμενο ρευστό είναι αέρας**, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για τη λειτουργία ενός εκχυτήρα, όταν πρόκειται να πραγματοποιηθεί άντληση αερίων ή κονιαμάτων.

5.2.2 Εφαρμογές εκχυτήρων.

Οι εκχυτήρες έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως στην άντληση ενός υγρού, ενός στερεού σε μορφή μικρών σωματιδίων ή σκόνης και στη δημιουργία κενού (σχ. 5.2ζ). Ειδικότερα αντλώντας:

α) **Στερεά σωματίδια** (small particles) π.χ. άμμο ή σκόνη, τοιμένο ή κάρβουνο.

β) **Ρευστά** όπως τα **λύματα**, τα **παιρέλαια** και **λιπαντικά**, των οποίων η άντληση με εκχυτήρες μειώνει τους κινδύνους εκρήξεων και το νερό που αντλείται από δεξαμενές.

γ) **Αέρια** όπως οι **αναθυμιάσεις πετρελαιοειδών** που αντλούνται απ' τις δεξαμενές εξαλείφοντας τον κίνδυνο εκρήξεων, η **άντληση καπνού** και ο **εξαερισμός** κλειστών χώρων, καθώς και η **άντληση του αέρα** από φυγοκεντρικές αντλίες πριν την εκκίνηση με σκοπό τη **δημιουργία κενού**, όπου και όταν αυτό απαιτείται (π.χ. βραστήρες, ψυγεία συμπυκνώματος κ.λπ.).

5.3 Εκχυτήρες – Σχεδιασμός και κατάταξη εκχυτήρων.

Οι εκχυτήρες είναι στατικές αντλίες και αποτελούνται από τα εξής τρία βασικά τμήματα (σχ. 5.3):

α) Τον **θάλαμο** ή το **σώμα** (house), που αποτελεί το κεντρικό τμήμα ενός εκχυτήρα. Σ' αυτό γίνεται η αναρρόφηση και η ανάμειξη των ρευστών.

β) Τον **διαχυτήρα** (diffuser), που είναι το αποκλίνον ακροφύσιο απ' όπου διέρχεται το μείγμα του

ρευστού λειτουργίας και το ρευστό που αναρροφάται και αποτελεί την έξοδο του εκχυτήρα.

γ) Το **ακροφύσιο** (nozzle), που βρίσκεται στο εσωτερικό του θαλάμου, με σκοπό να ρυθμίζει την εκτόξευση του ρευστού λειτουργίας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις στην απόδοση που πρέπει να επιτευχθούν διαφοροποιούνται οι διαστάσεις του ακροφυσίου.

Ανάλογα με το μέγεθός τους οι εκχυτήρες ενδέχεται να απαρτίζονται από περισσότερα τμήματα. Σε κάθε όμως περίπτωση διατηρούν τα βασικά τους χαρακτηριστικά.

Οι εκχυτήρες κατατάσσονται σε:

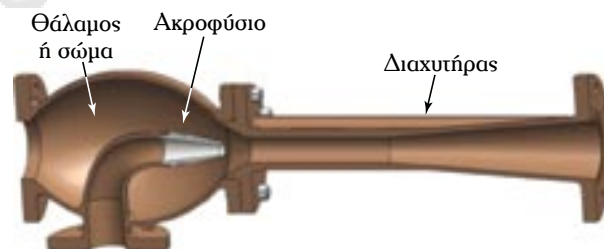
α) **Εξαγωγικούς** απλούς εκχυτήρες, όταν η κατάθλιψή τους γίνεται στο περιβάλλον.

β) **Εισαγωγικούς** εκχυτήρες, όταν η κατάθλιψή τους γίνεται σε περιβάλλον όπου επικρατεί πίεση, με αποτέλεσμα να υπερνικούν μια **αντίθλιψη**²⁾.

γ) **Ανυψωτικούς**, όταν αναπτύσσεται κενό στον σωλήνα της αναρροφήσεώς τους κατά την εκκίνηση.

δ) **Μη ανυψωτικούς** (ή παροχικούς), όταν δεν αναπτύσσεται κενό στην αναρρόφηση και τοποθετούνται πάντα κάτω απ' τη στάθμη του ρευστού, το οποίο πρόκειται να αντληθεί.

ε) **Μονοσταδιακούς** ή **μονοφασικούς**, όταν χρησιμοποιείται ένα ακροφύσιο διελεύσεως του ρευστού για τη λειτουργία του εκχυτήρα. Είναι σχεδιασμένοι έτσι, ώστε η αναρρόφησή τους να γίνεται από περιβάλλον λειτουργίας κενού 760 mmHg (απόλυτο)³⁾ ή ίσο με την ατμοσφαιρική πίεση.



Σχ. 5.3

Τμήματα εκχυτήρα.

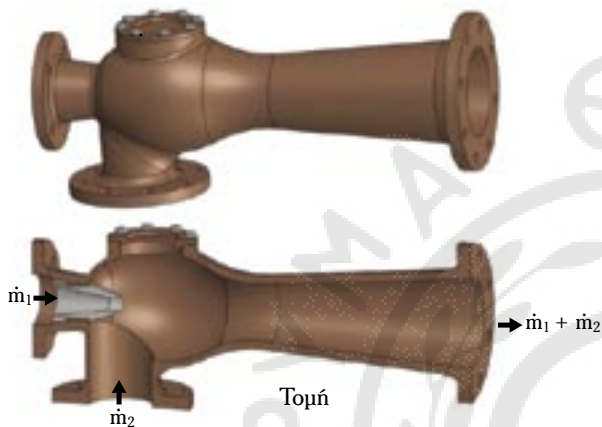
¹⁾ Όση μάζα Δm πέρασε από το σημείο W στο χρονικό διάστημα Δt, τόσο πρέπει να περάσει στον ίδιο χρόνο από το σημείο Q.

²⁾ Αντίθλιψη ονομάζεται η αντίσταση στην κατάθλιψη π.χ. όταν προσπαθούμε να καταθλίψουμε ένα ρευστό σε μια δεξαμενή που βρίσκεται υπό πίεση.

³⁾ Bar (απόλυτο) = 760 mm Hg (απόλυτο).

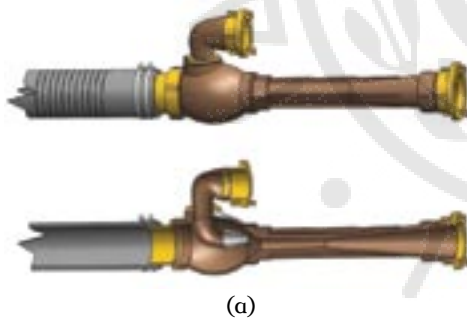
γ) **Εκχυτήρες ακαθαρσιών ή αποχετεύσεως** (σχ. 5.4δ), οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να επιτρέπουν τη διέλευση μεγάλων σωματιδίων από τον θάλαμο και τον οχετό αναμειγξέως της εξαγωγής του εκχυτήρα. Ο ίδιος τύπος εκχυτήρα είναι κατάλληλος για την απομάκρυνση της στάχτης από τους αποτεφρωτές, αλλά και για την άντληση υγρών από τις σεντίνες.

δ) **Φορητοί εκχυτήρες** (portable ejectors) (σχ. 5.4ε), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην άντληση ρευστών από χώρους, όταν η μόνιμη εγκατάστασή



Σχ. 5.4δ

Εκχυτήρας ακαθαρσιών.



(α)



(β)

Σχ. 5.4ε

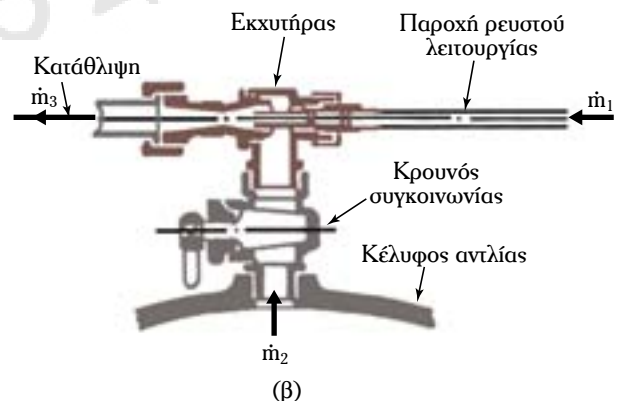
Φορητός εκχυτήρας. (α) Τομή και (β) σχηματική παράσταση εφαρμογής φορητού εκχυτήρα.

τους δεν είναι απαραίτητη. Το ρευστό μέσο για τη λειτουργία τους είναι το νερό ή ο αέρας. Η σύνδεσή τους στο σύστημα αντλήσεως γίνεται με ευκάμπτους συνθετικούς σωλήνες (μάνικες) και χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό ή την εκκένωση δεξαμενών με μικρή ποσότητα υγρών.

ε) **Εκχυτήρες προπληρώσεως αντλιών** (priming ejectors) (σχ. 5.4στ), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την απαγωγή του αέρα και την πλήρωση των φυγοκεντρικών αντλιών πριν την εκκίνησή τους και για πολύ μικρές ανάγκες αναρροφήσεως. Τοποθετούνται στο κέλυφος της αντλίας και το ρευστό λειτουργίας τους είναι ο ατμός ή το νερό που παρέχεται στον εκχυτήρα πριν την εκκίνηση της αντλίας [σχ. 5.4στ(β)]. Η κατάθλιψη του εκχυτήρα πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρα ή στην κατάθλιψη της αντλίας μετά τη βαλβίδα (επιστόμιο) εξαγωγής, που πρέπει να παραμένει κλειστή έως την πλήρωσή της. Η πλήρωση της αντλίας γίνεται αντιληπτή απ' την



(α)



(β)

Σχ. 5.4στ

Εκχυτήρας προπληρώσεως αντλιών. (α) Τομή και (β) εγκατεστημένος σε κέλυφος αντλίας.

κατάθλιψη νερού στην εξαγωγή του εκχυτήρα. Τότε απομονώνεται ο εκχυτήρας, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εκκίνηση της αντλίας, ενώ ταυτόχρονα ανοίγεται η βαλβίδα καταθλίψεως της.

στ) **Εκχυτήρες άλμης** (desalt/brine ejectors) (σχ. 5.4ζ) οι οποίοι είναι ειδικά σχεδιασμένοι εκχυτήρες, ώστε να απομακρύνουν την άλμη από τους βραστήρες δημιουργώντας ταυτόχρονα το κενό για τη λειτουργία τους.

ζ) **Εκχυτήρες εξαερισμού** (venting ejectors) (σχ. 5.4η), που χρησιμοποιούνται για την άντληση μεγάλης ποσότητας αερίων απ' τις δεξαμενές φορτίου ή το μηχανοστάσιο και

η) **εκχυτήρες κενού** (vacuum ejectors) ή εκχυτήρες αέρα (σχ. 5.4θ), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κενού με απαγωγή του αέρα που εισέρχεται στο δίκτυο σε εγκαταστάσεις ατμού. Το ρευστό λειτουργίας τους είναι ο ατμός και χρησιμοποιούνται είτε με τη μορφή απλού **ενισχυτή κενού** (vacuum augments), είτε σε συνδυασμό με αεραντλία ή σε συνδυασμό με το σύστημα πολυσταδιακών εκχυτήρων κενού. Επίσης, εναλλακτικά το ρευστό λειτουργίας τους μπορεί να είναι το νερό.

Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής του εκχυτήρα που θα εγκατασταθεί σ' ένα σύστημα, ώστε η απόδοσή του να ανταποκρίνεται στα επιθυμητά επίπεδα είναι:

α) Το **ύψος αναρροφήσεως**, που είναι η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του ρευστού έως την είσοδο του εκχυτήρα.

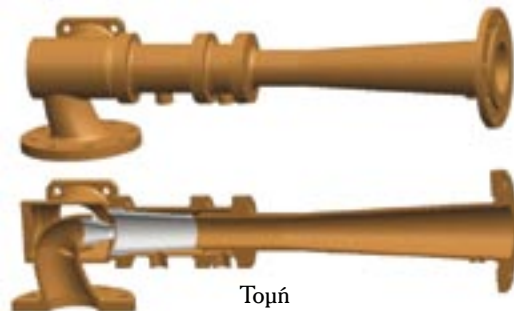
β) Το **ύψος καταθλίψεως**, που είναι η κατακόρυφη απόσταση από τον εκχυτήρα μέχρι το υψηλότερο σημείο ανόδου του ρευστού και

γ) η **πίεση του ρευστού λειτουργίας** του.

Τα υλικά, από τα οποία κατασκευάζονται τα διάφορα τμήματα των εκχυτήρων πλοίων είναι ο χαλκός, το κράμα αλουμινίου και χαλκού και το ανοξείδωτο ατσάλι, ώστε να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση. Τα ακροφύσια μπορεί να είναι κατασκευασμένα από διαφορετικό υλικό απ' ό,τι το σώμα και αυτό εξαρτάται από το ρευστό λειτουργίας τους και τις καταπονήσεις που δέχονται απ' τη μεγάλη ταχύτητα του ρευστού που τα διαρρέει.

5.5 Οι εκχυτήρες αέρα και οι εφαρμογές τους.

Οι εκχυτήρες αέρα χρησιμοποιούνται για να αφαιρέσουν τον αέρα από τα ψυγεία των εγκαταστάσεων ατμού και, δημιουργώντας υψηλό κενό, να αυξήσουν την απόδοση του συστήματος. Το ρευστό για τη λειτουργία τους είναι ο ατμός. Η απόδοσή τους, καθώς και η διατήρηση του κενού εξαρτάται από:



Τομή

Σχ. 5.4ζ

Εκχυτήρας άλμης.



Τομή

Σχ. 5.4η

Εκχυτήρας εξαερισμού.



Σχ. 5.4θ

Εκχυτήρας κενού.

α) Την πίεση παροχής του ατμού και τη διατήρησή της σε σταθερό επίπεδο κατά τη λειτουργία τους.

β) Την αντίσταση στην κατάθλιψη (αντίθλιψη) απ' την πίεση που επικρατεί στον χώρο εξαγωγής του εκχυτήρα και

γ) τη στεγανότητα του συστήματος στην πλευρά της αναρροφήσεως.

Οι μεταβολές των παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα και ανάλογες μεταβολές στην απόδοση του εκχυτήρα και στην τιμή του κενού που επιτυγχάνεται.

Για την απομάκρυνση του αέρα και των διαλυμένων αερίων απ' τον συμπυκνωτή χρησιμοποιούνται οι **εκχυτήρες ατμού** (steam-jet ejectors). Σ' αυτούς τους εκχυτήρες ατμός υψηλής πίεσεως διέρχεται από το ακροφύσιο, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ταχύτητά του. Ένα ποσοστό της κινητικής ενέργειας που μεταφέρεται με την εκτόξευση του ατμού, μεταδίδεται στον αέρα που παρασύρεται και περνάει μαζί με τον ατμό λειτουργίας του εκχυτήρα μέσα απ' τον συγκλινόντα/αποκλινόντα **διαχυτήρα** και εκτονώνεται.

Έτσι, δημιουργείται ένα ρεύμα αναρροφίσεως του αέρα με μεγαλύτερη ταχύτητα. Το μείγμα αέρα-ατμού διερχόμενο από τον εκχυτήρα προς την έξοδο του αποκλίνοντος ακροφυσίου μεταβάλλει την ταχύτητα, αυξάνοντας την πίεση.

Οι εκχυτήρες αέρα είναι χαμηλής πίεσεως καταθλίψεως, διότι αναρροφούν αέρα με πίεση ίση προς την απόλυτη πίεση που αναπτύσσεται στο ψυγείο, ενώ η κατάθλιψή τους γίνεται με πίεση λίγο μεγαλύτερη απ' την ατμοσφαιρική, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή στην ατμόσφαιρα.

Η μέγιστη ποσοστιαία αναλογία στη μεταβολή της πίεσεως, που επιτυγχάνεται σ' ένα **στάδιο**¹ με τη χρήση εκχυτήρα είναι περίπου 5:1, φτάνοντας τα 630–690 mmHg ή περίπου 27" της στήλης υδραργύρου. Προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό κενό της τάξεως των 724 mmHg–740 mmHg, δηλαδή 97–99%, και η κατανάλωση του ατμού να διατηρείται χαμηλή είναι αναγκαία η χρήση δύο ή τριών εκχυτήρων σε σειρά.

Όταν χρησιμοποιούνται δύο ή τρεις εκχυτήρες σε σειρά, ο πρώτος αναρροφά από το ψυγείο, ενώ το μείγμα ατμού και αέρα από την κατάθλιψή του αποτελεί την αναρρόφηση για το επόμενο στάδιο. Αντίστοιχα, η κατάθλιψη του δεύτερου σταδίου αποτελεί την

αναρρόφηση του τρίτου όταν χρησιμοποιούνται τρεις εκχυτήρες.

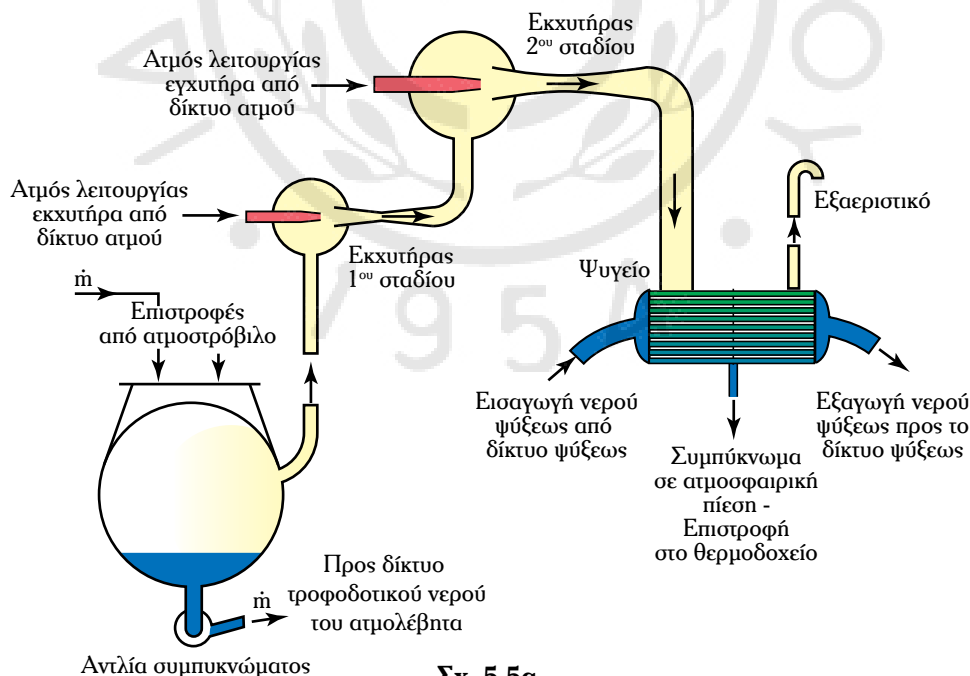
Η ψύξη του μείγματος στην εξαγωγή κάθε σταδίου εκχυτήρα πραγματοποιείται με νερό που μπορεί να είναι θάλασσα από το δίκτυο ψύξεως του πλοίου ή το ίδιο το συμπύκνωμα του ψυγείου.

Η ψύξη του μείγματος εξαγωγής με το συμπύκνωμα του κύριου ψυγείου αποτελεί την ασφαλέστερη μέθοδο, αποτρέποντας την ανάμειξη με άλατα του τροφοδοτικού νερού σε περίπτωση διαρροής του δικτύου.

Το συμπύκνωμα στη συνέχεια οδηγείται στο δίκτυο συμπυκνώματος, ενώ ο αέρας απομακρύνεται και καταθλίβεται στην ατμόσφαιρα μέσω εξαεριστικού που βρίσκεται στην επάνω πλευρά του ψυγείου συμπυκνώματος.

Οι διάφοροι τρόποι διατάξεως των εκχυτήρων αέρα βασίζονται στη ίδια αρχή λειτουργίας. Αυτοί είναι:

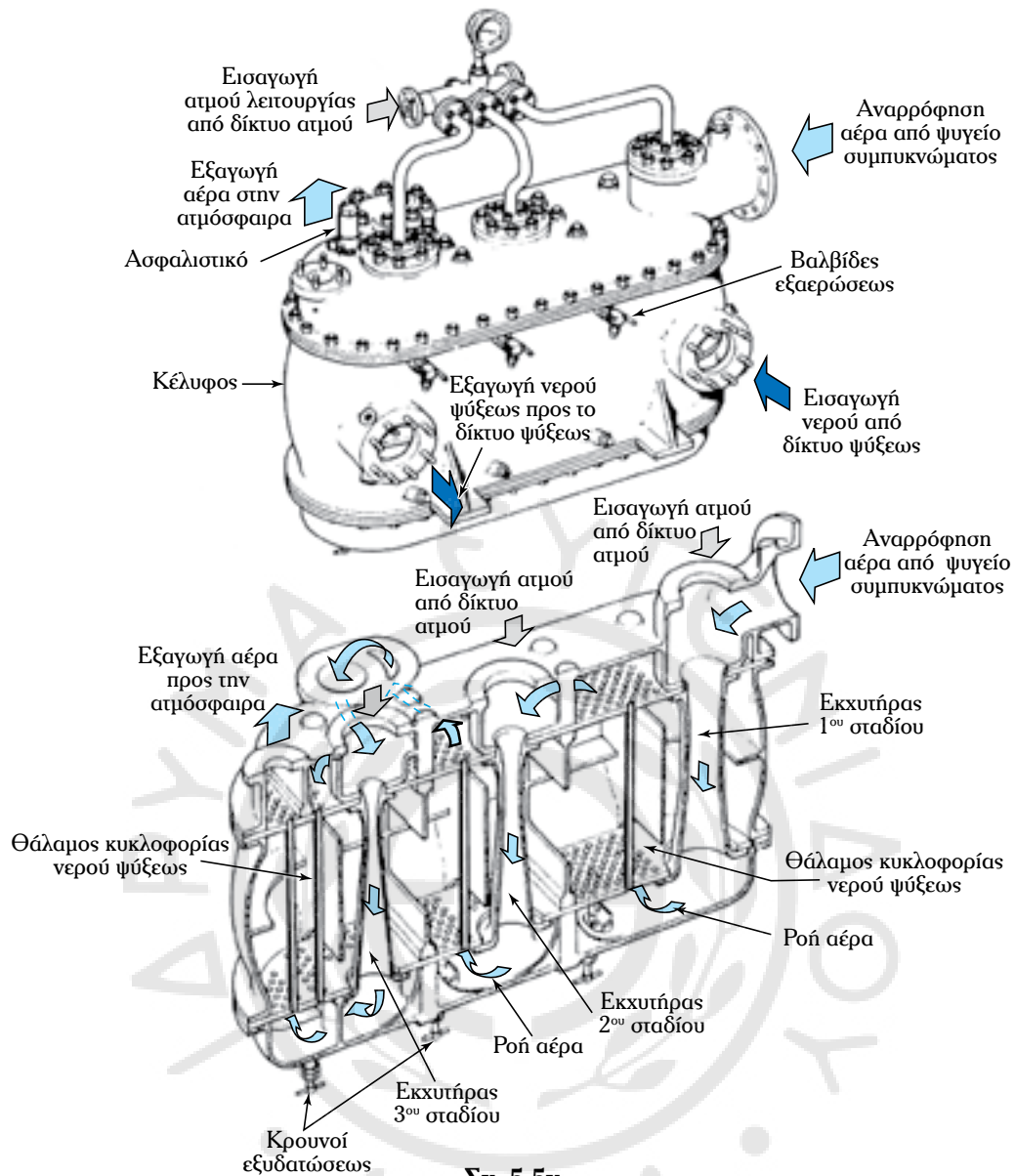
α) **Ο δισταδιακός εκχυτήρας με ένα τελικό ψυγείο.** Η αναρρόφηση του αέρα και των μη συμπυκνωμένων ατμών του εκχυτήρα 1^{ου} σταδίου γίνεται από το κύριο ψυγείο. Η εξαγωγή του μείγματος αποτελεί την αναρρόφηση στον εκχυτήρα 2^{ου} σταδίου (σχ. 5.5α), ενώ η τελική ψύξη γίνεται από το ψυγείο εκχυτήρων, απ' όπου το συμπύκνωμα και ο αέρας μέσω του εξαεριστικού απομακρύνονται υπό ατμοσφαιρική πίεση.



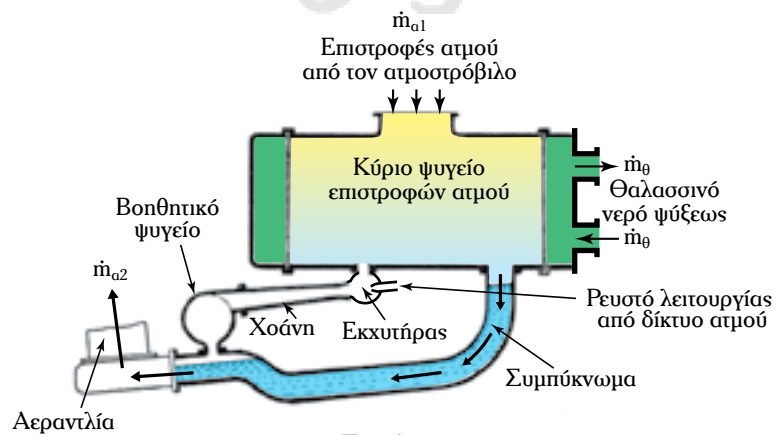
Σχ. 5.5α

Δισταδιακός εκχυτήρας.

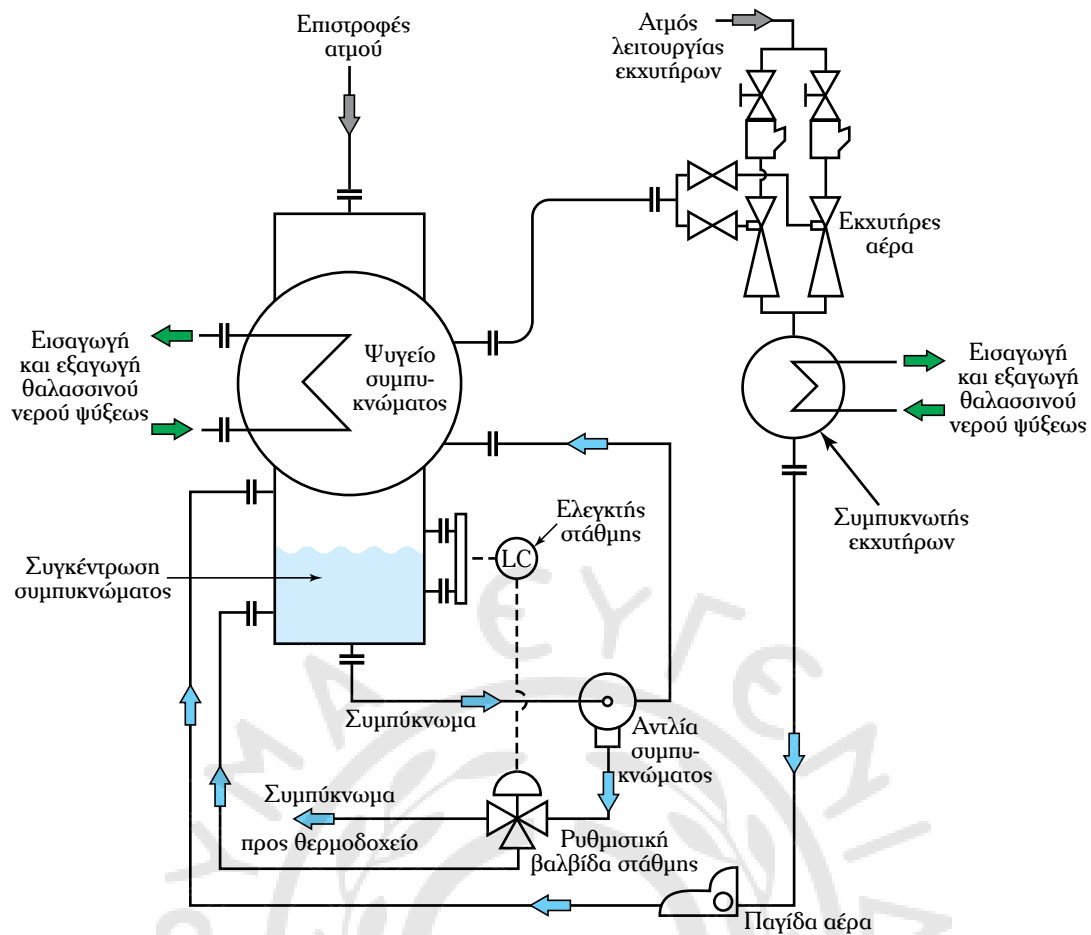
¹ Ως στάδιο ορίζεται η μεταβολή στην τιμή του κενού, που επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός εκχυτήρα. Έτσι, δισταδιακή διάταξη εκχυτήρων έχουμε όταν δύο εκχυτήρες είναι σε σειρά και η εξαγωγή του ενός είναι η εισαγωγή στον επόμενο, τρισταδιακή ή τριών σταδίων όταν έχουμε τρεις εκχυτήρες στη σειρά κ.ο.κ..



Σχ. 5.5γ
Πολυσταδιακός εκκυτήρας.

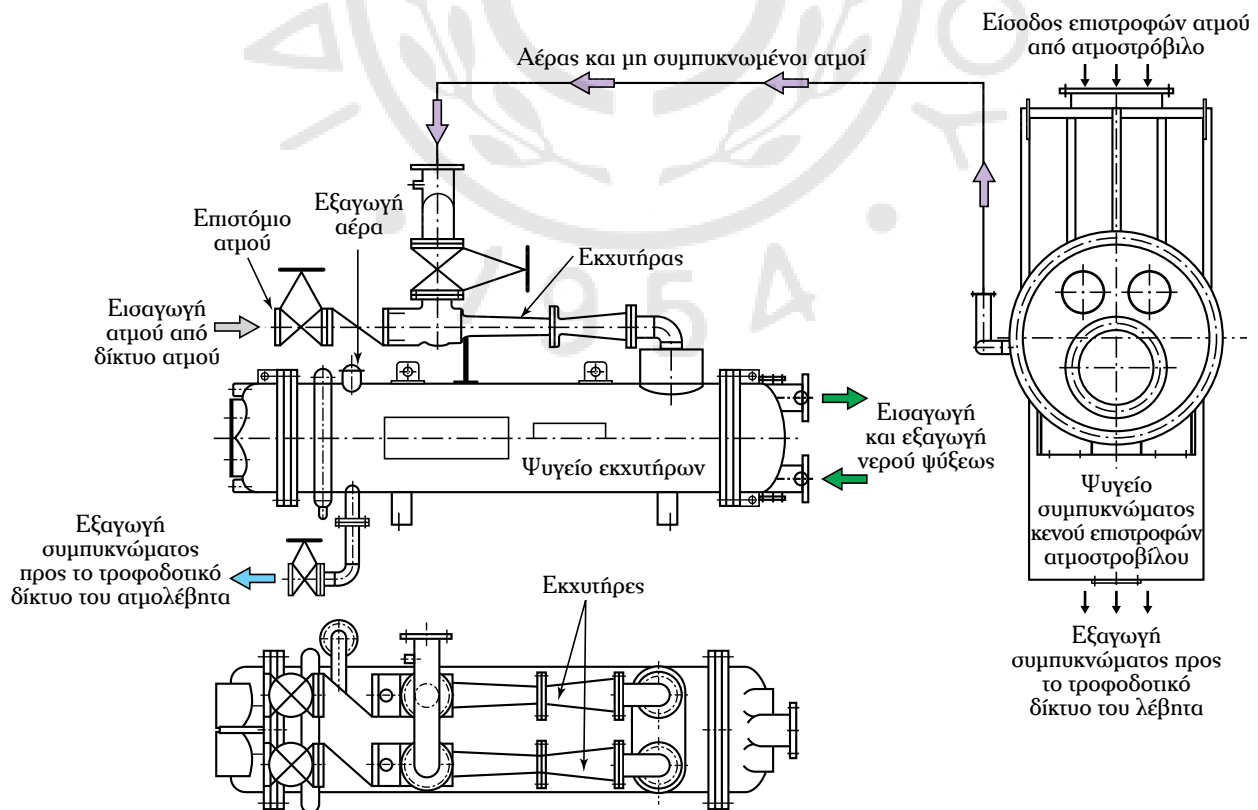


Σχ. 5.6α
Ἐνισχυτής κενού.



Σχ. 5.7α

Σχεδιάγραμμα εγκαταστάσεως εκχυτήρων.



Σχ. 5.7β

Εκχυτήρες σε παράλληλη διάταξη και ψυγείο εκχυτήρων.

μα αέρα και μη συμπυκνωμένων ατμών στο ψυγείο συμπυκνώματος των εκχυτήρων.

Ο αριθμός των εκχυτήρων που χρησιμοποιούνται είναι δύο, παράλληλα συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Οι εκχυτήρες λειτουργούν με ατμό πίεσεως 13–16 kg/cm², ενώ κάθε ένας έχει την ικανότητα να αναπτύξει κενό στο ψυγείο συμπυκνώματος κατά τη λειτουργία των αντλιών, που φτάνει τα 530 mmHg.

Οι εκχυτήρες αναρροφούν τον αέρα και τους μη συμπυκνωμένους ατμούς από το κύριο **ψυγείο συμπυκνώματος** (vacuum condenser). Η εξαγωγή του καταθλίβεται στο **βοηθητικό ψυγείο συμπυκνώματος** (air ejector condenser). Το συμπύκνωμα που συλλέγεται σ' αυτό επιστρέφει στο κύριο ψυγείο και μέσω της αντλίας συμπυκνώματος καταθλίβεται στο θερμοδοχείο. Ο αέρας απομακρύνεται μέσω εξαεριστικού που τοποθετείται στο κέλυφος του ψυγείου των εκχυτήρων, ενώ η ψύξη του μείγματος πραγματοποιείται με θαλασσινό νερό απ' το δίκτυο θάλασσας του πλοίου.

Το απαιτούμενο κενό στο ψυγείο του συμπυκνωτή για την ομαλή λειτουργία του συστήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μόνο εκχυτήρα, χωρίς αυτό να αποκλείει την παράλληλη λειτουργία περισσότερων του ενός.

Στο σχήμα 5.7γ παρουσιάζεται το δίκτυο ενός Δ/Ξ με στροβιλαντλίες για το φορτίο. Αυτό περιλαμβάνει:

- α) Την **εγκατάσταση των εκχυτήρων**.
- β) Το **ψυγείο των εκχυτήρων**.
- γ) Τις **επιστροφές απ' το δίκτυο ατμού**.
- δ) Τις **επιστροφές απ' το δίκτυο των εξατμίσεων** απ' τους στροβίλους των αντλιών εκφορτώσεως.
- ε) Το **κύριο ψυγείο των επιστροφών ατμού** (vacuum condenser).

5.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εκχυτήρων.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι εκχυτήρες αποτελούν ένα είδος στατικής αντλίας, της οποίας η λειτουργία βασίζεται στην εκμετάλλευση της πίεσεως ενός ρευστού για την άντληση ενός άλλου, χωρίς να χρησιμοποιούνται κινούμενα εξαρτήματα.

Οι εκχυτήρες παρουσιάζουν τα ακόλουθα **πλεονεκτήματα** έναντι των υπολοίπων δυναμικών και θετικής εκτοπίσεως αντλιών (εμβολοφόρες, περιστροφικές, φυγοκεντρικές):

- α) Είναι συμπαγείς κατασκευές με μεγάλη διάρκεια ζωής.
- β) Δεν αποτελούνται από κινούμενα εξαρτήματα,

επομένως δεν παρουσιάζουν μεγάλη φθορά.

- γ) Δεν απαιτείται συχνή συντήρησή τους.
- δ) Είναι απλοί στην κατασκευή.
- ε) Είναι εύκολη η τοποθέτηση και η λειτουργία τους.
- στ) Έχουν χαμηλό αρχικό κόστος.
- ζ) Είναι δυνατόν να κατασκευάζονται από οποιοδήποτε είδος μετάλλου.
- η) Είναι ανθεκτικοί σε διαβρωτικά ρευστά.
- θ) Έχουν απλή εκκίνηση και κράτηση.

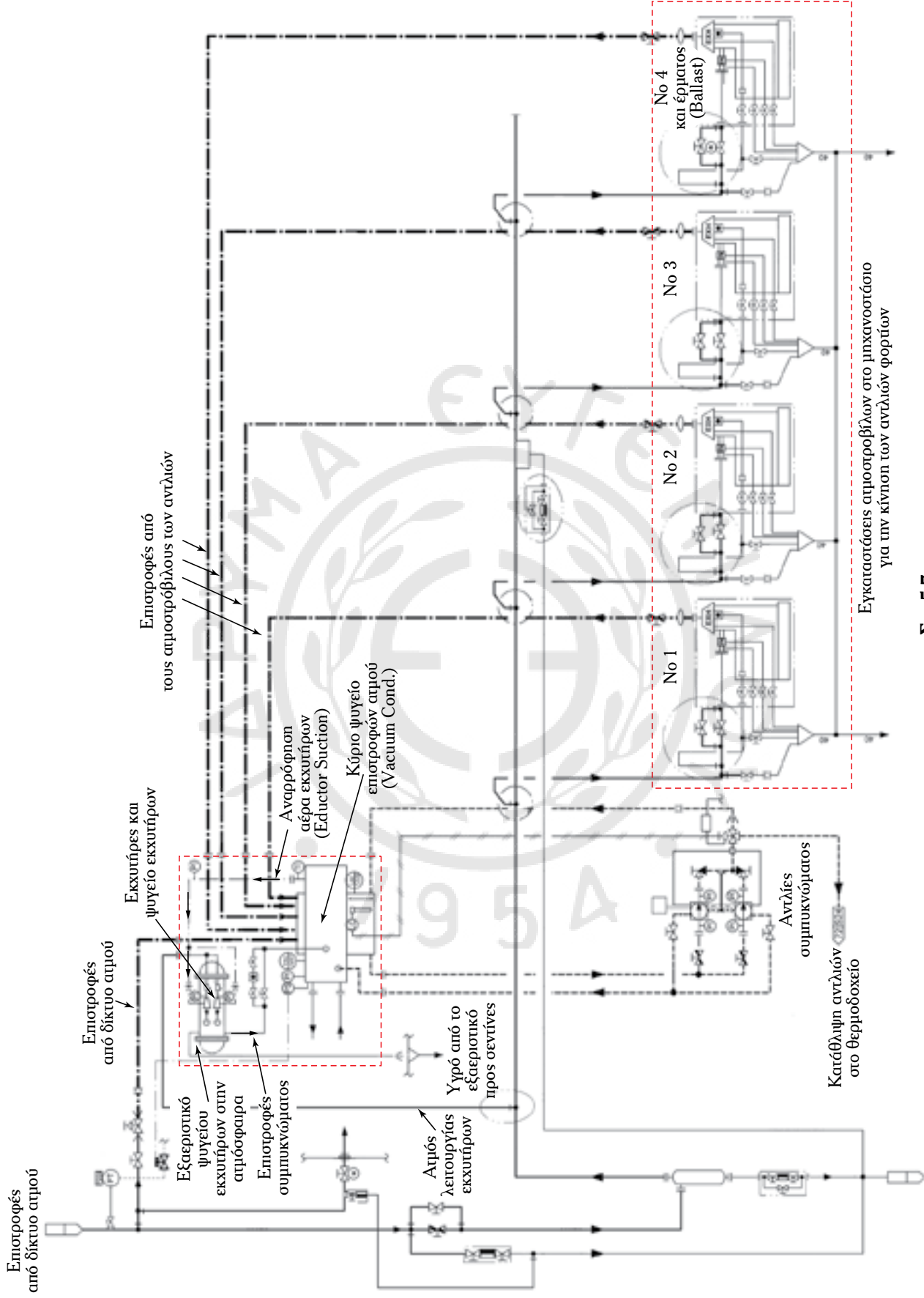
Με βάση αυτά τα πλεονεκτήματα οι εκχυτήρες έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως στα κύττα των πλοίων όπου η λειτουργία και η προσέγγιση για τη συντήρηση μιας αντλίας είναι δύσκολη. Προσφέρουν ασφάλεια στην άντληση και στην κυκλοφορία ευφλέκτων υγρών εξαλείφοντας τους κινδύνους εκρήξεων. Επίσης, οι εκχυτήρες που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο δημιουργίας κενού και κυκλοφορίας νερού των λεβήτων δεν προκαλούν μεγάλες μεταβολές στη θερμοκρασία του νερού.

Τα **μειονεκτήματά** τους είναι τα εξής:

- α) Μικρή απόδοση και μεγάλη κατανάλωση όταν απαιτείται ατμός για τη λειτουργία τους.
- β) Διακυμάνσεις στην απόδοση σε απότομες μεταβολές της πίεσεως και της θερμοκρασίας των ρευστών.
- γ) Είναι αναπόφευκτη η ανάμειξη των ρευστών. Πιθανές ανωμαλίες κατά τη λειτουργία των εκχυτήρων προκαλούνται από:
- α) Τη φθορά του **ακροφυσίου** (nozzle) ή του **διαχυτήρα** [κοινώς χοάνη (diffuser)], η οποία αντιμετωπίζεται με την αντικατάστασή του, όπου είναι δυνατόν.

- β) Την πτώση πίεσεως του ρευστού λειτουργίας.
- γ) Την αναρρόφηση αέρα απ' το περιβάλλον λόγω διαρροής στο δίκτυο αναρροφήσεως.
- δ) Τη φραγή του ακροφυσίου ή της χοάνης από ξένα σώματα, όπου γίνεται αποσυναρμολόγηση και καθαρισμός.

- ε) Τη λανθασμένη τοποθέτηση.
- στ) Τη μεγάλη υψομετρική διαφορά της αναρροφήσεως ή της καταθλίψεως.
- ζ) Τις τριβές των ρευστών στο ακροφύσιο και τη χοάνη, που προκαλούν φθορά στους εκχυτήρες, οπότε απαιτείται η αντικατάστασή τους. Για την αποδοτική λειτουργία τους, πρέπει να ελέγχεται η πίεση του ρευστού λειτουργίας και η στεγανότητα των συνδέσεων, ώστε να προλαμβάνεται η αναρρόφηση του αέρα απ' το περιβάλλον.

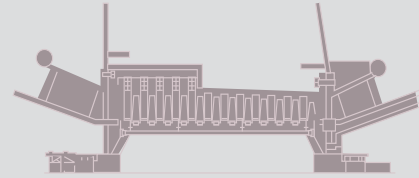


Σχ. 5.7γ

Διάταξη δίκτυου Δ/Ε με σιροβιτανλίες για το φορτίο.

Κεφάλαιο 6

Αεροσυμπιεστές



6.1 Εισαγωγή.

Η χρήση αέρα υπό πίεση έχει πολλές εφαρμογές στα πλοία. Για να επιτευχθεί όμως η επιθυμητή αύξηση στην πίεση χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα, οι **αεροσυμπιεστές** (air compressors). Τα μηχανήματα αυτά αναρροφούν αέρα από το περιβάλλον, τον συμπιέζουν σε πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και τον καταθλίζουν κατ' ευθείαν στη μηχανή που τον χρησιμοποιεί ή σε κατάλληλα διαμορφωμένες δεξαμενές αποθηκεύσεως, τα **αεροφυλάκια** ή **αεροφιάλες**. Οι κυριότερες εφαρμογές της χρήσεως του συμπιεσμένου αέρα είναι για την:

- α) Εκκίνηση των ΜΕΚ.
- β) Τροφοδότηση αεριοστροβίλων.
- γ) υπερπλήρωση διχρόνων και τετραχρόνων ΜΕΚ.
- δ) Πλήρωση και λειτουργία αεροκωδώνων.
- ε) Λειτουργία αεροθαλάμων συμπλέκτη-αναστροφέα, σε μηχανές μικρών πλοίων.
- στ) Λειτουργία αεροκινήτων αντλιών.
- ζ) Παροχή αέρα στα πνευματικά συστήματα.
- η) Πλήρωση φιαλών λειτουργίας δικτύων, π.χ. ποσίμου και υγιεινής.
- θ) Τροφοδότηση αέρα λειτουργίας λεβήτων.
- ι) Λειτουργία πέδης ελικοφόρων αξόνων.
- ια) Τον αερισμό δικτύων και δεξαμενών υγρού φορτίου δεξαμενοπλοίων (Δ/Ξ).

ιβ) Την λειτουργία αεροκινήτων εργαλείων, όπως αεροτρύπανα, αεροκόπιδα κ.λπ..

ιγ) Η γενική χρήση σε καθαρισμούς και αποφράξεις.

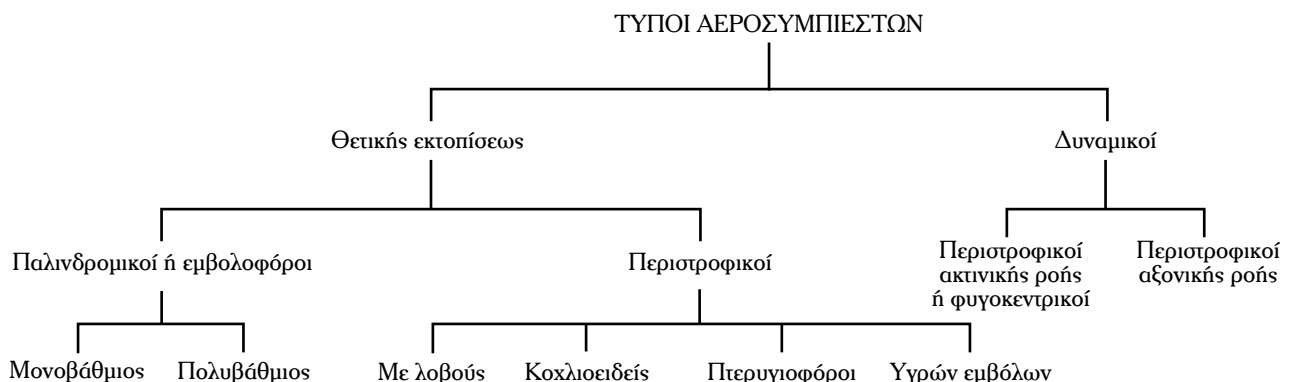
6.2 Τύποι αεροσυμπιεστών.

Οι συμπιεστές λόγω των ποικίλων αναγκών που εξυπηρετούν, έχουν ανάλογο τρόπο λειτουργίας. Έτσι, σύμφωνα μ' αυτόν ταξινομούνται, είτε ως **μηχανές** (θετικής) εκτοπίσεως όγκου, που είναι οι παλινδρομικοί και οι περιστροφικοί συμπιεστές είτε ως μηχανές που μεταβάλλουν την κινητική σε δυναμική ενέργεια, που είναι οι φυγοκεντρικοί ή ακτινικής ροής και οι συμπιεστές αξονικής ροής (σχ. 6.2α).

Ανάλογα με τον τρόπο που συμπιέζουν τον αέρα ταξινομούνται στους εξής τρεις τύπους:

α) Στους **παλινδρομικούς** ή **εμβολοφόρους αεροσυμπιεστές** (reciprocating air compressors), στους οποίους ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο του συμπιεστή με αναρρόφηση, λόγω του κενού που δημιουργείται απ' την κίνηση του εμβόλου και συμπιέζεται όταν το έμβολο κινείται αντίθετα (σχ. 6.2β).

Σ' έναν κύκλο λειτουργίας, το έμβολο του αεροσυμπιεστή κάνει δύο διαδρομές, τη διαδρομή αναρροφήσεως και τη διαδρομή συμπίεσεως, με την πίεση του αέρα να αυξάνεται, καθώς μειώνεται ο όγκος



Σχ. 6.2α

Ταξινόμηση αεροσυμπιεστών.

από την κίνηση του εμβόλου. Η πίεση που αποκτά ο αέρας κατά τη συμπίεση εξαρτάται από τη σχέση του ολικού όγκου του κυλίνδρου προς τον όγκο του θαλάμου συμπίεσεως, η οποία αποτελεί τον βαθμό συμπίεσεως του κυλίνδρου. Οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές διακρίνονται σε **απλής ενέργειας**, όταν η συμπίεση του αέρα πραγματοποιείται με τη χρήση της μίας όψεως του εμβόλου ή σε **διπλής ενέργειας** όταν χρησιμοποιούνται οι δύο όψεις του εμβόλου.

β) Στους **περιστροφικούς αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως** (rotary compressors), που είναι συμπιεστές με σταθερή παροχή εκτοπίσεως όγκου αέρα σε **υψηλή πίεση** (positive displacement). Η πίεση επιτυγχάνεται με:

- Κατάλληλα διαμορφωμένα περιστροφικά έμβολα που ονομάζονται **λοβοί** (rotary lobe compressors).
- Ολισθαίνοντα περιστρεφόμενα περύγια (sliding rotary vane compressors).
- Σπειροειδή (ή κοκλιοειδή) έμβολα (rotary screw compressors).
- Περιστροφικά υγρά έμβολα (rotary liquid piston compressors).

Κατά τη λειτουργία των συμπιεστών αυτού του τύπου, τα έμβολα, οι έλικες ή τα περύγια, ανάλογα με τον τύπο, περιστρέφονται αναρροφώντας τον αέρα και στη συνέχεια τον συμπιέζουν στην κατάθλιψή τους.

γ) Στους **περιστροφικούς αεροσυμπιεστές ροής**, που οφείλουν το όνομά τους στη διεύθυνση

ροής που έχει ο αέρας κατά τη διέλευσή του μέσα στον συμπιεστή. Αυτή δύναται να είναι:

- Ακτινική, οπότε ονομάζονται **ακτινικής ροής** ή **φυγοκεντρικοί αεροσυμπιεστές** (centrifugal air compressors).
- Αξονική, οπότε ονομάζονται **αξονικής ροής** ή **αξονικοί αεροσυμπιεστές** (axial air compressors).

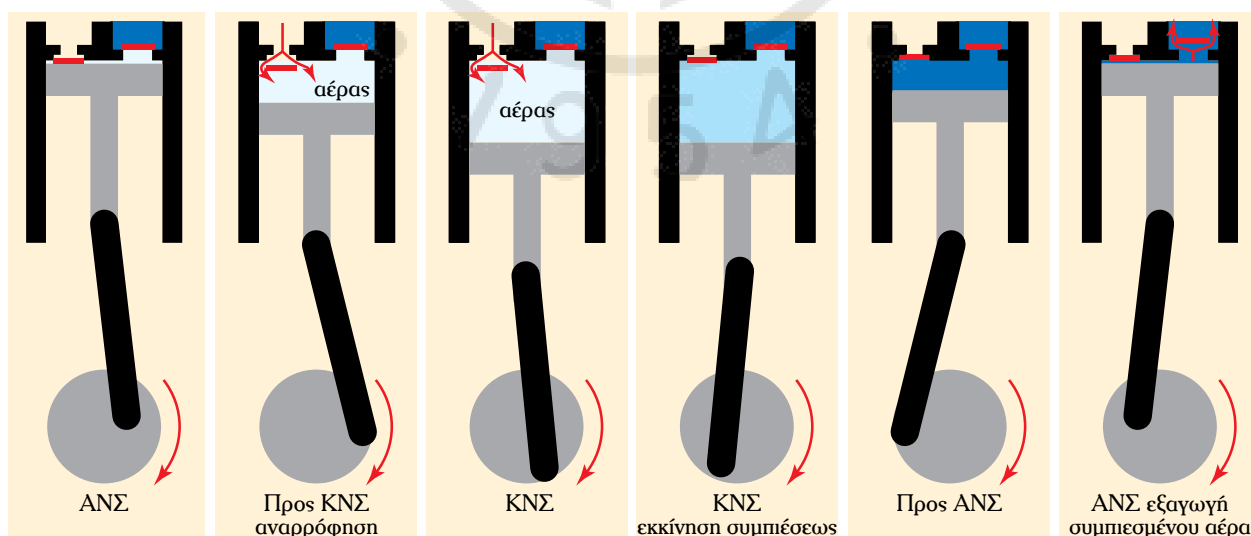
Στους περιστροφικούς αεροσυμπιεστές ροής η συμπίεση επιτυγχάνεται με την περιστροφή του ενός ή των περισσοτέρων στροφείων (rotors) απ' τα οποία αποτελείται ο συμπιεστής.

Συγκριτικά, οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές παρέχουν την υψηλότερη πίεση, ενώ ακολουθούν οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως και μετά οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές ροής.

Οι τρεις αυτοί τύποι προσδιορίζονται με περισσότερη λεπτομέρεια παρακάτω (παράγρ. 6.3, 6.4 και 6.5) ανάλογα με:

α) Τον **αριθμό των φάσεων** ή των **σταδίων** ή των βαθμίδων, στις οποίες επιτυγχάνεται η συμπίεση. Έτσι:

- Όταν η συμπίεση πραγματοποιείται σε ένα στάδιο διακρίνονται σε μονοφασικούς ή **μονοσταδιακούς** ή **μονοβάθμιους** (single-stage compressors).
- Όταν η συμπίεση πραγματοποιείται σε δύο ή περισσότερα στάδια διακρίνονται σε πολυφασικούς ή πολυσταδιακούς ή **πολυβάθμιους** (double or multi stage compressors).



ΑΝΣ: Άνω Νεκρό Σημείο ΚΝΣ: Κάτω Νεκρό Σημείο

Σχ. 6.2β

Αρχή λειτουργίας παλινδρομικού αεροσυμπιεστή.

β) Την **πίεση που επιτυγχάνουν**, οπότε διακρίνονται σε:

- Αεροσυμπιεστές υψηλής πίεσεως (ΥΠ).
- Αεροσυμπιεστές μέσης πίεσεως (ΜΠ).
- Αεροσυμπιεστές χαμηλής πίεσεως (ΧΠ).

γ) Τον **τρόπο κινήσεως** και τη **μέθοδο** η οποία παρέχει την απαιτούμενη ισχύ, ώστε να πραγματοποιήσουν τη συμπίεση, οπότε διακρίνονται σε:

- **Ανεξάρτητους**, οι οποίοι λαμβάνουν την κίνηση άμεσα από τον άξονα του κινητήριου μηχανήματος ή έμμεσα μέσω μειωτήρων ή τροχαλίας και ιμάντα που είναι:
 - Ηλεκτροκίνητοι με ηλεκτρικό κινητήρα.
 - Ντηζελοκίνητοι ή βενζινοκίνητοι με μηχανή πετρελαίου ή βενζίνης.
 - Ατμοκίνητοι με στρόβιλο.
- **Εξαρτημένους** από την κύρια μηχανή, οι οποίοι λαμβάνουν την κίνηση μέσω συστήματος καταλλήλων οδοντωτών τροχών.

δ) Τη **διάταξη του άξονα σε σχέση με τους κυλίνδρους** και διακρίνονται σε **οριζόντιους**, **κατακόρυφους**, **υπό γωνία** και με **κυλίνδρους σε σειρά** ή **διάταξη V** ή **διάταξη W** ή **υπερκεείμενους** με **διαφορικό έμβολο** (διάκριση η οποία αφορά μόνο στους εμβολοφόρους αεροσυμπιεστές).

ε) Την **εγκατάστασή τους**, οπότε διακρίνονται σε **μόνιμους** και **φορητούς**.

στ) Τον **τρόπο ψύξεως**, οπότε διακρίνονται και σε **αερόψυκτους**, στους οποίους η ψύξη γίνεται με αέρα, **υδροψυκτους**, στους οποίους η ψύξη γίνεται με νερό και **αεροσυμπιεστές** στους οποίους η ψύξη γίνεται με **έλαιο**.

6.3 Παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές.

6.3.1 Λειτουργία.

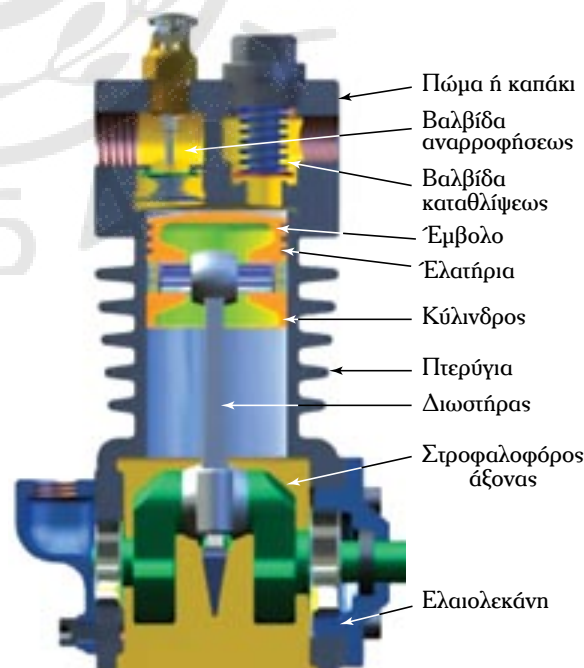
Ένας αεροσυμπιεστής αποτελείται από τον κύλινδρο και το πώμα (καπάκι) του κυλίνδρου, στο οποίο είναι τοποθετημένες δύο βαλβίδες, μία για την αναρρόφηση (Α) και μία για την κατάθλιψη (Κ) του αέρα.

Μέσα στον κύλινδρο παλινδρομεί το έμβολο που κινείται από τον στροφαλοφόρο άξονα, ο οποίος συνδέεται με το έμβολο μέσω συστήματος στροφάλου διωστήρα και πείρου (σχ. 6.3α). Η στεγανοποίηση μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου για να επιτευχθεί η συμπίεση πραγματοποιείται από ελατήρια που εφαρμόζονται στην περιφέρεια του εμβόλου.

Καθώς το έμβολο παλινδρομεί, κινούμενο από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) προς το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ), δημιουργεί κενό μέσα στον κύλινδρο. Λόγω του κενού ανοίγει η βαλβίδα της αναρροφίσεως, με αποτέλεσμα να γεμίζει αέρα. Στη βαλβίδα αναρροφίσεως εφαρμόζεται μικρής εντάσεως ελατήριο, ώστε να παραμένει κλειστή όταν ο συμπιεστής βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

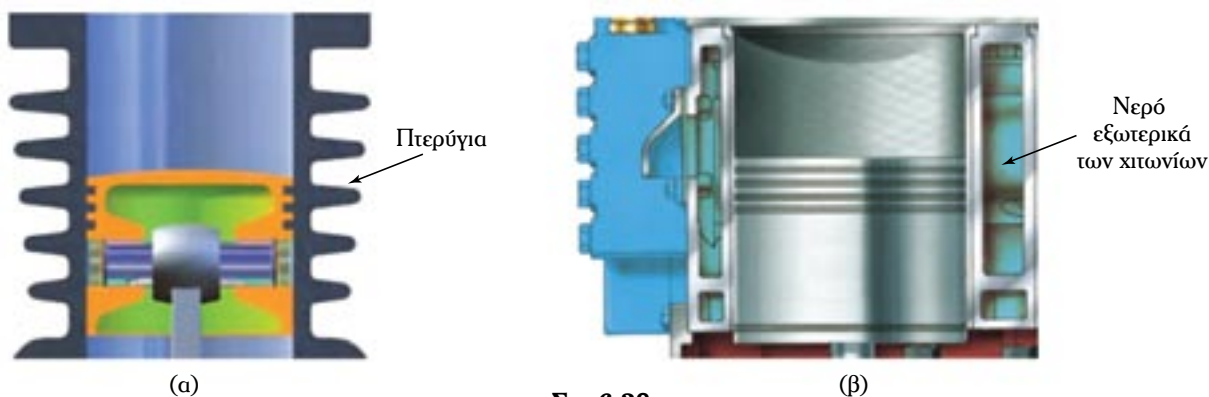
Το έμβολο φτάνει στο ΚΝΣ και αρχίζει να κινείται αντίθετα προς το ΑΝΣ. Τότε, ο αέρας που υπάρχει στον κύλινδρο αρχίζει να συμπίεζεται και η πίεση αυξάνεται σταδιακά κλείνοντας τη βαλβίδα αναρροφίσεως. Ο αέρας συμπιέζεται περισσότερο έως το σημείο που η πίεση θα υπερνικήσει τη δύναμη του ελατηρίου, που κρατά κλειστή τη βαλβίδα καταθλίψεως. Η βαλβίδα ανοίγει και ο συμπιεσμένος αέρας καταθλίβεται προς το δίκτυο για την πλήρωση του αεροφυλακίου.

Με τη συμπίεση η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται, με αποτέλεσμα τη θέρμανση του συμπιεστή. Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη της ψύξεως του κυλίνδρου, η οποία επιτυγχάνεται με την παροχή αέρα ή νερού. Όταν η ψύξη πραγματοποιείται με αέρα, οι συμπιεστές ονομάζονται **αερόψυκτοι** και ο κύλινδρος είναι κατασκευασμένος με εξωτερικά πτερύγια [σχ. 6.3β(α)], ώστε να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής με τον αέρα για αποτελεσματικότερη εναλλαγή θερμότητας. Στην προσπάθεια αποτελεσματικής ψύξεως



Σχ. 6.3α

Εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής.



Σχ. 6.3β

(α) Κύλινδρος αερόψυκτου και (β) υδρόψυκτου συμπίεστή.

τους, ο αέρας παρέχεται με την υποβοήθηση ανεμιστήρα. Η πίεση που επιτυγχάνεται σ' αυτούς τους συμπίεστες είναι μικρή, με αποτέλεσμα και η θερμοκρασία του αέρα που συμπιέζεται να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα.

Όσο όμως αυξάνονται οι απαιτήσεις σε πίεση, τόσο αυξάνεται αντίστοιχα και η συμπίεση. Η θερμοκρασία αυξάνεται ανάλογα και ο αέρας δεν επαρκεί να παρέχει την απαιτούμενη ψύξη. Σ' αυτούς τους συμπίεστες η ψύξη πραγματοποιείται με νερό. Η κυκλοφορία του νερού γίνεται με αντλία εξωτερικά των κυλίνδρων που είναι κατάλληλα κατασκευασμένοι με περιχιτώνιο θάλαμο [σχ. 6.3β(β)], καθώς και μέσα από τα κατάλληλα διαμορφωμένα για την ψύξη πώματα των κυλίνδρων. Οι αεροσυμπίεστες αυτοί ονομάζονται **υδρόψυκτοι**.

6.3.2 Μέρη του εμβολοφόρου αεροσυμπίεστή.

Τα μέρη του παλινδρομικού-εμβολοφόρου αεροσυμπίεστή είναι τα εξής:

α) Το **σύστημα συμπίεσης του αέρα**, που αποτελείται από τους **κυλίνδρους**, το **καπάκι**, τα **έμβολα**, τα **ελατήρια**, τις **βαλβίδες αναρροφήσεως** και **καταθλίψεως**.

β) Το **σύστημα κινήσεως**, που αποτελείται από τον **στροφαλοφόρο άξονα**, τους **διωστήρες**, μαζί με τους πείρους των εμβόλων, και τον **σφόνδυλο** για τη μεταφορά της κινήσεως από το κινητήριο μηχανήμα στα έμβολα των κυλίνδρων.

γ) Το **σύστημα λιπάνσεως**, που αποτελείται από την **ελαιολεκάνη**, την **αντλία ελαίου**, το **ψυγείο** και το **φίλτρο ελαίου**. Με αυτό το σύστημα λιπαίνονται οι τριβείς εδράνων και διωστήρων, οι πείροι των εμβόλων, τα χιτώνια των κυλίνδρων, οι οδοντωτοί τροχοί και οι οδηγοί των βαλβίδων. Σε μεγάλες μονάδες αεροσυμπίεστών χρησιμοποιείται ιδιαίτερη αντλία, η

οποία παρέχει έλαιο με πίεση για τη λίπανση.

δ) Το **σύστημα ψύξεως**, που αποτελείται από την αντλία νερού, το ψυγείο και το δίκτυο για την ψύξη των κυλίνδρων, των πωμάτων, του αέρα και του ελαίου λιπάνσεων.

ε) Το **σύστημα αυτόματης εκκινήσεως-κρατήσεως του αεροσυμπίεστή** ή σύστημα σταθερής πίεσεως του αέρα καταθλίψεως, που ρυθμίζει τη διάρκεια λειτουργίας του, ώστε η πίεση στον αεροθάλαμο να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα.

στ) Το **σύστημα εκφορτώσεως**, που συνεργάζεται με το προηγούμενο σύστημα. Σκοπός του είναι, ελαττώνοντας το φορτίο του κινητήριου μηχανήματος, να το προφυλάσσει από την απότομη αύξηση πίεσεως του αέρα κατά την εκκίνηση του αεροσυμπίεστή.

ζ) Τον **αυτόματο μηχανισμό κρατήσεως**, ο οποίος ελέγχει τη θερμοκρασία του νερού ψύξεως και διακόπτει τη λειτουργία του αεροσυμπίεστή όταν αυτή περάσει το όριο ασφαλείας προστατεύοντάς τον από σοβαρές βλάβες.

6.3.3 Κύκλος λειτουργίας αεροσυμπίεστή – Διάγραμμα P-V.

Ο κύκλος λειτουργίας ενός αεροσυμπίεστή, καθώς το έμβολο παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, αποτελείται από τέσσερις διαδοχικές ενεργειακές μεταβολές που είναι η **εισαγωγή**, η **συμπίεση**, η **κατάθλιψη** που και η **εκτόνωση**. Από τη Θερμοδυναμική είναι γνωστό ότι ένα ιδανικό αέριο υπόκειται στους Νόμους των Boyle's Marriote $PV = C$ και Jacques Charles $V/T = C$, όπου C σταθερό και ο συνδυασμός τους παριστάνεται από τη σχέση:

$$PV/T = C$$

Έτσι, με $PV = C$ η πίεση P είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου V , δηλαδή μειώνοντας τον όγκο

αυξάνεται η πίεση και αντίστροφα. Επίσης, όταν ο όγκος V διατηρείται σταθερός, η πίεση P είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία, ώστε αυξάνοντας την πίεση του αέρα λόγω της συμπίεσής αυξάνεται και η θερμοκρασία. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω η συμπίεση του αέρα προκαλεί την αύξηση της πίεσής και της θερμοκρασίας, καθώς ο όγκος μειώνεται¹.

Η συμπίεση του αέρα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

α) Με **ισόθερμη συμπίεση**, κατά την οποία η θερμότητα που παράγεται απομακρύνεται με τον ίδιο ρυθμό παραγωγής της, προκειμένου να διατηρείται σταθερή. Η σχέση πίεσής και όγκου τότε δίνεται απ' τον τύπο $PV^n = \text{σταθερό}$, όπου $n = 1$.

β) Με **αδιαβατική συμπίεση**, κατά την οποία δεν πραγματοποιείται μεταφορά της θερμότητας στα τοιχώματα του κυλίνδρου κατά τη συμπίεση. Στην αδιαβατική συμπίεση η σχέση πίεσής και όγκου δίνεται από την εξίσωση $PV^\kappa = \text{σταθερό}$, όπου $\kappa = Cp/Cv$ και Cp = ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση, ενώ Cv = ειδική θερμότητα σε σταθερό όγκο.

Λόγω της αδυναμίας να αποθηκευθεί όλο το έργο ως ενέργεια στον αέρα δίχως την απώλεια θερμότητας που απαιτείται στην αδιαβατική συμπίεση, όπως και λόγω της αδυναμίας να πραγματοποιηθεί η ισόθερμη, **η πραγματική συμπίεση συνιστά μια πολυτροπική διεργασία στη θερμοδυναμική**. Χαρακτηριστικά, πλησιάζει περισσότερο την αδιαβατική όπου $PV^n = \text{σταθερό}$ με τον δείκτη πολυτροπικής διεργασίας $1 < n < \kappa$.

Η **πολυτροπική διεργασία** κατά τη λειτουργία του αεροσυμπιεστή εικονίζεται στο σχήμα 6.3γ.

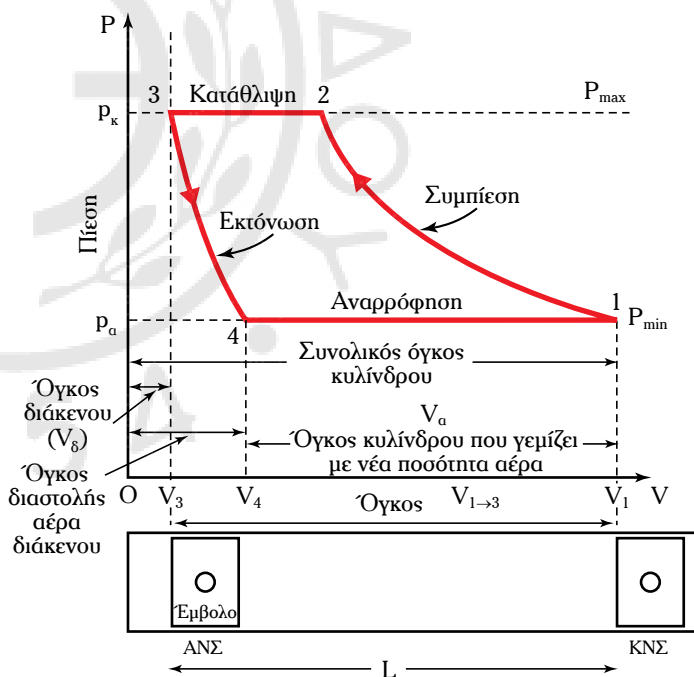
Στην πολυτροπική διεργασία, το έμβολο κινούμενο μέσα στον κύλινδρο προς το ΚΝΣ δημιουργεί έναν χώρο με όγκο V_a απ' την πραγματική διαδρομή του εμβόλου, του οποίου η πλήρωση γίνεται με την αναρρόφηση αέρα πίεσής P_1 και θερμοκρασίας T_1 .

Το έμβολο στη συνέχεια αρχίζει να κινείται προς το ΑΝΣ, με αποτέλεσμα ο όγκος που έχει δημιουργηθεί μέσα στον κύλινδρο να μειώνεται, προκαλώντας τη σταδιακή αύξηση στην πίεση και στη θερμοκρασία του αέρα. Η πίεση αυξάνεται έως το σημείο 2, ανοίγοντας την βαλβίδα εξαγωγής όπου υπερνικά την πίεση του ελατηρίου της βαλβίδας καταθλίψεως.

Η βαλβίδα παραμένει ανοικτή, όσο το έμβολο κινείται προς το ΑΝΣ, συνεχίζοντας να μειώνει τον

όγκο στον χώρο του κυλίνδρου, ενώ η πίεση παραμένει P_2 λόγω της ανοικτής βαλβίδας καταθλίψεως έως ότου ολοκληρωθεί το τμήμα 2-3 του κύκλου λειτουργίας στο σχήμα.

Το έμβολο, φτάνοντας στο ΑΝΣ, σταματά ακαριαία, αφήνοντας ένα διάκενο με όγκο V_δ πριν αρχίσει να επιστρέφει. Το διάκενο με όγκο V_δ που απομένει είναι γνωστό ως **όγκος διακένου** (clearance volume) και αποτελεί σημαντική παράμετρο του βαθμού αποδόσεως του συμπιεστή. Επίσης, προστατεύει τον συμπιεστή από σοβαρές βλάβες, που θα προκαλούσε η επαφή του εμβόλου με το καπάκι του κυλίνδρου. Στο διάγραμμα είναι το σημείο 3 στον κύκλο λειτουργίας και ακολουθεί το τμήμα του κύκλου 3-4 με το έμβολο να κινείται προς το ΚΝΣ. Στη διαδρομή αυτή, η βαλβίδα καταθλίψεως κλείνει φτάνοντας το σημείο 4 του κύκλου λειτουργίας. Σ' αυτό το σημείο η πίεση είναι ελαφρώς μικρότερη της ατμοσφαιρικής, με αποτέλεσμα να ανοίξει η βαλβίδα αναρρόφησης για την εισαγωγή νέας ποσότητας αέρα, πληρώνοντας τον χώρο που δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο (τμήμα 4-1). Ο όγκος V_a κατά



1 Κάτω Νεκρό Σημείο
3 Άνω Νεκρό Σημείο

V_{1-3} : Όγκος διαδρομής εμβόλου

Σχ. 6.3γ

Διάγραμμα P-V παλινδρομικού αεροσυμπιεστή με διάκενο.

¹ Ο κύκλος λειτουργίας, οι διεργασίες και τα διαγράμματα πίεσής-όγκου των αεροσυμπιεστών αναπτύσσονται στο βιβλίο του Ιδρύματος Ευγενίδου *Τεχνική Θερμοδυναμική*, Παγωνάρη Κ., 1988.

τον οποίο γίνεται η αναρρόφηση του αέρα είναι η αποτελεσματική διαδρομή του εμβόλου.

Ο κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται στο σημείο 1 και καθώς το έμβολο συνεχίζει την παλινδρομική του κίνηση ξεκινά ένας νέος κύκλος συμπίεσης-εκτονώσεως.

6.3.4 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας.

Ο πραγματικός κύκλος (σχ. 6.3δ) λειτουργίας ενός αεροσυμπιεστή έχει κάποιες διαφορές συγκριτικά με τον θεωρητικό.

Παρατηρείται ότι στο σημείο 4 του κύκλου, ο αέρας έχει απομείνει στο διάκενο ελευθερίας (που αντιπροσωπεύεται από τον όγκο διακένου) του εμβόλου με πίεση ίση με την ατμοσφαιρική P_1 , με αποτέλεσμα η βαλβίδα αναρροφίσεως να ανοίξει ακαριαία. Στην πραγματικότητα όμως είναι αναγκαία η δημιουργία κενού, ώστε η διαφορά στην πίεση να υπερνικήσει την αδράνεια της βαλβίδας και να επιτραπεί η εισαγωγή του αέρα. Αυτό δημιουργεί την επιμήκυνση της γραμμής που αντιστοιχεί στην εκτόνωση 3-4, σε πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής (σχ. 6.3δ).

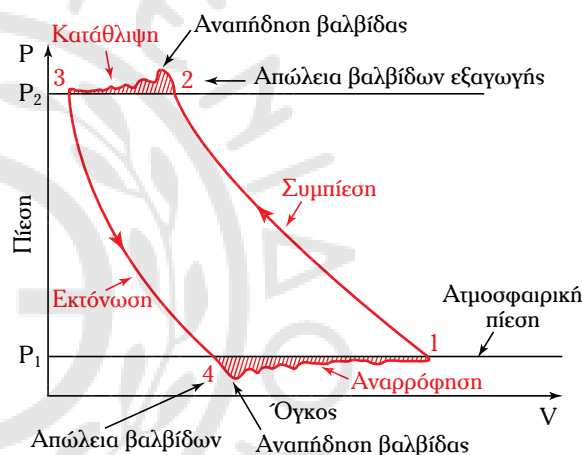
Η βαλβίδα τότε ανοίγει με δύναμη και ο αέρας εισέρχεται στον χώρο του κυλίνδρου. Ο στραγγαλισμός, ο στροβιλισμός και η αναπήδηση της βαλβίδας δημιουργούν τη διακύμανση στη γραμμή του τμήματος 4-1 του διαγράμματος. Η αύξηση της πίεσης με την εισαγωγή του αέρα μέσα στον κύλινδρο δεν είναι σταθερή, αλλά πραγματοποιείται σταδιακά τείνοντας να εξισωθεί με την ατμοσφαιρική. Όσο το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ, η ταχύτητά του ελαττώνεται μέχρι να μηδενιστεί. Η βαλβίδα αναρροφίσεως κλείνει και η συμπίεση ξεκινά.

Παρόμοια είναι η διακύμανση στο τμήμα 2-3 του κύκλου λειτουργίας. Ο συμπιεσμένος αέρας μέσα στον κύλινδρο πρέπει να υπερνικήσει, μαζί με την πίεση του ελατηρίου και την πίεση που επικρατεί στο δίκτυο καταθλίψεως, που ισούται με την πίεση της αεροφιάλης. Αποτέλεσμα είναι το τμήμα της συμπίεσης 1-2 να είναι μεγαλύτερο της θεωρητικής, υπερβαίνοντας το σημείο 2. Στη διάρκεια της καταθλίψεως (στο τμήμα 2-3) η πίεση είναι πάντα ελαφρώς μεγαλύτερη της πίεσης που επικρατεί στην αεροφιάλη, ώστε να επιτυγχάνεται η εξαγωγή του αέρα απ' τον κύλινδρο. Στο ΑΝΣ του εμβόλου η συμπίεση ολοκληρώνεται, ενώ η κατάθλιψη του αέρα συνεχίζεται μέχρι να εξισωθούν οι πιέσεις που επικρατούν πριν και μετά τη βαλβίδα, που κλείνει από την ένταση του ελατηρίου.

Κατά τη διεργασία της συμπίεσης, ένα μέρος

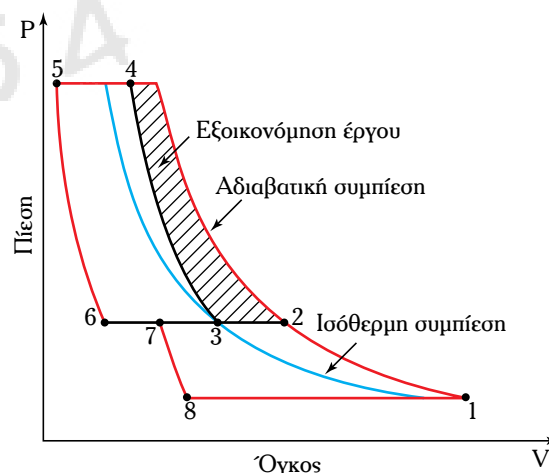
της ενέργειας που παρέχεται, μετατρέπεται σε θερμότητα, με επακόλουθο την αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία μειώνει την ογκομετρική ικανότητα του κύκλου λειτουργίας.

Η πτώση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται καθώς ένα μέρος της θερμότητας αποβάλλεται από τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Όμως, η μικρή επιφάνεια και ο μικρός χρόνος που διατίθεται, ώστε να πραγματοποιηθεί η μετάδοση της θερμότητας, περιορίζει σημαντικά την ικανοποιητική απαγωγή της. Μία πρακτική λύση που εφαρμόζεται είναι η συμπίεση να πραγματοποιείται σε περισσότερα στάδια, με ψύξη του αέρα μεταξύ των σταδίων. Η εξοικονόμηση έργου απ' τη συμπίεση σ' ένα ακόμα στάδιο μετά την αρχική παρουσιάζεται με το γραμμοσκιασμένο τμήμα του διαγράμματος πίεσης-όγκου του σχήματος 6.3ε.



Σχ. 6.3δ

Διάγραμμα P-V παλινδρομικού αεροσυμπιεστή με τις απώλειες βαλβίδας.



Σχ. 6.3ε

Διάγραμμα P-V για διβάθμιο παλινδρομικό συμπιεστή με ενδιάμεση ψύξη.

6.3.5 Χαρακτηριστικά στοιχεία εμβολοφόρων αεροσυμπιεστών.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν έναν παλινδρομικό-εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή είναι:

α) Το **εκτόπισμα** (displacement), δηλαδή ο όγκος που δημιουργείται από το έμβολο κατά τη διαδρομή αναρροφήσεως από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ.

β) Ο **λόγος συμπίεσεως** (ρ_p), δηλαδή η σχέση της απόλυτης πίεσεως καταθλίψεως προς την απόλυτη πίεση αναρροφήσεως.

γ) Η **παροχή** του, η οποία διακρίνεται σε **θεωρητική** και **πραγματική**:

– Η θεωρητική βρίσκεται απ' το εκτόπισμα αν το πολλαπλασιάσουμε με τον αριθμό των στροφών ανά λεπτό και το αποτέλεσμα είναι σε m^3/min ή ft^3/min .

– Η πραγματική παροχή είναι η ποσότητα του αέρα που πραγματικά συμπιέζεται και είναι πάντοτε μικρότερη της θεωρητικής σε m^3/min ή ft^3/min .

δ) Ο **ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως**, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει πόσο αποδοτικά αναρροφά ο αεροσυμπιεστής τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως είναι θεωρητικός (η_u) και πραγματικός (η_{up}).

Ο θεωρητικός ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως (η_u) που είναι ο λόγος του ατμοσφαιρικού αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο V_a (σχ. 6.3γ) προς τον όγκο διαδρομής του εμβόλου $V_{1 \rightarrow 3}$ και δίδεται ως:

$$\eta_u = \frac{V_a}{V_{1 \rightarrow 3}}$$

Ο πραγματικός ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως (η_{up}) είναι διαφορετικός. Αυτό οφείλεται:

α) στην πίεση περιβάλλοντος που πραγματοποιείται η αναρρόφηση του αέρα, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη της πίεσεως στο εσωτερικό του αεροσυμπιεστή,

β) στην ροή του αέρα που πρέπει να υπερνικήσει τις τριβές που δημιουργούνται γύρω από τις βαλβίδες και

γ) στην αύξηση της θερμοκρασίας των τοιχωμάτων του κυλίνδρου από τη λειτουργία του αεροσυμπιεστή.

Εξαιτίας των φαινομένων αυτών ο η_u μειώνεται κατά τον λόγο της πίεσεως του αέρα μέσα στον κύλινδρο (P_1) προς την πίεση του αέρα περιβάλλοντος (P_o) και κατά τον λόγο της θερμοκρασίας του

περιβάλλοντος (T_o) προς τη θερμοκρασία του αέρα (T_1) στην κατάσταση 1 του σχήματος 6.3δ. Δηλαδή η πραγματική ογκομετρική ισχύς δίνεται ως:

$$\eta_{up} = \eta_u \cdot \left(\frac{P_1}{P_o} \right) \cdot \left(\frac{T_o}{T_1} \right)$$

ε) Ο **συνολικός βαθμός αποδόσεως** (η_c), που είναι το γινόμενο του βαθμού συμπίεσεως (η_{cn}) και του μηχανικού βαθμού αποδόσεως (η_m) ώστε:

$$\eta_c = \eta_{cn} \cdot \eta_m$$

όπου: η_{cn} ο λόγος του θεωρητικού και του πραγματικού έργου που απαιτείται από τον αεροσυμπιεστή και η_m ο λόγος του πραγματικού έργου του αεροσυμπιεστή προς το έργο που δίνεται σε αυτόν από τον κινητήρα του.

στ) Η **ιπποδύναμη του αεροσυμπιεστή**, η οποία διακρίνεται σε:

– **ενδεικτική ιπποδύναμη** (N_i), στην οποία δεν έχουν περιληφθεί οι μηχανικές απώλειες και

– σε **ιπποδύναμη κινήσεως** (N_k), στην οποία περιλαμβάνονται οι απώλειες ισχύος, που οφείλονται στις τριβές των κινουμένων μηχανικών μερών. Αυτή είναι η ισχύς που παρέχεται στον άξονα του αεροσυμπιεστή από το κινητήριο μηχανήμα.

Εξαιτίας της διαφοράς των απωλειών $N_k > N_i$ ενώ από την N_k και τον συνολικό βαθμό αποδόσεως του κινητήρα υπολογίζεται η **ισχύς του αεροσυμπιεστή**.

6.3.6 Παλινδρομικοί-εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές πλοίων, μονοβάθμιοι-πολυβάθμιοι.

Η συμπίεση του αέρα μπορεί να επιτευχθεί σε μία ή περισσότερες βαθμίδες ή φάσεις, κάτι που εξαρτάται από τις απαιτήσεις πίεσεως. Όσο βέβαια αυξάνεται η πίεση, ανάλογα αυξάνεται και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται.

Όταν η πίεση του αέρα είναι μικρή, η συμπίεση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μία φορά, σ' έναν κύλινδρο, ο οποίος ψύχεται με νερό ή αέρα. Σ' αυτήν την περίπτωση οι αεροσυμπιεστές ονομάζονται **μονοβάθμιοι** ή **μονοφασικοί**.

Για μεγαλύτερες πιέσεις, η συμπίεση δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί σε μία βαθμίδα, διότι η διαδρομή του εμβόλου και το μέγεθος του συμπιεστή θα έπρεπε να είναι μεγάλα, όπως και η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία κατά τη συμπίεση. Έτσι, οι μεγάλες πιέσεις

επιτυγχάνονται σε **πολυβάθμιους συμπίεστές**¹.

Η συμπίεση πραγματοποιείται πρώτα μέσα σ' έναν κύλινδρο με μεγάλη διάμετρο και ο αέρας οδηγείται σε ψυγείο όπου ψύχεται. Ο συμπιεσμένος αέρας εισέρχεται σε δεύτερο κύλινδρο με μικρότερη διάμετρο, η πίεσή του ανεβαίνει περισσότερο και στη συνέχεια ψύχεται σε δεύτερο ψυγείο.

Η μείωση στη διάμετρο του εμβόλου και κατ' επέκταση του όγκου του κυλίνδρου πραγματοποιείται λόγω της αύξησης της πίεσης του αέρα (άρα μείωση στον όγκο του) με τον ίδιο ρυθμό παροχής της μάζας του. Εφόσον η παροχή της μάζας (ή η ποσότητα του αέρα) που διέρχεται από κάθε στάδιο είναι η ίδια, καθώς αυξάνεται η πίεση στη μάζα του αέρα, ο όγκος που καταλαμβάνεται μειώνεται. Έτσι μειώνοντας τον όγκο του κυλίνδρου σε κάθε στάδιο επιτυγχάνεται η σταδιακή αύξηση της πίεσης του αέρα.

Η ίδια διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί σε τρίτο κύλινδρο με ακόμη μικρότερη διάμετρο και ψύξη σε τρίτο ψυγείο κ.ο.κ. (σχ. 6.3στ). Συνήθως, οι αεροσυμπιεστές έχουν μέχρι τέσσερις βαθμίδες, ενώ περισσότερες χρησιμοποιούνται για πολύ υψηλές πιέσεις σε ειδικές συνθήκες.

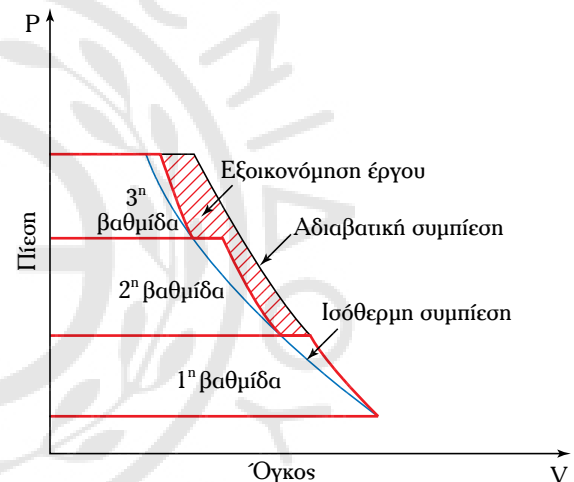
Ένας τύπος διβάθμιου αεροσυμπιεστή παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3ζ. Αποτελείται από τον κύλινδρο χαμηλής πίεσης με το έμβολο μεγάλης διαμέτρου, που αποτελεί την πρώτη βαθμίδα συμπίεσης. Δίπλα βρίσκεται ο κύλινδρος με τη μικρότερη διάμετρο, που είναι η δεύτερη βαθμίδα συμπίεσης ή **κύλινδρος υψηλής πίεσης**.

Η κυκλοφορία του αέρα στον αεροσυμπιεστή παριστάνεται διαγραμματικά στο σχήμα 6.3η. Ο αέρας εισέρχεται από το φίλτρο (Α) μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως (Β) στον κύλινδρο χαμηλής πίεσης, όπου συμπίεζεται και εξέρχεται απ' τη βαλβίδα

καταθλίψεως (Γ). Στη διαδρομή από τη βαλβίδα καταθλίψεως έως τη βαλβίδα αναρροφήσεως της επόμενης φάσεως ο αέρας ψύχεται στο ψυγείο χαμηλής πίεσης (Ε) (intercooler), ενώ η διαδρομή αυτή γίνεται μέσα στο κατάλληλα διαμορφωμένο καπάκι του κυλίνδρου.

Ο υπό πίεση αέρας εισέρχεται μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως (Ζ) στον δεύτερο κύλινδρο της βαθμίδας υψηλής πίεσης, όπου συμπίεζεται και εξέρχεται απ' τη βαλβίδα καταθλίψεως (Η) στο ψυγείο υψηλής πίεσης (Ι).

Έπειτα από κάθε στάδιο συμπίεσης υπάρχουν τα ασφαλιστικά (Δ) και (Θ) ρυθμιζόμενα έτοι, ώστε να επιτρέπουν την εκτόνωση του αέρα. Με αυτόν τρόπο, προστατεύεται ο συμπίεστής από βλάβες όταν η πίεση υπερβεί τα όρια πίεσης, σύμφωνα με τα οποία είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί το σύστημα.



Σχ. 6.3στ

Διάγραμμα P-V για τριβάθμιο παλινδρομικό συμπιεστή με ενδιάμεση ψύξη. Η σκιαγραφημένη επιφάνεια αντιπροσωπεύει την εξοικονόμηση έργου λόγω της πολυβάθμιας συμπίεσης με ενδιάμεση ψύξη.

¹ Πολυβάθμια συμπίεση: Από τη Θερμοδυναμική το ολικό έργο π.χ. για διβάθμιο αεροσυμπιεστή (W), είναι το άθροισμα του έργου των δύο βαθμίδων ώστε, $W = W_1 + W_2$. Τότε το έργο που απορροφά ο αεροσυμπιεστής δίνεται από την εξίσωση:

$$W = m \cdot \frac{n}{n-1} \cdot R \left\{ T_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] + T_3 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_4}{P_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \right\} \quad (1)$$

όπου: m μάζα του αέρα, n ο πολυτροπικός συντελεστής, R η σταθερά των ιδανικών αερίων, P_1 η πίεση στην είσοδο της πρώτης βαθμίδας P_2 η πίεση μεταξύ των δύο βαθμίδων, P_4 η πίεση στην έξοδο της δεύτερης βαθμίδας, T_1 η αρχική θερμοκρασία και T_3 η θερμοκρασία εισόδου στη δεύτερη βαθμίδα μετά την ψύξη. Ο καθορισμός της ενδιάμεσης πίεσης P_2 δεν είναι τυχαίος, αλλά καθορίζεται ώστε το έργο του αεροσυμπιεστή να είναι ελάχιστο. Για ελάχιστο έργο τίθεται η πρώτη παράγωγη της εξισώσεως 1 ως προς τη μεταβλητή P_2 ίση με το μηδέν και λύνοντας ως προς P_2 δίνοντας ότι: $P_2 = \sqrt{P_1 \cdot P_4}$ (2)

Έτσι, προσδιορίζοντας την τιμή της πίεσης P_2 από την σχέση 2, τότε το έργο είναι ίσο και στις δύο βαθμίδες και το ολικό έργο είναι ελάχιστο.

Οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες κυμαίνονται στις τιμές που αναφέρονται παρακάτω, με αποκλίσεις που ορίζονται από τον κατασκευαστή του κάθε αεροσυμπιεστή και εξαρτώνται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος λειτουργίας, στο οποίο τοποθετείται.

Οι τιμές αυτές είναι:

α) Ελάχιστη θερμοκρασία εισαγωγής, νερό ψύξεως: 30°C.

β) Μέγιστη θερμοκρασία εισαγωγής, νερό ψύξεως: 60°C.

γ) Διαφορά θερμοκρασίας νερού ψύξεως, εισόδου/εξόδου: 10–20°C.

δ) Πίεση νερού ψύξεως: 0,5–3,0 bar.

ε) Πίεση ελαίου για θερμό συμπιεστή: 2,0 bar.

στ) Ρύθμιση διακόπτη πίεσης λαδιού: 0,8 bar.

ζ) Φυσιολογική πίεση λειτουργίας πρώτης βαθμίδας σε 0–10 bar, πίεση καταθλίψεως: 1,5–3,5 bar.

η) Φυσιολογική πίεση λειτουργίας πρώτης βαθμίδας σε 10–35 bar, πίεση καταθλίψεως: 4,0–6,0 bar.

θ) Μέγιστη πίεση λειτουργίας: 35 bar.

ι) Ρύθμιση ασφαλιστικού χαμηλής πίεσης: 9 bar.

ια) Ρύθμιση ασφαλιστικού υψηλής πίεσης: 5% πάνω απ' την πίεση λειτουργίας.

ιβ) Φυσιολογική θερμοκρασία εξόδου του αέρα: 30–65°C.

Στο έμβολο τοποθετούνται τα ελατήρια συμπίεσης και σε κάθε βαθμίδα από ένα ελατήριο ελαίου. Για τη λίπανσή του χρησιμοποιείται εξαρτημένη

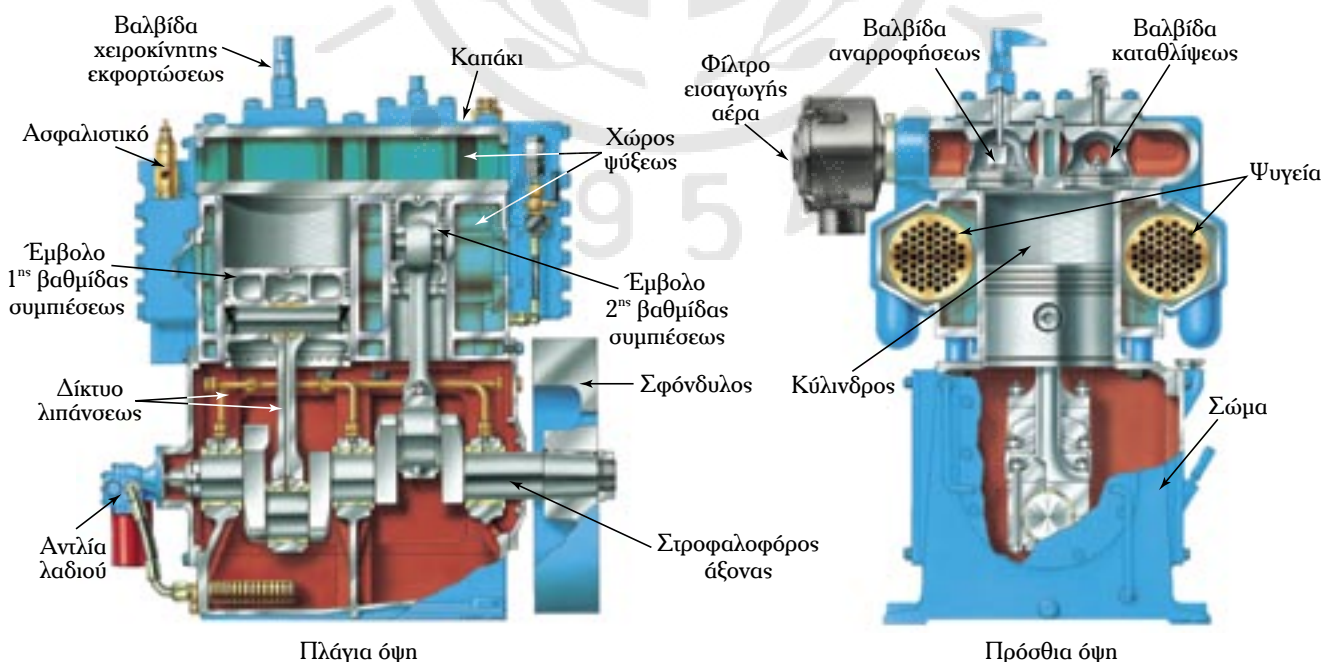
αντλία συνήθως γραναζωτού τύπου, όπως επίσης και μια αντλία για την κυκλοφορία του νερού ψύξεως. Στον στρόφαλο εφαρμόζεται σφόνδυλος με επαρκή μάζα για την ομαλή, χωρίς κραδασμούς, περιστροφή του μηχανήματος.

Ανάλογα με τον κατασκευαστή, οι εμβολοφόροι συμπιεστές διαφέρουν στη διάταξη των εμβόλων και των κυλίνδρων (σχ. 6.3θ). Στο σχήμα 6.3θ η κατάθλιψη του αέρα της 1^{ης} βαθμίδας ΧΠ, που αποτελεί τον κύλινδρο με τη μεγάλη διάμετρο, γίνεται στον κύλινδρο της 2^{ης} βαθμίδας ΥΠ, που αποτελεί τον κύλινδρο με τη μικρή διάμετρο. Επίσης, η συμπίεση μπορεί να πραγματοποιείται από ένα έμβολο με διαφορετικές διαμέτρους (διαφορικού τύπου), όπου εξυπηρετούνται δύο και τέσσερις βαθμίδες συμπίεσης [σχ. 6.3θ(β), (γ)].

Σε κάθε βαθμίδα συμπίεσης επιτυγχάνεται πίεση καταθλίψεως 3–5 φορές μεγαλύτερη από την πίεση αναρροφήσεως, ενώ η διάταξή τους εκτός από κατακόρυφου τύπου μπορεί να είναι οριζόντια ή σε διάταξη V ή W.

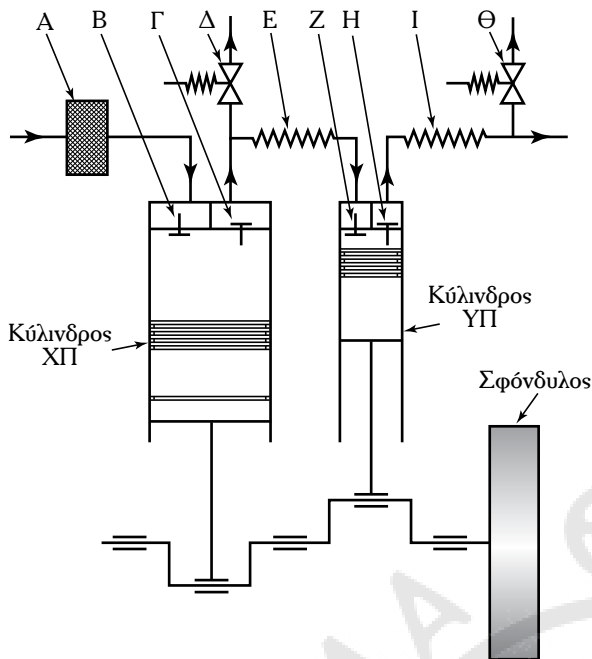
6.3.7 Τμήματα μονοβάθμιου-πολυβάθμιου παλινδρομικού-εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή.

Ένας παλινδρομικός-εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής αποτελείται από το πώμα ή καπάκι, το σώμα των κυλίνδρων, την ελαιολεκάνη, τις βαλβίδες, τα



Σχ 6.3ζ

Διβάθμιος εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής.



Σχ. 6.3n

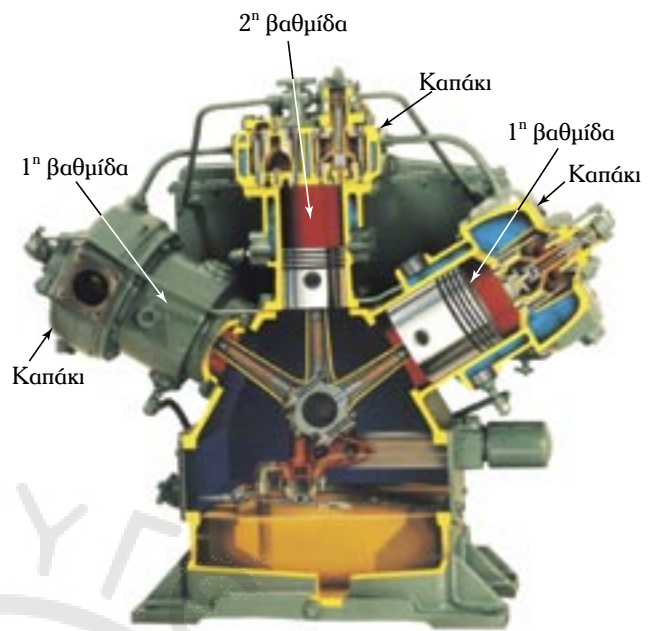
Κυκλοφορία αέρα στον συμπιεστή.

έμβολα, τα ελατήρια, τους διωστήρες των εμβόλων, τους πείρους, τους τριβείς και τον σφόνδυλο. Ειδικότερα:

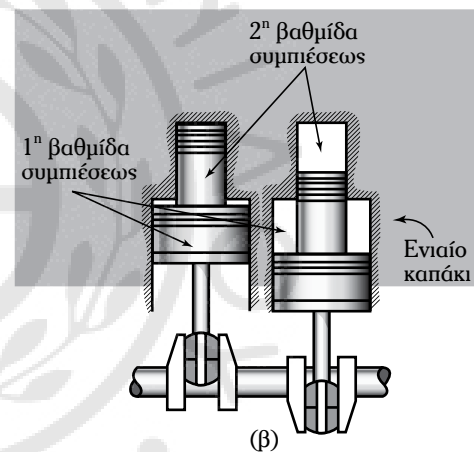
α) Το **πώμα** ή **καπάκι** (cover) είναι τοποθετημένο πάνω από τους κύλινδρους δημιουργώντας τους χώρους συμπίεσης του αέρα. Ένας αεροσυμπιεστής ανάλογα με τον τύπο μπορεί να έχει ένα καπάκι σε κάθε κύλινδρο [σχ. 6.30(α)] ή ένα ενιαίο [σχ. 6.30(β)]. Το καπάκι είναι κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο και εσωτερικά σε αυτό υπάρχει χώρος ψύξεως που διαρρέεται από το νερό ψύξεως, ενώ σε κατάλληλα διαμορφωμένες υποδοχές τοποθετούνται οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Η στεγανοποίηση των βαλβίδων επιτυγχάνεται με ροδέλες από χαλκό.

β) Οι **κύλινδροι** (cylinders) σε μικρούς αεροσυμπιεστές είναι μέρος του σώματος του μηχανήματος και συνήθως είναι κατασκευασμένοι από χυτοσίδηρο. Σε μεγάλους αεροσυμπιεστές κατασκευάζονται ως ανεξάρτητα τμήματα, που εφαρμόζονται στο σώμα, ώστε να είναι δυνατή η αντικατάσταση μέρους του συμπιεστή λόγω φθοράς ή βλάβης.

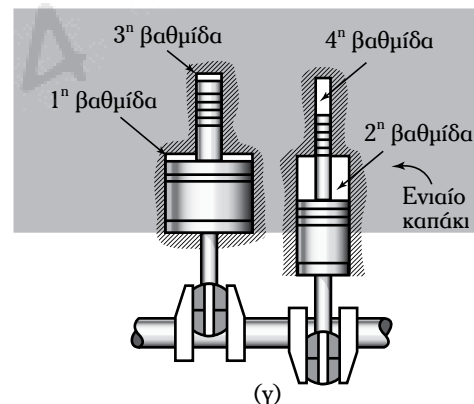
γ) Τα **έμβολα** (pistons) κατασκευάζονται από κράμα αλουμινίου ή χυτό/όλκιμο σίδηρο και παλινδρομούν μέσα στον κύλινδρο. Συνδέονται με τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω πείρου και διωστήρα (connecting rod), ο οποίος συνδέεται στο έμβολο με κυλίνδρους από φωσφορούχο χαλκό – ορείχαλκο (bush).



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 6.30

Αεριοσυμπιεστής: (α) Κύλινδροι ακτινικής διατάξεως με δύο βαθμίδες συμπίεσης, (β) διάταξη ομοίων διαφορικών εμβόλων, με δύο βαθμίδες συμπίεσης και (γ) διάταξη τεσσάρων βαθμίδων συμπίεσης.

Σε ορισμένες κατασκευές οι πείροι αντικαταστάθηκαν με το σφαιρικού σχήματος άκρο του διωστήρα, στο σημείο που ενώνεται στο έμβολο, ώστε αυτό να κινείται με πλήρη ελευθερία και να περιορίζονται οι πλευρικές φθορές.

δ) Τα **ελατήρια των εμβόλων** (piston rings) τοποθετούνται περιφερειακά στο επάνω μέρος του εμβόλου προς το μέρος της συμπίεσης. Τα ελατήρια ελαίου σε μεγάλου μήκους έμβολα τοποθετούνται στο κάτω μέρος των εμβόλων, με σκοπό να απομακρύνουν ή να αποξέουν τυχόν υπερβολική ποσότητα ελαίου απ' τα χιτώνια των κυλίνδρων, επαναφέροντάς το στον στροφαλοθάλαμο.

ε) Οι **βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως** (suction & delivery valves) **χαμηλής** και **υψηλής πίεσης** αντίστοιχα. Διαφέρουν στο μέγεθος, καθώς οι βαλβίδες ΧΠ είναι μεγαλύτερες απ' τις βαλβίδες ΥΠ, λόγω της διαφοράς στον όγκο του αέρα που περνάει μέσα απ' αυτές. Το άνοιγμα και το

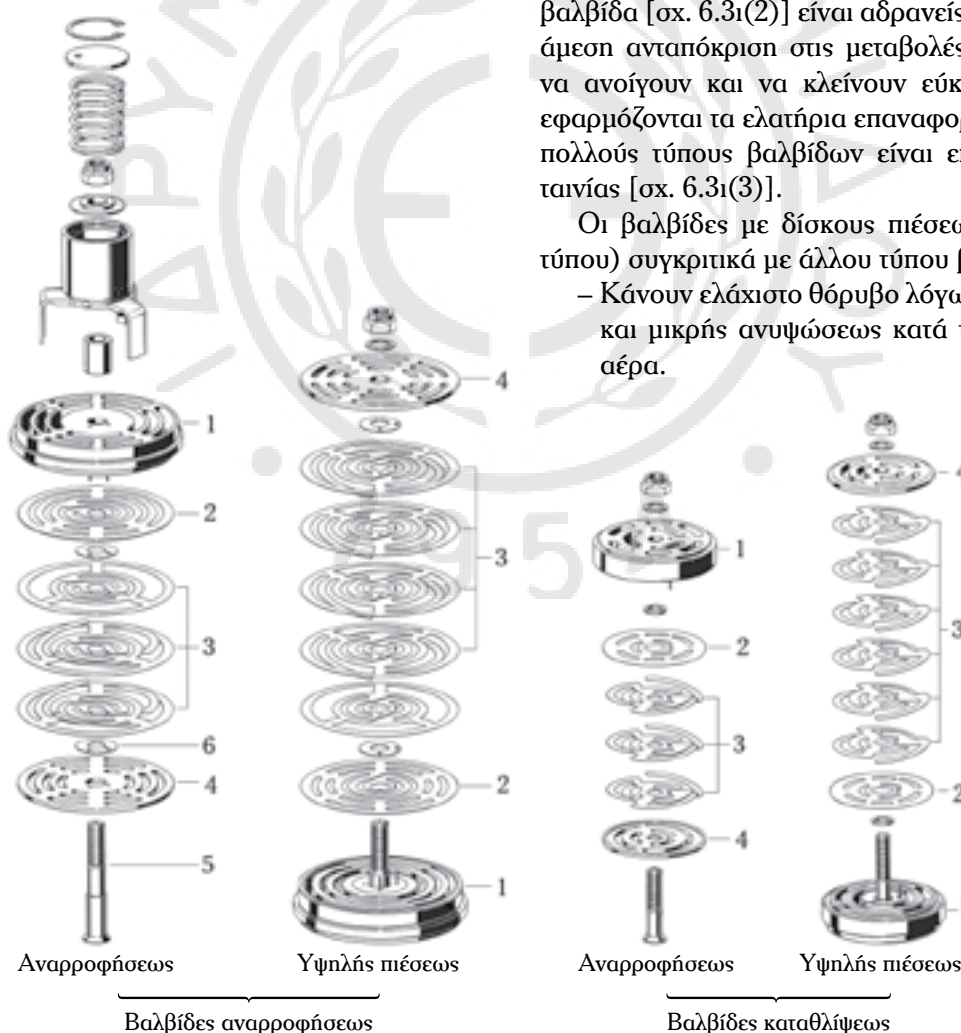
κλείσιμο επιτυγχάνεται με τη διαφορά πίεσεως που ασκείται απ' τον συμπιεσμένο αέρα μέσα στον κύλινδρο και την πίεση στην αντίθετη όψη της βαλβίδας. Τοποθετούνται σε εσοχές στο πώμα του κυλίνδρου, όπου συγκρατούνται με βίδες και παξιμάδια. Αποτελούνται όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3ι από:

- Το σώμα ή την έδρα της βαλβίδας (valve seat) (1).
- Τους δίσκους πίεσεως (valve plates), που εφαρμόζονται στην έδρα της βαλβίδας και ανοιγοκλείνοντας διέρχεται ο αέρας (2).
- Τα ελατήρια (springs) (3).
- Το κάλυμμα της βαλβίδας (valve cover), που συγκρατεί τα ελατήρια (4).
- Τον οδηγό (bolt) που συγκρατεί τα τμήματα της βαλβίδας (5).
- Τους πείρους (guide pins) και τους αποστάτες (spacing washers) (6).

Οι κινούμενοι δίσκοι πίεσεως ή αλλιώς επίπεδη βαλβίδα [σχ. 6.3ι(2)] είναι αδρανείς επιτυγχάνοντας άμεση ανταπόκριση στις μεταβολές πίεσεως, ώστε να ανοίγουν και να κλείνουν εύκολα. Σ' αυτούς εφαρμόζονται τα ελατήρια επαναφοράς, τα οποία σε πολλούς τύπους βαλβίδων είναι επίπεδα, μορφής ταινίας [σχ. 6.3ι(3)].

Οι βαλβίδες με δίσκους πίεσεως (δισκοειδούς τύπου) συγκριτικά με άλλου τύπου βαλβίδες:

- Κάνουν ελάχιστο θόρυβο λόγω μικρού βάρους και μικρής ανυψώσεως κατά τη διέλευση του αέρα.



Σχ. 6.3ι

Βαλβίδες αεροσυμπιεστή.

– Είναι απλής κατασκευής και επιθεωρούνται εύκολα.

– Αντικαθίστανται γρήγορα και εύκολα.

Συνήθως κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα ή κράμα από χαλκό και νικέλιο.

στ) Οι **τριβείς του στροφαλοφόρου άξονα** (cranks shaft bearings ή main bearings) και οι **κύριοι τριβείς**. Προσαρμόζονται στον διωστήρα του εμβόλου και στη βάση του αεροσυμπιεστή αντίστοιχα, ενώ συνήθως αποτελούνται από δύο ημित्रιβείς. Εκτός από τους κύριους τριβείς στον στροφαλοφόρο άξονα σε κάθε συμπίεση, τοποθετείται ωστικός τριβέας, υπερνικώντας τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από το κύριο μηχανήμα ή τον μειωτήρα στροφών, εξασφαλίζοντας την ικανοποιητική λειτουργία στις συνθήκες κλυδωνισμού του σκάφους. Ανάλογα με την κατασκευή του αεροσυμπιεστή, η αξονική τάση ενδέχεται να παραλαμβάνεται από πλευρικές επιφάνειες που αναπτύσσονται ως μέρος των κυρίων τριβέων. Οι τριβείς αυτοί ολισθαίνουν με τους παρακείμενους βραχίονες των στροφάλων, επιτυγχάνοντας την ομαλή λειτουργία του συμπιεστή.

6.4 Περιστροφικοί αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως.

Οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως έχουν μικρό μέγεθος, με ικανότητα παραγωγής μεγάλου όγκου αέρα σε υψηλή πίεση. Η ροή αναρρόφησης και καταθλίψεως του αέρα είναι συνεχής, χωρίς να παρουσιάζονται κρούσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, όπως συμβαίνει με τους παλινδρομικούς εμβολοφόρους.

Οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως διακρίνονται στους ακόλουθους:

α) Στον **περιστροφικό αεροσυμπιεστή με λοβούς** (rotary lobe air compressor), που αποτελείται από δύο συγχρονισμένα στροφεία, κινούμενα από εξωτερικό κινητήρα μέσα σ' ένα κέλυφος.

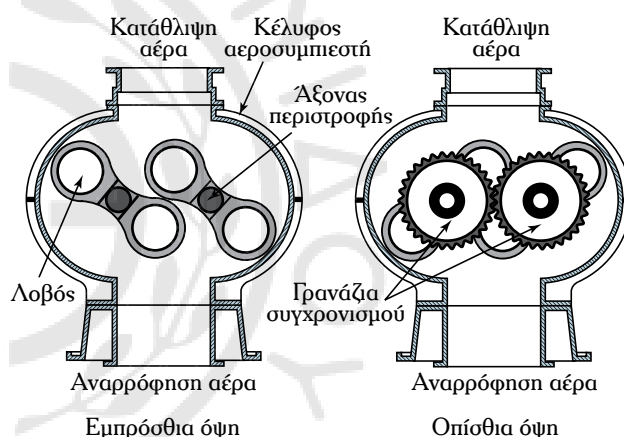
Με την περιστροφή των στροφείων, ο αέρας που εισέρχεται παγιδεύεται μεταξύ των λοβών και του κελύφους, οδηγώντας τον αέρα στην κατάθλιψη. Η παροχή ελαίου για τη λίπανση των λοβών δημιουργεί την απαραίτητη στεγανότητα για τη συμπίεση του αέρα. Η συμπίεση επιτυγχάνεται από την αντίθλιψη του δικτύου κατά την παροχή του αέρα προς την κατάθλιψη (σχ. 6.4α).

β) Στον **περυγιοφόρο περιστροφικό αεροσυμπιεστή** (sliding rotary vane air compressor) (σχ. 6.4β), στον οποίο χρησιμοποιείται μια σειρά από περύγια που ολισθαίνουν ελεύθερα μέσα σε

ακτινικά αυλάκια πάνω στο στροφείο του συμπιεστή. Το στροφείο περιστρέφεται έκκεντρα μέσα στο κέλυφος, με αποτέλεσμα η φυγόκεντρος δύναμη να ωθεί τα περύγια προς την περιφέρεια του κελύφους.

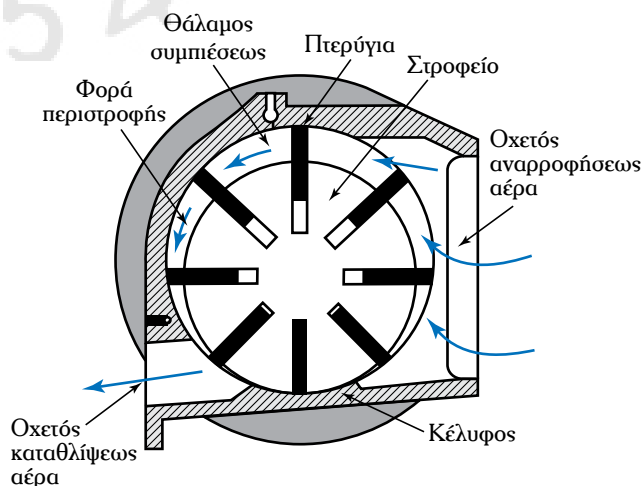
Έτσι, δημιουργούνται θάλαμοι μεταξύ του **ρότορα** (rotor), δύο οποιωνδήποτε περυγίων και του κελύφους, ώστε με την περιστροφή και την παλινδρόμηση των περυγίων να αυξομειώνεται ο όγκος των θαλάμων.

Η προοδευτική αύξηση του όγκου με την απομάκρυνση των περυγίων απ' το κέντρο περιστροφής δημιουργεί την αναρρόφηση και την εισαγωγή του αέρα στον θάλαμο. Καθώς το στροφείο περιστρέφεται, τα περύγια ωθούνται από το κέλυφος, το οποίο συγκλίνει, αναγκάζοντάς τα να επιστρέψουν προς το κέντρο περιστροφής, μειώνοντας τον όγκο του θαλάμου προοδευτικά, με αποτέλεσμα τη συμπίεση του αέρα. Ο αέρας υψηλής πίεσεως καταθλίβεται,



Σχ. 6.4α

Περιστροφικός αεροσυμπιεστής με λοβούς.



Σχ. 6.4β

Περυγιοφόρος αεροσυμπιεστής.

καθώς ο θάλαμος διέρχεται με την περιστροφή από τον οχετό καταθλίψεως στο κέλυφος του συμπιεστή.

γ) Στον **κοχλιοειδή αεροσυμπιεστή** (rotary screw air compressor) (σχ. 6.4γ), ο οποίος αποτελείται από ένα ζευγάρι περιστρεφόμενων στροφείων μέσα στο κέλυφος.

Πάνω στο ένα στροφέιο, που ονομάζεται **αρσενικό** (male), υπάρχουν τέσσερα ελικοειδή σπειρώματα τα οποία απέχουν 90° μεταξύ τους, ενώ στο άλλο υπάρχουν έξι ελικοειδείς αύλακες με απόσταση 60° μεταξύ τους και ονομάζεται **θηλυκό** (female). Ο λόγος της ταχύτητας περιστροφής των δύο στροφείων είναι αντιστρόφως ανάλογος· έτσι όταν το στροφέιο με το σπείρωμα στρέφεται με 1800 rpm, το στροφέιο με τους αύλακες περιστρέφεται με 1200 rpm. Συνήθως, η μετάδοση της κίνησης δίνεται από τον κινητήρα στον κινητήριο άξονα του στροφείου με το σπείρωμα που συμπαρασύρει το στροφέιο με τα αυλάκια (σχ. 6.4γ).

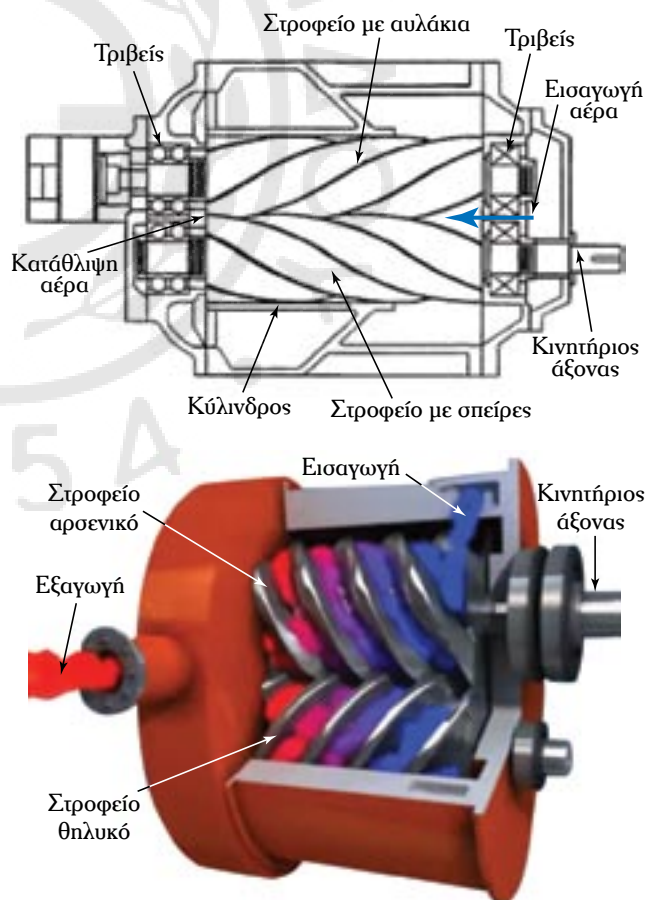
Με την περιστροφή ο αέρας εισέρχεται στον συμπιεστή μεταξύ των στροφείων και ρέει μέσα από τα σπειρώματα, τους αύλακες και το κέλυφος. Η πίεσή του αυξάνεται με τη μείωση του όγκου λόγω της περιστροφής των δύο στροφείων, όπου μεταξύ τους παγιδεύεται ο αέρας και συμπιέζεται. Η εξαγωγή του πραγματοποιείται απ' την κατάθλιψη του συμπιεστή. Μεταξύ των στροφείων μία μικρή ποσότητα ελαίου παρέχει την απαραίτητη στεγανότητα στις ελευθερίες που υπάρχουν μεταξύ των κινουμένων μερών.

Το έλαιο επίσης ψύχει και προστατεύει τα κινούμενα τμήματα του συμπιεστή, ενώ η ψύξη του επιτυγχάνεται με τη διέλευσή του από ψυγείο νερού ή αέρα. Η παραγωγική ικανότητα συμπιεσμένου αέρα στους κοχλιοφόρους αεροσυμπιεστές μπορεί να μεταβάλλεται είτε με τη μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του, είτε με τη **μεταβολή του όγκου κατάθλιψεως** (variable compressor displacement), η οποία επιτυγχάνεται από μία ολισθαίνουσα βαλβίδα στο κέλυφος του συμπιεστή.

δ) Στον **περιστροφικό αεροσυμπιεστή υγρών εμβόλων** (rotary liquid ring air compressor) (σχ. 6.4δ), ο οποίος αποτελείται από κυκλικό πολυπέφυγο στροφέιο, που περιστρέφεται μέσα σ' ένα ελλειπτικό κέλυφος. Το ελλειπτικό κέλυφος γεμίζει μερικώς με νερό. Καθώς το στροφέιο περιστρέφεται από κινητήρα με μεγάλη ταχύτητα, τα πτερύγια ωθούν το νερό στην περιφέρεια του κελύφους και το νερό ακολουθώντας το περίγραμμα του κελύφους εισέρχεται και εξέρχεται στο διάστημα μεταξύ των πτερυγίων του αεροσυμπιεστή. Με αυτόν τον τρόπο

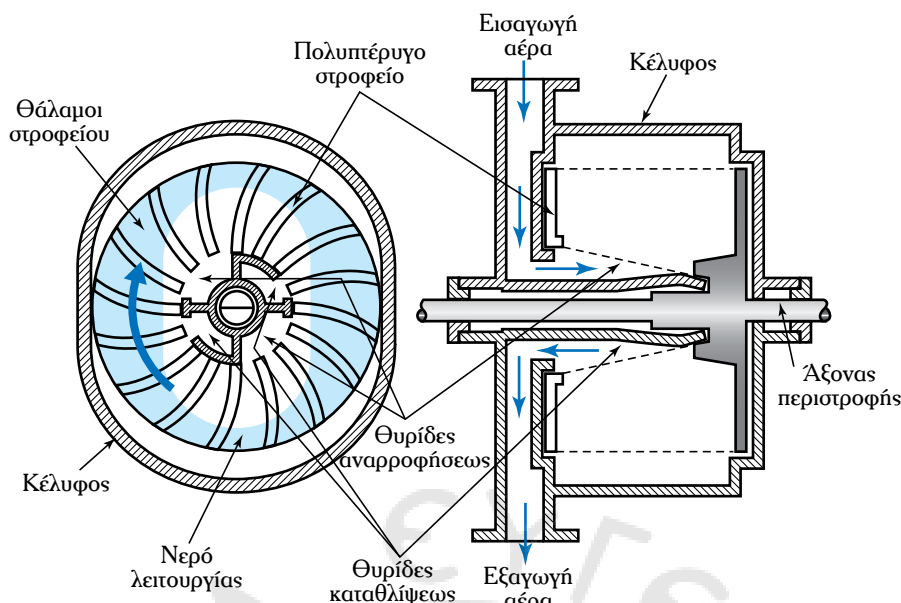
δημιουργείται περιφερειακά μία σειρά από θαλάμους μεταξύ των πτερυγίων.

Η εισαγωγή και η εξαγωγή του αέρα πραγματοποιείται κοντά στο κέντρο περιστροφής του στροφείου. Με την περιστροφή, καθώς το νερό εισέρχεται και εξέρχεται μεταξύ των θαλάμων των πτερυγίων, ο όγκος μειώνεται και αυξάνεται αντίστοιχα. Η αύξηση του όγκου δημιουργεί την αναρρόφηση του αέρα. Καθώς το στροφέιο εξακολουθεί να περιστρέφεται και το τοίχωμα του κελύφους συγκλίνει, αναγκάζει το υγρό να εισέλθει στον θάλαμο συμπιέζοντας τον παγιδευμένο αέρα. Η μείωση του όγκου πραγματοποιεί την κατάθλιψή του οδηγώντας τον αέρα στις αντίστοιχα τοποθετημένες θυρίδες εξαγωγής, από τις οποίες εξέρχεται από τον συμπιεστή. Οι θυρίδες (σχ. 6.4δ) είναι δύο σε κάθε ημικύκλιο, μία αναρροφήσεως και μία κατάθλιψεως. Μια μικρή ποσότητα νερού λειτουργίας που παρασύρεται σαν υγρασία με τον συμπιεσμένο αέρα, αναπληρώνεται σταθερά και στη συνέχεια αφαιρείται από τον συμπιεσμένο αέρα, καθώς διέρχεται από αφυγραντήρα-ξηραντήρα.



Σχ. 6.4γ

Κοχλιοειδής αεροσυμπιεστής.



Σχ. 6.48

Αεροσυμπιεστής υγρών εμβόλων.

6.5 Περιστροφικοί αεροσυμπιεστές ροής.

Οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές ροής είναι δύο τύπων: ακτινικής και αξονικής ροής. Η πίεση που επιτυγχάνεται και απ' τους δύο τύπους είναι μικρότερη απ' αυτήν των παλινδρομικών-εμβολοφόρων, ενώ είναι σχεδιασμένοι να παρέχουν μεγαλύτερη ποσότητα συμπιεσμένου αέρα λόγω της συνεχούς ροής του αέρα μέσα απ' τον συμπιεστή. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις των αεριοστροβίλων και σε λέβητες με καύση υπό πίεση, όπου ο όγκος καταναλώσεως πεπιεσμένου αέρα είναι μεγάλος. Και σε αυτού του τύπου αεροσυμπιεστές όπως και στους περιστροφικούς εκτοπίσεως κατά τη λειτουργία τους δεν παρουσιάζονται κρούσεις, όπως συμβαίνει στους εμβολοφόρους, ενώ η ταχύτητα περιστροφής τους είναι μεγαλύτερη απ' των άλλων τύπων.

Στους αεροσυμπιεστές αυτούς η ρύθμιση της παροχής ελέγχεται από επιστόμια στην εισαγωγή του αέρα, ώστε περιορίζοντας τον όγκο στην εισαγωγή να ελέγχεται η δυνατότητα παροχής του. Επίσης, ο αέρας που παρέχεται δεν περιέχει έλαιο, διότι είναι σχεδιασμένοι έτσι, ώστε η λίπανση των τριβών να πραγματοποιείται έξω απ' τον χώρο συμπίεσης και να διαχωρίζεται με δακτυλίους στεγανοποιήσεως.

α) Ο **περιστροφικός αεροσυμπιεστής ακτινικής ροής** (centrifugal air compressor). Στον αεροσυμπιεστή αυτόν η αύξηση της πίεσεως επιτυγχάνεται με την φυγοκέντρωση του αέρα από ένα [σχ. 6.5α(α)] ή περισσότερα στροφεία [σχ. 6.5α(β)].

Τα στροφεία αποτελούνται από πτερύγια που περιστρέφονται από τον άξονα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον μηχανισμό περιστροφής του αεροσυμπιεστή. Ο αέρας εισέρχεται στην εσωτερική διάμετρο του στροφείου μέσω χοάνης ή προφυσίου.

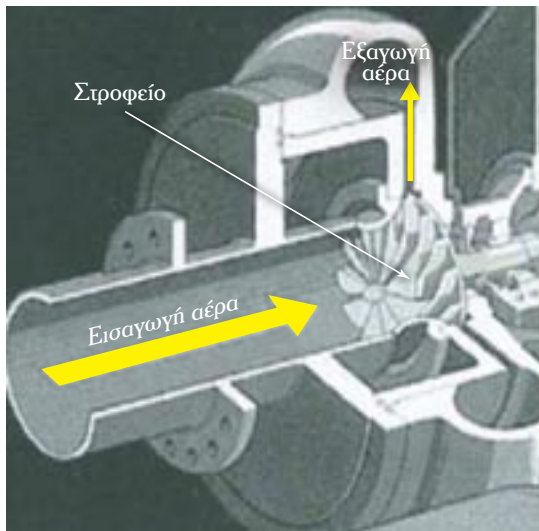
Στη συνέχεια παρασυρόμενος απ' τα πτερύγια αυξάνει την κινητική του ενέργεια. Λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως, ο αέρας κινείται προς την περιφέρεια του στροφείου και εγκαταλείπει τα πτερύγια έχοντας αποκτήσει μεγάλη ταχύτητα.

Στο κέλυφος του αεροσυμπιεστή υπάρχει περιφερειακή χοάνη, μέσα απ' την οποία διέρχεται ο αέρας και μετατρέπει την κινητική του ενέργεια σε δυναμική, αυξάνοντας την πίεσή του. Ο συμπιεσμένος αέρας εξερχόμενος απ' τη χοάνη οδηγείται μέσω σχετού στην κατανάλωση.

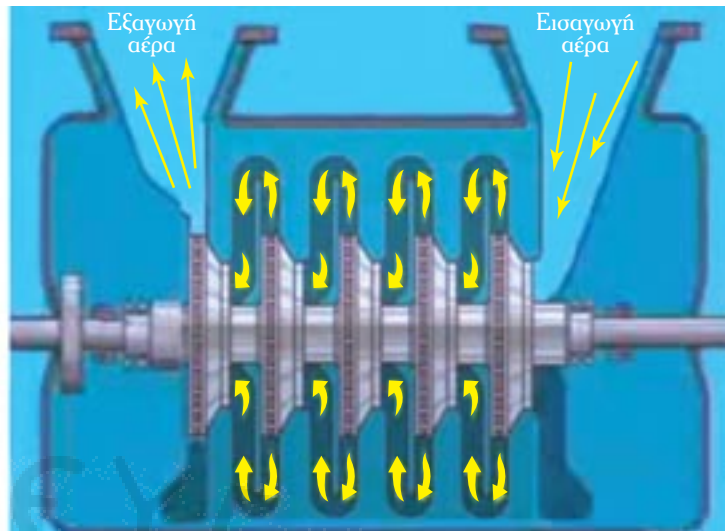
Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη πίεση στους περιστροφικούς αεροσυμπιεστές ακτινικής ροής, τοποθετούνται περισσότερα στροφεία πάνω στον ίδιο άξονα δημιουργώντας βαθμίδες πίεσεως. Με τη χρήση των βαθμίδων, η κατάθλιψη του αέρα από το στροφείο της πρώτης βαθμίδας γίνεται η εισαγωγή στα πτερύγια του επόμενου στροφείου.

Έτσι, η πίεση αυξάνεται σταδιακά, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, σε περισσότερα στροφεία.

β) Ο **περιστροφικός αεροσυμπιεστής αξονικής ροής** (axial compressor) [σχ. 6.5β(α)], ο οποίος αποτελείται από αλληπάλληλες σειρές κινητών περυγίων τοποθετημένες επάνω στο στροφείο ή στο



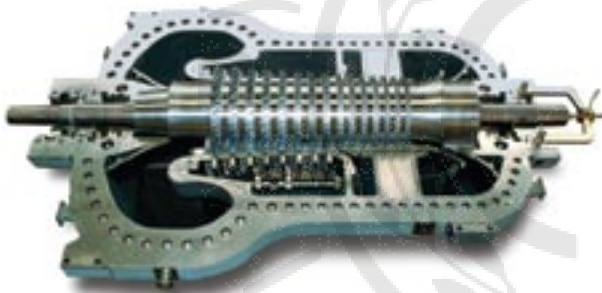
(α)



(β)

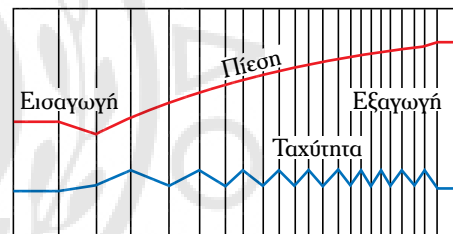
Σχ. 6.5α

Αεροσυμπιεστής ακτινικής ροής (α) με ένα (β) με περισσότερα στροφέα-περιωτές..



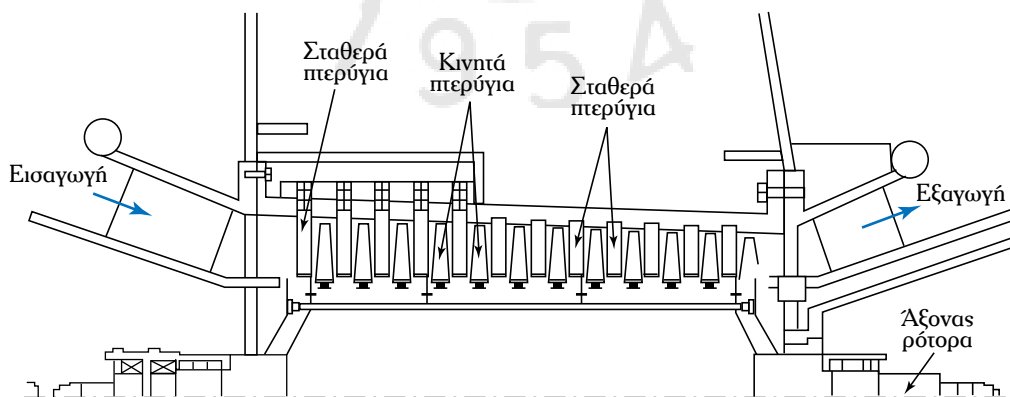
(α)

Εσωτερικός αεροσυμπιεστής



(β)

Διάγραμμα αύξησης της πίεσης και διακυμάνσεως της ταχύτητας



(γ)

Τυπική διάταξη

Σχ. 6.5β

Αεροσυμπιεστής αξονικής ροής.

τύμπανο, οι οποίες διαχωρίζονται από σειρές σταθερών περυγίων προσαρμοσμένες στο κέλυφος του αεροσυμπιεστή.

Με την περιστροφή, ο αέρας ρέει παράλληλα με τον άξονα του στροφείου και διέρχεται απ' τα κινητά περύγια αυξάνοντας την κινητική του ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε πίεση, καθώς προσκρούει στα σταθερά περύγια.

Η εξαγωγή του συμπιεσμένου αέρα πραγματοποιείται μέσα από χοάνη στο τέλος των βαθμίδων συμπίεσεως. Η κατασκευή του αεροσυμπιεστή είναι όμοια με αυτήν του αξονικού στροβίλου αντιδράσεως, με τη διαφορά ότι η πορεία του αέρα στον αξονικό αεροσυμπιεστή είναι αντίστροφη απ' αυτήν που ακολουθεί ο ατμός στον ατμοστρόβιλο αντιδράσεως. Η τυπική διάταξη του αεροσυμπιεστή αξονικής ροής παρουσιάζεται στο σχήμα 6.5β(γ), ενώ στο σχήμα 6.5β(β) παρουσιάζεται η αύξηση της πίεσεως και η διακύμανση της ταχύτητας, καθώς ο αέρας ρέει μέσα στον συμπιεστή.

6.6 Λίπανση αεροσυμπιεστών.

Η λίπανση των αεροσυμπιεστών διακρίνεται σε **εσωτερική** και **εξωτερική**.

α) Η **εσωτερική λίπανση** πραγματοποιείται σε όλα τα μέρη τριβής του συμπιεστή που έρχονται σε επαφή με τον συμπιεζόμενο αέρα, όπως τα έμβολα, τα χιτώνια των κυλίνδρων, τα ελατήρια κ.λπ..

Η λίπανση των κυλίνδρων σε αεροσυμπιεστές μικρού μεγέθους και χαμηλής και μεσαίας πίεσεως γίνεται με την εμβάπτιση του κατακόρυφου άξονα του διωστήρα στο έλαιο της ελαιολεκάνης. Το έλαιο εκτοξεύεται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου, όπως αυτό είναι ανοικτό και συγκοινωνεί με τον στροφαλοθάλαμο.

Η λίπανση των κυλίνδρων σε υψηλής πίεσεως μεγάλου μεγέθους αεροσυμπιεστές πραγματοποιείται με τη βοήθεια εξαρτημένης μηχανικής αντλίας που παρέχει λιπαντικό έλαιο στις **λουμπρικές**¹, οι οποίες κινούνται από παλινδρομικό ή περιστρεφόμενο τμήμα του ίδιου του αεροσυμπιεστή. Το έλαιο καταθλίβεται απ' την αντλία σε κάθε κύλινδρο μέσω ιδιαίτερου μικρού σωλήνα, στην άκρη του οποίου υπάρχει ανεπίστροφη βαλβίδα (συνήθως μπίλια), επιτρέποντας την κατάθλιψη του ελαίου προς τον κύλινδρο, ενώ δεν επιτρέπει την είσοδο του συμπιεσμέ-

νου αέρα στην αντλία. Ο έλεγχος της ικανοποιητικής ροής γίνεται μέσω υαλοδείκτη, που είναι τοποθετημένος σε τμήμα κάθε σωλήνα πριν την εισαγωγή του ελαίου στον κύλινδρο.

Σε άλλους αεροσυμπιεστές χρησιμοποιείται εξαρτημένη αντλία, όπου το έλαιο λιπάνσεως παρέχεται με πίεση μέσω των τριβών και του εσωτερικού οχετού των διωστήρων στους πείρους των εμβόλων, απ' όπου εξέρχεται στα τοιχώματα των κυλίνδρων.

β) Η **εξωτερική λίπανση** στους εμβολοφόρους αεροσυμπιεστές επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εξαρτημένης αντλίας με γρανάζι ή με άλλη διάταξη συνδέσεως.

Η αντλία αναρροφά το έλαιο από την ελαιολεκάνη και το καταθλίβει, αφού πρώτα φιλτραριστεί και μειωθεί η θερμοκρασία του στο ψυγείο ελαίου. Μετά το ψυγείο, το έλαιο διανέμεται με πίεση στους τριβείς των εδράνων και στους μειωτήρες μέσω κατάλληλα διαμορφωμένου δικτύου διανομής μέσα στον στροφαλοθάλαμο του αεροσυμπιεστή. Εν συνεχεία διέρχεται μέσω οπών των κομβίων του στροφαλοφόρου άξονα, και από εκεί μέσω οπών των κομβίων των στροφάλων λιπαίνει τους τριβείς των διωστήρων. Με τον ίδιο τρόπο το έλαιο διέρχεται εσωτερικά του διωστήρα και εξερχόμενο λιπαίνει τον πείρο του εμβόλου και καταλήγει στην ελαιολεκάνη.

Στους περιστροφικούς αεροσυμπιεστές με λοβούς και στους κοχλιοφόρους, **μικρή ποσότητα ελαίου** παρέχεται για τη λίπανση των εφραπτομένων μερών τους στην αναρρόφηση του αέρα.

Στους φυγοκεντρικούς και αξονικής ροής αεροσυμπιεστές, λόγω κατασκευής, δεν είναι αναγκαία η εσωτερική λίπανση, διότι τα στροφεία του συμπιεστή δεν έρχονται σε επαφή. Πραγματοποιείται μόνο εξωτερική λίπανση στους τριβείς και στους οδοντωτούς τροχούς μεταδόσεως της κινήσεως είτε από εξαρτημένη είτε από ανεξάρτητη αντλία λιπάνσεως, η οποία κινείται από κινητήρα ανεξάρτητο από τον αεροσυμπιεστή.

6.7 Ψύξη αεροσυμπιεστών.

Η ψύξη των αεροσυμπιεστών επιτυγχάνεται είτε με αέρα, που κυκλοφορεί στα κατάλληλα περύγια εξωτερικά των κυλίνδρων, είτε με νερό για μεγαλύτερη απόδοση στους συμπιεστές υψηλής πίεσεως (30 bar), προσφέροντας ικανοποιητική ψύξη και

¹ Λουμπρικές ονομάζονται οι μηχανισμοί που εφαρμόζονται σε μικρές διόδους των κυλίνδρων και ψεκάζουν έλαιο λιπάνσεως μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου-κυλίνδρου στα σημεία επαφής τους.

επεκτείνοντας την αποδοτική λειτουργία του αεροσυμπιεστή. Το νερό είναι δυνατόν να παρέχεται απευθείας στον συμπυκνωτή μέσω αντλίας από το κύριο κύκλωμα θαλάσσης του πλοίου. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται **ανοικτό** και μετά την ψύξη του αεροσυμπιεστή απορρίπτεται ξανά στο δίκτυο θαλάσσης.

Προς αποφυγή της δημιουργίας καθαλατώσεων, η ανάγκη ελέγχου της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως οδήγησε στη δημιουργία **κλειστού** κυκλώματος ψύξεως. Με ιδιαίτερη αντλία, εξαρτημένη συνήθως απ' τον αεροσυμπιεστή, κυκλοφορεί γλυκό νερό σταθερής ποσότητας στους χώρους ψύξεώς του και αυτό στη συνέχεια ψύχεται σε ψυγείο με θαλασσινό νερό απ' το κύριο δίκτυο θαλάσσης του πλοίου.

Τα ψυγεία σ' έναν αεροσυμπιεστή μπορεί να εφαρμόζονται στο σώμα του για την ψύξη των χιτώνων (σχ. 6.7), ενώ για την ψύξη των βαλβίδων το νερό κυκλοφορεί μέσα στο κατάλληλα διαμορφωμένο πώμα.

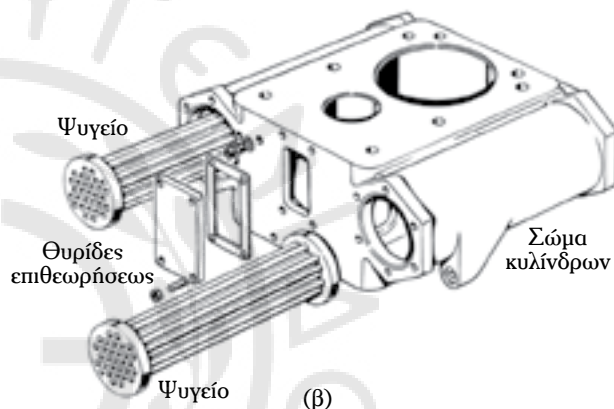
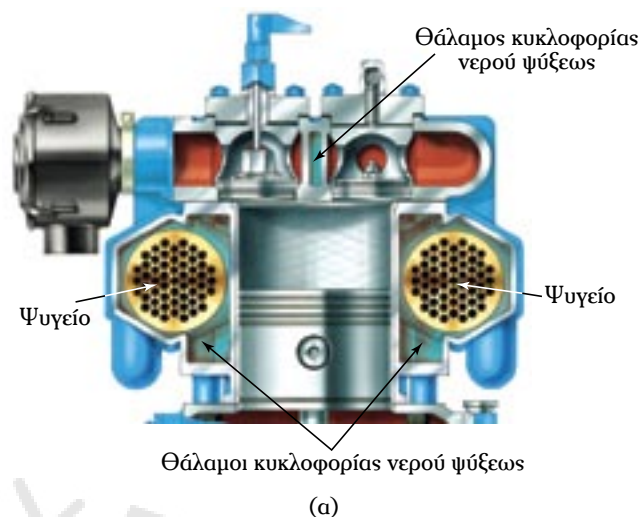
Και στις δύο περιπτώσεις η κυκλοφορία του νερού ψύξεως είναι αναγκαίο να διακόπτεται όταν ο αεροσυμπιεστής βρίσκεται εκτός λειτουργίας, ώστε να αποφεύγονται τυχόν διαρροές προς τον στροφαλοθάλαμο.

6.8 Χρήση – Δίκτυα.

Ο συμπιεσμένος αέρας που απαιτείται για την εκκίνηση της κύριας μηχανής των πλοίων με πρόωση ΜΕΚ, παράγεται από αεροσυμπιεστές υψηλής πίεσεως που φτάνει τα 20–30 bar, ενώ σε βοηθητικές εγκαταστάσεις, όπου απαιτούνται μικρότερες πιέσεις 7–16 bar παράγεται από μέσης πίεσεως βοηθητικούς αεροσυμπιεστές.

Η αποθήκευση του αέρα γίνεται σε μεγάλα κυλινδρικά δοχεία κατασκευασμένα από χάλυβα ανθεκτικό στην διάβρωση, τις αεροφιάλες, και η διανομή του στα μηχανήματα επιτυγχάνεται από κατάλληλο δίκτυο (σχ. 6.8α). Η χωρητικότητα των αεροφιαλών σε m^3 υπολογίζεται περίπου στο $1/5$ της παροχής του αεροσυμπιεστή σε ελεύθερο αέρα, όταν η παροχή υπολογισθεί σε m^3/min . Με την εγκατάσταση των αεροφιαλών επιτυγχάνεται και η απορρόφηση των απότομων διακυμάνσεων της πίεσεως στο δίκτυο, που δημιουργείται από τη λειτουργία των αεροσυμπιεστών.

Οι απαιτήσεις όμως πίεσεως στα διάφορα μηχανήματα κυμαίνονται από 3–30 bar. Γι' αυτό, το δίκτυο αέρα χωρίζεται σε **πνευματικό δίκτυο ελέγχου**, σε



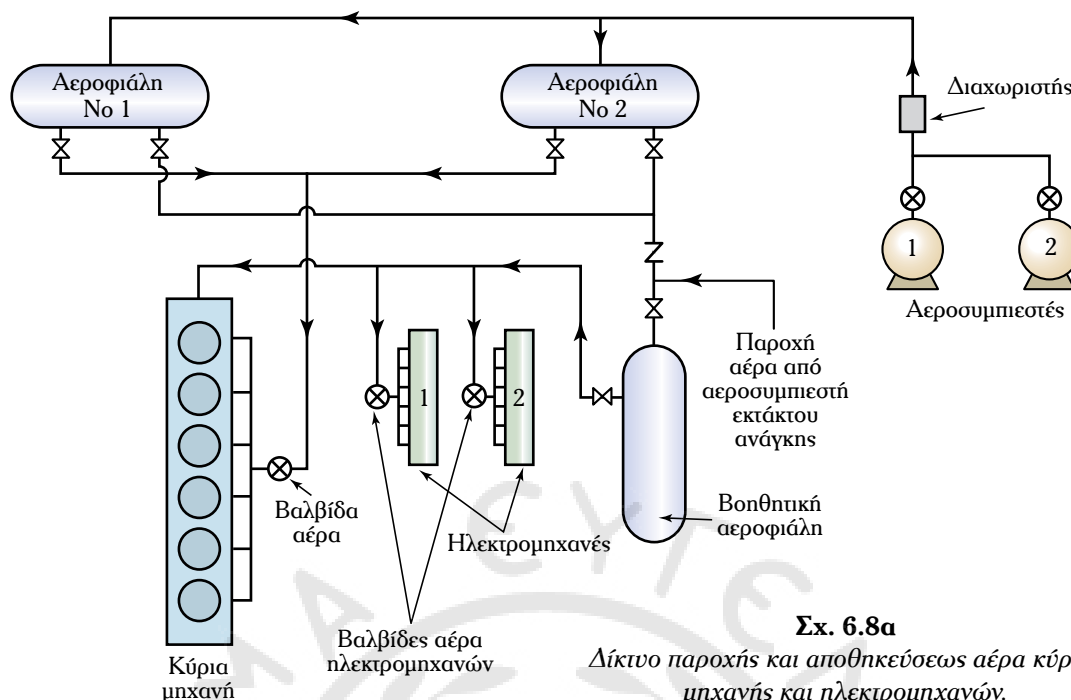
Σχ. 6.7

Ψύξη αεροσυμπιεστών. (α) Τομή αεροσυμπιεστή και (β) το σώμα των κυλίνδρων με τα χιτώνια του αεροσυμπιεστή με τα ψυγεία.

δίκτυο αέρα εκκίνησης της κύριας μηχανής και σε **δίκτυο αέρα για τις υπόλοιπες βοηθητικές χρήσεις**. Τα τρία αυτά δίκτυα μπορούν να συγκοινωνήσουν μέσω επιστομίων, ενώ η μείωση της πίεσεως στην επιθυμητή τιμή επιτυγχάνεται μέσω μειωτήρων πίεσεως.

Για την ικανοποίηση των καταναλώσεων εγκαθίστανται τρεις αεροσυμπιεστές, δύο υψηλής πίεσεως, που ονομάζονται **κύριοι αεροσυμπιεστές** (main air compressors) και ένας **βοηθητικός μέσης πίεσεως, ο βοηθητικής χρήσεως αεροσυμπιεστής** (service air compressor). Αντίστοιχα, υπάρχουν δύο κύριες αεροφιάλες με πίεση αποθηκεύσεως αέρα έως 30 bar και μία έως 16 bar.

Η ποσότητα του συμπιεσμένου αέρα που αποθηκεύεται στις κύριες αεροφιάλες πρέπει να επαρκεί στην άμεση ζήτηση για την εκκίνηση της κύριας μηχανής κατά τη διάρκεια των μανούβρων. **Ο αριθμός**



Σχ. 6.8α

Δίκτυο παροχής και αποθηκεύσεως αέρα κύριας μηχανής και ηλεκτρομηχανών.

αυτών των εκκινήσεων της κύριας μηχανής ορίζεται από τους κανονισμούς ασφαλείας σε δώδεκα συνεχείς, χωρίς την εκκίνηση των αεροσυμπιεστών για την πλήρωση των αεροφιαλών.

Βασική προϋπόθεση για τη χρήση του αέρα σε όλες τις περιπτώσεις είναι η καλή του ποιότητα, δηλαδή να είναι καθαρός, ξηρός και να μην περιέχει έλαιο. Γι' αυτό, ο αέρας, πριν εισέλθει στις αεροφιάλες, διέρχεται από διαχωριστή αποβάλλοντας το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας που περιέχει. Για την υγρασία που συλλέγεται κατά την αποθήκευση, οι αεροφιάλες είναι εφοδιασμένες με αυτόματες βαλβίδες εξυδατώσεως. Όμως, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται και εξυδατώσεις από το πλήρωμα σε τακτά χρονικά διαστήματα, ιδιαίτερα όταν η υγρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή.

Οι αεροφιάλες είναι επίσης εφοδιασμένες με ασφαλιστικές βαλβίδες, οι οποίες ανοίγουν, μειώνοντας την πίεση του αέρα, όταν αυτή υπερβεί τα όρια που ορίζονται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.

Πέραν των εξυδατώσεων, πριν ο αέρας διατεθεί στην κατανάλωση, υπόκειται σε επί πλέον επεξεργασία, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν σωματίδια, υγρασία και έλαιο, που θα κολλούσαν ή θα κατέ-

στρεφαν τις ευαίσθητες βαλβίδες και τις μεμβράνες των αυτοματισμών.

Κατά την επεξεργασία αυτή (σχ. 6.8β), ο αέρας μετά την αεροφιάλη διέρχεται από αφυγραντήρα-ξηραντήρα, ο οποίος περιέχει **οξείδιο του πυριτίου** (silica gel) και συγκρατεί την υγρασία. Ο ξηρός αέρας διέρχεται από τον θάλαμο αναζωογονήσεως και μέσω ανεπίστροφης βαλβίδας εισέρχεται στην αεροφιάλη ξηρού αέρα και από εκεί στην κατανάλωση των αυτοματισμών.

Όταν η πίεση στην αεροφιάλη ξηρού αέρα ανέβει σε προκαθορισμένη επιθυμητή πίεση, διακόπεται η παροχή του αέρα στον αφυγραντήρα-ξηραντήρα, ανοίγει μία αεροκίνητη βαλβίδα στον πυθμένα του και εισέρχεται στον ξηραντήρα αέρας από τον **θάλαμο αναζωογονήσεως**¹ αποβάλλοντας την υγρασία στο περιβάλλον. Όταν η πίεση της αεροφιάλης ξηρού αέρα μειωθεί, τότε ανοίγει η παροχή και συμπιεσμένος αέρας διέρχεται πάλι προς το δίκτυο.

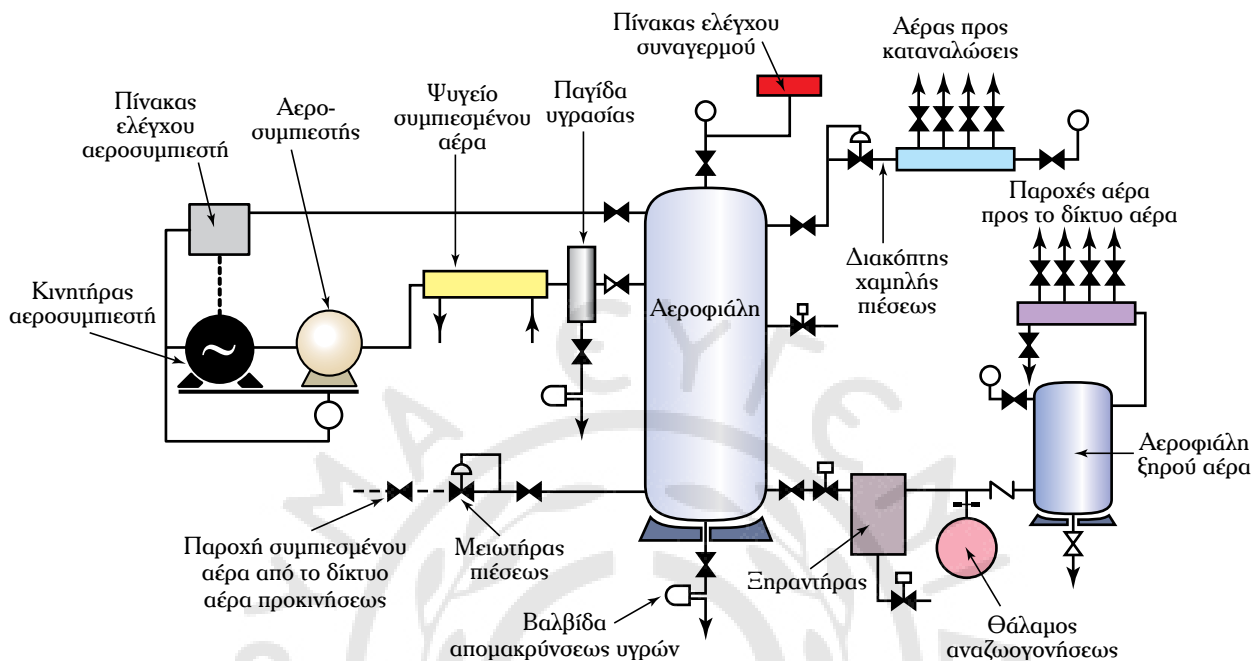
Ένας άλλος τρόπος καθαρισμού και απομακρύνσεως υγρασίας από το συμπιεσμένο αέρα, πριν την παροχή του στους αυτοματισμούς, επιτυγχάνεται με τη διέλευσή του από τρία φίλτρα (σχ. 6.8γ). Το πρώτο περιέχει μέσος ποιότητας πορώδη κεραμικά φίλτρα, όπου ο αέρας αποβάλλει τις ατμοσφαιρικές προ-

¹ Θάλαμος αναζωογονήσεως, η συσκευή επεξεργασίας του αέρα για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα και ίχνη ξένων προσμείξεων.

σμείξεις. Στη συνέχεια, περνάει από δεύτερο φίλτρο ενεργού άνθρακα και τέλος από τρίτο κεραμικό φίλτρο, απ' όπου εξέρχεται καθαρός και ξηρός προς την κατανάλωση, με πίεση από 7 έως 8,5 bar.

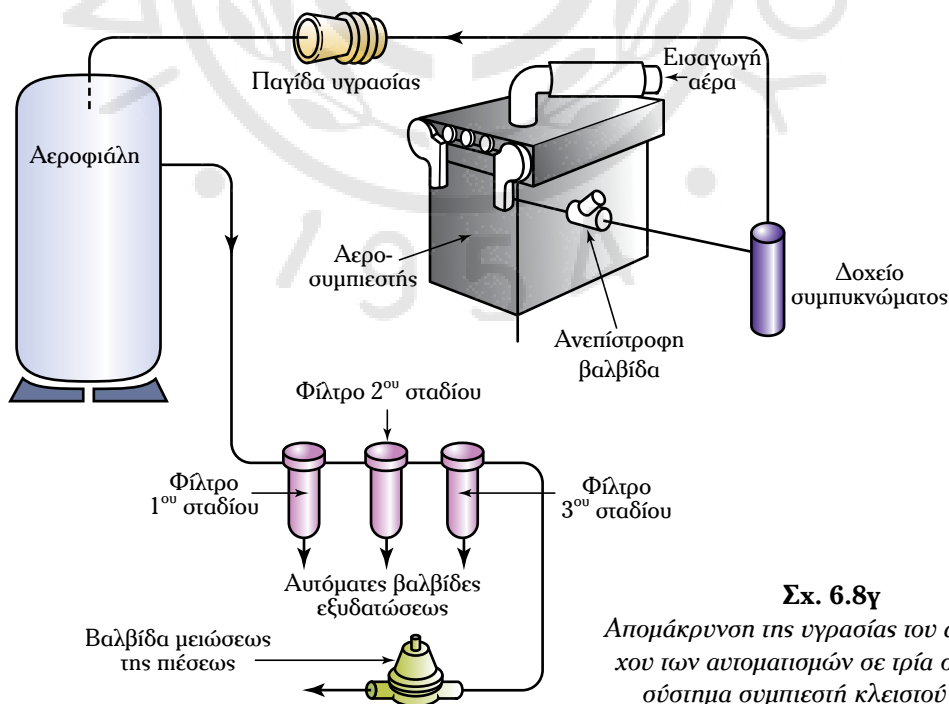
6.9 Εκκίνηση – Λειτουργία αεροσυμπιεστή.

Μερικές από τις βασικές ενέργειες που ισχύουν για όλους σχεδόν τους αεροσυμπιεστές¹ πριν την εκκίνηση, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα που



Σχ. 6.8β

Επεξεργασία συμπιεσμένου αέρα.



Σχ. 6.8γ

Απομάκρυνση της υγρασίας του αέρα ελέγχου των αυτοματισμών σε τρία στάδια, σε σύστημα συμπιεστή κλεισιού τύπου.

¹ Περισσότερες οδηγίες για κάθε αεροσυμπιεστή δίνονται στο εγχειρίδιο λειτουργίας του κατασκευαστή.

έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας ή μετά από συντήρηση και πριν την εκκίνησή τους, είναι οι ακόλουθες:

α) Έλεγχος της στάθμης του ελαίου και της ποιότητας (δηλ. τυχόν υπάρξεως νερού στην ελαιολεκάνη).

β) Έλεγχος της αντλίας λιπάνσεως των κυλίνδρων και των λουμπρικήτων, με χειροκίνητη στρέψη για την αρχική λίπανση των κυλίνδρων.

γ) Χειροκίνητη περιστροφή του συμπιεστή με τη βαλβίδα εισαγωγής ανοικτή (μέσω χειροκίνητης διατάξεως), ώστε να εξακριβωθεί ότι περιστρέφεται ελεύθερα.

δ) Έλεγχος της κυκλοφορίας νερού ψύξεως στον συμπιεστή.

ε) Έλεγχος, ώστε να είναι ανοικτή η ανεπίστροφη βαλβίδα στην κατάθλιψη προς τις αεροφιάλες.

στ) Άνοιγμα των χειροκινήτων βαλβίδων εξυδατώσεως.

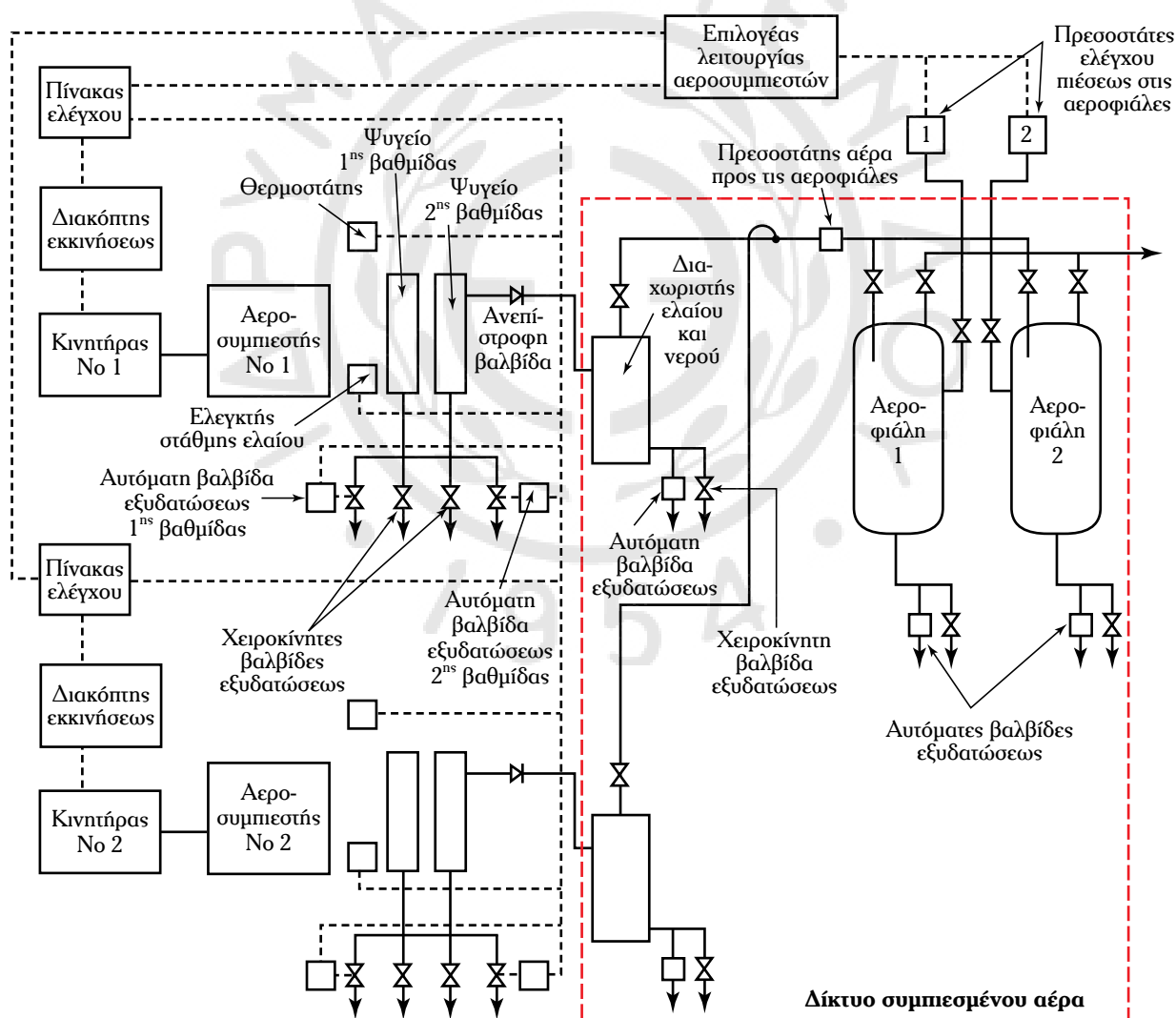
ζ) Εκκίνηση του συμπιεστή χωρίς φορτίο.

Μετά τον έλεγχο και την εκκίνηση, εφόσον όλα λειτουργούν φυσιολογικά, κλείνονται οι βαλβίδες εξυδατώσεως και η βαλβίδα εισαγωγής του αέρα, ώστε ο συμπιεστής να λειτουργεί με φορτίο.

Η λειτουργία και ο έλεγχος του συμπιεστή, που είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, ελέγχονται από το αυτοματοποιημένο σύστημα της εγκαταστάσεως (σχ. 6.9), που περιέχει:

α) Πρεσοστάτη για τον έλεγχο της πίεσεως του αέρα στις αεροφιάλες, που εκκινεί και διακόπτει τη λειτουργία του συμπιεστή.

β) Πρεσοστάτη στην κατάθλιψη της πρώτης και της δεύτερης βαθμίδας συμπίεσεως.



Σχ. 6.9

Διάταξη και αυτοματισμοί ελέγχου της εγκαταστάσεως.

γ) Πρεσοστάτη ελέγχου της πίεσεως του ελαίου.
 δ) Θερμοστάτη για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως.

ε) Θερμοστάτη για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα.

στ) Αυτόματες βαλβίδες εξυδατώσεως που ανοίγουν μετά τη διακοπή λειτουργίας του συμπιεστή.

Όλοι οι παραπάνω ελεγκτικοί μηχανισμοί είναι συνδεδεμένοι μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος με τον πίνακα ελέγχου κάθε αεροσυμπιεστή. Απ' τον πίνακα αυτόν γίνεται η εκκίνηση για την πλήρωση των αεροφιαλών κάθε φορά που πέφτει η πίεση και διακόπεται η λειτουργία του όταν αυτή φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα ή διαγνωστεί, μέσω κάποιου θερμοστάτη ή πρεσοστάτη, ανωμαλία. Ωστόσο, ο συμπιεστής κατά τη λειτουργία του συνιστάται να επιθεωρείται τακτικά ελέγχοντας:

α) Την πίεση λιπάνσεως και τη στάθμη στην ελαιολεκάνη.

β) Τις πιέσεις καταθλίψεως του αέρα πρώτης και δεύτερης φάσεως.

γ) Τις θερμοκρασίες αέρα και νερού ψύξεως.

δ) Την κυκλοφορία του νερού ψύξεως.

ε) Αν πραγματοποιούνται περιοδικές εξυδατώσεις από τις χειροκίνητες βαλβίδες, η συχνότητά τους εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος λειτουργίας του αεροσυμπιεστή, π.χ. σε υγρό κλίμα. Σ' αυτήν την περίπτωση, οι εξυδατώσεις πρέπει να είναι πιο τακτικές.

6.10 Συντήρηση – Πιθανές βλάβες.

Στις συντηρήσεις για τη διατήρηση της καλής και αποδοτικής λειτουργίας ενός αεροσυμπιεστή πραγματοποιούνται εργασίες, όπως αλλαγή του ελαίου, καθαρισμός ή αντικατάσταση των φίλτρων ελαίου και του αέρα, καθαρισμός του ψυγείου, της ελαιολεκάνης και επιθεωρήσεις. Οι εργασίες αυτές πρέπει να είναι σύμφωνες με τις οδηγίες του κατασκευαστή και να ακολουθούν το πρόγραμμα συντηρήσεως του μηχανήματος και τις ανάγκες που προκύπτουν. Αυτές είναι:

α) Επιθεώρηση ή αντικατάσταση των βαλβίδων χαμηλής και υψηλής πίεσεως.

β) Επιθεώρηση του κυλίνδρου και του εμβόλου.

γ) Επιθεώρηση των τριβών.

δ) Επιθεώρηση του πώματος και σύσφιγξη των βιδών του.

ε) Επιθεώρηση της αντλίας ελαίου.

στ) Επιθεώρηση της αντλίας νερού ψύξεως.

ζ) Επιθεώρηση της φθοράς ελατηρίων ή αντικατάστασή τους.

η) Επιθεώρηση των αυτοματισμών.

θ) Επιθεώρηση και επισκευή των ασφαλιστικών βαλβίδων.

Ο προληπτικός έλεγχος, οι τακτικές επιθεωρήσεις και ο έλεγχος της αποδόσεως, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στην πρόληψη βλαβών, επιτυγχάνοντας την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία του συμπιεστή.



7.1 Εισαγωγή.

Ως δίκτυο χαρακτηρίζεται το σύστημα που δημιουργείται για τη μεταφορά οποιουδήποτε ρευστού και η σύνθεσή του αποτελείται από:

α) **Σωλήνες** (pipes).

β) **Εξαρτήματα που προσαρμόζονται σ' αυτούς**, όπως οι βαλβίδες (valves), οι διακόπτες (cocks), τα ασφαλιστικά επιστόμια (pressure relief valves), οι ενώσεις (joints), οι μειωτήρες πίεσεως (pressure reducing valves), τα φίλτρα (filters), οι ατμοπαγίδες (steam traps) κ.λπ..

γ) **Υλικά στεγανότητας και εφαρμογής**, όπως ινώδη ή μεταλλικά παρεμβύσματα, περμανίτες από γραφίτη κ.ά..

Οι σωλήνες του δικτύου ενός πλοίου χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών, την πλήρωση ή την εκκένωση δεξαμενών, τη λειτουργία ή τον έλεγχο συστημάτων, τον εξαερισμό κλειστών χώρων ή για άλλες εφαρμογές. Αποτελούν απαραίτητο στοιχείο του δικτύου, που λειτουργεί αθόρυβα και εμφανίζεται όταν μία μηχανή σταματήσει ή ένας χώρος πλημμυρίσει από κάποια διαρροή.

Οι σωλήνες διέρχονται στο κατάστρωμα σχεδόν από όλους τους κλειστούς χώρους του πλοίου, πάνω και κάτω από την ίσαλο γραμμή. Αποτελούν μέσο συγκοινωνίας του πλοίου με την ξηρά, όπως συμβαίνει κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση, αλλά και με το θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς διαρρέονται από το νερό που εισέρχεται στο πλοίο (π.χ. θαλασσινό νερό για την ψύξη, τον ερματισμό κ.λπ.).

Τα δίκτυα σωληνώσεων των πλοίων πρέπει να ανταποκρίνονται στους ισχύοντες κανόνες κατασκευής, που εκδίδονται απ' τους φορείς του κράτους νηολογήσεως του πλοίου και σε εκείνους που ορίζονται από τον νηογνώμονα. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει με την υποβολή των σχεδίων, τον έλεγχο και την τελική

έγκριση υπό τις οδηγίες του αρμόδιου φορέα και του νηογνώμονα, εξασφαλίζοντας τη συμμόρφωση της μελέτης κατασκευής μ' αυτούς τους κανονισμούς. Τα υλικά που επιλέγονται πρέπει να προέρχονται από εγκεκριμένους κατασκευαστές. Στην τελική κατασκευή πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος των κολλήσεων και να υποβάλλονται σε δοκιμές πίεσεως υπό την επίβλεψη του νηογνώμονα που παρέχει το πιστοποιητικό για την αντοχή τους στην κόπωση.

Έτσι, οι σωληνώσεις των πλοίων είναι χωρισμένες σε τρεις κατηγορίες, με διαφορετικές τεχνικές απαιτήσεις η κάθε μια. Αυτές είναι:

α) Η **κατηγορία I** (class I). Περιλαμβάνουν τους σωλήνες καυσίμου που λειτουργούν σε πιέσεις πάνω από 16 bar ή πάνω από 150 °C και τους σωλήνες ατμού για θερμοκρασία λειτουργίας που υπερβαίνει τους 300 °C.

β) Η **κατηγορία II** (class II), στην οποία ανήκουν οι σωλήνες που οι απαιτήσεις λειτουργίας τους είναι μεταξύ των δύο κατηγοριών I και III.

γ) Η **κατηγορία III** (class III), στην οποία περιλαμβάνονται οι σωλήνες καυσίμου με πίεση λειτουργίας μικρότερη από 7 bar και 60 °C.

7.2 Υλικά κατασκευής των σωληνών δικτύου¹.

Η πλειονότητα των σωληνώσεων του πλοίου αποτελείται από σιδηρούχα υλικά, με αποτέλεσμα η διάβρωση από σκουριά να αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα. Η συντήρηση των σωληνών δεν είναι πάντα εύκολη, σε αντίθεση με το κύτος ενός πλοίου, διότι η προσέγγιση των εσωτερικών επιφανειών είναι τις περισσότερες φορές πρακτικά αδύνατη, ενώ εξίσου δύσκολη είναι η συντήρηση της εξωτερικής επιφάνειας ενός σωλήνα, που βρίσκεται κατά μήκος της κορυφής μιας δεξαμενής ή σε άλλους χώρους του πλοίου με δύσκολη πρόσβαση.

¹ Τα υλικά κατασκευής των σωληνών δικτύου ανταπύσσονται στο βιβλίο του Ιδρύματος Ευγενίδου *Μηχανική των Ρευστών*, Νικολάου Πάντζαλη, 2008.

Επίσης, η θάλασσα είναι ηλεκτρολύτης και συνεπώς αγωγός του ηλεκτρισμού. Έτσι, η ηλεκτρόλυση εμφανίζεται όπου υπάρχουν ποιοτικά διαφόρων ειδών μέταλλα ή ακόμα και σε επιφάνειες του ίδιου σωλήνα που διαρρέονται από θάλασσα. Η πρόληψη της διαβρώσεως από την ηλεκτρόλυση επιτυγχάνεται με την προσθήκη ανοδίων (δηλ. κομματιών ψευδαργύρου που τοποθετούνται στο δίκτυο).

Οι μέθοδοι που ακολουθούνται στην κατασκευή των μεταλλικών σωλήνων επηρεάζουν την αντοχή τους στη διάβρωση και στις πιέσεις που ασκούνται από το υγρό που τους διαρρέει, καθώς και στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, οι σωλήνες διακρίνονται σε χυτούς, συγκολλητούς ή με ραφή και **τραβηκτούς**¹ με ψυχρή ή εν θερμώ **εξέλαση**² χωρίς ραφή.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός δικτύου σωληνώσεων εξαρτώνται απ' τις πιέσεις που αναπτύσσονται και τις θερμοκρασίες των ρευστών που το διαρρέουν. Λαμβάνοντας υπόψη την αντοχή των υλικών, οι σωλήνες των δικτύων του πλοίου κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και χαρακτηρίζονται με το αντίστοιχο όνομα. Ειδικότερα:

α) Οι **σωλήνες μαλακού χάλυβα** (mild steel) αποτελούν την πλειονότητα των σωλήνων των δικτύων του πλοίου.

β) Οι **σωλήνες από χυτοσίδηρο** (cast-iron) έχουν χαμηλή ανθεκτικότητα στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό, διότι με τη διέλευση της θάλασσας απομακρύνεται ο χάλυβας από την επιφάνειά τους, με αποτέλεσμα να μένει μόνο ο μαλακός γραφίτης.

γ) Οι **σωλήνες από χαλκό** (copper) χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μέτριας πίεσεως (7-10 bar) και θερμοκρασίας.

δ) Οι **σωλήνες από μη σιδηρούχα κράματα** (nonferrous alloys) (π.χ. από ορείχαλκο) που χρησιμοποιούνται αντί για τους χάλκινους σωλήνες, διότι έχουν υψηλότερη αντοχή σε χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες μέχρι 200°C.

ε) Οι **ελαστικοί** (rubber) ή **συνθετικοί σωλήνες από πλαστικό** (PVC) είναι εύκαμπτοι και ανθεκτικοί στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό και

στ) οι **σωλήνες από ανοξείδωτο ατσάλι** (stainless steel). Αυτοί οι σωλήνες χρησιμοποιούνται στα

δίκτυα σωλήνων που διαρρέονται από επικίνδυνες ουσίες και από ιδιαίτερα διαβρωτικά υγρά.

7.3 Σύνδεση σωλήνων.

Για την κατασκευή ενός δικτύου μεγάλου μήκους, που μπορεί να διατρέχει το κατάστρωμα ενός πλοίου συνδέονται πολλοί σωλήνες μικρού μήκους.

Παράγοντες όπως οι κραδασμοί του πλοίου, η διαστολή ή συστολή του σωλήνα λόγω της θερμοκρασίας του ρευστού που διαρρέει το δίκτυο, η πίεση, το είδος του ρευστού αλλά και το υλικό του σωλήνα, πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή του τρόπου πραγματοποίησης αυτών των συνδέσεων και στεγανοποίησής τους.

Με τις συνδέσεις επιτρέπεται η εύκολη αποσύνδεση ενός τμήματος σωλήνα ή σωλήνων από το δίκτυο, ώστε να επιθεωρηθεί, να επισκευαστεί ή να αντικατασταθεί αν αυτό είναι αναγκαίο. Οι τρόποι με τους οποίους πραγματοποιούνται οι συνδέσεις είναι:

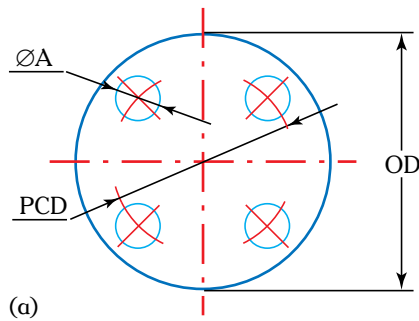
α) Με **περιαυχένια** [κοινώς φλάντζες (flanges)], τα οποία αποτελούν έναν από τους συνηθέστερους τρόπους συνδέσεως κυρίως όταν η πίεση του δικτύου είναι υψηλή, καθώς και για σωλήνες μεγάλης διαμέτρου.

Το περιαυχένιο είναι ένας δακτύλιος, ο οποίος συγκολλάται ή βιδώνεται στο άκρο ενός σωλήνα παρέχοντας τη δυνατότητα αναπτύξεως ενός δικτύου. Για τη σύνδεση των περιαυχενίων στην επίπεδη επιφάνειά τους υπάρχουν οπές (τρύπες) για τις βίδες [σχ. 7.3α(α)], κατανεμημένες κατάλληλα, ώστε όταν συνδέονται δύο περιαυχένια, να συσφίγγονται ομοιόμορφα (σχ. 7.3β). Όταν χρησιμοποιούνται περιαυχένια για τη διακοπή της ροής στο δίκτυο ή στο τέλος ενός σωλήνα, τότε το περιαυχένιο έχει μόνο τις τρύπες για τις βίδες και ονομάζεται κοινώς *ινφλί* [σχ. 7.3α(β)].

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι περιαυχενίων σε όλο τον κόσμο, γι' αυτό σχεδιάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις, ώστε να επιτρέπεται η εύκολη δυνατότητα παραγωγής και παραγγελίας τους. Κοινά πρότυπα σύμφωνα με τα οποία γίνεται η τυποποίηση των περιαυχενίων είναι τα ASA/ANSI/ASME (για τις ΗΠΑ), PN/DIN (για την Ευρώπη), BS10 (για τη Βρετανία και την Αυστραλία), και JIS/KS (για την

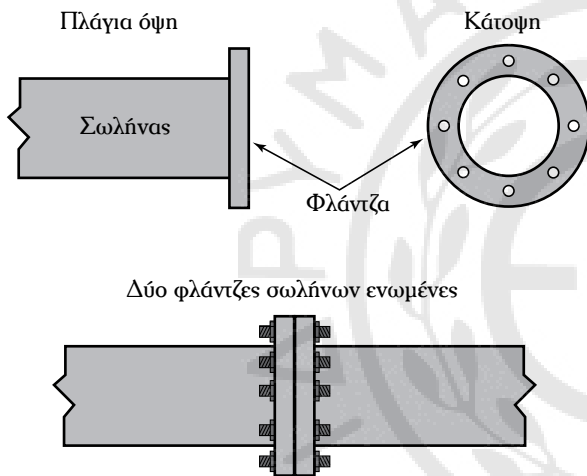
¹ Οι τραβηκτοί σωλήνες, όπως και οι τραβηκτοί αυλοί των εναλλακτάρων, παράγονται με διεργασία κατά την οποία δεν υπάρχουν ενώσεις (ραφές) κατά μήκος του σωλήνα που θα αποδυνάμωναν την αντοχή του.

² Εξέλαση ονομάζεται η κατεργασία κατά την οποία ένα φύλλο μετάλλου διαμορφώνεται, καθώς διέρχεται ανάμεσα σε δύο ατσάλινους κυλίνδρους.



Σχ. 7.3α

(α) Διαστάσεις που λαμβάνονται υπόψη κατά την μέτρηση περιαιχενίων, εξωτερική διάμετρος OD (Outside diameter), διάμετρος οπής βίδας A (bolt hole diameter), διάμετρος κύκλου που διέρχεται από το κέντρο των οπών PCD (Pitch Circle Diameter). (β) Διάφοροι τύποι περιαιχενίων.

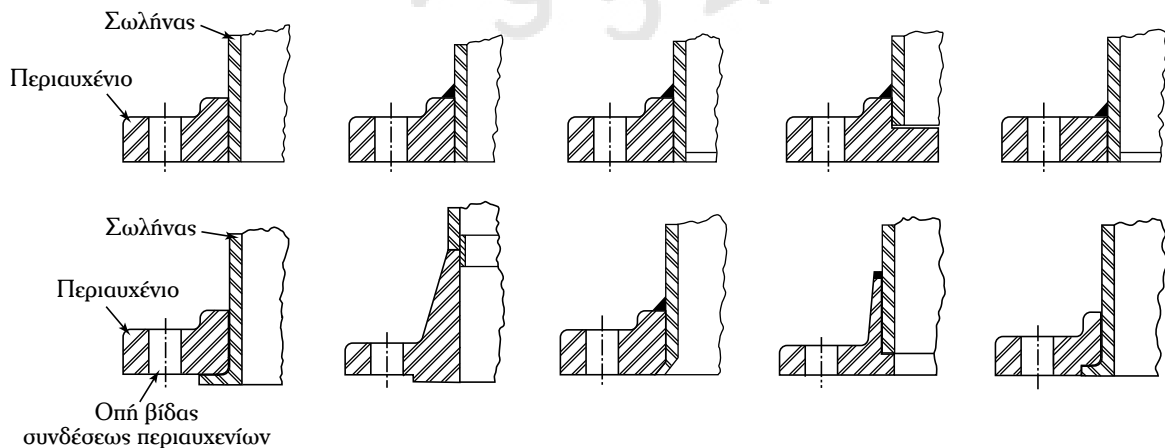


Σχ. 7.3β

Σύνδεση δύο σωλήνων με περιαιχένια.

Ιαπωνία και την Κορέα), με τις διαστάσεις που λαμβάνονται υπόψη σύμφωνα με τον πίνακα Π.Δ.1 (Τυποποιημένες διαστάσεις) του Παραρτήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι εναλλάξιμα, για παράδειγμα τα ANSI/ASME περιαιχένια δεν θα συνδυάζονται με τα περιαιχένια JIS. Περαιτέρω, πολλά από τα πρότυπα των περιαιχενίων χωρίζονται σε «κλάσεις πιέσεως», επιτρέποντας να είναι σε θέση να δέχονται διαφορετικές πιέσεις, τα οποία και πάλι δεν είναι εναλλάξιμα (π.χ. ANSI/ASME 150 δεν θα συνδεόνται με ANSI/ASME 300). Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα ANSI B16.5 (American National Standards Institute) και BS 10, BS EN1092 (British Standards).

Οι τρόποι προσαρμογής τους στα άκρα των σωλήνων εικονίζονται στο σχήμα 7.3γ, ενώ το υλικό κατασκευής τους είναι **όμοιο** με το υλικό του σωλήνα στον οποίο προσαρμόζονται.



Σχ. 7.3γ

Τρόποι συνδέσεως σωλήνα με περιαιχένιο (κοινώς φλάντζα).

Σε δίκτυα από χάλυβα, η εφαρμογή της φλάντζας πραγματοποιείται με ηλεκτροσυγκόλληση ή μπορεί να δημιουργηθεί σπείρωμα στο άκρο του σωλήνα και στο εσωτερικό της φλάντζας να βιδωθούν και μετά να ηλεκτροσυγκολληθούν περιφερειακά. Στους σωλήνες χαλκού και κραμάτων χαλκού-ορειχάλκου κ.λπ. χρησιμοποιείται μπруντζοκόλληση, ενώ σε χαμηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιείται και η λεγόμενη τριχοειδής συγκόλληση ή **ασημοκόλληση** (brazing). Έτσι, αντίστοιχα, για κάθε σωλήνα από συγκολλησιμο υλικό π.χ. αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χρησιμοποιείται και το αντίστοιχο κράμα συγκολλήσεως. Το πάχος κάθε φλάντζας αυξάνεται όσο αυξάνεται η ονομαστική πίεση, ενώ η τελική σύνδεση πραγματοποιείται με τη σύσφιγξη δύο φλαντζών, που έχουν προσαρμοστεί σε δύο σωλήνες με κοχλίες και περικόχλια (βίδες και παξιμάδια).

β) Με **συνδέσμους** (pipe fittings), κοινώς **ρακόρ** (racor), που είναι εξαρτήματα με τυποποιημένα κατασκευαστικά στοιχεία όπως σπείρωμα, μήκος, εσωτερική και εξωτερική διάμετρο.

Η εφαρμογή τους στο άκρο ενός σωλήνα γίνεται με βίδωμα στο κατάλληλα διαμορφωμένο σπείρωμα του σωλήνα και παρέχονται σε πολλά σχέδια και σχήματα (σχ. 7.3δ). Ανάλογα με το υλικό του σωλήνα στο οποίο προσαρμόζονται, κατασκευάζονται από γαλβανισμένο μαλακό χάλυβα, ορείχαλκο, ανοξείδωτο χάλυβα ακόμα και από πλαστικό. Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι, που χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι ανθεκτικοί στις μεταβολές πίεσεως και θερμοκρασίας του υγρού.

γ) Με **συνδέσμους τύπου ερμέτο** (ermeto), που είναι επίσης τυποποιημένα εξαρτήματα κατάλ-



Σχ. 7.3δ
Σύνδεσμοι σωλήνων.

ηλα για πολύ υψηλές πιέσεις (σχ. 7.3ε). Εφαρμόζονται σε σωλήνες με λεία εξωτερική επιφάνεια και κατά την εφαρμογή τους στο άκρο του σωλήνα, ο δακτύλιος στεγανώσεως απ' τον οποίο αποτελούνται είτε εκτονώνεται είτε οι εξοχές του δακτυλίου εισέρχονται στην επιφάνεια του σωλήνα με τη σύσφιγξη του περικοχλίου απ' το οποίο αποτελείται το ερμέτο. Οι συνδέσεις με τη χρήση ερμέτου δεν επιτρέπουν την αξονική ή γωνιακή μετατόπιση των σωλήνων, διότι χαλαρώνει η εκτόνωση του εσωτερικού δακτυλίου με αποτέλεσμα την απώλεια της στεγανοποίησής. Κατασκευάζονται συνήθως από ορείχαλκο, ενώ όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε υγρά ή περιβάλλον με υψηλή διάβρωση κατασκευάζονται από ανοξείδωτο υλικό.

δ) Με **καμπύλες διαστολής** (expansion loops). Πρόκειται για συνδέσεις που απορροφούν την επιμήκυνση των σωλήνων και αντιμετωπίζουν τις τάσεις που δημιουργούνται απ' τη συστολή και τη διαστολή του υλικού κατασκευής του σωλήνα, λόγω της διακυμάνσεως στη θερμοκρασία, όπως στους σωλήνες ατμού. Έχουν σχήμα Ω (ωμέγα) (σχ. 7.3στ), ενώ κάποιοι από αυτούς κατασκευάζονται από κυματοει-



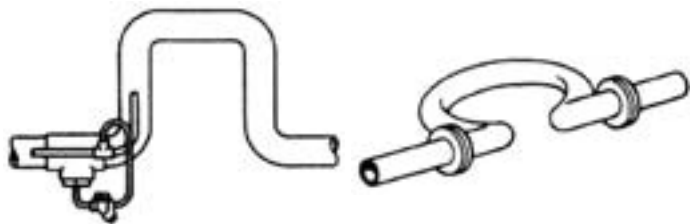
(α)



(β)

Σχ. 7.3ε

(α) Διάφοροι τύποι ερμέτων. (β) Τομή εφαρμογής ερμέτου σε σωλήνα.



Σχ. 7.3στ

Μορφές καμπυλών διαστολής (Π και Ω).

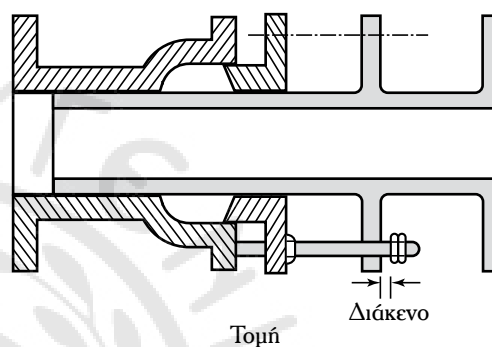


δή σωλήνα, αυξάνοντας την ικανότητα απορροφήσεως των τάσεων.

ε) Με **ολισθαίνουσες ενώσεις** (expansion joints) ή γλίστρες. Ανάλογα με τις συνθήκες και το ρευστό που διαρρέει το δίκτυο των σωληνώσεων χρησιμοποιούνται:

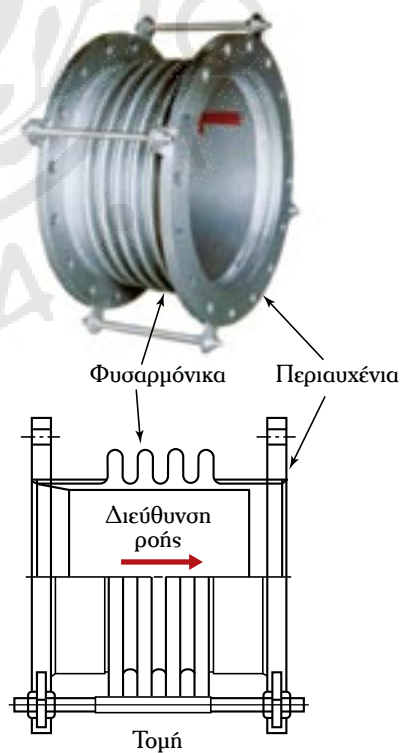
- Συνδέσεις με **ολισθαίνουσες ενώσεις με τράντες** (tie rod expansion joints), στις οποίες ένα κομμάτι σωλήνα είναι τοποθετημένο μέσα σε ένα άλλο και υπάρχει μεταξύ τους παρέμβυσμα ή λάστιχο που πιέζεται από ένα δακτύλιο με ρυθμιστικούς κοχλίες και περικόχλια (βίδες και παξιμάδια). Έχει τη μορφή του σχήματος 7.3ζ, επιτρέποντας την αξονική κίνηση του ενός σωλήνα μέσα στον άλλο απορροφώντας τη διαστολή των σωληνών του δικτύου.
- Συνδέσεις με **ολισθαίνουσες ενώσεις τύπου φυσαρμόνικας** (bellow expansion joints). Αυτές χρησιμοποιούνται σε δίκτυα που διαρρέονται από ρευστά υψηλής θερμοκρασίας (π.χ. ατμό ή καυσαέρια), απορροφώντας τη συστολή και τη διαστολή των σωληνώσεων και τους κραδασμούς ταυτόχρονα. Είναι μεταλλικές και συνήθως κατασκευάζονται από ανοξείδωτο ατσάλι, ενώ για ιδιαίτερα διαβρωτικά ρευστά από ειδικό κράμα. Αποτελούνται από έναν ίσιο σωλήνα (χιτώνιο) συγκολλημένο σ' ένα περιαιχένιο στη μία πλευρά, το οποίο εξωτερικά περιβάλλεται από σωλήνα σε σχήμα φυσαρμόνικας. Το ίσιο τμήμα τοποθετείται σύμφωνα με τη διεύθυνση του ρευστού, ώστε να εξομαλύνεται η ροή του (σχ. 7.3η), αποτρέποντας ταυτόχρονα τη δημιουργία επικαθίσεων από το ρευστό που επιταχύνει τη διάβρωση. Τοποθετούνται είτε συμπίεσμένες είτε με επιμήκυνση, ώστε κάθε φορά να δέχονται την τάση που αναλογεί στην ψύξη ή τη θέρμανση των σωληνών του δικτύου που τις διαρρέει και αντίστοιχα να αντιμετωπίζουν τη συστολή ή τη διαστολή των σωληνών.

στ) Με **ενώσεις εκτονώσεως από ελαστομερές** (rubber expansion joints), που κατασκευάζονται από συνθετικό καουτσούκ ενισχυμένο με ίνες νήματος ή με-



Σχ. 7.3ζ

Ολισθαίνουσα σύνδεση με τράντες.



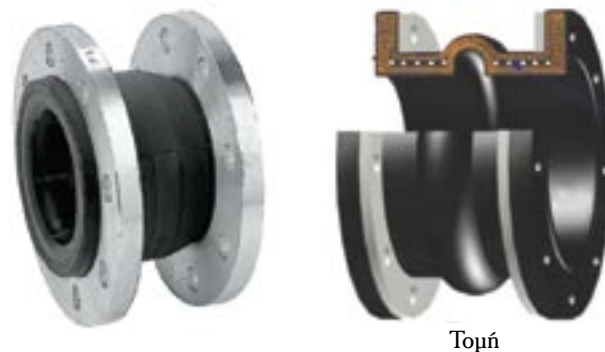
Σχ. 7.3η

Ολισθαίνουσες ενώσεις με φυσαρμόνικα (bellow).

ταλλικές (σχ. 7.30). Είναι κατάλληλες για θερμοκρασίες ρευστού έως 120 °C και πιέσεις έως 200 psi, διαφορετικά χρησιμοποιούνται μεταλλικές συνδέσεις. Εντός αυτών των ορίων οι συνδέσεις από ελαστομερές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις μεταλλικές συνδέσεις, διότι είναι περισσότερο ανθεκτικές στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό και την υγρασία, δεν παραμορφώνονται από κτυπήματα, ο χώρος που απαιτείται για την εφαρμογή τους μεταξύ των δύο σωλήνων είναι μικρότερος, έχουν μικρό βάρος και χαμηλό κόστος κατασκευής. Η ελαστικότητα που διαθέτουν απορροφά τις τάσεις συστολής ή διαστολής των σωλήνων του δικτύου, μειώνουν τον θόρυβο λειτουργίας, απομονώνουν τις δονήσεις και αντισταθμίζουν την ευθυγράμμιση των σωλήνων. Διατίθενται σε διάφορες διαμέτρους, ώστε να εξυπηρετούν από πολύ μικρούς έως πολύ μεγάλους σωλήνες δικτύων.

7.4 Βαλβίδες (επιστόμια – διακόπτες).

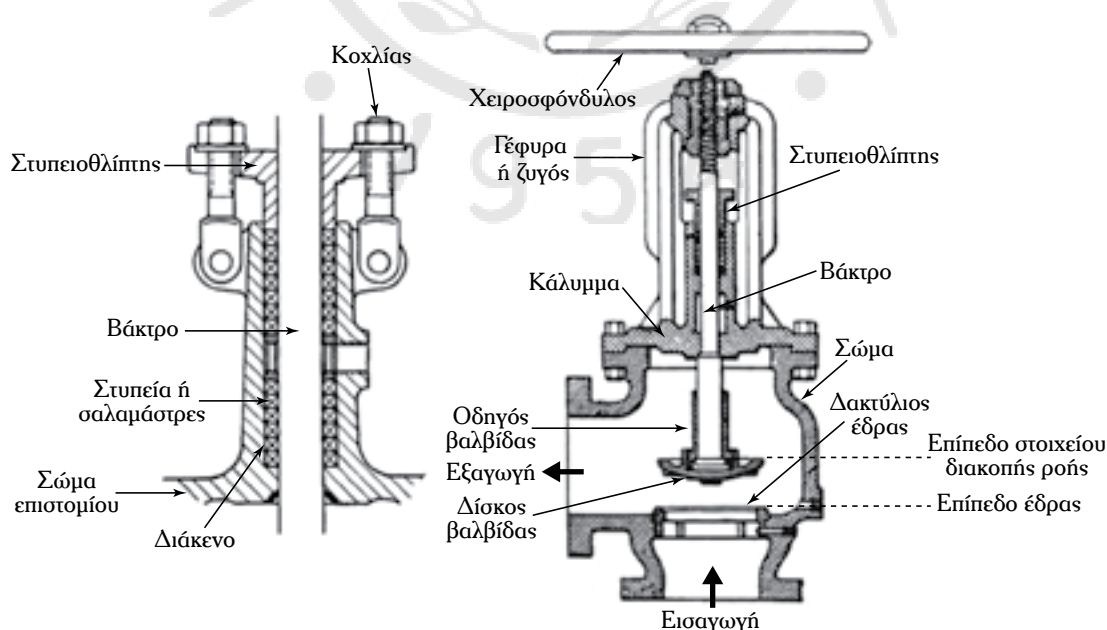
Οι βαλβίδες αποτελούν τα εξαρτήματα ενός δικτύου που ρυθμίζουν την πίεση και τη ροή του ρευστού που το διαρρέει. Η δράση τους περιλαμβάνει τη διακοπή ή την έναρξη της ροής, τον έλεγχο του ρυθμού ροής, την εκτροπή και την πρόληψη της αντίθετης ροής και τον έλεγχο ή την ανακούφιση της πίεσης του δικτύου. Κάθε μία απ' αυτές τις περιπτώσεις επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της θέσεως



Σχ. 7.30

Ενώσεις εκτονώσεως από ελαστομερές.

του στοιχείου ροής που κλείνει τη βαλβίδα και πραγματοποιείται χειροκίνητα ή αυτόματα. Οι βαλβίδες αποτελούνται από το σώμα, που έχει τρία ανοίγματα, ένα εισαγωγής, ένα εξαγωγής του ρευστού και ένα στο οποίο εφαρμόζεται καπάκι κατάλληλα διαμορφωμένο, ώστε να διέρχεται ο άξονας ελέγχου (βάκτρο χειρισμού) του στοιχείου διακοπής ροής. Το στοιχείο αυτό επικάθεται στεγανά σε κατάλληλη έδρα μέσα στο σώμα της βαλβίδας, διακόπτοντας τη ροή μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής του ρευστού. Η στεγανοποίηση του βάκτρου χειρισμού του στοιχείου διακοπής ροής, στο σημείο που διαπερνά το καπάκι, πραγματοποιείται με κατάλληλη διαμόρφωση όπου εφαρμόζεται στυπιοθλίπτης (σχ. 7.4α) και στο διάκενο που δημιουργείται, τοποθετούνται παρεμβύσματα από σαλαμάστρες διαφόρων υλικών όπως γραφιωμένων νημάτων, τεφλόν κ.ά..



Σχ. 7.4α

Βαλβίδα και στυπιοθλίπτης.

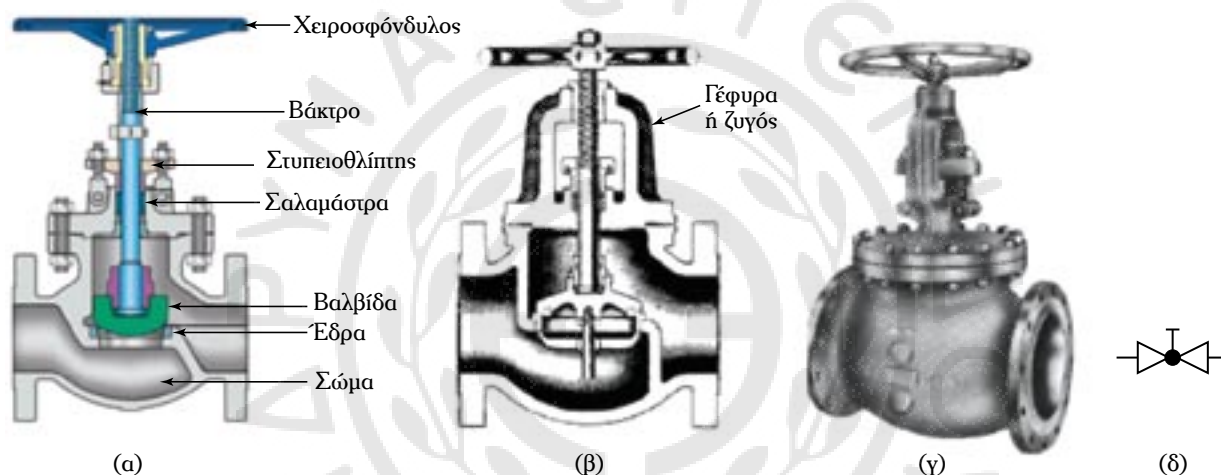
Το βάκτρο κινείται μέσω σπειρώματος κοχλιωμένο μέσα σε αντίστοιχο περικόχλιο που βρίσκεται σε εξωτερικό ζυγό ή γέφυρα εγκατεστημένο στο καπάκι. Σε άλλους τύπους βαλβίδων-επιστομιών π.χ. στις βαλβίδες ακαριαίας διακοπής της ροής (quick close valves) (σχ. 7.4α) το βάκτρο, για τη μετατόπιση του στοιχείου διακοπής της ροής (δίσκος βαλβίδας) σε σχέση με τον δακτύλιο της έδρας, ολισθαίνει μέσα από τα παρεμβύσματα παρασυρόμενο από μηχανισμό με ελατήριο ή έμβολο με αέρα, χωρίς να απαιτείται το σπείρωμα στη γέφυρα του επιστομίου για τη μετατόπιση του βάκτρου.

Σύμφωνα με τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά, οι βαλβίδες διακρίνονται σε:

α) **Επιστόμια** (globe valves). Οι βαλβίδες αυ-

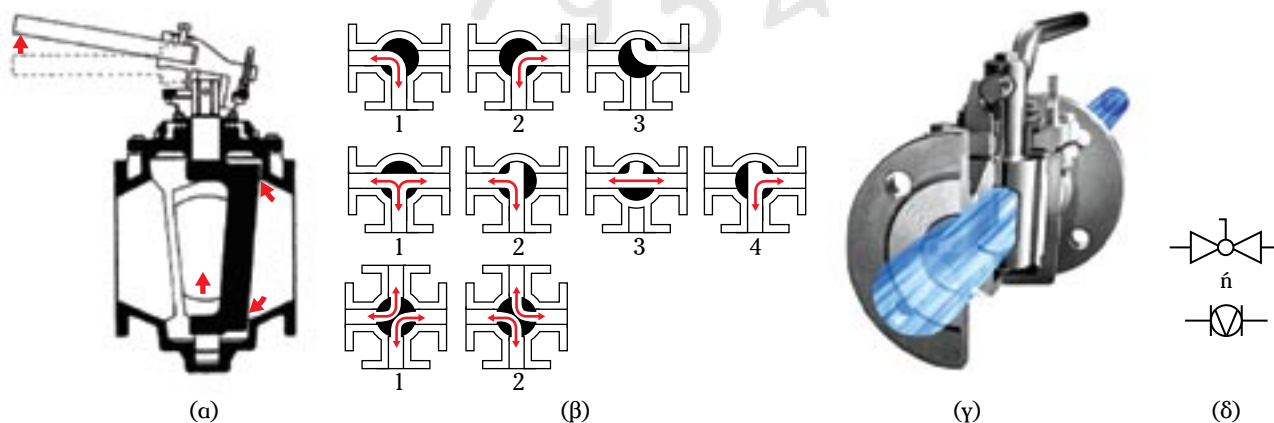
τές, με την κάθετη αύξηση ή μείωση της αποστάσεως του στοιχείου διακοπής ροής (ή κοινώς δίσκος βαλβίδας ή βαλβίδα), σε σχέση με το κυκλικό στόμιο (έδρα), επιτυγχάνουν τον έλεγχο της ροής του ρευστού (σχ. 7.4β). Το στοιχείο διακοπής ροής έχει τη μορφή δίσκου ή είναι καμπύλο, ενώ το επίπεδο της κινήσεώς του είναι παράλληλο προς το επίπεδο της έδρας στο σώμα του επιστομίου.

β) **Κρουνοί ή βάνες** (cocks). Οι βαλβίδες αυτές αποτελούνται από ένα σφηνοειδές έμβολο με θυρίδα, μέσα στο οποίο διέρχεται το υγρό και περιστρέφονται έως 90°C μεγιστοποιώντας τη ροή του υγρού που διαρρέει τον κρουνό (σχ. 7.4γ). Χρησιμοποιούνται κυρίως ως ανοικτοί ή κλειστοί διακόπτες ροής και σπάνια για τη ρύθμιση της ροής.



Σχ. 7.4β

Επιστόμια (globe valves): (α) τομή επιστομίου χωρίς γέφυρα ή ζυγό, (β) τομή επιστομίου με γέφυρα ή ζυγό, (γ) εικόνα επιστομίου και (δ) συμβολισμός.



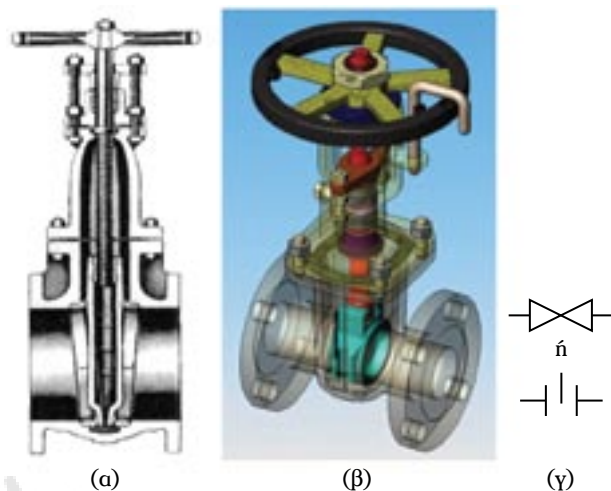
Σχ. 7.4γ

Κρουνοί (cocks) και διευθύνσεις ροής: (α) κρουνός, (β) τύποι ροής κρουνών, 1,2,3,4 διάφορες θέσεις του στοιχείου ροής (γ) σε τομή η ροή μέσα σε κρουνό και (δ) συμβολισμός.

γ) **Επιστόμια με σύρτες** (gate valves). Η ροή σ' αυτές τις βαλβίδες ελέγχεται από έναν δίσκο ίδιας διαμέτρου με την έδρα της. Η πτώση της πίεσεως μέσα στα επιστόμια είναι χαμηλή, διότι η ροή του υγρού είναι ευθύγραμμη. Η ροή επιτρέπεται και απ' τις δύο κατευθύνσεις χωρίς να μεταβάλλονται οι συνθήκες ροής, πράγμα που δεν συμβαίνει πάντα στα επιστόμια με αιωρούμενους δίσκους. Το στοιχείο ελέγχου της ροής (σύρτης) παρασύρεται από το βάκτρο (stem), κινούμενο κάθετα στη διεύθυνση ροής αποκαλύπτοντας το στόμιο που διέρχεται το ρευστό. Η πίεση του ρευστού στα δίκτυα που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι πολύ υψηλή, ενώ κατασκευάζονται και για σωλίνες πολύ μεγάλης διαμέτρου. Ο σύρτης διακοπής της ροής του ρευστού ή έχει **παράλληλες πλευρές** (parallel slide gate valve) ή έχει τη **μορφή σφήνας** (wedge gate valve) για καλύτερη στεγανοποίηση και προστασία της έδρας και του δίσκου (σχ. 7.4δ).

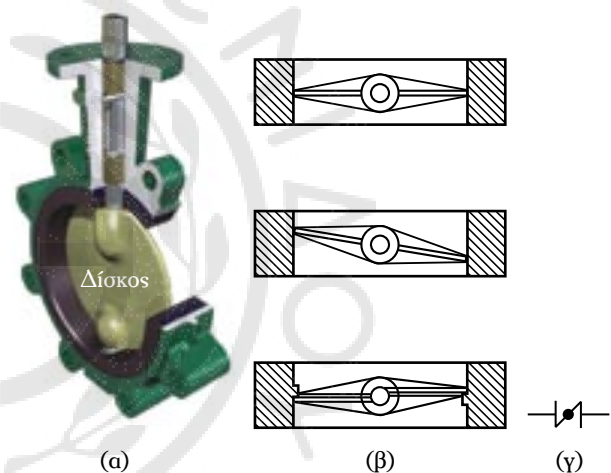
δ) **Επιστόμια τύπου πεταλούδας** (butterfly valves). Οι βαλβίδες αυτές αποτελούνται από έναν δίσκο, ο οποίος περιστρέφεται, αποκαλύπτοντας τη θυρίδα ενός δακτυλίου στο σώμα του επιστομίου ίση με την ακτινική διάσταση του σωλήνα όπου τοποθετούνται. Η γωνία περιστροφής του δίσκου είναι 90°, αποκαλύπτοντας έτσι τη μέγιστη επιφάνεια της θυρίδας ροής με αποτέλεσμα η πτώση πίεσεως να είναι πολύ χαμηλή λόγω ελλείψεως στροβιλισμού του ρευστού. Οι έδρες έχουν απόλυτη στεγανότητα, διότι συνήθως κατασκευάζονται από μαλακό υλικό (ελαστικό) επιτυγχάνοντας απόλυτη εφαρμογή (σχ. 7.4ε). Αυτό περιορίζει τη χρήση τους σε δίκτυα με υψηλή θερμοκρασία του ρευστού, διαφορετικά ο δίσκος και η έδρα κατασκευάζονται από μέταλλο. Το άνοιγμα και το κλείσιμο αυτού του τύπου βαλβίδας πραγματοποιείται με μεγάλη ταχύτητα, διότι μόνο το ένα τέταρτο της περιστροφής του άξονα αρκεί, για να βρεθεί ο δίσκος στην πλήρως ανοικτή ή κλειστή θέση. Για τον λόγο αυτόν, τα επιστόμια τύπου πεταλούδας χρησιμοποιούνται συνήθως στη ρύθμιση της θερμοκρασίας νερού σε σωλίνες δικτύου των ψυγείων. Έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών και κατασκευάζονται από πολύ μικρά έως μεγάλα μεγέθη.

ε) **Βαλβίδες με αιωρούμενο δίσκο ή κλαπέ** (flap valves) [σχ. 7.4στ(α)]. Σ' αυτές τις βαλβίδες ο έλεγχος της ροής επιτυγχάνεται από έναν αιωρούμενο δίσκο ή κλαπέ με άγκιστρο αναρτήσεως. Για να λειτουργήσουν, τοποθετούνται οριζόντια ή κατακόρυφα με τη ροή πάντα από την κάτω πλευρά του δίσκου, ενώ το άγκιστρο αναρτήσεως τοποθετείται στην επάνω πλευρά. Χρησιμοποιούνται ως ανεπίστροφες



Σχ. 7.4δ

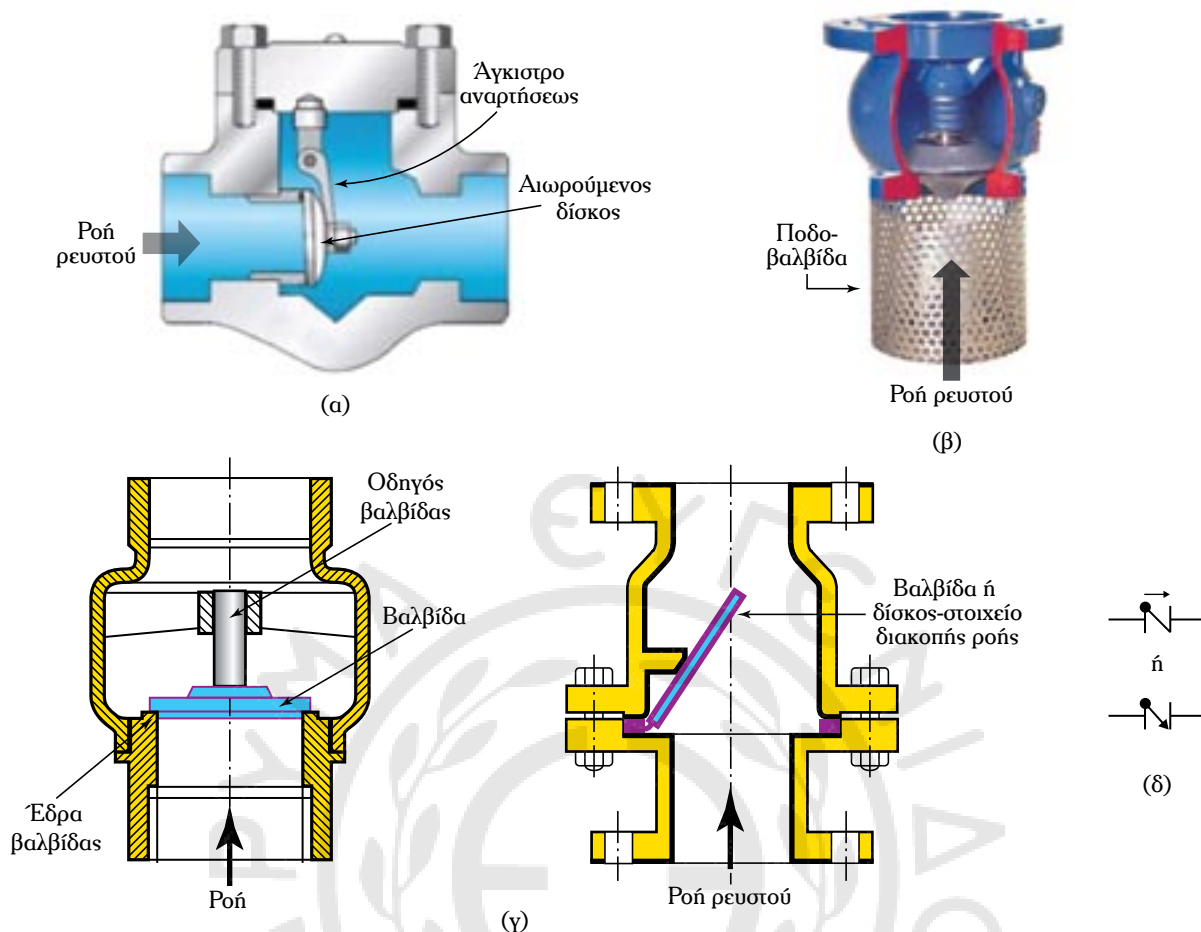
Επιστόμια με σύρτες: (α) τομή επιστομίου, (β) τρισδιάστατη τομή του επιστομίου και (γ) συμβολισμός.



Σχ. 7.4ε

Επιστόμια τύπου πεταλούδας (butterfly valves) (α) τομή επιστομίου, (β) θέσεις στοιχείου διακοπής ροής επιστομίου και (γ) συμβολισμός.

βαλβίδες μεσαίου ή πολύ μεγάλου μεγέθους [σχ. 7.4στ(α)] σε δίκτυα καταθλίψεως, όταν μετά τη διακοπή της ροής αποτρέπεται η διέλευση υγρού προς την αντίθετη φορά, π.χ. στους σωλίνες αποχετεύσεως από χώρους ενδιαίτησεως, από τα μπούνια του καταστρώματος κ.ά.. Η πτώση πίεσεως στους δίσκους ή τα κλαπέ είναι μικρή, διότι προκαλούν μικρή απόκλιση στη ροή. Η θέση του δίσκου καθορίζεται από την ταχύτητα ροής, ώστε να ανοίγει με τη ροή του υγρού και να κλείνει απ' το βάρος του δίσκου όταν σταματήσει η ροή ή από την πίεση του υγρού όταν ρέει αντίθετα. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν και οι **ποδοβαλβίδες** (foot valves) [σχ. 7.4στ(β)], που τοποθετούνται στο άκρο του σωλήνα αναρροφήσεως



Σχ. 7.4στ

(α) Ανεπίστροφη βαλβίδα, (β) ποδοβαλβίδα, (γ) τομή διαφόρων τύπων βαλβίδων με αιωρούμενο δίσκο ή βαλβίδα και (δ) συμβολισμός.

μιας φυγοκεντρικής αντλίας, συγκρατώντας το υγρό μέσα στον σωλήνα αναρροφήσεως και διευκολύνοντας την αρχική της εκκίνηση. Οι ποδοβαλβίδες κλείνουν είτε με το βάρος του δίσκου και την πίεση του υγρού, όταν αντιστρέφεται η ροή μετά την κράτηση της αντλίας, είτε με την ένταση ελατηρίου.

7.5 Στεγανοποίηση βαλβίδων-επιστομιών.

Η στεγανοποίηση σε όλους τους τύπους βαλβίδων-επιστομιών που εγκαθίστανται σε ένα δίκτυο είναι απαραίτητη για την ασφαλή διακίνηση των ρευστών. Στα περιαυχένια συνδέσεως με τους σωλήνες του δικτύου και στο άνοιγμα του σώματος της βαλβίδας όπου τοποθετείται το καπάκι, η στεγανοποίηση πραγματοποιείται με παρεμβύσματα (κοινώς τσόντες) (παράγρ. 7.8). Στο σημείο όμως που εξέρχεται ο άξονας (βάκτρο) ελέγχου του στοιχείου διακοπής ροής του (βαλβίδα), το οποίο βρίσκεται

στο καπάκι της βαλβίδας-επιστομίου, η σύνδεση με τον χειροσφόνδυλο ή τον άξονα μεταδόσεως της κινήσεως από τον μηχανισμό του επενεργοποιητή, επιτυγχάνεται με στυπεία (κοινώς σαλαμάστρες, που λόγω του σκοπού για τον οποίο προορίζονται μπορεί να συναντώνται και ως παρεμβύσματα). Τα στυπεία τοποθετούνται σε κατάλληλα διαμορφωμένους στυπιοθαλάμους, στο καπάκι της βαλβίδας-επιστομίου και συμπιέζονται από τον στυπιοθλίπτη. Καθώς τα στυπεία εκτονώνονται με τη συμπίεση, γεμίζουν το διάκενο που υπάρχει στον στυπιοθάλαμο, εξασφαλίζοντας την επιθυμητή στεγανότητα της βαλβίδας-επιστομίου, αποτρέποντας, κατά τη διέλευση του ρευστού μέσα από τη βαλβίδα του επιστομίου, τη διαρροή στον περιβάλλοντα χώρο. Ο στυπιοθλίπτης συγκρατείται στη βαλβίδα-επιστόμιο στην επιθυμητή θέση: είτε από βίδες (μπουλόνια), που τοποθετούνται στο καπάκι της βαλβίδας-επιστομίου με παξιμάδια, μέσω των οποίων ρυθμίζεται η συ-

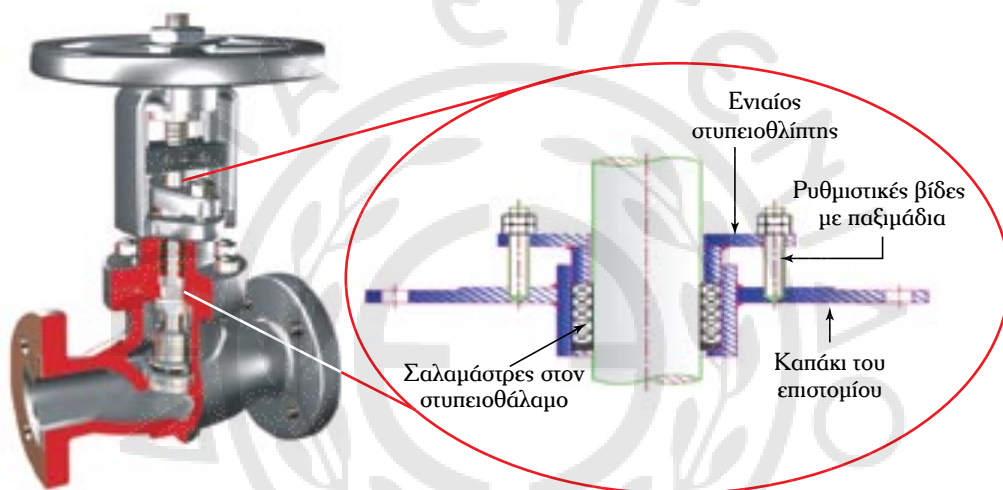
μπίεση των στυπείων (σχ. 7.5α και 7.5β), είτε από μεγάλο παξιμάδι που διαθέτει εσωτερικό σπείρωμα και βιδώνεται σε ανάλογο σπείρωμα στον ειδικά σχεδιασμένο λαιμό που σχηματίζει το καπάκι της βαλβίδας-επιστομίου (σχ. 7.5γ).

Ο στυπειοθλίπτης μπορεί να είναι ένα ενιαίο μεταλλικό τμήμα της της βαλβίδας-επιστομίου, το οποίο έχει προέκταση ενός δακτύλιου στην μία πλευρά που εισχωρεί στον στυπειοθάλαμο (σχ. 7.5α) ή να χωρίζεται σε δύο τμήματα μετάλλου (διαιρούμενος στυπειοθλίπτης). Ο διαιρούμενος στυπειοθλίπτης μπορεί να έχει είτε επίπεδο σχήμα, που πιέζει τον δακτύλιο που εισέρχεται στον στυπειοθάλαμο (σχ. 7.5β), είτε σχήμα παξιμαδιού, το οποίο πιέζει αντίστοιχα τον δακτύ-

λιο που εισέρχεται στον στυπειοθάλαμο (σχ. 7.5γ).

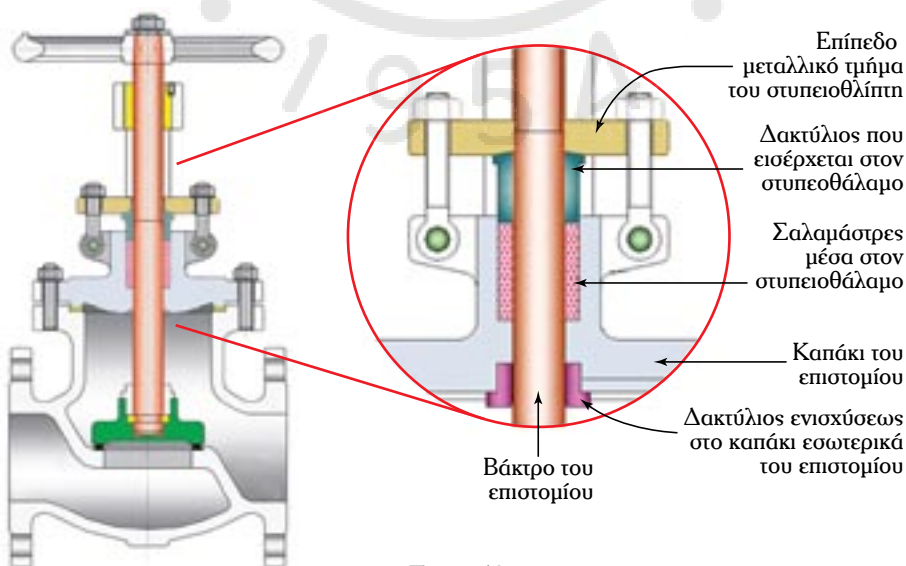
Για να επιτευχθεί η στεγανοποίηση, ο αριθμός των σαλαμαστρών που συνήθως απαιτούνται, είναι από 4 έως 6. Οι σαλαμάστρες αυτές στη συνέχεια συμπιέζονται με τον στυπειοθλίπτη για την ελαχιστοποίηση του διακένου, αλλά σε σημείο τέτοιο, που να επιτρέπει την περιστροφή του βάκτρου με ευκολία.

Στο εμπόριο διατίθενται διάφορα είδη σαλαμαστρών (σχ. 7.5δ), που κατασκευάζονται από υλικά κατάλληλα για το είδος του ρευστού που διαρρέει το δίκτυο, την πίεση που αναπτύσσεται και την θερμοκρασία. Έτσι, η επιλογή της σαλαμάστρας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να εξασφαλίζει εκτός από τη στεγανοποίηση και την αντοχή της για με-



Σχ. 7.5α

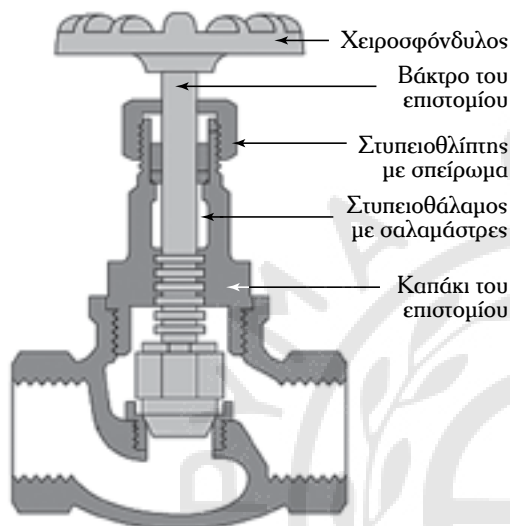
Λεπτομέρεια στυπειοθαλάμου με ενιαίο στυπειοθλίπτη.



Σχ. 7.5β

Λεπτομέρεια στυπειοθαλάμου με διαιρούμενο στυπειοθλίπτη.

γάλο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους, οι σαλαμάστρες που χρησιμοποιούνται συνήθως στα πλοία κατασκευάζονται από τεφλόν, από βαμβακερές ίνες, από ίνες λιναριού και από ίνες γραφίτη. Οι σαλαμάστρες από γραφίτη, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή τους όταν χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση ρευστών με υψηλή θερμοκρασία, μπορεί να περιέχουν μεταλλικές ίνες ή να είναι επενδυμένες με λεπτά μεταλλικά φύλλα. Το μέγεθός τους συνήθως κυμαίνεται από 2 mm έως 30 mm, αλλά η



Σχ. 7.5γ

Διαιρούμενος στυπιοθλίπτης σχήματος παξιμαδιού.

επιλογή κατά την εφαρμογή τους εξαρτάται απ' το μέγεθος του διακένου του στυπιοθαλάμου του επιστομίου, που πρόκειται να στεγανοποιήσουν.

Στα πλοία οι σαλαμάστρες που χρησιμοποιούνται συναντώνται είτε ως έτοιμα προκατασκευασμένα «δαχτυλίδια», είτε σε ρόλους από τους οποίους κόβεται το απαραίτητο μήκος που χρειάζεται για το συγκεκριμένο επιστόμιο. Το μήκος που θα χρειαστεί, όταν κόβονται από ρόλο, μπορεί να μετρηθεί τυλίγοντας τη σαλαμάστρα γύρω από τον άξονα ή να μετρηθεί η περιφέρεια του βάκτρου του επιστομίου. Το πλάτος και ο αριθμός των σαλαμαστρών που θα χρησιμοποιηθούν, εξαρτάται από το πλάτος του διακένου μεταξύ βάκτρου και καπακιού και από το ύψος του στυπιοθαλάμου που σχηματίζεται αντίστοιχα. Οι άκρες από τις σαλαμάστρες που κόβονται από ρόλο θα πρέπει να κόβονται διαγώνια. Το διαγώνιο κόψιμο στα άκρα κάθε σαλαμάστρας βοηθάει, ώστε να καλύπτονται οι δύο άκρες κατά την τοποθέτησή τους στον στυπιοθάλαμο, επιτυγχάνοντας καλύτερη στεγανοποίηση, ενώ η σύσφιγξη του στυπιοθλίπτη πρέπει να γίνεται σταδιακά, ελέγχοντας ταυτόχρονα την ευκολία με την οποία το βάκτρο περιστρέφεται. Η τοποθέτηση κάθε σαλαμάστρας στον στυπιοθάλαμο θα πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε το σημείο ενώσεώς της να μην βρίσκεται στην ίδια ευθεία με την ένωση από το προηγούμενο τμήμα σαλαμάστρας, και να αποκλείεται μ' αυτόν τον τρόπο η πιθανότητα



Σαλαμάστρα από τεφλόν
(α)



Σαλαμάστρα από ίνες γραφίτη
(β)



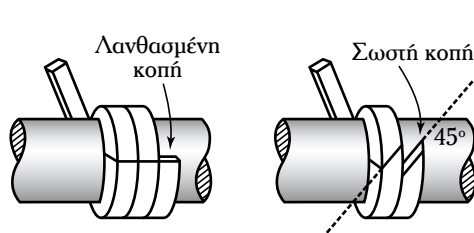
Σαλαμάστρα από γραφίτη με ίνες μετάλλου
(γ)



Σαλαμάστρα με φύλλα μετάλλου
(δ)

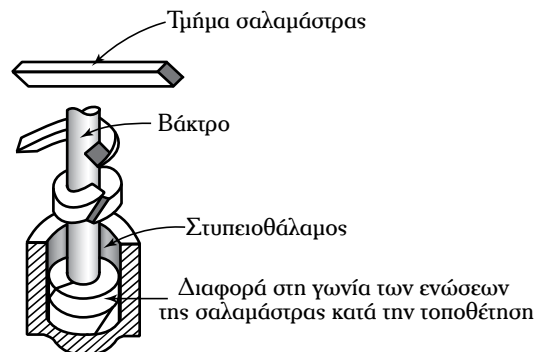
Σχ. 7.5δ

Διάφοροι τύποι από σαλαμάστρες.



Σχ. 7.5ε

Κοπή και τοποθέτηση σαλαμαστρών
στο στυπιοθάλαμο.



δημιουργίας διόδου του ρευστού. Συνήθως η διαφορά των ενώσεων όπως τοποθετούνται γύρω από το βάκτρο είναι 90° (σχ. 7.5ε).

7.6 Ταξινόμηση επιστομίων.

Η ταξινόμηση των επιστομίων μπορεί να γίνει σύμφωνα με τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά στις εξής δύο **βασιικές κατηγορίες**:

α) Στα **ανεπίστροφα επιστόμια**, που επιτρέπουν την ροή του ρευστού μόνο προς τη μία κατεύθυνση και κλείνουν αυτόματα όταν η ροή διακοπεί ή όταν η πίεση του ρευστού γίνει μεγαλύτερη και αντίθετη στην επιθυμητή διεύθυνση ροής.

β) Στα **μεταβλητού ή ελεγχόμενου ανοίγματος** επιστόμια, στα οποία η ροή του ρευστού μπορεί να ρυθμιστεί στην επιθυμητή από τον χειροσφόνδυλο μέσω του βάκτρο, ελέγχοντας το άνοιγμα του στοιχείου διακοπής της ροής.

Περαιτέρω ταξινομούνται στις εξής **υποκατηγορίες**:

α) Στα **χειροκίνητα επιστόμια** (manual valves) (σχ. 7.6α), που με τη λειτουργία τους ρυθμίζουν την εκκίνηση και τη διακοπή της ροής, τον έλεγχο του ρυθμού της ή και τα δύο ταυτόχρονα, και την εκτροπή

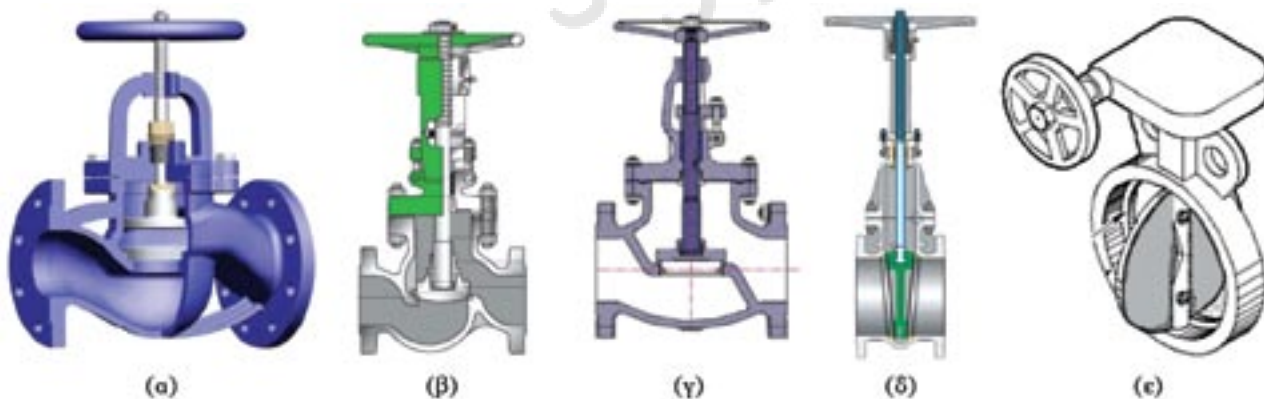
της ροής ενός ρευστού. Στα χειροκίνητα επιστόμια, ο έλεγχος του στοιχείου διακοπής ροής πραγματοποιείται από το βάκτρο. Ανάλογα με το είδος του στοιχείου διακοπής ροής αυτά διακρίνονται σε:

- **Επιστόμια διακοπής** (globe valves), όταν το στοιχείο διακοπής της ροής κινείται από ή προς την έδρα με κατεύθυνση κάθετη προς αυτήν. Το στοιχείο μπορεί να έχει το σχήμα δίσκου ή να είναι κοίλο.

- **Επιστόμια με ολισθαίνουσα θυρίδα-σύρτη** (gate-slide valves), όταν το στοιχείο διακοπής ροής κινείται κάθετα στη διεύθυνση ροής.

- **Επιστόμια τύπου πεταλούδας**, όταν ο δίσκος διακοπής ροής περιστρέφεται μέσα στο άνοιγμα απ' όπου διέρχεται το ρευστό.

β) Στα **αντόματα επιστόμια** ή **επιστόμια διακοπής και μη επιστροφής** (check ή non return valves). Στα επιστόμια αυτά το στοιχείο διακοπής της ροής είναι ένας δίσκος επίπεδος ή κοίλος με οδηγό στο κάτω μέρος, ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα του όταν είναι στην κλειστή θέση (σχ. 7.6β). Το στοιχείο διακοπής της ροής ελέγχεται από το βάκτρο χωρίς να είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο άκρο του. Έτσι, το ρευστό ρέει μέσα από το επιστόμιο προς τη μία διεύθυνση,

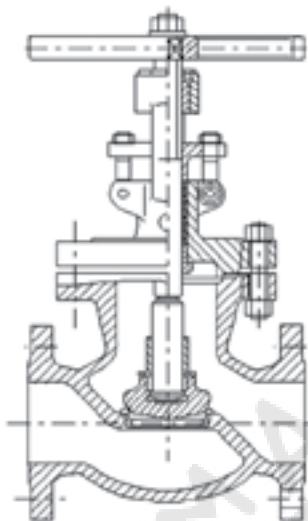


Σχ. 7.6α

Χειροκίνητα επιστόμια: (α), (β) και (γ) διάφοροι τύποι επιστομίων διακοπής σε τομή, (δ) επιστόμιο με ολισθαίνουσα θυρίδα-σύρτη σε τομή και (ε) επιστόμιο τύπου πεταλούδας.

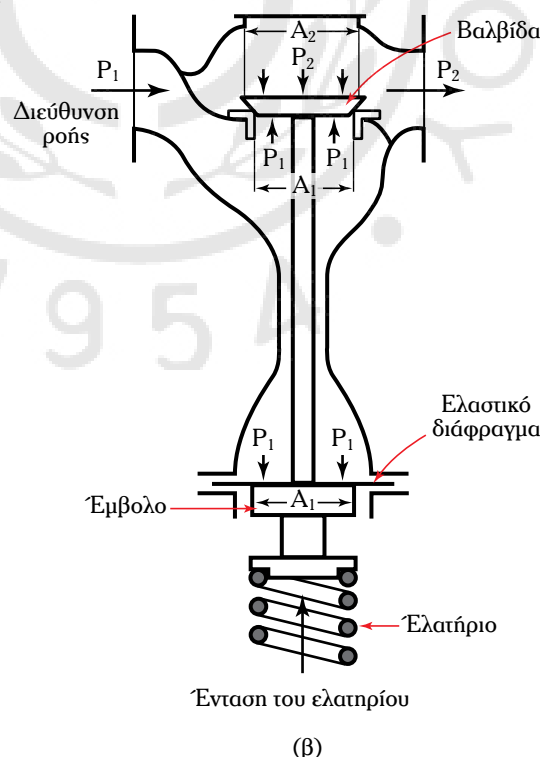
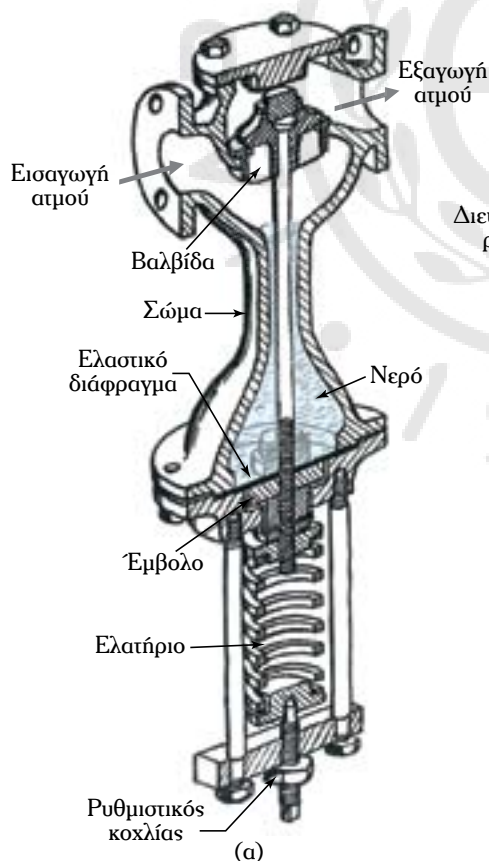
ενώ όταν η ροή αντιστραφεί, το στοιχείο διακοπής ροής κλείνει την έδρα, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η κίνηση του ρευστού στην αντίθετη διεύθυνση.

γ) Στα **επιστόμια ρυθμίσεως της πίεσης**



Σχ. 7.6β

Αυτόματο επιστόμιο διακοπής και μη επιστροφής της ροής.



Σχ. 7.6γ

Μειωτήρας πίεσης με ρυθμιζόμενη ένταση του ελατηρίου. (α) Τομή του μειωτήρα και των στοιχείων από τα οποία αποτελείται. (β) Σχήμα με τις πιέσεις που ασκούνται στη βαλβίδα και στο ελαστικό διάφραγμα και (γ) συμβολισμός.

(pressure reducing valves). Με τα επιστόμια αυτά επιτυγχάνεται η απαραίτητη μείωση της πίεσης του ατμού ή της πίεσης του αέρα σε πίεση χαμηλότερη απ' αυτήν που παρέχεται από τον λέβητα ή το αεριοφυλάκιο συμπιεσμένου αέρα. Έτσι, ο ατμός παρέχεται στο δίκτυο με μειωμένη πίεση για τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανημάτων (π.χ. τη λειτουργία βαρούλκου ατμού) ή για άλλες βοηθητικές χρήσεις (π.χ. σε προθερμαντήρες). Όταν χρησιμοποιούνται στο δίκτυο του αέρα, ο αέρας παρέχεται στην επιθυμητή πίεση που απαιτείται για τον έλεγχο των αυτοματισμών και στο δίκτυο των βοηθητικών χρήσεων. Η λειτουργία των επιστομίων βασίζεται στη μείωση της πίεσης είτε με τον στραγγαλισμό του ατμού ή του αέρα μέσω αυτόματου ρυθμιζόμενου ανοίγματος, είτε με τη ρύθμιση της εντάσεως ελατηρίου, ώστε το ρευστό, εξερχόμενο από το επιστόμιο, να έχει την επιθυμητή πίεση. Αν ο ατμός ή ο αέρας παρέχεται στο επιστόμιο με πίεση μικρότερη ή ίση από εκείνη στην οποία ρυθμίζεται ο μειωτήρας πίεσης, τότε αυτός παραμένει ανοικτός επιτρέποντας την ελεύθερη διέλευση του ατμού ή του αέρα αντίστοιχα. Οι συνηθέστεροι τύποι μειωτήρων πίεσης είναι:

– Οι **μειωτήρες με ρυθμιζόμενη ένταση του ελατηρίου** (σχ. 7.6γ). Η μείωση στην πίεση

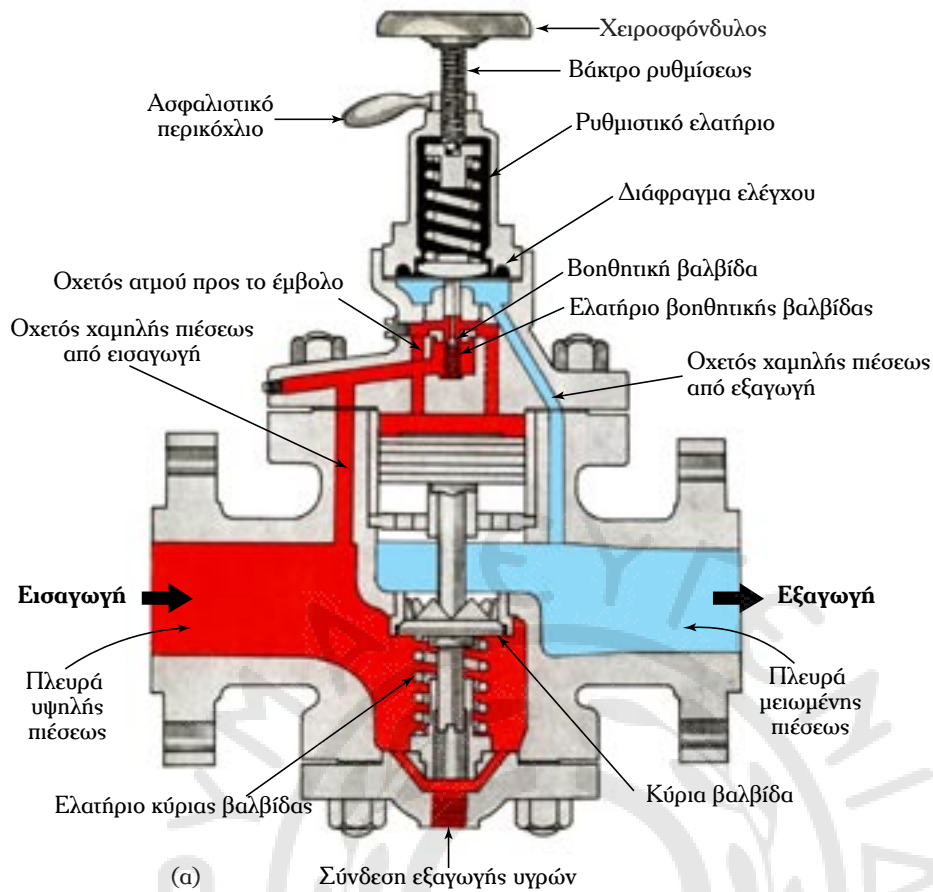
εξαγωγής του ρευστού απ' τη βαλβίδα ελέγχου ροής του μειωτήρα ελέγχεται από το ελατήριο που εφαρμόζεται κατάλληλα στο διάφραγμα και συνδέεται με αυτή με άξονα. Η λειτουργία του μειωτήρα βασίζεται στην ισορροπία του εμβόλου και στην επίδραση του ελατηρίου σε σχέση με την πίεση εξαγωγής από το επιστόμιο. Έτσι, ανάλογο με την ένταση στην οποία είναι ρυθμισμένο το ελατήριο θα είναι και το άνοιγμα της βαλβίδας που θα επιτρέπει τη ροή του ρευστού. Η ισορροπία του εμβόλου, υπό την πίεση P_1 που ασκείται στην εισαγωγή του ρευστού, επιτυγχάνεται διότι η ίδια πίεση ασκείται στις δύο ίσες επιφάνειες A_1 , που η μία είναι η κάτω πλευρά της βαλβίδας ελέγχου ροής και η άλλη είναι η επιφάνεια του εμβόλου του ελατηρίου στην πλευρά του διαφράγματος. Έτσι, η υψηλή πίεση εισόδου διατηρεί το σύστημα βαλβίδας-εμβόλου-διαφράγματος σε ισορροπία. Τότε, ενεργεί το ελατήριο που πιέζει τη βαλβίδα να ανοίξει, ενώ ταυτόχρονα δέχεται τη μειωμένη πίεση P_2 στην επιφάνεια A_2 της βαλβίδας ελέγχου ροής που την πιέζει να κλείσει. Τα δύο αυτά μέρη βρίσκονται σε ισορροπία, ώστε οποιαδήποτε μείωση στην πίεση P_2 ανυψώνει τη βαλβίδα επιτρέποντας τη ροή του ρευστού, ενώ οποιαδήποτε αύξηση της πίεσης στην εξαγωγή όταν εξισωθεί με την ένταση του ελατηρίου θα κλείσει τη βαλβίδα διακόπτοντας τη ροή. Έτσι, ανάλογα με την ένταση στην οποία ρυθμίζεται το ελατήριο, το ρευστό, όταν μειωθεί η πίεση στην εξαγωγή του επιστομίου, διέρχεται από τη βαλβίδα αυξάνοντας την πίεση P_2 μέχρι να έλθει σε ισορροπία με την ένταση του ελατηρίου και να διακοπεί η ροή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διατηρείται η πίεση στην εξαγωγή του ρευστού στα επιθυμητά επίπεδα, σύμφωνα με την ένταση ρυθμίσεως του ελατηρίου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτού του είδους οι βαλβίδες είναι πάντα εγκατεστημένες σε κάθετη θέση. Επίσης, όταν οι μειωτήρες χρησιμοποιούνται σε δίκτυα ατμού, τότε το ελατήριο με τη μεμβράνη βρίσκονται στην κάτω πλευρά, ώστε το συμπύκνωμα που συλλέγεται στον χώρο πάνω απ' τη μεμβράνη να την προστατεύει απ' την υψηλή θερμοκρασία. Με όμοιο τρόπο λειτουργούν και οι μειωτήρες που διαθέτουν δύο βαλβίδες και δύο έδρες για τον έλεγχο της ροής του ρευστού.

– **Μειωτήρας πίεσεως με βοηθητική βαλβίδα** (σχ. 7.6δ). Τα κύρια μέρη απ' τα οποία αποτελείται ο μειωτήρας πίεσεως είναι η κύρια βαλβίδα

ελέγχου ροής του ατμού, που συνδέεται μ' ένα έμβολο μεγαλύτερης διαμέτρου απ' αυτήν, μία βοηθητική βαλβίδα, ένα διάφραγμα ελέγχου ροής του ατμού στην βοηθητική βαλβίδα, ένα ελατήριο και η βίδα ρυθμίσεως εντάσεως του ελατηρίου ελέγχου του διαφράγματος. Ο ατμός υψηλής πίεσεως παρέχεται στην κύρια βαλβίδα ελέγχου ροής και μέσω εσωτερικού αγωγού υψηλής πίεσεως στην βοηθητική βαλβίδα. Στη συνέχεια, μέσω της βοηθητικής βαλβίδας παρέχεται στην επάνω πλευρά του εμβόλου που συνδέεται μέσω βάκτρου με την κύρια βαλβίδα. Τότε ο ατμός υψηλής πίεσεως, λόγω της διαφοράς των επιφανειών του εμβόλου και της κύριας βαλβίδας, την πιέζει να ανοίξει. Ταυτόχρονα, ατμός απ' την πλευρά της μειωμένης πίεσεως επιδρά στη βοηθητική βαλβίδα, ώστε το άθροισμα της μειωμένης πίεσεως με τη δύναμη που ασκείται από την ένταση του ρυθμιστικού ελατηρίου στο διάφραγμα να ελέγχει την πίεση που θα ανοίξει τη βοηθητική βαλβίδα για την παροχή του ατμού στο έμβολο. Το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία, η οποία θα μεταβληθεί, όταν η πίεση στην εξαγωγή μειωθεί, ανοίγοντας τη βοηθητική βαλβίδα και ο ατμός υψηλής πίεσεως ανοίγει την κύρια βαλβίδα πιέζοντας το έμβολο. Ο ατμός θα διαρρέει την κύρια βαλβίδα, μέχρι η πίεση στην πλευρά μειωμένης πίεσεως να αυξηθεί στο επιθυμητό επίπεδο, επαναφέροντας την ισορροπία στη βοηθητική βαλβίδα, η οποία κλείνει διακόπτοντας την παροχή του ατμού στο έμβολο. Η κύρια βαλβίδα λόγω της πίεσεως του ατμού εξαγωγής θα κλείσει τελείως, διατηρώντας την πίεση στα προεπιλεγμένα επίπεδα. Η ρύθμιση της πίεσεως επιτυγχάνεται απ' τη ρύθμιση της εντάσεως του ελατηρίου με χειροσφόνδυλο προοδευτικά, διότι η βαλβίδα αποκρίνεται άμεσα στις μεταβολές.

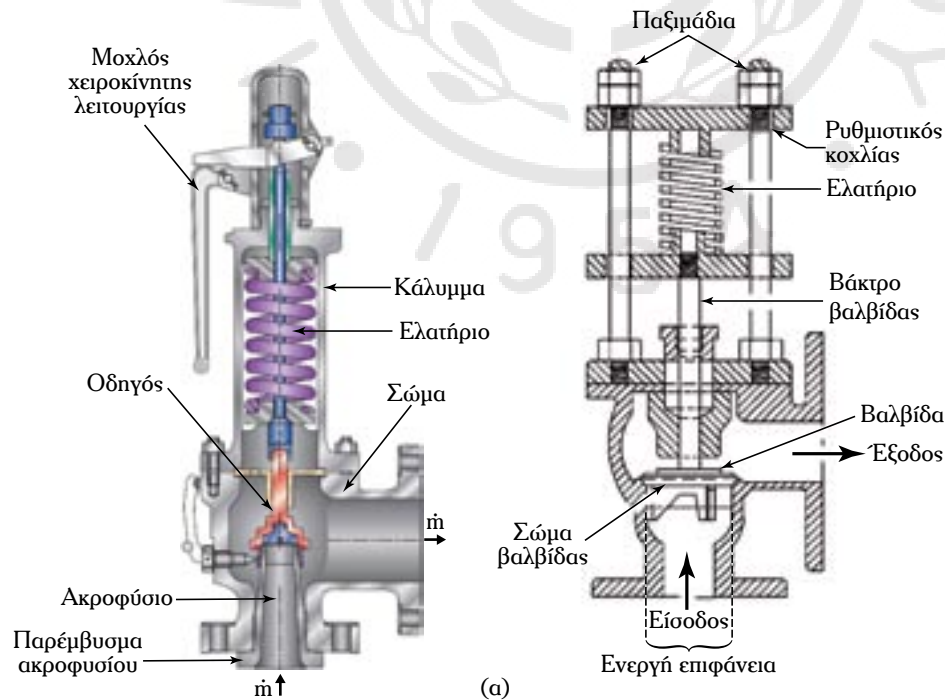
δ) Στα **ανακουφιστικά επιστόμια-βαλβίδες** (relief valves). Η πρόληψη ανεπιθύμητης βλάβης αυξήσεως της πίεσεως σ' ένα δίκτυο ή σε ένα σύστημα ατμού κ.ά. επιτυγχάνεται με τη χρήση ανακουφιστικών βαλβίδων, που επιτρέπουν τη διαφυγή του ρευστού. Οι βαλβίδες αυτές χρησιμοποιούνται και ως ασφαλιστικές, ενώ όταν το ρευστό επιστρέφει σε μια δεξαμενή επιστροφών ή στη δεξαμενή αναρροφήσεως της αντλίας ονομάζονται **βαλβίδες βραχυκυκλώσεως** ή **επιστροφών**. Οι βαλβίδες αυτές αποτελούνται από το σώμα και το στοιχείο ελέγχου ροής της βαλβίδας που συνδέεται με βάκτρο με ρυθμιζόμενης εντάσεως ελατήριο (σχ. 7.6ε).

Η βαλβίδα παραμένει κλειστή όσο η πίεση που



Σχ. 7.6δ

(α) Μειωτήρας πίεσης με βοηθητική βαλβίδα και (β) συμβολισμός.



Σχ. 7.6ε

(α) Ανακουφιστικά επιστόμια και (β) συμβολισμός.

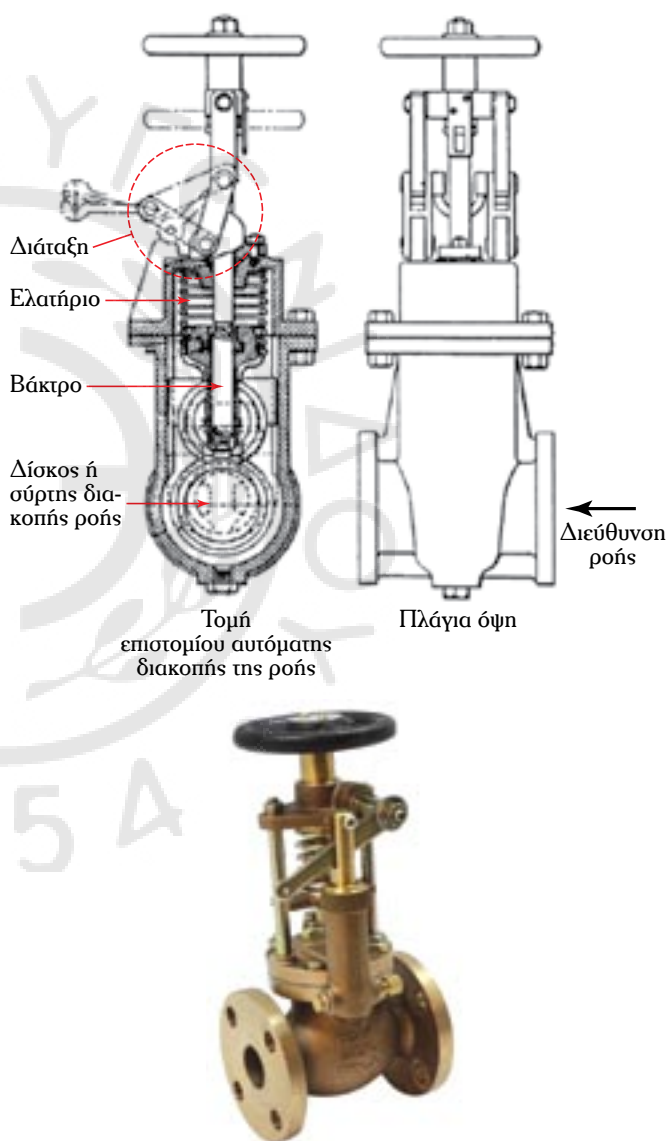
ασκεύεται από το ρευστό στην **ενεργή επιφάνεια**¹ στο κάτω μέρος της βαλβίδας είναι μικρότερη απ' το βάρος της και τη δύναμη της εντάσεως του ελατηρίου. Όταν η πίεση του ρευστού αυξηθεί τόσο, ώστε πολλαπλασιαζόμενη με την ενεργή επιφάνεια της βαλβίδας να παράγει δύναμη ίση ή μεγαλύτερη απ' το άθροισμα του βάρους της βαλβίδας και της δύναμης που ασκείται από τη συμπίεση του ελατηρίου, η βαλβίδα θα υψωθεί επιτρέποντας τη διέλευση του ρευστού σε ασφαλές σημείο προς το περιβάλλον ή προς τη δεξαμενή επιστροφών. Η βαλβίδα θα επιστρέψει στην έδρα, διακόπτοντας τη ροή όταν η πίεση αυτή μειωθεί.

Η ένταση του ελατηρίου ρυθμίζεται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε η βαλβίδα να ανοίγει στην επιθυμητή τιμή, παρέχοντας τη δυνατότητα λειτουργίας της στο εύρος πίεσης του μεγέθους της κάθε βαλβίδας. Η σωστή ρύθμιση της βαλβίδας αποτρέπει την εσφαλμένη λειτουργία της, ενώ μπορεί να λειτουργήσει και χειροκίνητα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή για την επιθεώρησή της με τη βοήθεια μοχλού ή άλλης κατάλληλης διατάξεως. Οι ασφαλιστικές βαλβίδες λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και ανοίγουν προειδοποιώντας ότι η πίεση έχει αυξηθεί σε επικίνδυνο όριο, πάνω από το επιθυμητό, στο οποίο έχουν ρυθμιστεί.

ε) Στα **επιστόμια άμεσης διακοπής ροής** (quick closing valves) (σχ. 7.6στ). Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης είναι απαραίτητη η άμεση διακοπή ροής στο δίκτυο. Γι' αυτόν τον λόγο στις δεξαμενές ευφλέκτων υγρών τοποθετούνται επιστόμια άμεσης διακοπής της ροής. Τα επιστόμια αυτά διαθέτουν σύρτες ή δίσκους διακοπής της ροής, με τους οποίους ο έλεγχος της ροής πραγματοποιείται από κατάλληλα διαμορφωμένη διάταξη στο βάκτρο με ελατήριο ή με έμβολο που λειτουργεί με την παροχή συμπιεσμένου αέρα. Η διάταξη συνδέεται με το βάκτρο, το οποίο σύρεται επάνω παρασύροντας τον δίσκο που ελέγχει τη ροή. Καθώς το βάκτρο ανεβαίνει με την περιστροφή του χειροσφόνδου του επιστομίου, συμπιέζεται το ελατήριο συγκρατώντας το ανοικτό. Με την παροχή αέρα σε έμβολο που συνδέεται στον μηχανισμό συγκρατήσεως του ελατηρίου ή με σύρμα για τη χειροκίνητη λειτουργία, το συμπιεσμένο ελατήριο ελευθερώνεται κλείνοντας το επιστόμιο με ορμή και διακόπτοντας τη ροή. Τα επιστόμια άμεσης διακοπής

της ροής ελέγχονται περιοδικά, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτική τους λειτουργία.

στ) Στα **βαλβιδοκιβώτια** (change over valve chest) (σχ. 7.6ζ). Χρησιμοποιούνται για τη διακίνηση διαφόρων ρευστών με την ίδια αντλία όπως πετρέλαιο, ακάθαρτο έρμα, θαλασσινό νερό κ.λπ., εξυπηρετώντας πολλές δεξαμενές. Για παράδειγμα με την ίδια αντλία μπορεί εναλλακτικά να αντληθεί και θάλασσα και να πραγματοποιηθεί άντληση από μια δεξαμενή ακαθάρτου έρματος. Η λειτουργία των βαλβιδοκιβωτίων επιτυγχάνεται μέσω του εναλλάξιμου κενού συν-



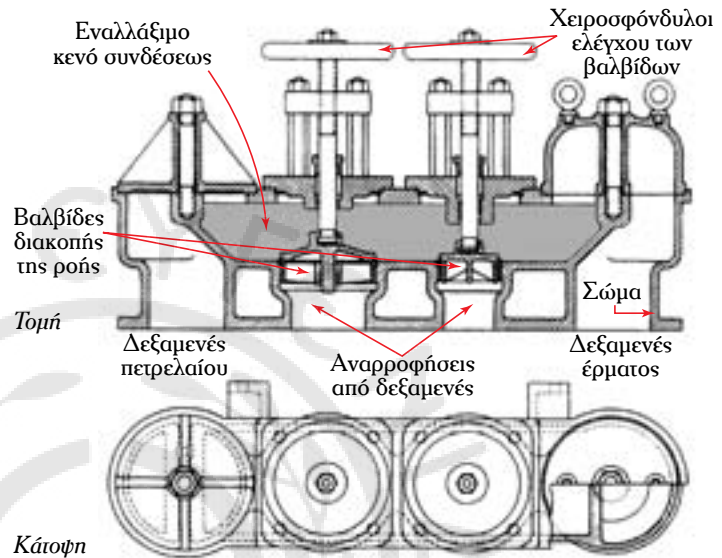
Σχ. 7.6στ

Επιστόμια άμεσης διακοπής της ροής.

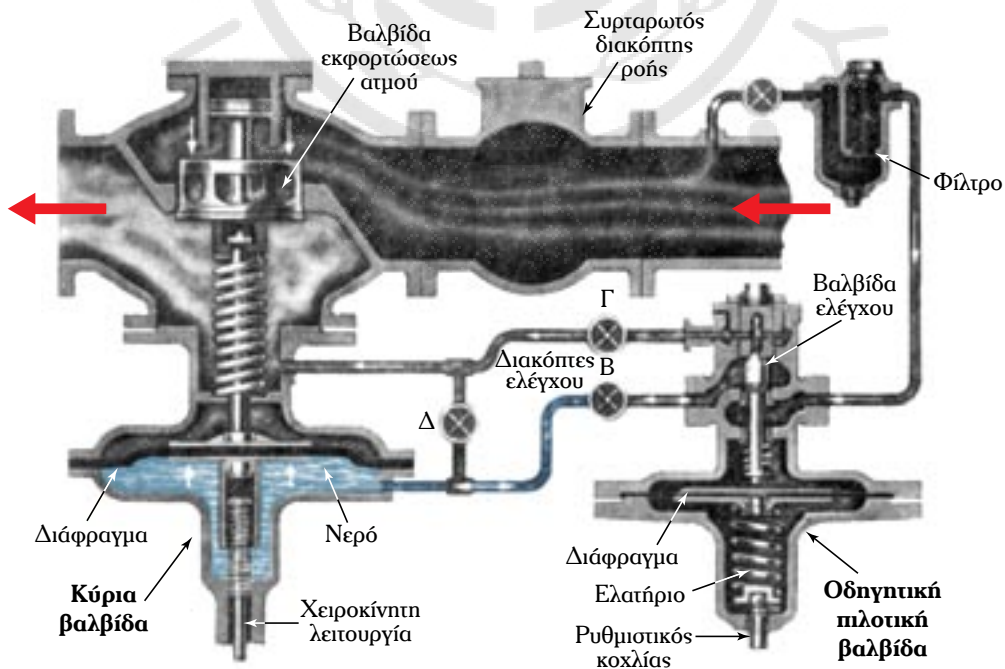
¹ Ενεργή επιφάνεια ονομάζεται η επιφάνεια του στοιχείου διακοπής της ροής (δηλ. η βαλβίδα) που έρχεται σε επαφή με το ρευστό στην πλευρά της εισόδου και στην οποία ασκείται η πίεση από το ρευστό, που διαρρέει την ανακουφιστική βαλβίδα.

δέσεως και τον έλεγχο της ροής των ρευστών μέσα σε αυτό με περισσότερες βαλβίδες διακοπής της ροής, που είναι εγκατεστημένες στο σώμα του βαλβιδοκιβωτίου. Με το άνοιγμα της κατάλληλης βαλβίδας κάθε φορά, πραγματοποιείται η εισαγωγή και η εξαγωγή του ρευστού, που επιθυμούμε να αντληθεί, και η μεταφορά του στις ανάλογες δεξαμενες.

ζ) Στα **αυτόματα επιστόμια εκτονώσεως** (automatic discharge valve). Τα επιστόμια αυτά χρησιμοποιούνται σε δίκτυα ατμού με σκοπό την απομάστευση της περίσσιας ποσότητας ατμού προς το κυρίως ψυγείο, όταν η πίεση στον βοηθητικό αγωγό εξατμίσεως αυξάνεται, επιτυγχάνοντας τον έλεγχο της πίεσης του δικτύου. Όπως εικονίζεται στο σχήμα 7.6η,



Σχ. 7.6ζ
Βαλβιδοκιβώτιο.



Σχ. 7.6η
Αυτόματα επιστόμια εκτονώσεως.

η μία πιλοτική ή οδηγητική βαλβίδα ελέγχει την κύρια βαλβίδα που διαρρέεται απ' τον ατμό υψηλής πίεσεως προς το κύριο ψυγείο. Όταν η πίεση του δικτύου αυξηθεί, ο ατμός πιέζει το διάφραγμα υπερνικώντας την ένταση του ελατηρίου και, ενεργώντας στη βαλβίδα του κύριου επιστομίου, εισέρχεται στον αγωγό προς το κυρίως ψυγείο. Όταν η πίεση μειωθεί, τότε η πιλοτική βαλβίδα ελέγχου μετατοπίζεται και ο ατμός ρέει στην αντίθετη πλευρά του διαφράγματος πιέζοντας την κύρια βαλβίδα να κλείσει βοηθούμενη και απ' την ένταση του ελατηρίου, διακόπτοντας τη ροή του ατμού. Η χειροκίνητη λειτουργία της κύριας βαλβίδας εκφορτώσεως ατμού επιτυγχάνεται με κρουνοί (Δ, Γ και Β). Μέσω των ιδίων κρουνών παρέχεται και η δυνατότητα να απομονωθεί η ροή του ατμού με το χειροκίνητο βάκτρο ελέγχου, αν ανοιχθεί ο κρουνός Δ και κλεισθούν οι κρουνοί Β και Γ, ώστε να διακοπεί ο ατμός λειτουργίας απ' την πιλοτική βαλβίδα.

7.7 Επενεργοποιητές σε επιστόμια ελέγχου.

Η ροή του δικτύου μέσω των επιστομίων εκτός από την εκκίνηση ή τη διακοπή της, μπορεί να ρυθμιστεί έτσι, ώστε να διέρχεται συγκεκριμένη ποσότητα από το υγρό στο δίκτυο ή στη δεξαμενή. Με τη ρύθμιση της παροχής επιτυγχάνεται η ταχύτητα με την οποία θα γεμίσει μία δεξαμενή ή η διατήρηση σε επιθυμητά επίπεδα της θερμοκρασίας του ψυχόμενου ρευστού.

Λόγω του μεγάλου αριθμού επιστομίων και τη συνεχή διακύμανση της θερμοκρασίας στα υγρά που διαρρέουν τα περισσότερα απ' τα δίκτυα του πλοίου, δημιουργείται η ανάγκη για την αυτοματοποίηση της λειτουργίας τους. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται διατάξεις αυτόματης ρυθμίσεως της ροής, που εφαρμόζονται στα επιστόμια και ονομάζονται **επενεργοποιητές** (actuators) (σχ. 7.7α).

Οι επενεργοποιητές συνδέονται στο βάκτρο της βαλβίδας του επιστομίου, ελέγχοντας την ποσότητα που το διαρρέει. Το σύστημα ελέγχου της ροής αποτελείται από δύο κυρίως τμήματα, το ένα είναι ο **επενεργοποιητής** και το άλλο το **επιστόμιο**.

Ο τύπος του επιστομίου που χρησιμοποιείται εξαρτάται απ' το μέγεθος του σωλήνα του δικτύου όπου εγκαθίσταται, το ρευστό που διαρρέει το δίκτυο, τον χώρο εγκαταστάσεως και το μέσο που κινεί τον επενεργοποιητή.

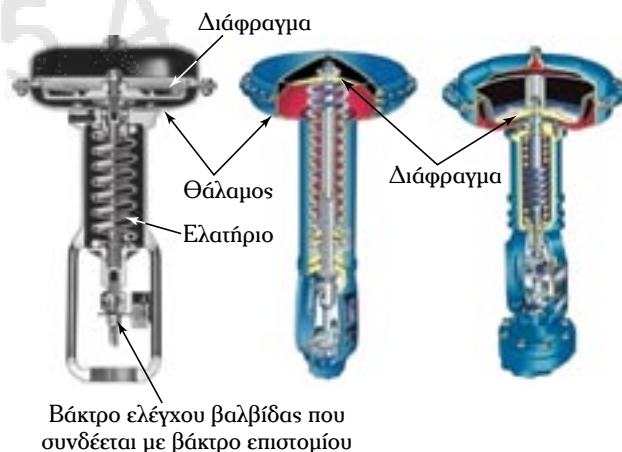
Έτσι, μπορεί να είναι με έδρα και επιστόμιο τύπου άμεσης διακοπής της ροής, ενώ για μεγάλα επιστόμια, λόγω της μικρής διαδρομής και του χρόνου

αποκρίσεως που χρειάζεται για να μεταβούν απ' την πλήρως ανοικτή στην πλήρως κλειστή θέση και αντίστροφα, χρησιμοποιούνται **επιστόμια με σύρτη** ή **επιστόμια τύπου πεταλούδας**.

Ο επενεργοποιητής με επιστόμιο (σχ. 7.7β) αποτελείται από θάλαμο μέσα στον οποίο τοποθετείται το εύκαμπτο διάφραγμα με το δίκτυο υποστηρίξεως του διαφράγματος, ελατήριο και άξονα στον οποίο συνδέεται το βάκτρο του επιστομίου. Το ελατήριο τοποθετείται στην αντίθετη πλευρά από την κίνηση της μεμβράνης υπό την επίδραση του αέρα που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας του. Έτσι, μεταβαίνει η βαλβίδα του επιστομίου στην ασφαλή θέση ροής για το σύστημα (τελείως ανοικτή ή τελείως κλειστή), σε περίπτωση διακοπής του μέσου ελέγχου του επενεργοποιητή.

Το σύστημα ελέγχου που θέτει σε λειτουργία τον επενεργοποιητή μπορεί να είναι πνευματικό, υδραυλικό ή ηλεκτρικό.

Το ηλεκτρικό σήμα, λόγω της μικρής τάσεως που χρησιμοποιείται, αδυνατεί να κινήσει τη βαλβίδα. Γι' αυτό λόγω της ιδιαιτερότητας των συνθηκών λειτουργίας, στο πλοίο χρησιμοποιείται ως μέσο λειτουργίας ο πεπιεσμένος αέρας (σε πνευματικό σύστημα) με εύκαμπτο διάφραγμα και ελατήριο ή υδραυλικό, που αποτελείται από κυλίνδρους με υδραυλικά έμβολα. Οι υδραυλικοί επενεργοποιητές χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία μεγάλων επιστομίων, για τα οποία απαιτείται και μεγάλος επενεργοποιητής. Το μέσο λειτουργίας του συστήματος ελέγχου του επενεργοποιητή δεν είναι απαραίτητο να είναι το ίδιο με το μέσο ελέγχου και εντολής που θα δώσει τη διορθωτική εντολή, η οποία θα επαναφέρει τη θέση της βαλβίδας στην προκαθορισμένη από τον χρήστη



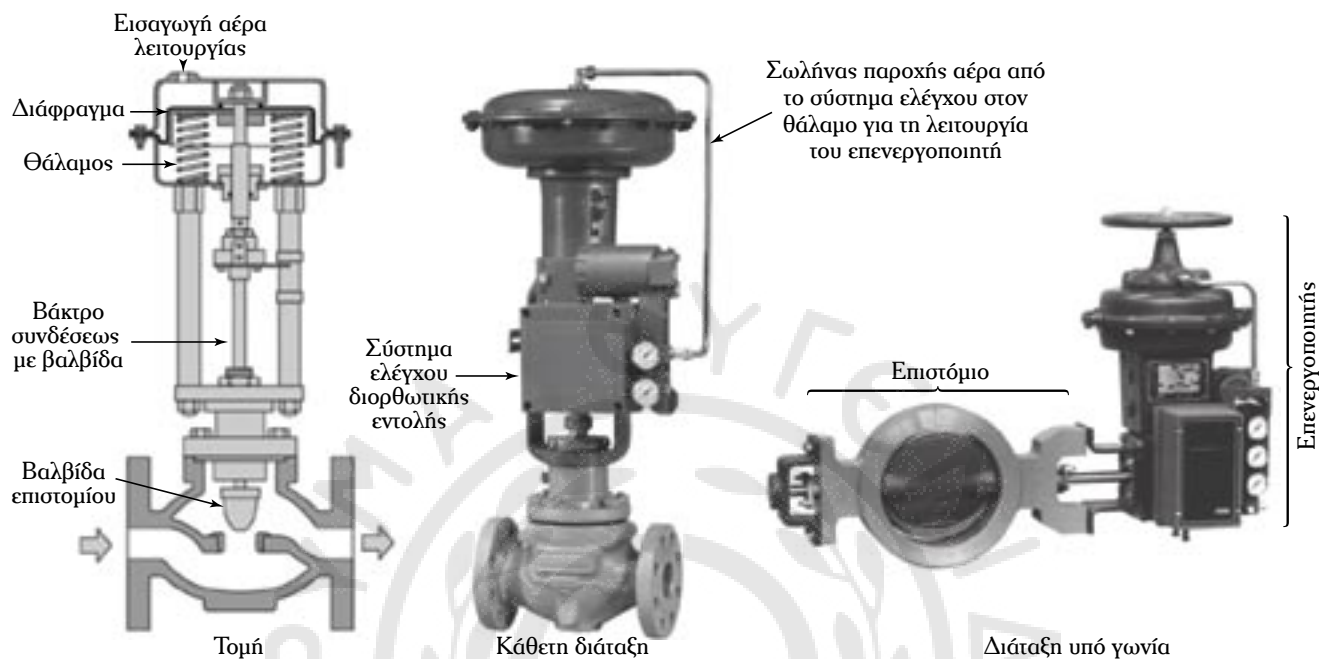
Σχ. 7.7α

Επενεργοποιητές διαφόρων τύπων σε τομή (η διαφορά είναι στον τύπο του εύκαμπτου διαφράγματος).

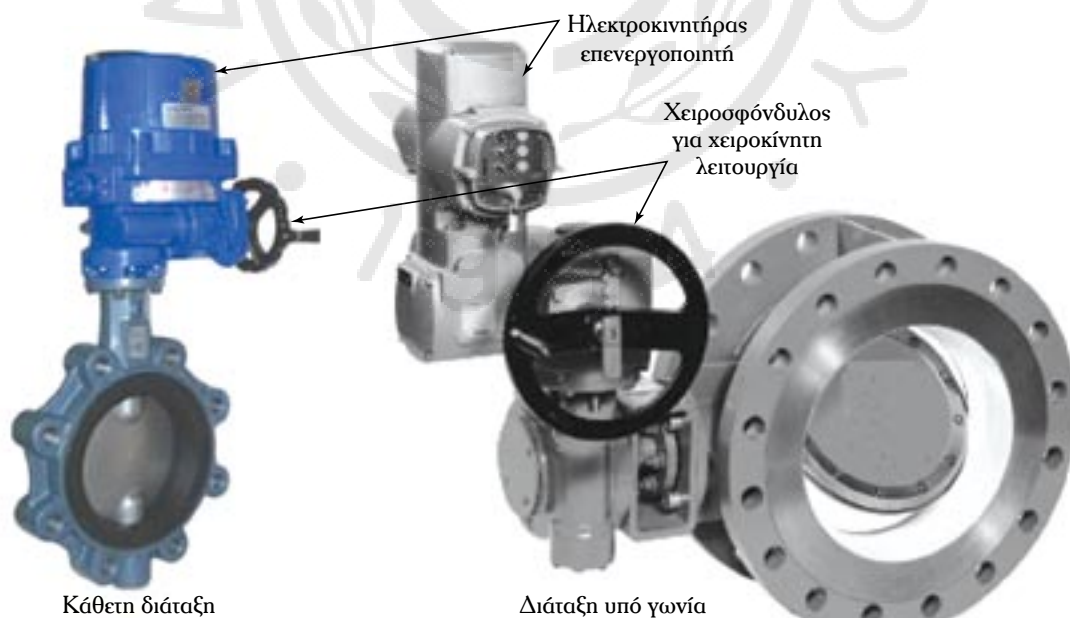
και το οποίο μπορεί να είναι ηλεκτρικό, πνευματικό ή υδραυλικό¹.

Στα δίκτυα του μηχανοστασίου ενός πλοίου οι επενεργοποιητές είναι πνευματικοί, με αέρα απ' το δίκτυο αέρα ελέγχου, που ρυθμίζεται από μειωτήρα,

και με ηλεκτρικό κινητήρα που λειτουργεί ανάλογα με τη χρήση του επιστομίου με ρεύμα τάσεως από 24–220 Volt (σχ. 7.7γ). Το ρεύμα που διαρρέει τον ρυθμιστή για τη μετάδοση του σήματος είναι 4–20 mA.



Σχ. 7.7β
Επενεργοποιητής με επιστόμιο.



Σχ. 7.7γ
Ηλεκτροκίνητος επενεργοποιητής συνδεδεμένος σε επιστόμιο τύπου πειαλούδας.

¹ Π.χ. το σύστημα ελέγχου και διορθωτικής λειτουργίας είναι ηλεκτρικό, ενώ το μέσο λειτουργίας του επενεργοποιητή είναι αέρας.

Όλοι οι τύποι επενεργοποιητών διαθέτουν και κατάλληλη διάταξη με ατέρμονα κοχλία, που ελέγχεται από χειροσφόνδυλο και ενεργεί στο βάκτρο της βαλβίδας, επιτυγχάνοντας τη χειροκίνητη λειτουργία του επιστομίου σε περίπτωση βλάβης του συστήματος παροχής συμπιεσμένου αέρα ή τη διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος.

7.8 Υλικά στεγανοποιήσεως συνδέσεων δικτύου.

Η σύνδεση των άκρων μεταξύ των σωλήνων ή των εξαρτημάτων ενός δικτύου, όπως οι βαλβίδες-επιστόμια, τα φίλτρα κ.ά. πραγματοποιείται με την κατάλληλη εφαρμογή επιπέδων μεταλλικών περιαιχενίων, που συσφίγγονται μεταξύ τους με βίδες και παξιμάδια (σχ. 7.8α).

Ενδιάμεσα των επιφανειών, λόγω της αδυναμίας του υλικού των περιαιχενίων να εφαρμόσει τέλεια, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή στεγανοποίηση, χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα. Έτσι, το σημείο συνδέσεως δύο σωλήνων, ενός σωλήνα και ενός επιστομίου ή ενός σωλήνα με ένα φίλτρο, είναι ένα σύστημα που αποτελείται από τα **περαιχένια** (flanges), το **παρέμβυσμα**, κοινώς τσόντα (gasket) και τις **βίδες** (bolts) (σχ. 7.8α). Η σωστή επιλογή μεγέθους, υλικών και ο κατάλληλος συνδυασμός των τριών επιμέρους τμημάτων στο σημείο συνδέσεως, θα έχει ως αποτέλεσμα την πρόληψη διαρροής κατά τη διέλευση του ρευστού από το δίκτυο για μεγάλο χρονικό διάστημα.

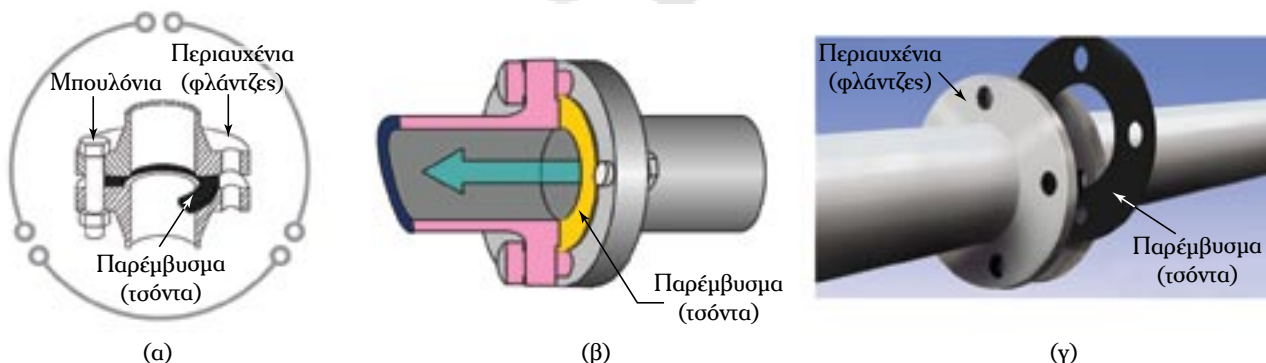
Ιδιαίτερη σημασία κατά τη συναρμολόγηση των συνδέσεων πρέπει να δίδεται στην πίεση, η οποία ασκείται στο παρέμβυσμα από τη σύσφιγξη των περιαιχενίων με τις βίδες. Με τη σωστή σύσφιγξη επι-

τυγχάνεται η προσαρμογή του παρεμβύσματος στις ανωμαλίες της επιφάνειας των περιαιχενίων, αλλά και η αφομοίωση τυχόν μεταβολών των διαστάσεων του συστήματος, όπως οι αξονικές τάσεις επιμηκύνσεως των σωλήνων και η ακτινική διαστολή των υλικών, που προκαλούνται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία.

Τα παρεμβύσματα πρέπει να είναι ανθεκτικά στα χαρακτηριστικά του ρευστού που κυκλοφορεί στο δίκτυο, καθώς και στο εύρος των θερμοκρασιών λειτουργίας του ρευστού στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Από τη χρήση των παρεμβυσμάτων αυτών πρέπει να εξασφαλίζεται η:

- Καλή συμπίεσιμότητα και ικανότητα προσαρμογής στις επιφάνειες των περιαιχενίων.
- Ικανοποιητική ελαστικότητα που διασφαλίζει ανάκτηση της προσαρμογής από μεταβολές.
- Αντοχή σε χημικά.
- Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Περιορισμένη χαλάρωση του υλικού από το οποίο αποτελούνται, που εξασφαλίζει την αντοχή τους στον χρόνο.

Με σκοπό να είναι ανθεκτικά και να αντέχουν σε παραμόρφωση, καθώς και ανάλογα με το είδος του ρευστού που διαρρέει το δίκτυο, τα παρεμβύσματα κατασκευάζονται από χαρτί, καουτσούκ (απλό ή ενισχυμένο με ίνες βαμβακερές ή συνθετικές), σιλικόνη, μέταλλο, φελλό, τσόχα, νεοπρένιο, καουτσούκ νιτριλίου, υαλοβάμβακα, πολυτετραφθοροαιθυλένιο ή πλαστικό πολυμερές. Τα παρεμβύσματα για ειδικές εφαρμογές όπως δίκτυα ατμού υψηλής πίεσεως, μπορεί να περιέχουν αμίαντο. Όμως, λόγω των κινδύνων για την υγεία των ατόμων που έρχονται σε επαφή με τον αμίαντο, όπου είναι πρακτικά εφικτό, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται παρεμβύ-



Σχ. 7.8α

Σύστημα στεγανοποιήσεως με τα περαιχένια (flanges), το παρέμβυσμα (gasket) και τις βίδες (bolts): (α) τομή συνδέσεως περαιχενίων με παρέμβυσμα, (β) τομή με διέλευση ρευστού, (γ) εικόνα συνδέσεως.

σματα κατασκευασμένα από υλικό, που δεν περιέχει αμίαντο. Διαφορετικά, είναι υποχρεωτική η λήψη μέτρων ασφαλείας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται και το πεδίο εφαρμογής τους, τα παρεμβύσματα και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:

α) Τα **μεταλλικά ή ημιμεταλλικά παρεμβύσματα**, που αποτελούνται από μέταλλο ή συνδυασμό μεταλλικού μέρους και μη μεταλλικού υλικού και είναι κατάλληλα για την εφαρμογή σε δίκτυα μεσαίας και υψηλής πίεσης. Ειδικότερα δε, τα μεταλλικά παρεμβύσματα χρησιμοποιούνται σε συνδέσεις όπου απαιτείται μεγαλύτερη αντοχή και ποιότητα στεγανοποίησης.

Αυτά υποκατηγοριοποιούνται στα ακόλουθα:

– **Κυματοιδή μεταλλικά** (σχ. 7.8β), που κατασκευάζονται από μεταλλικά φύλλα, συνήθως με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα ή από ανοξείδωτο χάλυβα, και έχουν κυματοειδή μορφή. Παρέχουν στεγανότητα σε υψηλές πιέσεις, έχουν μεγάλη αντοχή σε χτυπήματα, ενώ λόγω της επαφής της μεταλλικής επιφάνειας του παρεμβύσματος με τη μεταλλική επιφάνεια του περιαιχένιου, οι επιφάνειες πρέπει να είναι λείες.

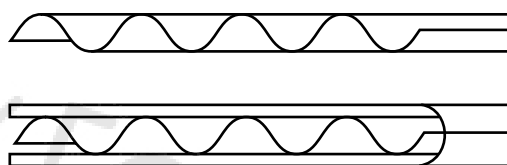
– **Με μεταλλικό περίβλημα** (σχ. 7.8γ). Πρόκειται για ημιμεταλλικά παρεμβύσματα που συνήθως ονομάζονται και παρεμβύσματα εναλλακτήρα θερμότητας λόγω της τυπικής εφαρμογής τους σε εναλλακτικές θερμότητας. Το μαλακό μέρος του παρεμβύσματος, που αποτελεί το μη μεταλλικό υλικό, κατασκευάζεται από συμπιεσμένες συνθετικές ίνες, γραφίτη, κ.ά., που παρέχουν στεγανότητα, καθώς συμπιέζονται. Το μεταλλικό κάλυμμα κατασκευάζεται από χάλυβα με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, ανοξείδωτο χάλυβα, monel¹, χαλκό ή άλλο υλικό, το οποίο περιβάλλοντας το μη μεταλλικό υλικό εξασφαλίζει την αντοχή στην πίεση που ασκείται. Τα παρεμβύσματα αυτά έχουν μεγάλο εύρος σχημάτων και παρέχουν καλή στεγανότητα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

– **Παρεμβύσματα σε σχήμα έκκεντρου με αυλάκια** (σχ. 7.8δ). Πρόκειται για ημιμεταλλικά παρεμβύσματα, τα οποία αποτελούνται από

έναν εξωτερικό δακτύλιο από ειδικό χάλυβα έναν εσωτερικό δακτύλιο στεγανοποίησης με εκκέντρο σχήμα και αυλάκια, ο οποίος κατασκευάζεται από



(α)



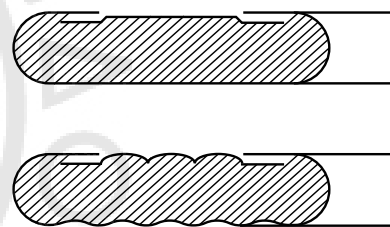
(β)

Σχ. 7.8β

(α) Κυματοειδές μεταλλικό παρέμβυσμα, (β) τομή.



(α)



(β)

Σχ. 7.8γ

(α) Παρέμβυσμα με μεταλλικό περίβλημα, (β) τομή.

**Σχ. 7.8δ**

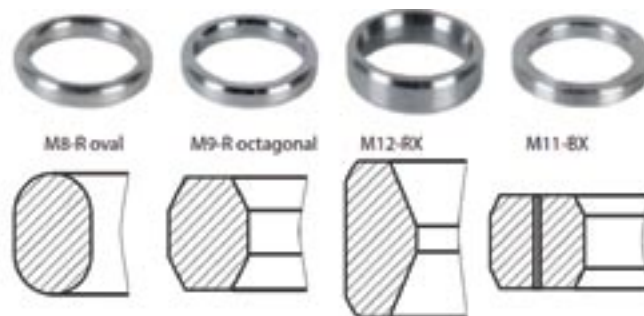
Παρέμβυσμα σε σχήμα έκκεντρου με αυλάκια.

¹ Monel είναι εμπορικό σήμα για σειρά μετάλλων από κράματα νικελίου, τα οποία κατά κύριο λόγο αποτελούνται από νικέλιο (έως 67%) και χαλκό, με κάποια μικρή πρόσμειξη από σίδηρο και άλλα ιχνοστοιχεία.

χάλυβα με περιεκτικότητα άνθρακα ή ανοξείδωτο χάλυβα και τέλος το στρώμα από μαλακό υλικό, όπως γραφίτη ή πολυτετραφθοροαιθυλένιο που καλύπτει την επιφάνεια επαφής του εσωτερικού δακτυλίου. Τυπικές εφαρμογές είναι σε σωλήνες και εναλλακτικές θερμότητας. Παρέχουν υψηλής ποιότητας στεγανοποίηση και λόγω των αυλακώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετές φορές.

– **Δακτυλιοειδή αρθρωτά παρεμβύσματα** (σχ. 7.8ε). Πρόκειται για μεταλλικά παρεμβύσματα που κατασκευάζονται από ποικιλία μετάλλων και κραμάτων, όπως μαλακός χάλυβας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα κ.ά.. Συνήθως το σχήμα τους σε εγκάρσια τομή είναι ωσειδές ή οκταγωνικό, ανάλογα με τον σχεδιασμό της φλάντζας. Παρέχουν στεγανοποίηση σε υψηλές πιέσεις έως 1500 bar και θερμοκρασίες έως 1000°C και αποτελούν ένα πολύ ασφαλές και αξιόπιστο σύστημα στεγανοποίησης, το οποίο θα πρέπει να εφαρμόζεται πάντα όταν το δίκτυο διαρρέεται από καυστικά ρευστά ή εκρηκτικά αέρια. Προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την εφαρμογή αυτού του είδους των παρεμβυσμάτων, ώστε το υλικό κατασκευής τους να είναι πιο μαλακό από το υλικό κατασκευής του περιαιχενίου.

– **Ημιμεταλλικά (ή μεταλλοπλαστικά) παρεμβύσματα με σπείρες** (σχ. 7.8στ). Αποτελούνται από έναν εξωτερικό μεταλλικό δακτύλιο από χάλυβα, έναν ενδιάμεσο δακτύλιο κατασκευασμένο από λεπτές λωρίδες μετάλλου σε σχήμα V τυλιγμένες σε σπείρα, στις οποίες ενδιάμεσα υπάρχει ένα στρώμα από γραφίτη ή πολυτετραφθοροαιθυλένιο ή κερα-



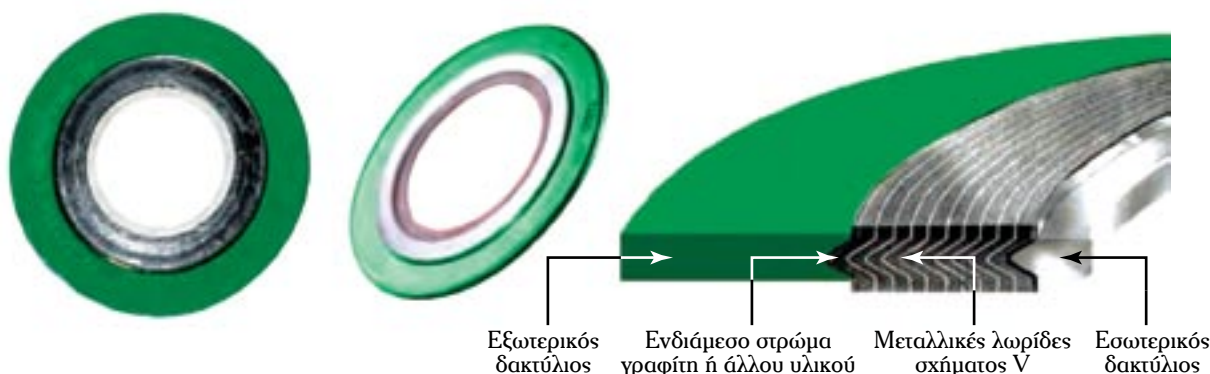
Σχ. 7.8ε

Τύποι δακτυλιοειδών αρθρωτών παρεμβυσμάτων.

μικό υλικό, και από έναν εσωτερικό δακτύλιο κατασκευασμένο από μαλακό χάλυβα. Έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογής στεγανοποιώντας δίκτυα με υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Λόγω της σπείρας δεν κολλάνε στις επιφάνειες των περιαιχενίων και λόγω του σχήματος V έχουν μεγάλη ελαστικότητα. Όμως, τα περιαιχενία πρέπει να είναι παράλληλα και είναι δύσκολος ο ποιοτικός τους έλεγχος λόγω της σπειροειδούς περιελίξεως.

β) Τα **παρεμβύσματα από μη μεταλλικά υλικά**, τα οποία χρησιμοποιούνται σε συνδέσεις δικτύων, όπου ισχύουν χαμηλές έως μέτριες πιέσεις της τάξεως των 40–63 bar. Όταν στην επιφάνεια επαφής των περιαιχενίων υπάρχουν ομόκεντρα αυλάκια, αυξάνεται η αντοχή στην πίεση που μπορεί να ασκείται στο παρέμβυσμα, ώστε η στεγανοποίηση δύναται να καλύψει ονομαστική πίεση δικτύου έως 200 bar. Αυτά υποκατηγοριοποιούνται στα εξής:

– **Ενισχυμένα με ίνες παρεμβύσματα** (σχ. 7.8ζ). Αυτά τα παρεμβύσματα έχουν κοπεί από φύλλα διαστάσεων 1 × 1 m, που διατίθενται στο εμπόριο, και έχουν τρυπηθεί ανάλογα με το μέ-



Σχ. 7.8στ

Ημιμεταλλικά παρεμβύσματα με σπείρες.

γεθος του σημείου εφαρμογής τους. Συνήθως, το υλικό κατασκευής των φύλλων είναι περμανίτης ή καουτσούκ βουταδενίου νιτριλίου, το οποίο αποτελεί ένα υψηλής ποιότητας υλικό για παρεμβύσματα χωρίς περιεκτικότητα σε αμίαντο, ενώ για την ενίσχυσή τους χρησιμοποιούνται ίνες από άλλα υλικά, όπως ίνες αραμίντ, ανθρακικές, κυταρρίνης, μεταλλικές κ.ά.. Αποτελούν οικονομικές λύσεις παρεμβυσμάτων που κόβονται εύκολα, όμως όταν υπάρχει καουτσούκ στη σύνθεσή τους παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.

– **Παρεμβύσματα από γραφιωμένο περμανίτη** (σχ. 7.8n). Για τα παρεμβύσματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο γραφίτης με καθαρότητα >99% σε στοιχεία άνθρακα. Μπορεί να είναι ενισχυμένα με συρμάτινο πλέγμα ενισχύσεως από ανοξείδωτο χάλυβα, ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους και να καλυφθούν εφαρμογές όπου η θερμοκρασία φτάνει τους 450 – 500° C. Λόγω του εύκαμπτου υλικού, από το οποίο κατασκευάζονται, τα παρεμβύσματα έχουν την ικανότητα να καλύπτουν μικρές ανωμαλίες της επιφάνειας των περιαιχενίων, να διατηρούν τη φόρμα τους χωρίς να ολισθαίνουν κατά τη σύσφιγξη, όπως συμβαίνει με τα παρεμβύσματα



Σχ. 7.8ζ

Παρεμβύσματα ενισχυμένα με ίνες.

απο καουτσούκ, όμως δεν έχουν αντοχή σε οξειδωτικά περιβάλλοντα.

– **Παρεμβύσματα από πολυτετραφθοροαιθυλένιο** (σχ. 7.8θ). Τα παρεμβύσματα αυτά παρέχουν εξαιρετική αντοχή σε χημικά, δεν προσκολλώνται στις επιφάνειες, έχουν διηλεκτρικές ιδιότητες, ενώ επηρεάζονται μόνο από τετηγμένα αλκαλικά άλατα και φθοριούχα αέρια. Γενικά αποτελούν ένα πολύ πυκνό υλικό στεγανοποίησεως, το οποίο προσαρμόζεται τέλεια στα περιαιχενία, αλλά έχουν περιορισμένη αντοχή στη θερμοκρασία και ολισθαίνουν όταν ασκείται μεγάλη συμπίεση κατά τη σύσφιγξη.



Σχ. 7.8n

Συρμάτινο πλέγμα και παρεμβύσματα από γραφιωμένο περμανίτη.



Σχ. 7.8θ

Παρεμβύσματα από πολυτετραφθοροαιθυλένιο.

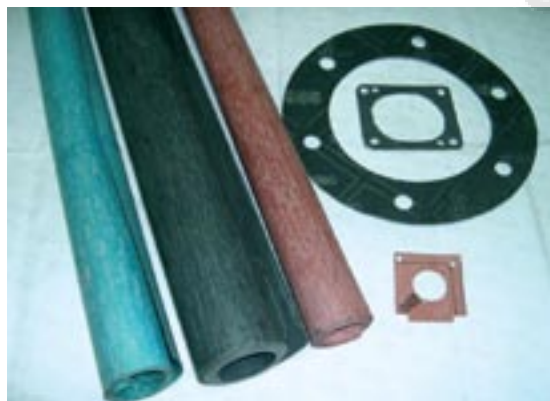
– **Ελαστικά παρεμβύσματα** (σχ. 7.8ι). Αυτά διατίθενται είτε κομμένα σε διάφορες διαστάσεις ανάλογες με το σημείο εφαρμογής τους, είτε σε φύλλα που κόβονται με ευκολία. Δεν περιέχουν κάποιο είδος ενισχύσεως και κατασκευάζονται από χημικές ενώσεις ελαστικού. Μερικά από τα υλικά κατασκευής τους είναι το καουτσούκ βουταδενίου νιτριλίου με ικανοποιητική αντοχή σε χημικά και θερμοκρασίες από -30 έως 100°C , η σιλικόνη με αντοχή σε θερμοκρασίες από -60 έως 200°C και το φυσικό καουτσούκ σε εφαρμογές όπου οι θερμοκρασίες είναι από -60 έως 80°C . Τα δύο πρώτα δεν επηρεάζονται από το όζον της ατμόσφαιρας ή το ηλιακό φως, αλλά είναι ακατάλληλα για επαφή με υδρογονάνθρακες και ατμό.

Οι περμανίτες και τα ελαστικά για την κατασκευή παρεμβυσμάτων διατίθενται στο εμπόριο σε φύλλα



Σχ. 7.8ι

Ελαστικά παρεμβύσματα.



Σχ. 7.8ια

Περμανίτες σε φύλλα.

(σχ. 7.8ια). Οι συνηθέστερες διαστάσεις είναι 1,40 m ύψος και 1,50 έως 20 m μήκος, ενώ το πάχος τους ποικίλλει σε 1 mm, 1,5–4 mm, 6 mm και 8 mm. Τα υλικά κατασκευής τους ανάλογα με το σημείο εφαρμογής τους είναι γραφитωμένοι περμανίτες με συμμάτινο πλέγμα ενισχύσεως από χάλυβα, περμανίτες δίχως ενίσχυση με ή χωρίς γραφίτη και συνθετικό ελαστικό, όπως καουτσούκ βουταδενίου νιτριλίου, φυσικό καουτσούκ, φθοροελαστομερές κ.ά..

7.9 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα στεγανοποιήσεως.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η καλή στεγανοποίηση είναι οι εξής:

α) Η **άνιση κατανομή στη δύναμη συσφίξεως**, η οποία μπορεί να οφείλεται:

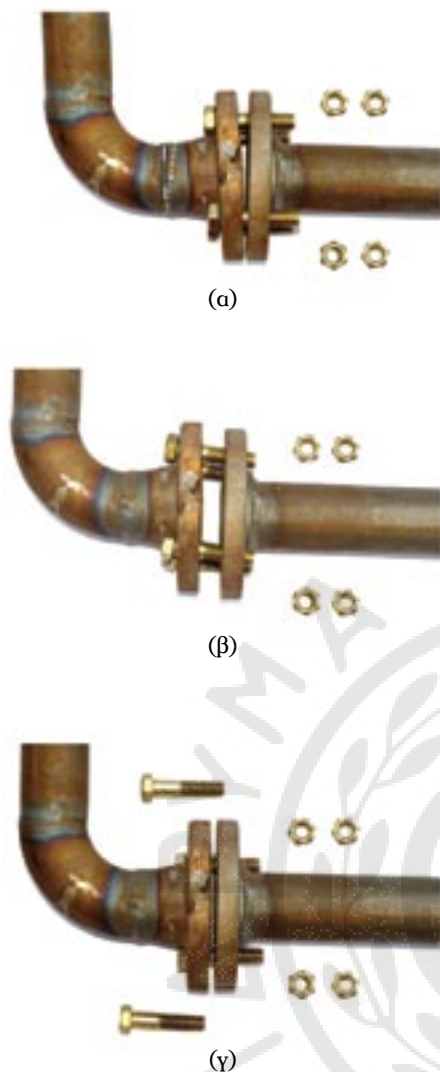
– **Στη σύσφιγξη από το πλήρωμα** κατά την τοποθέτηση, οπότε θα πρέπει κατά τη σύσφιγξη να δίνεται προσοχή, ώστε τα επίπεδα των περιαιχενίων που έρχονται σε επαφή να συσφίγγονται σταδιακά με την ίδια ένταση από όλες τις πλευρές (σχ. 7.9α).

– **Στην κατασκευή** με την τοποθέτηση των περιαιχενίων στο άκρο του σωλήνα, όταν τα δύο περιαιχενία είτε δεν είναι παράλληλα (σχ. 7.9α), είτε το κέντρο τους δεν είναι ομόκεντρο με το κέντρο του αγωγού (σχ. 7.9β). Σ' αυτήν την περίπτωση για την εξάλειψη μιας λανθασμένης εγκαταστάσεως που θα οδηγήσει σε διαρροή, θα πρέπει να γίνουν κατασκευαστικές διορθώσεις.

– **Στην πυκνότητα διάταξης των κοχλιών** (βίδες), δηλαδή στον αριθμό των κοχλιών, ο οποίος επηρεάζει την κατανομή της πίεσεως με τη σύσφιγξη. Γι' αυτό στις συνδέσεις μεγάλων περιαιχενίων απαιτούνται περισσότερες βίδες (σχ. 7.9β).

β) Η **απώλεια στην ένταση συσφίξεως στις βίδες**, η οποία οφείλεται στους κραδασμούς του πλοίου και των μηχανημάτων κατά τη λειτουργία τους. Σε γενικές γραμμές οι βίδες με μικρότερη διάμετρο, λεπτό σπείρωμα και πυκνότερη κατανομή πλεονεκτούν έναντι των μεγαλύτερων. Προληπτικά θα πρέπει οι βίδες να ελέγχονται και να συσφίγγονται κατά διαστήματα στα σημεία όπου υπάρχουν δονήσεις, ενώ είναι απαραίτητο να τοποθετούνται ροδέλες ασφαλείας.

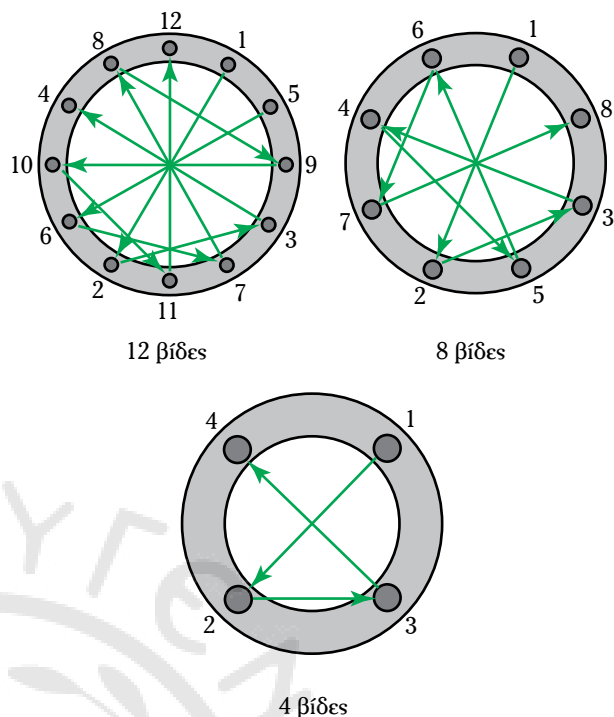
γ) Η **διακύμανση της θερμοκρασίας**. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί τη διαστολή των



Σχ. 7.9α

Σύνδεση περιανυενίων (α) με λανθασμένη κλίση στην επαφή των επιφανειών (β) με λανθασμένη απόκλιση από το κέντρο του αγωγού και (γ) σωστή σύνδεση περιανυενίων.

σωλήνων και των παρεμβυσμάτων, ενώ αντίστοιχα η μείωση προκαλεί τη συστολή, με αποτέλεσμα από αυτές τις μεταβολές να προκαλείται χαλάρωση στις βίδες και στα παρεμβύσματα και να παρουσιάζεται διαρροή στα σημεία στεγανοποιήσεως. Για την πρόληψη διαρροής που οφείλεται στη θερμοκρασία, θα πρέπει, σε δίκτυα με χαμηλή θερμοκρασία να χρησιμοποιούνται εύκαμπτα παρεμβύσματα κατάλληλα για το ρευστό που τα διαρρέει. Επίσης, το διάκενο μεταξύ των περιανυενίων, που πρέπει να καλυφθεί από το παρέμβυσμα, θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο (μεγάλου πάχους παρεμβύσματα παρουσιάζουν ευκολότερα διαρροή) και οι βίδες που χρησιμοποιούνται να έχουν υψηλή αντοχή στις καταπονήσεις.



Σχ. 7.9β

Ακολουθία σφίξεως περιανυενίων με 12, 8 και 4 βίδες.

7.10 Εφαρμογές στεγανοποιήσεως.

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, η στεγανότητα μεταξύ των επιφανειών των περιανυενίων επιτυγχάνεται με την προσθήκη παρεμβύσματος. Τα υλικά κατασκευής των παρεμβυσμάτων που χρησιμοποιούνται σε κάθε δίκτυο, εξαρτώνται από το είδος του ρευστού που το διαρρέει και πρέπει να παρέχουν την απαιτούμενη αντοχή στις πιέσεις και στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε αυτό. Έτσι, τα υλικά που επιλέγονται στην κατασκευή των παρεμβυσμάτων ανάλογα με το είδος του ρευστού και των δικτύων είναι:

α) **Για δίκτυα που διαρρέονται με νερό** χρησιμοποιείται λάστιχο απλό ή ενισχυμένο με ίνες, ενώ για στεγανοποίηση σε μεγαλύτερες πιέσεις δέρμα ή περμανίτης και για μεγάλες θερμοκρασίες μεταλλικοί δακτύλιοι.

β) **Σε δίκτυα με αιμό** χρησιμοποιείται περμανίτης γραφίτωμένος και ενισχυμένος με σύρμα ή κυματοειδείς μεταλλικοί δακτύλιοι. Στις ενώσεις μέταλλο με μέταλλο, καθώς και στα παρεμβύσματα που η θερμοκρασία του ρευστού είναι υψηλή, γίνεται επάλειψη με παρασκευάσματα όπως coraltite, copaslip, permatex κ.ά., που δημιουργούν ένα πολύ λεπτό στρώμα προστασίας μεταξύ των σημείων επαφής, ώστε οι επιφάνειες να μην κολλάνε μεταξύ τους.

γ) **Σε δίκτυα ελαίου λιπάνσεως και πετρελαίου** χρησιμοποιείται πεπιεσμένο χαρτί, προελαστομερές, που διαθέτει εξαιρετική αντοχή σε έλαια και αρωματικούς υδρογονάνθρακες, ελαστικό χλωροβουταδιενίου κατάλληλο για μέτρια οξέα, αλκάλια, διαλύματα άλατος, πετρελαίου, διαλύτες, έλαια και καύσιμα, το οποίο όμως δεν συνιστάται για ισχυρά οξέα ή υδρογονάνθρακες. Τέλος, όπου υπάρχει μεγάλη πίεση και θερμοκρασία χρησιμοποιούνται μεταλλικοί δακτύλιοι από ειδικό χάλυβα ή χαλκό.

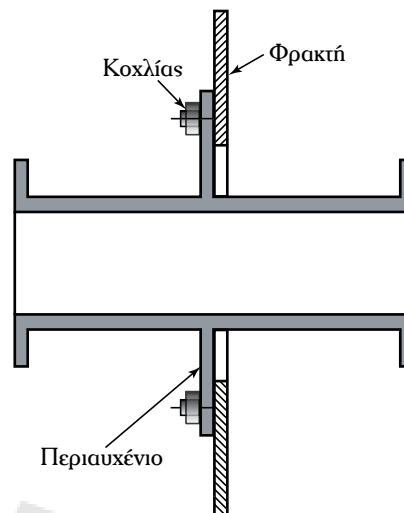
Επειδή όμως οι σωλήνες των δικτύων ενός πλοίου δεν αναπτύσσονται μόνο στο κατάστρωμα ή σε ελεύθερους χώρους του μηχανοστασίου, αλλά διέρχονται μεταξύ διαφορετικών χώρων και καταστρωμάτων, η στεγανοποίηση κατά τη διέλευση των σωλήνων από τις φρακτές επιτυγχάνεται:

α) Με **σύνδεση περιαιχενίων στο επίπεδο της φρακτής**, όπου δύο περιαιχένια συνεχόμενων σωλήνων συνδέονται ακριβώς στο ίδιο επίπεδο της φρακτής.

β) Με **τμήμα σωλήνα στις άκρες του οποίου εφαρμόζονται δύο περιαιχένια**, ενώ ένα επί πλέον περιαιχένιο συγκολλάται μεταξύ των δύο ακραίων πάνω στο τμήμα του σωλήνα που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση μέσω φρακτής (σχ. 7.10). Το ενδιάμεσο περιαιχένιο συνδέεται με κοχλίες και περικόχλια πάνω στη φρακτή και για τη στεγανοποίηση τοποθετείται παρέμβυσμα.

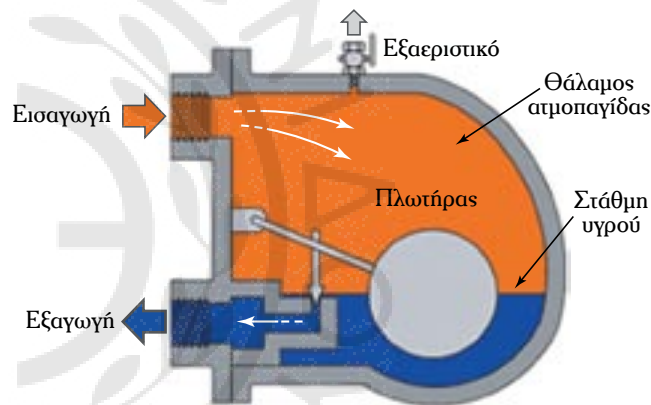
γ) Με **στυπιοθλίψη**, όταν η περιοχή της φρακτής γύρω απ' την τρύπα διόδου ενισχύεται κατάλληλα και διαμορφώνεται σε στυπιοθλίψη, περιβάλλοντας τον σωλήνα, όπως και στη μέθοδο που εφαρμόζεται στις ολισθαίνουσες ενώσεις.

δ) Με **συγκόλληση**, η οποία πραγματοποιείται μόνο σε περιπτώσεις που είναι δύσκολο να εφαρμοστεί μία από τις παραπάνω μεθόδους. Τότε, τμήμα του σωλήνα συγκολλάται στη φρακτή με ενίσχυση ή με περιαιχένια στο σημείο διόδου του σωλήνα.



Σχ. 7.10

Τρόπος συνδέσεως μέσω φρακτής.



Σχ. 7.11α

Μηχανική ατμοπαγίδα.

διαδρομή στο δίκτυο των επιστροφών μόνο όταν έχει υγροποιηθεί. Οι κύριοι τύποι ατμοπαγίδων είναι:

α) Η **μηχανική ατμοπαγίδα** (σχ. 7.11α), η οποία αποτελείται απ' τον θάλαμο που περιέχει έναν πλωτήρα. Καθώς η στάθμη του συμπυκνώματος αυξάνει, ο πλωτήρας ανοίγει τη βαλβίδα και το συμπύκνωμα απομακρύνεται. Η στάθμη του συμπυκνώματος ελαττώνεται και τότε η βαλβίδα κλείνει, μέχρι νέα ποσότητα συμπυκνώματος να ανεβάσει τον πλωτήρα ανοίγοντας εκ νέου τη βαλβίδα.

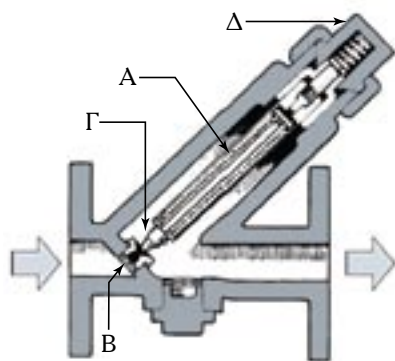
β) Η **θερμοστατική ατμοπαγίδα**, η οποία χρησιμοποιεί την εκτόνωση, που πραγματοποιείται:

– Στις **ατμοπαγίδες με στοιχείο που περιέχει έλαιο** (σχ. 7.11β). Σε αυτές η αύξηση της θερμοκρασίας εκτονώνει το στοιχείο Α κλείνοντας τη βαλβίδα Β με το στοιχείο Γ. Η ατμοπαγίδα αυτή λειτουργεί σε ένα εύρος

7.11 Ατμοπαγίδες.

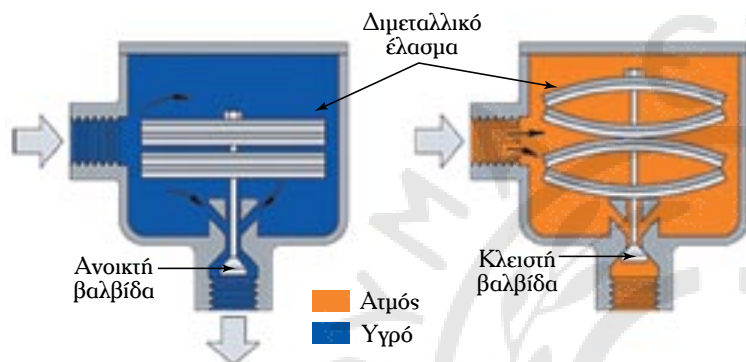
Οι **ατμοπαγίδες** (steam traps) αποτελούν έναν ειδικό τύπο βαλβίδας, που λειτουργεί αυτόματα και χρησιμοποιείται στις επιστροφές ατμού, όπως στα δίκτυα προθερμάνσεως, στα οποία απομακρύνεται το συμπύκνωμα χωρίς να επιτρέπεται η διέλευση του ατμού.

Το όφελος που παρέχουν οι ατμοπαγίδες είναι ότι ο ατμός παραμένει στο δίκτυο αποδίδοντας όλη τη θερμαντική ενέργεια που μεταφέρει και συνεχίζει τη



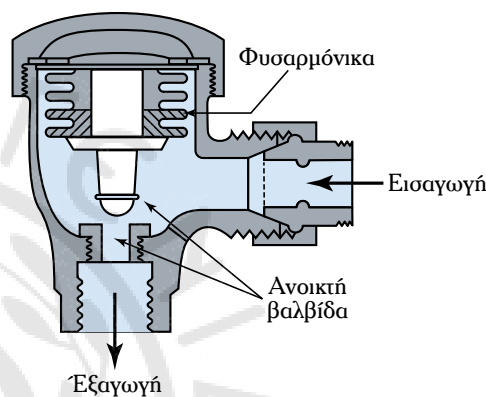
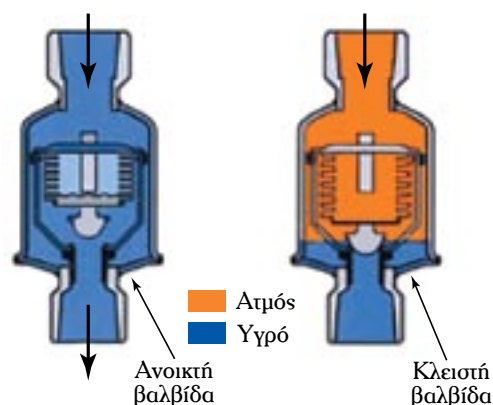
Σχ. 7.11β

Θερμостатική ατμοπαγίδα που περιέχει έλαιο.



Σχ. 7.11γ

Θερμостатική ατμοπαγίδα με διμεταλλικό έλασμα.



Σχ. 7.11δ

Θερμостатική ατμοπαγίδα με φουσαρμόνικα.

καθορισμένης θερμοκρασίας, ενώ η διαδρομή της βαλβίδας ρυθμίζεται απ' τη βίδα Δ.

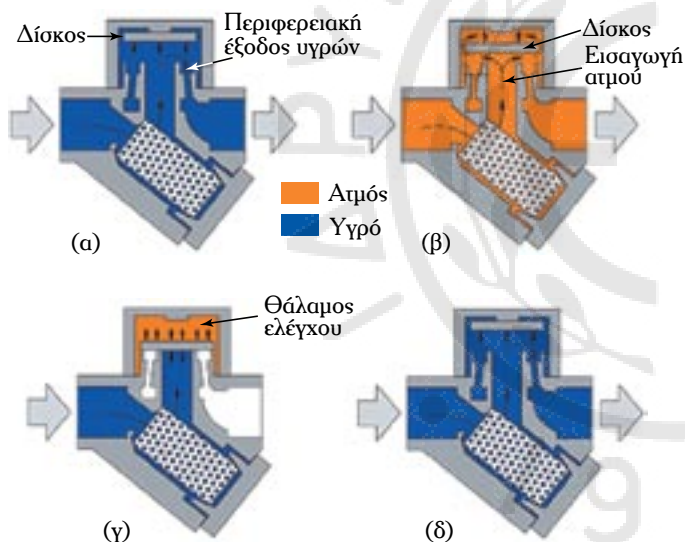
- Στις **ατμοπαγίδες με διμεταλλικό έλασμα** (σχ. 7.11γ). Σε αυτές η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του ατμού προκαλεί την παραμόρφωση του διμεταλλικού ελασματος που κλείνει τη βαλβίδα, διακόπτοντας έτσι τη ροή, και αποκαθίσταται ανοίγοντας τη βαλβίδα όταν συγκεντρωθεί συμπύκνωμα, που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία. Οι ατμοπαγίδες αυτές χρησιμοποιούνται σε δίκτυο υπέρθερμου ατμού χωρίς να χρειάζονται επαναρρύθμιση, ενώ είναι περισσότερο ανθεκτικές στην προκαλούμενη φθορά από κραδασμούς ή απ' το υδραυλικό κτύπημα.
- Οι **ατμοπαγίδες με φουσαρμόνικα** πληρώνονται με πτητικό υγρό, το οποίο, όταν έρχεται σε επαφή με τον ατμό, διαστέλλεται κλείνοντας τη βαλβίδα, ενώ συστέλλεται όταν συγκεντρωθεί συμπύκνωμα ανοίγοντας τη βαλβίδα (σχ. 7.11δ). Ο τρόπος κατασκευής τους λόγω της φουσαρμόνικας τις καθιστά ευπαθείς στα υδραυλικά κτυπήματα, ενώ δεν είναι κατάλληλες για δίκτυα υπέρθερμου ατμού.

γ) Η **θερμοδυναμική ατμοπαγίδα** (σχ. 7.11ε) οφεί-

λει τη λειτουργία της στη δυναμική επίδραση της ακαριαίας ατμοποίησης, καθώς το συμπύκνωμα διέρχεται απ' αυτήν. Το μόνο κινούμενο μέρος της ατμοπαγίδας είναι ο δίσκος που ανεβαίνει ή κατεβαίνει πάνω από το ακροφύσιο ροής στο εσωτερικό του θαλάμου.

Κατά τη λειτουργία της η πίεση του ρευστού στην εισαγωγή της ατμοπαγίδας ανυψώνει τον δίσκο επιτρέποντας τη ροή του συμπυκνωμένου ατμού και τυχόν διαλυμένου αέρα που υπάρχει στο δίκτυο, προς την εξαγωγή περιφερειακά του ακροφυσίου [σχ. 7.11ε(α)]. Καθώς το ζεστό συμπύκνωμα διέρχεται στο κάτω μέρος του δίσκου, μέσα στον θάλαμο δημιουργείται πτώση στην πίεση, με αποτέλεσμα την ακαριαία ατμοποίηση [σχ. 7.11ε(β)]. Ο ατμός που κινείται με υψηλή ταχύτητα προκαλεί την πτώση της πίεσης κάτω απ' τον δίσκο, με αποτέλεσμα έλκοντας τον δίσκο να κλείνει το ακροφύσιο. Ταυτόχρονα, η ποσότητα ατμού που συσσωρεύεται στον θάλαμο πάνω από τον δίσκο, τον πιέζει προς τα κάτω, ενώ η πίεση στο κάτω μέρος του δίσκου αυξάνεται σταδιακά, τείνοντας να εξισωθεί μ' αυτήν

στο επάνω μέρος του δίσκου. Αυτό συμβαίνει διότι η επιφάνεια που δημιουργείται στην επάνω πλευρά του δίσκου με τον θάλαμο, όπου ασκείται η πίεση, είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν που δημιουργείται στην κάτω πλευρά [σχ. 7.11ε(γ)]. Τελικά, με τη συμπίκνωση του παγιδευμένου ατμού, που δημιουργήθηκε μετά την ακαριαία ατμοποίηση, η πίεση στην επάνω πλευρά του δίσκου μειώνεται και λόγω της αυξημένης πύεσης στην εισαγωγή ο δίσκος ανυψώνεται επαναλαμβάνοντας τον κύκλο λειτουργίας [σχ. 7.11ε(δ)]. Ο ρυθμός λειτουργίας της ατμοπαγίδας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ατμού που τη διαρρέει και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Συνήθως, ο χρόνος κατά τον οποίο παραμένει κλειστή μία ατμοπαγίδα κυμαίνεται μεταξύ 20–40 s. Εάν η ατμοπαγίδα ανοίγει πολύ συχνά, αυτό οφείλεται στη χαμηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος και στην υγρασία. Ο ρυθμός που ανοίγει η βαλβίδα μπορεί να επιβραδυνθεί με την τοποθέτηση μονωτικών υλικών στο επάνω μέρος της.

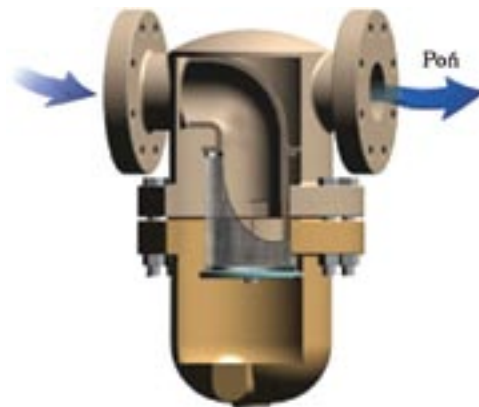


Σχ. 7.11ε

Λειτουργία θερμοδυναμικής ατμοπαγίδας.

7.12 Αποχωριστές ατμού.

Σε κατάλληλες θέσεις του δικτύου ατμού, παρεμβάλλονται ειδικές συσκευές, οι λεγόμενοι **αποχωριστές ατμού**, με σκοπό τον αποχωρισμό ή την απαλλαγή του ατμού από τα σταγονίδια νερού που αιωρούνται σ' αυτόν (σχ. 7.12). Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ελάττωση της ταχύτητας του ατμού, η οποία επιτυγχάνεται μέσα στον αποχωριστή, με διατομή διόδου μεγαλύτερη της διατομής των σωλήνων του δικτύου. Με την μείωση της ταχύτητας



Σχ. 7.12

Αποχωριστής ατμού σε τομή.

ο ατμός δεν μπορεί να συγκρατήσει τα μόρια νερού που αιωρούνται στη μάζα του, τα οποία πέφτοντας συλλέγονται στον πυθμένα του αποχωριστή. Μέσα στους αποχωριστές πολλές φορές τοποθετούνται διάτρητα ή επίπεδα διαφράγματα, ώστε με την αλλαγή διεύθυνσεως του ατμού ή μέσω των οπών αντίστοιχα να μηδενίζεται η ταχύτητά του διευκολύνοντας τον αποχωρισμό των αιωρουμένων μορίων νερού.

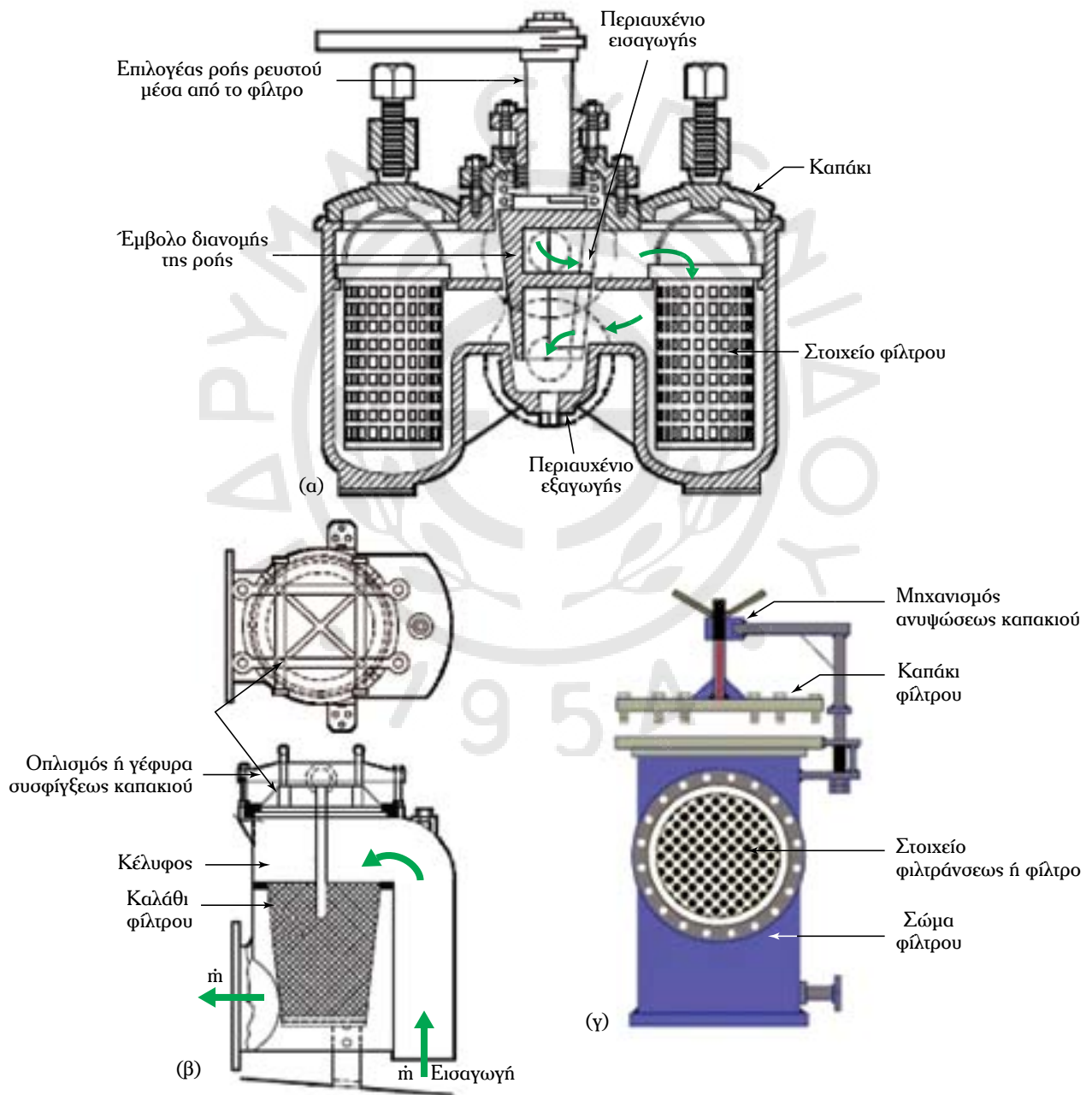
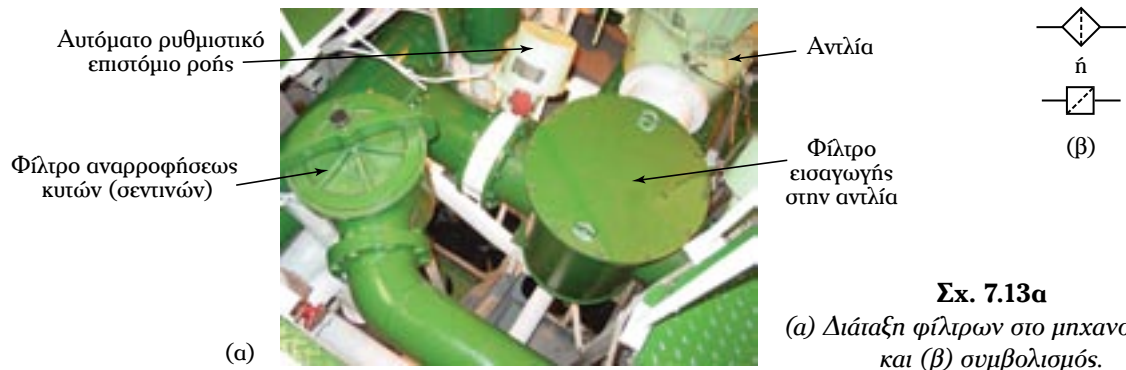
Ανάλογοι είναι και οι αποχωριστές που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα πεπιεσμένου αέρα επιτυγχάνοντας την κατακράτηση της υγρασίας, που περιέχεται σ' αυτόν.

Η απομάκρυνση των υγρών που συγκεντρώνονται στον αποχωριστή πραγματοποιείται απ' τον κρουνό εξυδατώσεως στον πυθμένα του με τη βοήθεια της πίεσης του αέρα ή του ατμού του δικτύου.

7.13 Φίλτρα.

Τα **φίλτρα** (filters) είναι εξαρτήματα του δικτύου, που έχουν ως σκοπό να αποτρέψουν τη διέλευση ανεπιθύμητων στερεών μέσα σ' ένα δίκτυο, προλαμβάνοντας τις βλάβες που θα προκαλούσαν σε κάποιο μηχάνημα ή το φράξιμο του δικτύου (σχ. 7.13α). Στην περίπτωση που τα στερεά είναι πολύ μικρά, δημιουργείται η ανάγκη σχεδιασμού στοιχείων φιλτράνσεως περισσότερο πολυπλόκων, ώστε να ανταποκρίνονται στο είδος των σωματιδίων που μεταφέρονται σε κάθε ρευστό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως φίλτρα είναι η άμμος, το χαρτί, τα ινώδη υλικά, τα μεταλλικά πλέγματα, τα διάτρητα ελάσματα κ.ά..

Ο πιο απλός τύπος φίλτρου αποτελείται από ένα δοχείο με αφαιρούμενο καπάκι επιθεωρήσεως και ένα πώμα εκκενώσεως στο κάτω μέρος του δοχείου (σχ. 7.13β). Μέσα στο δοχείο τοποθετείται μία επίπεδη διάτρητη πλάκα με σχισμές ή μικρές οπές, ώστε



το υγρό να διέρχεται από αυτές. Τα φίλτρα αυτά λόγω του απλούστερου τρόπου κατασκευής τους ονομάζονται και **σπραγγιστήρια** (strainers) και συναντώνται σε δίκτυα έρματος και σεντινών, πριν το επιστόμιο αναρροφήσεως, με το μέγεθος των οπών να κυμαίνεται, ανάλογα με τον κατασκευαστή και τη χρήση, από 3 έως 12 mm. Η συνολική επιφάνεια των οπών ενός φίλτρου πρέπει να είναι τουλάχιστον 2,5 φορές μεγαλύτερη της επιφάνειας του σωλήνα εισαγωγής του ρευστού στο φίλτρο.

Σε φίλτρα νερού υψηλής πίεσεως, φίλτρα ατμού κ.ά. το στοιχείο του φίλτρου έχει τη μορφή διάτρητου καλαθιού ή κυλινδρικού δοχείου, στο οποίο εφαρμόζεται λεπτό πλέγμα από σύρμα. Η εισαγωγή του ρευστού πραγματοποιείται απ' την επάνω πλευρά και έτσι τα ανεπιθύμητα στερεά συγκρατούνται στο εσωτερικό του καλαθιού και απομακρύνονται με τακτικές επιθεωρήσεις. Το στοιχείο του φίλτρου ελέγχεται κατά την επιθεώρηση και πρέπει να αντικαθίσταται όταν παρατηρείται διάβρωση σ' αυτό. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά τη συναρμολόγηση μετά την επιθεώρηση, ώστε το καπάκι να εφαρμόζει στεγανά, αποτρέποντας την αναρρόφηση αέρα από το περιβάλλον ή τη διαρροή όταν τοποθετείται σε δίκτυο με πίεση. Δεδομένου ότι το καπάκι, ο οπλισμός (κασαλέτο) ή γέφυρα συσφίγξεως και συγκρατήσεως του καπακιού και το κέλυφος-σώμα του φίλτρου κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο, η άσκηση υπερβολικής δυνάμεως κατά τη συναρμολόγηση μπορεί να προκαλέσει τη θραύση του φίλτρου. Η απομάκρυνση του αέρα που εγκλωβίζεται μέσα στο φίλτρο μετά την επιθεώρηση, επιτυγχάνεται από εξαεριστικό κρουνό, ο οποίος τοποθετείται στο καπάκι του.

Σε άλλα είδη φίλτρων το στοιχείο φιλτράνσεως κατασκευάζεται από δίσκους με διάκενα μεταξύ τους, μικρότερα του 0,1 mm. Τα στερεά σωματίδια παγιδεύονται στις άκρες μεταξύ των δίσκων και ο καθαρισμός τους επιτυγχάνεται με την περιστροφή των στοιχείων των δίσκων πάνω σε σταθερά ελάσματα. Τα ελάσματα παρεμβάλλονται μεταξύ των δίσκων, με αποτέλεσμα οι ακαθαρσίες να συγκεντρώνονται στον πυθμένα του φίλτρου και από εκεί απομακρύνονται μέσω κρουνού στο κέλυφος κοντά στον πυθμένα. Ο καθαρισμός σ' αυτού του τύπου τα φίλτρα πρέπει να πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Διανοητικά, δημιουργούνται επικαθίσεις, δυσκολεύοντας την περιστροφή και προκαλώντας βλάβες στα στοιχεία του φίλτρου. Για τη διευκόλυνση της διεργασίας του καθαρισμού, σε φίλτρα αυτού του τύπου

εφαρμόζεται αυτόματη διάταξη με ηλεκτροκινητήρα για την περιστροφή των στοιχείων του φίλτρου. Παρόμοια αυτόματη διάταξη χρησιμοποιείται και σε φίλτρα αποτελούμενα από μία σειρά κυλίνδρων από μεταλλικό σύρμα, που είτε περιστρέφονται επάνω στο σώμα του φίλτρου, είτε διαθέτουν κατάλληλη διάταξη περιστροφής της βάσεως ανάλογα με τον κατασκευαστή, μεταβάλλοντας τη διεύθυνση ροής μέσα στο φίλτρο. Έτσι, αυτόματα επιτυγχάνεται ο καθαρισμός με **αντιστροφή της ροής** (automatic backflushing) μέσα στα στοιχεία του φίλτρου (σχ. 7.13γ). Όταν στο ρευστό που διαρρέει τα φίλτρα, για παράδειγμα στα δίκτυα λιπάνσεως, παρασύρονται ρινίσματα μετάλλου, τα φίλτρα εφοδιάζονται με μαγνήτες συγκρατώντας έτσι τα σιδηρούχα υλικά.

Συνήθως, τα φίλτρα τοποθετούνται σε ζεύγη, παρέχοντας τη δυνατότητα να λειτουργούν παράλληλα ή μεμονωμένα (σχ. 7.13β). Με αυτόν τον τρόπο και μέσω του επιλογέα ροής του ρευστού παρέχεται η δυνατότητα απομονώσεως κάθε φίλτρου, χωρίς να είναι απαραίτητη η διακοπή της ροής του δικτύου, όπου είναι εγκατεστημένο για τον καθαρισμό ή την επισκευή του.

7.14 Έλεγχος και συντήρηση δικτύων.

Ο προληπτικός έλεγχος και οι επισκευές σε ένα δίκτυο, ως σκοπό έχουν την ασφαλή λειτουργία του πλοίου και τη βέλτιστη απόδοση των μηχανημάτων που εξυπηρετεί. Οι επιφάνειες των σωλήνων πρέπει να είναι βαμμένες, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή τους στη διάβρωση, εκτός εάν είναι κατασκευασμένες από μη διαβρωτικό υλικό ή είναι γαλβανισμένες ή επικαλυμμένες με πλαστικό. Επίσης, οι σωλήνες που διαρρέονται από ατμό ή από ρευστά σε υψηλή θερμοκρασία πρέπει να είναι κατάλληλα μονωμένοι (σχ. 7.14α), ώστε να αποφεύγεται η απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Σε γενικές γραμμές, ο έλεγχος των σωλήνων πρέπει να επικεντρώνεται στον εντοπισμό και στην αντικατάσταση όσων έχουν αποδυναμωθεί ή παρουσιάζουν κάποιου είδους διάβρωση (σχ. 7.14β). Απαραίτητη επίσης είναι η δοκιμή με πίεση για να εντοπιστούν τα αδύνατα σημεία που απαιτούν επισκευή.

Οι **ενέργειες** που πρέπει να πραγματοποιούνται **κατά τον έλεγχο και τη συντήρηση ενός δικτύου** περιλαμβάνουν:

α) Την αξιολόγηση των κινδύνων και τη λήψη άδειας πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε εργασία σε ένα σύστημα σωληνώσεων.

**Σχ. 7.13γ**

Αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα με αντιστροφή της ροής.

**Σχ. 7.14α**

Μονωμένοι σωλήνες και επιστόμια δικτύου.

**Σχ. 7.14β**

Τμήμα δικτύου που έχει υποστεί διάβρωση και έχει καταστραφεί η μόνωσή του.

β) Την αντικατάσταση σωλήνων που έχουν σημαντική διάβρωση, δηλαδή όταν έχει εξαντληθεί η ανοχή διαβρώσεως.

γ) Τον τακτικό έλεγχο του πάχους του τοιχώματος, ειδικά σε σωλήνες παλαιών δικτύων, εστιάζοντας στις κάμψεις (στροφές), στις γωνίες, στο κατάστρωμα, στη διέλευση από φρακτές και σε όσους έρχονται σε επαφή με το κύτος του πλοίου.

δ) Την υδραυλική δοκιμή του δικτύου, η οποία γίνεται με νερό, σε πίεση που φτάνει 1,5 φορά την πίεση σχεδιασμού λειτουργίας του. Ως ελάχιστη απαι-

τηση, η υδραυλική δοκιμή πρέπει να γίνεται κάθε δύο χρόνια. Υδραυλική δοκιμή σε σωλήνες ενός δικτύου θα πρέπει να γίνει μετά από έκθεση σε εξωτερική κόπωση, π.χ. πώση αντικειμένου σε σωλήνα του δικτύου, ακόμη και αν δεν υπάρχει καμία εμφανής ζημιά.

ε) Το άνοιγμα και κλείσιμο των βαλβίδων (επιστομιών) του δικτύου σε τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς και των επιστομιών που είναι τοποθετημένα στο κύτος του πλοίου και οδηγούν στη θάλασσα, με ιδιαίτερη προσοχή μήπως έχει παγιδευτεί κατά λάθος πετρέλαιο ή έλαιο.

στ) Τον έλεγχο των σημείων σπρίζεως των σωλήνων του δικτύου, ιδιαίτερα εάν στο σημείο υπάρχουν κραδασμοί, ώστε να απαιτείται περαιτέρω στήριξη.

ζ) Τη διατήρηση βαμμένων και καθαρών σωλήνων, χωρίς υγρασία.

η) Την αφαίρεση όλων των τυφλών περιουσιών μετά την ολοκλήρωση μιας υδραυλικής δοκιμής.

θ) Την πραγματοποίηση τακτικών ελέγχων σε σωλήνες που διέρχονται κοντά σε θερμές επιφάνειες, ιδιαίτερα όταν το ρευστό που διαρρέει το δίκτυο είναι εύφλεκτο.

ι) Τη διατήρηση της μονώσεως σε καλή κατάσταση, ώστε να μην υπάρχουν επάνω της πετρέλαιο ή έλαια που μπορεί να προκαλέσουν αιτία αναφλέξεως ή μεταδόσεως πυρκαγιάς.

Για να διατηρείται το **δίκτυο σε καλή κατάσταση**, δεν θα πρέπει:

α) Οι σωλήνες και τα εξαρτήματα του δικτύου να βρίσκονται εκτεθειμένα σε υγρασία, ειδικά οι σωλήνες που είναι κατασκευασμένοι από μαλακό χάλυβα.

β) Να χρονοτριβούμε στην επισκευή ενός σωλήνα, για τον οποίο υπάρχει υποψία διαρροής.

γ) Να χρησιμοποιηθούν εύκαμπτοι συνθετικοί σωλήνες (μάνικες) για να αντικαταστήσουν έναν μεταλλικό σωλήνα που έχει υποστεί βλάβη, εκτός αν η χρήση τους θεωρηθεί ως αναπόφευκτη επισκευή εκτάκτου ανάγκης, η οποία θα πρέπει να αποκατασταθεί το συντομότερο δυνατόν.

δ) Να επισκευάζεται το δίκτυο με ανόμοια υλικά ή με το υλικό διαφορετικού πάχους σωλήνα στο ίδιο δίκτυο.

ε) Μετά την επισκευή ή τον έλεγχο να παραμένουν αντικείμενα που θα δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη λειτουργία του δικτύου, π.χ. εργαλεία, στουπιά κ.λπ..

στ) Να εφαρμόζεται μεγάλη δύναμη κατά την τοποθέτηση και ευθυγράμμιση ενός σωλήνα, διότι μπορεί να προκληθεί βλάβη σε άλλο σημείο του δικτύου.

ζ) Να χρησιμοποιείται ηλεκτροσυγκόλληση ή οξυγονοκόλληση ή άλλη πηγή αναφλέξεως για την επι-

σκευή σωλήνων καυσίμων ή ελαίων, ενώ είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο.

7.15 Υδραυλική δοκιμή δικτύου.

Η δοκιμή υδραυλικής πίεσεως σωλήνων του δικτύου για τον έλεγχο της αντοχής και της στεγανότητάς του αποτελεί μια απλή λειτουργία, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί στο πλοίο με ασφάλεια, σύμφωνα με τις ακόλουθες ενέργειες:

α) Να υπάρχει σχετική άδεια για την εργασία και αξιολόγηση των κινδύνων πριν την έναρξη των εργασιών.

β) Να απομονωθεί η περιοχή, στην οποία θα πραγματοποιηθεί η υδραυλική δοκιμή.

γ) Να συμπληρωθούν οι σωλήνες με νερό, φροντίζοντας να εξαλειφθεί κάθε πιθανός θύλακας αέρα πριν από την αύξηση της πίεσεως.

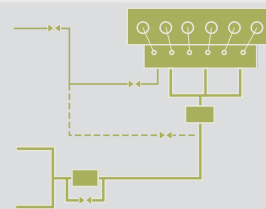
δ) Η αύξηση στην πίεση να γίνεται σταδιακά (αργά), ώστε να αποφευχθεί η απότομη φόρτωση του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα να γίνεται έλεγχος για τυχόν βλάβες, καθώς η πίεση αυξάνεται.

ε) Όταν επιτευχθεί η μέγιστη πίεση, να παραμείνει σταθερή για 15 με 30 λεπτά.

στ) Να ελέγχεται η πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα με τη χρήση ενός πιστοποιημένου μανομέτρου. Επίσης, να ελέγχεται ότι η μείωση της πίεσεως δεν συμβαίνει λόγω της μεταβολής στην πίεση που μπορεί να προκαλείται από τις θερμικές διακυμάνσεις του ρευστού ή του περιβάλλοντος.

ζ) Σε μεγάλες εγκαταστάσεις σωληνώσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα καταγραφικό με αντιστάθμιση θερμοκρασίας για την καταγραφή της δοκιμής πίεσεως και την πιστοποίηση του ελέγχου.

η) Ακόμη και εάν η μείωση στην πίεση δεν είναι σημαντική, πρέπει να γίνει και οπτικός έλεγχος του σωλήνα για τυχόν μικρές διαρροές. Πριν από την πραγματοποίηση αυτού του ελέγχου και για λόγους ασφαλείας, ενδείκνυται να μειωθεί ελαφρά η πίεση στον σωλήνα.



8.1 Εισαγωγή.

Ως **ανεφοδιασμός** ή **πετρέλευση** (bunkering) γενικά χαρακτηρίζεται η διαδικασία πληρώσεως των δεξαμενών των πλοίων με καύσιμα. Η διαδικασία αυτή κατά το παρελθόν αποτέλεσε την αιτία για πολλά ατυχήματα, γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και είναι απαραίτητη η λήψη ειδικών μέτρων ασφαλείας. Αυτά τα μέτρα ορίζονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της Διεθνούς Συμβάσεως για την Πρόληψη της Ρυπάνσεως από Πλοία–MARPOL, Παράρτημα VI (IMO –International Convention for the Prevention of Pollution from Ships–MARPOL, Annex VI).

Ειδικότερα, τα μέτρα και οι διαδικασίες ανεφοδιασμού που ακολουθούνται, αποτελούν βασικά στοιχεία για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου και αφορούν στην πλήρωση των δεξαμενών με βαρύ πετρέλαιο ή ντίζελ. Όμως, τα ίδια μέτρα αποτελούν τον οδηγό για τη διαδικασία που ακολουθείται κατά την παραλαβή του ελαίου λιπάνσεως, καθώς και για τις ενέργειες που αφορούν σε άλλες δραστηριότητες στο πλοίο. Παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων είναι η μεταφορά των καυσίμων από μία δεξαμενή σε μία άλλη, η διαχείριση των υπολειμμάτων από πετρελαιοειδή [όπως η παράδοση ακάθαρτου ιζήματος (λάσπη sludge), που προκύπτει από την επεξεργασία του πετρελαίου και του ελαίου λιπάνσεως των μηχανημάτων ή την παράδοση των υπολειμμάτων από τις δεξαμενές φορτίου (slops) εκτός πλοίου, σε φορτηγίδες ή σε εγκαταστάσεις ξηράς].

Έτσι, είτε πρόκειται για φορτηγό πλοίο (χύδην ξηρού φορτίου), είτε για δεξαμενόπλοιο (Δ/Ξ), ή για επιβατικό, κατά τον ανεφοδιασμό απαιτείται μέγιστη προσοχή και εγρήγορση για την αποφυγή κάθε είδους ατυχήματος, πυρκαγιάς ή ρυπάνσεως από πετρελαιοειδή. Επίσης, οι οδηγίες που ακολουθούνται και τα μέτρα που λαμβάνονται, προλαμβάνουν εκτός από τους άμεσους κινδύνους που αναφέρθηκαν, μακροπρόθεσμους κινδύνους, όπως βλάβη ή κακή απόδοση της/των μηχανής/ών λόγω της χαμηλής ποιότητας των καυσίμων. Επί πλέον, προλαμβάνουν

κινδύνους που επηρεάζουν και εμπορικούς παράγοντες (π.χ. οι απαιτήσεις ναυλώσεως κ.λπ.).

Όσον αφορά στα πετρέλαια ανεφοδιασμού, στα πλοία χρησιμοποιούνται δύο κυρίως τύποι πετρελαίων από τα διάφορα που παράγονται στα στάδια διυλίσεως (παράγρ. 9.3) και τα χαρακτηριστικά τους δίδονται στους πίνακες Π.Δ.2 και Π.Δ.3 (σελ. 508-509). Αυτοί οι τύποι είναι τα **βαρέα** ή **υπολειμματικά καύσιμα** (residual fuels) και τα **καύσιμα από απόσταξη** (distillate fuels).

Τα υπολειμματικά καύσιμα είναι υπολείμματα καυσίμων από διυλιστήρια, που σε συνδυασμό με αποστάγματα, αναμειγνύονται, ώστε το παραγόμενο καύσιμο να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των προδιαγραφών καύσεως των μηχανών. Είναι διαθέσιμα σε διάφορα ιζώδη και με υψηλή ή χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (high and low sulphur variants).

Τα καύσιμα από απόσταξη είναι το προϊόν που λαμβάνεται απ' τη συμπύκνωση των ατμών του πετρελαίου, με απόσταξη αργού πετρελαίου ή προϊόντων του. Το παραγόμενο πετρέλαιο είναι διαθέσιμο σε δύο διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας σε θείο (S) χαμηλής ή υψηλής περιεκτικότητας και έχει δύο παραλλαγές:

α) Το **ντίζελ πλοίων** (Marine Diesel Oil – MDO), το οποίο ουσιαστικά είναι το καύσιμο από απόσταξη που μπορεί να περιέχει μια μικρή ποσότητα από υπολειμματικά στοιχεία βαρέων καυσίμων, και

β) το **ναυτιλιακό ελαφρύ καύσιμο** (Marine Gasoil – MGO), το οποίο είναι καθαρό, δεν περιέχει υπολειμματικά στοιχεία βαρέων καυσίμων, έχει υψηλό δείκτη κετανίου και χαμηλότερη πυκνότητα από το MDO.

8.2 Ανεφοδιασμός με καύσιμα.

Όλοι όσοι εμπλέκονται στη θαλάσσια βιομηχανία θα πρέπει να γνωρίζουν ότι οι οικονομικές συνέπειες ενός περιστατικού ρυπάνσεως κατά τη διάρκεια ανεφοδιασμού καυσίμων ή λιπαντικών είναι σημαντικές. Πρέπει να αντιλαμβάνονται, επίσης, τη σοβαρότητα ενός ατυχήματος και ότι ο αντίκτυπος στο

πλοίο και στην εταιρεία θα έχει απρόβλεπτα αποτελέσματα. Οποιαδήποτε διαρροή, όσο μικρή κι αν είναι, μπορεί να οδηγήσει σε κυρώσεις, με τα έξοδα να υπερβαίνουν κατά πολύ την προφανή σοβαρότητα του περιστατικού.

Οι κύριοι υπεύθυνοι για τον ανεφοδιασμό του πλοίου είναι ο Πλοίαρχος και ο Α' Μηχανικός. Οι δυο τους σε συνεννόηση εξασφαλίζουν ότι τα καύσιμα που παραλαμβάνονται είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές αυτών που χρησιμοποιούνται στις μηχανές του πλοίου και κατάλληλα για τα βοηθητικά μηχανήματά του. Γι' αυτό, η **απόδειξη παραλαβής των καυσίμων** ή των λιπαντικών πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά πριν από την παραλαβή τους, ώστε να εξασφαλιστεί ότι το ιξώδες, η πυκνότητα ή το ειδικό βάρος που αναγράφονται είναι τα κατάλληλα για τις μηχανές και τον εξοπλισμό επεξεργασίας των καυσίμων, ο οποίος διατίθεται στο πλοίο.

Πιο συγκεκριμένα, ο Πλοίαρχος και ο Α' Μηχανικός εξασφαλίζουν ότι το πλοίο θα ανεφοδιαστεί με επαρκή καύσιμα για την εκτέλεση του ταξιδιού και των απαιτούμενων υπηρεσιών (π.χ. φόρτωση/εκφόρτωση φορτίου, προθέρμανση του φορτίου, καύσιμα για τις ενέργειες καθαρισμού των δεξαμενών, τις καταναλώσεις στο λιμάνι κ.ά.), που ορίζονται από το ναυλοσύμφωνο. Λαμβάνεται επίσης υπόψη το απαραίτητο **ασφαλές περιθώριο** (safe margin) αποθεμάτων σε καύσιμα, που πρέπει να υπάρχει στο πλοίο. Σύμφωνα με τις οδηγίες που περιλαμβάνονται στον Κώδικα Ασφαλούς Διαχείρισης του πλοίου, το ασφαλές περιθώριο αποθεμάτων σε καύσιμα είναι το 20% της ποσότητας των καυσίμων που υπολογίζεται ότι θα καταναλωθεί κατά τη διάρκεια ενός σύντομου ταξιδιού (σύντομο ταξίδι ορίζεται ένα ταξίδι διάρκειας 7-10 ημερών). Θα πρέπει, επίσης, να ληφθούν υπόψη και οι αναμενόμενες καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, όπου θα πραγματοποιηθεί το ταξίδι. Το ασφαλές περιθώριο αποθεμάτων στις δεξαμενές αποθηκεύσεως καυσίμων στην περίπτωση των μακροχρονίων ταξιδιών (διάρκειας άνω των 10 ημερών) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 10% των καυσίμων που θα καταναλωθούν στη διάρκεια του ταξιδιού. Όσον αφορά στο ντίζελ, το απόθεμα σε καύσιμα αντιστοιχεί στην κατανάλωση για 7 ημέρες λειτουργίας μιας γεννήτριας ντίζελ. Η απόκλιση στις προηγούμενες ποσότητες εξαρτάται από την ύπαρξη ενδιαμέσων λιμένων ανεφοδιασμού κατά τη διάρκεια του ταξιδιού που πρόκειται να πραγματοποιηθεί.

8.3 Διαδικασίες ανεφοδιασμού καυσίμων.

Ο Α' Μηχανικός, ως κύριος υπεύθυνος, πρέπει να εποπτεύει προσωπικά τις **διαδικασίες ανεφοδιασμού καυσίμων** (bunkering procedures), έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ρυπάνσεως. Με την άμεση εποπτεία των διαδικασιών εξασφαλίζεται ότι φορτώνονται οι σωστές ποσότητες στις σωστές δεξαμενές από κάθε είδος καυσίμου ή λιπαντικού, ενώ για τον έλεγχο της ποσότητας που παραλήφθηκε θα πρέπει να έχουν γίνει μετρήσεις στις δεξαμενές πριν και μετά το πέρας του ανεφοδιασμού. Επίσης, είναι ο άμεσα υπεύθυνος ο οποίος, όπου είναι απαραίτητο, θα επιβάλλει τις σωστές διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν κατά την παραλαβή των καυσίμων.

Οι δεξαμενές καυσίμων και λιπαντικών συνήθως βρίσκονται στο πρυμναίο τμήμα του πλοίου (σχ. 8.3α) κοντά στο μηχανοστάσιο και αναπτύσσονται στη δεξιά και στην αριστερή πλευρά του [σχ. 8.3β(α), (β)]. Χωρίζονται σε:

α) **Δεξαμενές βαρέων καυσίμων** (Heavy Fuel Oil tanks-HFO), που προορίζονται για την κύρια μηχανή, τις ηλεκτρομηχανές (ανάλογα με τον τύπο τους) και τους λέβητες ατμοπαραγωγής. Περαιτέρω χωρίζονται σε **δεξαμενές αποθηκεύσεως δεξιά και αριστερά 1 και 2** [Storage Tank Port και Starboard 1 και 2 (π.χ. HFO STOR.1P)], **δεξαμενές κατακαθίσεως 1 και 2** [Settling Tank 1 και 2 (π.χ. HFO Sett.1)], ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου, και σε **δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως 1 και 2** [Service Tank 1 και 2 (π.χ. HFO Serv. 1)].

β) **Δεξαμενές ντίζελ** (Diesel MDO ή MGO), το οποίο χρησιμοποιείται σε ηλεκτρομηχανές, μηχανήματα φορτοεκφορτώσεως, και σε οποιοδήποτε μηχανήμα εσωτερικής καύσεως απαιτείται καθαρό πετρέλαιο. Αυτές ανάλογα χωρίζονται σε **δεξαμενές αποθηκεύσεως** (MDO STOR) και **ημερήσιες καταναλώσεως** (Serv. Tk).

γ) **Δεξαμενές διαφόρων τύπων ελαίου**, που χρησιμοποιούνται στα μηχανήματα, όπως μηχανέλαιο, κυλινδρέλαιο, τουρμπινέλαιο κ.ά., στις οποίες εξωτερικά αναγράφεται ο τύπος του ελαίου (π.χ. για μηχανέλαιο Engine oil 300, Cylinder oil κ.λπ.).

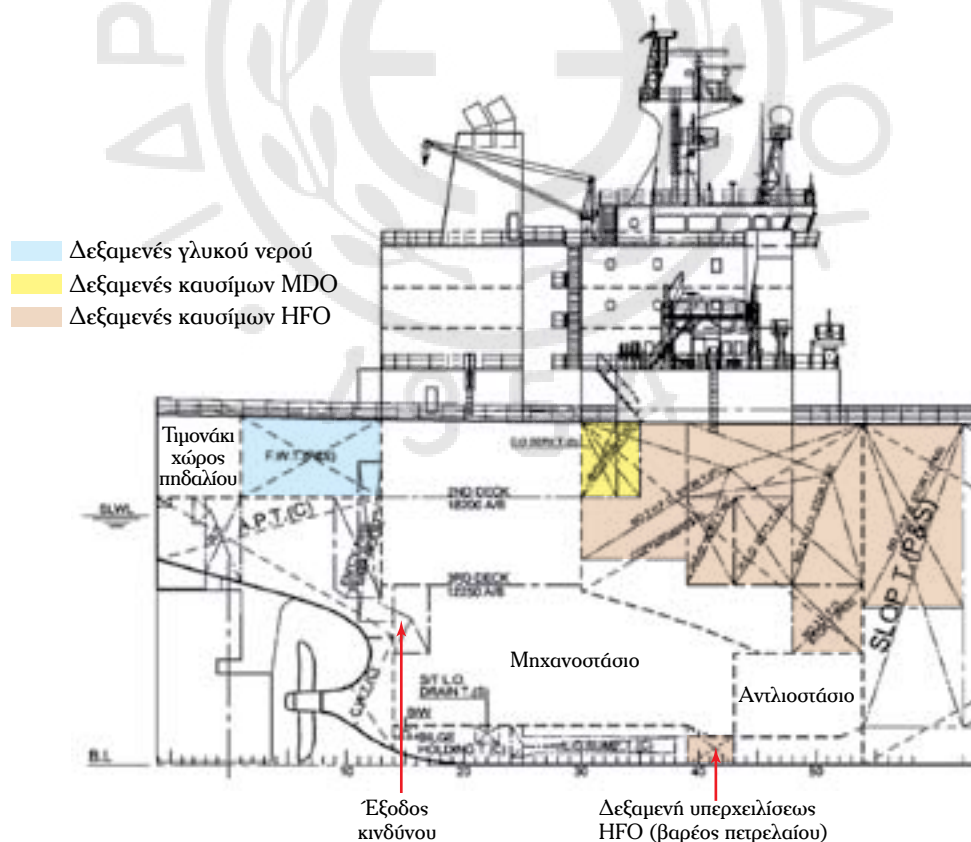
Οι διαδικασίες ανεφοδιασμού καυσίμων αναφέρονται λεπτομερώς σε μια φόρμα (ή πίνακα), η οποία περιέχεται στην εγκύκλιο που περιγράφει το σύστημα ασφαλούς διαχείρισης του πλοίου.

Οι ενέργειες που περιέχονται στη φόρμα αυτή, σε γενικές γραμμές, διέπονται διεθνώς από το εγχειρίδιο για την πρόληψη της ρυπάνσεως από πετρέλαιο του IMO στη MARPOL, Παραρτήματα VI, (IMO, MARPOL Annex VI), στη **Φόρμα (Έντυπο) Δεδομένων Ασφάλειας Υλικού** (Material Safety Data Sheet) για τα προϊόντα πετρελαίου στα πλοία και στην πιο πρόσφατη έκδοση του **Διεθνούς Οδηγού Ασφαλείας για τα Πετρελαιοφόρα και Τερματικά** (International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals-ISGOTT). Εκτός από τους κανονισμούς του IMO, πολλές χώρες ακόμη και επιμέρους λιμάνια, έχουν δικούς τους κανονισμούς, προκειμένου να καλύψουν τις ενέργειες ανεφοδιασμού των πλοίων με καύσιμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ευαισθητοποίηση για τις συνέπειες της ρυπάνσεως από πετρελαιοειδή και η προσπάθεια για βελτιστοποίηση των διαδικασιών ανεφοδιασμού καυσίμων και λιπαντικών έχει οδηγήσει πολλές ναυτιλιακές εταιρείες να αναπτύξουν για τα πλοία τους φόρμες με περισσότερους και αυστηρότερους ελέγχους.

Ο σκοπός αυτής της φόρμας είναι να συγκεντρω-

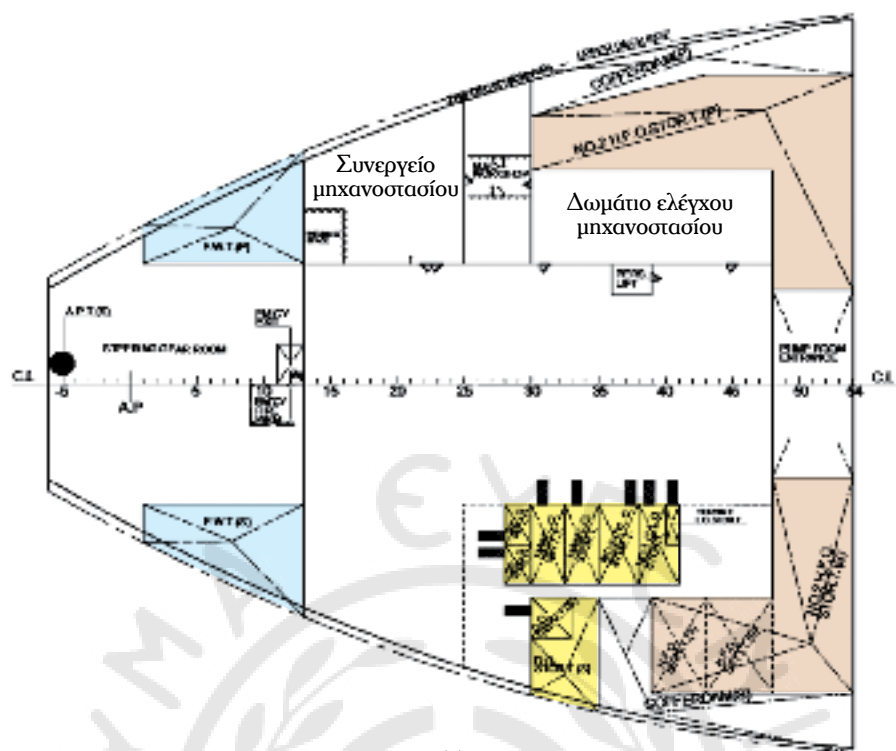
θούν οι βέλτιστες πρακτικές που πρέπει να ακολουθούνται, περιλαμβάνοντας μια σειρά οδηγιών σχετικά με τα στοιχεία που θα πρέπει να ελέγχονται και τις ενέργειες που πρέπει να επαληθεύονται στα διάφορα στάδια της παραλαβής των καυσίμων. Οι έλεγχοι αυτοί που περιγράφονται στη **Φόρμα (Έντυπο προγραμματισμού) Ανεφοδιασμού Καυσίμων (ή Φόρμα Πετρελεύσεως – Bunkering Plan)** πραγματοποιούνται άμεσα από το πλήρωμα του πλοίου, ενώ αποτελούν τον οδηγό που θα βοηθήσει τους διαχειριστές μιας ναυτιλιακής εταιρείας να δημιουργήσουν έναν δικό τους πίνακα κατά την επανεξέταση των οδηγιών που θα δώσουν για την ασφαλή διαχείριση των πλοίων τους.

Έτσι, χρησιμοποιώντας ένα σχέδιο ανεφοδιασμού καυσίμων, μέσω της φόρμας ανεφοδιασμού καυσίμων, δημιουργείται μια προκαθορισμένη τακτική ενεργειών, η οποία ως σκοπό έχει να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα παραβλέψεως σημαντικών ενεργειών που εξασφαλίζουν την ασφάλεια του πλοίου και ταυτόχρονα αποτρέπουν τους κινδύνους ρυπάνσεως του περιβάλλοντος.

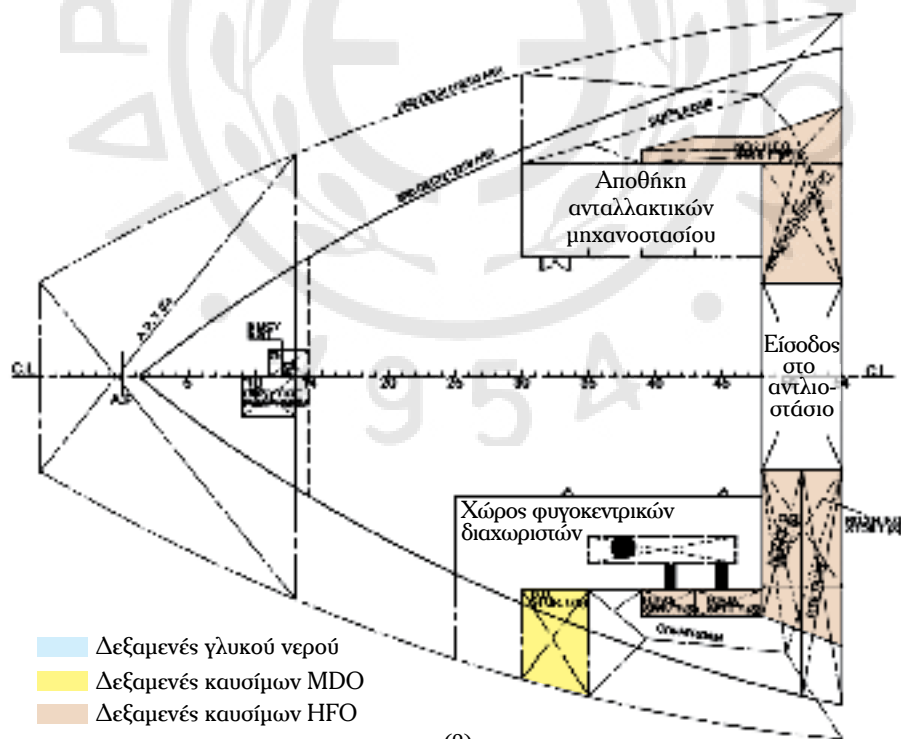


Σχ. 8.3α

Τυπική διάταξη δεξαμενών καυσίμων.



(α)



(β)

Σχ. 8.3β

(α) Κάτοψη διατάξεως δεξαμενών καυσίμων στον 2^ο όροφο του μηχανοστασίου (2nd Deck),

(β) Κάτοψη διατάξεως δεξαμενών καυσίμων στον 3^ο όροφο του μηχανοστασίου (3rd Deck).

Κατά τη διαδικασία του ανεφοδιασμού, μαζί με τον Α' Μηχανικό, ένας αξιωματικός μηχανής θα πρέπει πάντα να διορίζεται, ώστε να βοηθάει στον συντονισμό της παραλαβής των καυσίμων-λιπαντικών, και να προβλέπεται επίσης ότι το σχέδιο φορτώσεως και η φόρμα ανεφοδιασμού καυσίμων θα χρησιμοποιούνται από αυτόν.

Από τις κυριότερες προϋποθέσεις που θα πρέπει να εξασφαλιστούν είναι ότι όλα τα μέλη του πληρώματος, τα οποία συμμετέχουν στον ανεφοδιασμό, θα πρέπει να γνωρίζουν την ποσότητα που πρόκειται να παραληφθεί, να είναι ενημερωμένα για την διαδικασία της φορτώσεως και να είναι πλήρως εξοικειωμένα με τις διατάξεις ελέγχου στάθμης των δεξαμενών και τον ήχο από τα συστήματα συναγερμού που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της φορτώσεως. Επίσης, πρωταρχικής σημασίας είναι όλο το προσωπικό του πλοίου να γνωρίζει για τον ανεφοδιασμό των καυσίμων, έτσι ώστε να είναι σε ετοιμότητα και να αντεπεξέλθει, χωρίς καθυστέρηση, όταν ενεργοποιηθεί το σχέδιο εκτάκτου ανάγκης σε περίπτωση διαρροής. Επί πλέον, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η ίδια η εγκατάσταση ανεφοδιασμού, είτε είναι

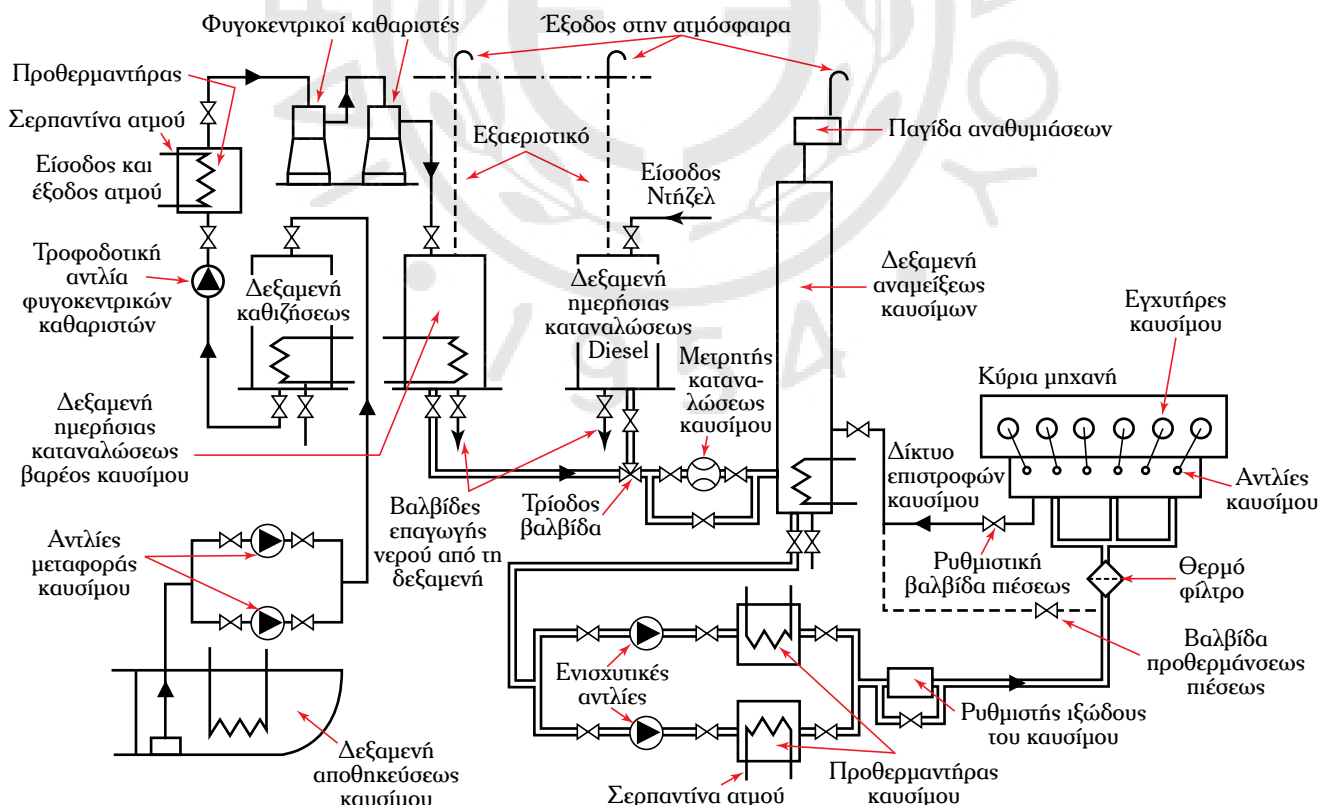
φορτηγίδα (barge) είτε **σταθμός ανεφοδιασμού** (terminal), μπορεί να αποτελέσει την πηγή της διαρροής. Γι' αυτό, το σχέδιο εκτάκτου ανάγκης των εγκαταστάσεων αυτών θα πρέπει να ελεγχθεί εκ των προτέρων.

Στο πλοίο πρέπει να είναι διαθέσιμα σαφή και λεπτομερή σχέδια του δικτύου ανεφοδιασμού καυσίμων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν από το πλήρωμα κατά τη διάρκεια της παραλαβής, ενώ συνιστάται ένα διάγραμμα του δικτύου αυτού να έχει αναρτηθεί σε κατάλληλη θέση, ώστε να αποτελέσει εύκολο σημείο αναφοράς, όποτε αυτό χρειαστεί. Η πρόσβαση στα εν λόγω σχέδια, εκτός από την υποβοήθηση που προσφέρουν στον συνήθη έλεγχο των σωλήνων και των εξαρτημάτων του δικτύου, μπορεί να αποδειχθεί ωφέλιμη σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης.

Στο σχήμα 8.3γ παρουσιάζεται η τυπική διάταξη των δεξαμενών καυσίμων που υπάρχουν στο πλοίο.

8.4 Ενέργειες πριν την παραλαβή καυσίμων.

Ο συντονιστής για τον ανεφοδιασμό, στο γραφείο διαχειρίσεως του πλοίου, πριν την παραγγελία καυσίμων θα πρέπει να έχει:



Σχ. 8.3γ

Τυπική διάταξη των δεξαμενών καυσίμων του δικτύου μεταγίσεως και επεξεργασίας.

α) Επιβεβαιώσει με το τεχνικό τμήμα της εταιρείας τις προδιαγραφές των καυσίμων για το συγκεκριμένο πλοίο.

β) Επαληθεύσει σε συνεννόηση με τους προμηθευτές (των οποίων εξετάζονται οι προσφορές), ότι είναι σε θέση να παραδώσουν την καθορισμένη ποιότητα και ποσότητα καυσίμων, μέσω ενός δελτίου παραδόσεως καυσίμων.

γ) Εξετάσει ότι ο Πλοίαρχος, κατόπιν συνεννοήσεως με τον επικεφαλής λειτουργικής διαχειρίσεως του γραφείου, έχουν εντοπίσει τον κατάλληλο λιμένα για τον προβλεπόμενο ανεφοδιασμό.

δ) Την επιβεβαίωση από τον προμηθευτή ότι τα καύσιμα που πρόκειται να παραδοθούν στο πλοίο είναι σύμφωνα με το πλήρες πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης ISO 8217¹ (International Organization for Standardization), όπως τροποποιήθηκε στην τελευταία έκδοση.

ε) Την επιβεβαίωση του προμηθευτή ότι τα καύσιμα δεν περιέχουν χημικά απόβλητα, απόβλητα ελαίων οποιουδήποτε είδους, νερό ή οποιεσδήποτε άλλες ουσίες, που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στο σκάφος, τις μηχανές ή να εγκυμονούν κινδύνους για το πλήρωμα.

στ) Την επιβεβαίωση του προμηθευτή καυσίμων ότι το δελτίο παραδόσεως των καυσίμων που θα εκδώσει θα είναι σύμφωνο με το έγγραφο V της MARPOL, Παράρτημα VI (Appendix V of MARPOL, Annex VI).

ζ) Την επιβεβαίωση του προμηθευτή καυσίμων ότι αποδέχεται την συλλογή δειγμάτων πετρελαίου με τη μέθοδο δειγματοληψίας με σταγόνες, καθώς επίσης ότι ο εκπρόσωπός του εξουσιοδοτείται να υπογράψει τα δείγματα που συλλέγονται και ότι αυτά αναγνωρίζονται ως δεσμευτικά αποδεικτικά στοιχεία σε περίπτωση που διαπιστωθεί διαφορά στην ποιότητα.

Μετά την ολοκλήρωση των ενεργειών αυτών, ο συντονιστής για τον ανεφοδιασμό στέλνει την εντολή στον προμηθευτή με μήνυμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email) ή τηλεομοιοτυπία (fax). Στη συνέχεια, μετά την επιβεβαίωση του προμηθευτή, ενημερώνει το πλοίο για την ποσότητα, τον χρόνο και τον τόπο παραδόσεως των καυσίμων. Όποτε κρίνεται απαραίτητο, για λόγους διευθετήσεως διαφορών που μπορεί να προκύψουν μεταξύ του προμηθευτή των καυσίμων και του πλοίου, είναι δυνατόν:

α) Να διοριστεί ανεξάρτητος **Επιθεωρητής για τον Ανεφοδιασμό** (Bunker Surveyor), που θα παρακολουθεί και θα επιβεβαιώσει την ποιότητα και την ποσότητα. Ο Πλοίαρχος και ο Α' Μηχανικός πρέπει να παρέχουν κάθε δυνατή βοήθεια στον επιθεωρητή. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι η παρουσία του στο πλοίο τους υποκαθιστά.

β) Να ζητηθεί από τον επικεφαλής λειτουργικής διαχειρίσεως του πλοίου να διορίσει υπηρεσιακό **Πλοίαρχο για τον Λιμένα** (Port Captain), ο οποίος θα παρακολουθήσει τον ανεφοδιασμό και θα επιβεβαιώσει τον έλεγχο της **ποσότητας καυσίμων που υπάρχουν στο πλοίο** (Remain On Board –ROB) με μετρήσεις που λαμβάνονται πριν και μετά τον ανεφοδιασμό. Σύμφωνα με αυτό, όλοι οι υπηρεσιακοί Πλοίαρχοι της εταιρείας θα πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με τις διαδικασίες ανεφοδιασμού.

Ο Α' Μηχανικός, ως υπεύθυνος για τον σωστό σχεδιασμό των ενεργειών για την παραλαβή των καυσίμων, ενημερώνει τον Πλοίαρχο για την ποσότητα των καυσίμων που διαθέτει το πλοίο και αυτή που χρειάζεται για το επόμενο ταξίδι. Μετά τις απαραίτητες ενέργειες από το γραφείο διαχειρίσεως του πλοίου για την παραγγελία των καυσίμων, προσδιορίζει ποιες δεξαμενές πρέπει να χρησιμοποιηθούν εξασφαλίζοντας, όσο είναι πρακτικά εφικτό, ότι αυτές θα είναι άδειες.

Η αποθήκευση των καυσίμων από τη νέα παραλαβή σε άδειες δεξαμενές, έχει ως σκοπό να αποφευχθεί η ανάμειξη με τα εναπομείναντα καύσιμα. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται ότι η επεξεργασία των καυσίμων πριν από την χρήση, ανταποκρίνεται στις διαφορετικές απαιτήσεις επεξεργασίας που προκύπτουν από τη διακύμανση των χαρακτηριστικών των καυσίμων. Γι' αυτό, οι μικρές ποσότητες από καύσιμα που έχουν απομείνει στις δεξαμενές του πλοίου πριν τον ανεφοδιασμό θα πρέπει να συγκεντρώνονται σε μία δεξαμενή. Αν όμως η ποσότητα είναι μεγαλύτερη, τότε θα πρέπει να πραγματοποιείται ο ανάλογος καταμερισμός της ποσότητας που έχει απομείνει στις διαθέσιμες δεξαμενές. Έτσι, πριν την άφιξη του πλοίου στο λιμάνι ανεφοδιασμού, επιτυγχάνεται η μείωση του αριθμού των δεξαμενών που έχει σχεδιασθεί να γεμίσουν με νέα καύσιμα, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και η ποσότητα των καυσίμων που θα αναμειχθούν.

Στη νέα ποσότητα των καυσίμων θα πρέπει να

¹ Οι προδιαγραφές των καυσίμων πλοίων στους Πίνακες 1 και 2 του Παραρτήματος είναι σύμφωνες με τα πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO). (Πηγή: Det Norske Veritas (DNV) 2013, ISO 8217 Fourth Edition 2010-06-15)

γίνει δειγματοληψία, σε φιάλες οι οποίες σφραγίζονται με μοναδικά αριθμημένα πώματα. Το δείγμα στη συνέχεια τοποθετείται σε ειδική συσκευασία και αποστέλλεται σε πιστοποιημένα εργαστήρια ελέγχου με τα οποία συνεργάζεται η πλοιοκλήτρια εταιρεία.

8.5 Αρμοδιότητες κατά τον ανεφοδιασμό καυσίμων.

Στα πλαίσια της προετοιμασίας για τον ανεφοδιασμό του πλοίου με καύσιμα, το Τμήμα Λειτουργικής Διαχειρίσεως της εταιρείας, σε συνεννόηση με τον Πλοίαρχο και τον Α' Μηχανικό, φροντίζει να προωθήσει το αίτημα ανεφοδιασμού προς τον επιλεγμένο προμηθευτή, σύμφωνα με τις σχετικές διαδικασίες. Πιο συγκεκριμένα, στο γραφείο διαχειρίσεως του πλοίου μετά την παραλαβή της αιτήσεως για ανεφοδιασμό καυσίμων, γίνεται έλεγχος και σύγκριση, με σκοπό να αξιολογηθούν οι ποσότητες καυσίμων που ζητούνται, σύμφωνα με την τελευταία έκθεση ταξιδιού. Στη συνέχεια, σε συνεργασία με τον υπεύθυνο Αρχιμηχανικό για το συγκεκριμένο πλοίο, γίνεται εκτίμηση της αιτήσεως ανεφοδιασμού με σκοπό τον εντοπισμό προσθέτων απαιτήσεων, καθώς και της ποσότητας καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, με τα οποία πρέπει να ανεφοδιαστεί το πλοίο. Στο τέλος, οι διαδικασίες από την πλευρά του γραφείου διαχειρίσεως ολοκληρώνονται με την οριστικοποίηση της θέσεως ανεφοδιασμού, του χρόνου της παραδόσεως, των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν και εάν ο ανεφοδιασμός θα γίνει από φορτηγίδα ή από σταθμό ξηράς, όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι. Ο Πλοίαρχος, λαμβάνοντας την ενημέρωση ανεφοδιασμού, την κοινοποιεί στον Α' Μηχανικό, ο οποίος φροντίζει για τις υπόλοιπες διαδικασίες ανεφοδιασμού. Αναλυτικότερα, οι αρμοδιότητες των μελών του πληρώματος σύμφωνα με τη θέση ευθύνης τους στο πλοίο είναι οι εξής:

α) Ο **Α' Μηχανικός**, ως κύριος υπεύθυνος για την ασφαλή και αποτελεσματική εκτέλεση όλων των δραστηριοτήτων και την ενημέρωση των εμπλεκόμενων σχετικά με τον ανεφοδιασμό του πλοίου με καύσιμα οφείλει να:

- Φροντίζει για τη μέτρηση όλων των δεξαμενών καυσίμων και να συμπληρώνει τη φόρμα υπολογισμού καυσίμων, ώστε να μπορεί να υπολογίσει την ποσότητα που παραλήφθηκε μετά την ολοκλήρωση του ανεφοδιασμού, όταν θα μετρηθούν εκ νέου οι δεξαμενές.
- Φροντίζει οι διαδικασίες ανεφοδιασμού να

πραγματοποιηθούν σύμφωνα με τις οδηγίες που αναγράφονται στη φόρμα **Προλήψεως Ρυπάνσεως από Ανεφοδιασμό Καυσίμων**.

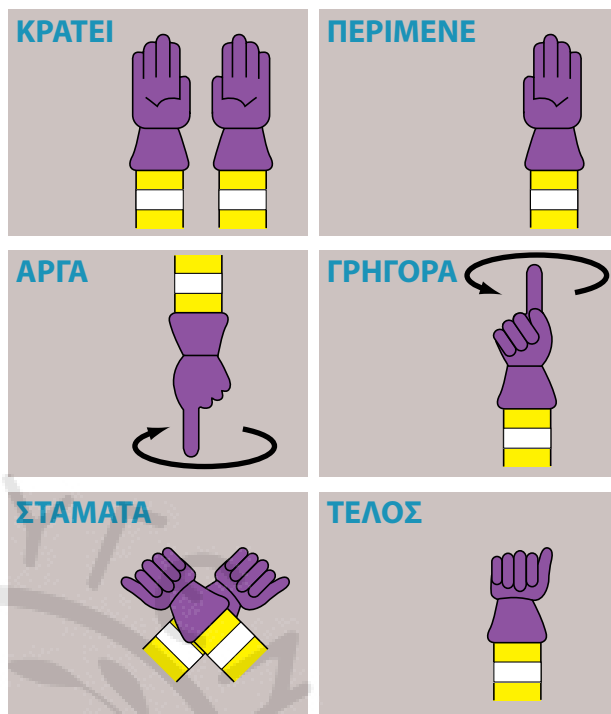
- Διασφαλίζει ότι οι γραπτές πάγιες εντολές για ανεφοδιασμό σε καύσιμα έχουν δημοσιευθεί στον σταθμό ανεφοδιασμού ή στο δωμάτιο ελέγχου του μηχανοστασίου στα αγγλικά. Αυτές αφορούν στο διάγραμμα του δικτύου, όπου συμπεριλαμβάνεται η θέση όλων των βαλβίδων και αντλιών, τα εξαρτιστικά των δεξαμενών και τα συστήματα υπερχειλίσεως, στον αριθμό των ατόμων που απαιτείται να είναι σε υπηρεσία, στον υπεύθυνο της διαδικασίας, στις διαδικασίες διακοπής ανεφοδιασμού σε έκτακτη ανάγκη, στις διαδικασίες πλήρωσεως των δεξαμενών, στις διαδικασίες κλεισίματος των βαλβίδων-επιστομιών, στη διαδικασία επικοινωνίας του πλοίου με τον σταθμό ανεφοδιασμού ξηράς ή τη φορτηγίδα, στην υπενθύμιση για τον έλεγχο της καταστάσεως των σωλήνων και στις διαδικασίες δειγματοληψίας κατά την παραλαβή πετρελαίου.
- Προσχεδιάζει και πληροφορεί τους υπεύθυνους αξιωματικούς που θα λάβουν μέρος στον ανεφοδιασμό για τη στάθμη που πρέπει να έχει κάθε δεξαμενή μετά το πέρας του ανεφοδιασμού (το μέγιστο όριο στάθμης μέσα στη δεξαμενή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 95% της χωρητικότητάς της).
- Συμφωνεί με τον εκπρόσωπο του προμηθευτή σχετικά με τη χρήση της ταινίας μετρήσεως, με την οποία θα πρέπει να πραγματοποιούνται οι έλεγχοι και από τα δύο μέρη.
- Διενεργεί έλεγχο στην ποσότητα των καυσίμων της φορτηγίδας πριν τον ανεφοδιασμό, προκειμένου να καθορίσει την ακριβή ποσότητα στο σκάφος, ελέγχοντας όλες τις δεξαμενές φορτίου (σύμφωνα με το επίσημο από τον κατασκευαστή βιβλίο περιεκτικότητας των δεξαμενών), καθώς και τους κενούς χώρους, τα στεγανά, τις δεξαμενές καυσίμων κ.λπ..
- Πληροφορεί τον προμηθευτή για την υπηρεσία που θα αναλύσει το αντιπροσωπευτικό δείγμα του καυσίμου και να τον καλεί να λάβουν μέρος σε κοινή δειγματοληψία.
- Συμπληρώνει τη φόρμα δειγματοληψίας, την οποία υποβάλλει για υπογραφή στον εκπρόσωπο του προμηθευτή. Σημαντική είναι η επιβεβαίωση της ταυτότητας του εκπροσώπου του προμηθευτή, το όνομα του οποίου πρέπει να είναι ευανάγνωστο.

- Σε περίπτωση που ο εκπρόσωπος των προμηθευτών αρνείται να βεβαιώσει τη δειγματοληψία, καταγράφεται το γεγονός στο ημερολόγιο και στις παρατηρήσεις της αποδείξεως παραλαβής καυσίμων.
- Εξασφαλίζει ότι οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία ανεφοδιασμού γνωρίζουν τα σήματα του Ναυτιλιακού Οδηγού Επικοινωνίας σύμφωνα με τις κινήσεις του χεριού (σχ. 8.5α).
- Προετοιμάζει τις φιάλες δειγματοληψίας, τις ετικέτες που θα κολληθούν σε αυτές, τα μοναδικά αριθμημένα πώματα και τα ειδικά κουτιά, στα οποία θα τοποθετηθούν για την αποστολή τους, ώστε να αποφεύγονται τυχόν καθυστερήσεις του πλοίου στην περίπτωση που ο απόπλους πραγματοποιηθεί αμέσως μετά την ολοκλήρωση του ανεφοδιασμού.
- Προετοιμάζει το συνοδευτικό δελτίο που θα σταλεί με το δείγμα του καυσίμου.

Σε πλοία στα οποία υπάρχουν διαθέσιμα **κιβώτια δοκιμής** (test kits) (σχ. 8.5β) της ποιότητας των καυσίμων, αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται από τον Α' ή τον Β' Μηχανικό, ώστε να ελεγχθεί το ιξώδες και η πυκνότητα σε ένα δείγμα από την ποσότητα του καυσίμου που παραλαμβάνεται. Εάν τα αποτελέσματα των δοκιμών δεν είναι ανάλογα με αυτά που αναφέρονται στην απόδειξη παραδόσεως, οι δοκιμές αυτές επαναλαμβάνονται. Εάν και μετά τη δεύτερη δοκιμή τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά, ο Α' Μηχανικός επικοινωνεί με τους διαχειριστές του πλοίου και μπορεί να αρνηθεί την παραλαβή τους, αν κρίνει ότι τα καύσιμα δεν είναι δυνατόν να υποστούν επεξεργασία με τα συστήματα που διαθέτει το πλοίο.

β) Ο **Β' Μηχανικός**, κατόπιν συνεννοήσεως με τον Α' Μηχανικό για την σειρά πλήρωσεως των δεξαμενών, ελέγχει τη στάθμη των καυσίμων κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού και βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τον σταθμό ανεφοδιασμού καυσίμων. Επίσης, ενημερώνει αμέσως το πλήρωμα της φορηγίδας ή τον υπεύθυνο για την παράδοση καυσίμων στον σταθμό ξηράς όταν πλησιάζει η πλήρωση των δεξαμενών, ώστε να είναι σε ετοιμότητα και να ρυθμίσουν ανάλογα τον ρυθμό παροχής.

γ) Ο **αξιωματικός φυλακής του μηχανοστασίου** πρέπει να είναι σε επαφή με τον Β' Μηχανικό μέσω προσυμφωνημένης συχνότητας σε συσκευή VHF, έτοιμος να εκτελέσει οποιαδήποτε εντολή σχετικά με τη λειτουργία του εξοπλισμού στο μηχανοστάσιο (π.χ. επιστόμια που θα χρησιμοποιηθούν, αντλίες κ.λπ.).



Σχ. 8.5α

Ναυτιλιακός Οδηγός Επικοινωνίας με σήματα, σύμφωνα με κινήσεις των χεριών.



Σχ. 8.5β

Κιβώτιο δοκιμής ποιότητας καυσίμων.

δ) Ο **αξιοματικός φυλακής κατασρώματος** είναι υπεύθυνος για την τήρηση των καθηκόντων που αφορούν στην ασφάλεια, όπως η θέση των μελών του πληρώματος στο κατάστρωμα, η επίβλεψη της συνδέσεως των σωλήνων και των μέσων ανυψώσεως που θα χρησιμοποιηθούν, η ασφαλής πρόσδεση της φορτηγίδας ανεφοδιασμού και τα μέσα ασφάλειας και προλήψεως της ρυπάνσεως που θα χρησιμοποιηθούν.

ε) Ο **καθαριστής του μηχανοστασίου** βοηθά τον Β' Μηχανικό ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν κατά τον ανεφοδιασμό και σύμφωνα με τις οδηγίες του.

στ) Ο **ναύτης της βάρδιας** βρίσκεται σε ετοιμότητα στο κατάστρωμα κοντά στην πολλαπλή σύνδεση των σωλήνων παραλαβής καυσίμων, προκειμένου να χρησιμοποιήσει απορροφητικό υλικό σε περίπτωση διαρροής του πετρελαίου.

Ένα πλαστικοποιημένο αντίγραφο των καθηκόντων αυτών θα πρέπει να είναι τοποθετημένο στο **δωμάτιο ελέγχου του μηχανοστασίου** (engine control room) και στο **δωμάτιο ελέγχου φορτίου** (cargo control room). Οι διαδικασίες αυτές ακολουθούνται είτε παραλαμβάνεται βαρύ πετρέλαιο (HFO), είτε ντήζελ (Oil MDO ή MGO), απ' το οποίο λαμβάνεται το αντίστοιχο δείγμα.

Η φόρμα ελέγχου και ενεργειών που συμπληρώνεται για τον ανεφοδιασμό καυσίμων είναι διαφορετική από εταιρεία σε εταιρεία, βασίζεται όμως στην ίδια φιλοσοφία που ως σκοπό έχει την ασφαλή διεξαγωγή του ανεφοδιασμού για το πλήρωμα, το πλοίο και το περιβάλλον. Στους πίνακες του Παραρτήματος Δ, Π.Δ.4, Π.Δ.5 και Π.Δ.6, παρουσιάζεται ενδεικτικά μια φόρμα σχεδιασμού ανεφοδιασμού με τα πεδία που συμπληρώνονται από τις μετρήσεις των δεξαμενών πριν και μετά τον ανεφοδιασμό και τα πεδία που υπογράφουν όλοι οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία. Στον πίνακα Π.Δ.7 του Παραρτήματος Δ, παρουσιάζεται μία φόρμα ελέγχου που αφορά σε ενέργειες και ελέγχους για την ασφαλή εξέλιξη του ανεφοδιασμού.

8.6 Πρόληψη διαρροής κατά τον ανεφοδιασμό.

Κατά τον ανεφοδιασμό καυσίμων, όπως ήδη προαναφέραμε, εγκυμονούν κίνδυνοι ρυπάνσεως του περιβάλλοντος. Γι' αυτό, η υπερχειλίση από μία δεξαμενή καυσίμων ή η διαρροή στο δίκτυο μεταφοράς του πετρελαίου κατά τον ανεφοδιασμό είναι το ίδιο ανεπιθύμητη όσο και από μια δεξαμενή φορτίου. Αν και οι ποσότητες που διακινούνται είναι σχετικά μικρές, αυτό δεν σημαίνει ότι τα μέτρα ασφαλείας

μπορεί να είναι περιορισμένα. Γι' αυτό, με σκοπό την πρόληψη της ρυπάνσεως και την ασφαλή διεξαγωγή των εργασιών, κάθε εταιρεία έχει αναπτύξει διαδικασίες και σχέδια έκτακτης ανάγκης, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν αυτοί οι κίνδυνοι. Επί πλέον, για την προετοιμασία του πληρώματος πρέπει να πραγματοποιείται **Ανάλυση Κινδύνων Εργασίας** (Job Hazard Analysis), που μπορεί να παρέχεται με τη μορφή πίνακα, πριν από τον ανεφοδιασμό.

Οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα για την πρόληψη διαρροής κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού είναι οι ακόλουθες:

α) Επιβεβαιώνεται εγγράφως, μεταξύ του πληρώματος του πλοίου και του προμηθευτή, η ποσότητα καυσίμων και ο ρυθμός παροχής κάθε είδους καυσίμου που θα μεταφερθεί στις δεξαμενές του πλοίου.

β) Ορίζεται το μέσο επικοινωνίας μεταξύ του πληρώματος του πλοίου και του προμηθευτή και ο τρόπος με τον οποίο θα διακοπεί η παροχή για την εξάλειψη διαρροών.

γ) Ορίζονται οι διαδικασίες διακοπής της πετρελεύσεως σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και τα στοιχεία (επιστόμια κ.λπ.), που θα κλείσουν για να διακοπεί η παροχή του καυσίμου από την πλευρά του προμηθευτή και από την πλευρά του πλοίου.

δ) Εξασφαλίζεται ότι οι σωλήνες βρίσκονται σε καλή κατάσταση, έχουν συνδεθεί σωστά και τα μέσα στηρίξεώς τους είναι ικανοποιητικά.

ε) Ελέγχεται ότι στους σωλήνες ανεφοδιασμού δεν υπάρχουν διαρροές.

στ) Εξασφαλίζεται ότι η πίεση στο δίκτυο ανεφοδιασμού ή στις δεξαμενές εκτονώνεται, είτε με επιβράδυνση του ρυθμού παροχής, είτε ανοίγοντας επιστόμια σε άλλες δεξαμενές, που πρόκειται να γεμίσουν με καύσιμα.

ζ) Ελέγχονται τα επιστόμια των δεξαμενών που θα γεμίσουν με καύσιμα, ώστε να είναι ανοικτά, ενώ τα επιστόμια των δεξαμενών που έχουν γεμίσει, πρέπει να είναι καλά κλεισμένα και η στάθμη σ' αυτά να μην μεταβάλλεται.

η) Το αιφνίδιο κλείσιμο των επιστομίων που οδηγούν στις δεξαμενές του πλοίου δεν επιτρέπεται κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού, εάν δεν ενημερωθεί πρώτα ο προμηθευτής.

θ) Προβλέπεται ότι, σε περίπτωση αλλαγής της δεξαμενής που τροφοδοτείται με καύσιμα, πρέπει πρώτα να εξασφαλιστεί ότι το επιστόμιο της επόμενης δεξαμενής είναι ανοικτό και υπάρχει ροή μέσα σε αυτήν και μετά να διακοπεί η παροχή στην προηγούμενη.

ι) Απορροφητικά υλικά όπως άμμος, πριονίδι, κ.λπ., να είναι εύκολα διαθέσιμα για να χρησιμοποιηθούν.

ια) Είναι απαραίτητη η επανάληψη της προειδοποίησης όταν πλησιάζει το πέρας του ανεφοδιασμού, ενώ το σήμα ολοκλήρωσης του ανεφοδιασμού θα πρέπει να δίνεται απ' το πλοίο.

ιβ) Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι μετά την πλήρωση των δεξαμενών θα υπάρχει αρκετός χώρος πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου, ώστε να αποτραπεί η υπερχειλίση από την αύξηση της στάθμης, λόγω της διακυμάνσεως στη θερμοκρασία του. Επίσης, στην τελευταία δεξαμενή που θα πληρωθεί με καύσιμο, ο ελεύθερος χώρος πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια θα πρέπει να είναι αρκετός, ώστε να εκτονώνεται η περίσσεια του αέρα που χρησιμοποιείται για την αποστράγγιση του δικτύου.

ιγ) Η διαδικασία του ανεφοδιασμού πρέπει να διακοπεί σε περίπτωση βροχής και ηλεκτρικά φορτισμένης ατμόσφαιρας.

ιδ) Οι κανονισμοί σχετικά με την είσοδο σε επικίνδυνες περιοχές πρέπει να τηρούνται αυστηρά.

ιε) Το κάπνισμα και η γυμνή φλόγα απαγορεύονται στην περιοχή του ανεφοδιασμού με καύσιμα.

ιστ) Τα στοιχεία φωτισμού (μπαλαντέζες με λάμπες) και οι φακοί που χρησιμοποιούνται στις θέσεις ανεφοδιασμού, πρέπει να είναι εγκεκριμένου τύπου και τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς ασφαλείας.

Για την άμεση αντιμετώπιση μιας διαρροής, είναι απαραίτητο στο πλοίο να υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα μέσα και απορροφητικά υλικά, που θα βοηθήσουν να αποτραπεί η εξάπλωση της ρυπάνσεως. Ο ελάχιστος εξοπλισμός, με τον οποίο πρέπει να είναι εφοδιασμένο το πλοίο σύμφωνα με τις διατάξεις του **Σχεδίου Εκτάκτου Ανάγκης για τη Ρύπανση από Πλοία** που ισχύει για επιβατηγά και φορτηγά πλοία SOPEP (Ship Oil Pollution Emergency Plan) αποτελείται από:

α) Απορροφητικά ρολά (absorbent rolls).

β) Απορροφητικά μαξιλαράκια (absorbent pads).

γ) Σακιά με απορροφητικούς κόκκους (άμμου) (absorbent granules).

δ) Σκούπες (brooms).

ε) Φτυάρια και φαράσια (shovels and scoops).

στ) Σφουγγαρίστρες (mops).

ζ) Κενά δοχεία (χωρητικότητας 200 l) (empty receptacles 200 liters capacity).

η) Φορητές αντλίες, που λειτουργούν με αέρα (portable air driven pumps).

θ) Πλωτά πετρελαιοφράγματα, ικανά να συγκρατήσουν μικρές ποσότητες διαρρέοντος πετρελαίου (oil boom for small spill containment) και

ι) ειδικά υγρά διασποράς πετρελαιοκλίδων (oil spill dispersants).

8.7 Ενέργειες μετά το πέρας του ανεφοδιασμού.

Με την ολοκλήρωση του ανεφοδιασμού με καύσιμα ο Α' Μηχανικός θα πρέπει να διασφαλίσει ότι έχουν ολοκληρωθεί οι ακόλουθες ενέργειες:

α) Οι σωλήνες έχουν αποστραγγιστεί πριν αποσυνδεθούν.

β) Τα επιστόμια του δικτύου ανεφοδιασμού είναι κλειστά.

γ) Οι σωλήνες έχουν σφραγιστεί με τυφλές φλάντζες (περιαυχένια χωρίς τρύπα που εφαρμόζονται στους σωλήνες με βίδες) πριν απομακρυνθούν.

δ) Η φιάλη δειγματοληψίας (cubitainer) έχει αποσυνδεθεί και προετοιμάζονται τα δείγματα (οι φιάλες πρέπει να γεμίζονται στο 90% με απόκλιση $\pm 5\%$).

ε) Έχουν ληφθεί μετρήσεις στις δεξαμενές της φορτηγίδας με τον ίδιο τρόπο που έγινε πριν τον ανεφοδιασμό.

στ) Έχουν γίνει οι υπολογισμοί του όγκου και του βάρους της ποσότητας του καυσίμου που έχει παραδοθεί, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά μεταξύ των μετρήσεων πριν και μετά τον ανεφοδιασμό, καθώς και τον αντίστοιχο συντελεστή διορθώσεως στους 15°C που θα χρησιμοποιηθεί (βλ. υποσημ. 2 και 3 σελ. 205. Με τις μετρήσεις που θα προκύψουν συμπληρώνεται ανάλογα η απόδειξη παραδόσεως καυσίμων (Bunkering Delivery Note – BDN).

ζ) Σε περίπτωση που βρεθεί διαφορά στην ποσότητα που παραλήφθηκε από τους υπολογισμούς του Α' Μηχανικού με την ποσότητα που αναγράφεται στην απόδειξη παραδόσεως καυσίμων, αυτή η διαφορά αναγράφεται στην απόδειξη παραδόσεως καυσίμων. Στη συνέχεια, ο Πλοίαρχος προβαίνει σε σύνταξη επιστολής διαμαρτυρίας και ενημερώνει το γραφείο λειτουργικής διαχείρισεως του πλοίου για περαιτέρω οδηγίες.

8.8 Απόδειξη παραδόσεως καυσίμων και ποσότητα που παραλήφθηκε.

Σύμφωνα με τη MARPOL 73/78, Παράρτημα VI, κανονισμός 18, μετά την ολοκλήρωση του ανεφοδια-

σμού, τα στοιχεία-χαρακτηριστικά των καυσίμων που παραδίδονται και χρησιμοποιούνται στο πλοίο πρέπει να καταγράφονται στο ημερολόγιο, σύμφωνα με τα στοιχεία που αναγράφονται στην απόδειξη παραδόσεως καυσίμων (Bunker Delivery Note – BDN). Η απόδειξη αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

α) Όνομα και αριθμό IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα.

β) Το λιμάνι ανεφοδιασμού, το όνομα και τον αριθμό IMO της φορτηγίδας που παραδίδει τα καύσιμα.

γ) Το όνομα, τη διεύθυνση και το τηλέφωνο του προμηθευτή.

δ) Την ονομασία των καυσίμων.

ε) Την ποσότητα που παραλήφθηκε σε μετρικούς τόνους.

στ) Την πυκνότητα/ειδικό βάρος των καυσίμων στους 15° C.

ζ) Την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο.

η) Συνοδευτικά, μία δήλωση υπογεγραμμένη και επικυρωμένη από τον εκπρόσωπο του προμηθευτή ότι τα καύσιμα είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς 14 και 18 του Παραρτήματος VI της Marpol.

Η απόδειξη παραδόσεως καυσίμων αποτελεί σημαντικό έγγραφο σε περίπτωση που διαπιστωθεί διαφορά στην ποιότητα ή στην ποσότητα του καυσίμου κατά τη χρήση του, στα μηχανήματα του πλοίου. Γι' αυτό ένα αντίγραφο μένει στο πλοίο, το οποίο θα πρέπει να διατηρηθεί τουλάχιστον για 3 χρόνια από την ημερομηνία ανεφοδιασμού, ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμο, αν ζητηθεί απ' τις αρχές στα λιμάνια που προσεγγίζει ή σε ελέγχους από επιθεωρητές. Ένα αντίγραφο αποστέλλεται στο γραφείο της εταιρείας και άλλο ένα αποτελεί το συνοδευτικό έγγραφο του δείγματος που αποστέλλεται στο εργαστήριο ελέγχου ποιότητας του καυσίμου.

Το δελτίο του προμηθευτή με τα χαρακτηριστικά ποιότητας του καυσίμου που παραλήφθηκε δεν αποτελεί αποδεικτικό της ποιότητας του καυσίμου και της μεθόδου επεξεργασίας, που θα πρέπει να ακολουθήσει το πλήρωμα πριν τη χρήση. Γι' αυτόν τον λόγο, επιβάλλεται τα νέα καύσιμα να μην χρησιμοποιηθούν (εάν αυτό δεν κρίνεται αναγκαίο) πριν την έκδοση των αποτελεσμάτων από το εργαστήριο ελέγ-

χου. Πρέπει να σημειωθεί ότι το δείγμα που παραμένει στο πλοίο θα πρέπει να διατηρείται για 12 μήνες, σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL. Αυτό είναι απαραίτητο, διότι αποτελεί αποδεικτικό στοιχείο της ποιότητας του καυσίμου που παραδόθηκε σε περίπτωση που προκληθεί βλάβη στα μηχανήματα του πλοίου, η οποία οφείλεται στην ποιότητα του καυσίμου. Μία φιάλη με δείγμα από την ίδια ποσότητα καυσίμου, σφραγισμένη με τα αριθμημένα πώματα και τις ανάλογες ετικέτες, είναι απαραίτητο να παραδοθεί και στον προμηθευτή.

Για να γίνουν οι υπολογισμοί στην ποσότητα των καυσίμων που παραλήφθηκαν, πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες οι οποίοι, αν παραβλεφθούν, θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα και θα οδηγήσουν σε λανθασμένες μετρήσεις. Αυτοί είναι η **πυκνότητα** του πετρελαίου που διατίθεται και ποικίλλει από τόπο σε τόπο, η **θερμοκρασία** στην οποία παραδίδεται και η **διαγωγή** του πλοίου μετά το πέρας του ανεφοδιασμού. **Κατά κανόνα, η πυκνότητα του πετρελαίου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του¹**, με αποτέλεσμα όταν παρέχεται σε υψηλότερη θερμοκρασία, ο όγκος του να είναι μικρότερος από τον όγκο που θα είχε αν παραδιδόταν σε μικρότερη θερμοκρασία. Γι' αυτό η θερμοκρασία, η πυκνότητα και η διαγωγή του πλοίου είναι παράγοντες που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, καθώς επηρεάζουν τις μετρήσεις της ποσότητας των καυσίμων που παραλαμβάνονται.

Η μέτρηση της ποσότητας που παραλήφθηκε στις διάφορες δεξαμενές του πλοίου καλό είναι να πραγματοποιείται τουλάχιστον μισή ώρα μετά την ολοκλήρωση του ανεφοδιασμού, διότι για την αποστράγγιση του δικτύου ανεφοδιασμού χρησιμοποιείται συμπιεσμένος αέρας και σε αυτό το χρονικό διάστημα ο αέρας θα έχει απομακρυνθεί από τη μάζα του ρευστού και δεν θα προκαλέσει λήψη λανθασμένων μετρήσεων. Πριν τον προσδιορισμό της ποσότητας καυσίμου, φρόνιμο είναι να μην σφραγιστεί με τη σφραγίδα του πλοίου και να μην υπογραφεί η απόδειξη παραδόσεως καυσίμων.

Η ποσότητα που υπολογίζεται ότι παραλήφθηκε από το πλοίο στη συνέχεια πρέπει να συγκριθεί με την ποσότητα που αναγράφεται στην απόδειξη παρα-

1. Για τα πετρελαϊκά του προϊόντα με θερμοκρασίες T_1 και T_2 όπου $T_1 > T_2$ ισχύει ότι η πυκνότητα $\rho_1 < \rho_2$. Για δεδομένη μάζα m ενός πετρελαϊκού προϊόντος $m = \rho_1 \cdot V_1$ εάν μειωθεί η θερμοκρασία, η μάζα $m = \rho_2 \cdot V_2$, ώστε $m = \rho_1 \cdot V_1$ και όταν μειωθεί η θερμοκρασία $n \cdot m = \rho_2 \cdot V_2$. Τότε για $\rho_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot V_1$, αν $T_1 > T_2$, όπου $\rho_1 < \rho_2$ τότε $V_1 > V_2$.

δόσεως καυσίμων, ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν τυχόν διαφορές. Ο υπολογισμός της ποσότητας δεν πρέπει να βασίζεται στις ενδείξεις που καταγράφονται στους ηλεκτρονικούς μετρητές του πλοίου, αλλά να πραγματοποιείται με τους τοπικούς μετρητές κάθε δεξαμενής που βρίσκονται στο κατάστρωμα. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιείται ειδική βαθμονομημένη ταινία βυθομετρήσεως (sounding tape) (σχ. 8.8α).

Η μέθοδος των μετρήσεων, η οποία ακολουθείται, εξαρτάται από το είδος του καυσίμου που περιέχει κάθε δεξαμενή. Για παράδειγμα, όταν πρόκειται για δεξαμενές που περιέχουν βαρύ πετρέλαιο (HFO), λόγω της χαμηλής του ρευστότητας που δημιουργεί επικαθήσεις στο τοίχωμα του μετρητή και έως ότου αποστραγγιστεί, θα οδηγήσει σε λανθασμένες μετρήσεις· με τη μέθοδο αυτή μετρείται το ύψος από το στόμιο του μετρητή στο κατάστρωμα μέχρι την **ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου μέσα στη δεξαμενή** (ullage) (σχ. 8.8β). Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του **Βιβλίου Πινάκων Βυθομετρήσεως των Δεξαμενών** (Bunker Tanks Sounding Table¹), υπολογίζεται η ποσότητα που περιέχεται σε κάθε δεξαμενή. Ανάλογα, για τα καύσιμα που παράγονται από απόσταξη υπάρχουν και οι αντίστοιχοι πίνακες των δεξαμενών, στις οποίες αποθηκεύονται. Για τα καύσιμα αυτά, όπως και για τα λιπαντικά, οι μετρήσεις των δεξαμενών λαμβάνονται με **βυθομέτρηση** (sounding) (σχ. 8.8β), διότι λόγω της μεγάλης ρευστότητας, αλλά και της διαύγειάς τους δεν δημιουργούνται επικαθήσεις στα τοιχώματα των μετρητών και άρα δεν λαμβάνονται λανθασμένες μετρήσεις λόγω ψευδούς ενδείξεως της στάθμης.

Από το περιεχόμενο κάθε δεξαμενής που μετρείται, μετά το πέρας του ανεφοδιασμού, αφαιρείται η ποσότητα που υπήρχε μέσα σε κάθε δεξαμενή πριν τον ανεφοδιασμό και έτσι προκύπτει η συνολική ποσότητα που έχει παραληφθεί για κάθε είδος καυσίμου.

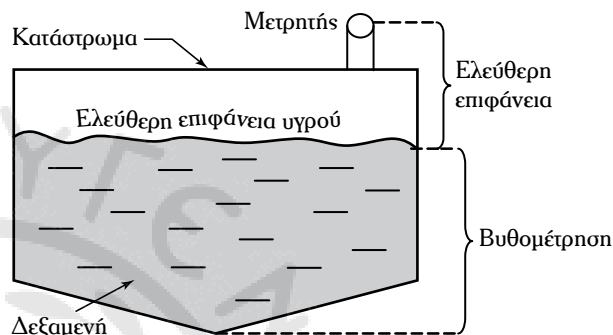
8.9 Υπολογισμός της ποσότητας καυσίμων.

Όπως αναφέρθηκε (παράγρ. 8.8), η θερμοκρασία των καυσίμων είναι πρωταρχικής σημασίας για τον



Σχ. 8.8α

Βαθμονομημένη ταινία μετρήσεως δεξαμενών.



Σχ. 8.8β

Υψη μετρήσεως από ελεύθερη επιφάνεια (**ullage**) και βυθομέτρηση (**sounding**).

υπολογισμό της ποσότητας καυσίμου που παραλαμβάνεται, διότι επηρεάζει την πυκνότητα του ρευστού, άρα και τον όγκο που καταλαμβάνει. Έτσι, εφόσον οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στον όγκο της δεξαμενής, οι μετρήσεις της ποσότητας του καυσίμου θα γίνονται σε κυβικά μέτρα (m^3). Όμως, η ποσότητα που αναγράφεται στην παραγγελία των καυσίμων και στην απόδειξη παραλαβής είναι σε μετρικούς τόνους (MT), με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητο τα κυβικά μέτρα που περιέχονται στις δεξαμενές να μετατραπούν σε μετρικούς τόνους.

Τα δεδομένα που απαιτούνται προκειμένου να πραγματοποιηθούν αυτοί οι υπολογισμοί είναι:

- Το αποτέλεσμα της βυθομετρήσεως της δεξαμενής.
- Η θερμοκρασία του πετρελαίου στις δεξαμενές, όπως αυτή αναγράφεται στα τοπικά θερμόμετρα.
- Η πυκνότητα του νέου καυσίμου στους 15 °C.
- Το βιβλίο της Αμερικανικής Εταιρείας Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and

¹ Το Βιβλίο Πινάκων Βυθομετρήσεως των Δεξαμενών (Bunker Tank's Sounding Table) είναι το βιβλίο που διατίθεται σε κάθε πλοίο και περιέχει πίνακες που έχουν βαθμονομηθεί, λαμβάνοντας υπόψη το σχήμα κάθε δεξαμενής και τη διαγωγή του πλοίου. Έτσι, μεταφέροντας τις μετρήσεις σε εκατοστά που λαμβάνονται από τη δεξαμενή και σύμφωνα με τη διαγωγή του πλοίου είτε μετρώντας το ύψος από την ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου μέσα στη δεξαμενή (ullage) είτε από τον πυθμένα της δεξαμενής (sounding), υπολογίζεται η ποσότητα καυσίμων που περιέχεται στη δεξαμενή σε κυβικά μέτρα.

Materials–ASTM¹), που περιέχει τους πίνακες 54B και 56, ώστε να εξακριβωθούν αντίστοιχα, ο **Συντελεστής Διορθώσεως του Όγκου** (Volume Correction Factor–VCF²) για να μετατραπούν τα κυβικά μέτρα σε χιλιόλιτρα και ο **Συντελεστής Διορθώσεως του Βάρους** (Weight Correction Factor–WCF³) για να μετατραπούν τα χιλιόλιτρα σε μετρικούς τόνους.

Στην περίπτωση των βαρέων καυσίμων η ακολουθία των ενεργειών για τον υπολογισμό της πραγματικής ποσότητας των καυσίμων, με τα οποία ανεφοδιάστηκε το πλοίο, χρησιμοποιώντας τους πίνακες της διορθώσεως είναι η εξής:

α) Μετρείται το ύψος μέσα στη δεξαμενή από την ελεύθερη επιφάνεια έως το στόμιο του μετρητή.

β) Το ύψος που μετρήθηκε σε εκατοστά, μεταφέρεται στον διορθωτικό πίνακα βαθμονόμησης των δεξαμενών, ώστε να βρεθεί ο καθαρός όγκος σε m³ (Gross Observed Volume–GOV⁴), που περιέχεται στη δεξαμενή.

γ) Από τον πίνακα 54B, σύμφωνα με την πυκνότητα του καυσίμου στους 15°C που δίνεται από τον προμηθευτή, επιλέγεται ο **Συντελεστής Διορθώσεως του Όγκου** (VCF) σύμφωνα με την θερμοκρασία που επικρατεί στην δεξαμενή. Για παράδειγμα, εάν η πυκνότητα στους 15°C του καυσίμου είναι 0,992, και η θερμοκρασία στη δεξαμενή είναι 33°C, σύμφωνα με τον πίνακα 54B (βλ. Παράρτημα Δ Πίνακας Π.Δ.8 σελ. 512) για 0,992 (ή 992,0) και θερμοκρασία 33°C ο Συντελεστής Διορθώσεως Όγκου (VCF) είναι 0,9877.

Τότε:

$$(GOV) \times (VCF) = (GSV) \quad (1)$$

όπου GSV⁵ (Gross Standard Volume) είναι ο μικτός όγκος που περιέχει η δεξαμενή.

δ) Από τον πίνακα 56, σύμφωνα με την πυκνότητα στους 15°C, ο **Συντελεστής Διορθώσεως Βάρους** (WCF) επιλέγεται σε συνθήκες κενού, π.χ. για 0,992 (πυκνότητα στους 15°C) το WCF (σε συνθήκες κενού) είναι 0,99895. Τότε:

$$GSV \times WCF \times (\text{πυκνότητα στους } 15^\circ\text{C}) = MT$$

δηλαδή η μάζα του καυσίμου που υπάρχει στη δεξαμενή σε μετρικούς τόνους (MT).

Άλλος ένας τύπος, που συνήθως χρησιμοποιείται για να μετατραπούν οι μετρήσεις σε MT λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές διορθώσεως της θερμοκρασίας και της πυκνότητας, είναι το γινόμενο της **Διορθωμένης Πυκνότητας σύμφωνα με τη Θερμοκρασία** (Temperature Corrected Density–TCD) του καυσίμου της δεξαμενής με τον **Πραγματικό Όγκο που Μετρήθηκε στη Δεξαμενή** (Actual Sounded Volume–ASV) και δίνεται ως:

$$MT = TCD \times ASV$$

Η TCD μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$TCD = (\text{Πυκνότητα του καυσίμου στους } 15^\circ\text{C}) \times [1 - \{(T - 15) \times 0,00064\}]$$

όπου: T, η θερμοκρασία του πετρελαίου στις δεξαμενές του πλοίου σε βαθμούς °C και 0,00064 ο συντελεστής διόρθωσης.

Ο ASV είναι ο όγκος του καυσίμου σε m³ και προκύπτει από τον πίνακα βυθομετρήσεως λαμβάνοντας υπόψη τη διαγωγή του πλοίου.

¹ Η ASTM είναι η Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and Materials–ASTM). Στο βιβλίο και στους πίνακες που αυτό περιέχει αναφέρονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές, ανάλογα με τον βαθμό και την ποιότητα, οι διάφοροι συντελεστές για τα προϊόντα πετρελαίου που προσδιορίζονται με τις μεθόδους δοκιμής ASTM.

² Ο Συντελεστής Διορθώσεως Όγκου (Volume Correction Factor–VCF) είναι η αριθμητική τιμή που καθορίζεται από εργαστηριακή ανάλυση και χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς της ποσότητας του πετρελαίου. Όταν ο συντελεστής πολλαπλασιαστεί με τον μικτό παρατηρούμενο όγκο, τα αποτελέσματα δίνουν τον όγκο του προϊόντος στη δεξαμενή υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας του (15°C ή 60°F).

³ Ο Συντελεστής Διορθώσεως Βάρους (Weight Correction Factor–WCF) είναι η αριθμητική τιμή που προσδιορίζεται με εργαστηριακή ανάλυση ή με τυποποιημένο αριθμητικό υπολογισμό, η οποία όταν πολλαπλασιαστεί με τον GOV δίνει τον μικτό όγκο του προϊόντος που περιέχει η δεξαμενή. Οι συντελεστές που ισχύουν για τους βαθμούς του API (σχετική πυκνότητα) είναι διαθέσιμοι σε πίνακες.

⁴ Ο Μικτός Παρατηρούμενος Όγκος (Gross Observed Volume–GOV) είναι ο συνολικός όγκος όλων των υγρών υδρογονανθράκων (πετρελαίου), των ιζημάτων και του νερού, που μετρείται στη θερμοκρασία και την πίεση την ώρα της μετρήσεως, με εξαίρεση το ελεύθερο νερό (δηλ. το νερό που υπάρχει σε ένα δοχείο και δεν είναι σε εναιώρημα στο περιεχόμενο υγρό π.χ. στο πετρέλαιο).

⁵ Μικτός Όγκος (Gross Standard Volume–GSV) είναι ο συνολικός όγκος όλων των υγρών υδρογονανθράκων, ιζημάτων και νερού, εκτός από το ελεύθερο νερό (νερό που περιέχεται στο φορτίο και δεν έχει κατασταλάξει), που διορθώνεται από τον κατάλληλο συντελεστή διορθώσεως του όγκου στην παρατηρούμενη θερμοκρασία, στον βαθμό API, στη σχετική πυκνότητα ή στην πυκνότητα σε μια σταθερή θερμοκρασία, όπως 60°F ή 15°C.

Σε περίπτωση που μέσα στη δεξαμενή υπάρχει ποσότητα με καύσιμα από προηγούμενο ανεφοδιασμό με διαφορετική πυκνότητα/ειδικό βάρος, αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη, ώστε να μην επηρεαστεί η ακρίβεια των υπολογισμών. Για παράδειγμα, εάν σε μία δεξαμενή η συνολική ποσότητα που μετρείται είναι 600 m^3 , από την οποία τα 250 m^3 είναι καύσιμα από προηγούμενο ανεφοδιασμό με πυκνότητα $0,9872 \text{ tons/m}^3$ και τα 350 m^3 είναι καύσιμα από τον νέο ανεφοδιασμό με πυκνότητα $0,9724 \text{ tons/m}^3$, τότε η πυκνότητα του μείγματος των δύο καυσίμων υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho = \frac{V_1 \cdot \rho_1}{V_{\text{ολ}}} + \frac{V_2 \cdot \rho_2}{V_{\text{ολ}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Πυκνότητα μείγματος δεξαμενής} &= \\ &= \left\{ \left(\frac{250 \times 0,9872}{600} \right) + \left(\frac{350 \times 0,9724}{600} \right) \right\} = \\ &= 0,4113 + 0,5672 = 0,9785 \text{ tons/m}^3 \end{aligned}$$

Έτσι, η νέα πυκνότητα $0,9785 \text{ tons/m}^3$ είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ποσότητας καυσίμου στη δεξαμενή.

Μετά τον έλεγχο της ποσότητας καυσίμου που έχει παραληφθεί, ολοκληρώνεται η προετοιμασία των δειγμάτων και τέλος σφραγίζεται με τη σφραγίδα του πλοίου και υπογράφεται από τον Α' Μηχανικό η απόδειξη παραδόσεως καυσίμων. Για τα ναυλωμένα πλοία, στα οποία τα καύσιμα πληρώνονται από τον ναυλωτή, ο Α' Μηχανικός υπογράφει την απόδειξη παραδόσεως για λογαριασμό του ναυλωτή (on behalf of Charterers Messes).

Για τη μέτρηση των δεξαμενών και τη λήψη του δείγματος απαραίτητα είναι τα εξής:

α) Σημειωματάριο για την καταγραφή των μετρήσεων.

β) Ταινία βυθομετρήσεως.

γ) Θερμόμετρο, εάν δεν υπάρχουν τοπικά.

δ) Μετρητής πυκνότητας του πετρελαίου (με κλίμακα από $0,750 - 1,000$).

ε) Ειδική αλοιφή για την ανίχνευση νερού στη δεξαμενή.

στ) Το βιβλίο της ASTM.

ζ) Φακός ασφαλείας.

η) Καθαρό δοχείο συλλογής δείγματος καυσίμου.

θ) Το κιβώτιο με τα έντυπα και τις φιάλες αποστολής δειγμάτων.

8.10 Διαδικασία δειγματοληψίας καυσίμων.

Επειδή το δείγμα από το καύσιμο που παραλαμβάνεται αποτελεί αποδεικτικό στοιχείο πληροφοριών για την ποιότητα του καυσίμου, είναι αναγκαίο η δειγματοληψία να πραγματοποιηθεί με επιμέλεια, ακολουθώντας κάποιες διαδικασίες. Οι διαδικασίες αυτές θα εξασφαλίσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων κατά την ανάλυση στο εργαστήριο ελέγχου. Αυτές οι διαδικασίες είναι οι ακόλουθες:

α) Η δειγματοληψία πρέπει να πραγματοποιείται από τον σωλήνα ανεφοδιασμού στο σημείο που βρίσκονται όλες οι συνδέσεις σωλήνων με την ξηρά στο κατάστρωμα του πλοίου (manifold). Η λήψη πραγματοποιείται με σταγόνες που λαμβάνονται από ειδικό περιαιχένιο εφαρμοζόμενο στο σημείο συνδέσεως των σωλήνων (σχ. 8.10α), σε όλη τη διάρκεια του ανεφοδιασμού.

β) Η δειγματοληψία ολοκληρώνεται με τον τερματισμό του ανεφοδιασμού, ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό ολόκληρης της ποσότητας του καυσίμου.

γ) Η εισαγωγή έστω και ελάχιστης ποσότητας ξένων υλών στο δείγμα του πετρελαίου θα επηρεάσει σοβαρά την ακρίβεια της αναλύσεως. Γι' αυτό θα πρέπει όλος ο εξοπλισμός για τη δειγματοληψία να καθαρίζεται πριν από τη χρήση και να αποφεύγεται η χρήση εργαλείων ή δοχείων από αλουμίνιο ή σκουριασμένο χάλυβα.

δ) Η συλλογή και ο χειρισμός των δειγμάτων θα πρέπει να πραγματοποιείται με καθαρά χέρια από εξουσιοδοτημένο πρόσωπο.

ε) Τα υφάσματα (πανιά) που χρησιμοποιούνται για τους καθαρισμούς των δοχείων και των εργαλείων θα πρέπει να είναι καθαρά και να μην αφήνουν ίνες ή χνούδι κατά τη χρήση τους.

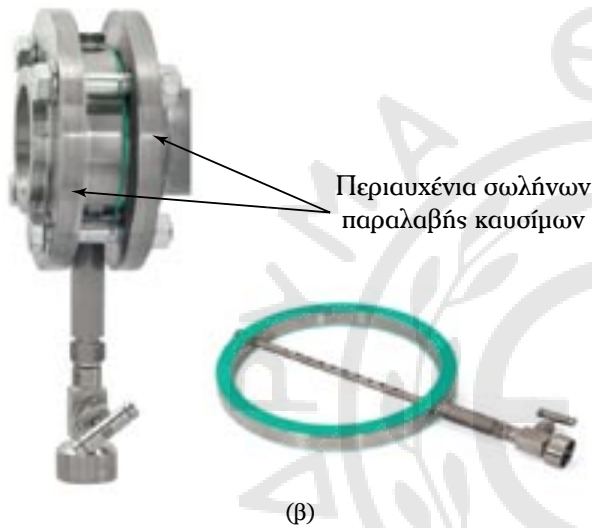
στ) Πρέπει να λαμβάνονται επαρκείς προφυλάξεις, ώστε το δείγμα να προστατευθεί από την ανάμειξη με βρωμιά, νερό της βροχής, αλάτι ή από άλλες ξένες ουσίες.

ζ) Οι σωλήνες του δικτύου ανεφοδιασμού θα πρέπει να αποστραγγίζονται το ταχύτερο δυνατό μετά την παραλαβή των καυσίμων, ώστε να αποφευχθεί η ανάμειξη με εναπομείναντα καύσιμα, που θα επηρέαζε την καθαρότητα των δειγμάτων σε μελλοντικό ανεφοδιασμό.

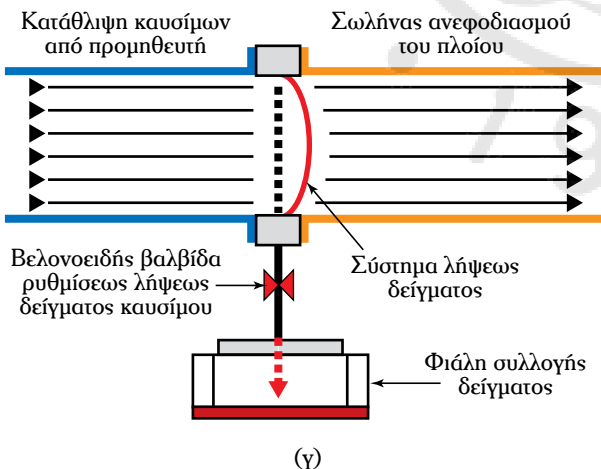
η) Η ποσότητα του δείγματος που συλλέγεται από κάθε είδος καυσίμου πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 lt , ώστε να είναι αρκετό κατά το γέμισμα των φιαλών του δείγματος.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 8.10α

(α) Φιάλες συλλογής και περιανυμένιο με διάτρητο σωλήνα δειγματοληψίας. (β) Σύστημα λήψεως σταγόνων δείγματος καυσίμου. (γ) Θέση εγκαταστάσεως συστήματος λήψεως δείγματος.

**Σχ. 8.10β**

Φιάλες δειγματοληψίας, κιβώτιο αποστολής και αριθμημένα πώματα με ασφάλειες.

θ) Οι φιάλες δειγματοληψίας (σχ. 8.10β) και η συσκευασία θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις της Διεθνούς Ενώσεως Αεροπορικών Μεταφορών (International Air Transportation Association-IATA) για τη μεταφορά των θαλασσίων δειγμάτων καυσίμων, που έχουν χαρακτηριστεί ως μη απαγορευμένα, εφόσον το σημείο αναφλέξεώς τους είναι πάνω από 60,5 °C.

ι) Τέλος από τα δείγματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μία φιάλη παραμένει στο πλοίο, μία παραδίδεται στον προμηθευτή και μία αποστέλλεται στο εργαστήριο ελέγχου, με το οποίο συνεργάζεται η εταιρεία.

8.11 Διαχείριση των καυσίμων επί του πλοίου.

Οι ενέργειες κατά τη μετάγχιση των καυσίμων στις διάφορες δεξαμενές του πλοίου ή κατά την επεξεργασία τους, πρέπει να γίνονται με προσοχή ακολουθώντας τους κανόνες ασφαλείας, διότι τα καύσιμα, όπως όλα τα πετρελαιοειδή, εγκυμονούν κινδύνους για το περιβάλλον.

Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευσή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα, διότι έχουν την τάση της διαστρωματώσεως, δηλαδή εφόσον αποτελούν προϊόντα αναμειγξής διαφόρων αποσταγμάτων, κατά την παραμονή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια δεξαμενή διαχωρίζονται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στη λειτουργία των μηχανημάτων όταν θα χρησιμοποιηθούν. Για την πρόληψη του φαινομένου της διαστρωματώσεως, τα καύσιμα που βρίσκονται σε δεξαμενή για μεγάλο χρονικό διάστημα πρέπει να αναμειγνύονται

με επανακυκλοφορία με τη βοήθεια της αντλίας μεταγγίσεως πετρελαίου (fuel oil transfer pump), που είναι εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο.

Όταν το πλοίο ταξιδεύει σε περιοχές με ψυχρό κλίμα, πρέπει να χρησιμοποιούνται τα στοιχεία **θερμάνσεως με ατμό** (heating coils) των δεξαμενών, προς αποφυγή της δημιουργίας κέρινων κρυστάλλων στη μάζα του ρευστού, αλλά και για να διατηρείται η ρευστότητα του καυσίμου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εύκολη μετάγγισή του στις **δεξαμενές καθιζήσεως** (settling tanks).

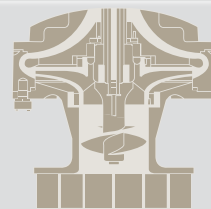
Τα καύσιμα που έχουν μεταφερθεί στις δεξαμενές καθιζήσεως και ημερήσιας καταναλώσεως πρέπει να θερμαίνονται, ώστε να επιτρέπεται η εύκολη άντλησή τους και η κυκλοφορία τους στο τροφοδοτικό δίκτυο των μηχανών. Η ελάχιστη θερμοκρασία, στην οποία πρέπει να διατηρούνται και να χρησιμοποιούνται, πρέπει να είναι σύμφωνη με τις οδηγίες που παρέχονται από τα αποτελέσματα της ανάλυσεως των δειγμάτων.

Πριν από την καύση στις μηχανές ή στους λέβητες, όλα τα καύσιμα πρέπει να διέρχονται από τα φίλτρα του δικτύου (ώστε να κατακρατούνται τυχόν ακαθαρσίες και στερεά) και να υπόκεινται στην απαιτούμενη επεξεργασία στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές του πλοίου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί, ώστε η αποδοτικότητα κατά τη λειτουργία αυτού του δικτύου να είναι η μέγιστη. Για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα, θα πρέπει το δίκτυο κατά

τη λειτουργία του να ελέγχεται συνεχώς και να διατηρούνται οι συνιστώμενες λειτουργικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία προθερμάνσεως του καυσίμου, ο ρυθμός ροής και το μέγεθος του δίσκου βαρύτητας του φυγοκεντρικού διαχωριστή.

Απαραίτητο είναι να πραγματοποιείται συχνά έλεγχος στις δεξαμενές καθιζήσεως και ημερήσιας καταναλώσεως, ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχει νερό ή λάσπη που πρέπει να απομακρυνθούν μέσω της βαλβίδας αποστραγγίσεως των δεξαμενών. Η συχνότητα των ελέγχων εξαρτάται από την ποιότητα των καυσίμων και την ταχύτητα συγκεντρώσεως του νερού, που διαπιστώνεται κατά τον έλεγχο της κάθε δεξαμενής καυσίμου από των εξυδατωτικό κρουνό, (ή τρεις φορές την ημέρα για ορισμένους τύπους πλοίων). Σε περίπτωση που βρεθεί υπερβολική ποσότητα νερού στις δεξαμενές, είναι απαραίτητο να ενημερωθεί ο Α' Μηχανικός, ώστε να διαπιστωθεί η αιτία και να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες. Οι ενέργειες αυτές περιλαμβάνουν τον έλεγχο των καυσίμων στις δεξαμενές αποθηκεύσεως και τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας του καυσίμου.

Σε περίπτωση που προκύψουν προβλήματα κατά την επεξεργασία των καυσίμων, όπως παρουσία υπερβολικής λάσπης, μείωση της αποδόσεως της μηχανής ή βλάβη, τα οποία οφείλονται στη χρήση των καυσίμων, πρέπει να ενημερωθεί άμεσα το τεχνικό τμήμα της εταιρείας.



9.1 Αργό ή ακατέργαστο πετρέλαιο.

Το **αργό** ή **ακατέργαστο** ή **ακάθαρτο πετρέλαιο** (grude oil), είναι ένα φυσικής παραγωγής ορυκτό υγρό προϊόν, παχύρρευστο, με ιδιαίτερη οσμή, μαύρου ή σκούρου καφέ χρώματος με κίτρινες ή πρασινωπές αποχρώσεις, το οποίο αποτελείται από ένα σύνθετο μείγμα υδρογονανθράκων διαφόρων μοριακών βαρών και άλλων υγρών οργανικών ενώσεων. Η μεταφορά του αργού πετρελαίου με πλοία μπορεί να πραγματοποιείται είτε από τον τόπο εξορύξεως του σε διυλιστήρια για την επεξεργασία του και την παραγωγή πετρελαϊκών προϊόντων, είτε για τη μεταφορά των προϊόντων του σε μεγάλες ποσότητες στις εγκαταστάσεις από τις οποίες στη συνέχεια γίνεται η διανομή προς τους καταναλωτές. Σήμερα τα προϊόντα αργού πετρελαίου αποτελούν τη σπουδαιότερη φυσική πηγή ενέργειας.

Η σύνθεση και η όψη του αργού πετρελαίου έχει γενικώς παρόμοια συστατικά και χαρακτηριστικά, με κάποιες μικρές διαφορές που εξαρτώνται από τον τόπο προελεύσεώς του ή το βάθος εξορύξεώς του. Τα στοιχεία απ' τα οποία αποτελείται είναι κυρίως υδρογονάνθρακες, με μοριακό βάρος που κυμαίνεται από το ελαφρύτερο μεθάνιο μέχρι τα βαριά στερεά μόρια αργού πετρελαίου, τα οποία έχουν 80 άτομα άνθρακα. Εκτός από υδρογονάνθρακες το φυσικό πετρέλαιο περιέχει χαμηλές συγκεντρώσεις θείου (0–5%), αζώτου (0–1%), οξυγόνου (0–2%) και μετάλλων (0–0,1%) κυρίως σιδήρου, νικελίου, χρωμίου και βαναδίου (πίν. 9.1). Μεταξύ των αερίων που εκλύονται από τις πετρελαιοπηγές, περιλαμβάνονται επίσης N_2 , CO_2 , H_2S και He σε σημαντικές ποσότητες.

Το αργό πετρέλαιο πριν φορτωθεί στα Δ/Ξ για να μεταφερθεί στα διυλιστήρια, υπόκειται σε μια μικρή

επεξεργασία, που αλλάζει μερικά από τα χαρακτηριστικά του, χωρίς όμως να αλλάζει τη γενική του ονομασία. Η επεξεργασία αυτή ως σκοπό έχει να τηρεί τις προδιαγραφές που αφορούν στην τάση ατμών, ώστε να είναι πλήρως σταθεροποιημένο¹ με τάση ατμών 1 atm στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια πρέπει να απομακρυνθούν τυχόν οξειδωτικές ουσίες, όπως θειούχα συστατικά, τα οποία προκαλούν διάβρωση στην κατασκευαστική δομή των πλοίων. Επίσης απομακρύνονται τοξικές ουσίες, κυρίως το H_2S , άλατα που προκαλούν προβλήματα, πτητικά συστατικά, τα οποία είναι εύφλεκτα, μεγάλο ποσοστό του νερού, που τυχόν περιέχει, και τέλος απομακρύνονται χώματα ή άλλες ακαθαρσίες, που δημιουργούν προβλήματα κατά τη διέλευση από δίκτυα και φίλτρα.

Πίνακας 9.1

Στοιχειακή ανάλυση του αργού πετρελαίου.

Στοιχεία	Περιεκτικότητα (% κατά βάρος)
Άνθρακας	83,90 – 86,80
Υδρογόνο	11,40 – 14,00
Θείο	0,06 – 8,00
Άζωτο	0,11 – 1,70
Οξυγόνο	0,50
Μέταλλα (Fe, V, Ni κ.λπ.)	0,03

9.2 Ταξινόμηση ακατέργαστου (αργού) πετρελαίου.

Το ακατέργαστο πετρέλαιο ταξινομείται είτε σύμφωνα με τον τύπο υδρογονανθράκων που περιέχει ή με την απόδοση σε επιμέρους κλασματικά² προϊόντα, είτε ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε θείο.

¹ Προκειμένου να μεταφερθεί το αργό πετρέλαιο, θα πρέπει να είναι πλήρως σταθεροποιημένο, ώστε να μην παρουσιάζεται απότομη πίεση στις δεξαμενές. Η επεξεργασία ονομάζεται **Διαδικασία Σταθεροποίησης** (Stabilization Process), ενώ όταν το φορτίο δεν έχει υποστεί αυτή τη διαδικασία ονομάζεται **Ασταθές Φορτίο** (Unstabilized Cargo).

² Κλάσμα είναι το συστατικό ενός μείγματος, το οποίο χαρακτηρίζεται από ορισμένες σταθερές ιδιότητες. Κλασματική απόσταση είναι η απόσταση που σπρίζεται στο διαφορετικό σημείο βρασμού των στοιχείων από τα οποία αποτελείται ένα μείγμα.

Αν και μάλλον δεν είναι απόλυτα συγκεκριμένες αυτές οι μέθοδοι ταξινομήσεως, είναι χρήσιμες κυρίως για την επιλογή των καταλλήλων ακατεργάστων πετρελαίων ή για τις απαιτήσεις που αναμένεται να πληρούν τα προϊόντα που πρόκειται να παραχθούν.

Τα ακατέργαστα πετρέλαια ταξινομούνται:

α) **Σύμφωνα με τους τύπους των υδρογονανθράκων** και περιλαμβάνουν:

- Τα **παραφινικής βάσεως**.
- Τα **ναφθενικής βάσεως**.
- Τα **μικτής βάσεως**.

β) **Σύμφωνα με την παραγωγή προϊόντων**. Η ταξινόμηση αυτή είναι βασισμένη στα ποσοστά των αποσταγμάτων και του υπολείμματος. Σε αυτήν την ποιοτική διάκριση λαμβάνεται υπόψη μεγάλη κλίμακα από ποικιλίες κλασματώσεως ακατέργαστου πετρελαίου, δηλαδή:

- Τα **ελαφρά ακατέργαστα πετρέλαια**, που είναι πλούσια σε βενζίνη, μέσα αποστάγματα και αέριο.
- Τα **βαριά ακατέργαστα πετρέλαια**, τα οποία περιέχουν σχετικά μικρά ποσά αποσταγμάτων αλλά υψηλά ποσοστά υπολείμματος.
- Τα **μέσα ακατέργαστα πετρέλαια**, που έχουν μια ισορροπημένη κατανομή κλασμάτων.

γ) **Ταξινόμηση σύμφωνα με τα θειούχα συστατικά του** και άλλα κλασματικά αποστάγματα, που έχουν προστεθεί ή αφαιρεθεί δημιουργώντας ένα πιο συγκεκριμένο είδος αργού πετρελαίου, που τα χαρακτηρίζει ως:

- **Όξινο αργό πετρέλαιο** (sour crude oil), που είναι το αργό πετρέλαιο το οποίο περιέχει υψηλό ποσοστό προσμείξεων σε θειούχα συστατικά (πάνω από 0,5% και χρειάζονται περισσότερη επεξεργασία). Μπορεί να είναι τοξικό και διαβρωτικό, ιδίως όταν περιέχει υψηλότερα επίπεδα υδρόθειου.
- **Γλυκό αργό πετρέλαιο** (sweet crude oil), που χαρακτηρίζει το αργό πετρέλαιο με περιεκτικότητα σε θείο λιγότερη από 0,42%.
- **Σταθεροποιημένο αργό πετρέλαιο** (stabilized crude oil), που είναι το αργό πετρέλαιο απ' το οποίο έχουν απομακρυνθεί πτητικά συστατικά.
- **Εμπλουτισμένο αργό πετρέλαιο** (spiked crude oil), που είναι το αργό πετρέλαιο, στο

οποίο έχουν προστεθεί ελαφρύτερα συστατικά, για παράδειγμα υδροποιημένο αέριο, με σκοπό να μειώσουν το ιξώδες του διευκολύνοντας τη ρευστότητά του και κατ' επέκταση τη μεταφορά και την εκφόρτωσή του.

– Χαρακτηριστικά τύπων αργού πετρελαίου.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των κυριοτέρων τύπων αργού πετρελαίου είναι:

α) Η **πυκνότητα** (density), που είναι η μάζα που αντιστοιχεί στη μονάδα όγκου του αργού πετρελαίου ($\rho = m/v$). Μετρείται σε χαμηλή θερμοκρασία και ανάγεται σε πρότυπη θερμοκρασία στους 15°C. Οι μονάδες μετρήσεως είναι gr/cm^3 , gr/ml , kg/lit με τυπικές τιμές μικρότερες απ' τη μονάδα (τυπικές τιμές $< 1 \text{ gr/cm}^3$).

β) Το **ειδικό βάρος** (specific gravity) ή **σχετική πυκνότητα**, είναι αδιάστατη μονάδα και ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας μίας ουσίας προς την πυκνότητα του νερού σε καθορισμένη θερμοκρασία ($SG = \rho_{\text{ρευστού}} / \rho_{\text{νερού}}$).

γ) Το **API-gravity** που αναφέρεται στο βάρος της μονάδας όγκου του υγρού στους 60°F (15,6°C) προς το αντίστοιχο του νερού στους 60°F. Τα περισσότερα αργά πετρέλαια βρίσκονται στην περιοχή 20–45°API.

δ) Το **χρώμα**, που εξαρτάται από το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχει και την περιεκτικότητα θειούχων και αζωτούχων ενώσεων.

ε) Το **κινηματικό ιξώδες** (kinematic viscosity), που είναι το μέτρο της αντιστάσεως στη ροή ενός ρευστού κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Μονάδα μετρήσεως είναι το **σεντιστόκς**¹ (centistokes, cSt) με τιμές από 4–15.000 cSt στους 37,8 °C.

στ) Η **τάση ατμών** (vapor pressure) ως ένδειξη της πτητικότητας του πετρελαίου και της περιεκτικότητας ελαφρών υδρογονανθράκων. Αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη μεταφορά καυσίμων και τον σχεδιασμό συστημάτων αποθηκείσεως.

ζ) Το **σημείο ροής** (pour point) από –35°C έως +70°C. Το σημείο ροής του αργού πετρελαίου σε °C ή °F (η θερμοκρασία κάτω από την οποία το αργό πετρέλαιο δεν θα ρέει, είναι σημαντική και καθορίζεται πάντοτε για τη μεταφορά), είναι μία ένδειξη της παραφινικότητας ή της αρωματικότητας του αργού πετρελαίου, ώστε όσο χαμηλότερο είναι το σημείο ροής, τόσο χαμηλότερη είναι η περιεκτικότητα

¹ Σεντιστόκς (Centistokes, cSt), όπου $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2 \times \text{s}^{-1} = 10^{-6} \text{ m}^2 \times \text{s}^{-1}$.

σε παραφίνες και μεγαλύτερη η περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

η) Η **περιεκτικότητα σε θείο S** (sulphur), που καθορίζει σε σημαντική έκταση την πολυπλοκότητα επεξεργασίας του στα διυλιστήρια. Τα ακατέργαστα πετρέλαια με 1,0 – 1,5 % κατά βάρος (κ.β.) θείο ταξινομούνται ως μέσου θείου, ενώ εκείνα που έχουν πάνω από 1,5 % κ.β. θείο ως ακατέργαστα πετρέλαια υψηλού θείου.

θ) Η **περιεκτικότητα σε μέταλλα** των αργών πετρελαίων, που μπορεί να κυμαίνεται από λίγα ppm (part per millions) έως πάνω από 1000 ppm. Παρά τις σχετικά χαμηλές τους συγκεντρώσεις έχουν μεγάλη σημασία, διότι ακόμη και πολύ μικρές ποσότητες από μερικά από αυτά τα μέταλλα, όπως νικέλιο, βανάδιο και χαλκός, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τη δραστηριότητα των καταλυτών και να οδηγήσουν σε κατανομή προϊόντων μικρότερης εμπορικής αξίας. Συγκέντρωση βαναδίου στο αργό πετρέλαιο πάνω από τα 2 ppm μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα διαβρώσεως σε περύγια στροβίλων και επικαθήσεις σε οχετούς καυσαερίων.

9.3 Προϊόντα αργού πετρελαίου.

Το αργό πετρέλαιο μετά τη μεταφορά του στα διυλιστήρια αποθηκεύεται σε δεξαμενές με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του και την παραγωγή χρησιμοποιήσιμων προϊόντων. Τα προϊόντα αυτά αποτελούν την πηγή ενέργειας για τη λειτουργία των μηχανημάτων σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Η παραγωγή των προϊόντων πραγματοποιείται με κλασματική απόσταξη, η οποία είναι η διαδικασία απομακρύνσεως και διαχωρισμού των κλασμάτων του αργού πετρελαίου με κριτήριο το σημείο βρασμού τους. Για τον διαχωρισμό των κλασμάτων αυτών χρησιμοποιείται η αποστακτική στήλη, η οποία είναι μία στήλη που έχει «εξόδους» σε διαφορετικά σημεία βρασμού. Τα πετρελαϊκά προϊόντα κάθε «εξόδου» υφίστανται σε περαιτέρω αποστάξεις, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητά τους.

Τα κύρια προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως του αργού πετρελαίου είναι:

α) Τα **αέρια πετρελαϊκά** προϊόντα, όπως προπάνιο, αιθάνιο, βουτάνιο, προπυλένιο, αιθυλένιο (αλκένια-ολεφίνες), κ.ά. που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και για οικιακές ανάγκες.

β) Τα **ελαφρά πετρελαϊκά** προϊόντα, όπως η βενζίνη που χρησιμοποιείται κυρίως στα αυτοκίνη-

τα, αιθέρες (ισοαλκάνια) κ.ά..

γ) Τα **μέσος αποστάξεως** πετρελαϊκά προϊόντα, όπως η νάφθα, η κηροζίνη, τα gas oils και ορισμένοι διαλύτες. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα καύσιμα αεροπλάνων, μηχανών ντήζελ και καύσιμα θερμάνσεως.

δ) Τα **βαριά πετρελαϊκά** προϊόντα όπως μαζούτ, HFO, Diesel oil, μερικοί ειδικοί διαλύτες, πισσάσφαλτος, κερί από διύλιση (παραφίνη) κ.ά.. Αυτά τα καύσιμα χρησιμοποιούνται για πλοία και βιομηχανίες, και τέλος

ε) τα **υπολείμματα** όπως η άσφαλτος και το κοκ πετρελαίου (αρωματικά, ασφαλτένια), που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία.

Για να μεταφερθούν με ασφάλεια τα πετρελαϊκά προϊόντα σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους απαιτείται και ιδιαίτερος χειρισμός. Γι' αυτό κατασκευάζονται ειδικά πλοία, ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις μεταφοράς και χειρισμού του κάθε φορτίου, με αποτέλεσμα να διακρίνονται σε πλοία για:

α) **Υγροποιημένα αέρια πετρελαίου** (Liquefied Petroleum Gases-LPGs), όπως το υγροποιημένο προπάνιο, το βουτάνιο και οι συνδυασμοί αυτών, που μεταφέρονται από τα **υγραεριοφόρα πλοία** (LPGCS).

β) **Καθαρά προϊόντα ή παράγωγα πετρελαίου** (clean petroleum products), που είναι τα διυλισμένα (ραφινάρισμα - refined) προϊόντα, π.χ. λευκά, white spirits, καθαρά, παράγωγα πετρελαίου, δηλαδή βενζίνες αυτοκινήτων, βενζίνες αεροπλάνων, κηροζίνη, νάφθα, διαλύτες κ.λπ., που μεταφέρονται με **Δ/Ξ παραγώγων πετρελαίου** (product tankers).

γ) **Λιπαντέλαια** (lubricants), που είναι πετροχημικά, όπως τα λιπαντικά που προορίζονται για μηχανές ντήζελ και για άλλες εφαρμογές π.χ. τα ναυτιλιακά λιπαντικά, τα λιπαντικά γραναζιών κ.λπ., τα οποία μεταφέρονται με ειδικά μικρής χωρητικότητας ή και μεγαλύτερα Δ/Ξ παραγώγων πετρελαίου.

δ) **Ακάθαρτα προϊόντα πετρελαίου** (dirty petroleum products), όπως Marine fuel oil, Residual Fuel oil και τα Marine Diesel oil, Gas oil κ.λπ., που μεταφέρονται με πλοία της κατηγορίας των Crude Tankers.

ε) **Παχύρρευστα προϊόντα πετρελαίου** (highly viscous oils petroleum products), όπως οι διάφορες πισσάσφαλοι (bitumens, asphalts), κερί κ.λπ., που μεταφέρονται με ειδικής κατηγορίας Δ/Ξ (Crude Tankers).

στ) **Χημικά προϊόντα πετρελαίου** (chemical petroleum products), όπως πετροχημικά (petrochemicals) ή προϊόντα χημικής επεξεργασίας πετρελαίου, π.χ. πολλά είδη οινοπνεύματος, καθαριστικά και ορισμένα διαλυτικά, που παράγονται κυρίως από συνδυασμούς αρωματικών υδρογονανθράκων και ολεφίνων. Αυτά μεταφέρονται σε μικρότερες ποσότητες με τα Δ/Ξ μεταφοράς χύδην χημικών προϊόντων (Chemical ή Parsel tankers).

Ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, τα προϊόντα πετρελαίου διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, ώστε είναι δύσκολο να τους δοθούν κάποια τυπικά χαρακτηριστικά, με τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες. Παρόλα αυτά μία γενική ταξινόμηση γίνεται ανάλογα με το σημείο αναφλέξεως σε κλειστό δοχείο (flash point close cup). Όταν χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο πετρελαϊκό προϊόν, για κάποια χαρακτηριστικά του δίνονται προδιαγραφές, οι οποίες, αν δεν τηρούνται, προκαλούν προβλήματα στις μηχανές και τα συστήματα επεξεργασίας τους στα πλοία.

Τα προϊόντα πετρελαίου που κατατάσσονται ανάλογα με το σημείο αναφλέξεως σε κλειστό δοχείο είναι τα εξής:

α) Τα **πετρελαϊκά προϊόντα Α κλάσεως** (Class-A Petroleum), που είναι υγρά καύσιμα, τα οποία έχουν σημείο αναφλέξεως κάτω από 23°C.

β) Τα **πετρελαϊκά προϊόντα Β κλάσεως** (Class-B Petroleum), που είναι υγρά καύσιμα, τα οποία έχουν σημείο αναφλέξεως από 23°C – 65°C.

γ) Τα **πετρελαϊκά προϊόντα Γ κλάσεως** (Class-C Petroleum), που είναι υγρά καύσιμα, τα οποία έχουν σημείο αναφλέξεως από 65°C – 93°C.

δ) Τα **εξαιρούμενα πετρελαϊκά** προϊόντα (Excluded Petroleum), που είναι τα υγρά καύσιμα, τα οποία έχουν σημείο αναφλέξεως από 93°C και πάνω.

Τα υγροποιημένα αέρια, συμπεριλαμβανομένου και του υγραερίου (LPG), δεν εμπίπτουν σε αυτήν την κατάταξη, αλλά αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία.

Οι **προδιαγραφές** που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των πετρελαϊκών προϊόντων και η επίδρασή τους αφορούν:

α) Στην πυκνότητα, που έχει σχέση με την επεξεργασία κατά τη φυγοκέντρωση και την οικονομία.

β) Στο ιξώδες με τη θέρμανση, το οποίο επηρεάζει γενικά τον χειρισμό του καυσίμου, την έγχυση και την καύση του.

γ) Στα ανθρακούχα υπολείμματα, που αφορούν στις επικαθίσεις.

δ) Στο νερό, στο βανάδιο, στο θείο και στο νάτριο, που σχετίζεται με τη διάβρωση.

ε) Στους μικροοργανισμούς, που σχετίζονται με το φράξιμο των φίλτρων.

στ) Στο νάτριο του θαλασσινού νερού, που περιέχουν τα ναυτιλιακά καύσιμα, το οποίο επίσης σχετίζεται με τη διάβρωση.

9.4 Έννοια των όρων σημείο αναφλέξεως και σημείο αυταναφλέξεως.

Το σημείο αναφλέξεως και η τάση ατμών των υγρών (που αποτελεί μέτρο της πτητικότητας μιας ουσίας) έχουν ιδιαίτερη σημασία στη διαχείριση των καυσίμων. Καύσιμα με μεγάλη πτητικότητα παράγουν ατμούς σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε περίπτωση διαρροής είναι πολύ εύκολο να αναφλεγούν. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η βενζίνη, η αιθυλική αλκοόλη, ο αιθέρας κ.ά.. Λιγότερο πτητική είναι η κηροζίνη και ακόμη πιο «ασφαλές» το πετρέλαιο και το μαζούτ, που αναφλέγεται δύσκολα λόγω της μικρής τάσεως των ατμών του.

Το **σημείο αναφλέξεως** (flash-point) αναφέρεται στα υγρά καύσιμα και αντιστοιχεί στην κατώτερη θερμοκρασία, στην οποία ένα υγρό αναδύει επαρκείς ατμούς, σχηματίζοντας το κατάλληλο μείγμα ατμών καυσίμου/αέρα, που με μία πηγή θερμότητας **αναφλέγεται**¹. Γενικά όσο μικρότερο είναι το σημείο αναφλέξεως, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος μιας πυρκαγιάς.

Το σημείο αναφλέξεως μπορεί να μετρηθεί με δύο μεθόδους ακολουθώντας μία θεσπισμένη διαδικασία. Η **πρώτη μέθοδος** χρησιμοποιεί ως συσκευή προσδιορισμού του σημείου αναφλέξεως ένα ανοικτό δοχείο για υποδοχή του δείγματος (μέθοδος ανοικτού δοχείου). Η **δεύτερη μέθοδος** χρησιμοποιεί ως συσκευή προσδιορισμού του σημείου αναφλέξεως ένα κλειστό δοχείο για υποδοχή του δείγματος (μέθοδος κλειστού δοχείου), το οποίο ανοίγεται μόνο για προσαγωγή της φλόγας. Μ' αυτές τις μεθόδους αντίστοιχα ορίζεται:

¹ Ανάφλεξη είναι η έναρξη του φαινομένου της καύσεως. Ανάλογα με τις συνθήκες και τη θερμότητα που θα αναπτυχθεί, μπορεί το φαινόμενο να οδηγήσει σε αυτοσυντηρούμενη καύση ή να σβήσει η φωτιά. Σημαντικός παράγοντας, επίσης, είναι η φυσική κατάσταση του καυσίμου, δηλαδή αν το καύσιμο βρίσκεται σε αέρια, υγρά ή στερεή μορφή.

α) Το **σημείο αναφλέξεως του υγρού σε ανοικτό δοχείο**, που είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, στην οποία η εφαρμογή μίας φλόγας προκαλεί στα αέρια του υγρού ανάφλεξη, όταν θερμαίνεται υπό καθορισμένες συνθήκες σε ανοικτό δοχείο.

β) Το **σημείο αναφλέξεως σε κλειστό δοχείο**, που είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, στην οποία η εφαρμογή μίας φλόγας προκαλεί στα αέρια που βρίσκονται πάνω από το υγρό ανάφλεξη, όταν το υγρό θερμαίνεται υπό καθορισμένες συνθήκες σε κλειστό δοχείο.

Λόγω των μεγαλύτερων απωλειών αερίου προς την ατμόσφαιρα στη μέθοδο με ανοικτό δοχείο, το σημείο αναφλέξεως του αργού πετρελαίου είναι πάντα λίγο υψηλότερο (περίπου 6°C) απ' το σημείο αναφλέξεως σε κλειστό δοχείο. Η περιορισμένη απώλεια αερίου στο κλειστό δοχείο οδηγεί επίσης σε πολύ πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα από τα αποτελέσματα της μεθόδου ανοικτού δοχείου, γι' αυτό η μέθοδος κλειστού δοχείου χρησιμοποιείται και από τον Κώδικα ISGOTT, όταν πρόκειται να εξετάσει την ταξινόμηση πετρελαϊκών προϊόντων. Ωστόσο, αποτελέσματα της μεθόδου ανοικτού δοχείου μπορεί να συναντώνται σε κανονισμούς, που διέπονται από διάφορες εθνικές νομοθεσίες, σε κανόνες νπογνωμών ή άλλα παρόμοια έγγραφα.

Ως **σημείο αυτανάφλεξης** (spontaneous ignition temperature) αναφέρεται η θερμοκρασία, στην οποία το μείγμα αέρα καυσίμου θα αναφλεγεί μόνο του, χωρίς την καταλυτική βοήθεια εξωτερικής πηγής αναφλέξεως π.χ. φλόγα ή σπίθα. Και σ' αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να τηρηθούν τα όρια αναμείξεως των ατμών του υγρού με τον αέρα, ώστε το μείγμα να είναι αναφλέξιμο. Επίσης, είναι γνωστό ότι συμπίεζοντας κάποιο αέριο αυξάνεται η θερμοκρασία του, άρα μπορεί να επιτευχθεί η αυτανάφλεξη ενός μείγματος αέρα-καυσίμου συμπίεζοντάς το έως την θερμοκρασία αυτανάφλεξής του. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα σοβαρό για την αποθήκευση και χρήση ευφλέκτων ουσιών. Όπως είναι φυσικό, αναλόγως των χαρακτηριστικών τους άλλα καύσιμα παρουσιάζουν σημείο αυτανάφλεξης σε μικρές πιέσεις (άρα και θερμοκρασίες) και άλλα σε υψηλές. Θα πρέπει να διευκρινιστεί τέλος ότι το σημείο αναφλέξεως είναι ανεξάρτητο απ' το σημείο αυτανάφλεξης.

9.5 Συνθήκες καύσεως.

Με τον όρο **καύση** ονομάζεται η **εξώθερμη αντίδραση**¹ μίας ουσίας με το οξυγόνο (O₂), που συνοδεύεται από εκπομπή φωτός και έκλυση (απελευθέρωση) θερμότητας. Σήμερα, είναι αποδεκτό ότι και άλλες χημικές ουσίες εκτός του O₂ μπορούν να προκαλέσουν διάφορες καύσεις, όπως το όζον (O₃), το φθόριο (F₂), το χλώριο (Cl₂) κ.ά.. Συνήθως όμως όταν αναφέρεται ο όρος **καύση**, χωρίς άλλη διευκρίνιση, εννοείται ότι πρόκειται για καύση με οξυγόνο ή με αέρα. Για να ξεκινήσει η καύση απαιτείται η ενεργοποίηση των αντιδρώντων σωμάτων (δηλ. της χημικής ουσίας ή καύσιμης ύλης και του οξυγόνου), με δημιουργία σπινθήρα ή με θέρμανσή τους σε υψηλή θερμοκρασία (παρά το ότι κάθε αντίδραση καύσεως είναι εξώθερμη και αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον). Μία καύση μπορεί να είναι τέλεια (πλήρης) ή ατελής.

Τέλεια ή πλήρης καύση είναι η καύση, η οποία γίνεται με περίσσεια οξυγόνου και δεν περισσεύει άκαυστη χημική ουσία. Η τέλεια καύση είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί και σχεδόν πάντα παραμένει άκαυστη έστω και ελάχιστη ποσότητα της χημικής ουσίας.

Ατελής καύση είναι η καύση που συνήθως πραγματοποιείται όταν η διαθέσιμη ποσότητα O₂ είναι μικρότερη απ' όση απαιτείται σύμφωνα με τη στοιχειομετρική εξίσωση² της χημικής αντιδράσεως που περιγράφει την τέλεια καύση. Είναι πιθανό, ωστόσο, ενώ υπάρχει διαθέσιμη αρκετή ποσότητα οξυγόνου, ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η καύση να είναι τέτοιος, που να μην χρησιμοποιείται τελικά ολόκληρη η ποσότητα του οξυγόνου. Τα προϊόντα της ατελούς καύσεως δεν είναι γενικά καθορισμένα, αλλά εξαρτώνται απ' την ουσία που καίγεται, τις επικρατούσες συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία κ.ά.) και τον χρόνο που διατέθηκε για την πραγματοποίηση της καύσεως.

Για πολλά χρόνια η έννοια της πυρκαγιάς συμβολιζόταν από το τρίγωνο της φωτιάς (σχ. 9.5α), του οποίου οι πλευρές αντιπροσώπευαν το καύσιμο, τη θερμότητα και το οξυγόνο. Στη θεωρία του τριγώνου της φωτιάς ο συνδυασμός των τριών συνθετικών στοιχείων ήταν αρκετός, ώστε να εμφανιστεί

¹ Εξώθερμη αντίδραση είναι η αντίδραση η οποία ελευθερώνει θερμότητα στο περιβάλλον κατά την πραγματοποίησή της.

² Στοιχειομετρική καύση ή θεωρητική είναι η ιδανική διαδικασία καύσεως, όπου το καύσιμο καίγεται πλήρως, η οποία μπορεί να εκφραστεί ως: [C + H (που αποτελούν το καύσιμο)] + [O₂ + N₂ (αέρας)] → (διαδικασία καύσεως) → [CO₂ + H₂O + N₂ (έκλυση θερμότητας)].

και να υποστηριχτεί μια φωτιά, ενώ στην περίπτωση που ένα από τα στοιχεία μπορούσε να περιοριστεί ή να εξαλειφθεί, είχε ως αποτέλεσμα το σβήσιμό της. Στη συνέχεια, περαιτέρω έρευνες σχετικά με τις πυρκαγιές προσδιόρισαν ότι ένα τέταρτο στοιχείο ήταν απαραίτητο για να υποστηριχτεί η φωτιά, το οποίο είναι η χημική αλυσιδωτή αντίδραση. Το αποτέλεσμα ήταν το τρίγωνο της φωτιάς σε μία πυρκαγιά να αλλάξει σε τετράεδρο (πυραμίδα), ώστε να αντικατοπτρίζεται και το τέταρτο στοιχείο.

Στην πυραμίδα του σχήματος 9.5β(α) και πιο αναλυτικά στο σχήμα 9.5β(β), η πλευρά ΑΒΓ αντιστοιχεί στην πηγή ενέργειας (θερμότητα), η πλευρά ΑΓΔ στην καύσιμη ύλη, η πλευρά ΑΒΔ στο οξυγόνο (που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα) και η πλευρά ΓΒΔ στην αλυσιδωτή αντίδραση. Η βάση της πυραμίδας, η οποία αντιπροσωπεύει την χημική αλυσιδωτή αντίδραση, προκύπτει όταν τα τρία άλλα στοιχεία, η πηγή ενέργειας (θερμότητα), το καύσιμο και το οξυγόνο υπάρχουν σε κατάλληλες αναλογίες, δημιουργώντας έναν συνδυασμό των σχηματικών παραστάσεων της φωτιάς. Απ' αυτόν τον συνδυασμό προκύπτει ένα επίπεδο σχήμα [σχ. 9.5β(γ)], το οποίο θυμίζει το πρώτο τρίγωνο της φωτιάς και επίσης ονομάζεται **τρίγωνο της φωτιάς**.

Τα τέσσερα στοιχεία συμμετέχουν ως εξής:

- α) Το οξυγόνο για να υποστηρίξει την καύση.
- β) Η επαρκής θερμότητα για να αυξηθεί η θερμοκρασία του υλικού σε θερμοκρασία αναφλέξεως.
- γ) Το καύσιμο ή εύφλεκτο υλικό για την τροφοδότηση της καύσεως και
- δ) μία εξώθερμη χημική αλυσιδωτή αντίδραση στο υλικό.

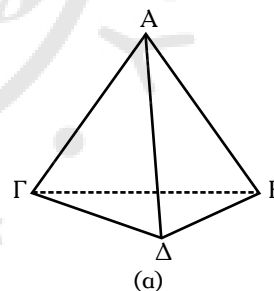
Στο νέο τρίγωνο, σχήμα 9.5β(γ), παρατηρούμε ότι όλα τα στοιχεία είναι ενωμένα μεταξύ τους και η πηγή ενέργειας από το αντίστοιχο τρίγωνο μεταφέρει τη θερμότητα στην καύσιμη ύλη και στο οξυγόνο (του ατμοσφαιρικού αέρα). Οι ατμοί/αέρια που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της καύσεως μεταφέρονται στη φλόγα, όπως και νέα ποσότητα οξυγόνου, ενώ η θερμότητα από τις φλόγες οδηγεί στην αλυσιδωτή αντίδραση, εφόσον εξακολουθούν να θερμαίνονται το καύσιμο και ο αέρας. Έτσι, η θερμότητα, το καύσιμο και το οξυγόνο αποτελούν τις τρεις πλευρές, στις οποίες στηρίζεται το σχήμα, και μαζί με τη χημική αλυσιδωτή αντίδραση αποτελούν τα τέσσερα βασικά στοιχεία που θα πρέπει να είναι παρόντα, προκειμένου να υποστηριχθεί η καύση. Αν οποιοδήποτε από αυτά εξαλειφθεί, η φωτιά θα σβήσει.

Οι αναλογίες κατ' όγκο αερίων από την εξάτμιση του καυσίμου και οξυγόνου για να υπάρξει καύση θα πρέπει να είναι αντίστοιχα, των αερίων καυσίμου 1–10%, ενώ του οξυγόνου 21%, που είναι η αναλογία στον ατμοσφαιρικό αέρα (πάνω από 16% είναι το ποσοστό σε οξυγόνο που υποστηρίζει καύση με ορατή φλόγα, ενώ όταν η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο είναι κάτω από 11% δεν μπορεί να υποστηριχτεί). Το μείγμα αυτό αν έλθει σε επαφή απ' ευθείας με το τρίτο συστατικό του τριγώνου της φωτιάς, δηλαδή την πηγή ενέργειας ή πηγή εναύσεως (π.χ. σπινθήρα) θα δημιουργηθεί φωτιά, η οποία θα συντηρείται με την αλυσιδωτή αντίδραση και την παρουσία των άλλων στοιχείων. Η καύση μπορεί να



Σχ. 9.5α

Το τρίγωνο της φωτιάς.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 9.5β

Τετράεδρο ή πυραμίδα πυρκαγιάς (α, β), και νέο τρίγωνο πυρκαγιάς με αλυσιδωτή αντίδραση (γ).

παρασταθεί και από την παρακάτω εξίσωση:

Αλυσιδωτή Αντίδραση $\leftarrow \rightarrow$ Καύσιμη ύλη + Πηγή ενέργειας (ή θερμότητα) + Οξυγόνο

Στα πλοία, σύμφωνα με τα στοιχεία που αποτελούν την πυραμίδα της φωτιάς [σχ. 9.5β(γ)], εξαλείφοντας με τα πυροσβεστικά μέσα ένα από τα μικρότερα τρίγωνα ή τα βέλη των πλευρών του μεγάλου τριγώνου ή τα βέλη προς τη φωτιά που τη συντηρούν, η πυρκαγιά θα σβήσει αμέσως. Ως εκ τούτου η φωτιά μπορεί να σβήσει, εάν επιτευχθεί έστω κι ένα από τα ακόλουθα:

α) Απενεργοποίηση του εφοδιασμού της φωτιάς με αέρια του καυσίμου, με την οποία καταργείται η πηγή καυσίμου.

β) Κάλυψη εντελώς της φλόγας ή κατάπνιξη της φωτιάς, π.χ. καλύπτοντας το καιγόμενο αντικείμενο με τον αφρό του πυροσβεστήρα ή CO_2 , εκτοπίζοντας τον διαθέσιμο οξειδωτή (το οξυγόνο του αέρα) από την περιοχή της φωτιάς.

γ) Παροχή (εφαρμογή) νερού, το οποίο απομακρύνει τη θερμότητα απ' τη φωτιά ταχύτερα απ' ό,τι η φωτιά μπορεί να την παράγει και

δ) εφαρμογή ενός χημικού επιβραδυντικού στη φωτιά, η οποία καθυστερεί την ίδια τη χημική αντίδραση, μέχρις ότου ο ρυθμός της καύσεως να είναι πολύ αργός, ώστε να διατηρηθεί η αλυσιδωτή αντίδραση.

Τα υγρά καύσιμα που μεταφέρονται από τα Δ/Ξ περιέχουν υδρογονάνθρακες, ώστε και οι ατμοί που αναδύονται κατά την εξάτμισή τους είναι επόμενο να περιέχουν αυτά τα στοιχεία. Όταν τα υγρά καύσιμα θερμαίνονται και ανέρχεται η θερμοκρασία τους, η ταχύτητα με την οποία κινούνται τα μόριά τους αυξάνεται. Με την ταχύτητα που αποκτούν, περνούν από την επιφάνεια του υγρού και μεταβαίνουν από την υγρή φάση, σε αέρια, με τη μορφή αναθυμιάσεων πετρελαίου, οπότε έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα της δεξαμενής, που περιέχει οξυγόνο και έτσι σχηματίζουν εύφλεκτο μείγμα. Γι' αυτό, σύμφωνα με τις συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς, θα πρέπει να ελεγχθούν οι συνθήκες που υπάρχουν σε μια δεξαμενή, ώστε πριν προλάβει να γίνει μια έκρηξη και να αναπτυχθεί μια πυρκαγιά, να εφαρμοστούν προληπτικές ενέργειες που θα αποτρέψουν την εκδήλωσή της. Ως μέσα ελέγχου χρησιμοποιούνται οι μετρητές οξυγόνου και ευφλέκτων αερίων (βλ. κεφ. 16 Φορτία Πετρελαιοειδών - Ασφάλεια), ενώ το μέσο προλήψεως που

εφαρμόζεται στα Δ/Ξ είναι η αδρανοποίηση της ατμόσφαιρας μέσα στη δεξαμενή με την παροχή του αδρανούς αερίου (Inert Gas). Αυτό παράγεται από το σύστημα αδρανούς αερίου (Inert Gas System), που διατίθεται στα πλοία (παράγρ. 9.15 Σύστημα Αδρανούς Αερίου).

Ειδικά για τα Δ/Ξ , επειδή εύφλεκτα αέρια επάνω από το φορτίο μιας δεξαμενής μπορεί να δημιουργούνται ακόμα και εάν το φορτίο διατηρείται σε θερμοκρασία κάτω από το σημείο αναφλέξεως, έχουν θεοπιστεί από την νομοθεσία των ΗΠΑ τιμές. Σύμφωνα μ' αυτές ένα φορτίο μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με την ικανότητα δημιουργίας ευφλέκτων αερίων στον κενό χώρο της δεξαμενής και ανάλογα ορίζονται και τα όρια ευφλεκτότητας. Οι τιμές αυτές μετρούνται από ειδικά βαθμονομημένα όργανα, τα **εκρηξιόμετρα** (explosionmeters). Τα όρια ευφλεκτότητας είναι αυτά που οριοθετούν την περιοχή, στην οποία ένα αέριο μείγμα περιέχει υδρογονάνθρακες και οξυγόνο σε τέτοια αναλογία, ώστε να έχει τη δυνατότητα αναφλέξεως και εκρήξεως, όταν υπάρξει η πηγή εναύσεως ή επαρκής ενέργεια. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνεται μεταξύ:

α) Του **κατώτερου Ορίου Ευφλεκτότητας** (Lower Flammable Limit–LFL) ή **Κατώτερου Ορίου Εκρηκτικότητας** (Lower Explosive Limit–LEL), που είναι η ελάχιστη περιεκτικότητα κατ' όγκο υδρογονανθράκων σε ατμοσφαιρικό αέρα, με την ικανότητα να παράγει στιγμιαία ανάφλεξη ή φωτιά παρουσία πηγής εναύσεως και

β) του **Ανώτερου Ορίου Ευφλεκτότητας** (Upper Flammable Limit – UFL) ή **Ανώτερου Ορίου Εκρηκτικότητας** (Upper Explosive Limit–UEL), που είναι η μέγιστη περιεκτικότητα κατ' όγκο υδρογονανθράκων σε ατμοσφαιρικό αέρα με ικανότητα να αναφλεγεί με την παρουσία πηγής εναύσεως. Τα όρια αυτά στα φορτία που μεταφέρονται από τα Δ/Ξ ορίζονται διεθνώς ως 1% κατ' όγκο το Κατώτερο Όριο Ευφλεκτότητας (LFL) και 10% κατ' όγκο το Ανώτερο Όριο Ευφλεκτότητας (UFL). Εάν το μείγμα υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα της δεξαμενής είναι μικρότερο του LFL ή έχει ποσοστό κάτω από 1% κατ' όγκο, ονομάζεται **πολύ φτωχό** ή **πολύ αδύναμο** (too poor ή too lean), ενώ εάν περιέχει υδρογονάνθρακες περισσότερους από το UFL ή πάνω από 10% κατ' όγκο, ονομάζεται **πολύ πλούσιο** (too rich), κάτι που σημαίνει ότι και στις δύο περιπτώσεις το μείγμα δεν αναφλέγεται.

9.6 Δεξαμενόπλοια.

Στην εποχή μας, ο χρόνος παραμονής ενός πλοίου στο λιμάνι είναι δαπανηρός, γι' αυτό ο στόχος της ελαχιστοποίησης του χρόνου εξαρτάται άμεσα από την δυνατότητα του πλοίου στην εκφόρτωση του μεταφερόμενου φορτίου. Η εκφόρτωση ενός Δ/Ξ θα πρέπει να πραγματοποιείται με ταχύ ρυθμό, ενώ ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται ο χειρισμός του φορτίου με ασφάλεια.

Από τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά κάθε Δ/Ξ πρέπει να διαθέτει τα απαραίτητα μέσα, ώστε η εκφόρτωση να πραγματοποιείται σε 24 ώρες. Ο χρόνος αυτός συνήθως αναγράφεται και στην **εγγύηση της αντλήσεως φορτίου** (cargo pumping warranty). Σ' αυτήν ο ιδιοκτήτης ή διαχειριστής του πλοίου εγγυάται ότι το πλοίο έχει τη δυνατότητα να ολοκληρώσει την εκφόρτωση του συνολικού φορτίου του μέσα σε 24 ώρες και η παροχή από τις αντλίες στον σωλήνα καταθλίψεως (manifold) απ' όπου το φορτίο εξέρχεται από το πλοίο, θα διατηρείται στην πίεση των 7 bar (ή μερικές φορές 100 lb/in²).

Βέβαια, το τελευταίο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος ή το μήκος του σωλήνα καταθλίψεως στην πλευρά της ξηράς, το ύψος των εγκαταστάσεων αποθηκεύσεως ή ενδεχομένως σε υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, οποιαδήποτε καθυστέρηση πέραν των 24 ωρών για τους προαναφερθέντες λόγους δεν βαρύνει την αντλητική δυνατότητα του πλοίου, αλλά τις εγκαταστάσεις ξηράς. Τότε, από τον Πλοίαρχο ακολουθούνται οι απαραίτητες διαδικασίες που ορίζονται όταν συμβαίνουν καθυστερήσεις και περιλαμβάνουν την **Επιστολή Διαμαρτυρίας** (Letter of Protest), την ενημέρωση των ναυλωτών κ.λπ..

Είναι προφανές έτσι, ότι οι αντλίες κάθε πλοίου θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες κατά τρόπο τέτοιο, ώστε η απόδοση και η παροχή τους να υπερκαλύπτει αυτήν που απαιτείται από την εγγύηση λειτουργίας τους. Μ' αυτόν τον τρόπο προλαμβάνεται η επιδείνωση της αντλητικής τους δυνατότητας είτε λόγω φθοράς είτε λόγω απροβλέπων συνθηκών, που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της εκφορτώσεως.

Στον σχεδιασμό ενός Δ/Ξ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι ιδιαιτερότητες του φορτίου, που προορίζεται να μεταφέρει. Έτσι, στον ταχύ ρυθμό ροής της εκφορτώσεως, εκτός από την παροχή των αντλιών, μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί και στον σχεδιασμό του δικτύου εκφορτώσεως με την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους σωληνώσεων.

Η ροή στο δίκτυο εκφορτώσεως ενός Δ/Ξ επιτυγχάνεται μέσω μεγάλου αριθμού επιστομίων. Αυτές ελέγχονται από υδραυλικό κύκλωμα που ο χειρισμός του πραγματοποιείται από τον **θάλαμο ελέγχου φορτίου** (cargo control room), επιτυγχάνοντας την εκφόρτωση με διάφορους συνδυασμούς επιστομίων και δικτύων. Το υδραυλικό κύκλωμα ελέγχου πρέπει να ανταποκρίνεται με ταχύτητα και ακρίβεια στον έλεγχο των βαλβίδων, παρέχοντας την απαιτούμενη ασφάλεια σε περίπτωση διαρροής, καλύπτοντας και την αποφυγή του κινδύνου πυρκαγιάς.

9.7 Χαρακτηριστικά δεξαμενοπλοίων.

Το κύριο στοιχείο στην κατασκευή των Δ/Ξ μεταφοράς μεγάλης ποσότητας αργού πετρελαίου ή προϊόντων διυλίσεως, όπως πετρέλαιο ντίζελ, κηροζίνη, βενζίνη ή λιπαντικά έλαια, που επίσης μεταφέρονται σε μεγάλες ποσότητες, είναι οι δεξαμενές στις οποίες χωρίζεται το πλοίο (σχ. 9.7α).

Ο διαχωρισμός του χώρου φορτίου του πλοίου γενικά πραγματοποιείται σε δύο ή τρία τμήματα από **διαμήκεις φρακτές** (bulkheads) και σε ξεχωριστές δεξαμενές με **εγκάρσιες φρακτές** (transverse bulkheads). Περαιτέρω διαχωρισμός του κύτους πραγματοποιείται ανάλογα με το έτος κατασκευής του πλοίου και τον τύπο, σε δεξαμενές φορτίου με **ενδιάμεσες διαχωριστικές δεξαμενές έρματος** (segregated ballast tanks) για παλαιότερου τύπου πλοία και σε **διπλού κύτους ή διπλού τοιχώματος** (double hull) για νεότερης κατασκευής πλοία.

Το μέγιστο μήκος μίας δεξαμενής φορτίου δεν μπορεί να ξεπερνά το 20% του μήκους του πλοίου. Για την εσωτερική ενίσχυση σε μεγάλο μήκος δεξαμενές πρέπει να υπάρχουν επί πλέον διαφράγματα, όταν για παράδειγμα αυτές υπερβαίνουν το 10% του μήκους του πλοίου ή τα 15 m.

Τα Δ/Ξ γενικά έχουν στεγανούς χώρους ασφαλείας πλώρα και πρύμα των δεξαμενών φορτίου, ενώ μεταξύ των δεξαμενών φορτίου υπάρχουν επίσης οι **στεγανοί χώροι ασφαλείας** (cofferdams), παρέχοντας προστασία σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως πυρκαγιά ή πρόσκρουση.

Η αρίθμηση των δεξαμενών συνήθως ξεκινάει από την πλώρη (εμπρός) προς την πρύμη (πίσω) και για κάθε δεξαμενή μπορεί να υπάρχει η αριστερή, η κεντρική και η δεξιά. Το **αντλιοστάσιο** (pump room) βρίσκεται στο πρυμναίο τμήμα των δεξαμενών, ώστε να πραγματοποιείται με ευκολία ο έλεγχος και η σύνδεση των αντλιών από το μηχανοστάσιο. Κατά την



Σχ. 9.7α

Τομή στον χώρο των δεξαμενών δεξαμενοπλοίου.

εκφόρτωση, οι αγωγοί από κάθε δεξαμενή μεταφέρουν το φορτίο μέσω των αντλιών στα κιβώτια χειρισμού των επιστομιών (manifolds), που βρίσκονται στο μέσο περίπου του πλοίου, δεξιά και αριστερά του καταστρώματος, και συνδέονται οι εύκαμπτοι αγωγοί του φορτίου προς την ξηρά.

Η διαχείριση του φορτίου με το σύστημα των αγωγών που χρησιμοποιούνται σ' ένα Δ/Ξ προσφέρει μεγάλη ευελιξία, διότι είναι δυνατόν όταν μεταφέρονται διαφορετικά είδη φορτίων οι δεξαμενές να είναι τελείως απομονωμένες μεταξύ τους κατά τη φόρτωση, τη μεταφορά και έως την τελική εκφόρτωση. Σε μερικά πλοία, για την άντληση μικρής ποσότητας φορτίου που δεν μπορεί να αντληθεί από τις κύριες γραμμές αναρροφήσεως των δεξαμενών, χρησιμοποιείται μια μικρή ανεξάρτητη γραμμή εκφορτώσεως.

Τα κύρια συστήματα αγωγών διαχείρισεως φορτίου είναι τρία και η χρήση του κάθε ενός απαιτεί διαφορετική μέθοδο χειρισμού. Τα συστήματα αυτά είναι:

α) Το **σύστημα δακτυλίου**, όταν οι σωλήνες που αποτελούν τον κύριο αγωγό σχηματίζουν έναν κλειστό δακτύλιο. Η σύνδεση στον κύριο αγωγό από κάθε δεξαμενή γίνεται με ξεχωριστό σωλήνα αναρροφήσεως, ενώ ο έλεγχος της ροής από το δίκτυο επιτυγχάνεται με βαλβίδα τύπου θυρίδας ή σύρτη (gate valve). Ανοίγοντας την κατάλληλη βαλβίδα κάθε δεξαμενής με τη σειρά που επιλέγεται, συνδέεται αντίστοιχα με

τον κύριο αγωγό και την αντλία του φορτίου. Κατά τη φόρτωση οι αντλίες εκφορτώσεως παρακάμπτονται και ο αγωγός γίνεται η γραμμή φορτώσεως. Το φορτίο που διέρχεται από τον αγωγό οδηγείται λόγω βαρύτητας σε κάθε δεξαμενή, ανοίγοντας το αντίστοιχο επιστόμιο.

β) Το **άμεσο σύστημα**, όταν χωρίζονται οι δεξαμενές σε τρεις ή περισσότερες ομάδες από αντίστοιχα τρεις ή περισσότερους κύριους αγωγούς. Από κάθε κύριο αγωγό αναπτύσσεται δίκτυο που συνδέεται σε αντίστοιχες δεξαμενές, ενώ σε κάθε έναν αγωγό αντιστοιχεί και μία αντλία. Με κατάλληλες συνδέσεις και βαλβίδες τύπου θυρίδων οι κύριοι αγωγοί συγκοινωνούν μεταξύ τους, ώστε με κατάλληλους χειρισμούς κάθε τμήμα του δικτύου να μπορεί να απομονωθεί από την αντλία και να συνδεθεί με άλλη αντλία, επιτυγχάνοντας την εκκένωση όλων των δεξαμενών με όλες τις αντλίες. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα μία αντλία, η οποία έχει ολοκληρώσει την εκκένωση των δεξαμενών που της αντιστοιχούν, να χρησιμοποιηθεί για την εκκένωση άλλων δεξαμενών.

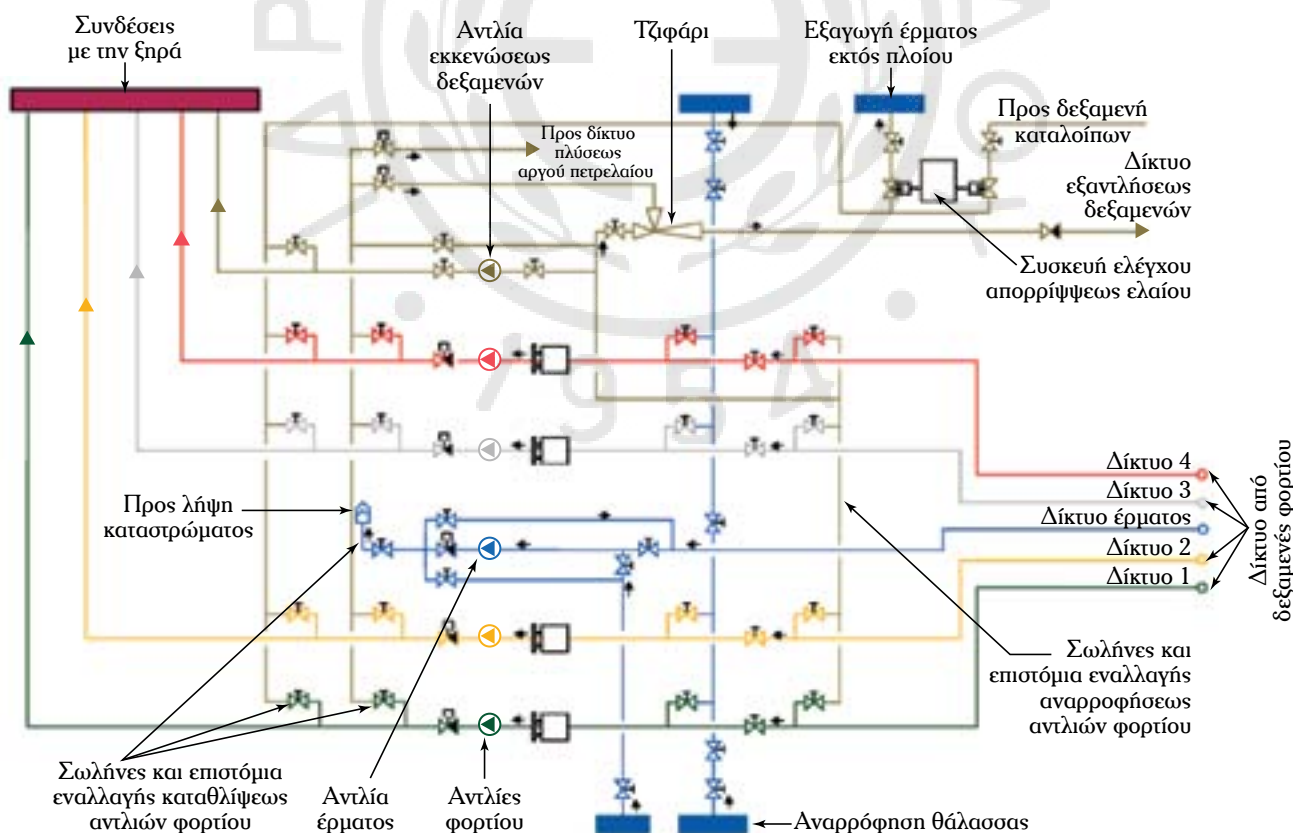
γ) Το **σύστημα ελεύθερης ροής** (λόγω της ιδιομορφίας του δεν συναντάται συχνά). Σε αυτό αποφεύγεται η χρήση εκτεταμένου δικτύου αγωγών, έχει όμως το μειονέκτημα ότι η εκκένωση των δεξαμενών πρέπει να γίνει ταυτόχρονα ή σε μια σταθερή ακολουθία. Το σύστημα αυτό είναι κατάλληλο

για μεγάλα πετρελαιοφόρα μεταφορές ακάθαρτου πετρελαίου, αλλά όχι για τη μεταφορά φορτίων διαφορετικού είδους ή ποιότητας. Το φορτίο φτάνει μέσω των βαλβίδων (επιστομιών) που βρίσκονται στα εγκάρσια διαφράγματα μεταξύ των δεξαμενών, στην πρυμναία δεξαμενή, στην οποία συνδέεται η αντλία μέσω του αγωγού αναρροφήσεως. Κάποιες φορές συνδυάζεται η ελεύθερη ροή με το σύστημα άμεσης αναρροφήσεως, ώστε το άμεσο σύστημα να χρησιμοποιείται για την εκκένωση των πλευρικών δεξαμενών και το σύστημα ελεύθερης ροής για τις κεντρικές δεξαμενές.

Ο χειρισμός από το δωμάτιο ελέγχου, λόγω του μεγάλου αριθμού βαλβίδων, πρέπει να πραγματοποιείται με μια λογική σειρά. Αυτό, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας υδραυλικό και πνευματικό σύστημα χειρισμού των βαλβίδων, κάτι που διευκολύνει, τους χειρισμούς από απόσταση, ώστε από το δωμάτιο ελέγχου του φορτίου και με την υποστήριξη ηλεκτρονικών υπολογιστών να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για τη φόρτωση ή την επί πλέον εκφόρτωση του πλοίου. Τα υδραυλικά και τα πνευματικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα, κυρίως

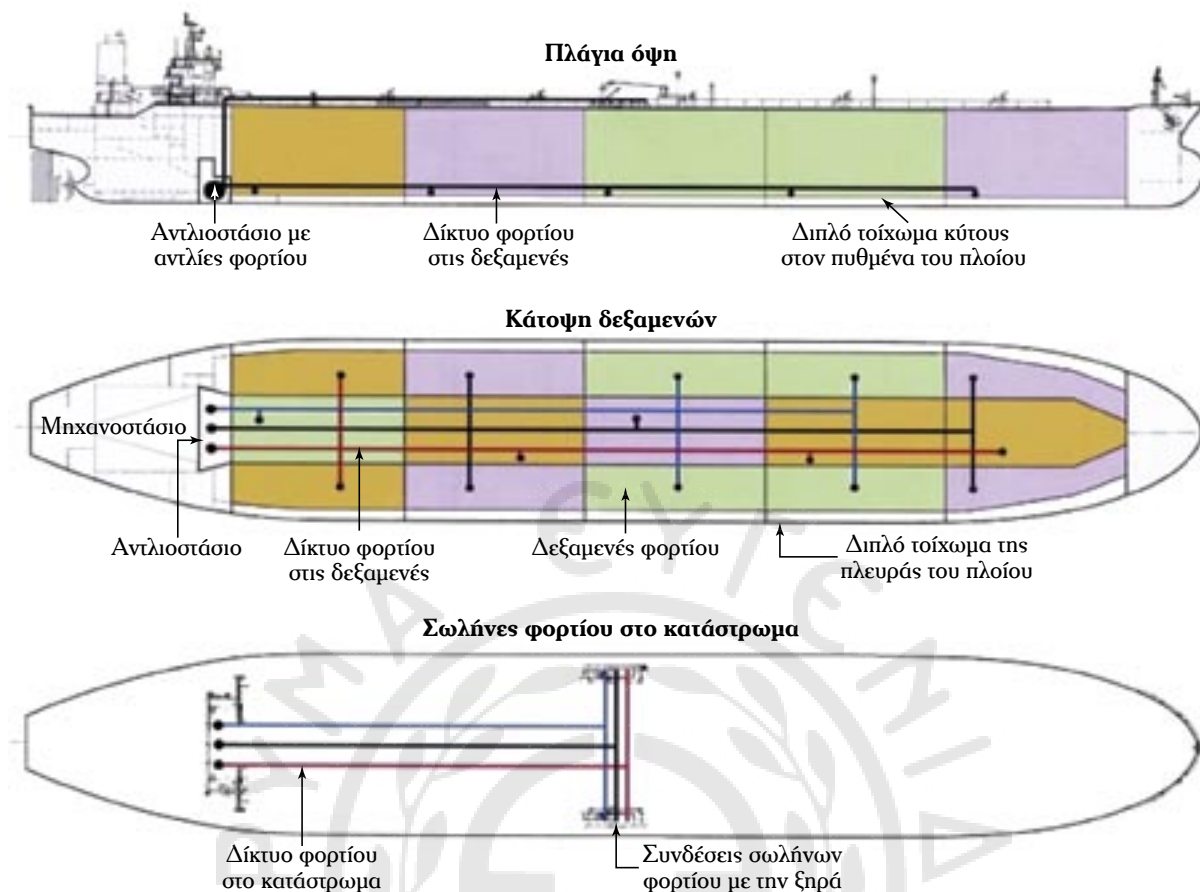
στα Δ/Ξ , παρέχουν ασφάλεια κατά τον χειρισμό του φορτίου, αποκλείοντας τους κινδύνους εκρήξεων και πυρκαγιάς του εύφλεκτου φορτίου. Σε παλαιότερες κατασκευές ή σε περιπτώσεις που για τον έλεγχο του συστήματος χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά κυκλώματα, πρέπει αυτά να είναι εγκεκριμένα από τους νηογνώμονες και η τάση λειτουργίας τους να είναι πολύ χαμηλή, αποκλείοντας τη δημιουργία σπινθήρα, ικανού να προκαλέσει έκρηξη και πυρκαγιά. Για την αύξηση της αξιοπιστίας και την προστασία από εσφαλμένους χειρισμούς, η λειτουργία κάποιων βαλβίδων είναι αλληλπένδετη με άλλες, παρέχοντας επί πλέον ασφάλεια.

Με την ολοκλήρωση της εκκενώσεως κάθε δεξαμενής με την αντλία, το ίζημα του φορτίου και η λάσπη που κατακάθονται στον πυθμένα απομακρύνονται με πλύση με αργό πετρέλαιο και αναρρόφηση από εκχυτήρα, με τη δημιουργία κενού. Για τη λειτουργία του εκχυτήρα και την απομάκρυνση του υπολειπόμενου φορτίου της δεξαμενής, χρησιμοποιείται ιδιαίτερη αντλία, η **αντλία εκκενώσεως** (stripping pump), της οποίας η κατάθλιψη συνδέεται με την κύρια γραμμή εκφορτώσεως.



Σx. 9.7β

Τυπική διάταξη δικτύου εκφοριώσεως Δ/Ε.



Σχ. 9.7γ

Τυπική διάταξη δικτύου των κυρίων αγωγών διπύθμενου Δ/Ξ.

Η τυπική διάταξη των αντλιών, η αναρρόφηση και η κατάθλιψη κάθε αντλίας από τις κύριες γραμμές του φορτίου και η κατάθλιψη προς το κιβώτιο καταστρώματος, όπου συνδέονται οι αγωγοί των δεξαμενών του φορτίου προς ή από την ξηρά, παρουσιάζονται στο σχήμα 9.7β. Με κατάλληλο συνδυασμό των επιτομιών, κάθε αντλία μπορεί συνήθως να καταθλίψει ή να αναρροφήσει από κάθε δεξαμενή, αποκλείοντας τον κίνδυνο αναμείξεως των φορτίων, ενώ αν θεωρείται απαραίτητο, μπορεί να απομονωθεί από το δίκτυο. Εικονίζονται επίσης η αναρρόφηση και η κατάθλιψη της **αντλίας έρματος** (ballast pump), η **αντλία εκκενώσεως** (stripping pump), το τζιφάρι και οι αναρροφήσεις της θάλασσας.

Στα Δ/Ξ χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό για την πλήρωση των δεξαμενών έρματος, κατά τις διορθωτικές ενέργειες της διαγωγής του πλοίου, και στο πλύσιμο των δεξαμενών φορτίου. Η ποσότητα της θάλασσας που χρησιμοποιείται στο πλύσιμο των δεξαμενών, λόγω της περιεκτικότητας σε υπολείμματα φορτίου, αποθηκεύεται σε **δεξαμενές καταλοίπων**

(slop tanks) για τη θέρμανση, με σκοπό τον ταχύτερο διαχωρισμό από το φορτίο που περιέχεται. Η κατάθλιψη της ποσότητας του θαλασσινού νερού που χρησιμοποιείται στο πλύσιμο των δεξαμενών φορτίου, επιτρέπεται να γίνει στη θάλασσα μόνο μετά τον διαχωρισμό στις **δεξαμενές καταλοίπων** (slop tanks) και πραγματοποιείται μέσω των συστημάτων ελέγχου απορρίψεως ελαίου [Oil Discharge Monitoring system – ODM (βλ. παράγρ. 15.3)]. Όση ποσότητα απομένει στη δεξαμενή καταλοίπων, επειδή έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε πετρελαιοειδή, παραδίδεται στο λιμάνι, σε δεξαμενές υποδοχής καταλοίπων. Στο σχήμα 9.7γ εικονίζεται η διάταξη των κυρίων αγωγών φορτίου από το αντλιοστάσιο προς τις δεξαμενές ή προς τις εγκαταστάσεις ξηράς.

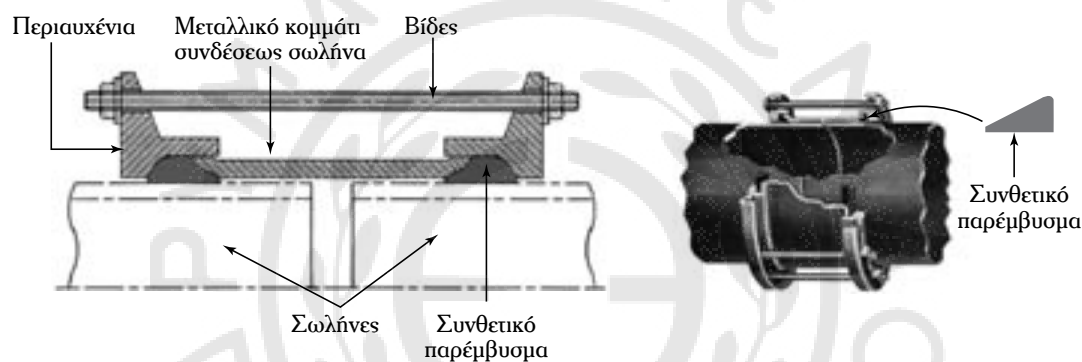
9.8 Το δίκτυο των δεξαμενοπλοίων.

Το δίκτυο των Δ/Ξ αποτελείται από σωλήνες με διάμετρο ανάλογη με την επιθυμητή ροή παροχής και πίεσεως του υγρού που διακινείται. Το μήκος κάθε σωλήνα και η θέση του προβλέπονται από την

κατασκευή του δικτύου, ώστε να επιτρέπεται η εύκολη αποσύνδεση για επισκευή ή αντικατάσταση σε όποιο τμήμα του είναι αναγκαίο. Το υλικό κατασκευής των σωλήνων είναι συνήθως χυτοσίδηρος ή θερμής ελάσεως χαλύβδινες πλάκες που συγκολλούνται κατά μήκος του σωλήνα. Συνδέονται με **περιαυχένια** (flanges), που συγκολλούνται στα άκρα των σωλήνων και οι ενώσεις συσφίγγονται με σιδερένιες βίδες και παξιμάδια. Η στεγανοποίηση των ενώσεων επιτυγχάνεται με μαλακό παρέμβυσμα (τσόντα), από υλικό ανθεκτικό στο υγρό που διαρρέει μέσα στο δίκτυο.

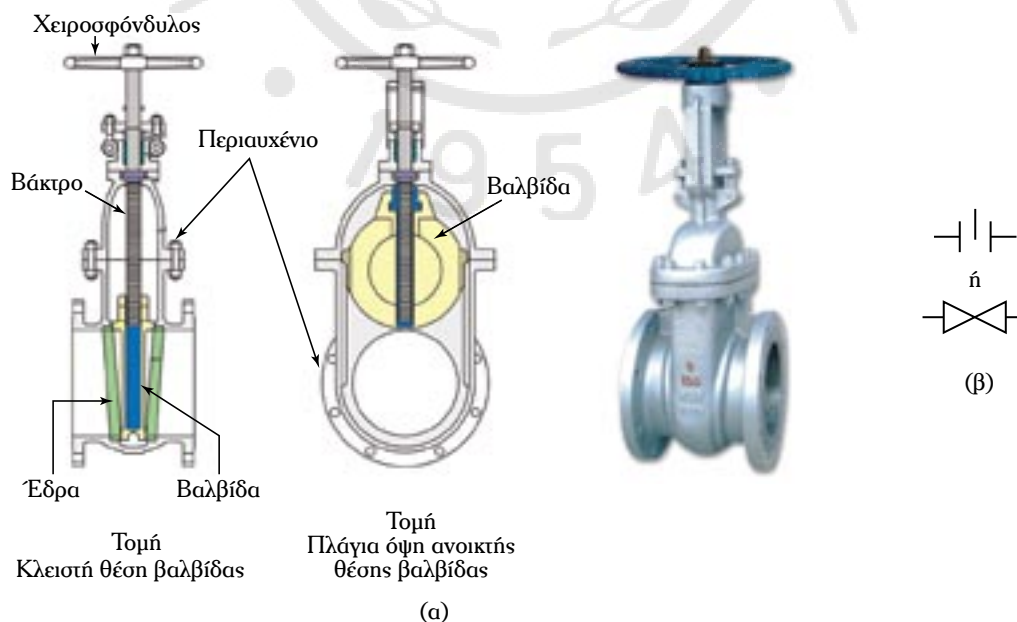
Οι δυνάμεις κάμψης που ασκούνται στο κύτος του πλοίου καθώς ταξιδεύει, μεταδίδονται στο μεγάλο μήκος των σωληνώσεων του δικτύου που διατρέχει το κατάστρωμα. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη υπάρ-

ξεως μιας διατάξεως αξονικής εκτονώσεως (διάταξη αποσβέσεως αυξήσεως ή μειώσεως του μήκους) των σωλήνων, που θα αποτρέπει την καταστροφή τους. Η αξονική εκτόνωση επιτυγχάνεται με κατάλληλες συνδέσεις κατά μήκος του δικτύου. Οι συνδέσεις αποτελούνται από ένα κομμάτι σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου λίγο μεγαλύτερης από την εξωτερική διάμετρο των σωλήνων, με τους οποίους πρέπει να συνδεθούν, και μέσα σε αυτό το κομμάτι σωλήνα τοποθετούνται τα δύο άκρα των σωλήνων του δικτύου. Η στεγανοποίηση στα σημεία συνδέσεως επιτυγχάνεται τοποθετώντας συνθετικό παρέμβυσμα στο διάκενο συνδέσεως, και όλα μαζί σφίγγονται από δύο περιαυχένια, που ενώνονται με βίδες (σχ. 9.8α) επιτρέποντας την αξονική εκτόνωση. Οι συνδέσεις είναι αποτελεσματικές, παρέχοντας ανάλογη ελευθερία κινήσεως και



Σχ. 9.8α

Σύνδεσμος εκτονώσεως σωληνώσεων.



Σχ. 9.8β

(α) Επιστόμιο με συρταρωτή βαλβίδα και (β) συμβολισμός.

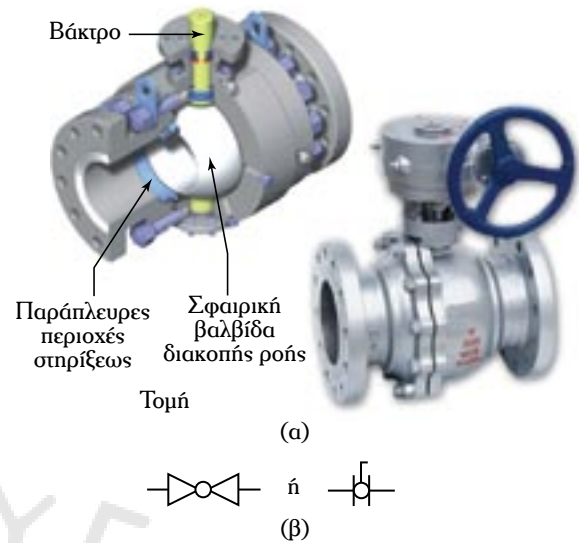
σε μεταβολές του μήκους των σωλήνων, υπό την επίδραση της θερμοκρασίας.

Αναλυτικότερα οι τύποι των βαλβίδων (επιστομίων) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής στο δίκτυο των Δ/Ξ είναι:

α) Τα **επιστόμια με βαλβίδα τύπου θυρίδας** ή **σύρτη** (gate valves). Είναι ισχυρής κατασκευής, ώστε να ανταποκρίνονται στις μεγάλες τάσεις λειτουργίας του δικτύου (σχ. 9.8β). Στη συμπαγή σφηνοειδή έδρα τους, τοποθετούνται εύκαμπτοι δακτύλιοι επαφής, που εφαρμόζουν σε αντίστοιχους δακτυλίους του κορμού, επιτυγχάνοντας τη στεγανότητα του επιστομίου. Σε ανοικτή θέση, η βαλβίδα ολισθαίνει στους δακτυλίους αποκαλύπτοντας τη θυρίδα ροής του υγρού, ενώ όταν κλείνει, παρέχει καλή στεγανότητα. Ο χειρισμός του επιστομίου πραγματοποιείται με χειροσφόνδυλο, που παρασύρει τη βαλβίδα μέσω του βάκτρου. Λόγω της βραδύτητας στη λειτουργία τους, είναι ακατάλληλα σε σημεία του δικτύου, όπου απαιτείται γρήγορος χειρισμός.

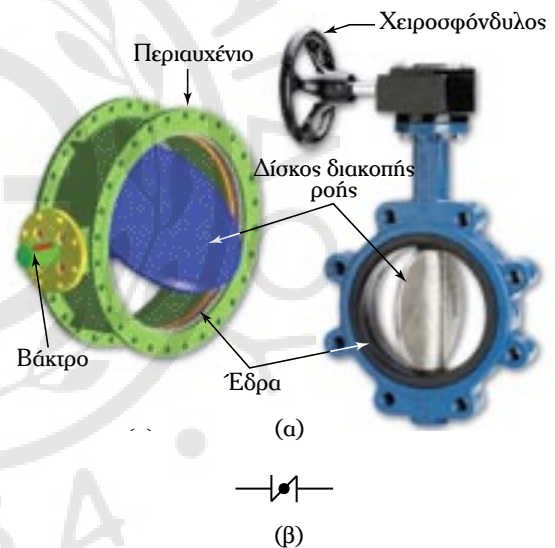
β) Τα **επιστόμια με σφαιρική βαλβίδα** (ball valves) (σχ. 9.8γ). Αποτελούν άλλον έναν τύπο επιστομίων που συναντάται συχνά στα δίκτυα των Δ/Ξ , διότι εξασφαλίζουν ροή χωρίς στροβιλισμό, πλήρη αμφίπλευρη στεγανότητα λόγω του σφαιρικού σχήματος της βαλβίδας και μεγάλη ταχύτητα αποκρίσεως στον χειρισμό του επιστομίου. Οι σφαιρικές βαλβίδες, ολισθαίνοντας στις παράπλευρες κοίλες περιοχές στηρίξεως, απ' τις οποίες αποτελείται η έδρα, δεν παρουσιάζουν κινδύνους εμπλοκής, συνεπώς είναι ιδιαιτέρως κατάλληλες για ιξώδη υγρά. Όταν χρησιμοποιούνται σε πλοία που μεταφέρουν χημικά ή άλλα διαβρωτικά φορτία, κατασκευάζονται από ειδικά υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση, παρέχοντας υψηλή στεγανότητα. Επί πλέον, επειδή η στήριξη της έδρας πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρείται συνεχής επαφή μεταξύ της έδρας με τη βαλβίδα, το υγρό ρέει περιορίζοντας στο ελάχιστο δυνατό τη φθορά της βαλβίδας.

γ) Τα **επιστόμια τύπου πεταλούδα (περυγωτή) βαλβίδα** (butterfly valves). Είναι απλής κατασκευής (σχ. 9.8δ). Η βαλβίδα αποτελείται από δίσκο που εφάπτεται στο στόμιο-έδρα του κελύφους του επιστομίου και περιστρέφεται από άξονα μέσω βάκτρου. Η επιφάνεια του δίσκου μπορεί να είναι έκκεντρη με τον άξονα περιστροφής του ή να συμπίπτει με τον άξονα του δίσκου και καθώς περιστρέφεται, επιτρέπει ή διακόπτει τη ροή. Χρησιμοποιούνται στους σωλήνες του κιβωτίου καταστρώματος εξαγω-



Σχ. 9.8γ

(α) Επιστόμιο με σφαιρική βαλβίδα και
(β) συμβολισμός.



Σχ. 9.8δ

(α) Επιστόμιο με περυγωτή βαλβίδα και
(β) συμβολισμός.

γής του φορτίου απ' το πλοίο και σε πολλά άλλα σημεία του δικτύου.

9.9 Αντλίες φορτίου δεξαμενοπλοίων.

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στην εκφόρτωση του φορτίου των Δ/Ξ , συμπεριλαμβανομένων και των πολύ μεγάλων Δ/Ξ [(Ultra Large Crude Carrier – ULCC) και Very Large Crude Carrier – VLCC)], είναι φυγοκεντρικές ενός ή δύο σταδίων. Συνήθως εγκαθίστανται τρεις ή τέσσερις αντλί-

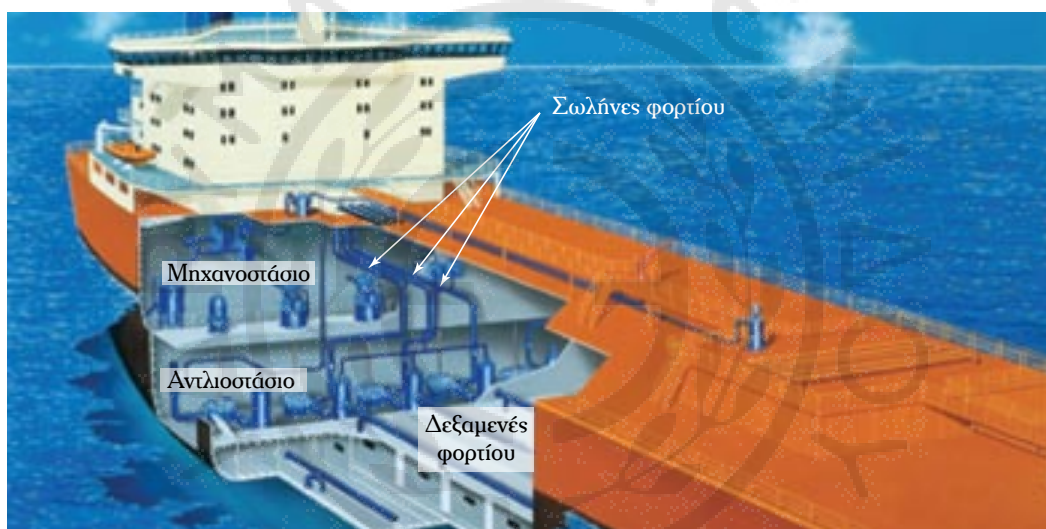
ες και τοποθετούνται στο αντλιοστάσιο (σχ. 9.9α).

Το στροφείο των φυγοκεντρικών αντλιών είναι μονής ή διπλής αναρροφήσεως. Η στήριξη του στροφείου για τις αντλίες διπλής αναρροφήσεως πραγματοποιείται μεταξύ δύο ένσφαιρων τριβέων (ρουλεμάν) (σχ. 9.9β).

Οι αντλίες μπορεί να τοποθετούνται κάθετα ή οριζόντια, ενώ η στεγανοποίηση του άξονα με το κέλυφος πραγματοποιείται με **μηχανικό στυπιοθλίπτη** (mechanical seal) και στις δύο πλευρές. Όταν οι αντλίες τοποθετούνται κάθετα (σχ. 9.9γ), η στήριξη της περωτής επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των ένσφαιρων τριβέων στην επάνω πλευρά της περωτής, στο άκρο του άξονα που συνδέεται με τον μηχανισμό περιστροφής. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η συντήρηση της αντλίας. Στο κέλυφος των τριβέων

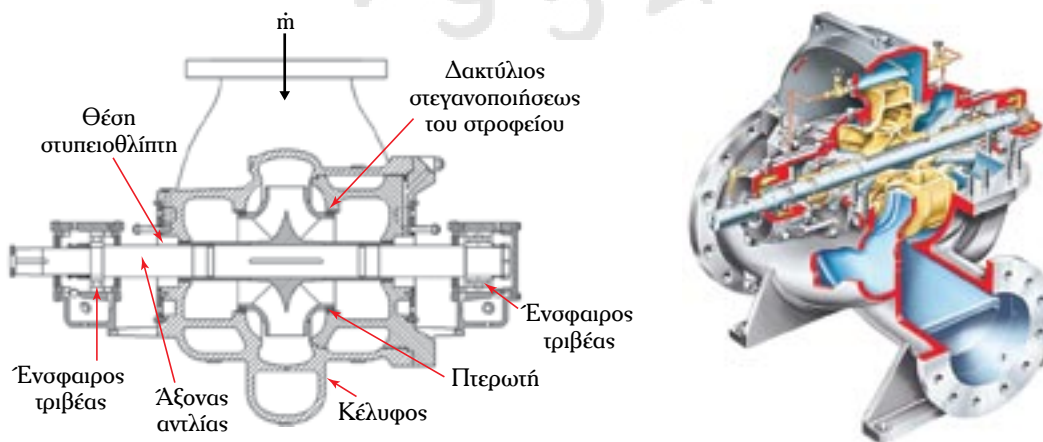
συχνά τοποθετούνται ανιχνευτές θερμοκρασίας, αποτρέποντας εκρήξεις, που μπορεί να προκαλέσει η αύξηση της θερμοκρασίας τους λόγω της συγκεντρώσεως των αερίων στον χώρο του αντλιοστασίου, και προστατεύοντας παράλληλα τους τριβείς από άλλες σοβαρές βλάβες.

Για τη λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών φορτίου συνήθως χρησιμοποιούνται ατμοστρόβιλοι, που μεταδίδουν την περιστροφική κίνηση στον άξονα της αντλίας μέσω συστήματος οδοντωτών τροχών. Αντίθετα, σε άλλες εγκαταστάσεις η λειτουργία τους μπορεί να πραγματοποιείται με άμεση μετάδοση από ηλεκτροκινητήρα. Τα κινητήρια μέσα εγκαθίστανται στο μηχανοστάσιο δίπλα στο αντλιοστάσιο (σχ. 9.9δ), διότι λόγω των αναθυμιάσεων που δημιουργούνται, εγκυμονούν κινδύνους εκρήξεως, αλλά



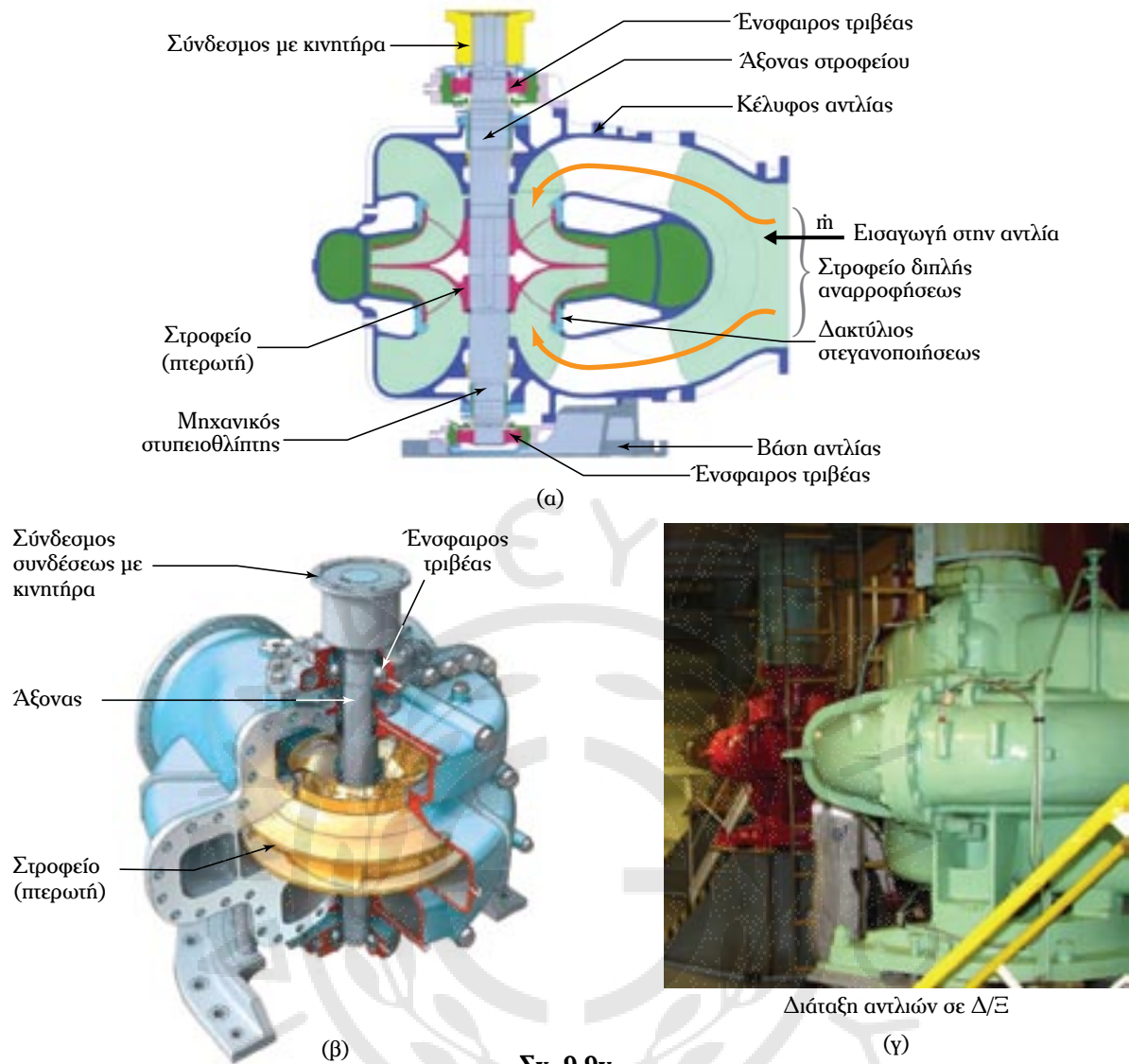
Σχ. 9.9α

Τομή κύτους Δ/Ξ, όπου διακρίνεται το αντλιοστάσιο μεταξύ των δεξαμενών φορτίου και του μηχανοστασίου.



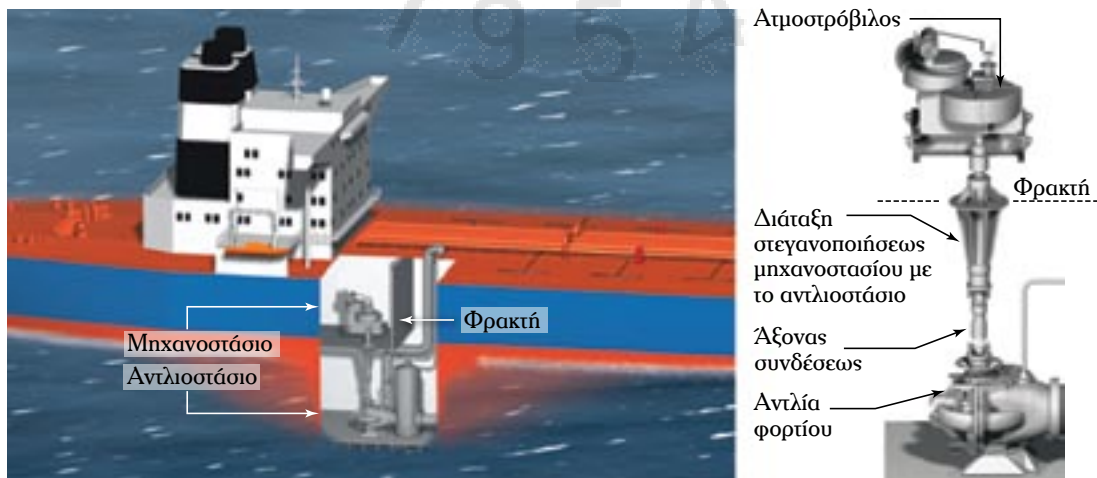
Σχ. 9.9β

Οριζόντια αντλία φορτίου με περωτή διπλής αναρροφήσεως.



Σχ. 9.9γ

Κάθετη αντλία φορτίου με στροφέιο (περωτή) διπλής αναρροφήσεως. (α) Τομή της αντλίας. (β) Τομή της αντλίας όπου διακρίνεται το στροφέιο και (γ) διάταξη αντλιών σε αντλιοστάσιο Δ/Ξ.



Σχ. 9.98

Σύνδεση αντλιών μέσω φρακτής.

και για να διευκολύνουν τον έλεγχο των ατμοστροβίλων. Έτσι, συνδέονται με τις αντλίες μέσω αξόνων [σχ. 9.9ε(α), (β)] σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη.

Με αυτήν τη σύνδεση απομονώνονται το αντλιοστάσιο και το μηχανοστάσιο, ενώ το σημείο απ' το οποίο διέρχεται ο άξονας της αντλίας από τη φρακτική, μεταξύ των δύο χώρων, **στεγανοποιείται με αεροστεγή διάταξη στυπιοθαλάμου** (gas – tight stuffing box) επιτυγχάνοντας την πρόληψη διαφυγής αερίων προς το μηχανοστάσιο [σχ. 9.9ε(γ)]. Στις αντλίες με κάθετη διάταξη ο άξονας μεταδόσεως, λόγω βάρους, υποστηρίζεται από κατάλληλα τοποθετημένο **ωστικό τριβέα**¹.

Για να πραγματοποιηθεί η αναρρόφηση του φορτίου στις φυγοκεντρικές αντλίες, ο σωλήνας αναρροφήσεως πρέπει να είναι γεμάτος με υγρό. Έτσι, οι αντλίες τοποθετούνται στο χαμηλότερο σημείο του αντλιοστασίου, κοντά στον πυθμένα του πλοίου, ώστε η αναρρόφηση να βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου που υπάρχει στις δεξαμενές.

Επίσης, ένα ή περισσότερα εξαεριστικά συνδέονται στον σωλήνα αναρροφήσεως εξασφαλίζοντας την απαγωγή του αέρα και των αερίων, που δημιουργούνται κατά την αναρρόφηση του φορτίου. Όμως αυτό δεν είναι αρκετό, διότι οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν είναι αυτόματης αναρροφήσεως και καθώς μειώνεται το φορτίο μέσα στη δεξαμενή, μειώνεται συνεχώς και το ύψος αναρροφήσεως. Με την συνεχή μείωση του ύψους αναρροφήσεως σε συνδυασμό με την ιδιότητα του φορτίου να δημιουργεί αέρια

κατά την άντληση, συχνά οι αντλίες λειτουργούν με σχετικά χαμηλή τιμή **καθαρού θετικού μανομετρικού ύψους αναρροφήσεως** (Net Positive Suction Head – NPSH).

Σε παλαιότερες εγκαταστάσεις, για την αποστράγγιση των δεξαμενών του πλοίου, έπρεπε να υπάρχουν ιδιαίτερες εμβολοφόρες αντλίες θετικής εκτοπίσεως με μικρότερη παροχή από τις κύριες αντλίες εκφορτώσεως. Σήμερα, υπάρχουν συστήματα που αφαιρούν τον αέρα και τα αέρια από τους αγωγούς αναρροφήσεως των αντλιών, όπως επίσης και σύστημα αυτόματης ρυθμίσεως, που μειώνει την ταχύτητα αντλήσεως, καθώς μειώνεται η στάθμη του υγρού φορτίου μέσα στη δεξαμενή.

9.10 Συστήματα αποστραγγίσεως δεξαμενών φορτίου.

Τα συστήματα αποστραγγίσεως δεξαμενών σε Δ/Ξ με φυγοκεντρικές αντλίες είναι:

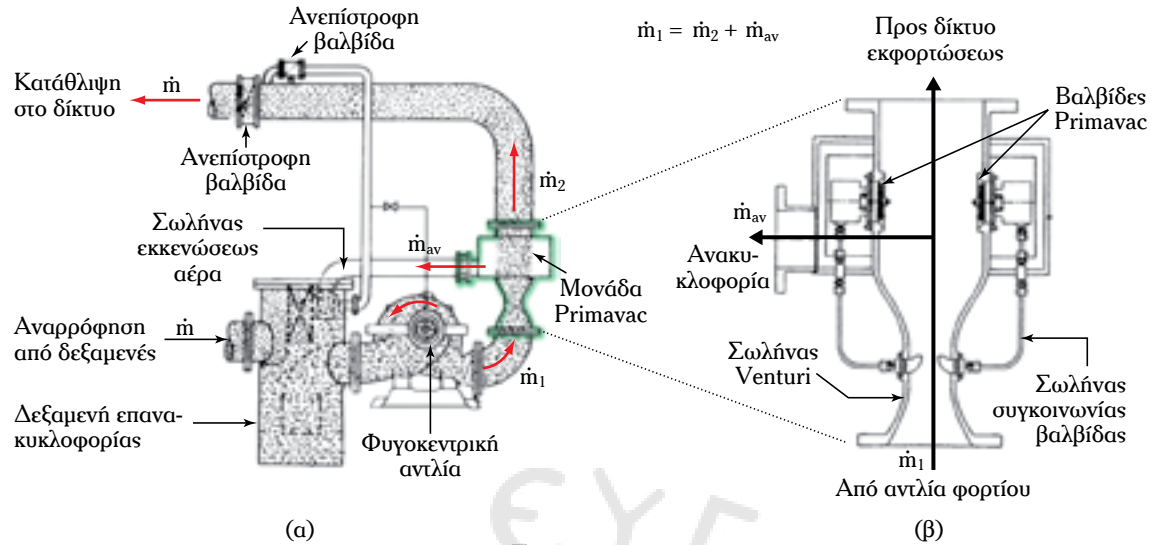
α) Το **σύστημα Primavac**, που παρέχει τη δυνατότητα σε μια φυγοκεντρική αντλία να λειτουργεί αυτόματα, δημιουργώντας το απαραίτητο κενό στην αναρρόφηση. Είναι κατάλληλο για παροχές της κύριας αντλίας μέχρι $6500 \text{ m}^3/\text{h}$, όπου η αντλία



Σχ. 9.9ε

(α) Οριζόντια σύνδεση μέσω φρακτικής, (β) κάθετη σύνδεση μέσω φρακτικής και (γ) σύνδεσμος στεγανοποίησης από την πλευρά του αντλιοστασίου.

¹ Ωστικός τριβέας ονομάζεται η διάταξη με κατάλληλους τριβείς (πλινθία ή ένσφαιρους τριβείς), που παραλαμβάνει την ωστική αξονική δύναμη.



Σχ. 9.10α

(α) Διάταξη συστήματος Primavac. (β) Μονάδα Primavac.

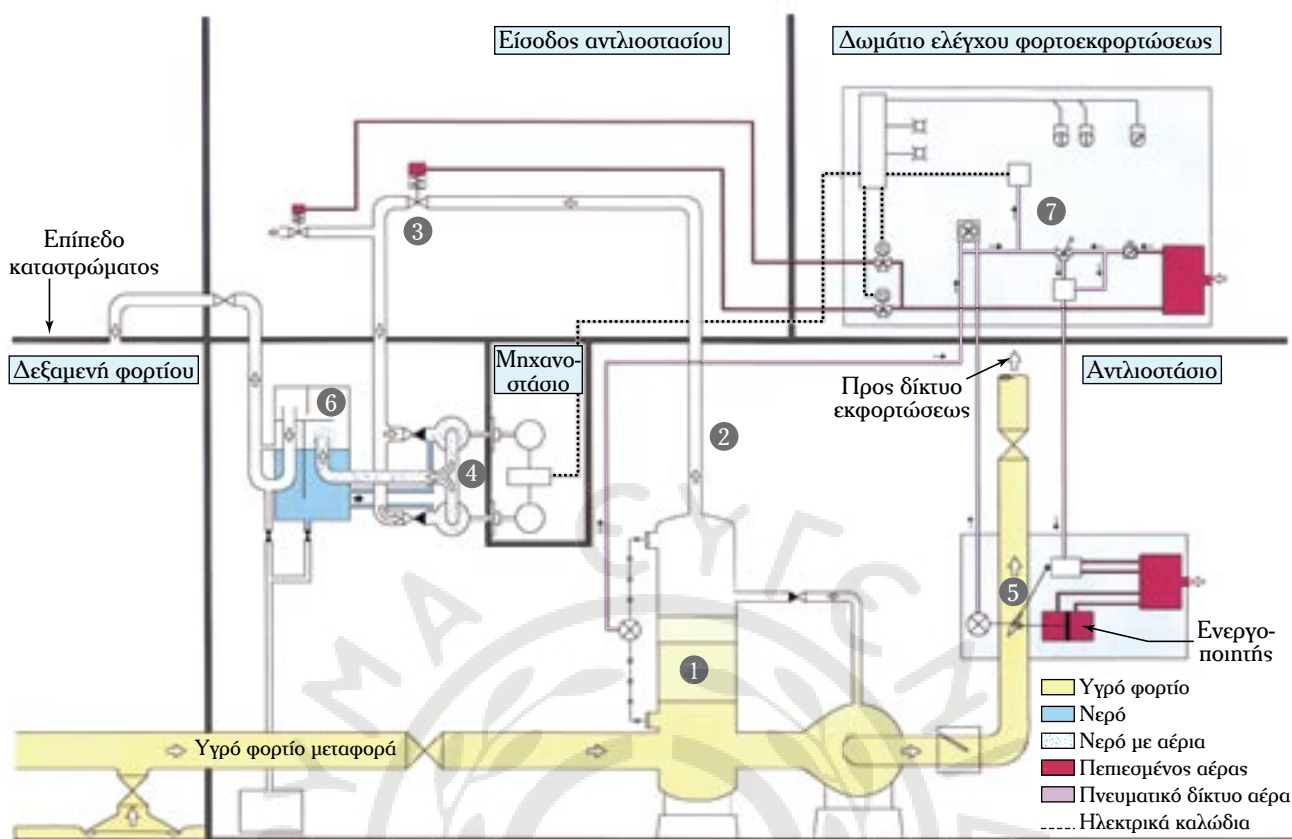
λειτουργεί πάντα με υγρό, χωρίς να ελέγχεται από κάποιο ηλεκτρονικό ή άλλο βοηθητικό μέσο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο συκροτήματα: το ένα τοποθετείται στην αναρρόφηση και είναι μια δεξαμενή επανακυκλοφορίας, ενώ το άλλο είναι η μονάδα Primavac, που τοποθετείται στην κατάθλιψη της αντλίας [σχ. 9.10α(α)].

Το Primavac αποτελείται από δύο βαλβίδες, οι οποίες είναι η «καρδιά» του συστήματος, και έναν σωλήνα Venturi [σχ. 9.10α(β)], που υποστηρίζει τη λειτουργία του συστήματος. Όταν υπάρχει ροή, οι βαλβίδες μένουν κλειστές, λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ του σωλήνα Venturi και του τμήματος του σωλήνα, όπου είναι τοποθετημένες οι βαλβίδες. Όταν η ροή διακόπτεται λόγω της υπέρξεως αερίων στην αναρρόφηση από τη διαφορά της πίεσης που δημιουργείται και με τη βοήθεια της εντάσεως ελατηρίου, η βαλβίδα ανοίγει επιτρέποντας στο υγρό να επιστρέψει από την κατάθλιψη στη δεξαμενή επανακυκλοφορίας, που βρίσκεται στην αναρρόφηση της αντλίας. Η ποσότητα του υγρού που επιστρέφει στην αναρρόφηση δημιουργεί ροή στην αντλία, επαναφέροντας τη διαδικασία της αντλήσεως. Έτσι, η αντλία λειτουργεί πάντα με υγρό, με το σύστημα να παρέχει αυτόματη ανάκτηση της αναρροφήσεως και προστασία στην αντλία από φθορές και βλάβες. Το σύστημα είναι κατάλληλο για πολύ μεγάλες παροχές, απλό στη λειτουργία του και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση των βαλβίδων.

β) Το **σύστημα Vac Strip** (σχ. 9.10β), αποτελείται από:

- Το δοχείο διαχωρισμού, που βρίσκεται στην αναρρόφηση της αντλίας (1).
- Έναν σωλήνα εξαερισμού (2), που συνδέεται στην κορυφή του δοχείου διαχωρισμού με το δοχείο στεγανοποίησης, το οποίο αποτρέπει επιστροφές αερίων από τις δεξαμενές φορτίου (6).
- Μία αυτόματη βαλβίδα ελέγχου αερίων, που τοποθετείται στον σωλήνα εξαερισμού, ελέγχοντας τα αέρια που εξέρχονται από το δίκτυο (3).
- Μία ή περισσότερες αντλίες κενού (4).
- Τη βαλβίδα καταθλίψεως της αντλίας (5), ελεγχόμενη από ενεργοποιητή (actuator), η οποία συνδέεται με τους αυτοματισμούς ελέγχου της αντλίας κενού (7) και τη βαλβίδα ελέγχου των αερίων που εξέρχονται από το δίκτυο (3).

Με τη λειτουργία του συστήματος, το μείγμα αέρα, αερίων και πετρελαίου ρέει από τον σωλήνα αναρροφήσεως στο δοχείο διαχωρισμού. Το υγρό διαχωρίζεται από τον αέρα και τα αέρια, που συγκεντρώνονται στην κορυφή του δοχείου. Όταν η στάθμη στο δοχείο διαχωρισμού μειωθεί, στη βαλβίδα ελέγχου επιδρά ο ρυθμιστής στάθμης, ανοίγοντάς την. Τα αέρια αναρροφώνται από την αντλία κενού και καταθλίβονται από το εξαεριστικό στη δεξαμενή φορτίου ή στην ατμόσφαιρα σε κατάλληλο ύψος πάνω από το κατάστρωμα ή στο δίκτυο πιπτικών αερίων του πλοίου. Το δίκτυο αυτό αναπτύσσεται στο κατάστρωμα και σκοπό έχει τα πιπτικά αέρια να παρδίδονται στην ξηρά και να μην απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Οι αντλίες κενού τίθενται σε λειτουργία με σήμα που δίδεται από τον ρυθμιστή στάθμης, καθώς η στάθμη



Σχ. 9.10β

Διάταξη συστήματος Vac Strip. (1) Δοχείο διαχωρισμού. (2) Σωλήνας εξαερισμού. (3) Αυτόματη βαλβίδα ελέγχου αερίων. (4) Αντλίες κενού. (5) Βαλβίδα καταθλίψεως της αντλίας. (6) Δεξαμενές φορτίου. (7) Αυτοματισμοί ελέγχου.

του υγρού της δεξαμενής εξακολουθεί να μειώνεται απομακρύνοντας τα αέρια. Ταυτόχρονα, η αυτόματη βαλβίδα ανοίγει ή κλείνει, καθώς η στάθμη του υγρού μέσα στο διαχωριστικό δοχείο αυξάνεται ή μειώνεται αντίστοιχα, μέχρι να φθάσει τη μέγιστη δυνατή θέση αποστραγγίσεως του φορτίου από τη δεξαμενή.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται όσο υπάρχουν αέρας ή αέρια μέσα στο υγρό που αναρροφάται από τη δεξαμενή και μέχρι να ολοκληρωθεί η άντληση του φορτίου από αυτήν.

Για την ασφαλή λειτουργία μιας αντλίας εγκαθίσταται θερμοστάτης στο κέλυφός της, ο οποίος παρεμβάλλεται με ηλεκτρικό κύκλωμα λειτουργίας της, ώστε αν η αντλία λειτουργεί από δεξαμενή που έχει εκκενωθεί ή αν αυξηθεί η θερμοκρασία του υγρού μέσα στην αντλία, ο θερμοστάτης διακόπτει τη λειτουργία της.

Συνήθως, οι αντλίες για την αποστράγγιση του φορτίου από τις δεξαμενές είναι αντλίες θετικής εκτοπίσεως, χωρίς να αποκλείεται η χρήση περιστροφικών αντλιών. Γενικά, πρόκειται για αντλίες υψηλής

αντοχής, ώστε να ανταποκρίνονται στην άντληση παχυρευστών υγρών (π.χ. όταν μεταφέρεται αργό πετρέλαιο). Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για το φορτίο και καταθλίζουν στις κύριες σωληνώσεις καταθλίψεως των αντλιών φορτίου, ενώ για τον ερματισμό και τον αφερματισμό χρησιμοποιείται φυγοκεντρική αντλία, που διακινεί το νερό σε ορισμένες μόνο σωληνώσεις.

9.11 Συστήματα εξαερισμού δεξαμενών.

Τα διάφορα είδη πετρελαίου και τα παράγωγά τους που μεταφέρονται στις δεξαμενές των πλοίων έχουν την τάση να δημιουργούν αέρια λόγω θερμάνσεως του φορτίου ή λόγω της μεγάλης πηπτικότητάς τους (π.χ. βενζίνη). Επίσης, κατά τη φόρτωση ή την εκφόρτωση δημιουργείται αύξηση ή μείωση της πίεσης στη δεξαμενή αντίστοιχα. Γι' αυτό, όλες οι δεξαμενές φορτίου πρέπει να εφοδιάζονται με σύστημα εξαερισμού ανάλογο των μεταφερομένων φορτίων.

Τα συστήματα εξαερισμού σχεδιάζονται ώστε:

α) Να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα συσσωρεύ-

σεως των αερίων, που δημιουργούνται από το φορτίο στο κατάστρωμα.

β) Να αποτρέπεται η είσοδος των αερίων σε χώρους ενδιαιτήσεως ή στο μηχανοστάσιο και σε σταθμούς ελέγχου, διότι στην περίπτωση συγκεντρώσεως των ευφλέκτων ατμών σε κλειστούς χώρους που περιέχουν πηγές αναφλέξεως, δημιουργείται κίνδυνος εκρήξεων.

γ) Να προλαμβάνεται η είσοδος νερού στις δεξαμενές φορτίου.

δ) Η κατάθλιψη των αναθυμιάσεων να πραγματοποιείται προς τα επάνω με έντονη ροή και ταχύτητα εξόδου τουλάχιστον 30 m/s.

Τα συστήματα εξαερισμού πρέπει να συνδέονται στην κορυφή κάθε δεξαμενής και σε απόσταση που να επιτρέπει στις συμπυκνώσεις των αερίων να επιστρέφουν στη δεξαμενή κάτω απ' τις συνθήκες συνθήκες λειτουργίας και τη μεταβολή της διαγωγής του πλοίου. Οι μεγάλες ποσότητες συμπυκνωμένων αναθυμιάσεων ή μείγμα με νερό προβλέπεται να οδηγούνται μέσω δικτύου στις δεξαμενές συγκεντρώσεως καταλοίπων (slop tanks).

Το ανώτερο όριο πίεσεως ή το κενό που ανοίγει ένα σύστημα εξαερώσεως, δεν πρέπει να υπερβαίνει τις παραμέτρους σχεδιασμού της δεξαμενής, διότι υπάρχει κίνδυνος με την αύξηση ή την μείωση της πίεσεως, κάτω από την ατμοσφαιρική, να δημιουργηθούν μέσα στη δεξαμενή ρήγματα στα αδύνατα σημεία ή άλλου είδους βλάβες στα τοιχώματα των δεξαμενών. Για παράδειγμα, μία συνηθισμένη πίεση 0,24 bar (ή $3\frac{1}{2}$ lib/in²) που ενεργεί στη μεγάλη μεταλλική επιφάνεια μίας δεξαμενής δύναται να προκαλέσει τέτοιου είδους βλάβες.

Οι κύριοι παράγοντες που εξετάζονται στη δημιουργία ενός συστήματος εξαερισμού είναι:

α) Ο ρυθμός φορτώσεως και εκφορτώσεως της δεξαμενής.

β) Ο ρυθμός δημιουργίας ατμών, σύμφωνα με τα είδη του φορτίου που είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει το πλοίο¹.

γ) Η πυκνότητα του μείγματος ατμών του φορτίου.

δ) Η πτώση πίεσεως σε σωληνώσεις εξαερισμού, βαλβίδες και εξαρτήματα.

ε) Η πίεση ή το κενό, στα οποία πρέπει να είναι ρυθμισμένες οι συσκευές εκτονώσεως.

Το σύστημα εξαερισμού και το αντίστοιχο δίκτυο είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό, σύμφωνα με το φορτίο που μεταφέρεται, ή επικαλύπτονται από ανθεκτικό υλικό, που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις χειρισμού ειδικών φορτίων.

Οι κανονισμοί απαιτούν όλα τα Δ/Ξ να διαθέτουν σύστημα ασφαλούς εξαερισμού. Τα εξαεριστικά που τοποθετούνται σε δεξαμενές με όγκο που υπερβαίνει τα 20 m³ πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο, ενώ για μικρότερες των 20 m³ χρειάζεται μόνο ένα.

Η θέση των εξαεριστικών που ελέγχουν την εξαγωγή των αερίων πρέπει να βρίσκεται:

α) Σε ύψος τουλάχιστον 6 m από το κατάστρωμα του πλοίου ή, σε περίπτωση που τοποθετούνται πάνω από υπερυψωμένη διάβαση, σε ύψος πάνω από 4 m.

β) Σε απόσταση τουλάχιστον 10 m οριζόντια από την πλησιέστερη εισαγωγή αέρα ή από το άνοιγμα προς τους χώρους ενδιαιτήσεως, το μηχανοστάσιο ή άλλο χώρο που περιέχει πηγή αναφλέξεως.

Τα συστήματα εξαερισμού διακρίνονται:

α) Στο **ανεξάρτητο σύστημα**, όπου μία βαλβίδα τοποθετείται στο άκρο του σωλήνα εξαερώσεως κάθε δεξαμενής.

β) Στο **ενιαίο σύστημα**, όπου οι σωλήνες από κάθε δεξαμενή ενώνονται με έναν κοινό αγωγό αερίου και στη συνέχεια με έναν μεγαλύτερο που διατρέχει το κατάστρωμα. Ο αγωγός καταλήγει σε δύο **ιστούς**² με φλογοπαγίδες, σε ύψος ανώτερο του καταστρώματος. Στη βάση κάθε ιστού τοποθετείται βαλβίδα πίεσεως-κενού για τον έλεγχο διαφυγής αερίων ή εισόδου αέρα. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει μία βαλβίδα, συνήθως χειροκίνητη, η οποία την απομονώνει από τις άλλες δεξαμενές. Το πλεονέκτημα του ενιαίου συστήματος είναι ότι η απελευθέρωση του αερίου πραγματοποιείται σε αρκετό ύψος πάνω από το κατάστρωμα. Μειονεκτεί λόγω της πιθανότητας μόλυνσεως του φορτίου όταν μεταφέρονται διαφορετικού είδους φορτία ή όταν η βαλβίδα πίεσεως στη βάση του ιστού υποστεί βλάβη και προκαλούνται σημαντικές απώλειες, αφού η εξαέρωση πραγματοποιείται από όλες τις δεξαμενές.

γ) Το **σύστημα εξαερισμού κατά ομάδες** είναι

¹ Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον ρυθμό δημιουργίας ατμών στον μέγιστο ρυθμό φορτώσεως μ' έναν συντελεστή τουλάχιστον 1,25.

² Ιστός: ναυτικός όρος για το κατάρτι ή για σωλήνα κάθετα εγκατεστημένο στο κατάστρωμα, πάνω στον οποίο τοποθετούνται διάφορες συσκευές.

αυτό που συνήθως χρησιμοποιείται στις νεότερες κατασκευές. Το δίκτυο εξαερώσεως διαιρείται σε ομάδες και σε κάθε δεξαμενή τοποθετούνται βαλβίδες πίεσης-κενού, που συνδέονται με τον ιδιαίτερο αγωγό αερίων της κάθε ομάδας. Τέλος, σε κάθε αγωγό τοποθετείται αντίστοιχα και μία φλογοπαγίδα.

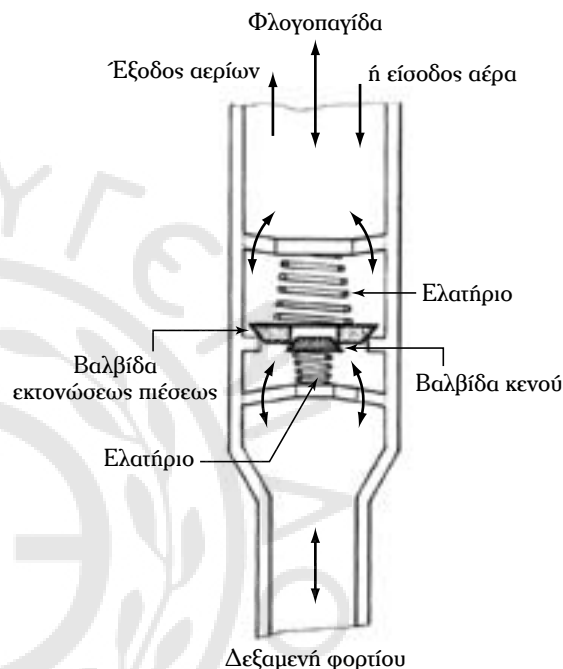
Οι βαλβίδες που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των αερίων είναι:

α) Η **απλή βαλβίδα εξαερώσεως** με περύγια (dump valves) (σχ. 9.11α), η οποία αποτελείται από δύο περύγια που σταθμίζονται με αντίβαρα και ανοίγουν όταν η πίεση στη δεξαμενή αυξηθεί, υπερνικώντας το βάρος των περυγίων. Έτσι, επιτυγχάνεται η απελευθέρωση των αερίων με τρόπο παρόμοιο με τα ακροφύσια. Στο κάτω μέρος της βαλβίδας τοποθετείται δικτυωτό διάφραγμα, που ενεργεί σαν φλογοπαγίδα. Λόγω της συγκεντρώσεως υπολειμμάτων με κολλώδη υφή, οι βαλβίδες αυτές πρέπει να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, εξασφαλίζοντας τον αποτελεσματικό εξαερισμό στις δεξαμενές.

β) Οι **βαλβίδες πίεσης-κενού** (pressure-vacuum valves) (σχ. 9.11β), με τις οποίες επιτυγχάνεται εξαέρωση και ταυτόχρονα αντιμετωπίζεται η υποπίεση στη δεξαμενή. Η ένταση των ελατηρίων που συγκροτούν τις βαλβίδες υπολογίζεται, προκειμένου η βαλβίδα εκτονώσεως πίεσεως μεγαλύτερης διαμέτρου που ελέγχει την εξαγωγή των αερίων να ανοίγει όταν η πίεση υπερβεί τα 0,14 bar (2lb/in²), ενώ η βαλβίδα κενού μικρότερης διαμέτρου να ανοίγει όταν δημιουργηθεί υποπίεση στη δεξαμενή για την εισαγωγή αέρα. Στην εξαγωγή της βαλβίδας

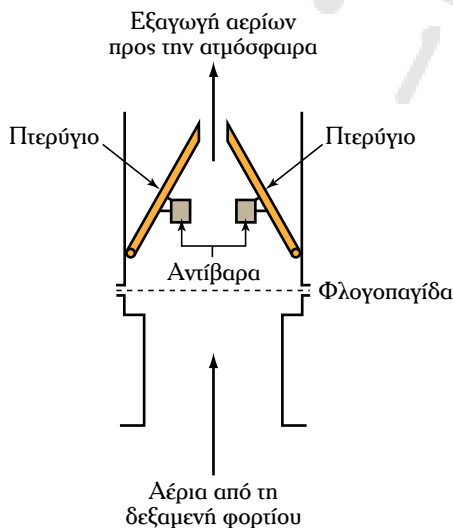
τοποθετείται δικτυωτό διάφραγμα, το οποίο λειτουργεί ως φλογοπαγίδα.

γ) Η **βαλβίδα τύπου γιώτα** (IOTA valve) (σχ. 9.11γ), η οποία αποτελείται από ένα κινούμενο διάφραγμα ροής (με στόμιο), που στηρίζεται σε εύκαμπο τοίχωμα (bellow) και σφραγίζει σε σταθερό κώνο με τη βοήθεια ενός αντίβαρου στο κάτω μέρος του στομίου. Η πίεση που δημιουργείται στη δεξαμενή ανυψώνει το διάφραγμα ροής και από το διά-



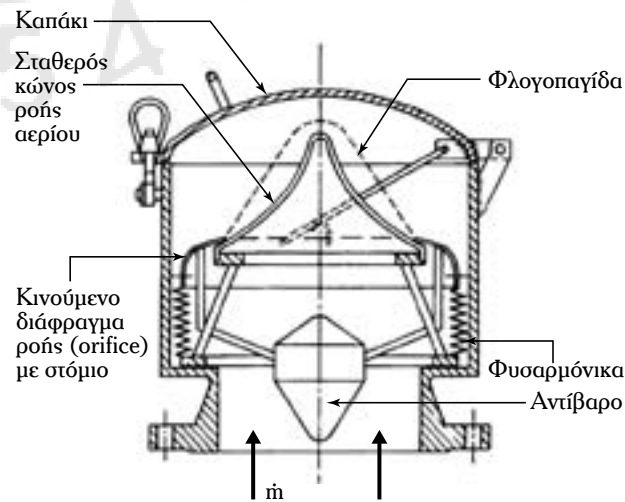
Σχ. 9.11β

Βαλβίδα εξαερώσεως εκτονώσεως πίεσεως και πληρώσεως δεξαμενής με αέρα.



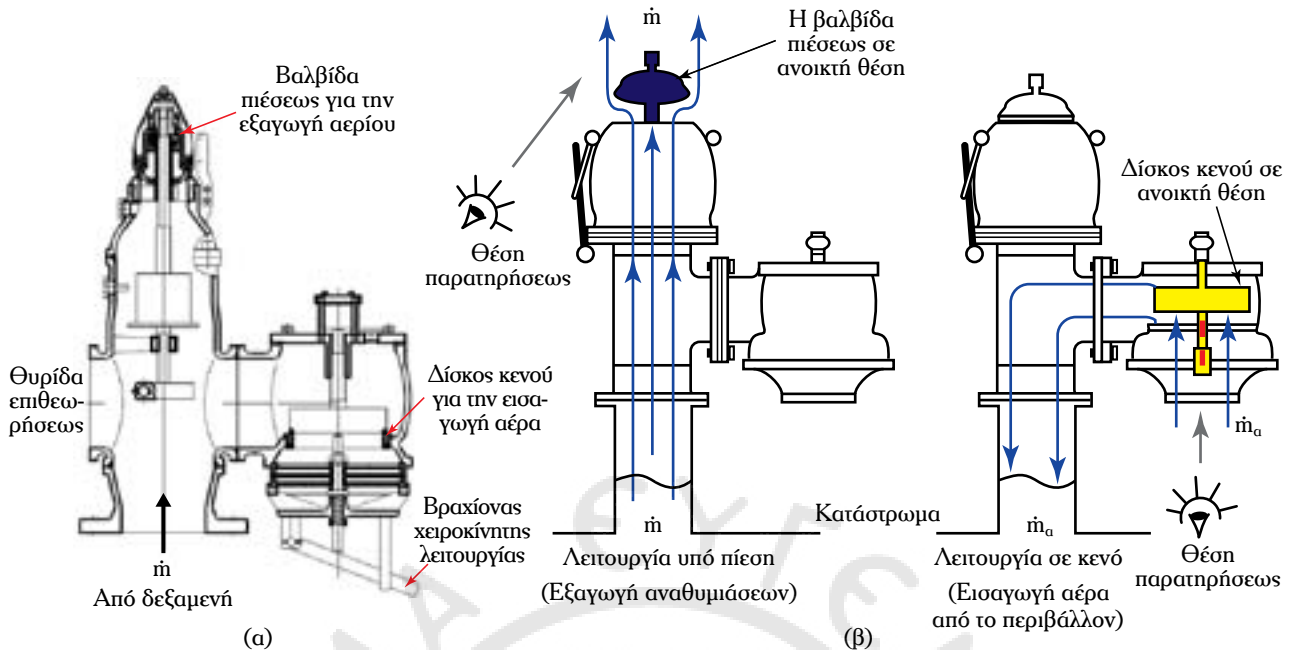
Σχ. 9.11α

Βαλβίδα εξαερώσεως με περύγια.



Σχ. 9.11γ

Βαλβίδα εξαερώσεως τύπου γιώτα.



Σχ. 9.118

Βαλβίδα εξαερώσεως υψηλής ταχύτητας. (α) Τομή βαλβίδας υψηλής ταχύτητας σε κλειστή θέση. (β) Τομή βαλβίδας κατά την εξαγωγή του αερίου και του δίσκου κενού κατά την εισαγωγή του αέρα.

κενο εξέρχεται το αέριο στο περιβάλλον. Το αέριο διερχόμενο από το διάκενο του διαφράγματος ροής, λόγω του κώνου κινείται προς τα πάνω με μεγάλη ταχύτητα που φτάνει τα 30 m/s, ώστε γρήγορα το αέριο μείγμα να αραιώνεται στην ατμόσφαιρα, μειώνοντας τους κινδύνους εκρήξεως. Οι βαλβίδες αυτές περιβάλλονται από χαλύβδινο κάλυμμα που τις προστατεύει από μηχανικές βλάβες και λειτουργούν σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -18 έως $+65^{\circ}\text{C}$. Η απόδοσή τους εξασφαλίζεται με καθαρισμό από τις κολλώδεις ουσίες που δημιουργούνται στις επιφάνειες από τις αναθυμιάσεις.

δ) Οι **βαλβίδες υψηλής ταχύτητας** (σχ. 9.118) αποτελούνται από δύο τμήματα, το ένα για την εξαγωγή του αερίου και το άλλο για την εισαγωγή του αέρα. Ανάλογα με τον κατασκευαστή, η εξαγωγή του αερίου πραγματοποιείται από το στόμιο, στο κάτω μέρος του οποίου εφαρμόζεται κώνος με αντίβαρο, ενώ για την εισαγωγή του αέρα όταν υπάρχει υποπίεση στη δεξαμενή, υψώνεται ο δίσκος που εφαρμόζει στην έδρα της βαλβίδας κενού. Στην είσοδο της βαλβίδας κενού τοποθετείται η φλογοπαγίδα που διαθέτει βραχίονα χειροκίνητης λειτουργίας.

9.12 Προθέρμανση φορτίου.

Το αργό πετρέλαιο, όπως και μερικά υγρά φορ-

τία προϊόντων διυλίσεως, κατά τη μεταφορά τους με τα Δ/Ξ από τον τόπο παραγωγής τους ως το λιμάνι εκφορτώσεως, χρειάζονται θέρμανση για να διατηρείται η ρευστότητά τους, τα χαρακτηριστικά τους και για να είναι δυνατή η εκφόρτωσή τους από τις αντλίες του πλοίου. Με τη θέρμανση του φορτίου λοιπόν:

- α) Μειώνεται το ιξώδες του υγρού.
- β) Αποτρέπεται η δημιουργία κρυστάλλων, που καταστρέφουν το φορτίο.
- γ) Μειώνεται η πίεση καταθλίψεως από τις αντλίες φορτίου και
- δ) μειώνεται η ποσότητα που μένει στη δεξαμενή και δεν είναι δυνατόν να αντληθεί.

Για να διατηρηθεί το φορτίο στην επιθυμητή θερμοκρασία, ένα δίκτυο σωληνώσεων αναπτύσσεται στις δεξαμενές του πλοίου. Οι σωλήνες που αποτελούν το δίκτυο θέρμανσεως και ονομάζονται **σερπαντίνες** (heating coils) και αναπτύσσεται στα πλευρικά τοιχώματα και στον πυθμένα της δεξαμενής [σχ. 9.12(α)]. Το δίκτυο προθερμάνσεως διαρρέεται από ατμό, προερχόμενο από το κύριο δίκτυο ατμού του πλοίου μέσω μειωτήρα πίεσεως με κλίμακα 1–7 bar.

Η διακλάδωση του δικτύου σε κάθε δεξαμενή πραγματοποιείται στο κατάστρωμα του πλοίου [σχ. 9.12(β)]. Οι σερπαντίνες χωρίζονται σε ομάδες και ελέγχονται με τοπικά επιστόμια εισαγωγής του ατμού

και εξαγωγής του συμπυκνώματος [σχ. 9.12(β)]. Ο σωλήνας εισαγωγής του ατμού είναι μικρότερης διαμέτρου από τον σωλήνα επιστροφών, λόγω της μείωσης του όγκου του ατμού μετά τη συμπύκνωση.

Στην εξαγωγή κάθε σερπαντίνας από τη δεξαμενή, εκτός του επιστομίου των επιστροφών εγκαθίσταται και ατμοπαγίδα και όλες οι επιστροφές συγκεντρώνονται σε έναν ενιαίο σωλήνα. Στη συνέχεια, οδηγούνται στο πρώτο στάδιο της δεξαμενής επιστροφών (θερμοδοχείο) (cascade), όπου ελέγχονται για τυχόν διαρροή φορτίου από κάποια σερπαντίνα, η οποία θα προκαλούσε τη μόλυνση του τροφοδοτικού νερού. Τότε, ελέγχεται το δίκτυο και απομονώνεται η σερπαντίνα ή οι σερπαντίνες που έχουν υποστεί βλάβη, μέχρι να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες ενέργειες επισκευής τους μετά την εκκένωση της δεξαμενής.

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται σταδιακά και η θερμοκρασία των δεξαμενών καταγράφεται σε ημερολόγιο σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού. Σε περίπτωση μεγάλης απώλειας τροφοδοτικού νερού από το δίκτυο του λέβητα, είναι πιθανό αυτή να οφείλεται σε βλάβη κάποιας από τις σερπαντίνες.

Το υλικό κατασκευής των σερπαντίνων σε παλαιότερες κατασκευές ήταν ο χυτοσίδηρος και ο μαλακός χάλυβας. Σε νεότερες κατασκευές χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου ή αλουμινίου και ορειχάλκου, ενώ για πλοία που μεταφέρουν χημικά φορτία οι σερπαντίνες κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα ή άλλο ανθεκτικό κράμα, που έχει ανάλογη αντοχή. Η εγκατάσταση των σερπαντίνων πρέπει:

α) Να παρέχει ικανοποιητική μετάδοση της θερμότητας προς το φορτίο της δεξαμενής.

β) Να είναι ανθεκτική στη διάβρωση, η οποία προκαλείται από τα διάφορα είδη μεταφερομένων φορτίων.

γ) Να αντέχει στις αναπόφευκτες τάσεις που αναπτύσσονται από τις κινήσεις του πλοίου και τους κραδασμούς.

δ) Να αντέχει σε πιθανές εξωτερικές κακώσεις, που προκαλούνται κατά τον καθαρισμό των δεξαμενών, σε επισκευές κ.λπ..

ε) Να συναρμολογείται εύκολα, ώστε να επισκευάζεται ή να αντικαθίστανται τμήματα του δικτύου όταν αυτό είναι αναγκαίο.

στ) Να κατασκευάζεται έτσι, ώστε να μην προκαλεί σημαντικές τροποποιήσεις στη δομή του πλοίου.

ζ) Να έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και τοποθέτησής.



(α)



(β)

Σχ. 9.12

(α) Σερπαντίνες στον πυθμένα της δεξαμενής φορτίου και
(β) ομάδα επιστομίων για σερπαντίνες στο κατώστρωμα.

9.13 Χειρισμός βαλβίδων στο δίκτυο φορτίου Δ/Ξ.

Η ανάγκη για ταχύτερη εκφόρτωση ή φόρτωση, που θα ελαχιστοποιήσει τον χρόνο παραμονής του πλοίου στο λιμάνι, εξαρτάται από την ταχύτητα ανταποκρίσεως στον χειρισμό των βαλβίδων που ελέγχουν τη ροή στο δίκτυο φορτίου του πλοίου. Ο χειρισμός είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται τηρώντας όλους τους κανονισμούς ασφαλείας προς τους επιβαίνοντες, το περιβάλλον, τη διαχείριση του μεταφερόμενου φορτίου και του πλοίου, εφόσον κατά τη διάρκεια της εκφορτώσεως πρέπει να αποφεύγονται επικίνδυνες τάσεις στο κύτος από την εκκένωση των διαφόρων δεξαμενών.

Σε παλαιότερες εγκαταστάσεις, ο χειρισμός γινόταν με χειροκίνητα βάντρα στο κατώστρωμα, τα οποία

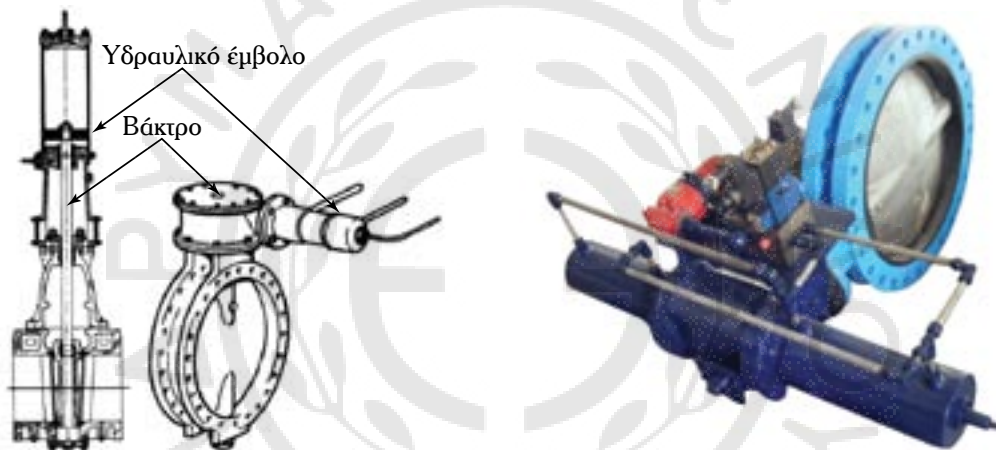
ανοιγόκλειναν τη βαλβίδα (επιστόμιο), που ήταν εγκατεστημένη στον σωλήνα του δικτύου υγρού φορτίου, κοντά στον πυθμένα κάθε δεξαμενής. Για κάθε βαλβίδα, λόγω της αποστάσεως από το κατάστρωμα, υπήρχε σημαντικός αριθμός συνδετικών ράβδων, αρθρωτών συνδέσεων και ενδιάμεσων τριβέων.

Όμως, λόγω της αυξήσεως του ρυθμού εκφορτώσεως και την αντίστοιχη αύξηση του μεγέθους τους, οι χειροκίνητες βαλβίδες αντικαταστάθηκαν από υδραυλικά συστήματα, που παρέχουν ταχύτερο χειρισμό, με ακρίβεια από απόσταση και χωρίς μεγάλη προσπάθεια. Με αυτόν τον τρόπο οι βαλβίδες ελέγχονται από μικρό αριθμό μελών του πληρώματος που εμπλέκεται στη διαδικασία εκφορτώσεως.

Οι τύποι υδραυλικών μηχανισμών κινήσεως των βαλβίδων είναι:

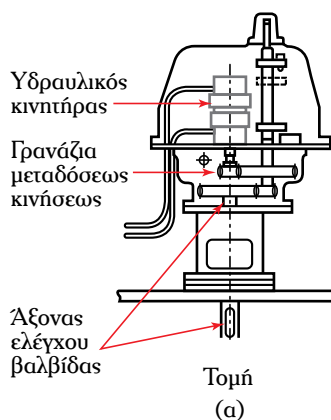
α) Ο **τύπος υδραυλικού κυλίνδρου**, που αποτελείται από ένα υδραυλικό έμβολο και συνδέεται με το **βάκτρο του επιστομίου τύπου σύρτη ή περνωγού επιστομίου** (σχ. 9.13α).

β) Ο **τύπος περιστροφικού υδραυλικού κινητήρα**. Σ' αυτόν ο άξονας ελέγχου της βαλβίδας στρέφεται από υδραυλικό κινητήρα, που συνδέεται στον άξονα ελέγχου της βαλβίδας (βάκτρο) με κατάλληλη διάταξη γραναζιών (σχ. 9.13β). Τοποθετείται στο κατάστρωμα πάνω απ' τη βαλβίδα κάθε δεξαμενής, ενώ για λόγους ασφαλείας σε κάθε υδραυλικό μηχανισμό κινήσεως εφαρμόζεται χειροσφόνδυλος για τον χειροκίνητο έλεγχο της βαλβίδας. Για περισσότερη ασφάλεια τοποθετείται επιπρόσθετα σε σειρά στον σωλήνα της δεξαμενής με την υδραυλική και μία χειροκίνητη βαλβίδα.



Σχ. 9.13α

Υδραυλικός μηχανισμός κινήσεως βαλβίδων με υδραυλικό κύλινδρο και έμβολο.



Σχ. 9.13β

Υδραυλικός μηχανισμός κινήσεως βαλβίδων τύπου περιστροφικού υδραυλικού κινητήρα.

Ο έλεγχος του υδραυλικού κυκλώματος επιτυγχάνεται με την πίεση ελαίου που αναπτύσσεται από κεντρική μονάδα ισχύος, η οποία αποτελείται από:

α) Τη δεξαμενή, που περιέχει το υδραυλικό έλαιο και δύο κατακόρυφες αντλίες που κινούνται εξωτερικά με ηλεκτροκινητήρες και

β) τις αντλίες, οι οποίες διατηρούν την πίεση στο υδραυλικό δίκτυο χειρισμού των βαλβίδων φορτίου για το άνοιγμα ή το κλείσιμό τους.

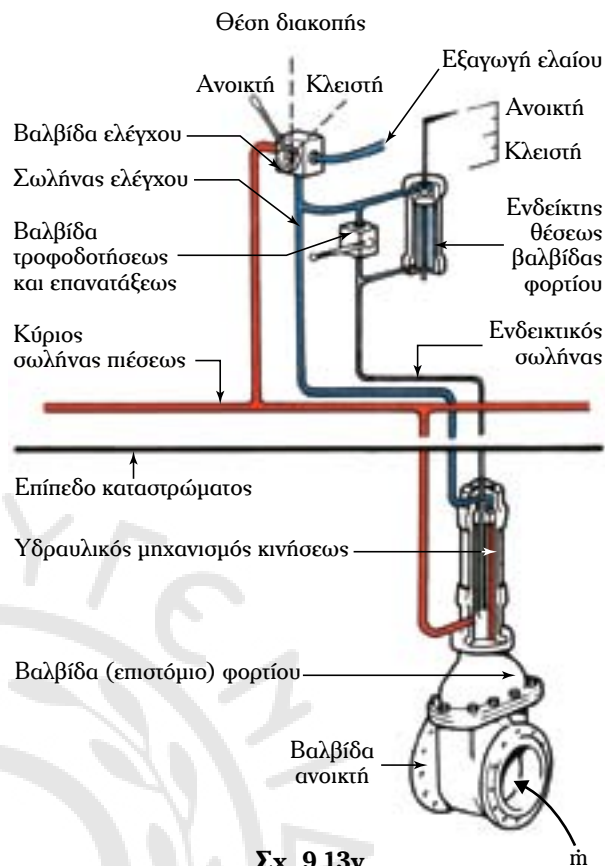
Η διανομή ελαίου για τη λειτουργία των υδραυλικών βαλβίδων των δεξαμενών, επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτροϋδραυλικών και πνευματικών βαλβίδων, που βρίσκονται συγκεντρωμένες στο δωμάτιο ελέγχου φορτίου του πλοίου ή κοντά σε αυτό. Ο έλεγχος αυτών των βαλβίδων πραγματοποιείται ηλεκτρικά με κατάλληλους ροοστάτες, που βρίσκονται στον πίνακα ελέγχου στο δωμάτιο ελέγχου φορτίου.

Η δεξαμενή του υδραυλικού ελαίου είναι εφοδιασμένη με σύστημα προειδοποίησης ανόδου ή πτώσεως της στάθμης και το σήμα μεταδίδεται ηλεκτρικά στο **δωμάτιο ελέγχου φορτίου** (cargo control room). Αντίστοιχα, ελέγχονται και οι ηλεκτροκινητήρες των αντλιών υδραυλικού ελαίου, οι οποίοι είναι δυνατόν να λειτουργούν μεμονωμένα ή παράλληλα.

Από τις ηλεκτροϋδραυλικές βαλβίδες ελέγχου αναπτύσσεται στο κατάστρωμα το υδραυλικό δίκτυο ελέγχου των βαλβίδων φορτίου των δεξαμενών.

Το δίκτυο είναι μεγάλο, ώστε η απόσταση του σημείου ελέγχου από τις βαλβίδες να δημιουργεί την ανάγκη υπάρξεως ενός συστήματος που θα παρέχει την ένδειξη της θέσεως των βαλβίδων στον χειριστή. Δηλαδή, να δείχνουν αν βρίσκονται στην τελείως ανοικτή ή κλειστή θέση ή σε κάποια ενδιάμεση θέση, επιτρέποντας την ανάλογη ροή του φορτίου. Ο απλούστερος τρόπος θα ήταν μία προέκταση του βάρκρου του εμβόλου, όμως αυτό δεν είναι πάντοτε δυνατό, εφόσον οι βαλβίδες βρίσκονται στον πυθμένα των δεξαμενών, ενώ οι μηχανισμοί κινήσεως σε διαφορετικές θέσεις. Έτσι, για την ένδειξη της θέσεως χρησιμοποιούνται υδραυλικά ή ηλεκτρικά μέσα ή πεπιεσμένος αέρας.

Στο σχήμα 9.13γ, παρουσιάζεται μία απλή υδραυλική διάταξη ελέγχου της θέσεως των βαλβίδων. Ανάλογα με τη θέση που επιλέγεται στο χειριστήριο, παρέχεται με πίεση υδραυλικό έλαιο στην κάτω ή στην επάνω πλευρά του εμβόλου κινήσεως της βαλβί-



Σχ. 9.13γ

Υδραυλικός μηχανισμός κινήσεως βαλβίδων.

δας. Αντίστοιχα, συνδέεται στο έμβολο ενδείκτης θέσεως ενσωματωμένος στο βάρκρο του εμβόλου, ώστε η ένδειξη να απεικονίζει τη θέση της βαλβίδας. Το έλαιο, καθώς μεταφέρεται στον πυθμένα του κυλίνδρου του ενδείκτη από τη σύνδεση με το έμβολο της βαλβίδας φορτίου, μετατοπίζει τον ενδείκτη ανάλογα με την κίνηση της βαλβίδας. Έτσι, παρουσιάζεται συνεχώς η ακριβής θέση της βαλβίδας, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται και η ταχύτητα λειτουργίας με την οποία μεταβάλλεται η θέση της βαλβίδας του φορτίου.

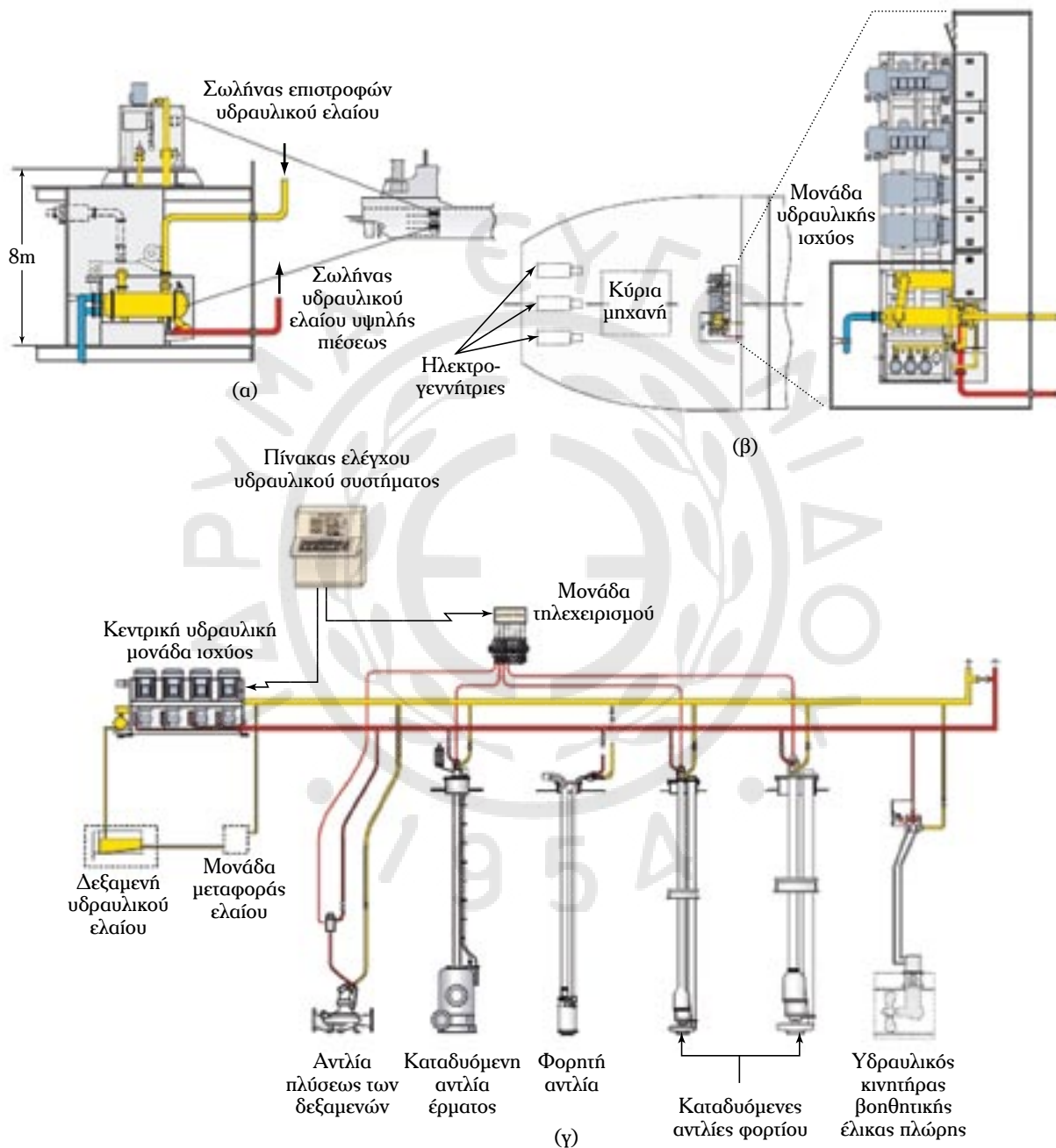
9.14 Συστήματα αντλήσεως στα χημικά Δ/Ξ.

Η αύξηση της ποσότητας μεταφοράς χύδην χημικών φορτίων, οδήγησε στην κατασκευή πλοίων με ειδικά χαρακτηριστικά, ούτως ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες χειρισμού αυτών των φορτίων. Τα χημικά Δ/Ξ συνήθως κατασκευάζονται σε μεγέθη που κυμαίνονται από 5.000–40.000 dwt. Οι δεξαμενές τους έχουν εσωτερική επίστρωση από ειδικά υλικά όπως **έποξυ φαινόλη**¹ (phenolic epoxy) ή

¹ Έποξυ φαινόλη: ονομάζεται η προστατευτική ρευστή επικάλυψη, που εφαρμόζεται ως μπογιά και όταν στεγνώσει παρέχει εξαιρετική αντίσταση σε ευρύ φάσμα διαλυτών, όπως αλκάλια, αιθρούς οξέων και χημικά διαλύματα.

μα 9.14γ(α), με την πίεση του υδραυλικού ελαίου να αναπτύσσεται από υδραυλική μονάδα κεντρικής ισχύος. Στις εγκαταστάσεις αντλιών με ηλεκτρικό κινητήρα τύπου Hamworthy [σχ. 9.14γ(β)], ο κινητήρας βρίσκεται εγκατεστημένος στο κατάστρωμα και συνδέεται με άξονα μεγάλου μήκους στην αντλία με εν-

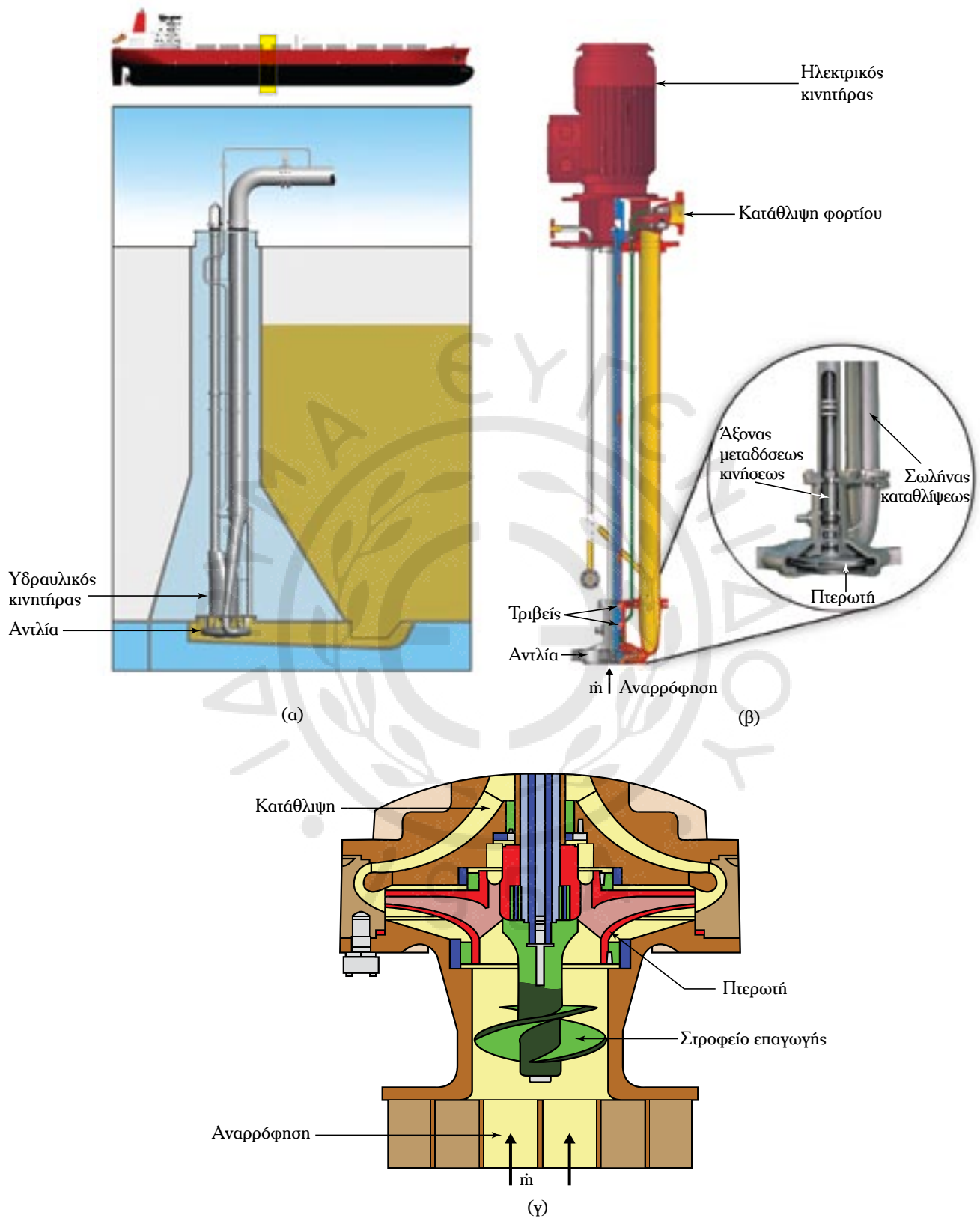
διάμεσους τριβείς και σημεία στηρίξεως μέσα σε ένα φρεάτιο. Οι αντλίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στροφεία, ενώ πριν το πρώτο στάδιο της αντλίας τοποθετείται ένα **στροφέιο επαγωγής**¹ (inducer impeller) [σχ. 9.14γ(γ)] για να μειώσει το καθαρό θετικό μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως της αντλίας.



Σχ. 9.14β

Διάταξη ουστήματος αντίλωσης Framo. (α) Η θέση της μονάδας ισχύος στο πλοίο, (β) οι μηχανισμοί αύξησης της υδραυλικής πίεσης και (γ) τυπική ανάπτυξη του δικτύου στο πλοίο.

¹ Στροφέιο επαγωγής (inducer impeller) ονομάζεται ένα βοηθητικό στροφέιο αξονικής ροής, που τοποθετείται μπροστά από την περωτή της αντλίας.



Σχ. 9.14γ

Αντλία βαθέος φρέατος. (α) Framo, (β) Hamworthy DL και (γ) αντλία με στροφέιο επαγωγής.

9.15 Σύστημα αδρανούς αερίου (inert gas system).

Η μεγάλη πτητικότητα των πετρελαιοειδών που μεταφέρονται από τα Δ/Ξ, όπως και η εξάτμιση του φορτίου λόγω θερμάνσεως σε ορισμένα από αυτά, δημιουργεί στον κλειστό χώρο της δεξαμενής πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου μείγμα ευφλέκτων αερίων. Η αναλογία του μείγματος κάτω από κατάλληλες προϋποθέσεις, όπως και η παρουσία πυροφορικού θείουχου σιδήρου (pyrophoric iron sulphide) μπορεί να προκαλέσει έκρηξη και πυρκαγιά με καταστροφικά αποτελέσματα.

Όπως ήδη γνωρίζουμε (παράγρ. 9.5), για να ξεκινήσει μια πυρκαγιά και να διατηρηθεί, θα πρέπει οπωσδήποτε να συνυπάρχουν ταυτόχρονα οξυγόνο, καύσιμο, κατάλληλη θερμοκρασία και η αλυσιδωτή αντίδραση. Αν ένα από αυτά τα στοιχεία απομακρυνθεί ή μειωθεί η αναλογία του, τότε η πιθανότητα εκρήξεως και πυρκαγιάς μειώνονται.

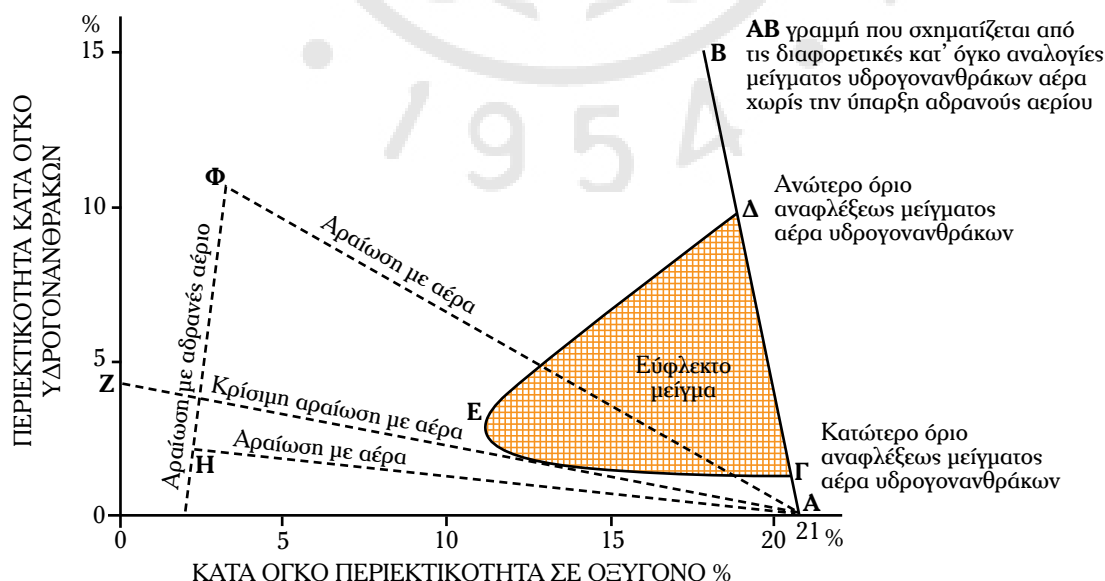
Θεωρητικά, οποιοδήποτε μείγμα με περιεκτικότητα σε οξυγόνο μικρότερη από 11,5% δεν είναι ικανό να υποστηρίξει καύση. Γι' αυτό η πρόληψη κινδύνων εκρήξεως και πυρκαγιάς στα Δ/Ξ επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ατμόσφαιρας των δεξαμενών. Η πρόληψη μίας πιθανής πυρκαγιάς επιτυγχάνεται με μείωση της αναλογίας του οξυγόνου στο μείγμα που υπάρχει στον χώρο των δεξαμενών επάνω από το φορτίο και την πλήρωσή του από αδρανές αέριο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κατά την εκφόρ-

τωση του πλοίου ή τη φόρτωση, όταν μεταβάλλεται ο ελεύθερος όγκος πάνω από την επιφάνεια του φορτίου στον χώρο της δεξαμενής, αλλά και κατά τη διάρκεια καθαρισμού της με crude oil washing ή την προετοιμασία για επιθεώρηση ή επισκευή της πριν τον εξαερισμό της. Έτσι η μία από τις πλευρές του τριγώνου πυρκαγιάς εξαλείφεται εκμηδενίζοντας τους προαναφερόμενους κινδύνους. Όσον αφορά στην παρουσία πυροφορικού θείουχου σιδήρου και την ικανότητά του να υποστεί οξείδωση στον ατμοσφαιρικό αέρα, αντιμετωπίζεται με τη συνεχή διατήρηση των αδρανοποιημένων δεξαμενών.

Οι πηγές αδρανούς αερίου μέσα σε ένα πλοίο είναι:

- α) Τα καυσαέρια των λεβήτων.
- β) Μία ανεξάρτητη γεννήτρια αδρανούς αερίου IGG (Inert Gas Generator).
- γ) Το σύστημα αδρανούς αερίου με παραγωγή αζώτου (N-generator).
- δ) Τα καυσαέρια της κύριας μηχανής ή τα καυσαέρια από έναν στρόβιλο με μετάκαυση, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται συχνά στα πλοία, λόγω της χαμηλής ποιότητας του αδρανούς αερίου που παράγεται και γι' αυτό δεν απαιτείται περαιτέρω ανάλυση.

Στο σχήμα 9.15α του διαγράμματος αναφλεξιμότητας ορίζεται η ασφαλής μετάβαση και η κατάσταση που επικρατεί μέσα στη δεξαμενή κατά τις μεταβολές στις αναλογίες των ευφλέκτων αερίων, του αδρανούς αερίου και του αέρα. Η γραμμή AB αντιπροσωπεύει την κατάσταση κατά την οποία δεν υπάρχει αδρανές



Σχ. 9.15α

Διάγραμμα αναφλεξιμότητας.

αέριο και η περιεκτικότητα του οξυγόνου είναι 21% κατ' όγκο του αερίου, όση δηλαδή είναι και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η περιοχή αριστερά της γραμμής AB, που είναι σκιασμένη, αντιπροσωπεύει την περιοχή, όπου το μείγμα είναι εύφλεκτο. Το μείγμα της γραμμής AB αποτελείται από εύφλεκτα αέρια υδρογονανθράκων και αέρα, ενώ η αριστερή κλίση της γραμμής AB δείχνει τη μείωση της περιεκτικότητας οξυγόνου, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα υδρογονανθράκων. Η περιοχή αναφλέξεως στην κατάσταση αυτή ορίζεται μεταξύ των σημείων Γ και Δ, ενώ οποιοδήποτε σημείο έξω απ' αυτό το τμήμα είναι ασφαλές. Τα σημεία Γ και Δ αντιπροσωπεύουν το Κατώτερο Όριο Ευφλεκτότητας (LFL) με 1,7% και το Ανώτερο Όριο Ευφλεκτότητας (UFL) με 10% κατ' όγκο περιεκτικότητας υδρογονανθράκων αντίστοιχα.

Με την εισαγωγή του αδρανούς αερίου στη δεξαμενή η κατάσταση μεταβάλλεται και αντιπροσωπεύεται από την περιοχή αριστερά της γραμμής AB. Τότε, με την αύξηση της περιεκτικότητας του αδρανούς αερίου στη δεξαμενή, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μειώνεται, με ανάλογη μείωση στο εύρος της περιοχής αναφλέξεως. Το Κατώτερο Όριο Αναφλέξεως κινείται κατά μήκος της γραμμής ΓΕ, ενώ το ανώτερο όριο κινείται πάνω στη γραμμή ΔΕ και μειώνεται με ταχύ ρυθμό, όπως φαίνεται από την κλίση της γραμμής ΔΕ στο διάγραμμα. Οι δύο αυτές γραμμές τελικά συναντώνται στο σημείο Ε, όπου παρατηρείται η μικρότερη περιεκτικότητα σε ατμοσφαιρικό οξυγόνο 11% κατ' όγκο.

Οποιαδήποτε μεταβολή στη σύσταση του μείγματος, είτε αυξάνεται είτε μειώνεται κάποιο στοιχείο, απεικονίζεται με τις διακεκομμένες γραμμές ΑΦ, ΑΖ, ΑΗ και ΦΗ. Το σημείο Α αντιπροσωπεύει το σημείο όταν μέσα στη δεξαμενή υπάρχει μόνο αέρας, χωρίς την παρουσία μείγματος υδρογονανθράκων ή αδρανούς αερίου. Το ασφαλέστερο σημείο αντιπροσωπεύεται από το σημείο Φ, όταν μέσα στη δεξαμενή υπάρχει μόνο αδρανές αέριο, ενώ η μετάβαση σε μία άλλη κατάσταση πραγματοποιείται προς το σημείο Α. Όταν η μετάβαση από την κατάσταση της αδρανοποιημένης δεξαμενής (σημείο Φ) πραγματοποιείται πάνω στην ευθεία ΦΑ, διέρχεται μέσα από την επικίνδυνη περιοχή αναφλέξεως και πρέπει να αποφεύγεται. Η ασφαλής μετάβαση από το Φ στο σημείο Α πραγματοποιείται μέσω του σημείου Η, που επιτυγχάνεται με την παροχή επί πλέον ποσότητας αδρανούς αερίου μέσα στη δεξαμενή. Μέσω αυτής της διαδρομής παρακάμπτεται η εύφλε-

κτη περιοχή και η διαδικασία ονομάζεται **εκκαθάριση** (purging). Αντίστοιχα, τα μείγματα κάτω από τη γραμμή ΑΖ, όπως αυτά που αντιπροσωπεύονται από το σημείο Η, δεν γίνονται εύφλεκτα με διάλυση επί πλέον ποσότητας ατμοσφαιρικού αέρα.

Ένα σύστημα αδρανούς αερίου πρέπει να έχει την δυνατότητα:

α) Της αδρανοποίησης κενών δεξαμενών φορτίου, μειώνοντας την περιεκτικότητα σε οξυγόνο στην ατμόσφαιρα κάθε δεξαμενής, σε επίπεδο που δεν υποστηρίζεται η καύση.

β) Της διατήρησης της ατμόσφαιρας στη δεξαμενή του φορτίου σε θετική πίεση και με περιεκτικότητα σε οξυγόνο μικρότερη του 8% κατ' όγκο σε οποιοδήποτε σημείο της δεξαμενής φορτίου και των δεξαμενών καταλοίπων.

γ) Της εκκαθάρισης κενών δεξαμενών φορτίου από αέρια υδρογονανθράκων, ώστε οι επόμενες λειτουργίες για τον εξαερισμό τους να μην δημιουργούν εύφλεκτα ατμόσφαιρα σε αυτές.

δ) Της παροχής αδρανούς αερίου στις δεξαμενές με ρυθμό τουλάχιστον 1,25% του μέγιστου ποσοστού του ρυθμού εκφορτώσεως του πλοίου εκφρασμένο σε όγκο.

ε) Της παροχής αδρανούς αερίου στον κύριο αγωγό προς τις δεξαμενές, σε κάθε απαιτούμενη ταχύτητα ροής εκφορτώσεως, με περιεκτικότητα σε οξυγόνο που δεν υπερβαίνει το 5% κατ' όγκο και τέλος

στ) της διατήρησης θετικής πίεσεως του αερίου μέσα στις δεξαμενές πάνω από 100 mm H₂O.

9.15.1 Σύστημα αδρανούς αερίου με καυσαέρια λεβήτων.

Τα καυσαέρια από την καύση του πετρελαίου στον λέβητα αποτελούν ανεπεξέργαστα αδρανή αέρια που είναι ζεστά και περιέχουν αιθάλη, οξειδία του θείου, θειώδες οξύ και θειικό οξύ. Συγκεκριμένα, έχουν μέση σύνθεση 12–14% CO₂, 3–4% O₂, 0,2–0,3% SO₂ και SO₃, ενώ το υπόλοιπο 77% είναι άζωτο (N₂) και σωματίδια 150 mg/m³ με θερμοκρασία 170 °C. Η σύνθεση αυτή παρέχει αδρανές αέριο, που είναι άμεσα διαθέσιμο στο πλοίο εμποδίζοντας την καύση και την έκρηξη. Όμως τα καυσαέρια με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να είναι επιβλαβή όταν έρθουν σε επαφή με το φορτίο και τις δεξαμενές. Για να χρησιμοποιηθούν, η μόνη απαίτηση είναι ένα σύστημα για την ψύξη και τον καθαρισμό των καυσαερίων πριν αυτά οδηγηθούν στις δεξαμενές.

Το σύστημα ψύξεως καθαρισμού και διανομής του αδρανούς αερίου, αποτελεί το Inert Gas System (σχ. 9.15β και 9.15γ) και περιέχει:

α) Τη βαλβίδα απαγωγής καυσαερίων από τον οχετό εξαγωγής του λέβητα (uptake valve) [σχ. 9.15β(1)].

β) Τον πύργο καθαρισμού και ψύξεως (scrubber), όπου με τη διέλευση των καυσαερίων απομακρύνονται τα σωματίδια από υπολείμματα καύσεως [σχ. 9.15β(2)].

γ) Τους ανεμιστήρες του αδρανούς αερίου (inert gas fans), που είναι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες, και την περωτή, η οποία κατασκευάζεται από κράμα χρωμίου και ανοξείδωτου χάλυβα. Με τα παραπάνω προλαμβάνεται η διάβρωση της περωτής και τα προβλήματα κραδασμών που θα δημιουργούσε η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής που αναπτύσσεται από τον ανεμιστήρα [σχ. 9.15β(3)].

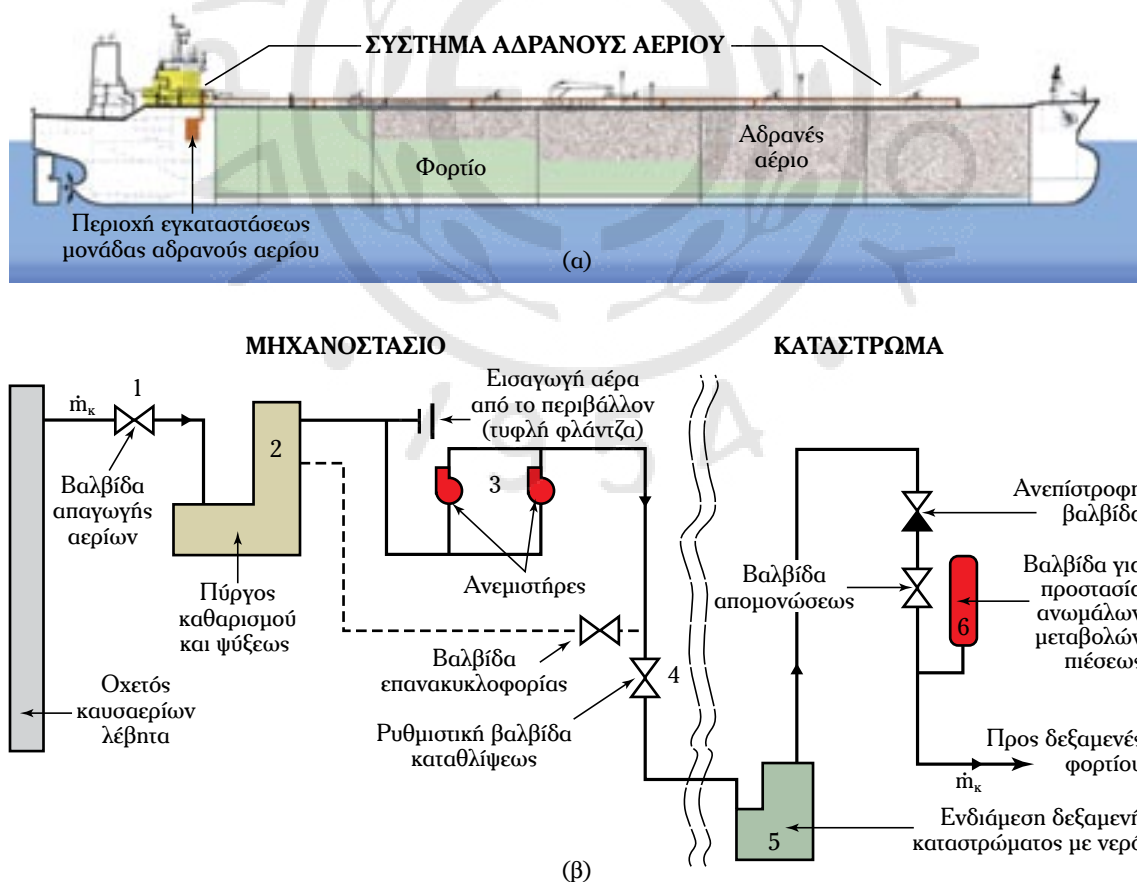
δ) Τις αυτόματες βαλβίδες καταθλίψεως του αδρανούς αερίου στο δίκτυο καταστρώματος προς τις δεξαμενές [σχ. 9.15β(4)].

ε) Τον μετρητή περιεκτικότητας οξυγόνου στο αέριο (oxygen analyzer).

στ) Την ενδιάμεση δεξαμενή νερού του καταστρώματος (deck seal), που εξασφαλίζει τη ροή του αδρανούς αερίου προς τις δεξαμενές αποτρέποντας την επιστροφή του ή την διέλευση επικινδύνων αερίων του φορτίου όταν διακοπεί η λειτουργία των ανεμιστήρων [σχ. 9.15β(5)].

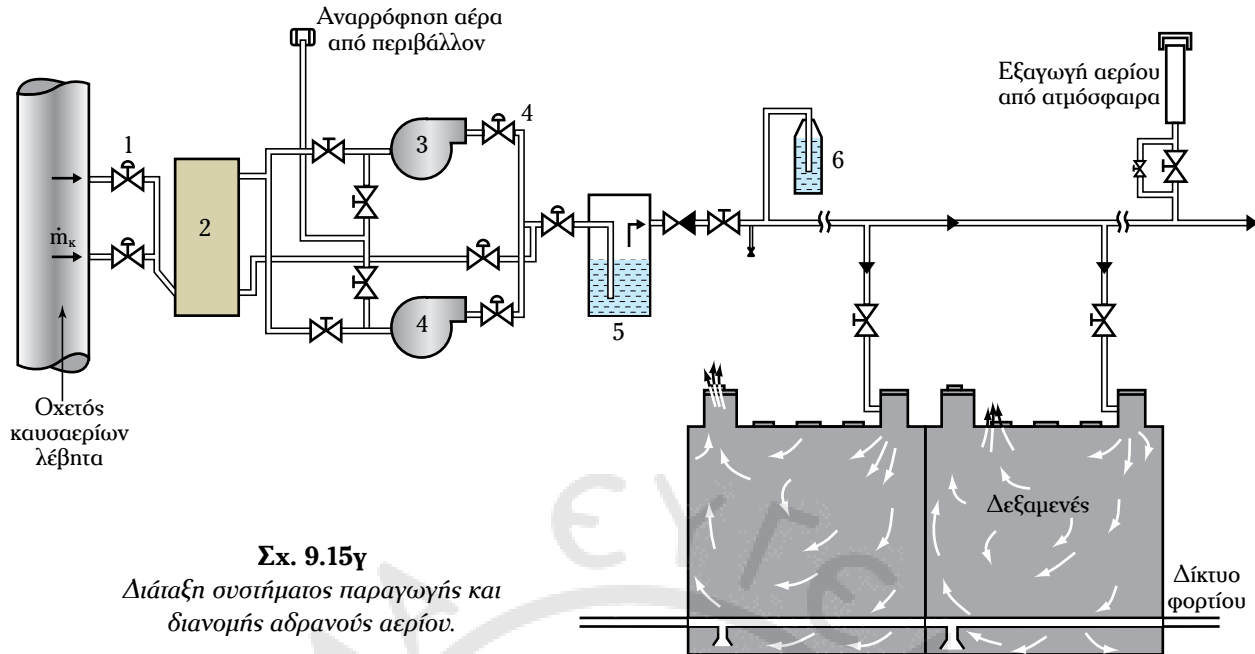
ζ) Τη βαλβίδα για προστασία ανωμάτων μεταβολών πίεσης (P/V breaker), που τοποθετείται στον κύριο αγωγό του αδρανούς αερίου και προστατεύει τις δεξαμενές από ανώμαλες μεταβολές στην πίεση και στην υποπίεση σε περίπτωση διακοπής της παραγωγής αδρανούς αερίου κατά την εκφόρτωση ή την αύξηση της πίεσης κατά τη φόρτωση [σχ. 9.15β(6)].

η) Τον πίνακα ελέγχου, που διαθέτει τους διακόπτες ελέγχου λειτουργίας του συστήματος και τους μηχανισμούς προειδοποιήσεως ανωμαλίας κατά τη λειτουργία (alarms) με τις ανάλογες ενδεικτικές λυχνίες.



Σχ. 9.15β

Τυπική διάταξη αδρανούς αερίου.



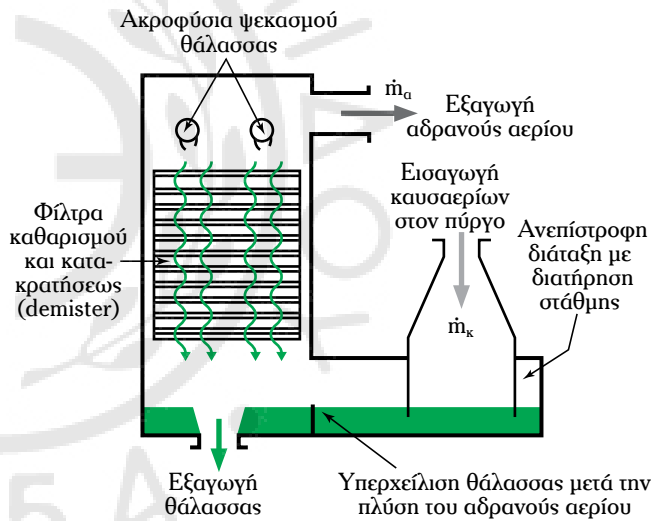
Σχ. 9.15γ

Διάταξη ουσίτηματος παραγωγής και διανομής αδρανούς αερίου.

θ) Την αντλία παροχής θαλάσσης στον πύργο πλύσεως και καθαρισμού καυσαερίων.

Με τη λειτουργία του συστήματος, τα καυσαέρια από τον λέβητα εισέρχονται στον πύργο (scrubber). Ο πύργος αποτελείται από τον οχετό εισαγωγής του καυσαερίου, το δοχείο (water seal) που σχηματίζεται μέσα στον πύργο και περιέχει θάλασσα, τα ακροφύσια ψεκασμού θάλασσας, τα φίλτρα καθαρισμού και κατακρατήσεως σωματιδίων και υγρασίας, ενώ στο τέλος καταλήγει σε έναν οχετό από τον οποίο εξέρχεται το αδρανές αέριο. Με την είσοδο του αερίου μέσω δοχείου νερού (water seal), και καθώς αυτό διέρχεται από τον πύργο, το διοξείδιο του θείου μειώνεται με τη συνεχή παροχή θαλασσινού νερού, που ψεκάζεται από τα ακροφύσια. Η περιεκτικότητα στο αέριο του διοξειδίου του θείου μειώνεται σε μικρότερη του 10%, ενώ την ίδια στιγμή το αέριο ψύχεται από το θαλασσινό νερό φτάνοντας σε θερμοκρασία τους 60–70 °C. Στη συνέχεια, διέρχεται από φίλτρα πολυπροπυλενίου (demisters), που συγκρατούν την υγρασία. Τα συγκεντρωμένα υγρά των φίλτρων επιστρέφουν στον πυθμένα του πύργου καθαρισμού, απ' όπου απομακρύνονται συνεχώς με κατάλληλη διάταξη υπερχειλίσεως (σχ. 9.15δ).

Στην εξαγωγή του αδρανούς αερίου η θερμοκρασία του φτάνει τους 5 °C πάνω από τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού που το περιβάλλει. Σε συνέχεια του πύργου πιθανόν να υπάρχει και διάταξη σωλήνα τύπου Venturi με σκοπό την περαιτέρω



Σχ. 9.15δ

Πύργος αδρανούς αερίου.

απομάκρυνση της υγρασίας από το αδρανές αέριο.

Η σύνθεση του αδρανούς αερίου στην εξαγωγή του πύργου (scrubber) είναι 13% CO₂, 4% O₂, το υπόλοιπο άζωτο (N) και ατμοί νερού. Μικρότερες τιμές στην περιεκτικότητα οξυγόνου στο αδρανές αέριο επιτυγχάνονται με τον έλεγχο της καύσεως που πραγματοποιείται στον λέβητα και μπορεί να φτάσει το 3,5% O₂. Χαμηλότερες τιμές στην περιεκτικότητα του οξυγόνου οφείλονται σε μείωση του αέρα και ατελή καύση του πετρελαίου στον λέβητα, αλλά έτσι δημιουργούνται επικαθίσεις άκαυστου πετρελαίου

στις επιφάνειες της εστίας του λέβητα και ανωμαλίες κατά τη λειτουργία του.

Στη συνέχεια, το αδρανές αέριο μέσω των ανεμιστήρων καταθλίβεται στον αγωγό, που οδηγεί στο καταστρώμα (σχ. 9.15γ). Η παροχή των ανεμιστήρων είναι τόσο, ώστε η πίεση μέσα στις δεξαμενές να είναι ανώτερη της ατμοσφαιρικής, με μέγιστη από 1250 έως 1500 mm H₂O. Το αδρανές αέριο, στη διαδρομή προς το δίκτυο του καταστρώματος, διέρχεται από τη δεξαμενή νερού (deck seal), που εμποδίζει την επιστροφή ευφλέκτων αερίων από τους χώρους των δεξαμενών φορτίου στους ανεμιστήρες. Η δεξαμενή αυτή, σε πλοία που ταξιδεύουν σε περιοχές με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, εφοδιάζεται με δίκτυο προθερμάνσεως, εξασφαλίζοντας την ροή του αερίου μέσω της δεξαμενής νερού και κατ' επέκταση την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Οι σερπαντίνες (στοιχεία σωλήνων) του δικτύου προθερμάνσεως διαρρέονται με ατμό.

Σε δείγμα από το καθαρό αδρανές αέριο που παράγεται, πραγματοποιείται συνεχής έλεγχος για την περιεκτικότητά του σε O₂. Όταν αυτό υπερβεί τα όρια που τίθενται στη ρυθμιστική διάταξη ανάλυσης αερίου (oxygen analyser), οδηγείται μέσω τριόδου βαλβίδας στην ατμόσφαιρα. Έτσι προλαμβάνεται η μόλυνση του αερίου, που παρέχεται στις δεξαμενές από αέριο με υψηλή περιεκτικότητα σε O₂. Όταν πληρούνται οι επιθυμητές τιμές, η τριόδος βαλβίδα οδηγεί ξανά το αέριο στη δεξαμενή νερού και στη συνέχεια μέσω του κύριου αγωγού παροχής αδρανούς αερίου, στις δεξαμενές.

Το σύστημα αδρανούς αερίου λειτουργεί συνεχώς κατά την εκφόρτωση του πλοίου για την πλήρωση των δεξαμενών, διατηρώντας την πίεσή τους σε επιθυμητά επίπεδα, ανεξάρτητα από τον ρυθμό εκφορτώσεως. Κατά την φόρτωση, οι δεξαμενές είναι συνήθως υπό πίεση και γεμάτες με αδρανές

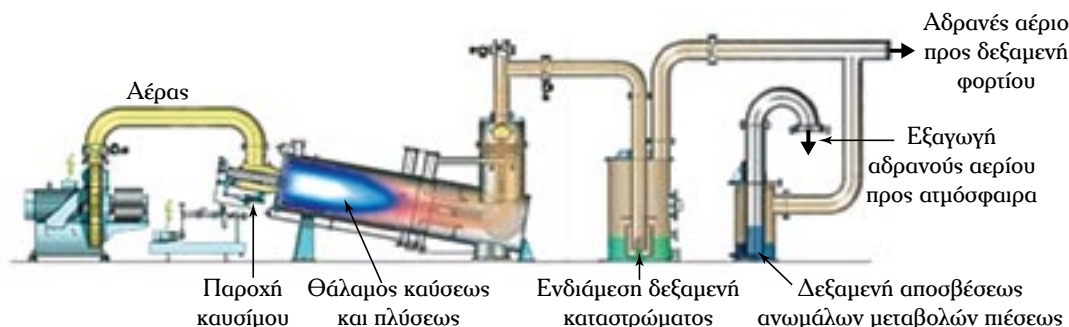
αέριο. Με την εισαγωγή του φορτίου η πίεση του αερίου αυξάνεται και διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα, με την εκτόνωση του αερίου στην ατμόσφαιρα ή μέσω δικτύου αερίων σε εγκαταστάσεις υποδοχής στην ξηρά. Η εκτόνωση πραγματοποιείται μέσω βαλβίδων, που είναι εγκατεστημένες στις δεξαμενές π.χ. τύπου iota valves (παράγρ. 9.11), οι οποίες κλείνονται μετά το πέρας της φορτώσεως.

Η τιμή της πίεσεως του αερίου διατηρείται μετά τη φόρτωση είτε με την παροχή νέας ποσότητας αδρανούς αερίου, είτε με εξαγωγή, διότι οι μεταβολές στη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού έχουν ως αποτέλεσμα την πτώση ή την αύξηση της πίεσεώς του στις δεξαμενές. Τα επιθυμητά επίπεδα διατηρήσεως της πίεσεως κυμαίνονται από 250 έως 750 mm H₂O (1 mm H₂O = 0,073556 mm Hg = 9,80665 Pa). Γι' αυτό, σε περίπτωση μείωσης νέα ποσότητα συμπληρώνεται, ενώ όταν αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σε θερμά κλίματα, η εκτόνωση πραγματοποιείται μέσω βαλβίδων στην ατμόσφαιρα.

9.15.2 Ανεξάρτητη γεννήτρια αδρανούς αερίου (inert gas generator).

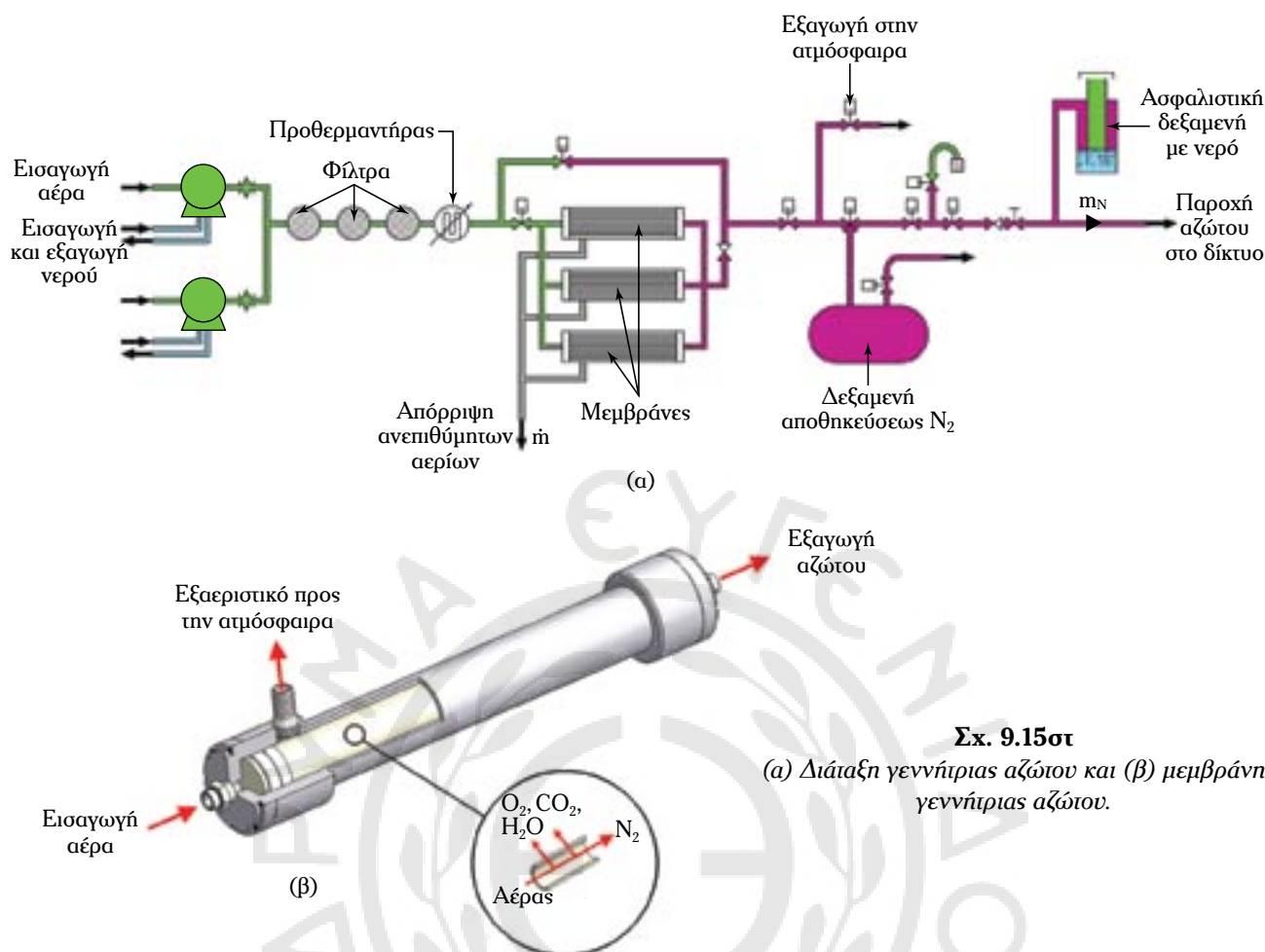
Στα Δ/Ξ, όταν οι λέβητες έχουν βοηθητικό χαρακτήρα, όπως στα χημικά Δ/Ξ, όπου οι αντλίες φορτίου κινούνται με υδραυλικό σύστημα ή για την πλήρωση δεξαμενών χωρίς τη χρήση των καυσαερίων του λέβητα όταν προβλέπεται από τον κατασκευαστή, η παραγωγή αδρανούς αερίου πραγματοποιείται από ανεξάρτητες γεννήτριες.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργική διαδικασία είναι η ίδια με τα συστήματα αδρανούς αερίου που χρησιμοποιούν τα καυσαέρια, τα οποία παράγονται από μεγάλους λέβητες. Η διαφορά των γεννητριών αδρανούς αερίου είναι ότι η καύση για την παραγωγή του αδρανούς αερίου πραγματοποιείται από ένα ενιαίο σύστημα (σχ. 9.15ε).



Σχ. 9.15ε

Διάταξη γεννήτριας αδρανούς αερίου.



Σχ. 9.15στ
(α) Διάταξη γεννήτριας αζώτου και (β) μεμβράνη γεννήτριας αζώτου.

Ο αέρας για την καύση παρέχεται απ' τον ανεμιστήρα δημιουργώντας και την πίεση που οδηγεί το αέριο στις δεξαμενές. Η εισαγωγή του αέρα μαζί με τον καυστήρα πετρελαίου τοποθετούνται στο κέλυφος της μονάδας. Με τον διασκορπισμό και την καύση παράγονται καυσαέρια, που οδηγούνται προς την έξοδο από τον θάλαμο καύσεως, πλένονται και ταυτόχρονα ψύχονται με ψεκασμό θαλασσινού νερού από ακροφύσια. Η θάλασσα παρέχεται στη μονάδα από ιδιαίτερη αντλία, την αντλία πλύσεως (scrubber) και το θαλασσινό νερό εξέρχεται στο τέλος του αγωγού, παρασύροντας τα υπολείμματα καύσεως εκτός πλοίου. Στις γεννήτριες αδρανούς αερίου το καύσιμο μπορεί να είναι ντίζελ, αργό πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, το οποίο ψεκάζεται από καυστήρα στον θάλαμο καύσεως. Από την εξαγωγή της γεννήτριας το αδρανές αέριο οδηγείται στη δεξαμενή νερού στο κατάστρωμα, που αποτελεί την ασφαλιστική διάταξη ροής του αερίου και στη συνέχεια στους αγωγούς αδρανούς αερίου των δεξαμενών φορτίου.

9.15.3 Σύστημα αδρανούς αερίου με παραγωγή αζώτου.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα παραγωγής αζώτου (N_2), που παρέχουν αδρανές αέριο, καθαρό και ελεύθερο από υγρασία. Η απαγωγή της υγρασίας απ' το παραγόμενο αέριο επιτυγχάνεται με την προσθήκη αφυγραντήρων στο σύστημα.

Η παραγωγή του αζώτου πραγματοποιείται μέσα σε συστήματα μεμβράνης, που αποτελούνται από ινώδη πολυμερή. Η λειτουργία του βασίζεται στο δεδομένο ότι ο αέρας αποτελείται από διάφορα συστατικά, καθένα απ' τα οποία διαπερνά τη μεμβράνη με διαφορετικό ρυθμό. Έτσι, η παραγωγή του αζώτου βασίζεται στη διάχυση του αέρα μέσα από μεμβράνες στη βέλπιστα πίεση και θερμοκρασία (σχ. 9.15στ). Τότε, συστατικά όπως το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί διαπερνούν τη μεμβράνη στην πλευρά της χαμηλής πίεσεως και καταθλίβονται μέσω εξαεριστικών με ασφάλεια στην

ατμόσφαιρα. Αντίθετα, το άζωτο και το αργό παραμένουν στην πλευρά της μεμβράνης με την υψηλή πίεση και καταθλίβονται ως αέριο άζωτο στο δίκτυο των δεξαμενών.

9.16 Καθαρισμός δεξαμενών φορτίου Δ/Ξ.

Στις δεξαμενές των πλοίων, μεταφέρονται διάφορα είδη φορτίων με ιδιαίτερα το κάθε ένα χαρακτηριστικά. Για τη διατήρηση αυτών των χαρακτηριστικών και προς αποφυγή της μόλυνσεως του νέου φορτίου από το προηγούμενο, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός των δεξαμενών. Καθαρισμός επίσης μπορεί να πραγματοποιείται με σκοπό την επιθεώρηση μίας δεξαμενής, τη μεταφορά καθαρότερου φορτίου, την προετοιμασία ενός πλοίου για επισκευή κ.λπ.. Ο καθαρισμός των δεξαμενών είναι δυνατόν να μην χρειάζεται, εάν οι οδηγίες των ναυλωτών είναι τέτοιες, στην περίπτωση που το φορτίο προς φόρτωση είναι συμβατό με το προηγούμενο.

Οι **μέθοδοι καθαρισμού** που ακολουθούνται, εξαρτώνται από τα μέσα που διατίθενται στον εξοπλισμό του πλοίου και το είδος του φορτίου που είχε μεταφερθεί στο προηγούμενο ταξίδι. Ένας καθαρισμός μπορεί να πραγματοποιείται:

α) Με **θαλασσινό νερό, ζεστό ή κρύο** και ονομάζεται **καθαρισμός δεξαμενών Butterworth** (Tank Cleaning Butterworth).

β) Με **αργό πετρέλαιο**, χρησιμοποιώντας το ίδιο το φορτίο, που ονομάζεται **μέθοδος πλύσεως με αργό πετρέλαιο** (Crude Oil Washing – COW).

γ) Με **γλυκό νερό** (flushing).

9.16.1 Μέθοδος καθαρισμού Butterworth.

Το πρώτο σύστημα καθαρισμού δεξαμενών που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό με τη μέθοδο Butterworth. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα μηχανήματα καθαρισμού, τον θερμαντήρα του θαλασσινού νερού και την αντλία.

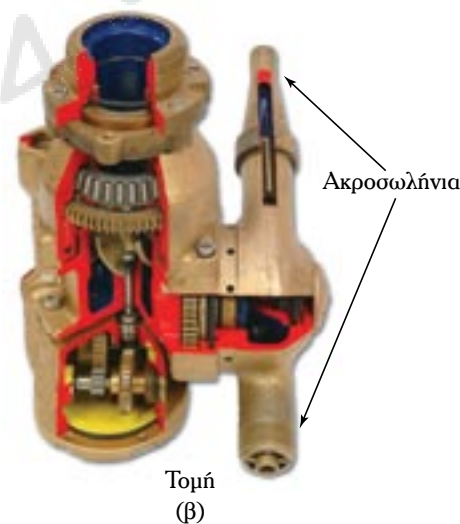
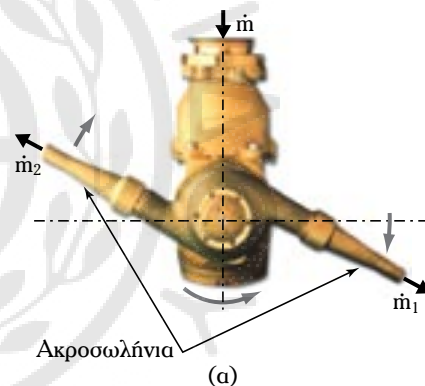
Ο καθαρισμός των δεξαμενών πραγματοποιείται μετά την αδρανοποίηση της δεξαμενής και στη συνέχεια τον καλό εξαερισμό τους, αποκλείοντας την πιθανότητα εκρήξεως ή άλλου ατυχήματος.

Για την πλύση των δεξαμενών χρησιμοποιείται θάλασσα, η οποία θερμαίνεται στον προθερμαντήρα που συνήθως είναι τοποθετημένος στο αντλιοστάσιο. Η προθέρμανση της θάλασσας επιτυγχάνεται με ατμό από τον λέβητα, μέσω δικτύου εφοδιασμένου με ρυθμιστική βαλβίδα παροχής ατμού για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπε-

δα. Ο τύπος του εναλλακτήρα θερμότητας που χρησιμοποιείται είναι με αυλούς. Από τον εναλλακτήρα το ζεστό θαλασσινό νερό παρέχεται στο δίκτυο του καταστρώματος απ' όπου οδηγείται στα μόνιμα μηχανήματα καθαρισμού των δεξαμενών ή στις λήψεις που διαθέτει το δίκτυο για την εγκατάσταση φορτιών μηχανημάτων καθαρισμού. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η απομόνωση του δικτύου πρέπει να γίνονται σταδιακά, για να αποφεύγονται οι τάσεις που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στα εξαρτήματα του δικτύου.

Τα μηχανήματα καθαρισμού Butterworth (σχ. 9.16α) αποτελούνται από δύο ή τρία ακροσωλήνια, που περιστρέφονται γύρω από τον οριζόντιο και τον κάθετο άξονα του σώματος του μηχανήματος αλλάζοντας συνεχώς θέση, ώστε το νερό να εκτοξεύεται με πίεση μέσα στη δεξαμενή.

Το νερό πέφτει απευθείας ή με αντανάκλαση στις επιφάνειες της δεξαμενής, απομακρύνοντας το φορτίο που υπάρχει στα τοιχώματα, ενώ το μείγμα φορ-



Σχ. 9.16α

Μηχάνημα καθαρισμού Butterworth.

τίου και θαλασσινού νερού συλλέγεται στον πυθμένα της δεξαμενής. Ό,τι συλλέγεται στον πυθμένα απομακρύνεται συνεχώς με αντλία και οδηγείται στη δεξαμενή καταλοίπων.

Τα μηχανήματα καθαρισμού μπορεί να είναι μόνιμα εγκατεστημένα στις δεξαμενές και να συνδέονται με σωλήνα στο δίκτυο παροχής της θάλασσας, που εγκαθίσταται στο κατάστρωμα, ή φορητά, που εισάγονται από ειδική θυρίδα στην κορυφή της δεξαμενής και συνδέονται στο δίκτυο παροχής της θάλασσας με ελαστικούς σωλήνες.

Το νερό, για τον αποτελεσματικό καθαρισμό, θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, που πλησιάζει το σημείο βρασμού και η πίεση που εκτοξεύεται πρέπει είναι υψηλή, φτάνοντας τα 14 kg/cm^2 . Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού πλύσεως επιτυγχάνεται από εναλλακτήρα θερμότητας, με ικανότητα να θερμαίνει τη μέγιστη ποσότητα θάλασσας, που καταθλίβεται από την αντλία σε θερμοκρασία έως 89°C .

Ο εναλλακτήρας είναι αυλωτού τύπου υψηλής πίεσεως, και οι αυλοί και οι αυλοφόρες πλάκες κατασκευάζονται από ανθεκτικό υλικό στη διάβρωση. Σε δίκτυα ατμού για την προθέρμανση της θάλασσας, χρησιμοποιείται η θερμότητα από τη συμπύκνωση του ατμού στο ψυγείο υγρών, επιτυγχάνοντας μεγάλη οικονομία στη λειτουργία του συστήματος.

Η αντλία για την παροχή της θάλασσας μπορεί να εξυπηρετεί μόνο το σύστημα καθαρισμού ή εναλλακτικά να χρησιμοποιείται η αντλία πυρκαγιάς. Για την προστασία του συστήματος υπάρχει ρυθμιστής στάθμης υγρού στον θερμαντήρα και ασφαλιστικό στην αντλία Butterworth ή στο δίκτυο, ρυθμιζόμενο να ανοίγει όταν η πίεση υπερβεί τα $14,7 \text{ kg/cm}^2$.

Το μείγμα που συλλέγεται στις δεξαμενές καταλοίπων παραμένει εκεί μέχρι να διαχωριστεί το νερό από το πετρέλαιο. Το καθαρό νερό αποβάλλεται στη θάλασσα μέσω του συστήματος **Ελέγχου Περιεκτικότητας Ελαίου** (Oil Detection Monitor – ODM), ενώ το υπόλοιπο μείγμα, με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πετρέλαιο, παραμένει στις δεξαμενές καταλοίπων του πλοίου και παραδίδεται στις εγκαταστάσεις ξηράς για περαιτέρω επεξεργασία.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου καθαρισμού με τη χρήση θάλασσας είναι:

α) Το κόστος, διότι ο χρόνος που απαιτείται για το πλύσιμο κάθε δεξαμενής είναι μεγαλύτερος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου.

β) Η πιθανότητα ρυπάνσεως του περιβάλλοντος, εφόσον οι ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται είναι μεγάλες.

γ) Η αυξημένη διάβρωση, που προκαλεί η εκτεταμένη χρήση του θαλασσινού νερού.

δ) Η μείωση της ωφέλιμης μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, λόγω της μεγαλύτερης συγκεντρώσεως καταλοίπων.

ε) Η κατάθλιψη μεγάλης ποσότητας θάλασσας με τα κατάλοιπα στα διυλιστήρια.

στ) Ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται στην προετοιμασία των δεξαμενών του πλοίου, για επισκευή ή για οποιαδήποτε εργασία πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Με την αύξηση του μεγέθους των Δ/Ξ και τους αυστηρούς κανονισμούς που τέθηκαν σε ισχύ για την αντιμετώπιση της ρυπάνσεως του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η μέθοδος πλύσεως με τη χρήση θάλασσας περιορίστηκε και αντικαταστάθηκε από την πλύση με αργό πετρέλαιο, που αποτελεί μια βελτιωμένη μέθοδο καθαρισμού.

9.16.2 Η μέθοδος πλύσεως με αργό πετρέλαιο.

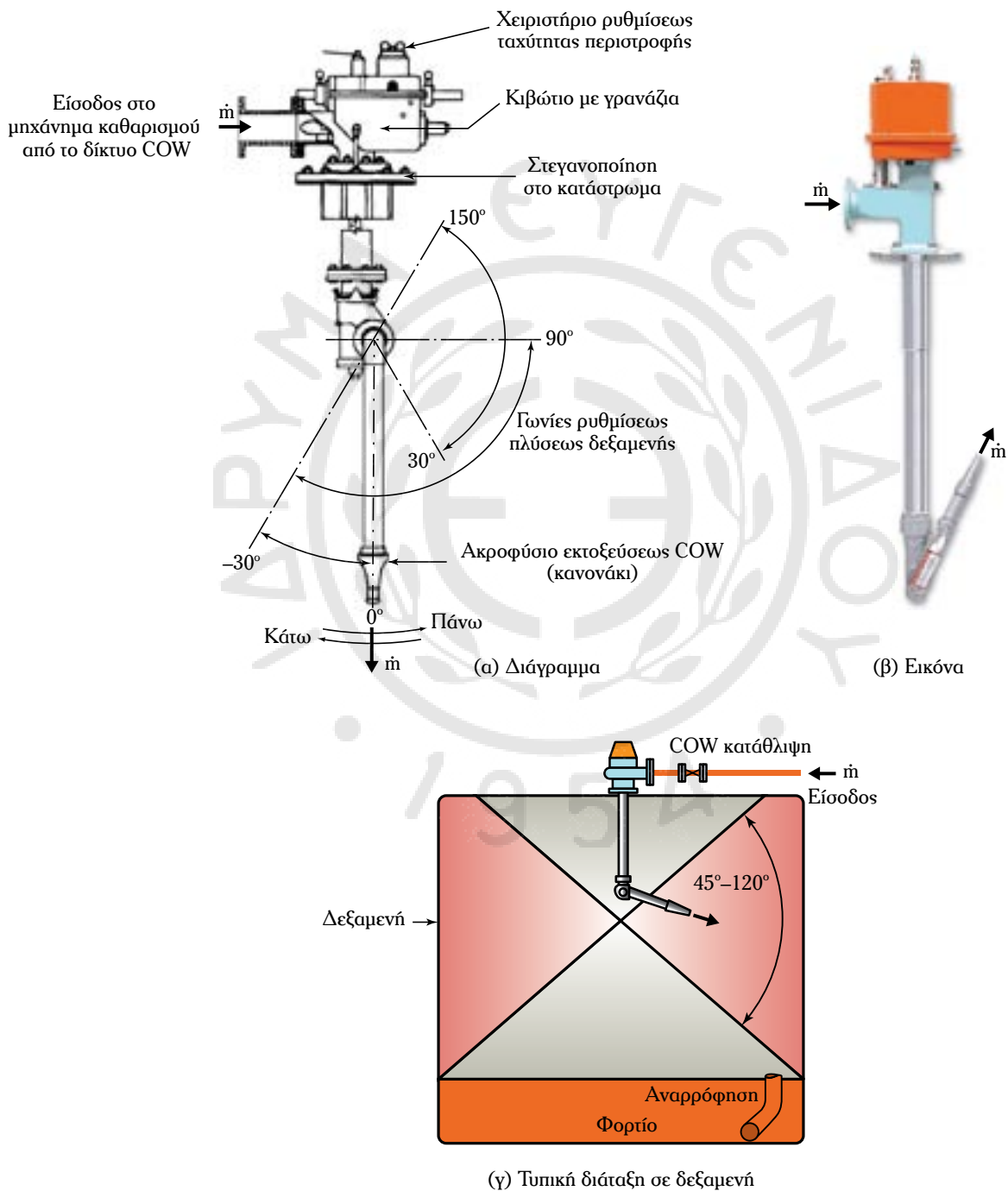
Με τη **μέθοδο πλύσεως με αργό πετρέλαιο** (Crude Oil Washing – COW) δεν χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό στα μηχανήματα καθαρισμού της δεξαμενής, αλλά αργό πετρέλαιο, δηλαδή το ίδιο το φορτίο (σχ. 9.16β). Η εφαρμογή της ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '70 και κατέστη υποχρεωτική για τα νέα Δ/Ξ από τη ΔΣ MARPOL του 1978.

Στην πλύση με αργό πετρέλαιο, το ίδιο το φορτίο εκτοξεύεται από τα μηχανήματα καθαρισμού στα τοιχώματα της δεξαμενής κατά τη διάρκεια της εκφορτώσεως σταδιακά στις επιφάνειες που αποκαλύπτονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όσο πετρέλαιο έχει προσκολληθεί στα τοιχώματα να διαλύεται και να παρασύρεται με το υπόλοιπο φορτίο. Το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται ως μέρος του φορτίου καταθλίβεται με αυτό από τις αντλίες εκφορτώσεως, μειώνοντας τα κατάλοιπα και την ανάγκη αποθηκεύσεώς τους σε δεξαμενές.

Τα μηχανήματα καθαρισμού αποτελούνται από ακροφύσια με ενσωματωμένο τον μηχανισμό περιστροφής στον μηχανισμό στηρίξεως. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχουν ένα ή δύο μόνιμα εγκατεστημένα, ανάλογα με το μέγεθος και τη διαμόρφωσή της. Αυτά περιστρέφονται με σταδιακή αλλαγή της γωνίας του ακροφυσίου και άρα της δέσμης εκτοξεύσεως προς τον άξονα στηρίξεώς του, ώστε το πετρέλαιο που διέρχεται να πέφτει απευθείας ή με αντανάκλαση σε όλες τις επιφάνειες της δεξαμενής. Η πλύση κατά την εκφόρτωση ολοκληρώνεται με την χρήση

ακροφυσίων που είναι τοποθετημένα στον πυθμένα της δεξαμενής. Με την ενεργοποίηση των ακροφυσίων αυτών, παρασύρεται το φορτίο που υπάρχει κάτω από τις σερπαντίνες θερμάνσεως του φορτίου, πριν αυτό στερεοποιηθεί ή γίνει τόσο παχύρρευστο, που θα είναι δύσκολο να αντληθεί. Τα μηχανήματα καθαρισμού [σχ. 9.16β(α)] αποτελούνται από το

κιβώτιο γραναζιών για την περιστροφή, το χειριστήριο ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής και τον ρυθμιστή της γωνίας εκτοξεύσεως του υγρού, που βρίσκονται στο κατάστρωμα, ακριβώς πάνω από το ακροφύσιο, το οποίο βρίσκεται στη δεξαμενή. Ο μηχανισμός μαζί με τον σωλήνα (κανονάκι) απ' τον οποίο διέρχεται το φορτίο για την πλύση αποτελούν



Σχ. 9.16β

Μηχάνημα καθαρισμού και μέθοδος καθαρισμού COW.

ένα ενιαίο σύστημα. Η διαδικασία πλύσεως και η μεταβολή της γωνίας εκτοξεύσεως παρουσιάζονται στο σχήμα 9.16β(γ). Το μηχανήμα πλύσεως καθώς περιστρέφεται, ταυτόχρονα κατεβαίνει από τις 45° έως τις 120°, ώστε το αργό πετρέλαιο διαδοχικά να εκτοξεύεται σε όλη την επιφάνεια της δεξαμενής.

Το υλικό κατασκευής του μηχανισμού πλύσεως είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και συνήθως είναι από κράμα χαλκού ή αλουμινίου χαλκού, ενώ η στεγανοποίηση των μερών τους επιτυγχάνεται με συνθετικούς δακτυλίους.

Η περιστροφή των ακροφυσίων εκτοξεύσεως προς όλες τις κατευθύνσεις πραγματοποιείται από σύστημα γραναζών, ενώ για τη λειτουργία τους πρέπει να υπάρχει πίεση στο δίκτυο παροχής του πετρελαίου στον μηχανισμό.

Η παροχή του πετρελαίου για το πλύσιμο γίνεται μέσω μόνιμου δικτύου υψηλής πίεσεως, που λειτουργεί παράλληλα με το κύριο δίκτυο εκφορτώσεως και είναι εγκατεστημένο στο κατάστρωμα του πλοίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η λειτουργία του συστήματος αδρανούς αερίου είναι απαραίτητη κατά τη διαδικασία καθαρισμού της δεξαμενής και η χρήση θαλασσινού νερού γίνεται μετά την ολοκλήρωση του καθαρισμού με πετρέλαιο στην προετοιμασία για επισκευή ή όταν το επόμενο φορτίο έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Στο πλύσιμο των δεξαμενών φορτίου με τη μέθοδο COW, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μείγματα του αργού πετρελαίου και νερού, διότι η εκτόξευση του μείγματος από τα μηχανήματα πλύσεως (κανονικά) παράγει ηλεκτρικά φορτισμένη ομίχλη, με ηλεκτρικό δυναμικό σημαντικά μεγαλύτερο (και κίνδυνο δημιουργίας ηλεκτρικών εκκενώσεων) από εκείνον που παράγεται από την εκτόξευση **απαλλαγμένου από νερό αργού πετρελαίου** (dry crude oil).

Η χρήση του dry crude oil είναι σημαντική, γι' αυτό πριν ξεκινήσει η πλύση, πρέπει από κάθε δεξαμενή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως πηγή του αργού πετρελαίου για το πλύσιμο να απομακρυνθεί το νερό που τυχόν έχει συγκεντρωθεί στον πυθμένα της κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Η απομάκρυνση ενός στρώματος φορτίου τουλάχιστον ένα μέτρο σε βάθος είναι αναγκαία για τον σκοπό αυτόν.

Η παραγωγή ηλεκτρικά φορτισμένης ομίχλης είναι ο ίδιος λόγος που εάν για το πλύσιμο της δεξαμενής χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο από τη δεξαμενή καταλοίπων, θα πρέπει πρώτα από τη δεξαμενή καταλοίπων να απομακρυνθεί το νερό ή το μείγμα πετρελαίου και νερού που περιέχεται και στη συνέ-

χεια να ξαναγεμιστεί με απαλλαγμένο από υγρασία αργό πετρέλαιο.

Τα **πλεονεκτήματα της μεθόδου COW** είναι:

α) Η μείωση της πιθανότητας ρυπάνσεως, εφόσον κατά τη διάρκεια της πλύσεως το δίκτυο δεν έρχεται σε επαφή με θαλασσινό νερό.

β) Η μείωση στη συσσώρευση ποσότητας φορτίου, που είναι αδύνατον να αντληθεί (unrumped) στον πυθμένα των δεξαμενών.

γ) Η μείωση του χρόνου και του κόστους καθαρισμού της δεξαμενής στην προετοιμασία για την επόμενη φόρτωση, διότι το πετρέλαιο διαλύει και απομακρύνει πιο εύκολα τα ασφαλικά υπολείμματα και τη λάσπη του φορτίου.

δ) Η μείωση του χρόνου καθαρισμού της δεξαμενής στην προετοιμασία για επισκευή ή επιθεώρηση.

ε) Η μείωση της ποσότητας μεταφοράς καταλοίπων.

στ) Η μείωση της διαβρώσεως στις δεξαμενές, στα συστήματα προθερμάνσεως του φορτίου και εκφορτώσεως, εφόσον δεν χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό.

Τα **μειονεκτήματα της μεθόδου COW** είναι:

α) Η αύξηση του χρόνου εκφορτώσεως.

β) Το κόστος κατασκευής του δικτύου.

γ) Η ανάγκη μεγαλύτερου αριθμού πληρώματος κατά τη διάρκεια της εκφορτώσεως.

δ) Η αύξηση στο κόστος της συντηρήσεως, εφόσον χρησιμοποιούνται περισσότερα μηχανήματα.

9.16.3 Μέθοδος καθαρισμού με γλυκό νερό.

Το **πλύσιμο με γλυκό νερό** (flushing) γίνεται με χρήση χημικών διαλυτικών ή με πετρελαϊκά προϊόντα, με τα οποία καθαρίζεται ο πυθμένας των δεξαμενών απ' τα υπολείμματα του προηγούμενου φορτίου, το οποίο είναι διαφορετικό αλλά συμβατό με φορτίο που πρόκειται να φορτώσει το πλοίο. Αυτού του είδους ο καθαρισμός των δεξαμενών πραγματοποιείται κατόπιν οδηγιών που λαμβάνει ο Πλοίαρχος από τον πλοιοκτήτη ή το διαχειριστικό γραφείο και γίνεται ανάλογα με το πλοίο, τον σκοπό του καθαρισμού, το είδος του φορτίου και τα χαρακτηριστικά του.

9.17 Εξαερισμός δεξαμενών.

Πριν την είσοδο μελών του πληρώματος για την πραγματοποίηση εργασιών ή για τον περαιτέρω καθαρισμό των δεξαμενών, είναι απαραίτητος ο εξαερισμός τους. Λόγω της περιεκτικότητας ευφλέκτων αερίων των δεξαμενών από τα υπολείμματα

φορτίου ο εξαερισμός πρέπει να πραγματοποιείται με ασφάλεια, διότι ισχύουν οι ίδιες συνθήκες αναφλεξιμότητας με την αδρανοποίηση.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον εξαερισμό μίας δεξαμενής εξαρτάται από τα συστήματα που διαθέτει το πλοίο και την περιεκτικότητα σε αδρανές αέριο, το οποίο πρέπει να απομακρυνθεί.

Μία μέθοδος εξαερισμού είναι με την εγκατάσταση φορητών ανεμιστήρων σε ανοίγματα των δεξαμενών στο κατάστρωμα, που λειτουργούν με θαλασσινό νερό από την αντλία πυροσβέσεως.

Η άλλη μέθοδος είναι με τους ανεμιστήρες του συστήματος αδρανούς αερίου, όταν απομονωθεί η αναρρόφηση από τον πύργο καθαρισμού κλείνοντας το κατάλληλο επιστόμιο και ανοίγοντας το επιστόμιο αναρροφήσεως του ατμοσφαιρικού αέρα.

Η παροχή του αέρα στις δεξαμενές πραγματοποιείται μέσω των αγωγών αδρανούς αερίου στο κατάστρωμα του πλοίου και ο εξαερισμός επιτυγχάνεται:

α) Με **αραιώση του μείγματος στον χώρο της δεξαμενής** [σχ. 9.17(α)]. Με αυτόν τον τρόπο εκτοξεύοντας αέρα μέσα στη δεξαμενή δημιουργούνται ρεύματα και η εξαγωγή πραγματοποιείται από τα ανοίγματα στην κορυφή της δεξαμενής.

β) Με **μετατόπιση του αερίου μείγματος της δεξαμενής**. Τότε ο αέρας εισέρχεται με χαμηλή ταχύτητα μέσα στη δεξαμενή και μετατοπίζει το αέριο που εξέρχεται από τον σωλήνα φορτώσεως στον πυθμένα της δεξαμενής. Η πλήρωση της δεξαμενής γίνεται από επάνω προς τα κάτω [σχ. 9.17(β)] παρέχοντας πλήρη έλεγχο των λειτουργιών κατά τον εξαερισμό.

Τα **πλεονεκτήματα** μιας κεντρικής μονάδας εξαερώσεως, με μεγάλη ικανότητα παροχής αέρα, όπως αυτή των ανεμιστήρων του συστήματος αδρανούς αερίου, είναι ότι:

α) Ρυθμίζεται εύκολα και ο αερισμός πραγματοποιείται γρήγορα και με ασφάλεια.

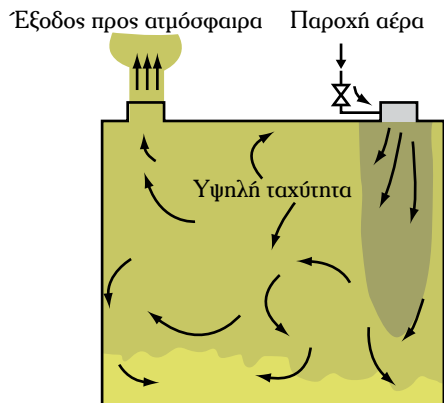
β) Το σύστημα μπορεί και ελέγχεται από έναν χειριστή.

γ) Δεν απαιτείται η μεταφορά και η εγκατάσταση μηχανημάτων με μεγάλο βάρος.

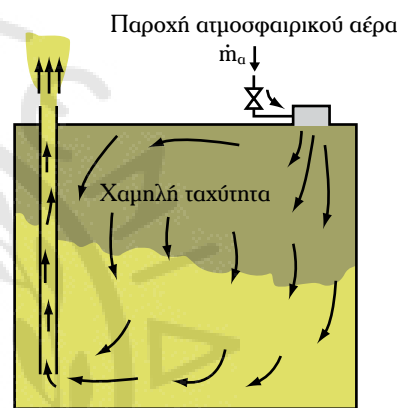
δ) Έχουν χαμηλό κόστος, διότι χρησιμοποιούνται οι εγκαταστάσεις και τα υπάρχοντα δίκτυα του πλοίου.

9.18 Επιθεώρηση και δοκιμές σωληνώσεων δικτύου και δεξαμενών κύτους.

Η επιθεώρηση των δεξαμενών φορτίου πριν τη



(α) Μέθοδος αραιώσεως



(β) Μέθοδος μετατοπίσεως

Σχ. 9.17

Μέθοδοι εξαερώσεως δεξαμενών (purging).

φόρτωση ενός πλοίου, με σκοπό να διαπιστωθεί ότι είναι κενές, είναι απαραίτητη και πρέπει, όπου είναι δυνατόν, να πραγματοποιείται χωρίς την είσοδο σε αυτές. Μία επιθεώρηση μπορεί να γίνει από τα **ανοίγματα μετρήσεως** ή **παρατηρήσεως** (ullage or sighting ports) της δεξαμενής στο κατάστρωμα, διατηρώντας την πίεση του αδρανούς αερίου, εάν υπάρχει, στην ελάχιστη θετική πίεση προς αποφυγή της εισόδου ατμοσφαιρικού αέρα σε αυτήν. **Οι δεξαμενές που είναι αδρανοποιημένες (ή ήταν αδρανοποιημένες και δεν έχουν εξαεριστεί καλά) παρουσιάζουν μια γαλάζια ομίχλη (θολότητα)**. Αυτή, λόγω του μεγέθους των δεξαμενών, δυσκολεύει την ορατότητα χωρίς τη δυνατότητα να φανεί ο πυθμένας ακόμα και με τη βοήθεια ισχυρού φακού ή καθρέπτη που αντανακλά το ηλιακό φως.

Άλλες μέθοδοι, στις περιπτώσεις που δεν μπορεί να επιθεωρηθεί μία δεξαμενή οπτικά και να φανεί ο πυθμένας, είναι με τη χρήση ταινίας μετρήσεως

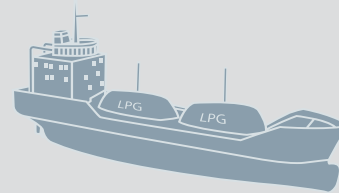
και ταυτόχρονα μέτρηση της διαγωγής του πλοίου, ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν υγρά κατάλοιπα και η ποσότητα αυτών, είτε με τη χρήση εκχυτήρα (τζιφάρι), όπου διαπιστώνεται ακουστικά εάν γίνεται αναρρόφηση υγρού ή όχι. Μερικές φορές, λόγω των εμποδίων (όπως σκάλες, διαφράγματα κ.λπ.), μπορεί να αφαιρεθεί κάποιο άνοιγμα καθαρισμού της δεξαμενής στο κατάστρωμα για να διευκολυνθεί η επιθεώρηση, αλλά αυτό πρέπει να γίνει μόνο όταν η δεξαμενή είναι απαλλαγμένη από αέρια. Τα καλύμματα θα πρέπει να τοποθετηθούν στη θέση τους και να ασφαλιστούν αμέσως μετά την επιθεώρηση. Ο υπεύθυνος που επιθεωρεί δεξαμενές μη απαλλαγμένες από αέρια, θα πρέπει να λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας και να μην εισπνέει ατμούς φορτίου ή αδρανούς αερίου. Στην περίπτωση δε, που κρίνεται απαραίτητο να εισέλθει κάποιος στη δεξαμενή, επειδή το φορτίο που πρόκειται να φορτωθεί έχει ορισμένες ιδιαίτερες προδιαγραφές, θα πρέπει να τηρηθούν όλες οι προφυλάξεις που περιέχονται στις οδηγίες. Οι προφυλάξεις αυτές αφορούν στην είσοδο σε κλειστούς χώρους και στην απαλλαγή από αέρια, στον έλεγχο της ατμόσφαιρας και στην περιεκτικότητα σε τοξικά αέρια και οξυγόνο, στην παροχή καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα σε όλη τη διάρκεια που βρίσκεται μέσα στη δεξαμενή το άτομο που κάνει την επιθεώρηση και την συνεχή επικοινωνία με μέλη του πληρώματος που βρίσκονται στο κατάστρωμα και παρακολουθούν την εξέλιξη της επιθεωρήσεως.

Ο έλεγχος της καλής καταστάσεως των σωληνώσεων του δικτύου φορτοεκφορτώσεως, όπως και των δεξαμενών κύτους, κατά βάση βεβαιώνεται απ' τον νπογνώμονα. Αυτός εκδίδει το απαραίτητο πιστοποιητικό που υποχρεούται να διαθέτει το πλοίο,

αποδεικνύοντας ότι οι σωληνώσεις και οι δεξαμενές του δεν παρουσιάζουν διαρροή. Περαιτέρω δοκιμές, εάν δεν υπάρχουν υποψίες για ρωγμές ή διαρροή, δεν πραγματοποιούνται συνήθως, εκτός από τις ετήσιες επιθεωρήσεις των δεξαμενών φορτίου από το πλήρωμα και την παρατήρηση μετά από κάποιο καθαρισμό τους.

Για να διαπιστωθεί και να εντοπιστεί μία πιθανή διαρροή σε μια δεξαμενή πρέπει, από τη δεξαμενή που πρόκειται να ελεγχθεί, να απομακρυνθούν πρώτα τα αέρια φορτίου (gas free). Στη συνέχεια πληρώνεται με νερό και ελέγχονται οπτικά (μακροσκοπικός έλεγχος) τα τοιχώματά της από την πλευρά των γειτονικών δεξαμενών. Όταν διαπιστωθεί διαρροή, γίνεται εκτίμηση της ζημιάς και των ενεργειών που απαιτούνται για την αποκατάστασή της.

Για τους σωλήνες του δικτύου φορτίου, όπως και για κάθε άλλο σωλήνα που υπάρχει στο πλοίο, η διαρροή μπορεί να οφείλεται σε ρωγμή του σωλήνα από τους κραδασμούς του πλοίου, σε ενώσεις και σημεία στηρίξεως του σωλήνα του δικτύου ή σε σημεία όπου επικρατούν συνθήκες, που θα προκαλέσουν διάβρωση στο υλικό του σωλήνα. Κατά τον έλεγχο με υδραυλική πίεση θα πρέπει η δεξαμενή στην οποία καταλήγει ο σωλήνας ή τα σημεία απ' τα οποία διέρχεται να μην περιέχουν φορτίο. Στη συνέχεια, κλείνεται το επιστόμιο της αναρροφήσεως απ' τη δεξαμενή και διοχετεύεται στο δίκτυο νερό ή φορτίο, εάν υπάρχει, με μία αντλία που λειτουργεί σε χαμηλές στροφές, ώστε να στέλνει υγρό με χαμηλή πίεση για να αποφευχθεί μεγαλύτερη βλάβη. Σε περίπτωση διαρροής, αυτή γίνεται αντιληπτή με οπτικό έλεγχο ή με παρατήρηση της πίεσεως, η οποία μειώνεται εάν υπάρχει διαρροή, που στη συνέχεια θα πρέπει να εντοπιστεί και να επισκευαστεί.



10.1 Εισαγωγή.

Η μεταφορά του υγραερίου με πλοία αποτελεί συχνά τον μόνο τρόπο μεταφοράς από τις απομακρυσμένες πηγές παραγωγής στις χώρες καταναλώσεως. Οποιαδήποτε σύγκριση κόστους μεταξύ μεταφοράς φορτίων υγραερίου με πλοία και μεταφοράς μέσω αγωγών πρέπει πρωτίστως να συνδεθεί με τις ανάγκες που εξυπηρετούνται. Γενικά, η μεταφορά με υγραεριοφόρα πλοία είναι η μόνη απάντηση εάν η μεταφορά με αγωγούς δεν είναι εφικτή για τεχνικούς λόγους, ενώ το κόστος της είναι χαμηλότερο από αυτό των υποθαλασσίων αγωγών ή των χερσαίων αγωγών όταν η απόσταση είναι εξαιρετικά μεγάλη.

Τα υγραεριοφόρα αποτελούν ειδικές κατασκευές πλοίων για τη μεταφορά υγροποιημένων πετρελαϊκών αερίων (σχ. 10.1α) (Liquefied Petroleum Gas – LPG) και υγροποιημένου φυσικού αερίου (σχ. 10.1β) (Liquefied Natural Gas – LNG), τα οποία διαθέτουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα δεξαμενόπλοια (Δ/Ξ) που χρησιμοποιούνται στη μεταφορά χύδην υγρών φορτίων, όπως το πετρέλαιο και τα χημικά προϊόντα.

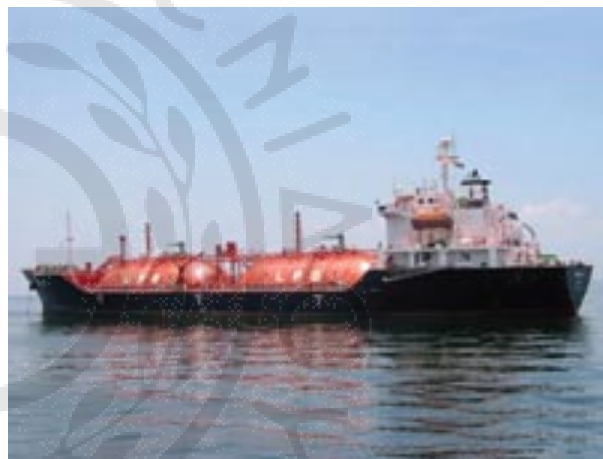
Λόγω του μεταφερόμενου φορτίου, τα υγραεριοφόρα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) Στα Δ/Ξ υγροποιημένων πετρελαϊκών προϊόντων (Liquefied Petroleum Gas Carriers – LPGCs), όπως το βουτάνιο, το προπάνιο, το προπυλένιο κ.ά. και

β) στα Δ/Ξ υγροποιημένου φυσικού αερίου (Liquefied Natural Gas Carriers – LNGCs).

Ένα σχεδόν μοναδικό χαρακτηριστικό των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένων αερίων είναι ότι το φορτίο διατηρείται υπό θετική πίεση, εμποδίζοντας την είσοδο του αέρα στις δεξαμενές του φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι μέσα σε αυτές υπάρχει μόνο το υγρό φορτίο και οι ατμοί του, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η ανάπτυξη εύφλεκτης ατμόσφαιρας. Επί πλέον, σε όλα τα υγραεριοφόρα το σύστημα διακινήσεως του φορτίου είναι κλειστό, ώστε να μην επιτρέπεται ο εξαερισμός προς την ατμόσφαιρα

των ατμών που δημιουργούνται από την εξάτμιση του φορτίου κατά τη φόρτωση ή την εκφόρτωση. Γι' αυτό στα πλοία LNG προβλέπεται (εκτός των γραμμών-αγωγών διακινήσεως του φορτίου) πάντα μία γραμμή επιστροφών μεταξύ του Δ/Ξ και της ξηράς, μέσω της οποίας διακινούνται οι ατμοί, που μετατοπίζονται κατά τις ενέργειες φορτοεκφορτώσεως. Στα LPG αυτό το δίκτυο δεν υπάρχει πάντα, διότι σε



Σχ. 10.1α

Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου πετρελαϊκού αερίου.



Σχ. 10.1β

Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

περίπτωση που διατίθεται σύστημα επανυγροποίησως, χρησιμοποιείται για να συγκατούνται οι ατμοί του φορτίου στις δεξαμενές του πλοίου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος αναφλέξεως των ατμών του φορτίου από την απελευθέρωσή τους προς την ατμόσφαιρα.

Τα υγραεριοφόρα πρέπει να συμμορφώνονται με τα πρότυπα που ορίζονται από τους Κώδικες Ασφαλείας Αερίων ή τους Εθνικούς κανόνες, καθώς και με όλες τις προδιαγραφές ασφάλειας και ρυπάνσεως που είναι κοινές με τα άλλα Δ/Ξ. Τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με τις απαιτήσεις σχεδιασμού των Δ/Ξ υγρού φορτίου, έχουν βοηθήσει σημαντικά στην ασφάλεια των υγραεριοφόρων πλοίων. Οι απαιτήσεις εξοπλισμού για τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων περιλαμβάνουν συστήματα για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της πίεσεως, συστήματα ανιχνεύσεως αερίων του φορτίου και δεικτών στάθμης υγρού στις δεξαμενές. Τα συστήματα αυτά είναι συνδεδεμένα με αντίστοιχα συστήματα συναγερμού. Έτσι καθίστανται τα πλοία αυτού του είδους τα ασφαλέστερα πλοία που κατασκευάζονται σήμερα.

10.2 Δεξαμενές φορτίου.

Η φόρτωση στις δεξαμενές των πλοίων, των αερίων φορτίων πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου επιτυγχάνεται με τη μείωση του όγκου τους στο ελάχιστο δυνατό επιτρεπόμενο σημείο. Σε πολλά από τα υγραέρια για να πραγματοποιηθεί η υγροποίησή τους και να διατηρηθούν σε αυτήν τη μορφή είναι απαραίτητο να ψύχονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, οι οποίες θα πρέπει να διατηρούνται και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, (π.χ. το αιθυλένιο στους -104°C ή το LNG στους -163°C). Οι σημαντικές διαφορές που υπάρχουν στον σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη λειτουργία των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένων φορτίων οφείλεται στην ποικιλία των φορτίων και των συστημάτων μεταφοράς τους. Τα συστήματα μεταφοράς είναι η συνολική διάταξη για τη συγκράτηση του φορτίου, τα οποία συμπεριλαμβάνουν κατά περίπτωση:

- α) Το **βασικό διάφραγμα** (primary barrier), που αποτελεί τα τοιχώματα της βασικής δεξαμενής του φορτίου.
- β) Το **δευτερεύον διάφραγμα** (secondary barrier) (εάν υπάρχει).
- γ) Την **θερμομόνωση** (thermal insulation).
- δ) Τους **ενδιάμεσους κενούς χώρους** (intervening spaces) μεταξύ των δεξαμενών, και

ε) τα **παρακείμενα κατασκευαστικά στοιχεία** (adjacent structures) για τη στήριξη των προηγούμενων, εάν είναι απαραίτητο.

Για τα φορτία που μεταφέρονται σε θερμοκρασίες μεταξύ -10°C και -55°C το εσωτερικό του κύτους του πλοίου μπορεί να αποτελεί το δευτερεύον διάφραγμα, δημιουργώντας τον κενό χώρο στον οποίο βρίσκονται οι δεξαμενές.

Η θερμομόνωση είναι απαραίτητο να τοποθετείται στις δεξαμενές φορτίου:

α) Για να ελαχιστοποιηθεί η ροή θερμότητας προς το φορτίο, μειώνοντας την δημιουργία εξατμίσεων και

β) για την προστασία της δομής του Δ/Ξ γύρω από τις δεξαμενές φορτίου από τις επιπτώσεις της χαμηλής θερμοκρασίας.

Τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα υγραεριοφόρα πλοία πρέπει να διαθέτουν τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά:

- α) Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.
- β) Αντοχή στην άσκηση πίεσεως από τα φορτία.
- γ) Αντοχή σε μηχανική βλάβη.
- δ) Μικρό βάρος και
- ε) να μην επηρεάζονται από το υγρό φορτίο ή τους ατμούς του.

Επίσης, είναι απαραίτητο στο σύστημα μονώσεως να αποφεύγεται η διείσδυση νερού ή υδρατμών, διότι η υγρασία αποτελεί αιτία για να αυξηθεί η θερμική αγωγιμότητα, ώστε η προοδευτική συμπύκνωση υδρατμών και η ψύξη μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στη μόνωση. Γι' αυτό, πρέπει οι συνθήκες υγρασίας να διατηρούνται όσο το δυνατόν χαμηλότερες στον κενό χώρο του κύτους μεταξύ των δεξαμενών.

10.3 Τύποι δεξαμενών φορτίου.

Οι βασικοί τύποι δεξαμενών φορτίου που χρησιμοποιούνται στα πλοία για τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων είναι είτε οι **ανεξάρτητου τύπου δεξαμενές** (πλήρους πίεσεως, μέσης πίεσεως ή πλήρους ψύξεως), είτε οι **τύπου μεμβράνης**.

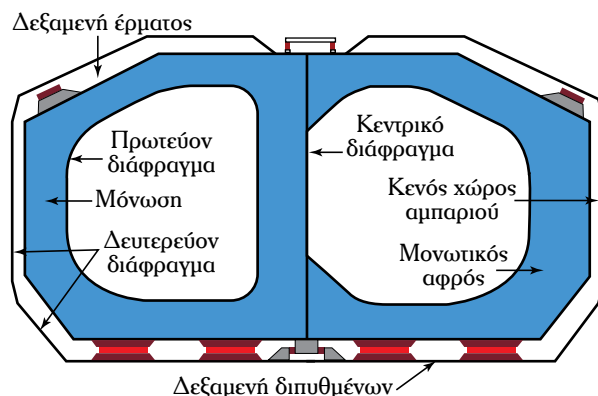
10.3.1 Δεξαμενές ανεξάρτητου τύπου.

Οι **ανεξάρτητες δεξαμενές** (independent tanks) είναι αυτοφερόμενες (self-supporting), δηλαδή δεν αποτελούν μέρος της δομής του κύτους του πλοίου και ως εκ τούτου δεν συμβάλλουν στην ενίσχυσή του. Όπως ορίζεται στον Διεθνή Κώδικα για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό των Πλοίων Μεταφοράς

Χύδην Υγροποιημένων Αερίων (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied gases in Bulk – IGC), υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ανεξαρτήτων δεξαμενών (ή συστημάτων συγκρατήσεως) μεταφοράς υγροποιημένου φορτίου. Αυτές είναι γνωστές ως τύπου Α, Β και C και διακρίνονται ανάλογα με την πίεση που έχουν σχεδιαστεί να αντέχουν.

α) Οι **ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου Α** κατασκευάζονται κυρίως με επίπεδες επιφάνειες (σχ. 10.3α). Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση ατμών στον χώρο του φορτίου, για τον οποίο σχεδιάζονται οι δεξαμενές, είναι μικρότερη των $0,7 \text{ barg}^1$ ($\text{MARVS}^2 < 0,7 \text{ barg}$). Αυτό σημαίνει ότι το φορτίο θα πρέπει να μεταφέρεται σε κατάσταση πλήρους ψύξεως ή κοντά σε ατμοσφαιρική πίεση (συνήθως κάτω από $0,25 \text{ barg}$). Στο σχήμα 10.3α παρουσιάζεται η μέση τομή μιας δεξαμενής τύπου Α σε ένα πλήρους ψύξεως υγραεριοφόρο LPG. Πρόκειται για μια πρισματική δεξαμενή, που υποστηρίζεται από τη μόνωση και από στοιχεία (blocks), τα οποία αποτρέπουν την μετατόπιση ή την επίπλευσή της. Στο παράδειγμα του σχήματος η δεξαμενή περιβάλλεται από μια επικάλυψη με μονωτικό αφρό, ενώ όταν χρησιμοποιείται μόνωση από περλίτη, αυτός θα πρέπει να καταλαμβάνει όλο τον ελεύθερο χώρο που υπάρχει εξωτερικά της δεξαμενής στο εσωτερικό του κύτους. Λόγω των ευφλέκτων φορτίων που μεταφέρονται, οι κενοί χώροι εξωτερικά των δεξαμενών (hold space) πρέπει να συμπληρωθούν με αδρανές αέριο για να αποφευχθεί η δημιουργία εύφλεκτης ατμόσφαιρας, στην περίπτωση διαρροής από το **πρωτεύον διάφραγμα** (primary barrier), το οποίο αποτελεί και το τοίχωμα της δεξαμενής.

Το υλικό που χρησιμοποιείται για δεξαμενές τύπου Α δεν είναι ανθεκτικό στα ραγίσματα. Ως εκ τούτου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια, στην απίθανη περίπτωση διαρροής της δεξαμενής φορτίου, είναι απαραίτητο ένα δευτερεύον σύστημα συγκρατήσεως (γνωστό ως δευτερεύον φράγμα). Αυτό αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των Δ/Ξ με δεξαμενές τύπου Α, που διαθέτουν ικανότητα μεταφοράς φορτίων σε θερμοκρασία κάτω από τους -10°C .



Σχ. 10.3α

Ανεξάρτητη δεξαμενή πρισματικού σχήματος (τύπου Α).

Οι δεξαμενές χωρίζονται κεντρικά από διάφραγμα, το οποίο είναι εγκατεστημένο κατά μήκος. Με το χαρακτηριστικό κεντρικό διάφραγμα, μαζί με το λοξότμητο ανώτερο τμήμα της δεξαμενής, μειώνεται η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού αυξάνοντας την ευστάθεια του πλοίου. Όταν οι δεξαμενές προορίζονται για τη μεταφορά υγραερίου LPG σε -50°C , κατασκευάζονται από κράμα λεπτόκοκκου χάλυβα-μαγγανίου χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου LNG στους -163°C , έχει αναπτυχθεί για τον σχεδιασμό δεξαμενών το σχήμα κοχυλίου (conch), ενώ το κράμα που αποτελεί το υλικό κατασκευής τους πρέπει να περιέχει 9% νικέλιο ή αλουμίνιο.

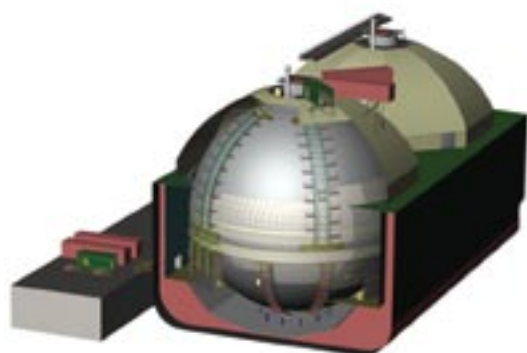
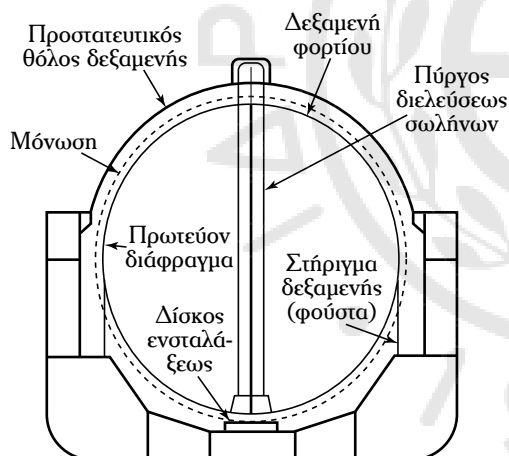
β) Οι **ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου Β** ($\text{MARVS} < 0,7 \text{ barg}$) είναι δυνατόν είτε να είναι σφαιρικού τύπου είτε να κατασκευάζονται με επίπεδες επιφάνειες (πρισματικού σχήματος). Αυτός ο τύπος συστήματος συγκρατήσεως αποτελεί αντικείμενο πολύ πιο λεπτομερούς αναλύσεως των τάσεων σε σύγκριση με τα συστήματα τύπου Α. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιείται με ελέγχους που πρέπει να περιλαμβάνουν την ανάλυση των κοπώσεων καθ' όλη τη διάρκεια χρήσεώς τους και ανάλυση εξαπλώσεως τυχόν ρωγμών. Ο πιο συνηθισμένος τύπος των δεξαμενών τύπου Β είναι οι σφαιρικές δεξαμενές σχεδιασμού Kvaerner Moss (σχ. 10.3β). Εξαιτίας του βελτιωμένου σχεδιασμού τους, στις δεξαμενές τύπου Β απαιτείται μόνο ένα μερικό δευτερεύον διάφραγμα με τη μορφή ενός δίσκου ενσταλάξεως (τάσι). Ο

¹ barg. Αναφέρεται στη μονάδα πίεσεως bar, στην οποία στο τέλος προστίθεται το γράμμα **g**. Το **g**, σημαίνει **μετρητή** (gauge), σε αντίθεση με bara, που σημαίνει **απόλυτη** (absolute) ($P_a = P_g + P_{atm}$).

² Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ρύθμιση της Βαλβίδας Ανακουφίσεως (Maximum Allowable Relief Valve Setting – MARVS). Είναι μία βάση για τον καθορισμό της πίεσεως στην οποία ρυθμίζεται η βαλβίδα εκτονώσεως για την προστασία του δοχείου που περιέχει ένα αέριο και είναι γνωστή ως MARVS.

χώρος στο εσωτερικό του κύτους (αμπάρι) συνήθως γεμίζεται με ξηρό αδρανές αέριο. Ωστόσο, σύμφωνα με σύγχρονες πρακτικές που υιοθετούνται, μπορεί να συμπληρωθεί με ξηρό αέρα, υπό την προϋπόθεση ότι η αδρανοποίηση του χώρου μπορεί να επιτευχθεί, εάν από το σύστημα ανιχνεύσεως διαρροής ατμών ανιχνευθεί η παρουσία ατμών του φορτίου. Πάνω από το επίπεδο του καταστρώματος υπάρχει εγκατεστημένος ένας προστατευτικός θόλος από χάλυβα καλύπτοντας το πρωτεύον διάφραγμα της δεξαμενής, ενώ στο εξωτερικό της υπάρχει μόνωση. Οι σφαιρικές δεξαμενές τύπου B χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν στα πλοία LNG και σπάνια σε LPG. Το υλικό κατασκευής τους είναι κράμα που περιέχει 9% νικέλιο ή αλουμίνιο.

Ο τύπος των δεξαμενών τύπου B δεν είναι απαραίτητο να είναι σφαιρικού σχήματος. Στα υγραεριοφόρα LNG υπάρχουν και σε πρισματικό σχήμα (σχ. 10.3γ), που πλεονεκτούν στη μεγιστοποίηση της ογκομετρικής αποδόσεως του κύτους του Δ/Ξ και στο ότι το σύνολο των δεξαμενών του φορτίου τοποθετείται κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Όταν χρησιμοποιούνται οι δεξαμενές με πρισματικό σχή-

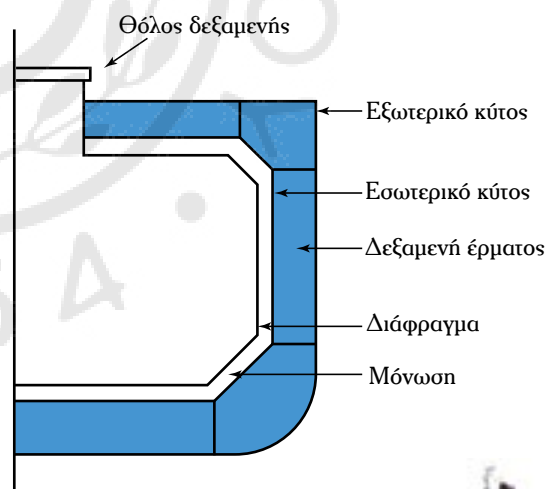


Σχ. 10.3β

Ανεξάρτητη δεξαμενή σφαιρικού σχήματος (τύπου B).

μα, η μέγιστη πίεση σχεδιασμού των ατμών φορτίου περιορίζεται σε 0,7 barg, όπως και στις δεξαμενές τύπου A.

γ) Οι **ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου C** (σε πλήρη πίεση) είναι συνήθως σφαιρικά ή κυλινδρικά δοχεία σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη και σχεδιασμένα να αντέχουν σε πίεση υψηλότερη από 4 barg. Αυτός ο τύπος συστήματος συγκρατήσεως χρησιμοποιείται πάντοτε για μεταφορές αερίου σε μέση και σε πλήρη πίεση. Τα πλοία με δεξαμενές μέσης πίεσεως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για μεταφορά φορτίων με πλήρη ψύξη, αρκεί ο χάλυβας κατασκευής των δεξαμενών να είναι κατάλληλος για χαμηλές θερμοκρασίες. Οι δεξαμενές τύπου C ως δοχεία πίεσεως έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί βάσει συμβατικών κωδίκων και ως εκ τούτου μπορούν να υποβληθούν σε ακριβείς ελέγχους κοπώσεως. Κατά συνέπεια, δεν απαιτείται δευτερεύον διάφραγμα και ο κενός χώρος του κύτους μπορεί να πληρωθεί είτε με αδρανές αέριο είτε με ξηρό αέρα, ενώ στα Δ/Ξ πλήρους πίεσεως μπορεί να επιτρέπεται και η πλήρωση με ατμοσφαιρικό. Στην περίπτωση ενός τυπικού Δ/Ξ σε πλήρη πίεση (όπου το φορτίο μεταφέρεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος), οι δεξαμενές μπορούν να είναι σχεδιασμένες για μέγιστη πίεση λειτουργίας περίπου τα 18 barg, ενώ για τα Δ/Ξ μέσης πίεσεως, οι δεξαμενές

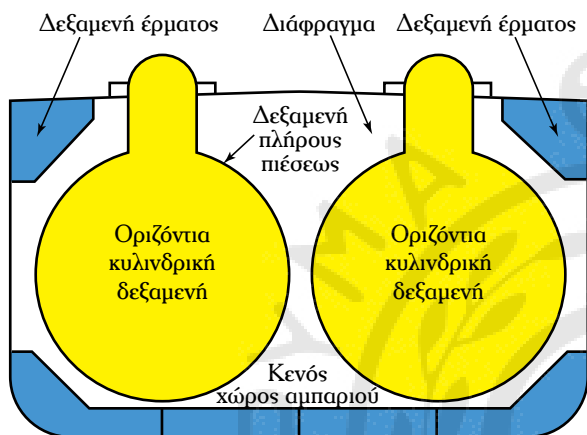


Σχ. 10.3γ

Ανεξάρτητη δεξαμενή πρισματικού σχήματος (τύπου B).

φορτίου και ο σχετικός εξοπλισμός είναι σχεδιασμένα για πίεση λειτουργίας 5 έως 7 barg περίπου και σε κενό 0,3 barg. Τυπικά, ο κατασκευαστικός χάλυβας των δεξαμενών μέσης πίεσεως έχει αντοχή για μεταφορά φορτίων με θερμοκρασία -48°C για το LPG ή -104°C για το αιθυλένιο.

Η διάταξη των δεξαμενών αυτών παρουσιάζεται στο σχήμα 10.3δ, στο οποίο διακρίνεται λόγω του σφαιρικού σχήματος και της θέσεώς του στο κύτος η απώλεια στην εκμετάλλευση ωφέλιμου όγκου με αποτέλεσμα την συγκριτικά μικρή ογκομετρική απόδοσή τους



Σχ. 10.3δ

Ανεξάρτητες δεξαμενές πλήρους πίεσεως τύπου C.

Ωστόσο, αυτό μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας τεμνόμενα δοχεία πίεσεως ή δεξαμενές αμφιλοβικού τύπου (σχ. 10.3ε), για πλοία μέσης πίεσεως-πλήρους ψύξεως, τα οποία μπορεί να σχεδιαστούν με κωνικό σχήμα στο πρόσθιο άκρο του Δ/Ξ. Το υλικό κατασκευής των δεξαμενών, εφόσον τα πλοία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αιθυλενίου, είναι ο χάλυβας με προσμίξεις νικελίου 5%.

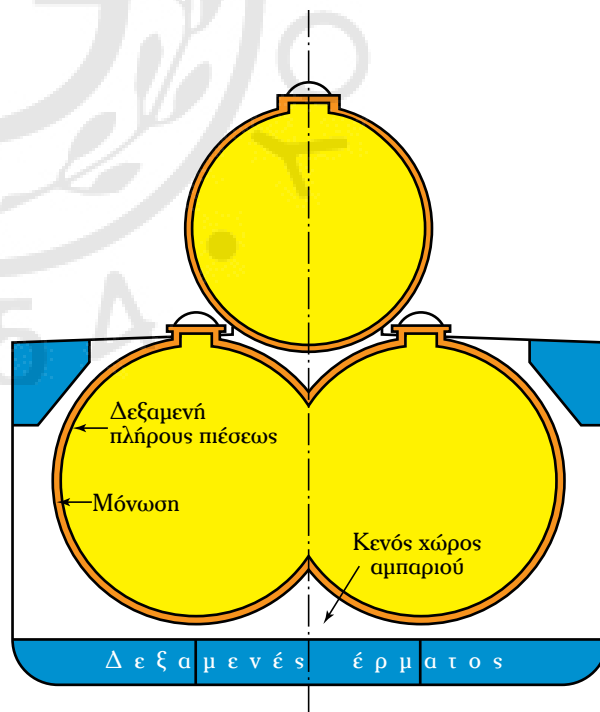
10.3.2 Δεξαμενές τύπου μεμβράνης.

Οι δεξαμενές αυτές διακρίνονται σε:

α) **Δεξαμενές μεμβράνης** (membrane tanks) με πάχος μεμβράνης από 0,7 έως 1,5 mm. Η ιδέα του συστήματος συγκρατήσεως μεμβράνης βασίζεται σε ένα πολύ λεπτό πρωτεύον διάφραγμα (τη μεμβράνη πάχους 0,7 έως 1,5 mm), το οποίο υποστηρίζεται μέσω της μόνωσης. Αυτές οι δεξαμενές δεν είναι αυτοφερόμενες, όπως οι ανεξάρτητες δεξαμενές, αλλά ένα εσωτερικό κύτος σχηματίζει τη δομή εδράσεως της δεξαμενής του φορτίου. Το σύστημα συγκρατήσεως της μεμβράνης πρέπει πάντα να υποστηρίζεται από ένα δευτερεύον διάφραγμα, το οποίο διασφα-

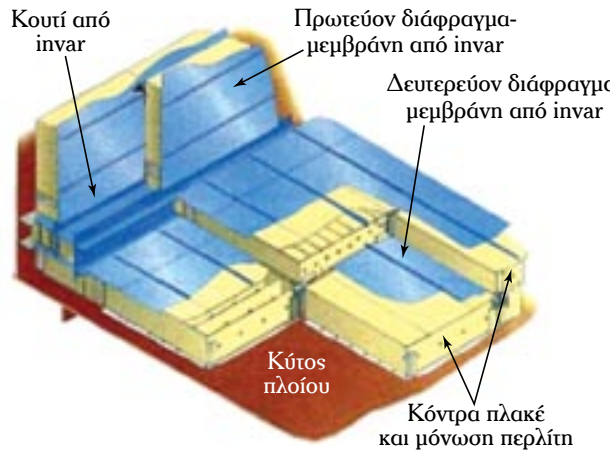
λίζει την ακεραιότητα του συνολικού συστήματος σε περίπτωση διαρροής από το πρωτεύον διάφραγμα. Η μεμβράνη είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε η θερμική διαστολή ή συστολή να αντισταθμίζεται χωρίς υπερβολική καταπόνηση της μεμβράνης. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι του συστήματος μεμβράνης, που φέρουν το όνομα των εταιρειών που τις ανέπτυξαν και έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά κυρίως υγροποιημένου φυσικού αερίου. Οι εταιρείες έχουν πλέον συγχωνευτεί σε μία, αναπτύσσοντας νέες βελτιωμένες τεχνολογίες. Αυτές είναι:

– Οι **δεξαμενές με σύστημα μεμβράνης GTT 96** (Gaz Transport & Technigaz Membrane system). Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει μία μεμβράνη από λεπτό invar, η οποία αποτελεί το πρωτεύον διάφραγμα. Το **invar** είναι ένα κράμα ανοξείδωτου χάλυβα, που περιέχει περίπου 36% νικέλιο και 0,2% άνθρακα. Τοποθετείται στην εσωτερική επιφάνεια (κρύα πλευρά), που σχηματίζει ένα τέρασιο κουτί από κόντρα πλακέ, το οποίο περιέχει την δεξαμενή από invar. Μεταξύ του invar και του κόντρα πλακέ υπάρχει περλίτης, ο οποίος χρησιμοποιείται ως κύρια μόνωση (σχ. 10.3στ). Τα κουτιά έχουν πάχος μεταξύ 200 και 300 mm. Αυτά, με τη σειρά



Σχ. 10.3ε

Ανεξάρτητες δεξαμενές μέσης πίεσεως-πλήρους ψύξεως τύπου C με τεμνόμενα δοχεία πίεσεως ή δεξαμενές αμφιλοβικού τύπου.



(α) Διάταξη υλικών μονώσεων



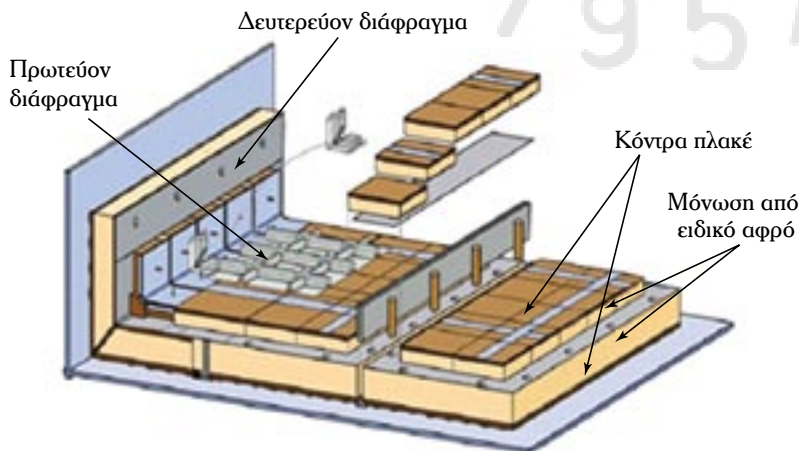
(β) Τομή δεξαμενής

Σχ. 10.3στ

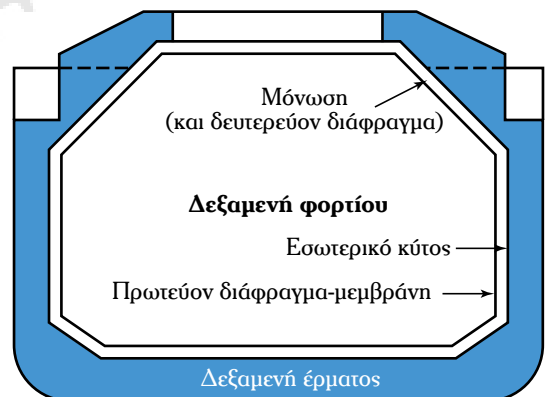
Δεξαμενές με σύστημα μεμβράνης GTT 96.

τους, συνδέονται πάνω από ένα όμοιο εσωτερικό στρώμα από invar (που αποτελεί το δευτερεύον διάφραγμα), το οποίο περιβάλλεται από περλίτη και κόντρα πλακέ. Το σύνολο των στοιχείων δημιουργεί νέα κουτιά, που περιέχουν τα πρώτα σχηματίζοντας μια δεύτερη μόνωση. Ο λόγος που επιλέγεται το κράμα invar για τις μεμβράνες είναι ο πολύ χαμηλός συντελεστής της θερμικής διαστολής του, καθιστώντας περιττή τη δημιουργία αρμών διαστολής ή αυλακώσεων στα διαφράγματα. Ο περλίτης σε νεότερες κατασκευές έχει αντικατασταθεί από σιλικόνη, καθιστώντας αδιαπέραστη τη μόνωση από το νερό ή την υγρασία. Το πάχος των πλαισίων μόνωσης μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις που δημιουργούνται από την ποσότητα των εξατμίσεων (boil-off).

– Οι **δεξαμενές με σύστημα μεμβράνης τύπου Mark III** (σχ. 10.3ζ). Ο τύπος αυτός διαθέτει ένα βασικό (πρωτεύον) διάφραγμα από ανοξείδωτο χάλυβα (πάχους 1,2 mm) με αυλακώσεις ή waffles, ώστε να είναι δυνατή η διαστολή και η συστολή. Στον αρχικό σχεδιασμό του τύπου μεμβράνης Mark I, τη μόνωση που υποστήριζε την πρωταρχική μεμβράνη αποτελούσαν ένα πλαστικοποιημένο πάνελ από ξύλο balsa τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο στρώματα κόντρα πλακέ, όπου η πλαστικοποιημένη επιφάνεια σχημάτιζε το δευτερεύον διάφραγμα. Τα πάνελ από balsa συνδεόταν με ειδικά σχεδιασμένες αρθρώσεις από σφήνες αφρού PVC και πλαστικοποιημένα πάνελ ως στήριξη στο εσωτερικό κύτος του Δ/Ξ. Για τον σχεδιασμό των μεμβρανών τύπου Mark III, η μόνωση



(α) Διάταξη υλικών μονώσεων



(β) Τομή δεξαμενής

Σχ. 10.3ζ

Νέου τύπου μεμβράνες GTT Mark III.

από ξύλο balsa αντικαθίσταται από οπλισμένο κυψελοειδή αφρό, μέσα στον οποίο υπάρχει ύφασμα fiberglass με έλασμα αλουμινίου που ενεργεί ως δευτερεύον διάφραγμα.

β) **Δεξαμενές μερικής μεμβράνης** (Semi-Membrane Tanks) με μέγιστη επιτρεπόμενη ρύθμιση της βαλβίδας ανακουφίσεως MARVS NORMALLY < 0,25 bar. Οι δεξαμενές μερικής μεμβράνης είναι μια παραλλαγή του συστήματος δεξαμενής μεμβράνης. Το πρωτεύον διάφραγμα είναι πολύ παχύτερο από ό,τι στο σύστημα μεμβράνης, έχοντας επίπεδες πλευρές και μεγάλες στρογγυλεμένες γωνίες. Η δεξαμενή αυτή είναι αυτοστηριζόμενη όταν είναι κενή, οπότε το υγρό (υδροστατικά) και η πίεση των ατμών του φορτίου ενεργούν στο βασικό (πρωτεύον) διάφραγμα μεταδίδοντας την πίεση μέσω της μονώσεως προς το εσωτερικό του σκάφους, όπως και στις δεξαμενές μεμβράνης. Οι γωνίες και τα άκρα έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να δέχονται και να απορροφούν τις τάσεις, που δημιουργούνται από την επέκταση και τη συστολή της μεμβράνης. Παρόλο που οι δεξαμενές μερικής μεμβράνης αναπτύχθηκαν αρχικά για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου LNG, η κατασκευή Δ/Ξ για εμπορικούς σκοπούς με αυτόν τον σχεδιασμό είχε καθυστερήσει. Ωστόσο, το σύστημα δεξαμενών αυτού του τύπου έχει εγκριθεί για την εφαρμογή σε Δ/Ξ LPG.

10.3.3 Δεξαμενές ενσωματωμένου τύπου.

Οι **δεξαμενές ενσωματωμένου τύπου** (integral tanks) με μέγιστη επιτρεπόμενη ρύθμιση της βαλβίδας ανακουφίσεως MARVS NORMALLY < 0,25 bar, αποτελούν δομικό στοιχείο του κύτους του πλοίου και επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο από τα φορτία που ασκούνται στην παρακείμενη δομή του κύτους. Αυτή η μορφή δεξαμενών κατά κανόνα δεν επιτρέπεται, εάν η θερμοκρασία μεταφοράς του φορτίου είναι κάτω από -10°C . Σήμερα, οι δεξαμενές που κατασκευάζονται σύμφωνα με αυτόν τον τύπο χρησιμοποιούνται σε ορισμένα πλοία LPG για τη μεταφορά βουτανίου.

10.4 Δίκτυα σωληνώσεων.

Τα δίκτυα των σωλήνων που αποτελούν το σύστημα χειρισμού του φορτίου στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων περιλαμβάνουν το δίκτυο του καταστώματος, το οποίο διαρρέεται από υγρό φορτίο και τους ατμούς του, το δίκτυο συμπυκνωμάτων και επιστροφών, το δίκτυο διαφυγής ατμών

του φορτίου στον ιστό του καταστώματος, το δίκτυο μέσα στις δεξαμενές του φορτίου και το δίκτυο θαλασσινού νερού στη μονάδα ψύξεως του φορτίου. Όλοι οι σωλήνες που απαρτίζουν αυτά τα δίκτυα πρέπει να ικανοποιούν τις ίδιες απαιτήσεις που πληρούν και τα συστήματα διαχείρισεως και οι δεξαμενές του φορτίου και αφορούν στην αντοχή τους σε θερμοκρασία και πίεση.

Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα δίκτυα του φορτίου στα υγραεριοφόρα είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας ή το κράμα χάλυβα νικελίου, ενώ οι σωλήνες που βρίσκονται έξω από τις δεξαμενές θα πρέπει να έχουν σημείο τήξεως τουλάχιστον τους 925°C . Επίσης, σε όλα τα σημεία συνδέσεως των σωλήνων του δικτύου φορτίου, που έχουν εξωτερική διάμετρο πάνω από 25 mm, οι συνδέσεις πρέπει να γίνονται με περιαιχένια, διαφορετικά οι συνδέσεις των σωλήνων με εξωτερική διάμετρο μικρότερη των 25 mm πραγματοποιείται βιδωτά με σπείρωμα στα άκρα του σωλήνα. Όπου απαιτούνται συγκολλήσεις μεταξύ των σωλήνων, είναι απαραίτητο να υπερβαίνουν τα 75 mm και το πάχος του τοιχώματός τους πρέπει να είναι 10 mm, ενώ θα πρέπει να ελέγχονται με ακτίνες Χ και να είναι πιστοποιημένες από τον νηογνώμονα του πλοίου. Ο ίδιος κανονισμός ισχύει και για τις φλάντζες, καθώς και για τους σωλήνες συνδέσεως, που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη του δικτύου.

Τα δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί για διακίνηση φορτίου σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -10°C πρέπει να είναι μονωμένα από το κύτος του πλοίου, ώστε να αποφευχθεί η ψύξη της λαμαρίνας του κύτους σε θερμοκρασία κάτω από τη θερμοκρασία σχεδιασμού. Επίσης, στα σημεία συνδέσεως του δικτύου φορτίου ή όπου υπάρχουν εγκατεστημένα επιστόμια, τοποθετούνται ξύλινες σανίδες ή κόντρα πλακέ, με σκοπό την προστασία της λαμαρίνας του κύτους σε περίπτωση διαρροής φορτίου, που θα προκαλούσε απότομη ψύξη στον περιβάλλοντα χώρο.

Λόγω της μονώσεως του δικτύου από το κύτος του πλοίου, καθώς και στα σημεία συνδέσεως των σωλήνων όπου χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα προς αποφυγή της αναπτύξεως στατικού ηλεκτρισμού που εγκυμονεί τον κίνδυνο δημιουργίας σπινθήρα, πραγματοποιείται γείωση του δικτύου με το σκάφος με σύρμα από χάλυβα ή χαλύβδινες ταινίες. Κάτω από τα επιστόμια συνδέσεως με την ξηρά, με σκοπό την πρόληψη της απότομης ψύξεως του καταστώματος σε μια πιθανή διαρροή του φορτίου, τοποθετούνται δίσκοι συλλογής του διαρρέοντος φορτίου.

Σε όλες τις γραμμές φορτίου, απαιτείται να υπάρχει εγκατεστημένη βαλβίδα ασφαλείας, ώστε να εκτονώνεται η πίεση από τη δημιουργία αερίων κατά τη διακίνηση του φορτίου. Οι ατμοί από την έξοδο της βαλβίδας ασφαλείας είτε επιστρέφουν στην δεξαμενή φορτίου, είτε οδηγούνται στον ιστό διαφυγής ή εξαερισμού. Εάν η επιστροφή πραγματοποιείται στον ιστό διαφυγής, κάτω από αυτόν θα πρέπει να είναι εγκατεστημένος ένας συλλέκτης υγρού για να συγκεντρώνονται τυχόν υγροποιήσεις από το φορτίο. Το σημείο ρυθμίσεως που ανοίγει η βαλβίδα ασφαλείας εξαρτάται από την πίεση, για την οποία έχει σχεδιαστεί το δίκτυο, ενώ θα πρέπει να ελέγχονται και να σφραγίζονται από τον νπογνώμονα.

Οι σωληνώσεις δικτύων του φορτίου σε πλοία μεταφοράς υγραερίων δεν επιτρέπεται να αναπτύσσονται κάτω από το επίπεδο του καταστρώματος. Ως εκ τούτου, όλοι οι σωλήνες των δεξαμενών που φτάνουν κάτω από το επίπεδο του καταστρώματος διέρχονται μέσω του θόλου των δεξαμενών φορτίου, που αναπτύσσονται πάνω από το κατάστρωμα (σχ. 10.4α). Επίσης, στον θόλο κάθε δεξαμενής υπάρχουν εγκατεστημένες τουλάχιστον δύο ανακουφιστικές βαλβίδες πίεσης, των οποίων η εκτόνωση πρέπει να πραγματοποιείται σε ασφαλή απόσταση από τους χώρους διαμονής και σε ύψος που καθορίζεται από τους κώδικες του IMO.

Τα επιστόμια που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα

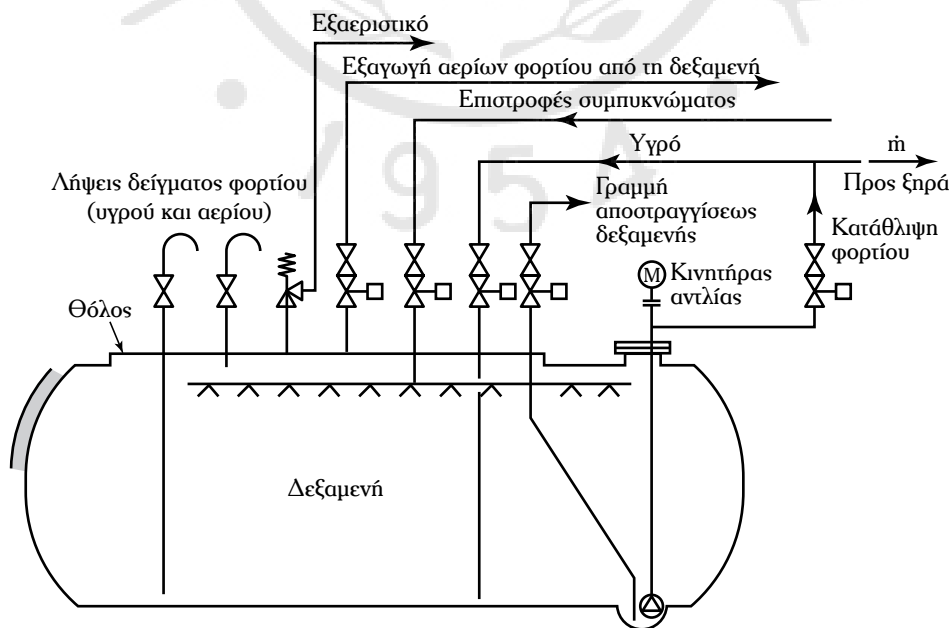
των πλοίων μεταφοράς υγραερίων θα πρέπει να κατασκευάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του IMO. Όταν οι δεξαμενές φορτίου έχουν $MARVS > 0,7 \text{ barg}$ (σε δεξαμενές φορτίου τύπου C) ή $< 0,7 \text{ barg}$ (για τους τύπους A και B), τα επιστόμια απομονώσεως και ελέγχου ροής του δικτύου πρέπει να είναι διπλά, εγκατεστημένα σε σειρά, εκ των οποίων το ένα λειτουργεί χειροκίνητα, ενώ το άλλο ελέγχεται από απόσταση.

Στα υγραεριφόρα πλοία (στα LPG και σε πλοία μεταφοράς χημικών αερίων), με εξαίρεση τα πλοία μεταφοράς φορτίου σε πλήρη πίεση (fully pressurised gas carriers), προβλέπονται εγκαταστάσεις επανυγροποιήσεως τόσο κατά τη φόρτωση, όσο και κατά τη μεταφορά επιτυχάνοντας τον έλεγχο των αερίων του φορτίου στις δεξαμενές. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν σχεδιαστεί ειδικά με σκοπό να εκτελούν τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες, όπως:

α) Την ψύξη των δεξαμενών του φορτίου και των σχετικών αγωγών πριν από τη φόρτωση, προλαμβάνοντας την απότομη ψύξη των εγκαταστάσεων που μπορεί να προκαλέσει θραύση των στοιχείων.

β) Την επανυγροποίηση των αερίων που παράγονται από την ακαριαία εξάτμιση (flash evaporation) του υγρού φορτίου, όταν δεν υπάρχει δίκτυο επιστροφών των αερίων προς την ξηρά.

γ) Τη διατήρηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας και της πίεσεως του φορτίου στις δεξαμενές κατά τη



Σχ. 10.4α

Διάταξη σωληνώσεων στον θόλο της δεξαμενής φορτίου.

μεταφορά, εντός των προβλεπομένων ορίων, σύμφωνα με τα οποία έχει σχεδιαστεί το σύστημα του πλοίου.

Για την επανυγροποίηση του φορτίου υπάρχουν οι εξής δύο τύποι συστημάτων-εγκαταστάσεων:

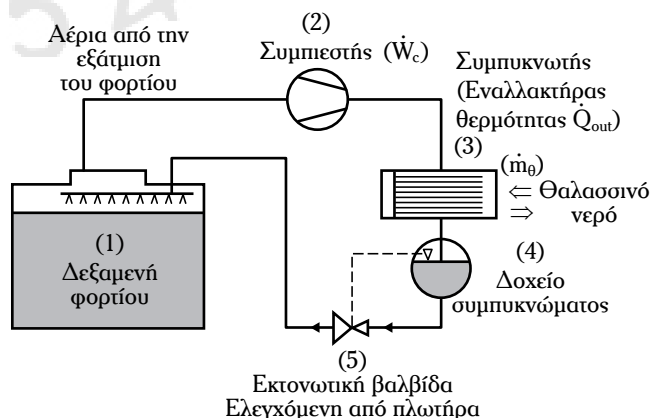
α) Το σύστημα επανυγροποιήσεως **άμεσου κύκλου** (direct cycle). Στο σύστημα αυτό λαμβάνει χώρα κατά τη μεταφορά η συμπίεση, η συμπύκνωση και η επιστροφή στη δεξαμενή των υγροποιημένων αερίων που παράγονται από την εξάτμιση του φορτίου ή των αερίων που παράγονται κατά την εκφόρτωση πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια, καθώς μετατοπίζεται το φορτίο μέσα στη δεξαμενή. Αυτό είναι το σύστημα που συνήθως χρησιμοποιείται, αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ορισμένα αέρια που ορίζονται στον Κώδικα IGC π.χ. οξείδιο του αιθυλενίου, οξείδιο προπυλενίου. Υπάρχουν οι εξής τρεις τύποι συστημάτων επανυγροποιήσεως άμεσου κύκλου:

– Το **μονοβάθμιο** (ή ενός σταδίου) **σύστημα άμεσου κύκλου** (single-stage direct cycle), που είναι κατάλληλο όταν η πίεση αναρροφήσεως των αερίων του φορτίου είναι σχετικά υψηλή, όπως συμβαίνει στη μεταφορά φορτίων σε μέση ψύξη. Κατά τη λειτουργία του συστήματος τα αέρια από την εξάτμιση (boil-off vapours) του φορτίου στη δεξαμενή (1) αναρροφώνται από τον συμπιεστή (2) και συμπιέζονται (σχ. 10.4β). Με τη συμπίεση αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία των αερίων, με αποτέλεσμα να μπορούν να συμπυκνωθούν από τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού που διαρρέει τον συμπυκνωτή (3). Το συμπυκνωμένο φορτίο στη συνέχεια επιστρέφει προς τη δεξαμενή μέσω του δοχείου συμπυκνώματος (4) μίας εκτονωτικής βαλβίδας (5) ελεγχόμενης από πλωτήρα. Το μείγμα αερίων και υγρού διαχέεται στη δεξαμενή είτε με ψεκασμό μέσω του σωλήνα που είναι εγκατεστημένος είτε στην κορυφή της όταν η δεξαμενή είναι άδεια, είτε στον πυθμένα της δεξαμενής, αποτρέποντας την εκ νέου εξάτμιση όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη φορτίο.

– Το **διβάθμιο** (ή δύο σταδίων) **σύστημα άμεσου κύκλου** (two-stage direct cycle), το οποίο χωρίς να αποτελεί την πλέον συνήθη εφαρμογή, χρησιμοποιείται σε ευρύ φάσμα προϊόντων, ειδικά για φορτία όπως το βουταδιένιο και το βινυλοχλωρίδιο. Το διβάθμιο σύστημα με ενδιάμεση ψύξη χρησιμοποιείται, όπου οι πιέσεις στην αναρρόφηση του συμπιεστή είναι χαμηλές.

Κατά συνέπεια ο βαθμός συμπίεσεως πρέπει να είναι μεγάλος σε σχέση με τον κύκλο συμπίεσεως στο μονοβάθμιο σύστημα (υποθέτοντας ότι το μέσο συμπυκνώσεως που διαρρέει τον συμπυκνωτή είναι το θαλασσινό νερό). Η ενδιάμεση ψύξη είναι απαραίτητη, προκειμένου να περιοριστεί η θερμοκρασία καταθλίψεως του συμπιεστή, η οποία αυξάνεται σημαντικά λόγω του μεγάλου βαθμού συμπίεσεως. Με τη λειτουργία του συστήματος (σχ. 10.4γ) τα αέρια από την εξάτμιση του φορτίου στη δεξαμενή (1) αναρροφώνται από τον πρώτο συμπιεστή (2), η κατάθλιψη του οποίου γίνεται στο ενδιάμεσο ψυγείο (3) όπου μειώνεται η υψηλή θερμοκρασία που έχει αποκτήσει από τη συμπίεση. Το ψυκτικό μέσο στο ενδιάμεσο ψυγείο είναι το ίδιο το φορτίο που επιστρέφει μετά τη συμπίεση στον δεύτερο συμπιεστή (4) μέσω του συμπυκνωτή (5) που ψύχεται με θάλασσα, του δοχείου συμπυκνώματος (6) και της εκτονωτικής βαλβίδας (7). Το υγρό φορτίο από το δεύτερο στάδιο συμπίεσεως επιστρέφει στη δεξαμενή μέσω εκτονωτικής βαλβίδας με τον ίδιο τρόπο που επιστρέφει στο μονοβάθμιο σύστημα άμεσου κύκλου.

– Ο **διαδοχικός κύκλος επανυγροποιήσεως** (cascade cycle), εφαρμόζεται σε φορτία σε πλήρη ψύξη (fully refrigerated cargoes), όπου ένα ψυκτικό μέσο, π.χ. το R22 (ή άλλο ψυκτικό μέσο λόγω της αποσύρσεως του R22 από τα συστήματα ψύξεως), χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη μεταφορά. Επί πλέον, σε αυτά τα συστήματα οι δυνατότητες των μονάδων παραγωγής ψύξεως δεν επηρεάζονται τόσο από τις αλλαγές της θερμοκρασίας της θάλασσας σε σύγκριση με τους κύκλους επανυ-



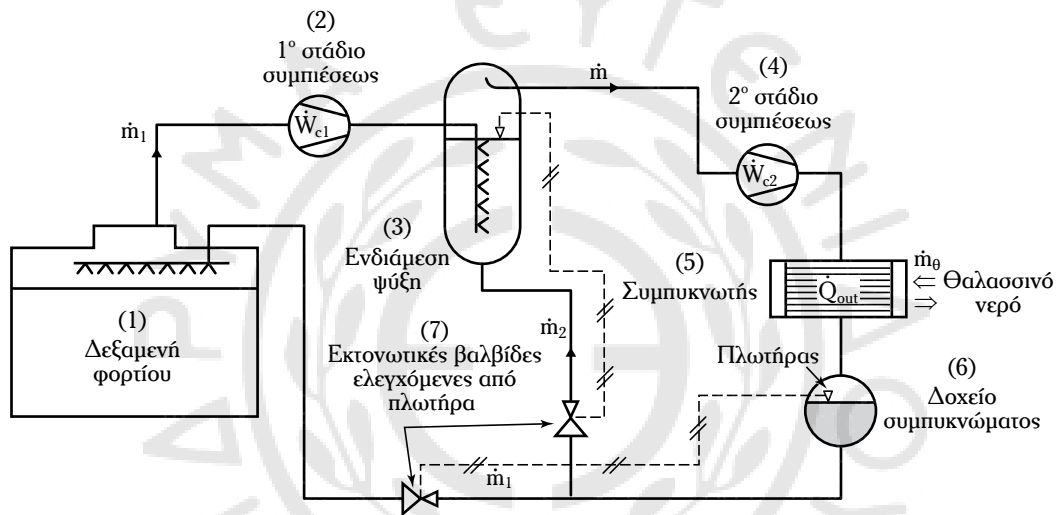
Σχ. 10.4β

Απλοποιημένο σύστημα κύκλου με μονοβάθμια άμεση επανυγροποίηση.

γροποιήσεως στα άλλα συστήματα. Οι εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι απαραίτητες για τη μεταφορά φορτίων, για τα οποία απαιτείται πολύ χαμηλή θερμοκρασία, όπως το αιθυλένιο. Το ψυκτικό μέσο στο διαδοχικό σύστημα χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση των αερίων του φορτίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 10.4δ, η συμπίεση των αερίων που λαμβάνονται από τη δεξαμενή του φορτίου πραγματοποιείται σε ένα στάδιο, όπως στον μονοβάθμιο κύκλο επανυγροποιήσεως, με τη διαφορά ότι το ψυκτικό μέσο του συμπυκνωτή των συμπιεσμένων αερίων του φορτίου ακολουθεί έναν κλειστό κύκλο εξατμίσεως-συμπίεσεως-συμπυκνώσεως. Το συ-

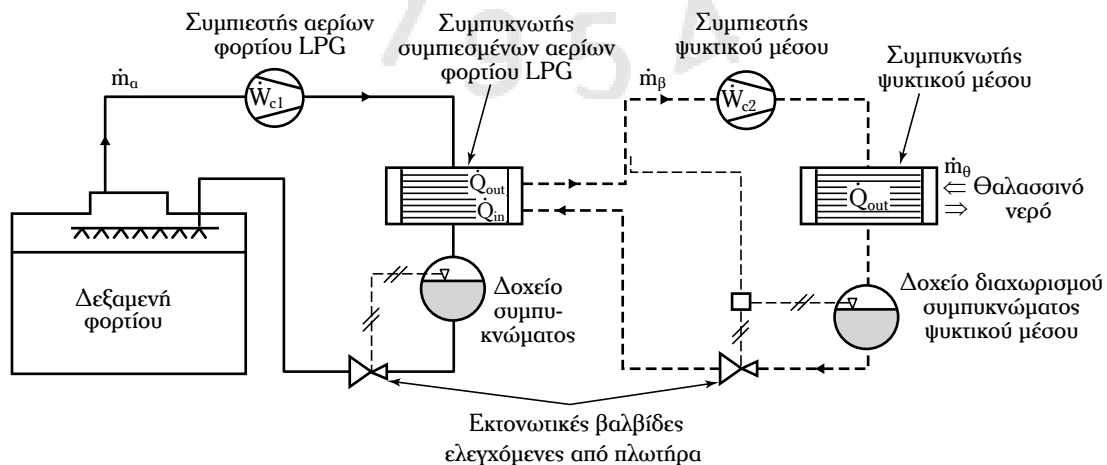
μπύκνωμα του φορτίου δεν έρχεται σε επαφή με τη θάλασσα, παρά μόνο το ψυκτικό μέσο στη διαδοχική διεργασία επανυγροποιήσεως.

β) Το σύστημα επανυγροποιήσεως **έμμεσου κύκλου** (indirect cycle). Στο σύστημα αυτό μία εξωτερική μονάδα ψύξεως χρησιμοποιείται προκειμένου να συμπυκνώσει τα αέρια τα οποία δημιουργούνται από την εξάτμιση του φορτίου χωρίς όμως να συμπιέζονται (σχ. 10.4ε). Τα συστήματα έμμεσου κύκλου δεν συναντώνται συχνά, διότι αφορούν σε μικρό αριθμό φορτίων και για να λειτουργούν αποδοτικά απαιτείται ψυκτικό μέσο με πολύ χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλες επιφάνειες ανταλλαγής θερμότητας. Αυτού του τύπου το σύστημα επανυγροποιήσεως απαιτείται



Σχ. 10.4γ

Ψυκτικός κύκλος υγροποίησης αερίων φορτίων με ενδιάμεση ψύξη από συμπυκνωμένο αέριο.



Σχ. 10.4δ

Απλοποιημένο σύστημα ενός σταδίου συμπίεσεως του αερίου φορτίου σε ψυκτικούς κύκλους διαδοχικής επανυγροποιήσεως (σύστημα cascade).

από τον Κώδικα IGC για πλοία μεταφοράς αερίων φορτίων, όπως το χλώριο, το οξείδιο του αιθυλενίου, το οξείδιο του αιθυλενίου με μείγμα οξειδίου του προπυλενίου και το προπυλενοξείδιο (σχ. 10.4ε).

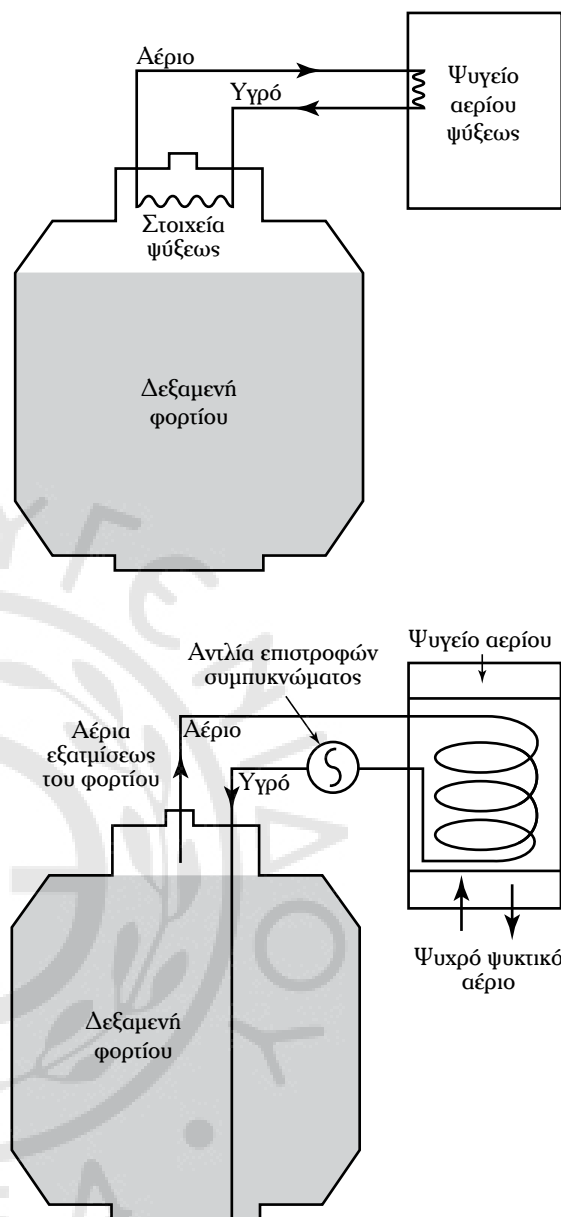
10.5 Σύστημα επανυγροποιήσεως και έλεγχος της εξατμίσεως του φορτίου για Δ/Ξ LNG.

Το φυσικό αέριο αποτελείται από μεθάνιο με χαμηλές συγκεντρώσεις άλλων υδρογονανθράκων, νερού, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου και ορισμένων ενώσεων του θείου. Προκειμένου να φτάσει το φυσικό αέριο στην υγροποιημένη μορφή, ψύχεται κάτω από το **σημείο βρασμού** του (Boil Off Gas–BOG), που είναι οι -161°C . Λόγω της διαχείρισεως του φυσικού αερίου κάτω από το BOG, η διεργασία καθώς και οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται ορίζονται ως διεργασία και συμπιεστές BOG αντίστοιχα. Μετά την ψύξη του γίνεται ένα διαυγές, μη τοξικό, άχρωμο και άοσμο υγρό, για το οποίο απαιτούνται κατά τη μεταφορά του συνθήκες μεγάλης ψύξεως, που κυμαίνονται από -162 έως -163°C (φτάνουν και τους -165°C στο χαμηλότερο σημείο της δεξαμενής).

Στη διάρκεια της μεταφοράς, πάνω από την ελεύθερη επιφάνειά του στο εσωτερικό των δεξαμενών, δημιουργούνται αέρια, τα οποία προέρχονται από την εξατίμιση του φορτίου, είτε λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας στο εξωτερικό περιβάλλον (παρά την ισχυρή μόνωση των δεξαμενών), είτε κατά τη διαδικασία φορτώσεως και εκφορτώσεως λόγω των διακυμάνσεων της στάθμης. Γι' αυτό, έχουν αναπτυχθεί **εγκαταστάσεις επανυγροποιήσεως** (reliquefaction plants) των αερίων, ώστε κατά τη μεταφορά του LNG να περιορίζεται η ποσότητα του φορτίου που θα φτάσει στο σημείο βρασμού του υγροποιημένου αερίου και θα εξατμιστεί. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας του φορτίου, αλλά και της πίεσεως στις δεξαμενές, διατηρώντας τις στα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του πλοίου.

Η διεργασία επανυγροποιήσεως μιας ποσότητας του υγροποιημένου αερίου που αναπόφευκτα φτάνει στο σημείο βρασμού, πραγματοποιείται από τους συμπιεστές BOG (σε δύο ή περισσότερες βαθμίδες συμπίεσεως) και τον συμπυκνωτή, σε ένα σύστημα διαδοχικού κύκλου επανυγροποιήσεως.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος, η αναρρόφηση του αεροσυμπιεστή πραγματοποιείται άμεσα από τις δεξαμενές του φορτίου σε χαμηλή θερμοκρασία

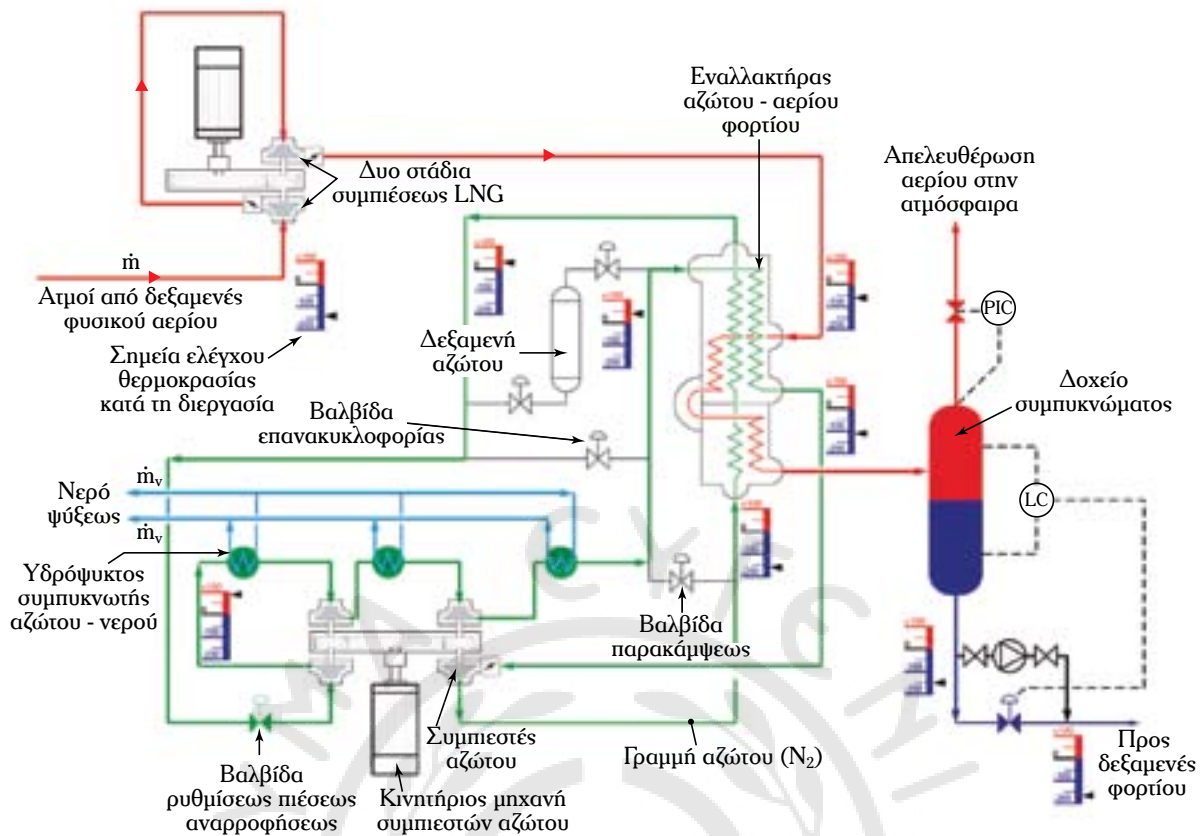


Σχ. 10.4ε

Τυπική διάταξη εγκαταστάσεων έμμεσου κύκλου.

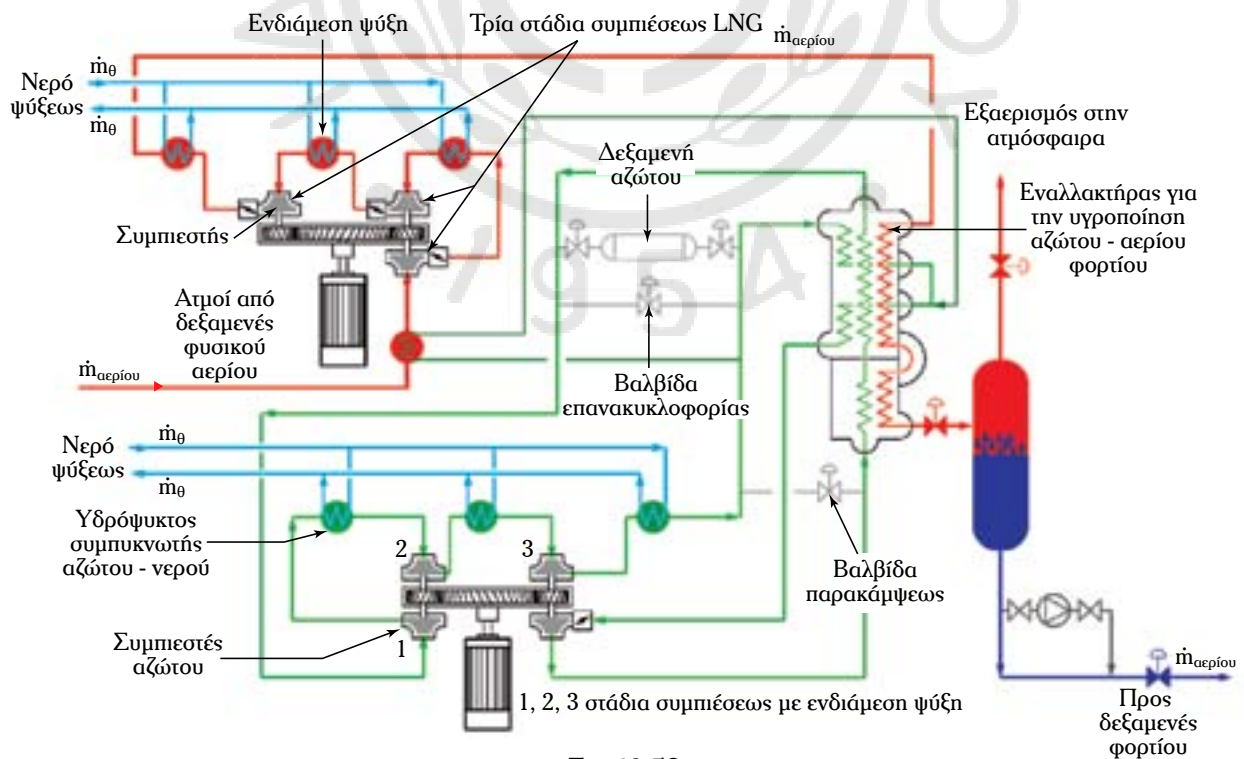
και (σχεδόν) ατμοσφαιρική πίεση. Το αέριο φορτίο μετά τη συμπίεση ψύχεται και συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή για να επιστρέψει στη δεξαμενή μέσω του δοχείου συμπυκνώματος.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας διάφορα συστήματα αναπτύχθηκαν από τους κατασκευαστές για την επανυγροποίηση του φυσικού αερίου (σχ. 10.5α και 10.5β). Το διάγραμμα ροής του συστήματος επανυγροποιήσεως (σχ. 10.5α) παρουσιάζει την άντληση των αερίων φορτίου BOG από τις δεξαμενές μέσω φυγοκεντρικού αεροσυμπιεστή δύο σταδίων.



Σχ. 10.5α

Τυπικό διάγραμμα ροής φυσικού αερίου (Moss RS).



Σχ. 10.5β

Τυπικό διάγραμμα ροής φυσικού αερίου (Mark III).

Μετά τη συμπίεση, το BOG ψύχεται και συμπυκνώνεται σε υγροποιημένο αέριο LNG στον **κρυογονικό εναλλακτήρα θερμότητας** (cold box) από ένα κλειστό σύστημα ψύξεως, στο οποίο κυκλοφορεί άζωτο. Το συμπύκνωμα μαζί με τα μη συμπυκνωμένα αέρια στοιχεία (κυρίως άζωτο) οδηγούνται στο δοχείο συμπυκνώματος, όπου πραγματοποιείται διαχωρισμός και τα μη συμπυκνωμένα αέρια ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υγροποιημένο LNG επιστρέφει στις δεξαμενές φορτίου απ' τη διαφορά πιέσεως στο σύστημα.

Ο συμπιεστής που χρησιμοποιείται στο σύστημα ψύξεως με άζωτο του LNG είναι φυγοκεντρικός πολυβάθμιος συμπιεστής. Το ψυκτικό μέσο που αναρροφάται με τον συμπιεστή του ψυκτικού μέσου από τον κρυογονικό εναλλακτήρα θερμότητας, συμπίεζεται σε τρία στάδια, μεταξύ των οποίων πραγματοποιείται ψύξη του συμπιεσμένου αερίου κάθε σταδίου από εναλλακτήρα θερμότητας που ψύχεται με νερό. Ως ψυκτικό μέσο των συμπιεσμένων αερίων του φορτίου, εκτός από άζωτο, μπορεί να χρησιμοποιούνται και άλλα αέρια.

Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας επανυγροποίησης του φυσικού αερίου, που παρουσιάζεται στο σχήμα 10.5α και αποτελεί το σύστημα πρώτης γενιάς Moss RS και το διάγραμμα των σχημάτων 10.5β, που αποτελεί το σύστημα τρίτης γενιάς Mark III της εταιρείας Hamworthy, διαφέρουν στην προσθήκη ενός ακόμα σταδίου στον αεροσυμπιεστή επανυγροποίησης του LNG (στο σύστημα Mark III) και στην ψύξη που λαμβάνει χώρα στα ενδιάμεσα στάδια συμπίεσης στον συμπιεστή των αερίων του φορτίου.

Ο εξοπλισμός των πλοίων (παράγρ. 10.3 και 10.4) παρέχει τη δυνατότητα υγροποίησης ενός μέρους των αερίων του φορτίου και επιστροφής τους στις δεξαμενές, ενώ ένα άλλο μέρος των αερίων του φορτίου χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τη λειτουργία των συστημάτων παραγωγής ισχύος.

10.6 Ιδιότητες φορτίου.

Υγροποιημένο αέριο ονομάζεται η υγρή μορφή μιας ουσίας, η οποία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπό ατμοσφαιρική πίεση, θα ήταν σε αέρια μορφή. Τα περισσότερα υγροποιημένα αέρια είναι υδρογονάνθρακες, που αποτελούν βασική πηγή ενέργειας, αλλά οι ιδιότητές τους, τους καθιστούν ταυτόχρονα

επικίνδυνους. Τα υγροποιημένα αέρια ως υδρογονάνθρακες διαθέτουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

α) Η **τάση ατμών** (vapour pressure), που είναι η σημαντικότερη ιδιότητα ενός υγροποιημένου αερίου, σε σχέση με την άντληση και την αποθήκευσή του και η οποία είναι η απόλυτη πίεση που ασκείται όταν το υγρό ισορροπεί με τον ατμό του σε δεδομένη θερμοκρασία. Η τάση ατμών εξαρτάται από τη θερμοκρασία της υγρής και της αέριας φάσεως του φορτίου, την πίεση της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας και τον υπάρχοντα κενό χώρο μέσα στη δεξαμενή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του υγροποιημένου φορτίου και των ατμών του ή όσο μειώνεται η πίεση της ατμόσφαιρας στον χώρο του φορτίου, τόσο αυξάνεται η τάση ατμών. Ο IMO, με σκοπό την τήρηση των κανονισμών μεταφοράς υγροποιημένων αερίων, την πίεση κορεσμένων ατμών σε δεδομένη θερμοκρασία έχει υιοθετήσει τον παρακάτω ορισμό για τη μεταφορά χύδην υγροποιημένων αερίων που μεταφέρονται από τα πλοία: **«Υγροποιημένα αέρια είναι τα υγρά με απόλυτη πίεση¹ ατμών μεγαλύτερη από 2,8 bar σε θερμοκρασία 37,8°C»**.

Στον πίνακα 10.6, παρουσιάζεται σύμφωνα με την πίεση ατμών τους σε 37,8°C και το ανάλογο σημείο βρασμού μερικών υγροποιημένων αερίων, που μεταφέρονται εν πλω.

Βάσει του ορισμού αυτού, το οξείδιο του αιθυλενίου (πίν. 10.6) δεν θα ήταν κατάλληλο ως υγρο-

Πίνακας 10.6
Πίεση ατμών και σημείο βρασμού
μερικών υγροποιημένων αερίων.

Υγροποιημένο αέριο	Πίεση ατμών στους 37,8°C (bars absolute)	Σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση και σε °C
Μεθάνιο	Αέριο	-161,5
Προπάνιο	12,9	-42,3
n-Βουτάνιο	3,6	-0,5
Αμμωνία	14,7	-33,4
Χλωριούχο βινύλιο	5,7	-13,8
Βουταδιένιο	4,0	-5
Οξείδιο αιθυλενίου	2,7	+10,7

¹ Ως απόλυτη πίεση χαρακτηρίζεται εκείνη που ως αρχή μετρήσεως έχει το τέλειο ή το απόλυτο κενό ($P_{\text{absolute}} = P_{\text{gage}} + P_{\text{atm}}$).

ποημένο αέριο. Εντούτοις, συμπεριλαμβάνεται στον Διεθνή Κώδικα IGC πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια σε μεγάλες ποσότητες, επειδή το σημείο βρασμού του σε ατμοσφαιρική πίεση είναι τόσο χαμηλό, που θα ήταν δύσκολο να μεταφερθεί το φορτίο με οποιαδήποτε μέθοδο εκτός από εκείνες που ορίζονται για τα υγροποιημένα αέρια.

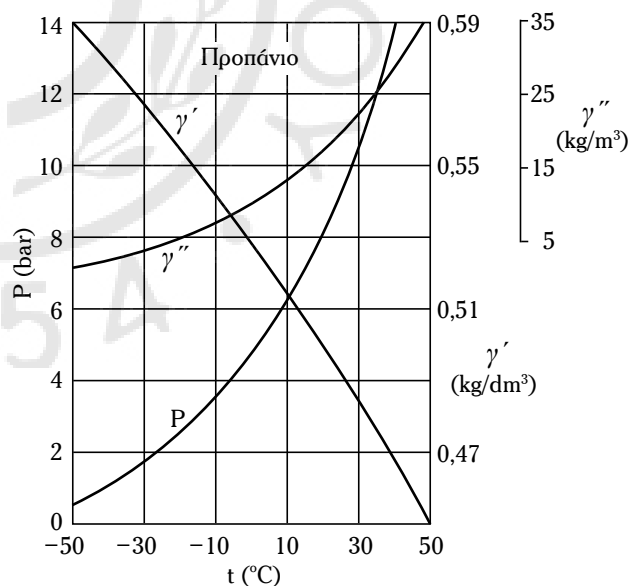
Επί πλέον, οι χημικές ουσίες, όπως ο διεθυλικός αιθέρας, το οξείδιο προπυλενίου και το ισοπρένιο δεν είναι αυστηρά υγροποιημένα αέρια, αλλά συνδέουν τις υψηλές πιέσεις ατμού με τους κινδύνους αναφλέξεως. Ως αποτέλεσμα τέτοιων κινδύνων αυτές οι χημικές ουσίες και διάφορες παρόμοιες ενώσεις έχουν συμπεριληφθεί από κοινού και στον IGC και στον Κώδικα Μεταφοράς Χημικών Χύδην (Bulk Chemical Codes – BCC). Πράγματι, όταν μεταφέρονται τέτοια προϊόντα σε χημικά Δ/Ξ, σύμφωνα με τους κανονισμούς χύδην υγροποιημένων αερίων, πρέπει να αποθηκευθούν σε ανεξάρτητες δεξαμενές και όχι σε εκείνες που δημιουργούνται από τη δομή του πλοίου.

β) Ο **κορεσμός**, που αναφέρεται στην ιδιότητα των υδρογονανθράκων να σχηματίζουν δεσμούς με το υδρογόνο. Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες (saturated hydrocarbons), αποτελούνται εξ ολοκλήρου από απλούς δεσμούς και είναι κορεσμένοι με υδρογόνο. Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες όπως το μεθάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο και το βουτάνιο είναι άχρωμα και άοσμα υγρά. Σε αέρια κατάσταση όλα είναι εύφλεκτα αέρια και καίγονται με την παρουσία οξυγόνου ή ατμοσφαιρικού αέρα, παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς. Δεν παρουσιάζουν προβλήματα χημικής συμβατότητας που μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση, όταν έρχονται σε επαφή με τα υλικά κατασκευής, που συνήθως χρησιμοποιούνται στους χειρισμούς των φορτίων υγραερίων. Με την παρουσία της υγρασίας όμως οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες μπορούν να σχηματίσουν ένυδρα άλατα.

γ) Η δημιουργία **διπλών ή τριπλών δεσμών** μεταξύ των ατόμων άνθρακα. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται στους **ακόρεστους υδρογονάνθρακες** (unsaturated hydrocarbons). Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες όπως το αιθυλένιο, το προπυλένιο, το βουτυλένιο, το βουταδιένιο και το ισοπρένιο είναι άχρωμα υγρά με ελαφρά γλυκίζουσα χαρακτηριστική οσμή.

Όπως και οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες, σχηματίζουν εύφλεκτα μείγματα στον ατμοσφαιρικό αέρα ή με το οξυγόνο, παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς. Είναι χημικά περισσότερο δραστητικοί από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες και μπορούν να αντιδράσουν επικίνδυνα με το χλώριο. Το αιθυλένιο, το προπυλένιο και το βουτυλένιο δεν παρουσιάζουν προβλήματα χημικής συμβατότητας με τα υλικά κατασκευής, ενώ το βουταδιένιο και το ισοπρένιο, έχουν δύο ζεύγη διπλών δεσμών, κάτι που τα καθιστά μακράν τα πιο χημικά δραστικά στοιχεία, ικανά να προκαλέσουν διάβρωση σε αυτήν την ομάδα. Μπορούν να αντιδράσουν με τον αέρα σχηματίζοντας υπεροξείδια, τα οποία είναι ασταθή και τείνουν να οδηγήσουν σε πολυμερισμό.

δ) **Πυκνότητα υγρών και ατμών** (liquid and vapour density). Η ιδιότητα αυτή ενός υγρού (και γενικά κάθε σώματος) ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας ανά μονάδα όγκου και συνήθως μετρείται σε κιλόγραμμα ανά κυβικό **δεκατόμετρο**¹ (kg/dm^3). Εναλλακτικά, η πυκνότητα του υγρού μπορεί να εκφράζεται σε kg/l ή σε kg/m^3 . Η μεταβολή πυκνότητας του υγροποιημένου αερίου σε ισορροπία με τους ατμούς του εμφανίζεται για το προπάνιο με την καμπύλη γ' (σχ. 10.6), όπου φαίνεται ότι η πυκνότητα του υγρού



Σχ. 10.6

Χαρακτηριστικά του προπανίου, η πίεση κορεσμένων ατμών (P), η πυκνότητα κορεσμένου ατμού (γ') και η πυκνότητα του υγρού προπανίου (γ'') για προπάνιο.

¹ Το δεκατόμετρο (decimetre-dm) είναι μία μονάδα μήκους στο μετρικό σύστημα, ίση με ένα δέκατο του μέτρου ($1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ lt}$).

μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στον συγκριτικά μεγάλο συντελεστή διαστολής του όγκου των υγροποιημένων αερίων. Όλα τα υγροποιημένα αέρια, με εξαίρεση το χλώριο, έχουν σχετικές πυκνότητες υγρών λιγότερο από ένα, που σημαίνει ότι σε περίπτωση διαρροής στο νερό αυτά τα υγρά θα επιπλέουν πριν εξατμιστούν.

Η μεταβολή της πυκνότητας των κορεσμένων ατμών του υγροποιημένου προπάνιου σε σχέση με τη θερμοκρασία δίνεται από την καμπύλη γ'' (σχ. 10.6), όπου η πυκνότητα παίρνει τιμές σε kg/m^3 και η πυκνότητα των κορεσμένων ατμών αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ατμός έρχεται σε επαφή με το προπάνιο και καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, μεταφέρεται σε φάση ατμών περισσότερο υγρό, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσεως των ατμών, που αντίστοιχα οδηγεί σε μια σημαντική αύξηση στη μάζα ανά μονάδα όγκου στον χώρο που καταλαμβάνει ο ατμός (π.χ. μέσα σε μια δεξαμενή). Όλα τα υγροποιημένα αέρια παράγουν ατμούς που έχουν σχετική πυκνότητα ατμών μεγαλύτερη από τη μονάδα. Εξαιρέση το μεθάνιο (σε θερμοκρασίες $> -100^\circ\text{C}$), στο οποίο οι ατμοί που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα είναι πυκνότεροι από τον αέρα δεν διασκορπίζονται εύκολα και τείνουν να παραμείνουν χαμηλά.

ε) Η **συμπύκνωση** (condensation) ή **υγροποίηση** (liquefaction), που είναι η μετατροπή αερίου σε υγρό και αποτελεί μία από τις αλλαγές φάσεως της φυσικής μορφής της ύλης. Με τη συμπύκνωση τα μόρια του αερίου να δημιουργήσουν ένα πιο πολύπλοκο μείγμα υδρογονάνθρακα συχνά μεγαλύτερου μοριακού βάρους και να μεταβούν από την αέρια κατάσταση στην υγρή. Η υγροποίηση ή συμπύκνωση επιτυγχάνεται με τη συμπίεση, όταν οι κορεσμένοι ατμοί παραμένουν κορεσμένοι και με τη μείωση της θερμοκρασίας.

στ) Η **αναφλεξιμότητα** και **εκρηκτικότητα** (flammability and explosion). Η χημική αντίδραση που ξεκινά από μια πηγή αναφλέξεως, στην οποία εύφλεκτος ατμός ενώνεται με το οξυγόνο σε κατάλληλες αναλογίες, ώστε να παραχθούν διοξείδιο του

άνθρακα, υδρατμοί και θερμότητα, ονομάζεται καύση. Έτσι, τα υγροποιημένα αέρια και οι ατμοί τους έχουν την ιδιότητα, σε κατάλληλες αναλογίες, να υποστηρίξουν καύση, ενώ για κάθε ένα από αυτά δίνεται και το ανάλογο εύφλεκτο εύρος. Ως **εύφλεκτο εύρος** (flammable range) χαρακτηρίζεται το μέτρο της αναλογίας των ευφλέκτων ατμών και του αέρα που απαιτούνται, ώστε να είναι δυνατή η καύση. Το εύφλεκτο εύρος είναι δηλαδή το εύρος μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης συγκεντρώσεως ατμών (επί τοις εκατό κατ' όγκο) στον αέρα, τα οποία σχηματίζουν ένα εύφλεκτο μείγμα. Αυτοί οι όροι συνήθως δίνονται σε συντομογραφία ως κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας (Lower Flammable Limit – LFL) και ανώτερο όριο αναφλέξεως (Upper Flammable Limit – UFL). Όλα τα υγροποιημένα αέρια με εξαίρεση το χλώριο είναι εύφλεκτα, αλλά οι τιμές του εύφλεκτου εύρους τους μεταβάλλονται και εξαρτώνται απ' τη συγκέντρωση των ατμών κατ' όγκο. Για τα υγραεριοφόρα, λόγω του πλούσιου μείγματος μέσα στις δεξαμενές του φορτίου δεν υφίσταται κίνδυνος αναφλέξεως, εκτός εάν η ποσοστιαία αναλογία του οξυγόνου αυξηθεί ή εκτός από την περίπτωση διαρροής και συγκεντρώσεως αερίων σε περιοχές, όπου υπάρχουν πηγές αναφλέξεως.

ζ) Ο **πολυμερισμός**¹ (polymerisation). Ενώ πολλά από τα υγροποιημένα αέρια είναι πολυμεριζόμενα (όπως υποδεικνύεται με τον διπλό δεσμό στη μοριακή δομή τους), οι δυσκολίες πολυμερισμού φορτίου στην πράξη προκύπτουν μόνο στην περίπτωση του βουταδιένιου, του ισοπρένιου, του οξειδίου του αιθυλενίου και του χλωριούχου βινυλίου. Ο πολυμερισμός που είναι επικίνδυνος υπό ορισμένες συνθήκες, μπορεί να καθυστερήσει ή να ελεγχεται με την προσθήκη **αναστολέων**². Ο πολυμερισμός λαμβάνει χώρα όταν ένα μόνο μόριο (α μονομερές) αντιδρά με ένα άλλο μόριο της ίδιας ουσίας για να σχηματίσουν ένα διμερές μόριο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί έως ότου σχηματιστεί μια μακρά αλυσίδα από το μόριο, έχοντας πολλές χιλιάδες μεμονωμένων μορίων (ένα πολυμερές). Η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιείται με μεγάλη ταχύτητα

¹ Ο πολυμερισμός αποτελεί τη συνοπτική ονομασία των χημικών αντιδράσεων που δημιουργούν πολυμερείς ενώσεις, δηλαδή ενώσεις με μακρομόρια (μόρια μεγάλου πλήθους ατόμων), τα οποία έχουν ως χαρακτηριστικό το μεγάλο μοριακό τους βάρος.

² Ως αναστολέας ορίζεται μία ουσία, που όταν προστίθεται σε μικρή συγκέντρωση σε ένα περιβάλλον, μειώνει αποτελεσματικά τον ρυθμό διαβρώσεως, π.χ. ο αναστολέας διαβρώσεως μετάλλου μειώνει τη διάβρωση ενός μετάλλου που εκτίθεται σ' αυτό το περιβάλλον.

και έχει ως συνέπεια την παραγωγή μεγάλης θερμότητας. Μπορεί να ξεκινήσει αυθόρμητα να καταλύεται από την παρουσία οξυγόνου (ή άλλων ακαθαρσιών) ή με μεταφορά θερμότητας κατά τη διάρκεια ενεργειών διαχειρίσεως του φορτίου. Κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού, το ιξώδες του φορτίου αυξάνεται, έως ότου τελικά σχηματιστεί ένα πολυμερές στερεό και χωρίς δυνατότητα να αντληθεί.

η) Ο **σχηματισμός ένυδρου άλατος** (hydrate formation). Το προπάνιο και το βουτάνιο μπορεί να σχηματίζουν ένυδρα άλατα κάτω από ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως με την παρουσία ελεύθερου νερού. Αυτό το νερό μπορεί να υπάρχει στο υγραέριο ως ακαθαρσία ή μπορεί να εξαχθεί από τα διαφράγματα της δεξαμενής φορτίου, εφόσον έχουν σκουριά. Η σκουριά, η οποία έχει αφυδατωθεί, εφόσον η υγρασία της απορροφάται από το υγραέριο χάνει την πρόσφυσή της στις επιφάνειες της δεξαμενής, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται στον πυθμένα της δεξαμενής ως λεπτή σκόνη. Τα ένυδρα άλατα των φορτίων LPG αποτελούν λευκά κρυσταλλικά στερεά σωματίδια, που μπορεί να φράξουν τα φίλτρα, τις βαλβίδες του συστήματος επανυγροποιήσεως και να προκαλέσουν βλάβες στις αντλίες του φορτίου. Για την πρόληψη του σχηματισμού ένυδρων αλάτων μπορεί να χρησιμοποιηθούν αναστολείς, όπως η μεθανόλη ή η αιθανόλη, οι οποίοι είναι δυνατόν να προστεθούν σε κατάλληλα σημεία στο σύστημα, αλλά μόνο μετά από τη συγκατάθεση του ναυλωτή και των διαχειριστών του πλοίου. Σε διαφορετική περίπτωση απαγορεύεται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ορισμένες χώρες η χρήση μεθανόλης απαγορεύεται, ενώ ορισμένα χημικά αέρια μπορεί να τεθούν εκτός προδιαγραφών με την προσθήκη μεθανόλης. Δεδομένου ότι η μεθανόλη είναι τοξική, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τον ασφαλή χειρισμό του φορτίου.

10.7 Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό Πλοίων Μεταφοράς Χύδην Υγροποιημένων Αερίων.

Ο Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό των Πλοίων Μεταφοράς Χύδην Υγροποιημένων Αερίων (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk-IGC), εφαρμόζεται στα πλοία μεταφοράς αερίου, τα οποία κατασκευάστηκαν την/ή μετά την 1η Ιουλίου 1986. Τα πλοία μεταφοράς φυσι-

κού αερίου που κατασκευάστηκαν πριν από την ημερομηνία αυτή και μετά την 31.12.1976 θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του Κώδικα για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό των Πλοίων που Μεταφέρουν Χύδην Υγροποιημένα Αέρια ο οποίος είναι γνωστός ως Κώδικας Μεταφοράς Αερίων (εν συντομία Κώδικας GC). Τα πλοία με ημερομηνία κατασκευής πριν το 1977 καλύπτονται από τον Κώδικα για τα Υπάρχοντα Πλοία που Μεταφέρουν Χύδην Υγροποιημένα Αέρια (Code for Existing Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk).

Ο σκοπός της δημιουργίας του IGC είναι να καθιερώσει ένα διεθνές πρότυπο για την ασφαλή θαλάσσια μεταφορά χύδην υγροποιημένων αερίων και ορισμένων άλλων φορτίων με παρόμοια χαρακτηριστικά. Στον IGC προσδιορίζονται οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές χύδην υγροποιημένων αερίων, καθώς και για τον εξοπλισμό που πρέπει να φέρουν τα πλοία ώστε, λαμβάνοντας υπόψη τη φύση των προϊόντων που μεταφέρονται, να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον. Στον IGC και στις ανανεωμένες εκδόσεις του περιλαμβάνονται οι βελτιώσεις στη διαχείριση και στη λειτουργία των υγραεριοφόρων, σύμφωνα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις ανάγκες που δημιουργούνται.

Η βασική φιλοσοφία του IGC σχετίζεται με τους τύπους των πλοίων και των κινδύνων που προκύπτουν από τις επικίνδυνες ιδιότητες των φορτίων, π.χ. των πιθανών κινδύνων που μπορεί να προκύψουν από τα προϊόντα που μεταφέρονται υπό κρυστογονικές συνθήκες (μεγάλη ψύξη) ή συνθήκες πίεσεως. Επίσης, λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα από μία πιθανή σύγκρουση ή προσάραξη, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε βλάβη της δεξαμενής του φορτίου και στην ανεξέλεγκτη απελευθέρωση του προϊόντος στο περιβάλλον. Τέτοια απελευθέρωση είναι δυνατό να οδηγήσει στην εξάτμιση και διασπορά του φορτίου, που σε ορισμένες περιπτώσεις θα μπορούσε να προκαλέσει θραύση της γάστρας του πλοίου. Οι απαιτήσεις του IGC έχουν ως στόχο την ελαχιστοποίηση των κινδύνων αυτών στον βαθμό που είναι εφικτό, με βάση την παρούσα γνώση και τεχνολογία.

Ο IGC ασχολείται κυρίως με τον σχεδιασμό των πλοίων και του εξοπλισμού μεταφοράς, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής μεταφορά των προϊόντων, ενώ γίνεται εκτίμηση και του συνολικού συστήματος διαχειρίσεως του φορτίου. Άλλες σημαντι-

κές πτυχές της ασφαλούς μεταφοράς των προϊόντων, που αναφέρονται στον Κώδικα αυτόν, αφορούν στην εκπαίδευση των πληρωμάτων, στις ιδιότητες και στους κινδύνους των φορτίων, στον έλεγχο και στη διασύνδεση του πλοίου με την ξηρά και στους χειρισμούς στο λιμάνι.

10.8 Ασφαλιστικές διατάξεις κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φορτίων που οφείλονται στις ιδιότητες του υγροποιημένου αερίου, η διατήρηση του φορτίου κάτω από ειδικές συνθήκες και ο συνεχής έλεγχος της καταστάσεως από τη φόρτωση κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, μέχρι την εκφόρτωση στον σταθμό ξηράς, έχουν οδηγήσει στη ναυπήγηση πλοίων υψηλής ποιότητας και προδιαγραφών. Τα πλοία αυτά είναι εφοδιασμένα με ελεγκτικούς μηχανισμούς και ασφαλιστικές διατάξεις που καθιστούν τα υγραεριοφόρα τα πιο ασφαλή πλοία που κατασκευάζονται σήμερα.

Οι διατάξεις που ελέγχουν την ασφαλή διαχείριση του φορτίου κατά τη φόρτωση, τη μεταφορά και την εκφόρτωση του πλοίου περιλαμβάνουν:

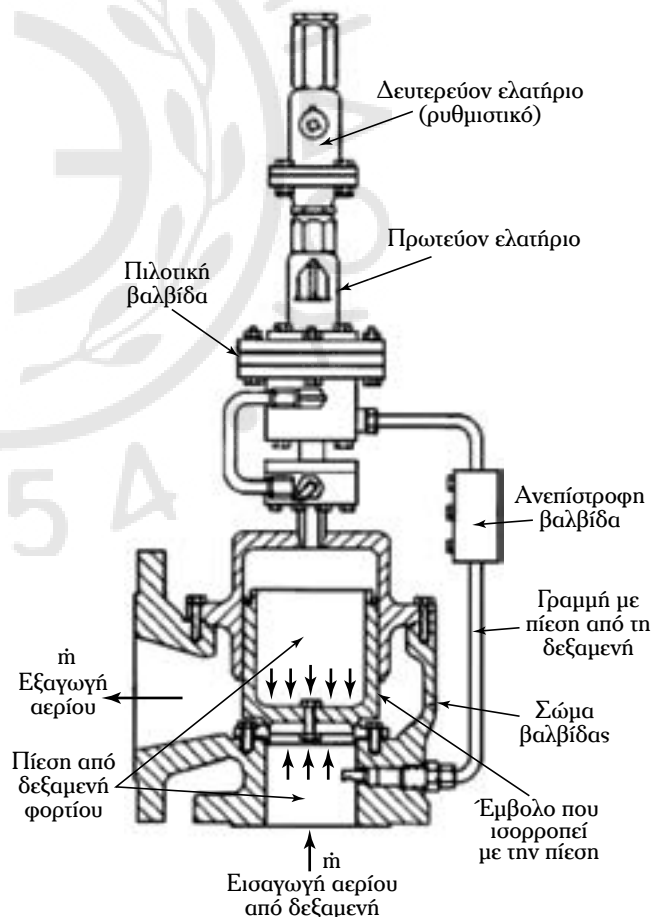
α) Το **σύστημα έκτακτης διακοπής των λειτουργιών** (Emergency ShutDown–ESD), η οποία επιτυγχάνεται με την απομόνωση του συστήματος με το αυτόματο κλείσιμο επιστομίων, σε περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ισχύος στο πλοίο, σε περίπτωση πυρκαγιάς στον θόλο μιας δεξαμενής φορτίου ή σε περίπτωση πυρκαγιάς στις συνδέσεις των σωλήνων με την ξηρά.

β) Την **εγκατάσταση πνευματικών ή ηλεκτρικών διακοπών άμεσης διακοπής της λειτουργίας του συστήματος διαχειρίσεως φορτίου** (remote shutdown buttons), σε διάφορα σημεία του πλοίου, για παράδειγμα στη γέφυρα, στον διάδρομο του καταστρώματος, στο δωμάτιο των συμπιεστών και στο δωμάτιο ελέγχου του φορτίου, μέσω των οποίων διακόπεται εξ αποστάσεως η λειτουργία των αντλιών του φορτίου και των συμπιεστών, ενώ ταυτόχρονα κλείνουν τα επιστόμια διακόποντας τη ροή φορτίου σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

Τα είδη των επιστομίων απομονώσεως του δικτύου συνήθως είναι εγκατεστημένα σε Δ/Ξ μεταφοράς υγροποιημένων αερίων. Είναι **σφαιρικού τύπου** (ball valves) λόγω της μεγάλης επιφάνειας εδράσεως της βαλβίδας (στοιχείο διακοπής της ροής του επιστομίου), που τα καθιστά ιδιαίτερα ανθεκτικά στις ιδιότητες του φορτίου. Μπορεί επίσης να είναι και **συρ-**

ταρωτού (gate) ή τύπου **πεταλούδας** (butterfly), τα οποία είναι εφοδιασμένα με πνευματικό ή περιστρεφόμενο υδραυλικό ενεργοποιητή. Οι βαλβίδες σφαιρικού τύπου στα πλοία LNG και αιθυλενίου διαθέτουν εσωτερικό σύστημα εκτονώσεως της πίεσεως (μία τρύπα που ανοίγει και συνδέει την κοιλότητα της βαλβίδας με την κάτω πλευρά του επιστομίου).

γ) Τις **βαλβίδες προστασίας από την αύξηση της πίεσεως** (pressure-relief and vacuum protection valves) ή τις συνθήκες υποπίεσεως, για τις οποίες ο IMO ορίζει ότι θα πρέπει να εγκαθίστανται δύο σε κάθε δεξαμενή φορτίου χωρητικότητας μεγαλύτερης από 20 m³, ενώ κάτω από 20 m³ μπορεί να υπάρχει μία. Οι τύποι των βαλβίδων είναι είτε με ελατήριο, είτε με πιλοτική βαλβίδα. Οι εκτονωτικές βαλβίδες με πιλοτική βαλβίδα λειτουργίας (σχ. 10.8α και 10.8β) τοποθετούνται σε δεξαμενές τύπου Α, Β και C, ενώ οι εκτονωτικές βαλβίδες ελατηρίου συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο για δεξαμενές τύπου C. Η χρήση της βαλβίδας με πιλοτική λειτουργία σε δεξαμενές τύπου



Σχ. 10.8α

Βαλβίδα προστασίας από την αύξηση της πίεσεως με πιλοτική βαλβίδα.

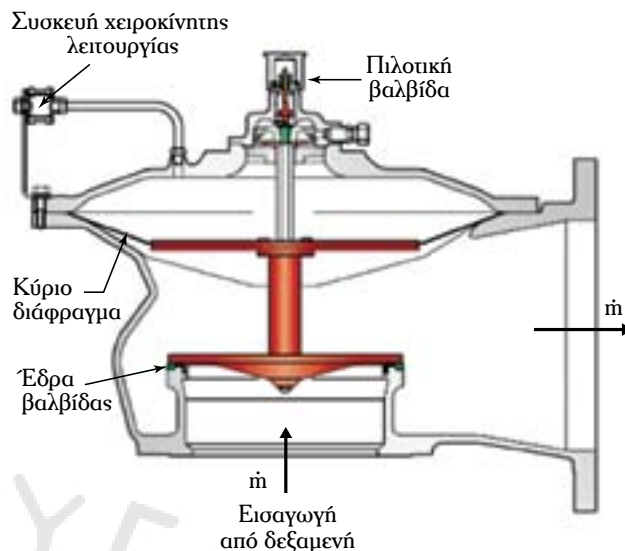
Α εξασφαλίζει ακριβή λειτουργία στις χαμηλές συνθήκες πίεσης που επικρατούν, ενώ η χρήση τους σε δεξαμενές τύπου C, επιτρέπει χρησιμοποιώντας την ίδια βαλβίδα να μεταβάλλεται η ρύθμιση της πίεσης εκτονώσεως. Στις βαλβίδες με ελατήριο η μεταβολή στη ρύθμιση της πίεσης εκτονώσεως επιτυγχάνεται με την αλλαγή του ελατηρίου.

δ) Τις **φλογοπαγίδες** (flameproof equipment), που προστατεύουν από την επιστροφή της φλόγας μέσα στους σωλήνες του δικτύου σε περίπτωση αναφλέξεως των αερίων του φορτίου. Οι φλογοπαγίδες αποτελούνται από έναν θάλαμο με δυνατότητα να αντέξει την πίεση που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια αναφλέξεως ενός εύφλεκτου μείγματος. Ο σχεδιασμός τους είναι τέτοιος που αποτρέπει την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα οποιωνδήποτε προϊόντων εκρήξεως, που συμβαίνει μέσα στο θάλαμο, πριν η θερμοκρασία τους μειωθεί κάτω από το σημείο αναφλέξεως. Ως εκ τούτου, η διαδρομή της φλόγας μέσα στη φλογοπαγίδα, που εξαρτάται από τον τρόπο συναρμολογήσεως μετά από επιθεώρηση, θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη φροντίδα καθώς ώστε να διατηρείται η φλογοπαγίδα σε καλή κατάσταση, και να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα.

ε) Τα **όργανα μετρήσεως στάθμης του υγρού στις δεξαμενές** (liquid level instrumentation). Ο IGC απαιτεί να υπάρχει τουλάχιστον ένα τέτοιο όργανο εγκατεστημένο σε κάθε δεξαμενή. Επίσης για συγκεκριμένα φορτία, ορίζονται διαφορετικοί τύποι οργάνων μετρήσεως και ταξινομούνται ως:

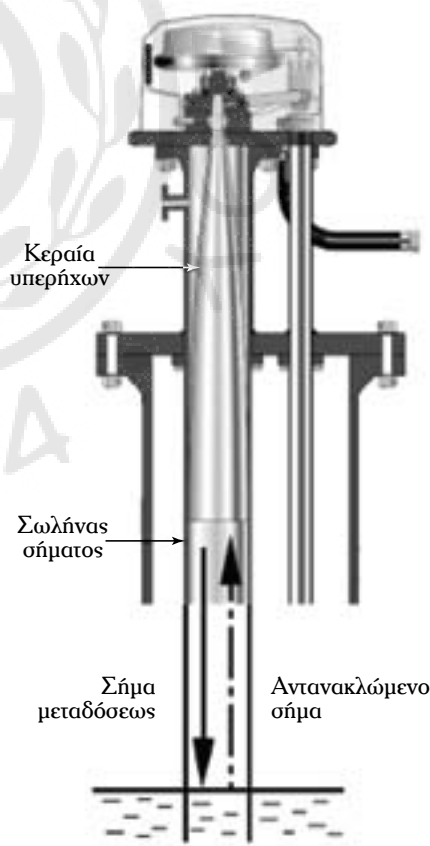
- **Έμμεσα συστήματα μετρήσεως στάθμης**, τα οποία μπορεί να είναι είτε συστήματα μετρήσεως βάρους, είτε συστήματα μετρήσεως ροής.
- **Κλειστά συστήματα μετρήσεως που δεν διαπερνούν την δεξαμενή φορτίου**, στα οποία ανήκουν οι συσκευές υπερήχων (σχ. 10.8γ) ή οι μετρητές ραδιοσυχνότητας.
- **Κλειστά συστήματα μετρήσεως, που διαπερνούν τη δεξαμενή φορτίου**, όπως οι μετρητές με πλωτήρα και οι σωλήνες με ένδειξη φυσαλίδων.
- **Κλειστά συστήματα μετρήσεως, που διαπερνούν τη δεξαμενή**, αλλά απελευθερώνουν μικρές ποσότητες υγρού ή αερίου στην ατμόσφαιρα κατά τη χρήση τους, τα οποία όταν δεν χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι εντελώς απομονωμένα.

στ) Το **σύστημα συναγερμού και διακοπής των λειτουργιών** (level alarm and automatic shut-



Σχ. 10.8β

Βαλβίδα προστασίας από την αύξηση της πίεσης με διάφραγμα και πιλοτική βαλβίδα.



Σχ. 10.8γ

Συσκευή υπερήχων για τη μέτρηση στάθμης του υγρού στις δεξαμενές.

down system), που ενεργοποιείται από ανεξάρτητο αισθητήρα υψηλής στάθμης, με τον οποίο πρέπει να είναι εφοδιασμένη κάθε δεξαμενή, με εξαίρεση τα πλοία με δεξαμενές τύπου C χωρητικότητας $< 200 \text{ m}^3$. Μαζί με την ενεργοποίηση του συστήματος θα πρέπει να ενεργοποιείται και ηχητικός συναγερμός. Εναλλακτικά, γι' αυτόν τον σκοπό είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται οι μετρητές στάθμης με πλωτήρα ή οι μετρητές υπερήχων.

ζ) Τις **συσκευές ελέγχου πίεσεως και θερμοκρασίας** (pressure and temperature monitoring). Οι συσκευές ελέγχου πίεσεως τοποθετούνται σε πολλά σημεία του δικτύου του φορτίου, όπως στις δεξαμενές φορτίου, στην αντλία, στις γραμμές εκκένωσης του συμπιεστή κ.ά., ενώ τοποθετούνται δύο συσκευές ελέγχου της θερμοκρασίας σε κάθε δεξαμενή, μία κοντά στον πυθμένα και μία στην ανώτερη στάθμη του υγρού μέσα στη δεξαμενή.

η) Τα **συστήματα ανιχνεύσεως αερίων** (gas detection systems). Η διάταξη των συστημάτων ανιχνεύσεως αερίων στα πλοία μεταφοράς υδρογονανθράκων είναι σημαντική και ο IGC απαιτεί τα πλοία αυτά να διαθέτουν σταθερό σύστημα ανιχνεύσεως αερίων, που να υποστηρίζει ηχητικά και οπτικά σήματα συναγερμού. Επαναλήπτες των ενδείξεων του ανιχνευτή πρέπει να τοποθετούνται στη γέφυρα, στο δωμάτιο ελέγχου του φορτίου και στον χώρο εγκαταστάσεως του πίνακα ελέγχου του ανιχνευτή. Οι αισθητήρες ανιχνεύσεως θα πρέπει να ενεργοποιούν τον συναγερμό, όταν η συγκέντρωση αερίων του φορτίου φτάνει το 30% του κατώτερου ορίου ευφλεκτότητας και τοποθετούνται:

- Στον χώρο εγκαταστάσεως των συμπιεστών του φορτίου.
- Στον χώρο εγκαταστάσεως των ηλεκτροκινητήρων.
- Στο δωμάτιο ελέγχου του φορτίου.
- Σε κλειστούς χώρους, όπως στον χώρο του κύτους, όπου είναι εγκατεστημένες οι δεξαμενές, και σε χώρους που σχηματίζονται από διαφράγματα.
- Στο μηχανοστάσιο.
- Στον θάλαμο ελέγχου της παροχής αερίου φορτίου στις μηχανές διπλών καυσίμων.

θ) Τον **εξοπλισμό επιμελούς μεταφοράς** (LNG custody transfer system). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα βαθμονομημένο πακέτο εξοπλισμού από όργανα μετρήσεως φορτίου εγκατεστημένο στα πλοία μεταφοράς υδρογονανθράκων φυσικού

αερίου. Αποτελεί ένα ανεξάρτητο σύστημα ακριβείας για τον έλεγχο της ποσότητας του φορτίου, το οποίο συχνά υποστηρίζεται από καταγραφή δεδομένων και υπηρεσίες υπολογισμού του φορτίου και καθορίζει την ποσότητα του προϊόντος, που μεταφέρεται μεταξύ πωλητή και αγοραστή. Η ακρίβεια είναι σημαντική, δεδομένου ότι οι ποσότητες που καθορίζονται, χρησιμοποιούνται ως βάση για τους εισαγωγικούς δασμούς. Το σύστημα περιλαμβάνει τους μετρητές στάθμης, τους αισθητήρες θερμοκρασίας (συχνά τύπου με αντίσταση από λευκόχρυσο) και τους μετρητές πίεσεως.

10.9 Μονάδες ελέγχου παροχής καυσίμου.

Οι μονάδες ελέγχου που υποστηρίζουν τη χρήση του υγραερίου φορτίου ως καύσιμο αποτελούν υβριδικά συστήματα, στα οποία ο έλεγχος για την παροχή καυσίμου εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής που χρησιμοποιείται.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται **λέβητας διπλού καυσίμου** (dual fuel) για την καύση των εξατμίσεων του φορτίου, ενώ η κινητήρια ισχύς παρέχεται από την κύρια ΜΕΚ υγρών καυσίμων (σχ. 10.9α), η διαδικασία στην καύση του αερίου είναι πιο απλή. Η απλότητα οφείλεται στην ευκολία αλλαγής του καυσίμου από βαρύ πετρέλαιο σε αέρια από τις εξατμίσεις του φορτίου και στο ότι η παροχή στον καυστήρα του λέβητα του αερίου από τη δεξαμενή πραγματοποιείται μέσω ενός συμπιεστή χαμηλής πίεσεως και ενός εναλλακτήρα, για την αύξηση της θερμοκρασίας του αερίου. Φυσικά, θα πρέπει να τηρούνται ειδικές προφυλάξεις στις σωληνώσεις του αερίου, για την πρόληψη τυχόν διαρροής μέσα στο μηχανοστάσιο (π.χ. σωλήνες διπλού τοιχώματος). Το LNG είναι το μόνο υδρογονανθράκων αέριο που επιτρέπεται από τον IGC να καεί σε λέβητες του πλοίου, διότι οι εξατμίσεις των άλλων υδρογονανθράκων αερίων έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από τον αέρα, με αποτέλεσμα να θεωρούνται επικίνδυνα, διότι δημιουργούν συγκέντρωση ευφλέκτων αερίων. Η ποσότητα του ατμού που παράγεται στους λέβητες διπλού καυσίμου χρησιμοποιείται για την κίνηση των συμπιεστών του δικτύου επανυδρογονάνθεσης του φορτίου και για τη λειτουργία της ηλεκτρογεννήτριας με ατμοστρόβιλο, η οποία παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στην ηλεκτροκίνητη έλικα και τις υπόλοιπες καταναλώσεις του πλοίου.

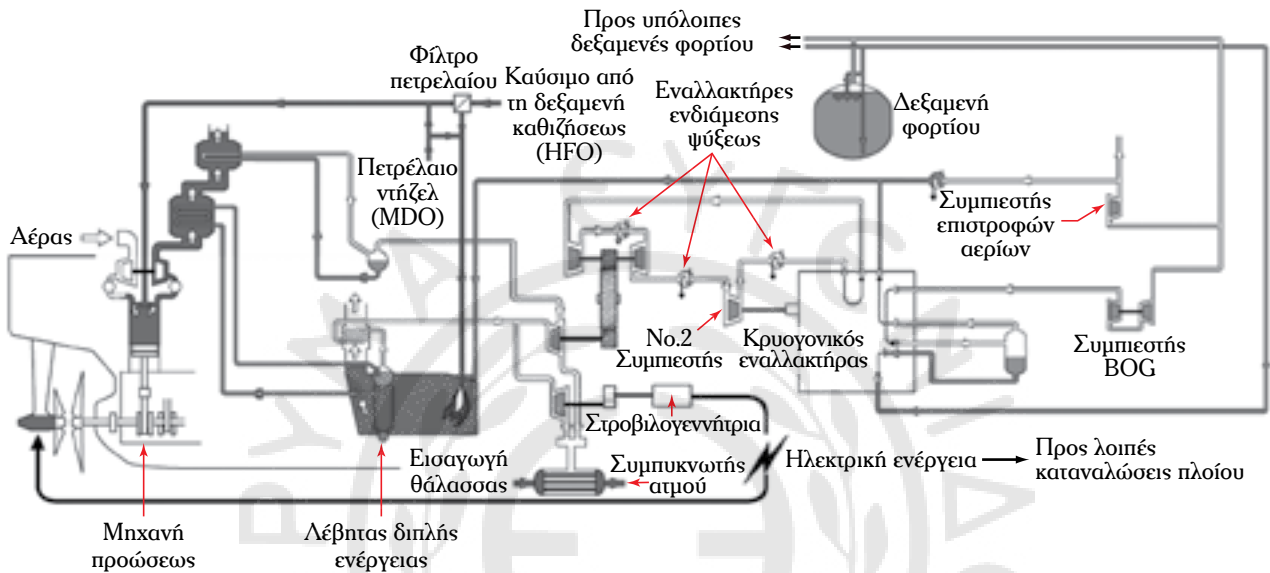
Για συστήματα παραγωγής κινητήριας ισχύος σε πλοία με ΜΕΚ διπλού καυσίμου, οι μονάδες ελέγ-

κου παροχής καυσίμου που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από τον τύπο της μηχανής, δηλαδή εάν είναι τετράχρονη ή δίχρονη.

1) Τετράχρονες μηχανές διπλού καυσίμου.

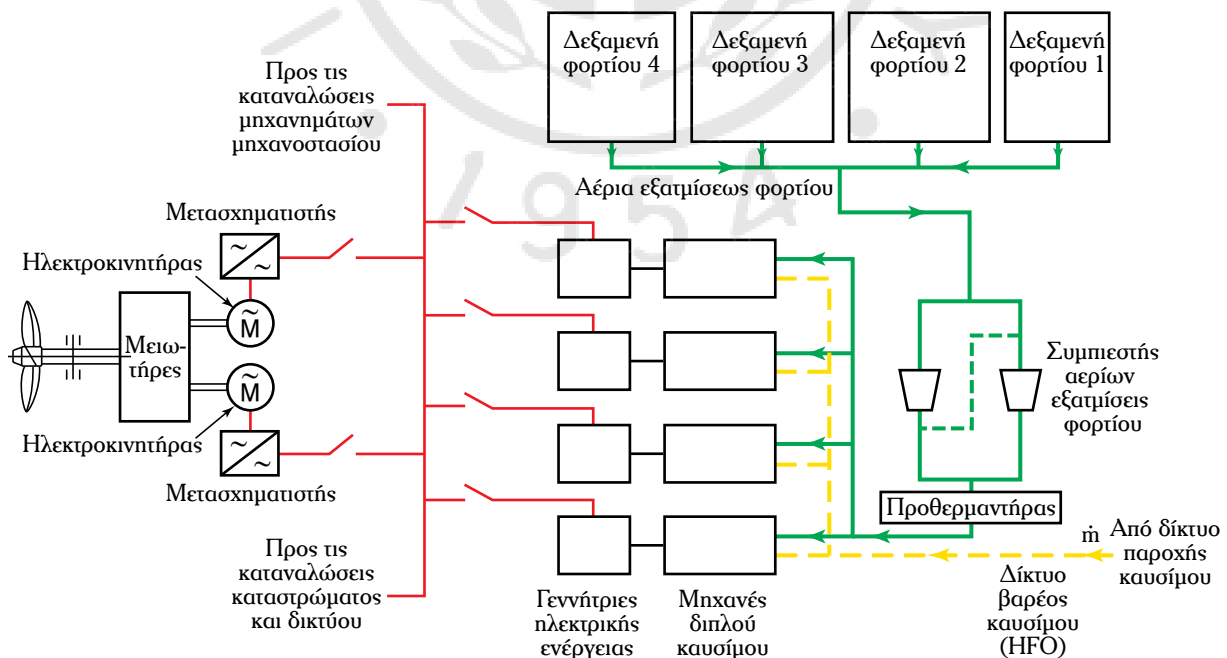
Οι **τετράχρονες μηχανές διπλού καυσίμου** χρησιμοποιούνται στα εμπορικά πλοία, συνήθως για την καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου LNG. Έχουν ωστόσο αναπτυχθεί και μηχανές που χρησι-

μοποιούν υγροποιημένα πετρελαϊκά αέρια LPG. Η απόδοση ωφέλιμης ισχύος από την καύση του αερίου των μηχανών διπλού καυσίμου πλησιάζει το 50%. Όταν όμως εγκαθίστανται για την παραγωγή ενέργειας σε συστήματα ηλεκτροπρώσεως (σχ. 10.9β), η γενική απόδοση είναι περίπου 43%, λόγω απωλειών σε μετασχηματιστές, μετατροπείς ισχύος, κινητήρες και μειωτήρες. Παρ' όλα αυτά, η απόδοση από τη



Σχ. 10.9α

Σχηματική παράσταση υβριδικού συστήματος προώσεως με λέβητα διπλού καυσίμου.



Σχ. 10.9β

Τυπική εγκατάσταση τετραχρόνων MEK διπλού καυσίμου.

χρήση αερίων φορτίου ως καύσιμο στις μηχανές διπλού καυσίμου, υπερβαίνει κατά πολύ την απόδοση εάν συγκριθεί με τις εγκαταστάσεις ατμοστροβίλου, η οποία είναι περίπου 29% για εγκαταστάσεις προώσεως και 25% για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά τη λειτουργία της εγκαταστάσεως, το αέριο αναρροφάται από τον συμπιεστή εξατμίσεων του φορτίου (compressor of BOG), ο οποίος το συμπιέζει στα 5,5 bar περίπου. Το συμπιεσμένο αέριο διέρχεται από προθερμαντήρα (heater) και θερμαίνεται στους 30°C, ώστε να μπορεί να καεί στη μηχανή. Στη συνέχεια, το αέριο εγχέεται στον οχετό εισαγωγής του αέρα πριν αυτός εισέλθει στους κυλίνδρους. Το μείγμα αναφλέγεται με τη βοήθεια μίας μικρής ποσότητας καυσίμου ντήζελ που παρέχεται πιλοτικά (βοηθητικά) για να βοηθήσει στην ανάφλεξη (λιγότερο από 1% της καταναλώσεως καυσίμου σε ονομαστικό φορτίο). Η έγχυση του αερίου και του καυσίμου μπορεί να πραγματοποιείται από δύο διαφορετικούς εγχυτήρες ή από έναν, ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Οι ατμοί του υγροποιημένου φυσικού αερίου (Natural Boil of Gas – NBOG) διοχετεύονται στις μηχανές διπλού καυσίμου μέσω μίας διαδικασίας πολλαπλών σταδίων, η οποία υποστηρίζεται από:

α) Τον **σωλήνα ψεκασμού υγροποιημένου αερίου** (LNG spray pipe) για την ψύξη των εξατμίσεων του φυσικού αερίου, που ψεκάζει υγροποιημένο φυσικό αέριο, με αποτέλεσμα να φτάνει σε θερμοκρασία -105°C (η θερμοκρασία αυτή είναι και η θερμοκρασία σχεδιασμού του συμπιεστή για την εισαγωγή του αερίου), ενώ μπορεί να φτάσει τους -70°C κατά τη διάρκεια ταξιδιού σε κατάσταση ερματισμού (χωρίς φορτίο).

β) Τον **δυναμικό εξατμιστή** (forcing vaporizer), που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του φυσικού αερίου. Οι ατμοί που παράγονται χρησιμοποιούνται για να συμπληρωθεί η παροχή αερίου που καίγεται στους λέβητες ή στις ΜΕΚ, όταν η φυσιολογική εξάτμιση λόγω των ιδιοτήτων του υγροποιημένου φορτίου (natural boil-off), που λαμβάνει χώρα κατά την μεταφορά του, δεν παρέχει την ποσότητα αερίου που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος.

γ) Τον **διαχωριστή** (mist separator), ο οποίος απομακρύνει τυχόν σταγονίδια, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρή βλάβη στο συμπιεστή και βαριά στοιχεία του αερίου καυσίμου, που θα αποτελούσαν κίνδυνο για τη μηχανή από την ατελή (κακή) καύση του καυσίμου.

δ) Τον **συμπιεστή χαμηλού φορτίου** (Low

Duty Compressor – LDC), με τον οποίο το αέριο συμπιέζεται περίπου στα 5,5 bar επιτρέποντάς του να εγχέεται από τους εγχυτήρες της μηχανής.

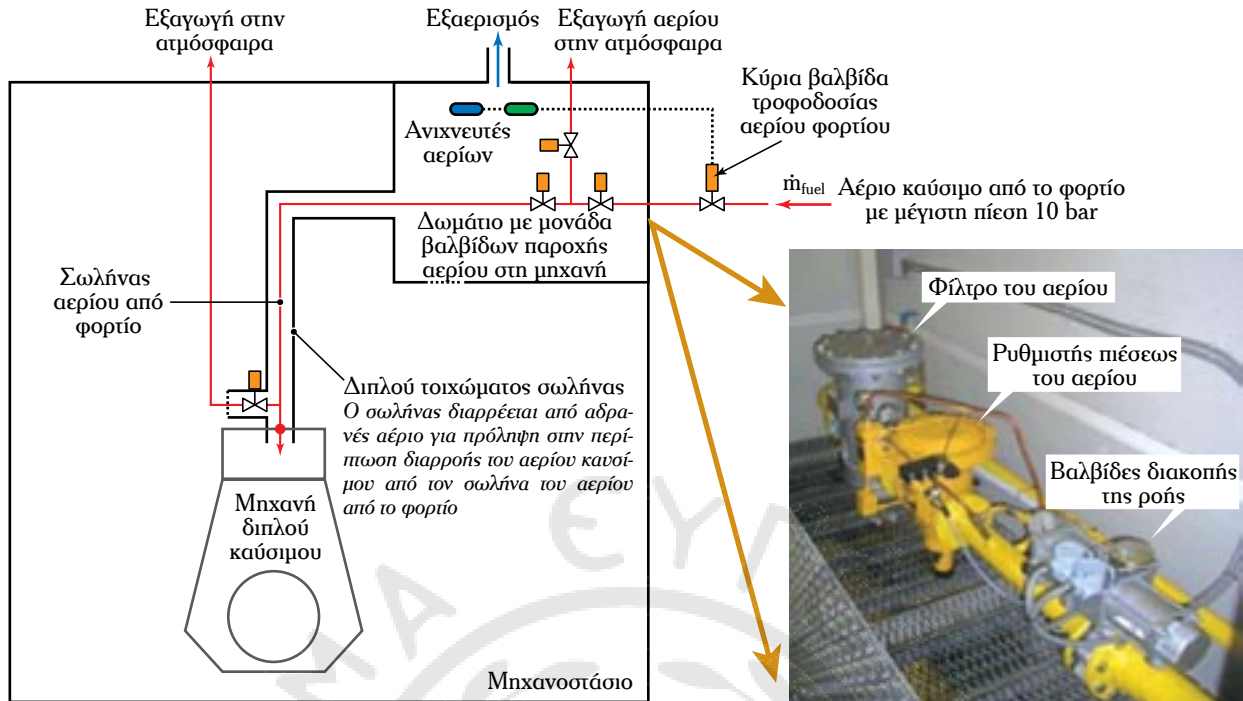
ε) Τον **προθερμαντήρα** (gas heater), από τον οποίο διέρχεται το αέριο, εάν απαιτείται, για να αποκτήσει θερμοκρασία πάνω από 20 °C και να εξασφαλιστεί η στοιχειομετρική (καλή) καύση του στη μηχανή. Η προθέρμανση σε αυτήν την περίπτωση, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του αερίου, επιτυγχάνεται με θάλασσα.

στ) Το **ψυγείο του αερίου** (gas cooler), από το οποίο διέρχεται το αέριο σε περίπτωση που η θερμοκρασία του υπερβαίνει τη θερμοκρασία των 30 °C.

ζ) Την **κύρια βαλβίδα τροφοδοσίας αερίου φορτίου** (master gas valve), η οποία είναι εγκατεστημένη στο δίκτυο παροχής αερίου προς τις μηχανές για την καύση (σχ. 10.9γ).

η) Τη **μονάδα καύσεως του αερίου** (gas combustion unit ή thermal oxidizer) (σχ. 10.9δ), που τοποθετείται σε υπερυψωμένο σημείο του δικτύου πάνω απ' το κατάστρωμα (π.χ. στην τοιμινιέρα). Σ' αυτήν οδηγείται το αέριο και καίγεται στην ατμόσφαιρα, όταν είναι απαραίτητο να διακοπεί η παροχή του αερίου φορτίου προς το δίκτυο της μηχανής. Η ροή στο δίκτυο που οδηγεί στη μονάδα καύσεως του αερίου, ελέγχεται από βαλβίδα που ανοίγει όταν ανιχνευθεί από τους αντίστοιχους ανιχνευτές συγκεντρώσεως ευφλέκτων αερίων, μεγαλύτερη από τα όρια ασφαλείας.

θ) Τη **μονάδα βαλβίδων παροχής του αερίου** (Gas Valve Unit – GVU), η κύρια λειτουργία της οποίας είναι η ρύθμιση της πίεσεως του καυσίμου σύμφωνα με το φορτίο της μηχανής. Η μονάδα (σχ. 10.9ε) είναι εγκατεστημένη σε απομονωμένο χώρο του μηχανοστασίου για την πρόληψη τυχόν διαρροής. Ο έλεγχος της ατμόσφαιρας πραγματοποιείται από δύο ανιχνευτές αερίου, οι οποίοι ενεργοποιώντας την κύρια βαλβίδα τροφοδοσίας διακόπτουν την παροχή αερίου σε περίπτωση διαρροής. Το αέριο για την καύση από τη μονάδα GVU διοχετεύεται προς τη μηχανή μέσω ενός διπλού τοιχώματος σωλήνα μεγάλης διαμέτρου, που φτάνει έως τις βαλβίδες εγχύσεως του αερίου στους κυλίνδρους. Μεταξύ του σωλήνα παροχής του αερίου και του εξωτερικού τοιχώματος κυκλοφορεί αέρας για την πρόληψη συγκεντρώσεως ευφλέκτων αερίων. Ο χώρος της μονάδας GVU αερίζεται από ανεμιστήρα με παροχή, για ανανέωση του ατμοσφαιρικού αέρα, 30 φορές την ώρα. Στο τμήμα του δικτύου αερίου καυσίμου που διέρχεται από τη μονάδα GVU (σχ. 10.9γ) υπάρχουν εγκατεστημένα:



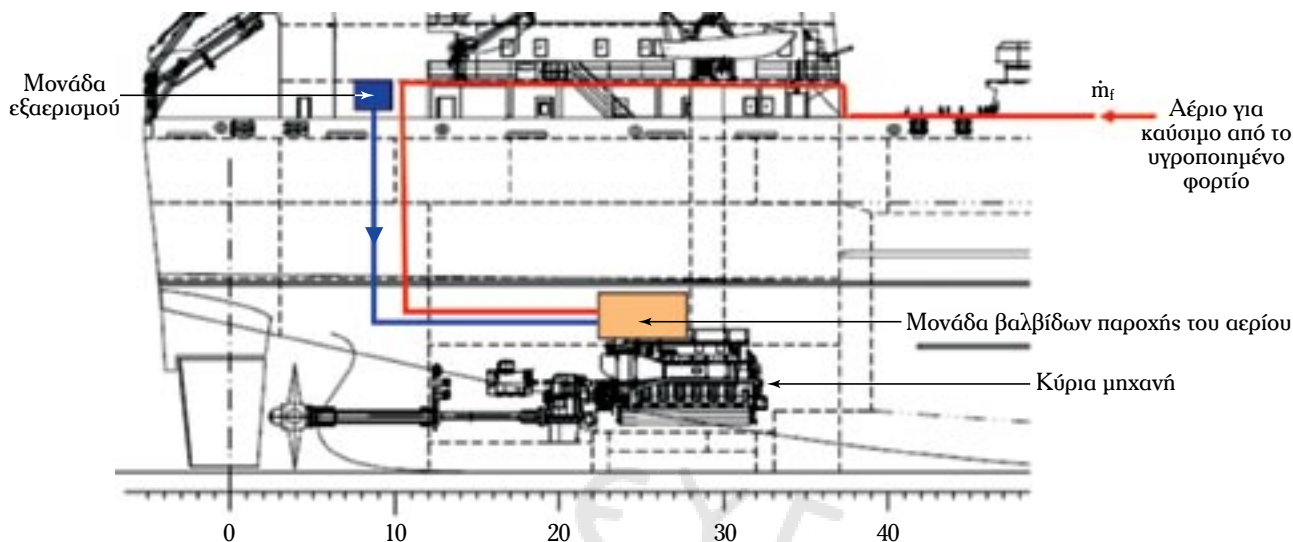
Σχ. 10.9γ

Τυπική διάταξη μονάδας βαλβίδων παροχής του αερίου και εγκατεστημένα στοιχεία ελέγχου ροής.



Σχ. 10.96

Μονάδα καύσεως του αερίου.



Σχ. 10.9ε

Εγκατάσταση μονάδας βαλβίδων παροχής του αερίου.

- Το φίλτρο του αερίου (filter).
- Ο μετρητής ροής του αερίου (flow meter).
- Ο ρυθμιστής πίεσης του αερίου (gas regulator unit).
- Δύο συνήθως βαλβίδες διακοπής της ροής (shut off valves), που ελέγχονται από πνευματικούς ή ηλεκτρικούς επενεργοποιητές πιστοποιημένους για λειτουργία σε χώρους, όπου υπάρχουν εύφλεκτα αέρια και
- η βαλβίδα απελευθέρωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα (venting valve).

2) Δίχρονες μηχανές.

Σε **δίχρονες μηχανές** διπλού καυσίμου, δεδομένου ότι η έγχυση του αερίου δεν μπορεί να γίνει στον οχετό σαρώσεως του αέρα καύσεως λόγω της δημιουργίας μεγάλης ποσότητας επικίνδυνου εκρηκτικού μείγματος έξω απ' τον χώρο καύσεως της μηχανής, υπάρχουν δύο πιθανές μέθοδοι πραγματοποίησης της εγχύσεως του αερίου καυσίμου στον κύλινδρο.

α) Στην **πρώτη μέθοδο** εισάγεται αέριο με χαμηλή πίεση, μέσω βαλβίδας στην κεφαλή του κυλίνδρου. Η εισαγωγή του αερίου πραγματοποιείται όταν η βαλβίδα εξαγωγής των καυσαερίων έχει κλείσει και η πίεση του κυλίνδρου είναι χαμηλή. Το αέριο στη συνέχεια, καθώς το έμβολο κινείται προς το άνω νεκρό σημείο, συμπιέζεται και καθώς αναμειγνύεται με τον αέρα από τη σάρωση, αναφλέγεται. Για να υποστηριχθεί η ανάφλεξη, εγχέεται και μικρή ποσότητα αργού πετρελαίου.

β) Στη **δεύτερη μέθοδο** (σχ. 10.9στ) το αέριο

συμπιέζεται σε υψηλή πίεση (250–300 bar) και εγχέεται μέσα στον κύλινδρο μέσω εγχυτήρων αερίου στον ίδιο χρόνο με το αργό πετρέλαιο. Οι εγχυτήρες αερίου είναι ξεχωριστοί από τους εγχυτήρες αργού πετρελαίου, αλλά και οι δύο εγχυτήρες (του αερίου και του βαρέος καυσίμου) κάθε κυλίνδρου ελέγχονται από σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή (programmable logic controller), που παρέχει τη δυνατότητα καύσεως οποιασδήποτε αναλογίας αερίου φορτίου και υγρού καυσίμου.

Με τη λειτουργία του συστήματος παροχής εξατμίσεως υγροποιημένου αερίου το αέριο συμπιέζεται από παλινδρομικό συμπιεστή στα 250–300 bar. Στη συνέχεια, ψύχεται και οδηγείται μέσω μιας κύριας βαλβίδας στη μονάδα παροχής αερίου. Στη μονάδα παροχής αερίου καυσίμου υπάρχουν εγκατεστημένα τα εξής:

α) Ένας συσσωρευτής (accumulator) με δυνατότητα να αποθηκεύσει όγκο αερίου που αντιστοιχεί περίπου 20 φορές στην ποσότητα αερίου, το οποίο εγχέεται όταν η μηχανή λειτουργεί με πλήρες φορτίο. Ο σκοπός του συσσωρευτή είναι η ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε πτώσεως στην πίεση κατά τη διάρκεια εγχύσεως του αερίου σε λειτουργία με πλήρες φορτίο, διότι η πτώση της πίεσης θα έθετε σε κίνδυνο την ασφαλή λειτουργία της μηχανής.

β) Το επιστόμιο ελέγχου της ροής αερίου προς τους εγχυτήρες της μηχανής.

γ) Το επιστόμιο για την απελευθέρωση του αερίου προς τη μονάδα καύσεως του αερίου, και

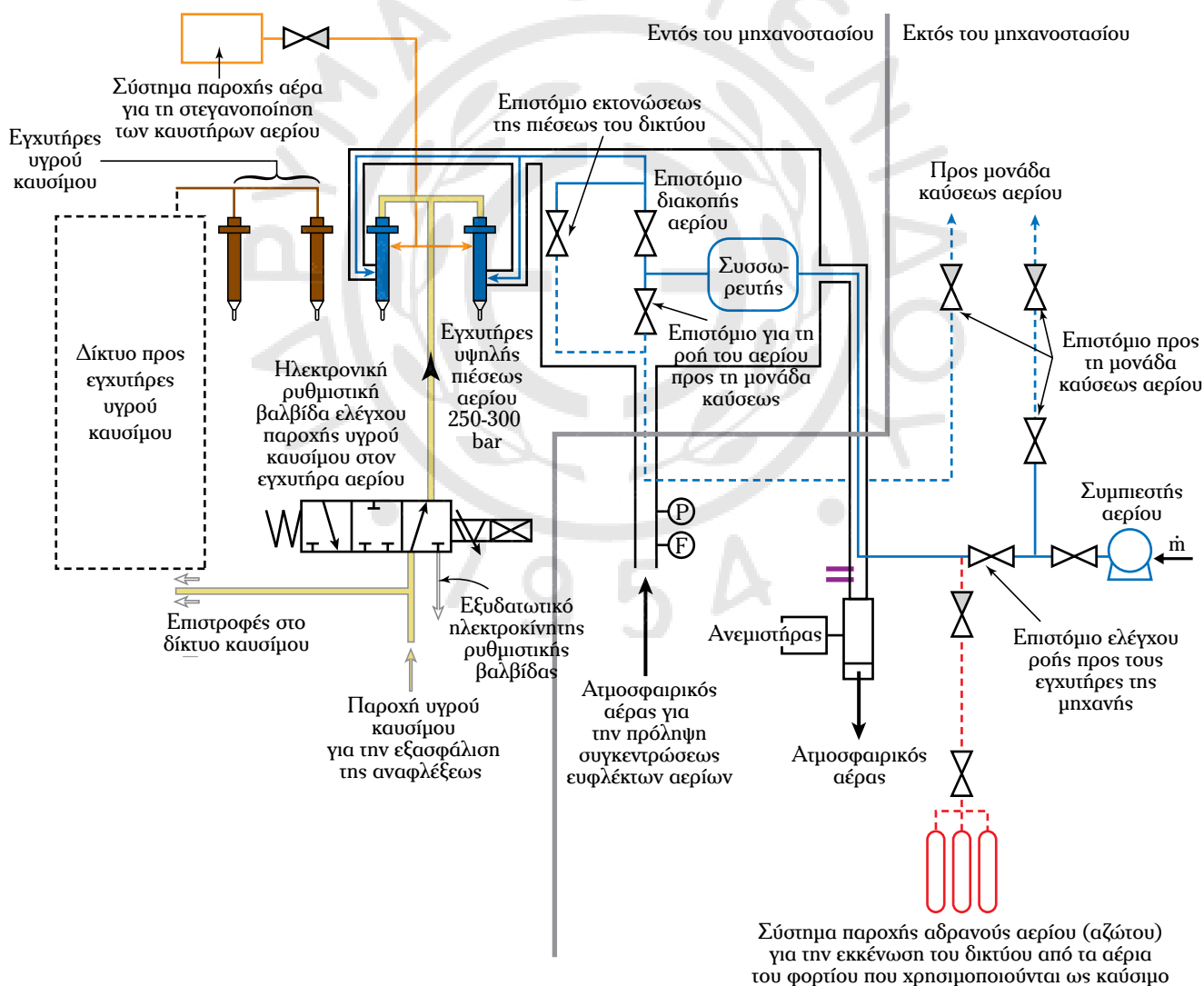
δ) το επιστόμιο εκτονώσεως της πίεσης του δικτύου.

Για να εξασφαλιστεί η ασφαλής παροχή του αερίου προς τη μηχανή, ο σωλήνας από τη μονάδα ελέγχου παροχής είναι διπλού τοιχώματος, ώστε εξωτερικά του σωλήνα απ' τον οποίο διαρρέεται το αέριο, να υπάρχει ροή ατμοσφαιρικού αέρα. Επίσης, ο αέρας της μονάδας παροχής ανανεώνεται από ανεμιστήρα.

Με σκοπό την πρόληψη της διαρροής αερίου απ' τους εγχυτήρες και τη λίπανση των κινουμένων μερών τους, στους εγχυτήρες αερίου παρέχεται μικρή ποσότητα ελαίου για στεγανοποίηση, με πίεση 25–50 bar πάνω από την πίεση εγχύσεως του αερίου. Η μικρή ποσότητα του ελαίου, η οποία διαρρέει το αέριο, στη συνέχεια καίγεται στον κινητήρα. Η

παροχή του ελαίου στεγανοποιήσεως πραγματοποιείται από δύο αντλίες, εφοδιασμένες με ελατήριο, που διατηρεί την πίεση του συστήματος σε περίπτωση αιφνίδιας διακοπής της λειτουργίας της αντλίας, ενώ αυτόματα γίνεται εκκίνηση της δεύτερης αντλίας, που λειτουργεί ως εφεδρική.

Σε περίπτωση εμπλοκής σε κάποιον από τους εγχυτήρες, που θα οδηγούσε σε πτώση της πίεσης στον συσσωρευτή της μονάδας παροχής αερίου, η ροή στο δίκτυο θα διακοπεί αμέσως από τα επιστόμια διακοπής της ροής. Ταυτόχρονα, στο δίκτυο παρέχεται αδρανές αέριο με σκοπό την απομάκρυνση του εύφλεκτου αερίου του φορτίου που έχει απομείνει στους σωλήνες. Αδρανές αέριο παρέχεται στο δίκτυο και κατά την απομόνωσή του, όταν γίνεται η αλλαγή από αέριο σε υγρό καύσιμο.



Σχ. 10.9στ

Τυπική διάταξη συστήματος παροχής εξαιμίσσεων του υγροποιημένου αερίου σε δίχρονη μηχανή.

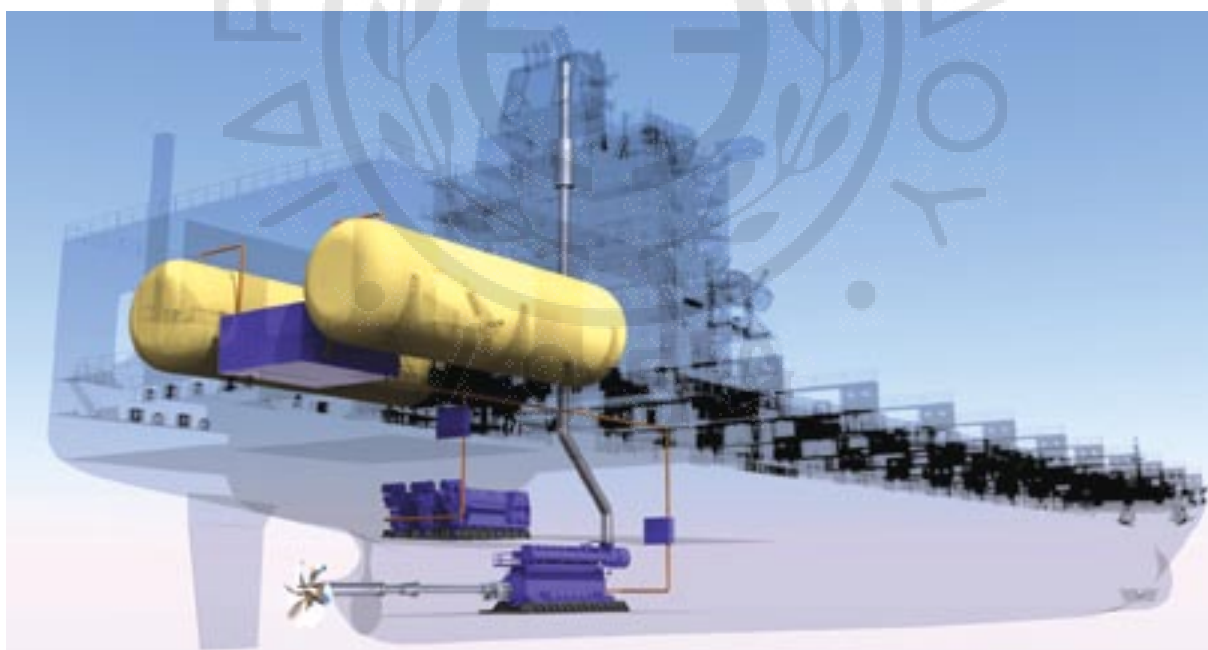
Το σύστημα παροχής αερίου (σχ. 10.9ζ), προσφέρει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του καυσίμου απευθείας από τις δεξαμενές φορτίου ή από αποκλειστική δεξαμενή καυσίμου για την καύση στις μηχανές εγκατεστημένη στο κατάστρωμα¹ (σχ. 10.9η). Εάν μια δεξαμενή καυσίμου είναι εγκατεστημένη στο κατάστρωμα, συνιστάται η μόνωσή της για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της πίεσης του καυσίμου. Το αέριο καύσιμο LPG μεταφέρεται μέσω ενός συμπιεστή χαμηλής θερμοκρασίας και χαμηλής πίεσης, για παράδειγμα μια συνηθισμένη θερμοκρασία για το προπάνιο είναι περίπου -42°C .

Μετά την εξαγωγή του αερίου από τον συμπιεστή χαμηλής πίεσης, η πίεση είναι πάνω από 11 bar και το καύσιμο υγραέριο έχει θερμοκρασία που κυμαίνεται από $20-25^{\circ}\text{C}$. Στη συνέχεια του δικτύου υπάρχει εγκατεστημένος προθερμαντήρας με θαλασσινό νερό, ο οποίος χρησιμοποιείται για την περίπτωση που η θερμοκρασία δεν είναι στο επιθυμητό επίπεδο που απαιτείται για την καύση στις μηχανές. Η ικανοποιητική θερμοκρασία για την εισαγωγή του αερίου καυσίμου στις μηχανές είναι περίπου 30°C . Τέλος, το LPG συμπιέζεται από μία αντλία υψηλής πίεσης στην απαιτούμενη πίεση εγχύσεως των 550 bar.



Σχ. 10.9ζ

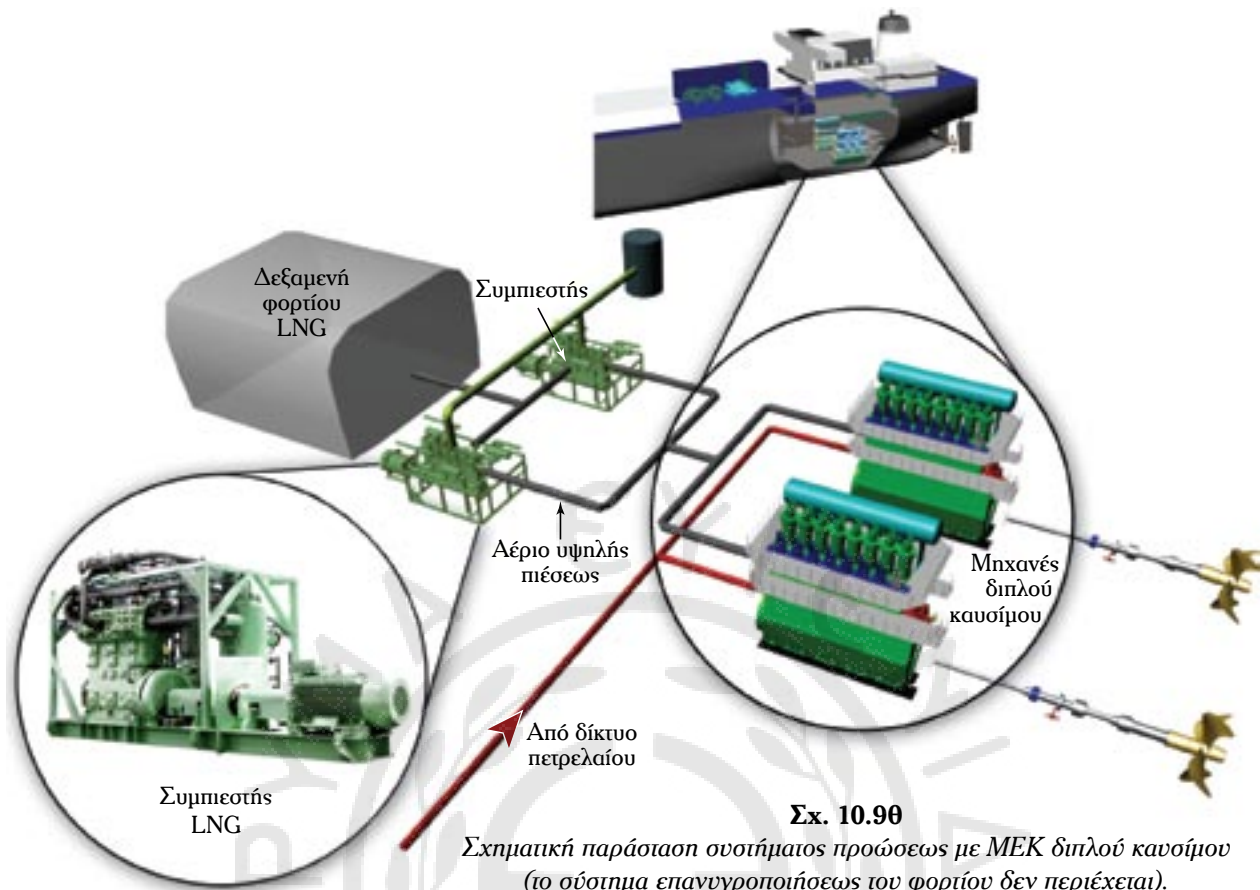
Τυπική διάταξη υγροποιημένου αερίου προς τη μηχανή.



Σχ. 10.9η

Τρισδιάστατη απεικόνιση εγκατάστασης δεξαμενών καυσίμου υγροποιημένου αερίου στο κατάστρωμα.

¹ Στα LPG Δ/Ξ οι απαιτήσεις διαχωρισμού του υγροποιημένου αερίου φορτίου από αυτό που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μηχανές, οδήγησε τους κατασκευαστές στη δημιουργία ξεχωριστών δεξαμενών υγροποιημένου αερίου που προορίζεται αποκλειστικά για καύσιμο. Ανάλογες δεξαμενές κατασκευάζονται και για πλοία με μηχανές που χρησιμοποιούν υγροποιημένο αέριο για καύσιμο, τα οποία όμως είναι κατασκευασμένα για τη μεταφορά χύδην ξηρών ή υγρών φορτίων ή είναι επιβατηγά.



Η ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τους συμπιεστές είναι αρκετά μικρή και αντιστοιχεί σε μείωση της αποδόσεως ισχύος του κινητήρα περίπου 0,5-1%.

Παράδειγμα της αναπτύξεως εγκαταστάσεων για την παροχή υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο δίδεται στο σχήμα 10.90, όπου κάθε συμπιεστής έχει σχεδιαστεί για την παροχή των αερίων εξατμίσεως σε μια μεταβλητή πίεση που κυμαίνεται από 150–265 barg, σύμφωνα με τις απαιτήσεις φορτίου των δύο εγκατεστημένων μηχανών (διπλού καυσίμου). Κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης, ο ένας από τους δύο όμοιους συμπιεστές επιλέγεται σε συνεχή λειτουργία, ενώ η εκκίνηση του δεύτερου γίνεται χειροκίνητα κατ' επιλογή του χειριστή ή σε περίπτωση δυσλειτουργίας του επιλεγμένου συμπιεστή.

10.10 Μηχανισμοί για τη διαχείριση φορτίου στα υγραεριοφόρα Δ/Ξ.

10.10.1 Συμπιεστές υγροποιημένων φορτίων.

Για τη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισεως του φορτίου στα υγραεριοφόρα Δ/Ξ, αλλά και για τη

χρήση των αερίων από την εξατμίση του φορτίου σαν καύσιμο στις μηχανές του πλοίου, χρησιμοποιούνται συμπιεστές. Οι συμπιεστές αυτοί στη διαχείριση των αερίων λειτουργούν ως αντλίες του φορτίου είτε στη διαδικασία επανυγροποίησης των εξατμίσεων και την ψύξη του φορτίου, είτε στην άντληση των εξατμίσεων του φορτίου και την κατάθλιψή τους στην ξηρά, είτε στην κατάθλιψη των εξατμίσεων του φορτίου στο δίκτυο καυσίμου των μηχανών. Οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται, συνήθως, μπορεί να είναι με έμβολα ή τύπου κοχλία. Τη λειτουργία των συστημάτων εκτός από τους αυτοματισμούς και τα επιστόμια ελέγχου της ροής ολοκληρώνουν οι εναλλακτικές θερμότητας.

1) Συμπιεστές για LPG Δ/Ξ.

Οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στην επανυγροποίηση πετρελαϊκών προϊόντων είναι:

α) Οι **παλινδρομικοί-εμβολοφόροι συμπιεστές** (reciprocating air compressors), που χρησιμοποιούνται για την επανυγροποίηση των αερίων του φορτίου. Η συμπίεση επιτυγχάνεται από έμβολα

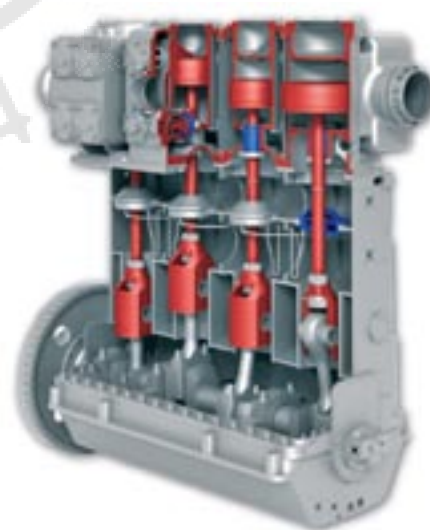
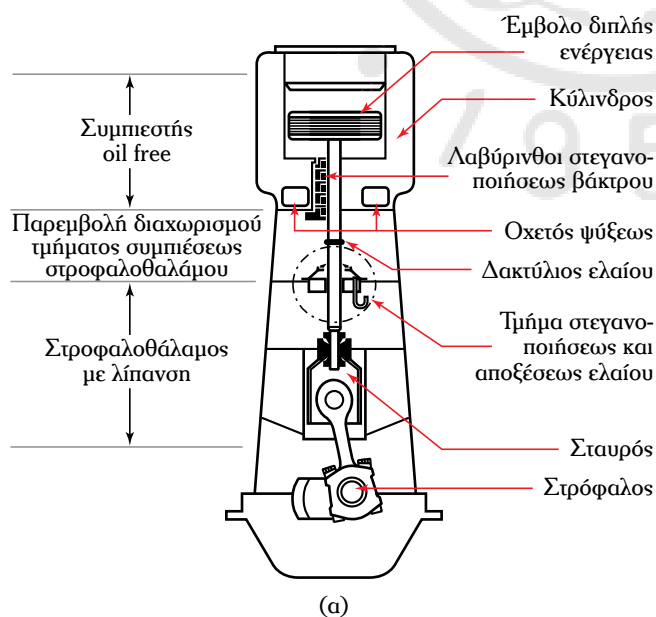
διπλής ενέργειας, που λειτουργούν χωρίς λιπαντικό για τη στεγανοποίηση μεταξύ του εμβόλου και του τοιχώματος του κυλίνδρου. Η στεγανοποίηση στα σημεία ολισθήσεως του εμβόλου με τα τοιχώματα του κυλίνδρου πραγματοποιείται με την χρήση μηχανικών λαβυρίνθων στεγανοποίησης βάκτρου (σχ. 10.10α). Επίσης, στο σημείο που εισέρχεται το βάκτρο του εμβόλου στον κύλινδρο συμπίεσεως δεν υπάρχει λιπαντικό, αλλά η στεγανοποίηση πραγματοποιείται με κολάρο που φέρει λαβυρίνθους. Κατά συνέπεια, δεν απαιτείται η λίπανση των επιφανειών και λόγω της απουσίας επαφής τους μειώνεται η φθορά στα σημεία στεγανοποίησης.

Η στεγανοποίηση του τμήματος συμπίεσεως που λειτουργεί χωρίς λίπανση και του στροφαλοθαλάμου στον οποίο συνδέονται τα βάκτρα των εμβόλων με τον στροφαλοφόρο άξονα, επιτυγχάνεται με την εφαρμογή δακτυλίων αποξέσεως (κοινώς ξύστρες). Με αυτούς απομακρύνεται το έλαιο που παρασύρεται κατά την παλινδρομική κίνηση του βάκτρου. Έτσι, το βάκτρο φέρει δακτύλιο, που αποτρέπει την ανοδική πορεία οποιασδήποτε ποσότητας υπολείμματος ελαίου σε αυτό. Επί πλέον για να αποκλειστεί η μόλυνση των αερίων φορτίου με οποιαδήποτε ποσότητα λιπαντικού, η απόσταση μεταξύ του στροφάλου και του κολάρου στεγανοποίησης αυξάνεται, ώστε το τμήμα του βάκτρου, το οποίο υπάρχει πιθανότητα να μεταφέρει κάποια ποσότητα ελαίου, να μην εισέρχεται στην πλευρά που λειτουργεί χωρίς έλαιο. Λόγω της

αυξήσεως της αποστάσεως του τμήματος συμπίεσεως και του στροφαλοθαλάμου αντίστοιχα αυξάνεται το μήκος του βάκτρου, ενώ η ενδιάμεση παρεμβολή στο σώμα του συμπιεστή δημιουργεί θαλάμους, που αποτρέπουν την ανάμειξη λιπαντικού και αερίου.

Ο στροφαλοθάλαμος και ο χώρος διαχωρισμού του ελαίου διατηρούνται κάτω από την πίεση αναρροφήσεως, ενώ οποιαδήποτε διαρροή του αερίου μέσω του κολάρου στεγανοποίησης επιστρέφει στην αναρρόφηση.

Ο έλεγχος για την λειτουργική απόδοση του συμπιεστή πραγματοποιείται με την ανύψωση των βαλβίδων αναρροφήσεως κατά τη διάρκεια της συμπίεσεως. Η ανύψωση αυτή, συνήθως γίνεται με την υδραυλική πίεση του υγρού που παρέχεται από την αντλία του ελαίου λίπανσεως. Όταν διακοπεί η λειτουργία του συμπιεστή, τα αέρια του φορτίου που έχουν απομείνει στους κυλίνδρους είναι δυνατόν να συμπυκνωθούν και να περάσουν στον στροφαλοθάλαμο, προκαλώντας προβλήματα στη λίπανση όταν ο συμπιεστής τεθεί ξανά σε λειτουργία. Γι' αυτό, με στόχο την καλή λειτουργία του συμπιεστή, προβλέπεται η θέρμανση του στροφαλοθαλάμου όταν αυτός βρίσκεται σε αδράνεια, ενώ όταν βρίσκεται σε λειτουργία πρέπει να προβλέπεται η ψύξη στον στροφαλοθάλαμο για τους σταυρούς και τους τριβείς εδράσεως του στροφάλου. Αυτό πραγματοποιείται συνήθως από ένα κλειστό κύκλωμα με μείγμα γλυκόλης-νερού, που παρέχει το μέσο για τη θέρμανση όταν ο συμπιε-



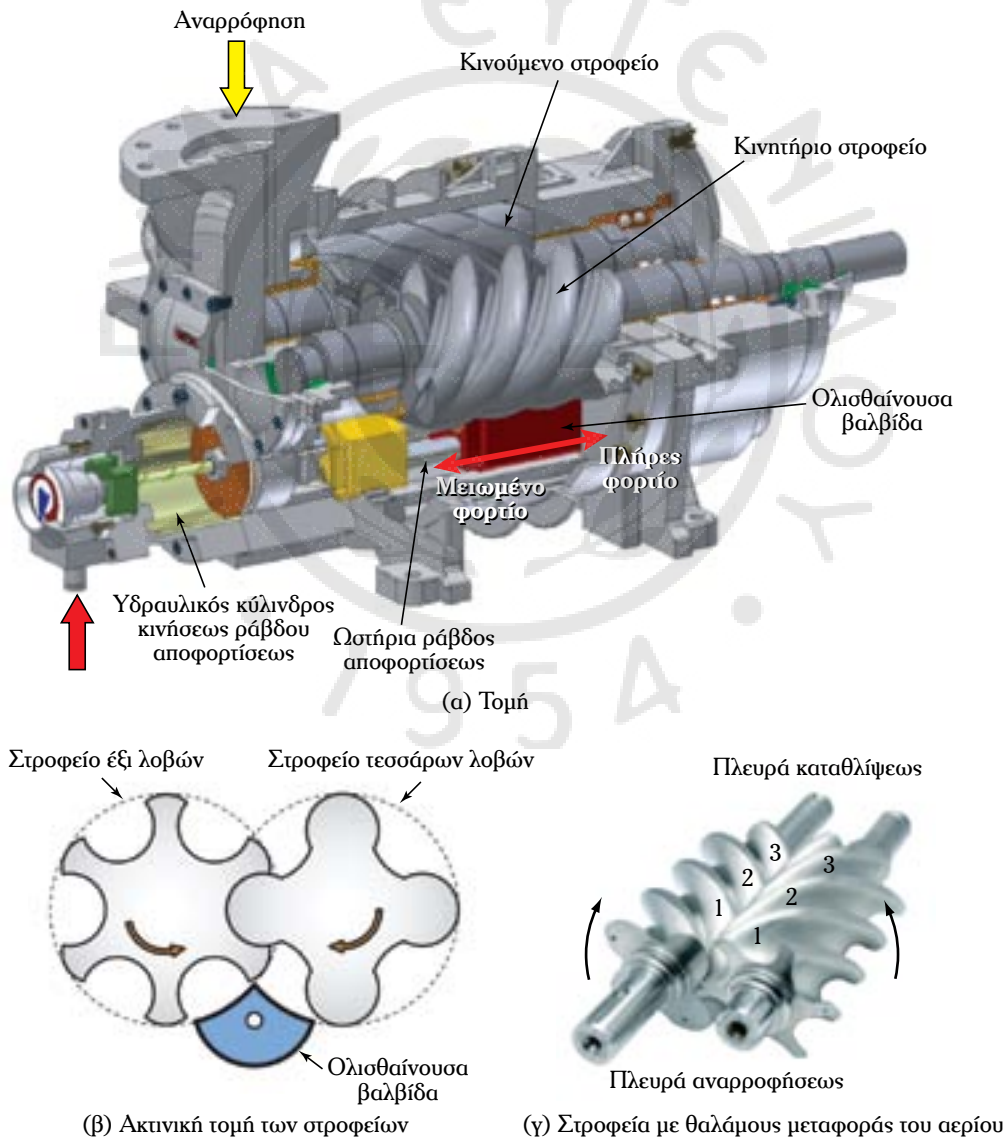
Σχ. 10.10α

Παλινδρομικός-εμβολοφόρος συμπιεστής.

στής βρίσκεται εκτός λειτουργίας, και την ψύξη, όταν ο συμπιεστής λειτουργεί. Συγκρίνοντας τους παλινδρομικούς εμβολοφόρους συμπιεστές με τους συμπιεστές τύπου κοχλία (της επόμενης παραγράφου) η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγαλύτερη στους τύπου κοχλία.

β) Οι **συμπιεστές τύπου κοχλία** (screw air compressors), που μπορεί να λειτουργούν χωρίς έλαιο (ξηρού τύπου) ή με κατακλυσμό-έγχυση ελαίου (oil-flooded). Στους **συμπιεστές ξηρού τύπου** τα κοχλιοειδή στροφεία με τα ανάλογα περύγια δεν έρχονται σε επαφή, αλλά περιστρέφονται μέσα στο σώμα που αποτελεί το κέλυφος του συμπιεστή και κινούνται από εξωτερικό σύστημα οδοντωτών τροχών. Η διαρ-

ροή που εμφανίζεται αναπόφευκτα μέσω των διακένων που δημιουργούνται μεταξύ των περυγίων των στροφείων αντιμετωπίζεται με την υψηλή ταχύτητα περιστροφής, απαραίτητη για να διατηρηθεί η αποδοτική λειτουργία του συμπιεστή. Η ταχύτητα αυτή συνήθως φτάνει στις 12.000 rpm. Αναπαράσταση ενός τυπικού στροφείου κοχλιοειδούς συμπιεστή ξηρού τύπου τεσσάρων και έξι λοβών δίδεται στο σχήμα 10.10β. Η συνεργασία των λοβών κατά την περιστροφή μέσα στο κέλυφος έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του αερίου στους θαλάμους που δημιουργούνται (με αρίθμηση 1,2,3), ενώ το μέγεθος των θαλάμων μειώνεται σταδιακά, καθώς τα κοχλιοειδή στροφεία περιστρέφονται. Η αναρρόφηση και η



Σχ. 10.10β

Απεικόνιση κοχλιοειδούς συμπιεστή.

κατάθλιψη του αερίου επιτυγχάνεται από τις θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως που υπάρχουν στο κέλυφος του συμπιεστή.

γ) Οι **συμπιεστές τύπου πληρώσεως ελαίου** (oil-flooded), που στηρίζονται στην έγχυση του ελαίου μεταξύ των κοχλίων. Με αυτόν τον τρόπο εξαλείφεται η ανάγκη των εξωτερικών γραναζιών χρονισμού για την περιστροφή τους. Η κινητήρια δύναμη μεταδίδεται από το ένα κοχλιοειδές στροφέιο στο άλλο, ενώ το έλαιο που εγχέεται, λειτουργεί εκτός από λιπαντικό και ως ψυκτικό υγρό. Με τη στεγανοποίηση που επιτυγχάνεται από το έλαιο στα διάκενα, η διαρροή του αερίου μεταξύ των περυγίων των στροφείων και των σημείων που εφάπτονται στο κέλυφος είναι πολύ μικρότερη, με αποτέλεσμα η ταχύτητα περιστροφής του να περιορίζεται στις 3.000 rpm. Για να επιτευχθεί ο έλεγχος της αποδόσεως των συμπιεστών τύπου κοχλίας χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι. Ο συνηθέστερος από αυτούς είναι μέσω μιας ολισθαίνουσας βαλβίδας, η οποία μειώνει αποτελεσματικά το ενεργό μήκος των στροφείων.

2) Συμπιεστές για LNG Δ/Ε.

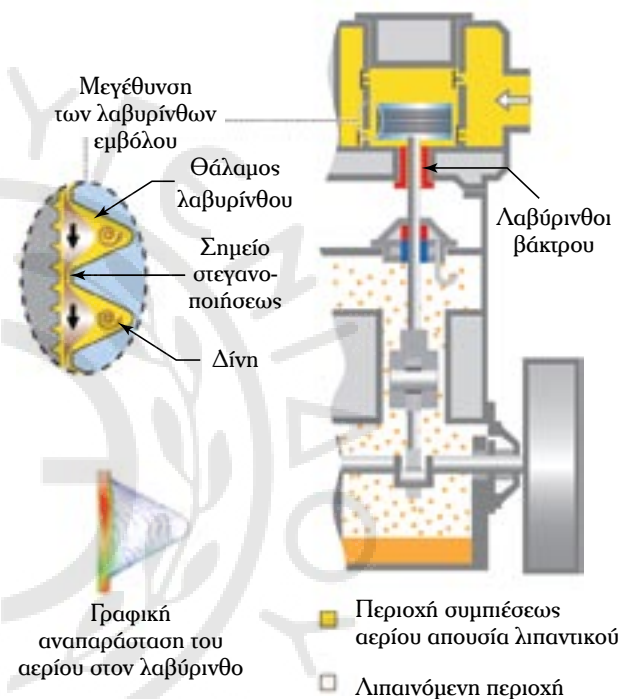
Οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στην επανυγροποίηση του φυσικού αερίου είναι:

α) Οι **συμπιεστές τύπου κοχλίας**, που η λειτουργία τους και η δομή τους είναι όμοια με τους κοχλιοειδείς των LNG και πρόκειται για συμπιεστές χωρίς λίπανση (oil-free) ή συμπιεστές με έγχυση ελαίου (oil injected screw compressors).

β) Οι **παλινδρομικοί συμπιεστές** διπλής ενέργειας του εμβόλου, χωρίς λίπανση των εμβόλων του συμπιεστή, αλλά με λαβυρίνθους στεγανοποιήσεως (του εμβόλου με το χιτώνιο του κυλίνδρου) (σχ. 10.10γ και 10.10δ). Οι κύλινδροι του συμπιεστή είναι εγκατεστημένοι κάθετα πάνω απ' τον στροφαλοθάλαμο. Τα έμβολα είναι συνήθως διπλής ενέργειας και η συμπίεση πραγματοποιείται σε δύο ή περισσότερα στάδια. Λόγω της εκθέσεως των εμβόλων σε ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες, κατά την αναρρόφηση από τις δεξαμενές φορτίου, το υλικό κατασκευής τους είναι εξαιρετικά ελατό. Ένα τέτοιο είναι το GGGNi35· πρόκειται για ένα χυτό υλικό με περιεκτικότητα 35 % nickel, γνωστό στο εμπόριο ως Ni-Resist D5. Αυτό το υλικό παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες του αερίου που το διαρρέει και έχει έναν από τους χαμηλότερους συντελεστές εκτονώσεως στις μεταβολές θερμοκρασίας των γνωστών μετάλλων. Επίσης, το υλικό κα-

τασκευής των κυλίνδρων είναι από ανθεκτικό υλικό (χυτοσίδηρο και γκρι χυτοσίδηρο) λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών αναρροφήσεως. Γενικά, όλο το δίκτυο κατασκευάζεται από υλικά που ανταποκρίνονται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος αναρροφήσεως, που ξεκινούν από +30°C έως -160°C.

γ) Οι **φυγοκεντρικοί συμπιεστές** (σχ. 10.10ε), εγκαθίστανται στο δίκτυο συμπίεσεως με ενδιάμεση ψύξη του αερίου μεταξύ των σταδίων συμπίεσεως και επανυγροποιήσεως του αερίου. Το υλικό κατασκευής των στροφείων είναι από ανθεκτικά υλικά,



Σχ. 10.10γ

Παράσταση παλινδρομικού συμπιεστή.



Σχ. 10.10δ

Έμβολο συμπιεστή με λαβυρίνθους.



Σχ. 10.10ε

Φυγοκεντρικός συμπιεστής φνσικού αερίου LNG.

ενώ η στεγανοποίηση του χώρου συμπίεσεως πραγματοποιείται με λαβυρίνθους.

3) Συμπιεστές χαμηλού και υψηλού φορτίου.

Στα LNG Δ/Ξ χρησιμοποιούνται συμπιεστές αξονικής ροής για να χειριστούν τους ατμούς από την εξάτμιση, οι οποίοι παράγονται κατά τη διαδικασία ψύξεως του συστήματος στην προετοιμασία για φόρτωση, κατά τη διάρκεια της φορτώσεως και όταν το πλοίο ταξιδεύει σε κατάσταση ερματισμού. Συνήθως, ο χειρισμός των ατμών που παράγονται από την εξάτμιση του φορτίου γίνεται με τον συμπιεστή χαμηλού φορτίου (Low Duty Compressor), ενώ όταν η παραγωγή ατμών είναι μεγάλη π.χ. κατά τη φόρτωση, που οι ατμοί επιστρέφουν στην ξηρά, χρησιμοποιείται συμπιεστής υψηλού φορτίου (High Duty Compressor). Οι συμπιεστές βρίσκονται εγκατεστημένοι στο κατάστρωμα, σε χώρο που είναι απομονωμένος και δεν επιτρέπεται η εισαγωγή τυχόν αναθυμιάσεων του φορτίου σε αυτόν. Η σύνδεση με το δίκτυο που στέλνει το αέριο στις μηχανές διπλού καυσίμου, γίνεται από ειδικά σχεδιασμένους σωλήνες διπλού τοιχώματος.

10.10.2 Εναλλακτικές θερμότητας υγροποιημένων αερίων.

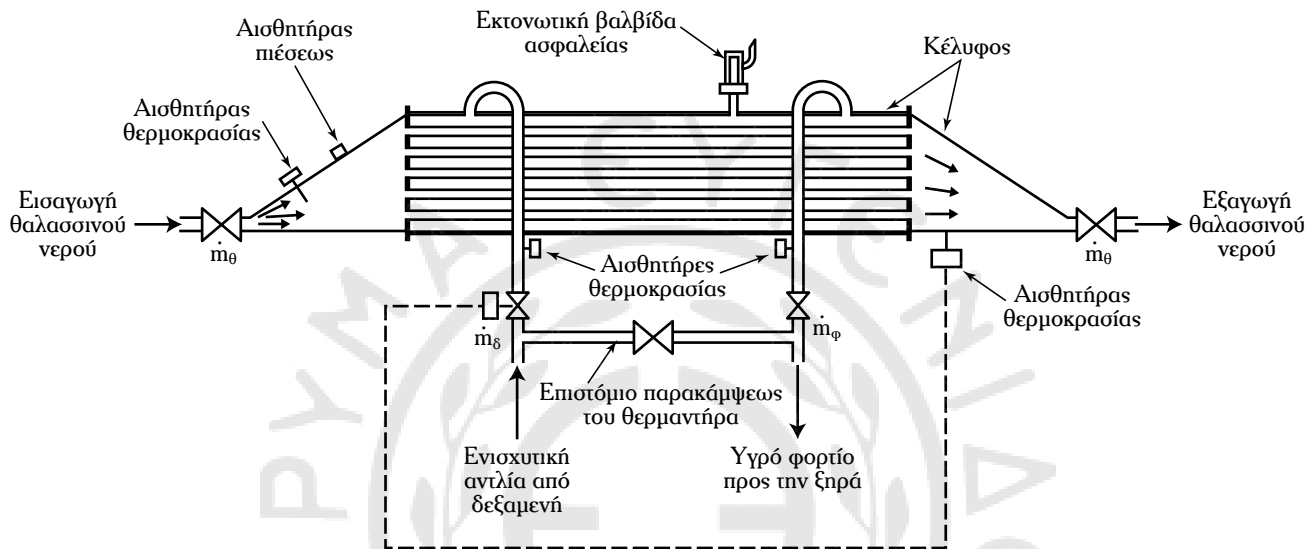
Οι εναλλακτικές θερμότητας χρησιμοποιούνται σε διάφορα σημεία του δικτύου διακινήσεως των υγροποιημένων φορτίων, αλλά και στο δίκτυο για

την προετοιμασία αερίων του φορτίου για την καύση τους στις μηχανές διπλού καυσίμου. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιούνται ως θερμαντήρες του φορτίου, ως συμπυκνωτές στην εγκατάσταση ψύξεως φορτίου, ως εξατμιστές ή για την ψύξη του ελαίου λιπάνσεως στους συμπιεστές. Οι εναλλακτικές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι κατασκευασμένοι είτε με κέλυφος και αυλούς (tube heat exchangers), είτε με πλάκες (plate heat exchangers). Οι αυλοί που χρησιμοποιούνται στους εναλλακτικές θερμότητας με αυλούς είναι ίσοι ή σε σχήμα «U» με εσωτερική διάμετρο από 10–20 mm. Κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα, κράμα χαλκού-νικελίου, ορείχαλκο-κράμα μπρούντζου ή τιτάνιο και η εφαρμογή του υλικού εξαρτάται από τις ιδιότητες του φορτίου. Οι εναλλακτικές με πλάκες, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και της πίεσεως του φορτίου που τους διαρρέει, είναι κατασκευασμένοι με συγκολλημένες πλάκες (welded type plate heat exchangers). Η επιλογή του υλικού και σε αυτούς τους εναλλακτικές εξαρτάται από τις ιδιότητες του φορτίου. Ο καθαρισμός και στους δύο τύπους εναλλακτικών είναι απαραίτητος για να απομακρύνονται τα άλατα που επικάθονται στις επιφάνειες από τη διέλευση του θαλασσινού νερού ή άλλων υλικών που μειώνουν την ροή της θερμότητας από το μέσο που χρησιμοποιείται προς το υγροποιημένο φορτίο.

1) Θερμαντήρες φορτίου υγραεριοφόρων.

Κατά την εκφόρτωση των υγροποιημένων αερίων φορτίων στις εγκαταστάσεις ξηράς, συνήθως είναι απαραίτητη η θέρμανση του φορτίου, ώστε να αποφευχθεί η θερμική καταπόνηση του δικτύου και των δεξαμενών αποθηκεύσεως από το ψυχρό φορτίο. Γι' αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιούνται θερμαντήρες, οι οποίοι, στις περισσότερες εγκαταστάσεις που συναντώνται, είναι εναλλακτικές οριζόντια διατάξεις,

με κέλυφος και αυλούς (σχ. 10.10στ και 10.10ζ). Οι θερμαντήρες τοποθετούνται στο ανοικτό κατάστρωμα του πλοίου, για να βρίσκονται εκτεθειμένοι στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το μέσο που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του φορτίου είναι θαλασσινό νερό ή αφαλατωμένο νερό ή κάποιο άλλο σε περίπτωση που από τους κανονισμούς των σταθμών ξηράς δεν επιτρέπεται η χρήση του θαλασσινού νερού ως θερμαντικού μέσου. Το θερμαντικό μέσο διέρχεται από



Σχ. 10.10στ

Διάταξη θερμαντήρα με αυλούς.



Σχ. 10.10ζ

Εναλλακτήρας LPG στο κατάστρωμα πλοίου που λειτουργεί ως θερμαντήρας και ως εξαιμιωτής κατασκευασμένος με αυλούς από πιάνο.

το εσωτερικό των αυλών, ενώ το υγροποιημένο φορτίο περνά γύρω από αυτούς.

Οι θερμαντήρες είναι σχεδιασμένοι για να αυξήσουν τη θερμοκρασία των φορτίων που μεταφέρονται σε πλήρη ψύξη κάτω από -10°C , π.χ. μπορούν να αυξήσουν τη θερμοκρασία του προπανίου από -45°C σε -5°C . Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός ροής του φορτίου, στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνεται σημαντικά σε περιοχές, όπου η θερμοκρασία της θάλασσας είναι χαμηλή. Σε αυτές τις συνθήκες, η θέρμανση του φορτίου μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μεγάλη μείωση της ροής του μέσα από τον θερμαντήρα, ενώ όταν η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού πέσει κάτω από 5°C , επειδή θα είναι δύσκολο να επιτευχθεί η θέρμανση του φορτίου απ' ευθείας με το θαλασσινό νερό, χρησιμοποιείται σύστημα για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που διαρρέει τον θερμαντήρα ή άλλο μέσο θερμάνσεως, όπως κάποιο έλαιο. Για τον έλεγχο της αποδόσεως και της καλής λειτουργίας του θερμαντήρα, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μετρητών, που ελέγχουν την πίεση και τη θερμοκρασία του. Τα όργανα ελέγχου συνδέονται με τον πίνακα ελέγχου του συστήματος και με συναγερμό προειδοποίησης, για να ληφθούν οι απαραίτητες ενέργειες και να προφυλαχθεί η συσκευή από πιθανό πάγωμα.

2) Εξατμιστές φορτίου (cargo vaporisers).

Συχνά, στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας τρόπος εξατμίσεως του φορτίου, για παράδειγμα η πλήρωση με αέριο των δεξαμενών πριν τη φόρτωση ή η διατήρηση της πίεσης στη δεξαμενή του φορτίου κατά την εκφόρτωση. Κατά συνέπεια, ο εξατμιστήρας αποτελεί την απαραίτητη συσκευή που εξυπηρετεί αυτόν τον σκοπό. Οι εξατμιστήρες είναι εναλλακτικές θερμότητας κάθετης ή οριζόντιας διατάξεως με αυλούς και το θαλασσινό νερό ή, κάτω από ορισμένες συνθήκες, ο ατμός αποτελεί το μέσο για την εξάτμιση του φορτίου.

10.10.3 Διαχωριστής υγρών από τις εξατμίσεις του φορτίου.

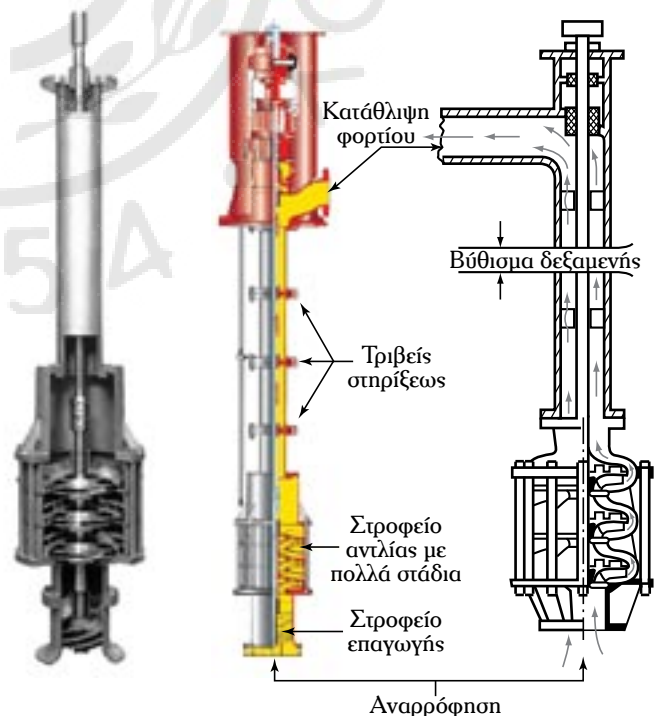
Για την προστασία των συμπιεστών από τυχόν σταγονίδια, τα οποία μεταφέρονται με το αέριο από την εξάτμιση του υγρού φορτίου, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μιας συσκευής διαχωρισμού, εφόσον το υγρό είναι ασυμπίεστο. Κατά συνέπεια, αποτελεί συνήθη πρακτική η εγκατάσταση ενός διαχωριστή

μείγματος υγρού-αερίου στη γραμμή αναρροφήσεως του συμπιεστή που έρχεται από τις δεξαμενές φορτίου. Ο διαχωριστής μείγματος υγρού-αερίου (mist separator), ο οποίος αποτελεί έναν θάλαμο στο δίκτυο του φορτίου εγκαταστημένο μετά τον εξατμιστή ή πριν την αναρρόφηση του συμπιεστή, ως σκοπό έχει τη μείωση της ταχύτητας των ατμών, με αποτέλεσμα να απορρίπτονται τα σταγονίδια που μεταφέρονται με το αέριο. Το υγρό συγκεντρώνεται στον πυθμένα του διαχωριστή και σε περίπτωση υπερβολικής αύξησεως της στάθμης, υπάρχει εγκατεστημένος αισθητήρας υψηλής στάθμης που ενεργοποιεί τον συναγερμό, ενώ ταυτόχρονα διακόπτεται η λειτουργία του συμπιεστή.

10.10.4 Αντλίες σε υγραεριοφόρα Δ/Ε.

Η **άντληση φορτίου στα υγραεριοφόρα** (liquefied gas cargo pumps) πραγματοποιείται με αντλίες βαθύς φρέατος (deep well pumps), διότι οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά την εκφόρτωση του υγροποιημένου αερίου απαγορεύουν τη χρήση αντλιών καταβυθίσεως με υδραυλικό κινητήρα λόγω του ελαίου που κυκλοφορεί στο δίκτυο.

Η αντλία εγκαθίσταται μόνιμα στον πυθμένα κάθε δεξαμενής και αποτελείται από ένα ή περισσότερα στροφοεία (σχ. 10.10n). Ο αριθμός των αντλιών σε κάθε δεξαμενή ορίζεται από τα κατασκευαστικά



Σχ. 10.10n

Αντλία βαθύς φρέατος υγραεριοφόρων.

χαρακτηριστικά του πλοίου, ενώ υπάρχει κατάλληλο άνοιγμα στο κατάστρωμα, όπου τοποθετείται φορητή αντλία εκφορτώσεως σε περίπτωση βλάβης του μόνιμου συστήματος.

Ο αριθμός των στροφείων για κάθε αντλία εξαρτάται από το επιθυμητό ύψος καταθλίψεως, ενώ ένα επαγωγικό στροφέιο στην αναρρόφηση της αντλίας βελτιώνει τη ροή των πηπτικών υγρών. Τα στροφέια συνδέονται με άξονα μεγάλου μήκους στο κινητήριο μηχανήμα, που τοποθετείται στο ύψος του καταστρώματος πάνω από την αντλία.

Ο μηχανισμός κινήσεως που χρησιμοποιείται είναι ηλεκτροκινητήρας τύπου Ex-e (explosion-protected) (κατασκευασμένος δηλ. να λειτουργεί χωρίς κίνδυνο προκλήσεως εκρήξεως) με χαρακτηριστικά σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών ασφαλείας. Ο άξονας είναι τοποθετημένος εσωτερικά του σωλήνα καταθλίψεως της αντλίας και υποστηρίζεται σε διάφορα σημεία από ανθρακικά έδρανα στηρίξεως. Για την προστασία των σημείων αυτών κατά τη λειτουργία της αντλίας στον άξονα προσαρμόζεται

κυλινδρικό περίβλημα από ανοξείδωτο ατσάλι.

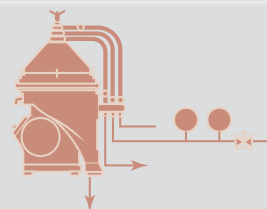
Με τον άξονα της αντλίας, εσωτερικά του σωλήνα καταθλίψεως, επιτυγχάνεται η λίπανση και η ψύξη των τριβέων από το υγρό φορτίο. Αυτός ο τρόπος στηρίξεως βέβαια απαγορεύει τη λειτουργία της αντλίας χωρίς φορτίο, διότι υπερθερμαίνονται οι τριβείς του άξονα. Γι' αυτό, η αντλία προστατεύεται από θερμικό διακόπτη, προλαμβάνοντας τις βλάβες από την πιθανότητα υπερθερμάνσεως. Επίσης, εφαρμόζονται στον άξονα ωστικοί τριβείς για την απόσβεση των αξονικών ώσεων και των τάσεων που οφείλονται στους κραδασμούς του πλοίου.

Με τη βελτίωση των αντλιών και των ηλεκτροκινητήρων, οι αντλίες βαθέος φρέατος (deep well pumps) κατασκευάζονται με μικρό άξονα μεταδόσεως από τον κινητήρα στο στροφέιο της αντλίας και όλο το σύστημα τοποθετείται μέσα στο φρεάτιο στον πυθμένα της δεξαμενής. Έτσι, η ψύξη του ηλεκτροκινητήρα πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του φορτίου, καθώς καταθλίβεται από την αντλία, εξωτερικά του ηλεκτροκινητήρα.



ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Κεφάλαιο 11	Φυγοκεντρικοί διαχωριστές	282
Κεφάλαιο 12	Συστήματα παραγωγής νερού	301
Κεφάλαιο 13	Βαρούλκα φορτωτών και χειρισμών	343
Κεφάλαιο 14	Πηδάλια	357
Κεφάλαιο 15	Συστήματα επεξεργασίας και ελέγχου λυμάτων για την προστασία του περιβάλλοντος	393
Κεφάλαιο 16	Φορτία πετρελαιοειδών - Ασφάλεια	405
Κεφάλαιο 17	Μεταφορά υγροποιημένων αερίων	429
Κεφάλαιο 18	Φορτία δεξαμενών σκάφους	441
Κεφάλαιο 19	Συστήματα προώσεως, χειρισμών και αποσβέσεως διατοιχισμών	451
Κεφάλαιο 20	Μηχανισμοί φορτοεκφορτώσεως - Γερανοί	473



11.1 Εισαγωγή.

Το **πετρέλαιο**, **βαρύ** και **ελαφρύ** (fuel oil και diesel oil), όπως και τα λιπαντικά (lube oils) που χρησιμοποιούνται σε ένα πλοίο, απαιτούν επεξεργασία, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην κατανάλωση και στην λίπανση των μηχανημάτων.

Η επεξεργασία είναι ένα σύνολο διαδικασιών που περιλαμβάνουν:

α) Τη θέρμανση κατά τη διάρκεια της αποθηκείωσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του νερού που περιέχει το πετρέλαιο λόγω της καθίζησης στη δεξαμενή, η οποία οφείλεται στη διαφορά ειδικού βάρους.

β) Τη διέλευση από φίλτρα, όπου κατακρατούνται στερεά σωματίδια και τέλος

γ) τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό, που απομακρύνει από το καύσιμο ή από το έλαιο τις ανεπιθύμητες προσμείξεις.

Ο φυγοκεντρικός διαχωρισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανημάτων που αποτελούνται από περιστροφικά μέρη, στα οποία με τη βοήθεια της φυγόκεντρου δυνάμεως πραγματοποιείται ο καθαρισμός του πετρελαίου και των ελαίων λιπάνσεως. Τα μηχανήματα αυτά ονομάζονται **φυγοκεντρικοί διαχωριστές** (centrifugal separators) και διακρίνονται ανάλογα με τη λειτουργία τους:

α) Στους **διαχωριστές-καθαριστές** (purifiers), όταν χρησιμοποιούνται για τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό δύο υγρών, όπως το νερό από το πετρέλαιο ή το νερό από το έλαιο, τις στερεές ύλες και τα ιζήματα [σχ. 11.1α(α)].

β) Στους **διαναγαστήρες** (clarifiers), όταν χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό ενός ήδη απαλλαγμένου από το νερό υγρού, που υποβάλλεται σε περαιτέρω φυγοκεντρικό διαχωρισμό, ώστε να απομακρυνθούν οι μικρότερες ξένες ύλες και τα ιζήματα που πιθανόν να έχουν απομείνει [σχ. 11.1α(β)].

Οι προδιαγραφές που ισχύουν για τον τύπο των καυσίμων και των λιπαντικών επηρεάζουν τον τρόπο επεξεργασίας τους, ώστε το αποτέλεσμα της επεξεργασίας καθαρισμού να καλύπτει την αναγκαιό-

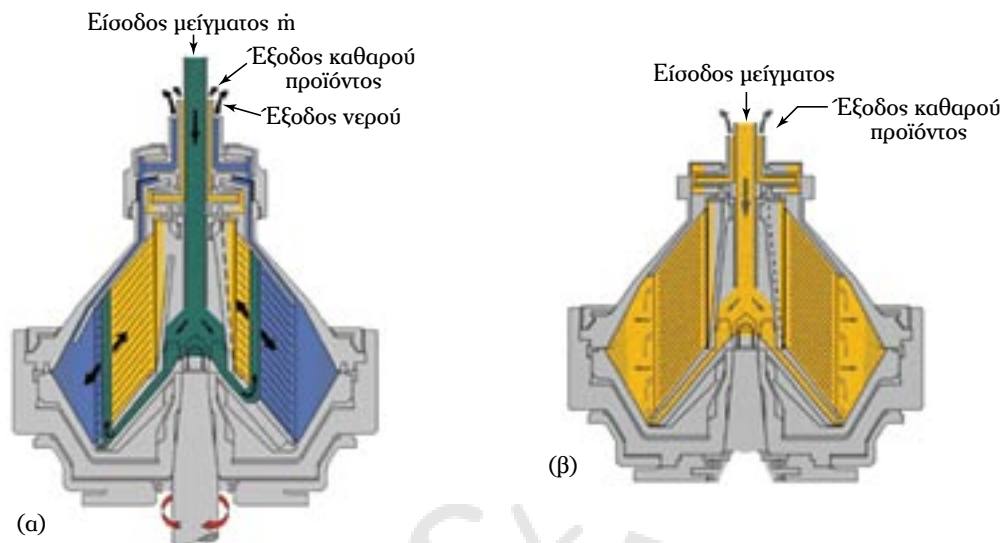
τητα στη χρήση καθαρού καυσίμου και λιπαντικού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή της κύριας μηχανής, των ηλεκτρομηχανών και των υπολοίπων μηχανημάτων.

11.2 Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων και λιπαντικών, που επηρεάζουν τη διαδικασία καθαρισμού.

Το **αργό πετρέλαιο** (crude oil) αποτελεί, ακόμα και σήμερα, την κύρια πηγή ενέργειας στα πλοία, διότι παρά την εξέλιξη στην παραγωγή των συνθετικών καυσίμων, η δαπανηρή παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η χρήση τους στην πρόωση ενός πλοίου. Έτσι, τα διάφορα παράγωγα της διυλίσεως του αργού πετρελαίου, παραμένουν οι σημαντικότερες μορφές καυσίμων που χρησιμοποιούνται.

Τα καύσιμα που παράγονται με τη διύλιση ταξινομούνται ως **ελαφρά πετρέλαια** (light oils), όπως το gas oil, το light και marine diesel oil, τα ενδιάμεσα πετρέλαια-μαζούτ (Intermediate Fuel Oil–IFO) και **βαριά πετρέλαια** (Heavy Fuel Oils–HFO) γνωστά ως Bunker C. Οι πληροφορίες των χαρακτηριστικών του κάθε τύπου πετρελαίου όπως το ιξώδες, το ειδικό βάρος, το σημείο αναφλέξεως, η περιεκτικότητα σε νερό κ.ά. περιγράφονται στο δελτίο αποστολής που συνοδεύει κάθε παραγγελία καυσίμων. Η πιστότητα του δελτίου αποστολής ελέγχεται μετά από δειγματοληψία του καυσίμου, που γίνεται σε όλη τη διάρκεια παραλαβής. Η ανάλυση του δείγματος που λαμβάνεται πραγματοποιείται σε εξειδικευμένα και πιστοποιημένα εργαστήρια. Οι διάφορες **ιδιότητες που καθορίζουν τις επιδόσεις των καυσίμων** είναι:

α) Το **ειδικό βάρος** (specific gravity) ή η **σχετική πυκνότητα** (relative density), δηλαδή το βάρος ενός συγκεκριμένου όγκου του καυσίμου, σε σύγκριση με το βάρος του ίδιου όγκου νερού, που εκφράζεται ως αναλογία και μετρείται σε σταθερή θερμοκρασία. Το ειδικό βάρος είναι απαραίτητο για τους υπολογισμούς των καυσίμων, καθώς και για την επιλογή του δίσκου βαρύτητας του φυγοκεντρικού διαχωριστή.



Σχ. 11.1α

Τομή λεκάνης φυγοκεντρικού (α) διαχωριστή-καθαριστή και (β) διαχωριστή ως διαναγαστήρα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο διαχωρισμός του νερού από καύσιμα με πυκνότητα μεγαλύτερη από το νερό δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί σε συμβατικές συσκευές φυγοκεντρικών διαχωριστών.

β) Το κινηματικό **ιξώδες** (kinematic viscosity), που αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος των ρευστών, μετρείται σε σεντιστόκς (centistokes) και περιγράφει την αντίσταση στη ροή. Το ιξώδες μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας των καυσίμων, προκειμένου να αυξηθεί η ροή τους, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν, να βελτιωθεί ο διαχωρισμός και επί πλέον να εξασφαλισθεί η εύκολη άντληση.

γ) Η **ποιότητα αναφλέξεως** (ignition quality) του καυσίμου, η οποία μετρείται από τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ εγχύσεως και καύσεως και θα πρέπει να είναι σύντομη για την καλή καύση.

δ) Το **σημείο αναφλέξεως** (flash point), που αντιπροσωπεύει μία τιμή θερμοκρασίας που προκύπτει από δοκιμές και χρησιμοποιείται κυρίως για να προσδιορίσει τη μέγιστη ασφαλή θερμοκρασία αποθηκείσεως του καυσίμου για την αποφυγή αναφλέξεως και εκρήξεως.

ε) Το **σημείο ροής** (pour point), που αποτελεί τη θερμοκρασία στην οποία ρέει το καύσιμο με την επίδραση της βαρύτητας. Είναι επίσης η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο μπορεί να αντληθεί με ευκολία.

στ) Η **περιεκτικότητα σε θείο** (sulphur content), που έχει μεγάλη σημασία, δεδομένου ότι θεωρείται αιτία της φθοράς του κινητήρα. Το ανώτατο όριο εκφράζεται ως ποσοστό κατά βάρος και περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές.

ζ) Η **θερμιδική δύναμη** (calorific value) του

καυσίμου που αναφέρεται στην θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση (Joule/kg).

η) Η **περιεκτικότητα σε νερό** (water content), που αποτελεί την ποσότητα του νερού που υπάρχει στο καύσιμο και απομακρύνεται μαζί με τα διαλυμένα στερεά με τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό.

θ) Η **συμβατότητα** (compatibility) ενός νέου καυσίμου που παραλαμβάνεται στο πλοίο με την υπάρχουσα ποσότητα καυσίμου στις δεξαμενές και κατά πόσο επιτρέπεται η ανάμειξη με διαφορετικά καύσιμα, ώστε να δώσουν ένα σταθερό μείγμα. Όταν υπάρχει ασυμβατότητα, η ανάμειξη των καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση λάσπης, που φράζει τα φίλτρα, δημιουργώντας προβλήματα στο δίκτυο του καυσίμου.

Τα έλαια λιπάνσεως είναι προϊόντα διυλίσεως του αργού πετρελαίου. Οι διάφορες ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται από το παραγόμενο έλαιο επιτυγχάνονται με ανάμειξη και εισαγωγή προσθέτων χημικών υλών. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ελαίου αλλάζουν με τα πρόσθετα, με αποτέλεσμα η δράση τους να είναι ανασταλτική προς την οξείδωση, να μειώνουν τη φθορά, να λειτουργούν ως απορρυπαντικά κ.λπ.. Οι σημαντικότερες ιδιότητες που περιγράφονται στα έντυπα που συνοδεύουν ένα έλαιο λιπάνσεως είναι:

α) Το **κινηματικό ιξώδες** (kinematic viscosity), που είναι μια σημαντική ιδιότητα των λιπαντικών ελαίων και αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους. Επίσης, χρησιμοποιείται ο δείκτης ιξώδους, που είναι ο ρυθμός μεταβολής του ιξώδους με την αλλαγή της θερμοκρασίας.

β) Ο **συνολικός αριθμός βάσεως** (Total Base

Number-TBN), που είναι ένα μέτρο ενδείξεως της ποσότητας αλκαλίων η οποία είναι διαθέσιμη στα λιπαντικά, καθορίζοντας τον αποτελεσματικό έλεγχο στην εξουδετέρωση των οξέων, που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσεως. Η οξύτητα του ελαίου παρακολουθείται, ώστε να αποφεύγεται η φθορά των μηχανημάτων. Όσο υψηλότερος είναι ο TBN, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η πρόληψη στη φθορά που προκαλείται από τους ρύπους και η μείωση της διαβρωτικής δράσεως των οξέων. Η μέτρησή του γίνεται σε χιλιοστόγραμμα του υδροξειδίου του καλίου ανά γραμμάριο (mg KOH/g). Για τα λιπαντικά των πλοίων γενικότερα ο TBN είναι 15-50 mg KOH/g, ενώ για ορισμένα λιπαντικά ενδέχεται να είναι υψηλότερος φτάνοντας τα 70 ή 80 mg KOH/g.

γ) Η **αντίσταση του λιπαντικού στην οξείδωση** (oxidation resistance), που μπορεί να μετρηθεί από τον αριθμό εξουδετερώσεως, ενώ όταν παρατηρηθεί ότι το έλαιο είναι οξειδωμένο πέραν των αποδεκτών ορίων που ορίζονται από τον τύπο του λιπαντικού και την χημική του ανάλυση, πρέπει να αντικατασταθεί.

δ) Η **τάση του λιπαντικού στον σχηματισμό ανθρακικών ενώσεων** (carbon-forming tendency), η οποία πρέπει να είναι γνωστή ιδιαίτερα για έλαια που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες. Η εξέταση των καταλοίπων άνθρακα σ' ένα λιπαντικό δίνει ένα ποσοστό μετρήσεως επί τοις εκατό (%).

ε) Η **απογαλάκτωση** (demulsibility), δηλαδή η ικανότητα ενός λιπαντικού να μπορεί να αναμειχθεί με το νερό και στη συνέχεια να το απελευθερώσει με τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό. Αυτή η ιδιότητα του λιπαντικού επηρεάζει την τάση που έχει να δημιουργεί ιζήματα λάσπης (sludge).

στ) Τέλος η **αναστολή της διαβρώσεως** (corrosion inhibition), που είναι η ικανότητα του λιπαντικού να προστατεύει μια επιφάνεια όταν υπάρχει νερό στο έλαιο. Αποτελεί μια σημαντική ιδιότητα, όταν υπάρχει πιθανότητα μόλυνσεως του λιπαντικού λόγω διarroής γλυκού ή θαλασσινού νερού.

Τα σύγχρονα λιπαντικά πρέπει να έχουν ιδιότητες, προκειμένου:

α) Να χρησιμοποιούνται σε πολυάριθμες εφαρμογές, και αυτό επιτυγχάνεται με την ανάμειξη διαφόρων τύπων λιπαντικών και με τη χρήση προσθέτων χημικών βελτιωτικών.

β) Να προφυλάσσουν τα μέταλλα, ώστε να μην έρχονται σε επαφή.

γ) Να μειώνουν την τριβή και τη φθορά των κινουμένων μερών των μηχανημάτων.

δ) Να είναι σταθερά χωρίς να δημιουργούν ανθρακικές ενώσεις (εξανθρωκώματα) όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες.

ε) Να είναι σε θέση να αναμειγνύονται με το νερό και στη συνέχεια να διαχωρίζονται από αυτό, χωρίς να δημιουργούν ιζήματα κατά τη διάρκεια του καθαρισμού και

στ) να προστατεύουν τα μεταλλικά μέρη απ' τη διάβρωση.

Ο φυγοκεντρικός διαχωρισμός του νερού και των ακαθαρσιών από το καύσιμο είναι απαραίτητος για την καλή καύση στη μηχανή, ενώ με την απαλλαγή των ρυπογόνων ακαθαρσιών από το έλαιο λιπάνσεως επιτυγχάνεται η μείωση της φθοράς του κινητήρα και η πρόληψη από πιθανές βλάβες, που πιθανόν να προκύψουν από το μολυσμένο έλαιο.

Οι συσκευές των φυγοκεντρικών διαχωριστών είτε λειτουργούν ως καθαριστές είτε ως διαυγαστήρες διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους και η ίδια συσκευή είναι δυνατόν να λειτουργεί ως καθαριστής ή ως διαυγαστήρας. Όταν χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό, τοποθετείται κατάλληλο εξάρτημα με θυρίδες εξόδου για το καθαρό υγρό, το νερό και τις ακαθαρσίες, ενώ όταν χρησιμοποιείται ως διαυγαστήρας έχει θυρίδες εξόδου μόνο για το καθαρό υγρό.

11.3 Η φυγοκεντρική διεργασία.

Διαχωρισμός είναι η μέθοδος που αφαιρεί τις ακαθαρσίες από το καύσιμο ή το λιπαντικό και μπορεί να επιτευχθεί μέσω της **βαρύτητας** στις δεξαμενές καθιζήσεως (settling tanks) ή μέσω της **φυγοκεντρικής δυνάμεως**. Οι δύο μέθοδοι βασίζονται στην ίδια αρχή και αφορούν σε υλικά μη διαλυτά μεταξύ τους, με τη διαφορά ότι ο φυγοκεντρικός διαχωρισμός πραγματοποιείται με καθαρά μηχανική ενέργεια.

Ο καθαρισμός στις δεξαμενές καθιζήσεως επιτυγχάνεται γιατί το πετρέλαιο ή το έλαιο, το νερό και οι ακαθαρσίες έχουν διαφορετικό ειδικό βάρος. Η διαδικασία είναι χρονοβόρα, καθώς στις δεξαμενές καθιζήσεως η δύναμη διαχωρισμού είναι η βαρύτητα και το αποτέλεσμα του διαχωρισμού είναι η δημιουργία στρωμάτων. Απ' αυτά το κατώτερο στρώμα αποτελείται από τις στερεές ύλες που συγκεντρώνονται στον πυθμένα της δεξαμενής. Το αμέσως ανώτερο στρώμα είναι το νερό και το αμέσως επόμενο αποτελείται από το πετρέλαιο ή το έλαιο (σχ. 11.3α). Έτσι, τα υγρά με διαφορετικό ειδικό βάρος ή σχετική πυκνότητα μπορεί να διαχωριστούν σε μία δεξαμενή καθιζήσεως υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Είναι σαφές ότι στις δεξαμενές ενός σκάφους η επίδραση της βαρύτητας δεν μπορεί να ενισχύσει τη δύναμη διαχωρισμού. Έτσι, μια δεξαμενή καθιζήσεως αν αντικατασταθεί από έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δυνάμεως διαχωρισμού που επηρεάζεται από τη γωνιακή ταχύτητα. Η γωνιακή ταχύτητα ενεργεί κατά ορθές γωνίες προς τη διεύθυνση της βαρύτητας και αναπτύσσεται κατά την περιστροφή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (σχ. 11.3β). Μ' αυτόν τον τρόπο, η ταχύτητα του διαχωρισμού αυξάνεται. Αυτό είναι που ουσιαστικά συμβαίνει με τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό και τόσο η ταχύτητα περιστροφής, όσο και η πραγματική ακτίνα του διαχωριστή μπορούν να διαφοροποιηθούν εντός ορισμένων κατασκευαστικών προδιαγραφών, που ορίζονται από τη μηχανική.

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές αποτελούνται από τον ηλεκτρικό κινητήρα που δίνει την κίνηση, έναν κάθετο άξονα και τη λεκάνη ή τον σωλήνα μέσα στον οποίο περιέχεται το υγρό πετρέλαιο ή το έλαιο που πρόκειται να καθαριστεί. Η αρχή της λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή είναι απλή. Όταν η λεκάνη που περιέχει το ακαθάριστο υγρό περιστρέφεται, η φυγόκεντρος δύναμη επιδρώντας στο υγρό μείγμα, το διαμορφώνει σε τρία κατακόρυφα περιμετρικά στρώματα (σχ. 11.3β).

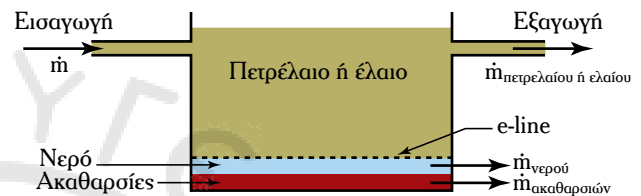
Το εξωτερικό μείγμα αποτελείται από ιζήματα και στερεές ύλες που λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους το οποίο έχουν από το πετρέλαιο ή το έλαιο, εκτοξεύονται και προσκολλώνται στην εσωτερική επιφάνεια του διαχωριστή. Το μεσαίο αποτελείται απ' το νερό και το εσωτερικό από το καθαρό πετρέλαιο ή το έλαιο. Ο καθαρισμός που επιτυγχάνεται με τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό αφορά σε υλικά που δεν είναι διαλυτά μεταξύ τους. Έτσι, για παράδειγμα η βενζίνη, το πετρέλαιο ή το έλαιο λιπάνσεως δεν είναι δυνατόν να διαχωρισθούν με τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό, όπως επίσης δεν είναι δυνατόν να αφαιρεθούν τα άλατα από το θαλασσινό νερό.

Κατά τη φυγοκεντρική διαδικασία, το υγρό μείγμα που πρόκειται να διαχωριστεί και αποτελείται από πετρέλαιο ή έλαιο, νερό και στερεές ύλες (ακαθαρσίες) με διαφορετικά ειδικά βάρη μη διαλυτά μεταξύ τους, δημιουργεί όρια μεταξύ των στρωμάτων στα σημεία όπου εφάπτονται τα διαφορετικά αυτά υλικά. Τα όρια αυτά είναι ξεκάθαρα, όπως το σημείο επαφής του νερού με το έλαιο, γνωστό ως νοπή διαχωριστική γραμμή (e-line) (σχ. 11.3α και 11.3β). Για να επιτύχουμε το μέγιστο όφελος από τον διαχω-

ρισμό του πετρελαίου από το νερό, η απομάκρυνση του νερού πρέπει να γίνεται έξω από τη νοπή διαχωριστική γραμμή, που δημιουργείται από τα σημεία επαφής των δύο υγρών. Διαφορετικά θα έχουμε απόρριψη πετρελαίου στην πλευρά του νερού.

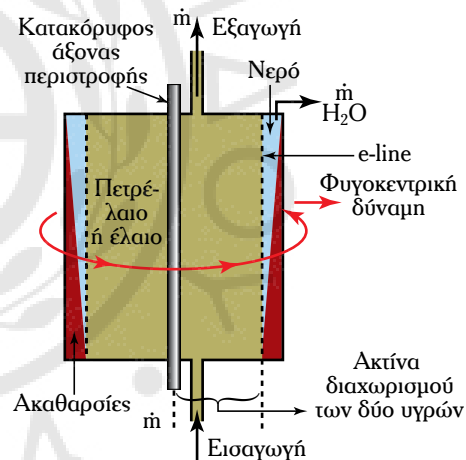
Όταν ο διαχωρισμός, όπως έχει αναφερθεί, γίνεται με την επίδραση της βαρύτητας στη δεξαμενή καθιζήσεως, πραγματοποιείται συνεχής διαχωρισμός και τα στρώματα στα οποία διαχωρίζεται το μείγμα στη δεξαμενή βρίσκονται σε μία διάταξη (σχ. 11.3γ).

Στον φυγοκεντρικό διαχωρισμό δημιουργείται



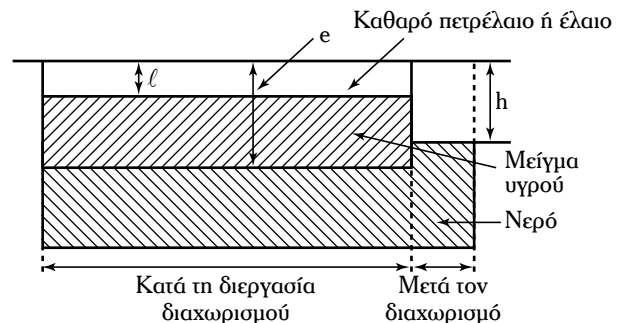
Σχ. 11.3α

Διαχωρισμός σε δεξαμενή καθιζήσεως.



Σχ. 11.3β

Διαχωρισμός με φυγοκεντρική διεργασία.



Σχ. 11.3γ

Διεργασία διαχωρισμού στην δεξαμενή βαρύτητας.

μία διάταξη τύπου U, κάθε σκέλος της οποίας αποτελεί ανάλογη διεργασία όπως στη δεξαμενή βαρύτητας και φαίνεται εάν στραφεί το σχήμα 11.3γ κατά 90° προς τα αριστερά. Το αποτέλεσμα είναι το σχήμα 11.3δ(α) όπου η εισαγωγή του μείγματος υγρών πραγματοποιείται στο κάτω μέρος του U.

Σε κάθε σκέλος του πραγματοποιείται διαχωρισμός, όπως στη δεξαμενή διαχωρισμού, με τη διαφορά ότι στο μείγμα του υγρού ασκείται η δύναμη της φυγόκεντρου δυνάμεως που επιταχύνει τη διεργασία διαχωρισμού του μείγματος.

Λόγω της διαφοράς ειδικού βάρους των υγρών που αποτελούν το μείγμα, το ύψος των υγρών στη δεξαμενή διαχωρισμού εμφανίζεται αντίστοιχα στα δύο σκέλη της διατάξεως τύπου U και δίνεται απ' τη σχέση:

$$\rho_l \cdot (e - l) = \rho_h \cdot (e - h) \quad (1)$$

όπου: ρ_l η πυκνότητα του πετρελαίου ή του ελαίου και ρ_h η πυκνότητα του νερού.

Επί πλέον, λόγω της περιστροφής της διατάξεως τύπου U γύρω από τον κάθετο άξονα, όπου επιδρά στο μείγμα υγρών η γωνιακή ταχύτητα, η σχέση (1) γίνεται:

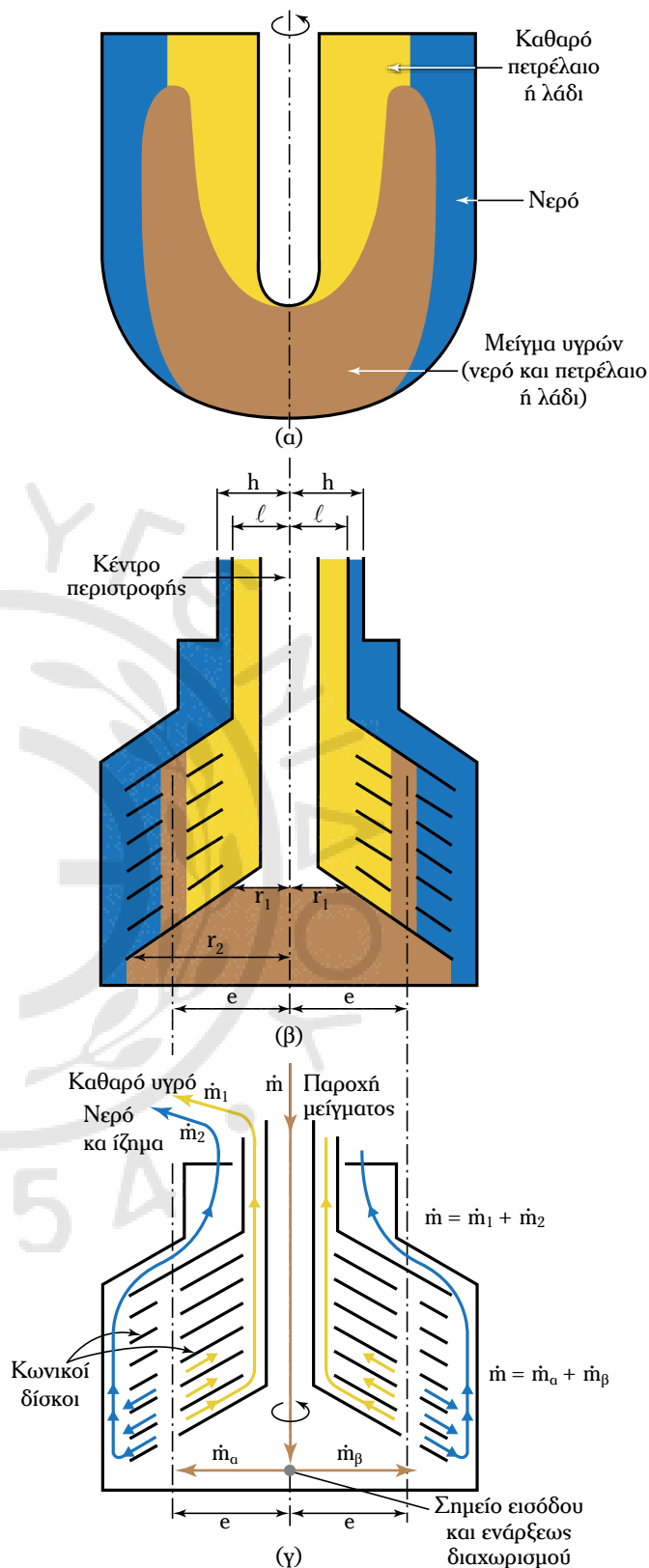
$$\omega^2 \rho_l (e^2 - l^2) = \omega^2 \rho_h (e^2 - h^2) \quad (2)$$

ή

$$\frac{\rho_h}{\rho_l} = \frac{e^2 - l^2}{e^2 - h^2} \quad (3)$$

όπου: ω η γωνιακή ταχύτητα, ρ_h η πυκνότητα του νερού, ρ_l η πυκνότητα του πετρελαίου, e η απόσταση από το κέντρο περιστροφής της λεκάνης έως το σημείο εισόδου του ακάθαρτου πετρελαίου ή ελαίου, l η απόσταση απ' το κέντρο περιστροφής της λεκάνης και του εσωτερικού δακτυλίου της εξαγωγής καθαρού πετρελαίου ή ελαίου και h η απόσταση από το κέντρο περιστροφής της λεκάνης και του εσωτερικού δακτυλίου της εξαγωγής του νερού που έχει διαχωριστεί [σχ. 11.3δ(β)].

Ο μηχανικός σχεδιασμός του φυγόκεντρικού διαχωριστή απαιτεί η νοητή διαχωριστική γραμμή (e-line) που δημιουργείται να βρίσκεται μεταξύ ορισμένων αυστηρών ορίων. Οι διακυμάνσεις αυτές εξαρτώνται από την ρ_l πυκνότητα του πετρελαίου, η οποία διαφέρει στα εφοδιαζόμενα πετρελαιοειδή και λιπαντικά. Είναι συνεπώς αναγκαίο να προβλέπεται στον σχεδιασμό του φυγόκεντρικού διαχωριστή η διακύμανση που δύναται να λαμβάνουν οι αποστάσεις του h ή του l , προκειμένου να μπορεί να αντισταθμίζεται η μεταβολή του ειδικού βάρους για διαφορετικά υγρά. Συνήθως τροποποιείται η απόσταση h του



Σχ. 11.38

Διεργασία διαχωρισμού στους δίσκους ενός φυγόκεντρικού διαχωριστή. (α, β) Αποστάσεις από το κέντρο περιστροφής και (γ) ροή υγρών στον διαχωριστή.

πετρελαίου ή του λιπαντικού, και αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας δακτυλιοειδείς **δίσκους βαρύτητας**¹ με διαφορετικές εσωτερικές διαμέτρους.

Οι πληροφορίες για το μέγεθος της διαμέτρου του δίσκου βαρύτητας παρέχονται από πίνακα που βρίσκεται στο βιβλίο του κατασκευαστή του διαχωριστή. Εκεί αναφέρεται, για το συγκεκριμένο ειδικό βάρος μείγματος του πετρελαίου ή του λιπαντικού, η αντίστοιχη διάμετρος του δίσκου βαρύτητας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Εναλλακτικά, η διάμετρος (σε mm) του δίσκου βαρύτητας D_h μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο:

$$D_h = 2 \sqrt{\left[l^2 \frac{\rho_l}{\rho_h} + e^2 \left(1 - \frac{\rho_l}{\rho_h} \right) \right]} \quad (4)$$

Η απόσταση e μπορεί να ληφθεί ως η ακτίνα από το μέσο των κωνικών δίσκων, που τοποθετούνται μέσα στην λεκάνη του διαχωριστή [σχ. 11.38(β)]. Κατά τη διάρκεια του φυγοκεντρικού διαχωρισμού, αν το πετρέλαιο ή το έλαιο απορρίπτονται μαζί με το νερό, τότε η διάμετρος του δίσκου είναι πολύ μεγάλη.

Για πολλά χρόνια οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές στα πλοία είχαν σχεδιαστεί για περιοδική λειτουργία, κατά την οποία τα στερεά συλλέγονταν στα τοιχώματα της λεκάνης και στη συνέχεια το μηχανήμα απενεργοποιούνταν για να καθαριστεί. Η περιοδική λειτουργία με απενεργοποίηση για εσωτερικό καθαρισμό των φυγοκεντρικών διαχωριστών εξακολουθεί να είναι επωφελής για τον καθαρισμό των ελαίων λιπάνσεως, διότι κατά τη συντήρηση επιτρέπεται στον υπεύθυνο ο έλεγχος της αποτελεσματικής λειτουργίας τους.

Οι σύγχρονοι όμως φυγοκεντρικοί διαχωριστές πετρελαίου και ελαίου είναι σχεδιασμένοι για συνεχή λειτουργία με αυτόματο περιοδικό καθαρισμό (παράγρ. 11.8). Ο αυτόματος καθαρισμός γίνεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία ποικίλουν από τριάντα λεπτά έως μία ώρα με δυνατότητα μεταβολής του χρόνου από τον χειριστή. Ο καθαρισμός αυτός εξαρτάται απ' την ποιότητα του πετρελαίου ή του λιπαντικού και το επιθυμητό αποτέλεσμα.

11.4 Τύποι φυγοκεντρικών διαχωριστών.

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές που χρησιμοποιούνται στα πλοία είναι δύο τύπων:

α) Οι **σωληνοειδείς διαχωριστές** (tubular type separators ή long narrow bowls).

β) Οι **διαχωριστές τύπου λεκάνης με δίσκους** (disc type separators ή short wide bowls).

Οι δύο αυτοί τύποι στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, με κυριότερη διαφορά στον σχεδιασμό του περιστρεφόμενου μέρους τους και στο μέγεθος της ταχύτητας περιστροφής τους.

Στον **σωληνοειδή διαχωριστή**, το περιστρεφόμενο στοιχείο αποτελείται από κύλινδρο, μέσα στον οποίο βρίσκονται τοποθετημένα τρία κατακόρυφα πτερύγια προσαρμοσμένα στον άξονα σε γωνίες 120° μεταξύ τους. Αυτά περιστρέφονται με το σωληνοειδές δοχείο του διαχωριστή. Αντιπροσωπευτικά αναφέρεται ο τύπος του διαχωριστή Sharpless, στον οποίο η ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων είναι 15.000 rpm.

Οι σωληνοειδείς διαχωριστές είναι σε θέση να αναπτύξουν μεγαλύτερες γωνιακές ταχύτητες από τους διαχωριστές τύπου λεκάνης με δίσκους, με καλύτερα αποτελέσματα στον φυγοκεντρικό διαχωρισμό. Το διαχωρισμένο ίζημα διανύει μικρή απόσταση έως το εσωτερικό τείχος του σωλήνα, ενώ στη συνέχεια αποβάλλεται το νερό. Όμως, για να επιτευχθεί αύξηση του όγκου κατακρατήσεως λάσπης και νερού, είναι απαραίτητη η επιμήκυνση του σωλήνα, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα ευστάθειας του μηχανήματος, λόγω της μεγάλης περιστροφικής ταχύτητας.

Οι διαχωριστές τύπου λεκάνης με δίσκους ήταν σε θέση να διατηρούν περισσότερο ίζημα, μπορούσαν να καθαρισθούν ευκολότερα, αλλά είχαν μειωμένη απόδοση. Γενικότερα ο διαχωρισμός δεν ήταν επαρκής λόγω της μεγάλης αποστάσεως που διένυε το διαχωριζόμενο ίζημα μέχρι να φτάσει στο τοίχωμα της λεκάνης, γεγονός που οφειλόταν στην περιορισμένη επιφάνεια διαχωρισμού. Για να αυξηθεί η επιφάνεια διαχωρισμού, τοποθετείται μία στοιβάδα κωνικών δίσκων, αυξάνοντας την επιφάνεια καθαρισμού. Οι δίσκοι περιστρέφονται μαζί με τη λεκάνη, και η ταχύτητα κατά τη λειτουργία του διαχωριστή είναι 7.200 rpm. Αντιπροσωπευτικός τύπος αυτών των διαχωριστών με δίσκους είναι οι φυγοκεντρικοί καθαριστές de Laval. Το όνομά τους οφείλεται στον Σουηδό μηχανικό G. De Laval (1845–1913) και έχει επικρατήσει να χαρακτηρίζονται όλοι οι φυγοκεντρικοί καθαριστές ως μηχανήματα de Laval.

¹ Δίσκος βαρύτητας ονομάζεται ένας μεταλλικός δίσκος με τρύπα στη μέση, του οποίου η εσωτερική διάμετρος εξαρτάται από το ειδικό βάρος του πετρελαίου ή του ελαίου που διαχωρίζεται.

11.5 Λειτουργία φυγοκεντρικών διαχωριστών.

Ο τρόπος λειτουργίας ανάλογα με τον τύπο φυγοκεντρικού διαχωριστή, είτε αυτός χρησιμοποιείται για την επεξεργασία πετρελαίου, είτε για την επεξεργασία ελαίου είναι:

11.5.1 Για σωληνοειδή διαχωριστή.

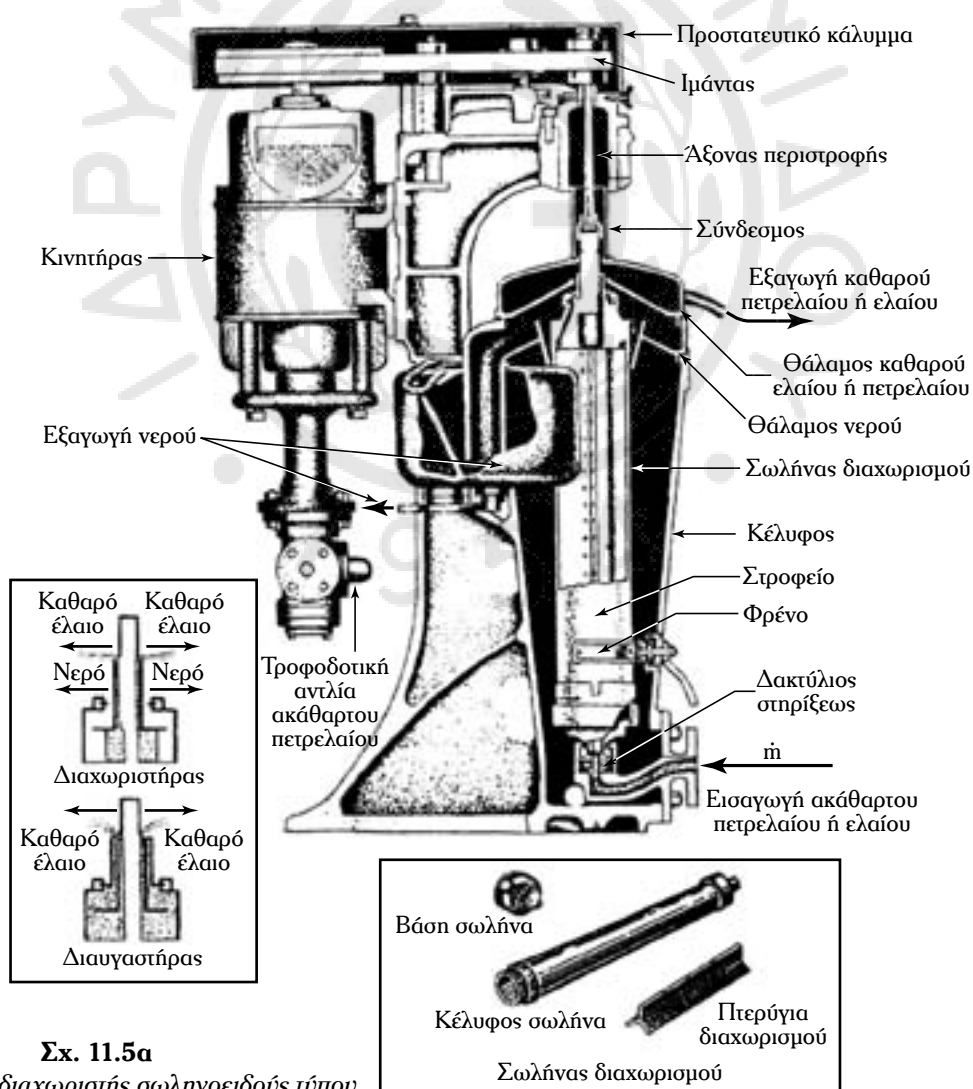
Ο φυγοκεντρικός διαχωριστής σωληνοειδούς τύπου αποτελείται από το στροφέιο ή σωληνοειδές δοχείο, το οποίο περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα με τη βοήθεια ενός κινητήρα που είναι συνδεδεμένος με ιμάντα και από ένα σύστημα μικρού σφαιρικού τριβέα, εφαρμοσμένου στον άξονα περιστροφής στην κορυφή του στροφείου (σχ. 11.5α). Η ευθυγράμμιση και η κεντρική περιστροφή του άξονα επιτυγχάνονται με τη βοήθεια του δακτυλίου στηρίξεως στη βάση του διαχωριστή.

Η είσοδος του ακάθартου μείγματος πετρελαίου

ή ελαίου γίνεται από ένα άνοιγμα στο κάτω μέρος του μηχανήματος και μετά τον διαχωρισμό καταθλίβονται το πετρέλαιο ή το λιπαντικό και το νερό από δύο ανοίγματα στο πάνω μέρος του διαχωριστή.

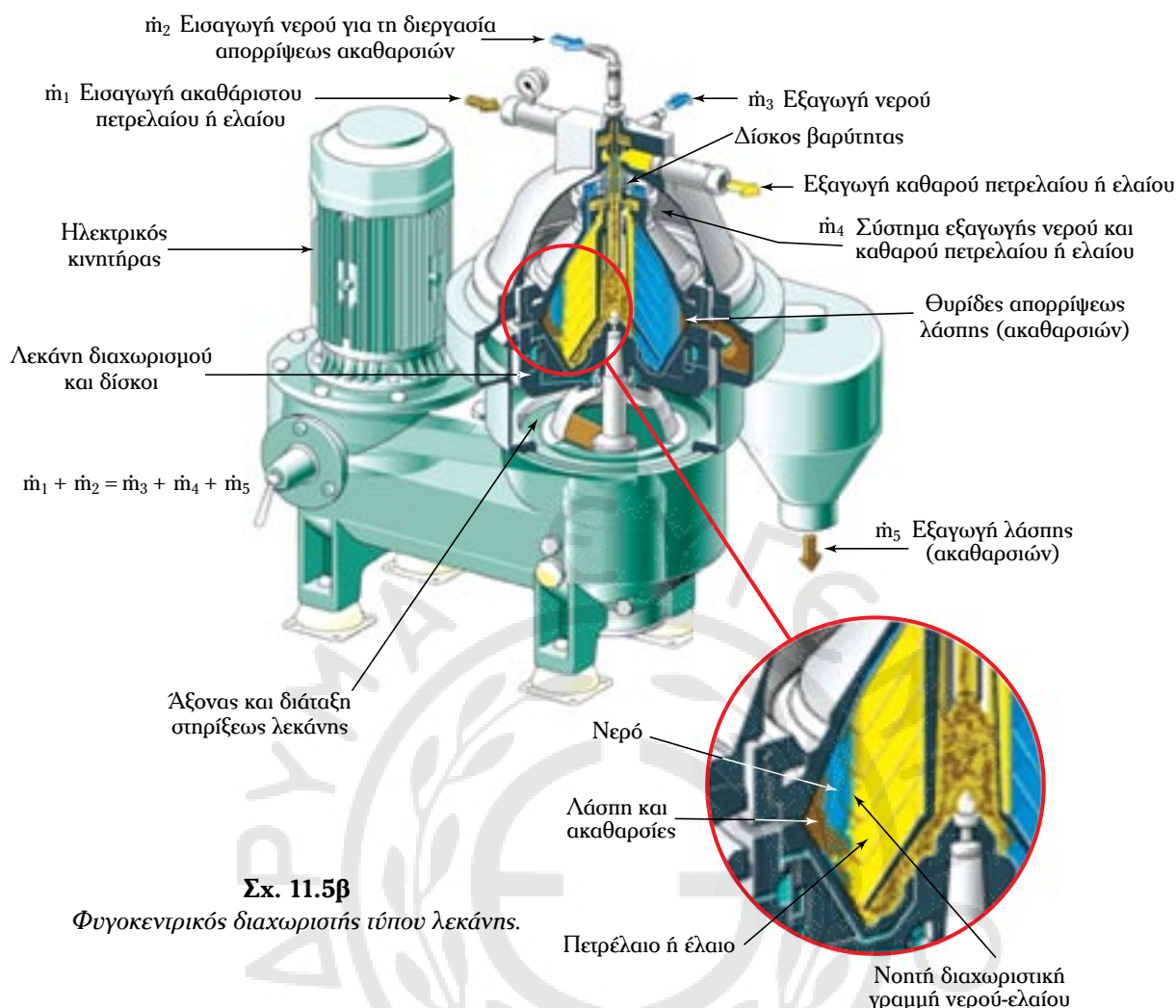
Εσωτερικά του σωλήνα διαχωρισμού βρίσκονται τρία κατακόρυφα πτερύγια, που περιστρέφονται μαζί με τον σωλήνα διαχωρισμού, με σκοπό να αναγκάσουν το υγρό που εισέρχεται σ' αυτό να περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα. Το ακαθάρτο υγρό εισέρχεται στον φυγοκεντρικό καθαριστή από τον πυθμένα του δοχείου με πίεση, περνώντας μέσα από ακροφύσιο, που το διασκορπίζει μέσα στο δοχείο.

Η λειτουργία του σωληνοειδούς διαχωριστή βασίζεται στη διαφορά του ειδικού βάρους του μείγματος δημιουργώντας, λόγω της ταχύτητας περιστροφής, στρώματα από καθαρό έλαιο ή πετρέλαιο εσωτερικά, νερό στο μέσο και λάσπη περιφερειακά στο τελευταίο στρώμα. Η λάσπη, λόγω της φυγόκε-



Σχ. 11.5α

Φυγοκεντρικός διαχωριστής σωληνοειδούς τύπου.



Σχ. 11.5β

Φυγοκεντρικός διαχωριστής τύπου λεκάνης.

ντρους δυνάμεως, κολλάει στα τοιχώματα του κελύφους του διαχωριστή, ενώ το νερό και το έλαιο ή το πετρέλαιο εξέρχονται από τα χωριστά ανοίγματα στο επάνω μέρος του κελύφους του διαχωριστή.

Ο σωληνοειδής διαχωριστής μπορεί να λειτουργεί είτε ως διαχωριστής είτε ως διαυγαστήρας κλείνοντας την έξοδο του νερού με έναν δακτύλιο.

Όταν ο διαχωριστής λειτουργεί για τον καθαρισμό λιπαντικού, κατά την εισαγωγή στον διαχωριστή το έλαιο κτυπάει πάνω σε έναν κώνο, που τοποθετείται στο κάτω μέρος της διατάξεως των περυγίων, ώστε να εξισωθεί προοδευτικά η ταχύτητα του ελαίου με την ταχύτητα περιστροφής του δοχείου χωρίς να δημιουργείται γαλάκτωμα (ανακαταμένο νερό με λάδι). Ο κώνος αυτός δεν χρησιμοποιείται όταν ο διαχωριστής λειτουργεί με πετρέλαιο, γιατί το πετρέλαιο δεν δημιουργεί γαλάκτωμα.

11.5.2 Για διαχωριστή με λεκάνη.

Η αύξηση της επιφάνειας καθαρισμού, όπως έχει

αναφερθεί στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές με λεκάνη, πραγματοποιείται με την προσθήκη μίας σειράς κωνικών δίσκων (σχ. 11.5β). Η απόσταση μεταξύ των δίσκων διατηρείται με μικρούς αποστάτες τοποθετημένους στην κάτω πλευρά κάθε δίσκου ρυθμίζοντας την απόσταση μεταξύ των δίσκων από 2–4 mm.

Το ακαθάρστο πετρέλαιο εισέρχεται μέσω του σωλήνα συνδέσεως, που είναι εφαρμοσμένος στο πάνω μέρος της λεκάνης των δίσκων και μέσω της κωνικής βάσεως, που είναι ταυτόχρονα οδηγός για τη θέση της διατάξεως των δίσκων, διοχετεύεται στον πυθμένα της λεκάνης. Στη συνέχεια, ρέει ανάμεσα στους δίσκους από τρύπες ροής στα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των δίσκων και χωρίζουν τον εσωτερικό χώρο της λεκάνης σε πολλά λεπτά στρώματα. Λόγω της φυγόκεντρου δυνάμεως διαχωρίζονται το νερό και τα στερεά κατάλοιπα που περιέχει το πετρέλαιο, δημιουργώντας σε κάθε κενό μεταξύ των δίσκων στρώματα καθαρού πετρελαίου, νερού και στερεών καταλοίπων.

Τα στερεά κατάλοιπα προσκρούοντας στην κάτω επιφάνεια των δίσκων συσσωρεύονται και τελικά γλιστρούν κατά μήκος των δίσκων και προς την περιφέρεια, σχηματίζοντας έτσι ένα στρώμα λάσπης στην εσωτερική επιφάνεια της λεκάνης. Ένα πολύ λεπτό στρώμα από ακαθαρσίες δημιουργείται με την πάροδο του χρόνου λειτουργίας στην επιφάνεια των δίσκων, που απομακρύνεται με τον καθαρισμό των επιφανειών τους, όταν το μηχάνημα είναι εκτός λειτουργίας.

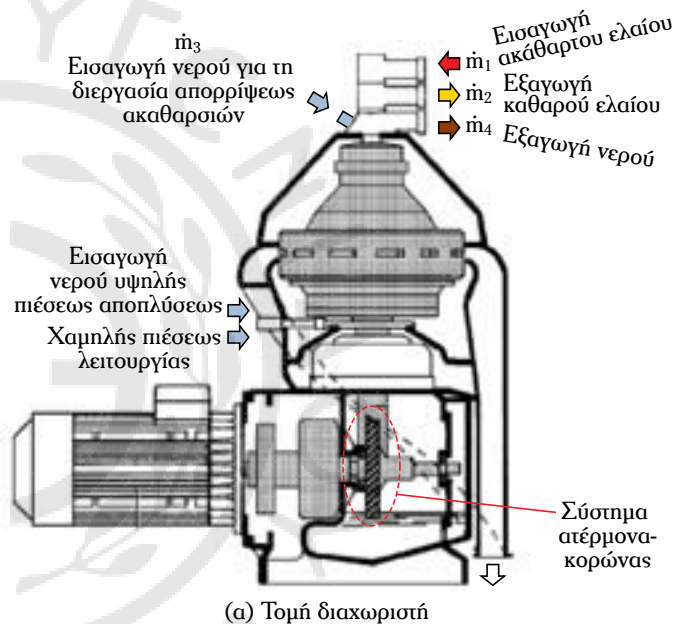
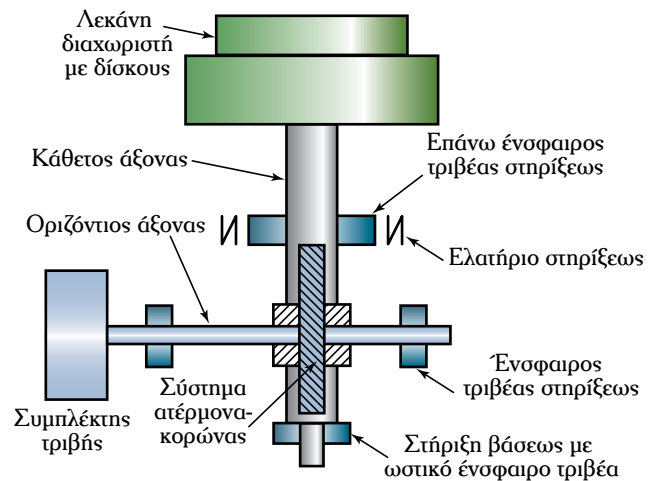
Με τη συνεχή συσσώρευση στερεών σωματιδίων, νερού και πετρελαίου, το στρώμα του νερού που δημιουργείται, πιέζεται μεταξύ στερεών σωματιδίων και καθαρού πετρελαίου, με αποτέλεσμα το νερό και ελαφριά στερεά σωματίδια να παρασύρονται προς την περιφέρεια της λεκάνης. Στη συνέχεια, γλιστρώντας πάνω στα τοιχώματά της απορρίπτονται έξω απ' αυτήν με την κατάλληλη διάταξη εξαγωγής νερού στο πάνω μέρος του διαχωριστήρα.

Η ποσότητα του καθαρού πετρελαίου ή ελαίου που συσσωρεύεται σταδιακά κατά τη διεργασία του διαχωρισμού, ρέει και αυτή κατά μήκος των κενών που σχηματίζονται μεταξύ των δίσκων, αλλά σε αντίθετη διεύθυνση από το νερό. Η διεύθυνση του καθαρού πετρελαίου ή ελαίου είναι προς το κέντρο της λεκάνης και προς τα επάνω απ' όπου καταθλίβεται από την εξαγωγή καθαρού ελαίου στο πάνω μέρος του διαχωριστή [σχ. 11.5γ(α)].

Η λεκάνη του φυγοκεντρικού διαχωριστή είναι προσαρμοσμένη στο πάνω άκρο ενός περιστρεφόμενου κατακόρυφου άξονα. Η κίνηση του άξονα γίνεται από ηλεκτρικό κινητήρα μέσω συμπλέκτη τριβής. Στη συνέχεια η κίνηση μεταδίδεται σε σύστημα ατέρμονα-κορώνας, που εφαρμόζεται στο κατάλληλα διαμορφωμένο κάτω μέρος του άξονα.

Η στήριξη του άξονα γίνεται με τοποθέτηση ακτινικού ωστικού ένοσφαιρου τριβέα στο κάτω άκρο του, ο οποίος φέρει το βάρος του άξονα και της λεκάνης, ενώ ταυτόχρονα απορροφά οποιαδήποτε ώθηση δημιουργείται από την κίνηση. Η ισορροπία, η ευθυγράμμιση και η κεντρική περιστροφή του άξονα και της λεκάνης επιτυγχάνεται με ένοσφαιρο τριβέα, ο οποίος τοποθετείται κάτω από τη λεκάνη του διαχωριστή [σχ. 11.5γ(α)].

Όταν στη διάταξη επεξεργασίας διαχωρισμού του πετρελαίου χρησιμοποιούνται δύο διαχωριστές σε σειρά (καθαριστής και διαυγαστήρας), το πετρέλαιο απαλλάσσεται πρώτα από το νερό και τις ακαθαρσίες που παρασύρονται μαζί με αυτό και στη συνέχεια



(α) Τομή διαχωριστή



(β) Τρισδιάστατη απεικόνιση τομής

Σχ. 11.5γ

Διάταξη φυγοκεντρικού διαχωριστή με δίσκους και τομή φυγοκεντρικού διαχωριστή.

εισέρχεται στη δεύτερη φάση του καθαρισμού (διαύγαση), όπου απαλλάσσεται από τα υπόλοιπα λεπτά στερεά, και τελικά το καθαρισμένο πετρέλαιο διατίθεται για χρήση.

Η λειτουργία των φυγοκεντρικών διαχωριστών με δίσκους μπορεί να είναι περιοδική ή συνεχής, όπως περιγράφεται παρακάτω, χωρίς αυτό να αλλάζει τη μέθοδο διαχωρισμού του πετρελαίου. Η διαφορά της περιοδικής λειτουργίας από τη συνεχή, είναι ότι στην πρώτη για τον καθαρισμό της λεκάνης και της επιφάνειας των δίσκων από τα στερεά σωματίδια που συσσωρεύονται σε μορφή λάσπης, ο διαχωριστής πρέπει να σταματήσει και να γίνει αποσυναρμολόγηση της λεκάνης και των δίσκων, ενώ στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές συνεχούς λειτουργίας τα στερεά σωματίδια απομακρύνονται με συχνές απορρίψεις (μπλοφάρισμα) σε τακτά χρονικά διαστήματα (βλ. παράγρ. 11.8).

11.6 Καθαρισμός πετρελαίου.

Τα ελαφρά πετρέλαια όπως paraffin fuels και gas oils, γνωστά ως ραφινάρισμα **αποστάγματα** (distillates), που χρησιμοποιούνται στις μονάδες προώσεως αεροστροβίλων και στις ταχύστροφες (1000-4200 rpm) και μεσόστροφες (300-950 rpm) MEK, έχουν μεγάλη ρευστότητα, αποθηκεύονται εύκολα και μπορούν να υποβάλλονται σε καθαρισμό χωρίς να είναι αναγκαία η προθέρμανσή τους. Τα **βαριά πετρέλαια** (HFO) τα οποία χρησιμοποιούνται σε αργόστροφες (70-250 rpm) MEK και γενικά τα υπολειμματικά πετρέλαια (residual fuels) είναι παχύρρευστα σε κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και απαιτείται θέρμανση πριν την επεξεργασία και τη χρήση τους.

Το βαρύ πετρέλαιο που χρησιμοποιείται στα πλοία στις αργόστροφες MEK αντλείται από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως και καταθλίβεται με την **αντλία μεταφοράς** (transfer pump) στις δεξαμενές καθίζσεως, που είναι συνήθως δύο. Εκεί, το πετρέλαιο θερμαίνεται με τη βοήθεια των στοιχείων ατμού (σερπαντίνες steam coils), αποβάλλοντας μεγάλο μέρος από την ποσότητα του νερού που περιέχει. Στη δεξαμενή καθίζσεως, εκτός από την καθίζηση του νερού, κατακάθεται και λάσπη, που μαζί με το νερό απομακρύνονται με συχνές **εξυδατώσεις** (drains), από τον κρουνό εξυδατώσεως που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής. Οι ακαθαρσίες με το νερό οδηγούνται στη δεξαμενή υπερχείλισης (overflow)

ή στη δεξαμενή κύτους (holding) ή στη **δεξαμενή ακαθαρσιών** (sludge) για περαιτέρω επεξεργασία ή για την απόδοσή τους στα λιμάνια μαζί με άλλα ανεπιθύμητα κατάλοιπα.

Από τη δεξαμενή καθίζσεως αντλείται το πετρέλαιο, το οποίο διερχόμενο από τον φυγοκεντρικό διαχωριστή καθαρίζεται, προκειμένου να οδηγηθεί στη συνέχεια στη **δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως** (service ή daily tank). Οι δεξαμενές καθίζσεως όταν είναι δύο, χρησιμοποιούνται εναλλάξ έτσι ώστε όταν γίνεται καθίζηση στη μία δεξαμενή, η αναρρόφηση καυσίμου του φυγοκεντρικού διαχωριστή να διεξάγεται από την άλλη δεξαμενή, όπου έχει ήδη πραγματοποιηθεί η διεργασία καθίζσεως και εξυδατώσεως. Αυτό γίνεται, ώστε να δοθεί ο απαιτούμενος χρόνος για τον φυσικό διαχωρισμό του νερού και της λάσπης απ' το καύσιμο.

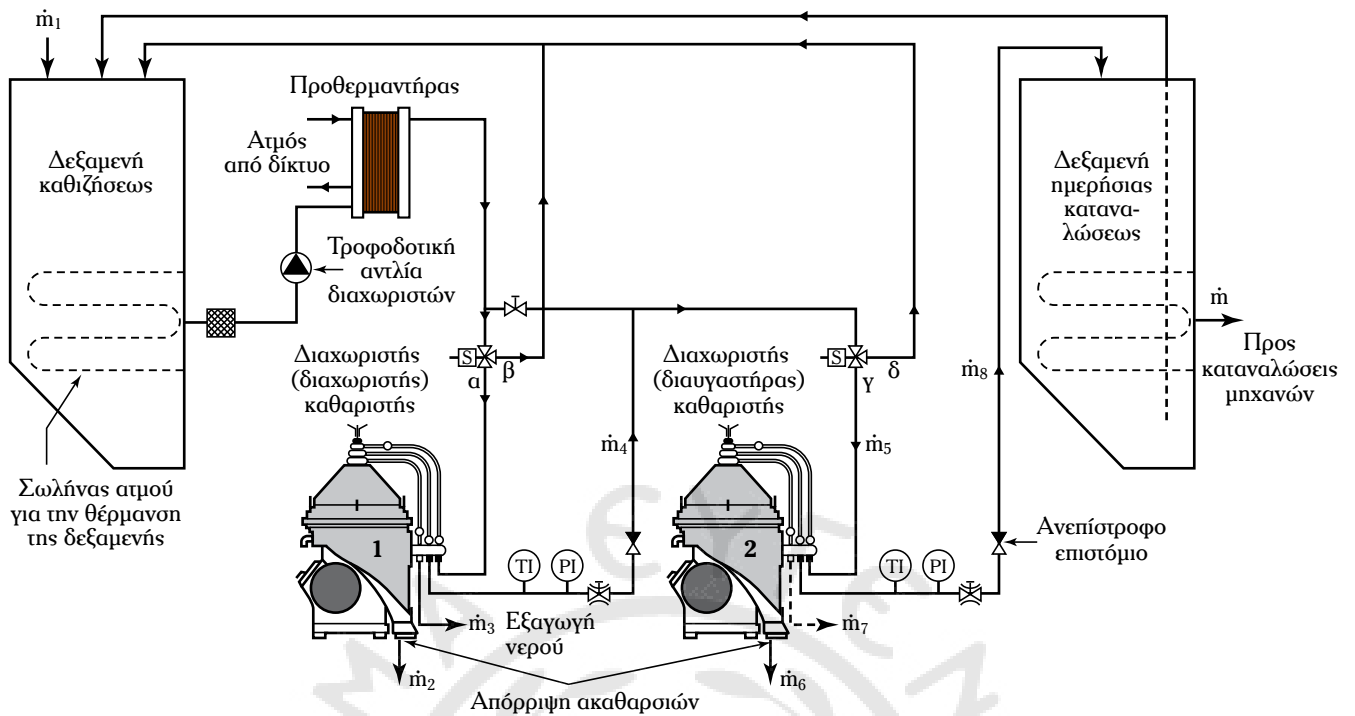
Μία πρακτική που ακολουθείται στα πλοία είναι η υπερχείλιση του πετρελαίου από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως να επιστρέφει στη δεξαμενή καθίζσεως που αναρροφά ο φυγοκεντρικός διαχωριστής. Το ήδη καθαρό πετρέλαιο αναμειγνύεται με την ποσότητα του πετρελαίου που κατακάθεται στη δεξαμενή καθίζσεως (settling tank), επιτυγχάνοντας έτσι την επανακυκλοφορία του καυσίμου στον φυγοκεντρικό διαχωριστή (κατακαθίσεως) βελτιώνοντας την ποιότητα καθαρισμού του καυσίμου.

Ο καθαρισμός των βαρέων καυσίμων σε πολλά πλοία πραγματοποιείται με τη διέλευση του καυσίμου μετά απ' τη δεξαμενή καθίζσεως στον προθερμαντήρα και στη συνέχεια στον φυγοκεντρικό διαχωριστή. Όμως, τα προβλήματα που δημιουργούνται από την ποιότητα του καυσίμου και τη μεγάλη περιεκτικότητα σε ακαθαρσίες και στερεά σωματίδια, αντιμετωπίζονται εγκαθιστώντας δύο ή τρεις φυγοκεντρικούς διαχωριστές που λειτουργούν σε διάταξη σειράς ή παράλληλα.

Στα σχήματα 11.6α και 11.6β παρουσιάζονται οι τρόποι λειτουργίας των διαχωριστών, οι οποίοι είναι τρεις:

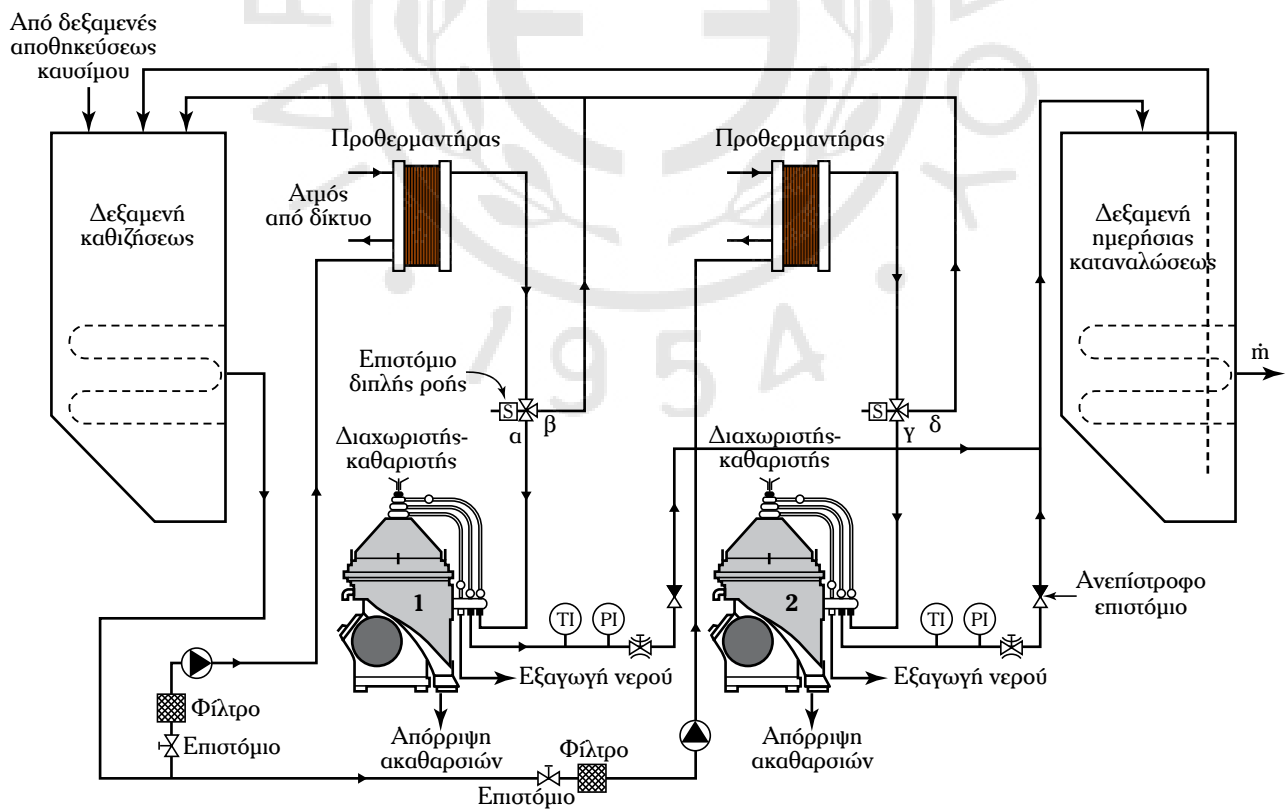
α) Σε **σειρά**, ώστε ο φυγοκεντρικός διαχωριστής No 1 λειτουργεί ως διαχωριστής για την απομάκρυνση του νερού και της λάσπης, ενώ ο No 2 ως διαυγαστής (σχ. 11.6α).

β) Να υπάρχει μόνο ένας φυγοκεντρικός διαχωριστής, ο οποίος θα λειτουργεί κάθε φορά (εναλλάξ) στο δίκτυο, ενώ ο άλλος είναι απομονωμένος κλείνοντας τα κατάλληλα επιστόμια και χρησιμοποιείται μόνο για διαχωρισμό.



Σχ. 11.6α

Τυπική διάταξη δύο φυγοκεντρικών διαχωριστών-καθαριστών σε σειρά.



Σχ. 11.6β

Τυπική διάταξη δύο φυγοκεντρικών διαχωριστών-καθαριστών παράλληλα.

γ) Σε **παράλληλη** λειτουργία, ρυθμίζοντας τη ροή σε κάθε διαχωριστή να τροφοδοτείται στο 50% της παροχής (σχ. 11.6β).

Στη διάταξη σειράς ο πρώτος φυγοκεντρικός διαχωριστής λειτουργεί ως καθαριστής, όπου αποβάλλεται το υπόλοιπο νερό που έχει απομείνει μετά την καθίζηση μαζί με τα περισσότερα στερεά τα οποία αιωρούνται στο καύσιμο. Ο δεύτερος φυγοκεντρικός διαχωριστής λειτουργεί ως διαυγαστήρας απομακρύνοντας από το καύσιμο τα λεπτότερα στερεά που έχουν απομείνει.

Με την παράλληλη διάταξη και οι δύο φυγοκεντρικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται ως καθαριστές, λειτουργώντας όμως με περιορισμένη ροή, ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη παραμονή του καυσίμου μέσα στον διαχωριστή, προκειμένου να ανταποκρίνεται το καθαρό πετρέλαιο στις επιθυμητές προδιαγραφές.

Το καθαρό καύσιμο καταθλίβεται, γεμίζοντας τις **δεξαμενές καταναλώσεως** (service tanks) και στη συνέχεια μέσω φίλτρων, προθερμαντήρων και της **αντλίας παροχής** (booster pump) κατευθύνεται στους εγχυτήρες της κύριας μηχανής.

11.7 Φυγοκεντρικός διαχωριστής συνεχούς λειτουργίας με δίσκους.

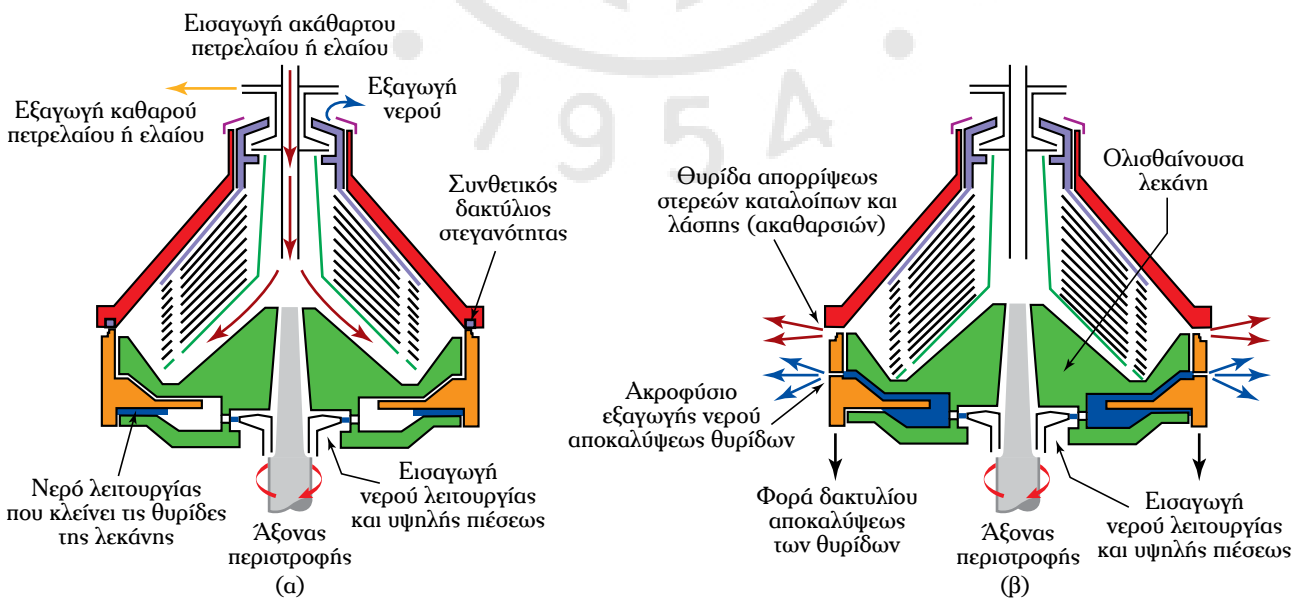
Οι σύγχρονοι φυγοκεντρικοί διαχωριστές με δίσκους είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτυγχάνεται με μια διαδικασία απορρίψεως των ακαθαρσιών που συσσωρεύ-

ονται στην περιφέρεια της λεκάνης κατά τη διεργασία διαχωρισμού, χωρίς να απαιτείται η διακοπή της περιστροφής της λεκάνης. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα, πριν οι συσσωρευμένες ακαθαρσίες αρχίσουν να επηρεάζουν τη διεργασία διαχωρισμού. Για να ξεκινήσει η απόρριψη των ακαθαρσιών, διακόπτεται η παροχή του πετρελαίου ή του λιπαντικού, ενώ αυτό που απομένει αφαιρείται με την παροχή νερού μέσα στη λεκάνη μέσω κατάλληλης διατάξεως στην κορυφή του κελύφους του διαχωριστή.

Οι απορρίψεις των ακαθαρσιών πραγματοποιούνται μέσω θυρίδων στην περιφέρεια της λεκάνης (σχ. 11.7α). Οι θυρίδες αυτές είναι κλειστές κατά τη διεργασία διαχωρισμού με ολισθαίνουσα λεκάνη (σχ. 11.7β), η οποία λειτουργεί σαν δεύτερος πυθμένας της λεκάνης των δίσκων του διαχωριστή. Η στεγανοποίηση της ολισθαίνουσας λεκάνης γίνεται με συνθετικούς δακτυλίους, που τοποθετούνται σε αυλάκια στην επιφάνεια της λεκάνης, επιτρέποντάς της να κινείται καθ' ύψος ανοιγοκλείνοντας τις θυρίδες.

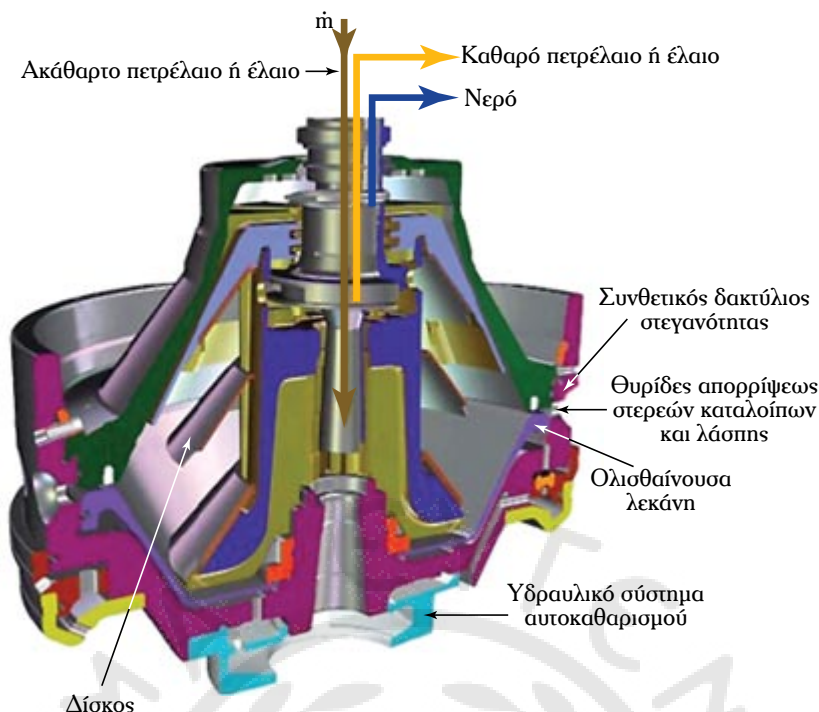
Η καθ' ύψος κίνηση της ολισθαίνουσας λεκάνης επιτυγχάνεται με ένα κατάλληλα διαμορφωμένο υδραυλικό σύστημα και με τη βοήθεια ελατηρίων.

Κατά τη λειτουργία, το ακάθαρτο πετρέλαιο εισέρχεται στον διαχωριστή, ενώ η ολισθαίνουσα λεκάνη του πυθμένα είναι μετατοπισμένη προς τα πάνω διατηρώντας κλειστές τις θυρίδες με τη βοήθεια του νερού χαμηλής πίεσεως που παρέχεται για την λειτουργία του διαχωριστή. Η πίεση του νερού



Σχ. 11.7α

(α) Κανονική λειτουργία διαχωριστή και (β) λειτουργία κατά την απόρριψη συσσωρευμένων σωματιδίων και λάσπης.



Σχ. 11.7β

Φυγοκεντρικός διαχωριστής με ολισθαίνουσα λεκάνη.

λειτουργίας είναι αντίθετη με την πίεση που τροφοδοτεί τη λεκάνη. Έτσι διατηρώνται κλειστή τη λεκάνη οι ακαθαρσίες συσσωρεύονται στην περιφέρεια του θαλάμου των δίσκων, παρασυρόμενες από τη φυγόκεντρη δύναμη.

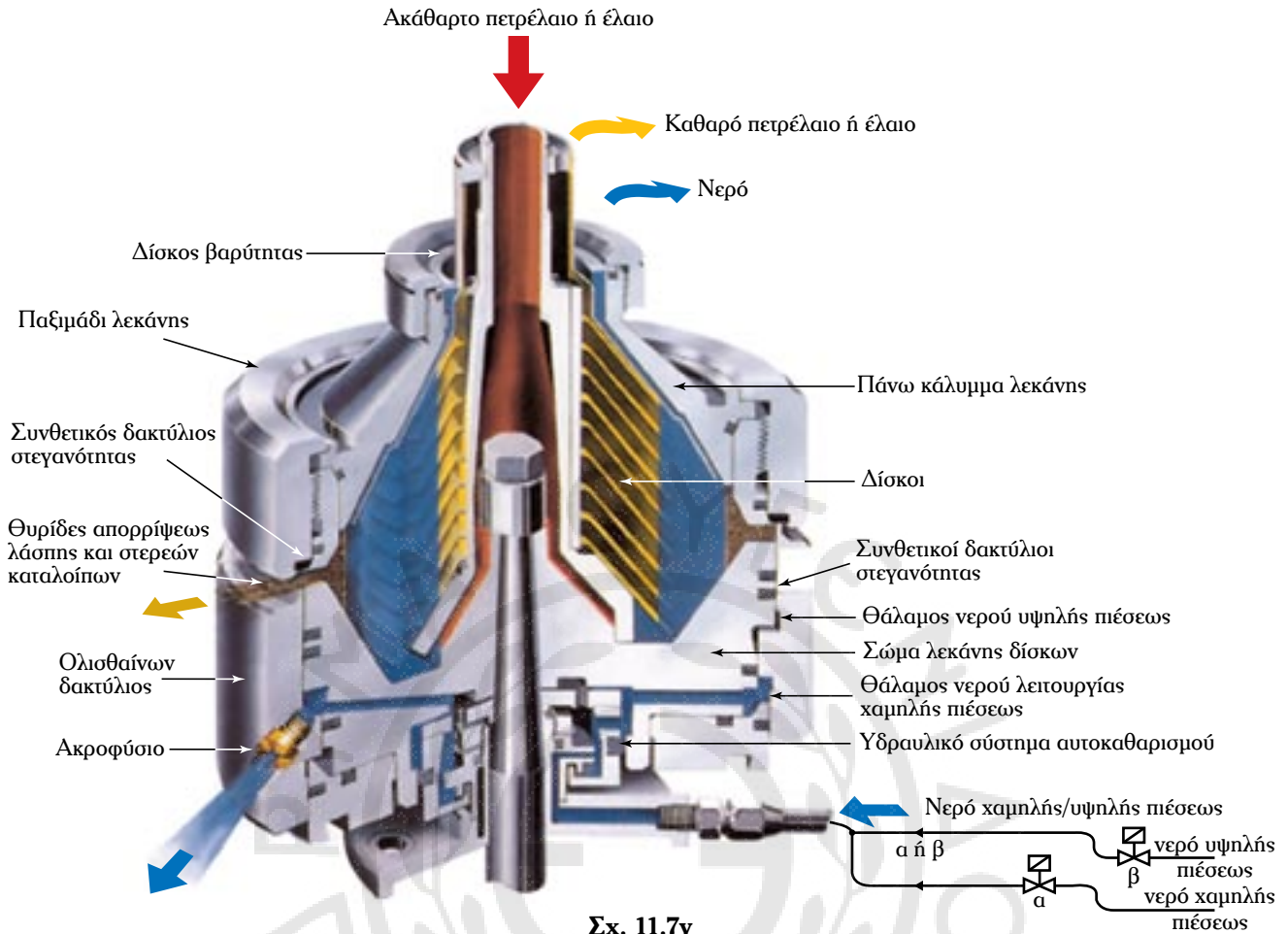
Το **νερό λειτουργίας** παρέχεται από μία μικρή δεξαμενή (header tank) εγκατεστημένη συνήθως κοντά στον φυγοκεντρικό διαχωριστή. Το νερό αυτό δημιουργεί σταθερή υδροστατική πίεση, με την οποία παραμένει κλειστή η ολισθαίνουσα λεκάνη, ενώ η εισαγωγή του στο κάτω μέρος της λεκάνης του φυγοκεντρικού διαχωριστή επιτυγχάνεται μέσω ενός δακτυλίου με τρύπες διελεύσεως, που ονομάζεται **paring disk**. Το paring disk λειτουργεί ως αντλία αντίστροφης αντήσεως νερού, και αντιτίθεται στην υδροστατική πίεση με την προϋπόθεση ότι η ακτίνα του υγρού δακτυλίου που δημιουργείται από το νερό λειτουργίας παραμένει σταθερή. Σε περίπτωση μικρής διαρροής του νερού λειτουργίας, διαταράσσεται η ισορροπία στην υδραυλική πίεση που διατηρείται από το paring disk, με αποτέλεσμα η αντίστροφη άντληση να επιδρά, συμπληρώνοντας την απαραίτητη ποσότητα νερού, ώστε να διατηρηθεί σταθερή η υδροστατική πίεση κατά τη λειτουργία.

Για να ξεκινήσει η απόρριψη των συσσωρευμένων ακαθαρσιών, μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κλείνει το νερό λειτουργίας. Ταυτόχρονα ανοίγει μία άλλη

ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα με νερό υψηλής πίεσης από το δίκτυο νερού του πλοίου, που εισέρχεται σε σημείο κοντά στο κέντρο της ακτίνας του υγρού δακτυλίου του νερού. Το επί πλέον νερό γεμίζει το θάλαμο του paring disk, ενώ ένα μέρος του γεμίζει τον υδραυλικό σύστημα-θάλαμο στο σώμα της λεκάνης.

Η ολισθαίνουσα λεκάνη κατεβαίνει, αποκαλύπτοντας τις θυρίδες απορρίψεως των συσσωρευμένων ακαθαρσιών. Οι ακαθαρσίες απορρίπτονται από τις θυρίδες λόγω της φυγόκεντρου δυνάμεως, ενώ ταυτόχρονα απομακρύνεται το νερό που άνοιξε τη λεκάνη από κατάλληλα ακροφύσια. Μετά την ολοκλήρωση της αποβολής των ακαθαρσιών, νερό λειτουργίας παρέχεται ξανά, με το άνοιγμα της βαλβίδας νερού λειτουργίας χαμηλής πίεσης, στο κάτω μέρος της ολισθαίνουσας λεκάνης. Με την πίεση που δημιουργείται, η λεκάνη κινείται προς τα πάνω κλείνοντας ξανά τις θυρίδες απορρίψεως. Στη συνέχεια, στη λεκάνη των δίσκων παρέχεται μια ποσότητα νερού, ώστε να δημιουργηθεί ο υγρός δακτύλιος που απαιτείται για τη διεργασία του διαχωρισμού, η βαλβίδα τροφοδοσίας του ακάθαρτου πετρελαίου ανοίγει και ο διαχωρισμός συνεχίζεται.

Ανάλογα με τον τύπο του φυγοκεντρικού διαχωριστή και τον κατασκευαστή, ενδέχεται να μην ολισθαίνει η λεκάνη, αλλά ένας δακτύλιος κατάλληλα διαμορφωμένος με υδραυλικό σύστημα στον πυθμέ-



Σχ. 11.7γ

Φυγοκεντρικός διαχωριστής με ολισθαίνοντα δακτύλιο.

να της λεκάνης των δίσκων (σχ. 11.7γ). Αυτός ο δακτύλιος που καλύπτει τις θυρίδες εξωτερικά της περιφέρειας της λεκάνης, κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή και κατεβαίνοντας, με την παροχή νερού υψηλής πίεσης, τις αποκαλύπτει για την απόρριψη των ακαθαρσιών. Η διαδικασία απορρίψεως ακαθαρσιών είναι η ίδια, με τον διαχωριστή που έχει ολισθαίνουσα λεκάνη.

11.8 Απόρριψη των ακαθαρσιών (μπλοφάρισμα).

Ο πλήρης κύκλος απορρίψεως των ακαθαρσιών (desludge) διαρκεί μόνο λίγα δευτερόλεπτα, χωρίς να έχει σταματήσει η περιστροφή του διαχωριστή. Η συχνότητα των απορρίψεων των συσσωρευμένων ακαθαρσιών ρυθμίζεται από χρονοδιακόπτη και εξαρτάται απ' την ποιότητα και τις ανάγκες καθαρισμού του πετρελαίου ή του λιπαντικού.

Για την απόρριψη των συσσωρευμένων ακαθαρσιών του φυγοκεντρικού διαχωριστή στις λεκάνες των

δίσκων που περιγράφονται παραπάνω, ακολουθείται μια τυπική σειρά από γεγονότα, τα οποία είναι:

α) Η διακοπή της παροχής του ακάθαρτου πετρελαίου ή του λιπαντικού ελαίου με την ενεργοποίηση του χρονοδιακόπτη που ενεργεί στη βαλβίδα παροχής (σε αυτό το στάδιο μπορεί να διακόπτεται και η προθέρμανση του ακάθαρτου μείγματος).

β) Η απομάκρυνση του ακαθάρτου πετρελαίου ή ελαίου λιπάνσεως που απομένει στη λεκάνη με την παροχή μίας ποσότητας νερού ικανής να αντικαταστήσει το μείγμα που έχει απομένει μέσα στη λεκάνη.

γ) Η διακοπή της παροχής νερού λειτουργίας χαμηλής πίεσης και η έναρξη παροχής νερού υψηλής πίεσης για να ανοίξει η λεκάνη.

δ) Το άνοιγμα της λεκάνης και η απόρριψη των συσσωρευμένων σωματιδίων και των ακαθαρσιών με το νερό.

ε) Η διακοπή της παροχής νερού υψηλής πίεσης και η απόρριψη του νερού που απομένει στον θάλαμο της υδραυλικής διατάξεως που ανοίγει τη λεκάνη

από τα μικρά ακροφύσια τα οποία είναι τοποθετημένα σε αυτήν.

στ) Το κλείσιμο της λεκάνης και το ταυτόχρονο άνοιγμα της βαλβίδας παροχής νερού λειτουργίας.

ζ) Η παροχή νερού στη λεκάνη από τη διάταξη στην κορυφή του κελύφους του διαχωριστή (seal water) με σκοπό να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις, ώστε να ξεκινήσει πάλι ο διαχωρισμός του πετρελαίου ή του ελαίου.

η) Η έναρξη της προθερμάνσεως και το άνοιγμα της βαλβίδας παροχής ακάθαρτου πετρελαίου ή ελαίου στον φυγοκεντρικό διαχωριστή, καθώς και ενεργοποίηση ενός χρονοδιακόπτη για να καθυστερήσει τον ελεγκτικό μηχανισμό έως ότου η πίεση στην κατάθλιψη καθαρού πετρελαίου ή ελαίου λιπάνσεως επανέλθει στη φυσιολογική πίεση λειτουργίας.

θ) Με την ολοκλήρωση του μπλοφαρίσματος ο φυγοκεντρικός διαχωριστής επανέρχεται πάλι σε κανονική λειτουργία.

11.9 Επεξεργασία βαρέων πετρελαίων.

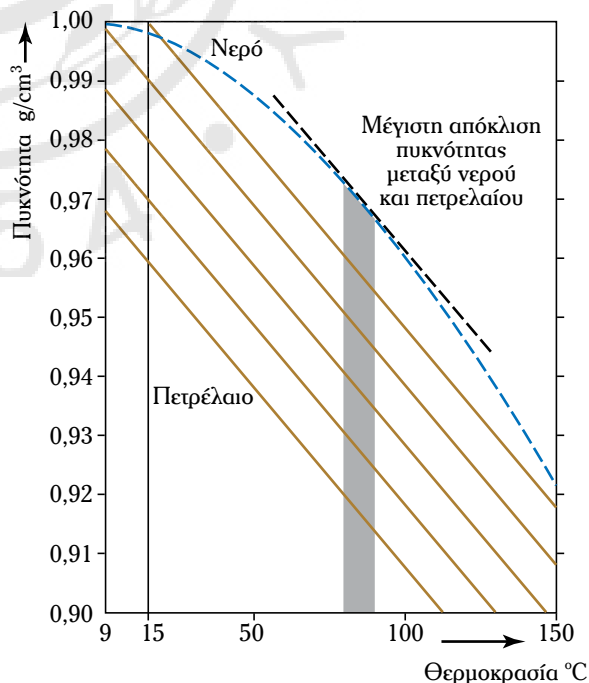
Οι διαδικασίες που ακολουθούνται στις τεχνικές διυλίσεως έχουν ως αποτέλεσμα τα βαριά πετρέλαια με αυξημένη πυκνότητα να είναι συνήθως μολυσμένα με προσμείξεις. Αυτές αποτελούνται από μικρά σωματίδια καταλυτών, που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία διύλισης. Είναι εξαιρετικά διαβρωτικές προσμείξεις και πρέπει να αφαιρούνται από τα καύσιμα πριν εισέλθουν στον χώρο καύσεως του κινητήρα. Το γενικώς αποδεκτό μέγιστο όριο πυκνότητας για τη λειτουργία των φυγοκεντρικών καθαριστών είναι 991 kg/m^3 στους 15°C , αλλά υπάρχουν πετρέλαια, η πυκνότητα των οποίων ξεπερνά αυτό το όριο. Σε αυτά ο διαχωρισμός του νερού με τη συνηθισμένη μέθοδο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί.

Για τον διαχωρισμό των πετρελαίων με πυκνότητα που φτάνει έως και τα 1010 kg/m^3 χρησιμοποιείται το σύστημα διαχωρισμού ALCAP (Alpha Laval Clarifier and Purifier), όπου ο διαχωριστής δεν έχει δίσκο βαρύτητας και λειτουργεί, σε κάποιο βαθμό, ως καθαριστής. Κύριο ρόλο σε αυτόν τον τρόπο διαχωρισμού έχει η θερμοκρασία του ακάθαρτου μείγματος πετρελαίου. Ο έλεγχος της πυκνότητας του πετρελαίου πραγματοποιείται στη θερμοκρασία των 15°C , που μπορεί να είναι ίση ή μεγαλύτερη του νερού. Λόγω της μικρής διαφοράς της πυκνότητας του νερού με το πετρέλαιο, η διεργασία διαχωρισμού θα δημιουργούσε προβλήματα και για τον λόγο αυτό το πετρέλαιο θερμαίνεται, προκειμένου να μειωθεί

η πυκνότητά του. Στο σχήμα 11.9 παρουσιάζεται η μείωση της πυκνότητας διαφορετικών τύπων πετρελαίου σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η διακεκομμένη γραμμή παριστάνει τη μεταβολή της πυκνότητας του νερού, ενώ το γραμμοσκιασμένο τμήμα τη θερμοκρασία στην οποία μεγιστοποιείται η διαφορά πυκνότητας νερού και πετρελαίου.

Το καθαρό πετρέλαιο που διαχωρίζεται καταθλίβεται από την έξοδο του πετρελαίου, ενώ η λάσπη με το νερό συσσωρεύονται στην περιφέρεια της λεκάνης. Όταν το νερό φθάσει στους δίσκους διαχωρισμού και μικρή ποσότητα νερού διαφύγει με το καθαρό πετρέλαιο, ο αισθητήρας που είναι τοποθετημένος στην έξοδο του καθαρού πετρελαίου ανιχνεύει τη διέλευση της μικρής ποσότητας νερού. Το σήμα της ανιχνεύσεως μεταδίδεται σε έναν μικροεπεξεργαστή, που είναι ρυθμισμένος έτσι, ώστε να αποβάλλεται το νερό μέχρι να πέσει η περιεκτικότητά του στο καθαρό πετρέλαιο. Το νερό αποβάλλεται από τις θυρίδες απορρίψεως των ακαθαρσιών που βρίσκονται στην περιφέρεια της λεκάνης του διαχωριστή, ενώ αν η περιεκτικότητα σε νερό είναι μεγάλη, η απόρριψη γίνεται από μία βαλβίδα εξυδατώσεως.

Το σύστημα διαχωρισμού ALCAP έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό για την απομάκρυνση των λεπτών καταλυτικών προσμείξεων του πετρελαίου. Σε ορισμένα συστήματα διαχωρισμού χρησιμοποιείται τροφοδοτική αντλία ανεξάρτητη απ' το σύστημα του



Σχ. 11.9

Μεταβολή της πυκνότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας.

των επιτρεπτών ορίων. Αυτό σημαίνει ότι ο φυγοκεντρικός καθαριστής πρέπει να λειτουργεί λίγο χαμηλότερα απ' τη μέγιστη απόδοσή του, ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Το **πλύσιμο με νερό** (στον φυγοκεντρικό διαχωριστή) του ελαίου λιπάνσεως μπορεί να γίνει εφόσον επιτρέπεται από τα χαρακτηριστικά του ελαίου που δίνονται από τον κατασκευαστή, εκτός αν η σύνθεση του ελαίου περιέχει πρόσθετα βελτιώσεως των ιδιοτήτων του, διαλυτά στο νερό, που θα καθούν αν έρθουν σε επαφή με αυτό. Πλεονεκτήματα της πλύσεως με νερό είναι η διάλυση και η απομάκρυνση των οξειδωτικών ουσιών, η βελτίωση του διαχωρισμού από τις ακαθαρσίες και η σταθερή ανανέωση του υγρού δακτυλίου (seal) της λεκάνης. Τα απορρυπαντικά έλαια, που χρησιμοποιούνται στη λίπανση και στον καθαρισμό των επιφανειών, δεν πρέπει να πλένονται με νερό, διότι περιέχουν πρόσθετα που είναι διαλυτά στο νερό.

Τα λιπαντικά έλαια είναι παράγωγα της διυλίσεως του πετρελαίου, με αποτέλεσμα η διεργασία διαχωρισμού του λιπαντικού ελαίου και των στερεών

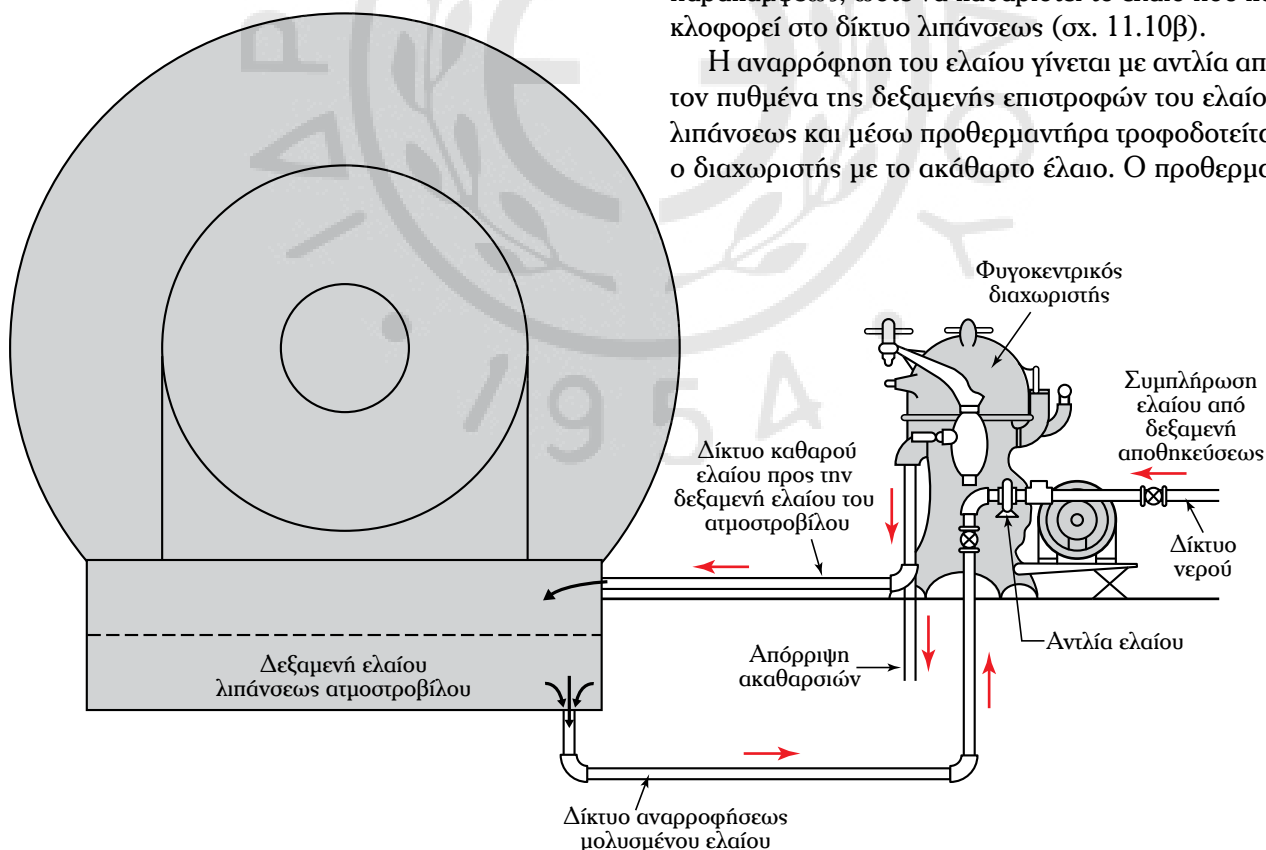
ακαθαρσιών στον φυγοκεντρικό διαχωριστή να βασίζεται στην ίδια αρχή της διαφοράς του ιξώδους και του ειδικού βάρους του ελαίου που καθαρίζεται.

Οι φυγοκεντρικοί καθαριστές λιπαντικών κατά τη λειτουργία τους ως διαχωριστές (με ή χωρίς πλύσιμο με νερό) ή ως διαυγαστήρες, αποβάλλουν όλα τα στερεά σωματίδια με μέγεθος από 3–5 microns και πάνω. Επίσης, αποβάλλονται και μικρότερα σωματίδια με μεγάλο ειδικό βάρος, όπως το οξείδιο του σιδήρου. Τα στερεά σωματίδια που μένουν μετά τον φυγοκεντρικό καθαρισμό του ελαίου είναι της τάξεως του 1–2 microns [$1 \text{ microns } (\mu) = 1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$] και δεν είναι ικανά να διασπάσουν τη λιπαντική μεμβράνη που δημιουργείται ανάμεσα στις κινούμενες επιφάνειες.

11.10.2 Δίκτυα φυγοκεντρικού καθαρισμού ατμοστροβίλων.

Τα αίτια μόλυνσεως του ελαίου λιπάνσεως ενός ατμοστροβίλου είναι οι ακαθαρσίες του συστήματος, και το νερό που προέρχεται από διαφυγές του συμπυκνωμένου ατμού. Έτσι, χρησιμοποιείται ένα δίκτυο παρακάμψεως, ώστε να καθαριστεί το έλαιο που κυκλοφορεί στο δίκτυο λιπάνσεως (σχ. 11.10β).

Η αναρρόφηση του ελαίου γίνεται με αντλία από τον πυθμένα της δεξαμενής επιστροφών του ελαίου λιπάνσεως και μέσω προθερμαντήρα τροφοδοτείται ο διαχωριστής με το ακάθαρτο έλαιο. Ο προθερμα-



Σχ. 11.10β

Δίκτυο συνεχούς ροής ελαίου φυγοκεντρικού διαχωριστή ατμοστροβίλου.

ντήρας είναι εγκαταστημένος πριν την εισαγωγή του λαδιού στον διαχωριστή, ώστε με την αύξηση της θερμοκρασίας του να βελτιωθεί η διαδικασία διαχωρισμού. Μετά τον διαχωριστή, το καθαρό έλαιο καταθλίβεται στη δεξαμενή επιστροφών απαλλαγμένο από το νερό και τις προσμείξεις. Η πλύση του λιπαντικού με νερό στον φυγοκεντρικό διαχωριστή γίνεται και σε αυτήν την περίπτωση όταν επιτρέπεται από τα χαρακτηριστικά του ελαίου που δίνονται από τον κατασκευαστή.

11.11 Λειτουργία και συντήρηση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτική λειτουργία των φυγοκεντρικών διαχωριστών (σχ. 11.11) είναι:

α) Το **ειδικό βάρος** του καθοριζόμενου ρευστού, του οποίου η αύξηση δημιουργεί την τάση να μετατοπίζεται η **νοτιή διαχωριστική γραμμή** (interface) του νερού με το πετρέλαιο ή το έλαιο λιπάνσεως έξω από τις τρύπες κατανομής των δίσκων, προκαλώντας την **υπερχείλιση** (overflow) του καθαρού πετρελαίου ή ελαίου λιπάνσεως στην εξαγωγή του νερού. Όταν το ειδικό βάρος είναι μικρό, δημιου-

ργείται η τάση να μολύνεται με νερό και ακαθαρσίες το καθαρό πετρέλαιο ή το έλαιο που διαχωρίζεται. Με την επιλογή δίσκου βαρύτητας κατάλληλης εσωτερικής διαμέτρου, σύμφωνα με το ειδικό βάρος του διαχωριζόμενου υγρού, επιτυγχάνεται η αποδοτική λειτουργία του φυγοκεντρικού διαχωριστή.

β) Η **θερμοκρασία** του πετρελαίου ή του ελαίου λιπάνσεως, η οποία πρέπει να διατηρείται σταθερή κατά τη διεργασία του διαχωρισμού, εφόσον επηρεάζεται το ιξώδες άρα και η ρευστότητα του υγρού που καθαρίζεται. Η θέρμανση του υπό επεξεργασία υγρού σε σταθερή θερμοκρασία διευκολύνει τον διαχωρισμό του νερού και των στερεών σωματιδίων από το πετρέλαιο ή το λάδι λιπάνσεως και διατηρώντας τη σταθερή αποφεύγονται οι διαφυγές πετρελαίου ή λαδιού στην έξοδο του νερού (overflow) απ' τον διαχωριστή.

γ) Η **τροφοδοσία** του φυγοκεντρικού διαχωριστή, η οποία πρέπει να είναι σταθερή και η παροχή ρυθμισμένη, ώστε να ολοκληρώνεται η διαδικασία διαχωρισμού στην ποσότητα ακάθαρτου πετρελαίου ή ελαίου που παρέχεται σε αυτόν. Η ρύθμιση της ποσότητας που παρέχεται, επιτυγχάνεται είτε με **εξαρτημένη αντλία**¹, εφαρμοσμένη πάνω στον



Σχ. 11.11

Φυγοκεντρικοί διαχωριστές σε μηχανοστάσιο πλοίου.

¹ Εξαρτημένη αντλία ονομάζεται η αντλία της οποίας η κίνηση για τη λειτουργία της παρέχεται από το μηχανήμα που εξυπηρετεί μέσω γραναζών ή ιμάντα.

φυγοκεντρικό διαχωριστή, είτε με ρυθμιστικό επιστόμιο, που είναι τοποθετημένο στο δίκτυο της τροφοδοτικής αντλίας. Αύξηση ή μείωση στην πίεση, δημιουργούν διαφυγές του καθαρού πετρελαίου ή του ελαίου από την εξαγωγή του νερού ή μόλυνση από νερό του καθαρού πετρελαίου αντίστοιχα.

Πιθανές αιτίες που δημιουργούν ανωμαλίες διακόπτοντας τη λειτουργία ενός φυγοκεντρικού διαχωριστή από τις ασφαλιστικές διατάξεις ελέγχου (alarm και shut down) είναι:

α) Η **αντίθλιψη** (δηλ. η αντίσταση στην κατάθλιψη) στην εξαγωγή του καθαρού πετρελαίου ή ελαίου με διακοπή της λειτουργίας του διαχωριστή λόγω αυξήσεως της πρέσεως καταθλίψεως (back pressure shutdown). Ο μετρητής που είναι τοποθετημένος στην εξαγωγή του φυγοκεντρικού διαχωριστή, ενεργοποιεί το σήμα προειδοποίησης και ταυτόχρονα στον πίνακα ελέγχου τη διάταξη διακοπής λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή, αν η πίεση παρεκκλίνει απ' τα προκαθορισμένα επιτρεπτά όρια λειτουργίας.

β) Η **υπερχειλίση** πετρελαίου ή ελαίου στην εξαγωγή του νερού (heavy phase overflow), η οποία ανιχνεύεται από την γρήγορη αύξηση της στάθμης σε μία μικρή δεξαμενή, που υπάρχει στην εξαγωγή του νερού και περιέχει διάφραγμα και πλωτήρα. Η διάταξη επιτρέπει στο νερό να περνάει ελεύθερα, ενώ το έλαιο ανεβάζοντας την στάθμη, ενεργοποιεί την ασφαλιστική διάταξη μέσω του πλωτήρα, και σταματάει τη λειτουργία του φυγοκεντρικού διαχωριστή. Αυτό συμβαίνει όταν το ιξώδες του πετρελαίου είναι μεγαλύτερο απ' του νερού.

γ) Το **φαινόμενο κατά το οποίο η λεκάνη των δίσκων δεν ανοίγει**. Αυτό ανιχνεύεται είτε μέσω ενός μοχλού διακόπτη με μορφή δίσκου όπου πέφτουν οι ακαθαρσίες, καθώς απορρίπτονται με ορμή όταν αποκαλύπτονται οι θυρίδες απορρίψεως ακαθαρσιών, είτε με τη μέτρηση της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος λειτουργίας του κινητήρα στο αμπερόμετρο που υπάρχει εγκατεστημένο στον πίνακα ελέγχου του φυγοκεντρικού διαχωριστή.

δ) Το **νερό στην εξαγωγή** του καθαρού πετρελαίου ή ελαίου. Στους σύγχρονους φυγοκεντρικούς

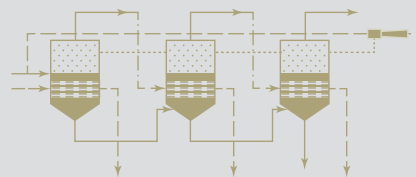
διαχωριστές, οι οποίοι διαθέτουν ανιχνευτή νερού στην εξαγωγή του καθαρού ελαίου, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται το σήμα κινδύνου και να σταματάει ο διαχωριστής.

ε) **Χαμηλή πίεση του νερού** λειτουργίας που κλείνει τη λεκάνη. Αυτό το φαινόμενο γίνεται αντιληπτό διότι δεν κλείνει η λεκάνη του φυγοκεντρικού διαχωριστή με αποτέλεσμα να εμφανίζονται διαφυγές του πετρελαίου με μεγάλη ροή στην εξαγωγή των ακαθαρσιών. Η χαμηλή πίεση του νερού πιθανό να οφείλεται ή στη χαμηλή στάθμη της δεξαμενής παροχής νερού λειτουργίας (header tank), η οποία ελέγχεται με πλωτήρα, ή με την απώλεια της στεγανότητας του paringdisc.

στ) Οι **ακαθαρσίες στο φίλτρο του δικτύου** νερού λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή που εμποδίζουν την παροχή νερού λειτουργίας.

Για τη **συντήρηση** της λεκάνης και των δίσκων, καθώς και για την αποδοτική λειτουργία απαιτείται περιοδικός καθαρισμός, ώστε να απομακρυνθούν στερεά σωματίδια που επικάθονται στις επιφάνειες και δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν με το μπλοφάρισμα. Με ιδιαίτερη φροντίδα πρέπει να καθαρίζονται οι επιφάνειες. Επίσης, πρέπει να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα εργαλεία, που είναι ειδικά κατασκευασμένα για τους φυγοκεντρικούς διαχωριστές, όπως και ιδιαίτερη προσοχή είναι αναγκαίο να δοθεί σε ορισμένα εξαρτήματα, τα οποία που έχουν αριστερόστροφο σπείρωμα. Η αποσυναρμολόγηση και η συναρμολόγηση πρέπει να γίνεται με την ίδια σειρά ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην ένταση συσφίξεως των εξαρτημάτων διότι οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές αποτελούνται από εξαρτήματα, που είναι τέλεια ζυγοσταθμισμένα. Λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής του μηχανήματος υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος από λανθασμένη συναρμολόγηση η οποία επηρεάζει τη ζυγοστάθμισή τους.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά για κάθε τύπο φυγοκεντρικού διαχωριστή αναγράφονται στο βιβλίο οδηγιών που συνοδεύει το μηχανήμα. Συνήθως δίνονται με τη μορφή πίνακα (βλ. Παράρτημα Δ πίνακα Π.Δ.9).



12.1 Εισαγωγή.

Η ποσότητα του γλυκού νερού που καταναλώνεται σε ένα πλοίο είναι μεγάλη. Το πλήρωμα ανά άτομο κατά μέσο όρο χρησιμοποιεί 70 l (70 dm³) την ημέρα, φτάνοντας π.χ. τα 225 l (225 dm³) την ημέρα σε ένα κρουαζιερόπλοιο, ενώ άλλες χρήσεις του νερού είναι για:

- α) Την πλήρωση του κλειστού δικτύου ψύξεως της κύριας μηχανής.
- β) Την πλήρωση δικτύου του λέβητα.
- γ) Την πλήρωση του δικτύου ψύξεως των βοηθητικών μηχανημάτων.
- δ) Να συμπληρωθούν τα δίκτυα αυτά σε περίπτωση διαφυγών.
- ε) Να καλυφθούν οι ημερήσιες καταναλώσεις, καταστρώματος και μηχανής, από τις εργασίες που πραγματοποιούνται στο πλοίο.

Το νερό αυτό είναι γλυκό ή αποσταγμένο. Γενικά η πρακτική που ακολουθείται για τον εφοδιασμό του πλοίου με νερό είναι να γίνεται απ' την ξηρά με την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα σε γλυκό νερό, ενώ το υπόλοιπο να συμπληρώνεται στις δεξαμενές με την απόσταξη του θαλασσινού νερού.

Η χωρητικότητα που εξοικονομείται με την παραγωγή του αποσταγμένου νερού από τις εγκαταστάσεις του πλοίου, διατίθεται για τη μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας φορτίου, αυξάνοντας έτσι την απόδοση σε σχέση με τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Σε αντίθετη περίπτωση, η ποσότητα νερού που θα έπρεπε να μεταφέρει ένα πλοίο σ' ένα υπερατλαντικό ταξίδι θα ήταν πολύ μεγάλη. Έτσι, ένα πλοίο μεταφέρει την επαρκή ποσότητα πόσιμου νερού που απαιτείται συνήθως, ενώ στα ποντοπόρα ταξίδια χρησιμοποιούνται εγκαταστάσεις αποστάξεως θαλασσινού νερού.

Η ποιότητα νερού που μεταφέρει ένα πλοίο και του νερού που παράγεται απ' τον αποστακτήρα, εξαρτάται από τη χρήση για την οποία προορίζεται. Έτσι, η περιεκτικότητα αιωρουμένων στερεών στο πόσι-

μο νερό πρέπει να είναι μικρότερη από 500 mg/l, ενώ στο τροφοδοτικό νερό για τους λέβητες μικρότερη από 2,5 mg/l.

Οι μέθοδοι στην παραγωγή αποσταγμένου νερού έχουν αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια και δεν περιορίζονται σε μία μόνο τεχνολογία. Αντίθετα είναι αρκετές, βελτιώνοντας την ποιότητα και την ποσότητα του νερού παραγωγής τους. Μερικές είναι: η απλή ή πολλών βαθμίδων απόσταξη (Multi Effect Distillation–MED), η πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση (Multi Stageflash Distillation–MSF), η ηλιακή εξάτμιση, η ηλεκτροδιάλυση (Electrical Distillation–ED), η υπερδιήθηση (Ultrafiltration–UF), η μικροδιήθηση (Microfiltration), η νανοδιήθηση (Nanofiltration), η γεωθερμία (Geothermal) και η αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis–RO).

12.2 Αποστακτήρες – Βραστήρες (distillers evaporators).

Η παραγωγή του αποσταγμένου νερού είναι το αποτέλεσμα της εξατμίσεως του θαλασσινού νερού και πρόκειται για μία φυσική διεργασία διαχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα. Χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα, αποτελώντας μία καθαρά βιομηχανική μέθοδο στην παραγωγή ασφαλατωμένου νερού για διάφορες χρήσεις.

Πρόκειται λοιπόν για μία διεργασία αποστάξεως κατά την οποία, εφαρμόζοντας διάφορες μεθόδους όπως ο **βρασμός** (boiling) ή η **ακαριαία εξάτμιση** (flash distillation), είτε απομακρύνονται τα άλατα από το νερό, είτε το νερό από τα άλατα, παράγοντας το καθαρό νερό με εξάτμιση και συμπύκνωση υδρατμών του θαλασσινού νερού (σχ. 12.2α).

Η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε προσμίξεις εξαρτάται απ' τη θαλάσσια περιοχή και κυμαίνεται μεταξύ 30.000 – 42.000 mg/l. Σε υπολογισμούς, χρησιμοποιείται η τιμή των 32.000 ppm, που αντιπροσωπεύει την τιμή στη ζώνη θέρους¹. Με

¹ Ζώνη θέρους: Λόγω της διαφοροποίησης της πυκνότητας του θαλασσινού νερού λαμβάνεται μία τιμή που προσεγγίζει την πυκνότητα της θάλασσας ανά γεωγραφική περιοχή με περιβαλλοντικές συνθήκες θέρους.

την απόσταξη παρέχεται η δυνατότητα να μειωθούν τα διαλυμένα σωματίδια στο θαλασσινό νερό από 32.000 ppm επιτυγχάνοντας αναλογία μικρότερη των 4 ppm, η οποία εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

Η συσκευή που χρησιμοποιείται για την απόσταξη ονομάζεται **αποστακτήρας** ή **βραστήρας**, με αντικειμενικό σκοπό την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Η πρώτη αναφορά αφαλατώσεως του θαλασσινού νερού, ιδιαίτερα για την παραγωγή γλυκού νερού από θαλασσινό σε ποντοπόρα πλοία, δόθηκε από τον Γάλλο ναύαρχο A.F.B. Deslanes, το 1724.

Ως βιομηχανικό προϊόν, το κόστος του αποσταγμένου νερού είναι πάντοτε κατά πολύ μεγαλύτερο απ' το κόστος του φυσικού νερού, το οποίο μεταφέρεται από μια πηγή σε σχετικά μέτρια χιλιομετρική απόσταση. Γι' αυτό, η απόσταξη με εξάτμιση εφαρμόζεται σ' εκείνες τις περιπτώσεις, που το μικρό μέγεθος και η συμπαγής μορφή είναι ο ζητούμενος στόχος, ενώ υπάρχει οικονομική διαθέσιμη ενέργεια.

Για την απόσταξη είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιων πηγών ενέργειας.

Η διάθεση ενέργειας για τα πλοία προέρχεται από το πλεονέκτημα της δυνατότητας εκμεταλλεύσεως της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας, η οποία παράγεται από τη λειτουργία της κύριας μηχανής θερμαίνοντας το νερό ψύξεως των χιτωνίων. Έτσι, η θερμότητα δεν αποβάλλεται στο περιβάλλον και δεν χάνεται, αλλά χρησιμοποιείται στην εξάτμιση.

Οικονομική είναι και η πρώτη ύλη, αφού για την τροφοδότηση μιας εγκατάστασης βραστήρα χρησιμοποιείται το θαλασσινό νερό.

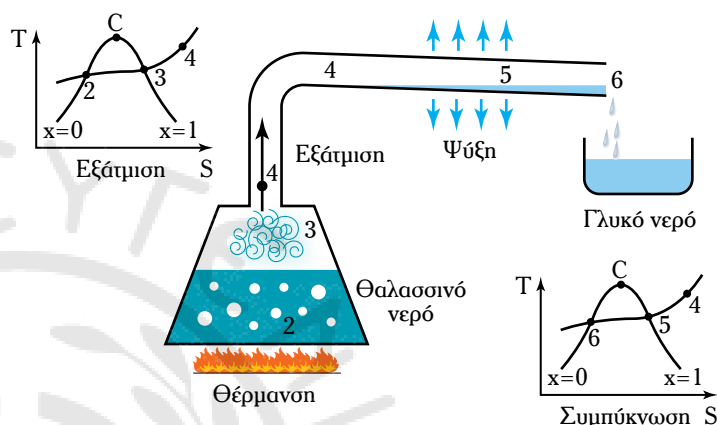
Ο βασικός τρόπος λειτουργίας μίας μονάδας αποστάξεως, στην οποία παρέχεται θαλασσινό νερό παρουσιάζεται στο σχήμα 12.2β.

Στο **πρώτο στάδιο**, γίνεται η αναρρόφηση ή άντληση του νερού από τη θάλασσα και στη συνέχεια μια αρχική επεξεργασία αυτού (φιλτράρισμα μεγάλων στοιχείων που βρίσκονται στο νερό).

Στο **δεύτερο στάδιο**, δίνεται ατμός ή άλλου τύπου ενέργεια, όπως το θερμό νερό απ' τις εγκαταστάσεις του δικτύου ψύξεως της κύριας μηχανής για το κύριο μέρος της αφαλατώσεως. Προϊόν αυτού του σταδίου είναι το αφαλατωμένο νερό και η άλμη, δηλαδή τα άλατα τα οποία είχε το νερό πριν την αφαλάτωση.

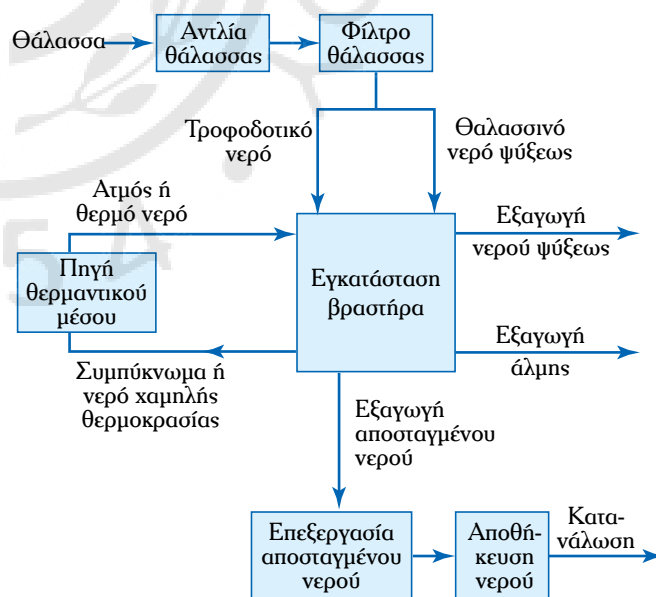
Στο **τρίτο στάδιο** γίνεται μία τελευταία επεξεργασία του νερού, ώστε αυτό να ανταποκρίνεται στα κριτήρια καθαρότητας για την εκάστοτε χρήση του και στη συνέχεια ακολουθεί η αποθήκευσή του στις δεξαμενές.

Για την απόσταξη απαιτείται διάδοση της θερμότητας. Οι τρόποι διαδόσεως της θερμότητας στον χώρο είναι η **αγωγή**, η **μεταφορά** ή **συναγωγή** και η **ακτινοβολία**. Σε πρακτικές εφαρμογές είναι



Σχ. 12.2α

Αναπαράσταση αποστάξεως και συμπεκνώσεως του θαλασσινού νερού και διαγράμματα θερμοκρασίας (T) εντροπίας (S) κατά την εξάτμιση και τη συμπύκνωση¹.



Σχ. 12.2β

Βασικός τρόπος λειτουργίας μίας μονάδας αποστάξεως.

¹ Διεργασίες και διαγράμματα Mollier εξάτμισης και συμπεκνώσεως του ατμού (βλ. Θερμοδυναμική).

δυνατόν να παρατηρηθεί διάδοση θερμότητας ταυτόχρονα και με τους τρεις τρόπους.

α) **Αγωγή** είναι ο τρόπος διαδόσεως θερμότητας από ένα σημείο σε ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας του ίδιου σώματος ή άλλου σώματος, που βρίσκεται σε φυσική επαφή με αυτό. Η αγωγή αποτελεί τον κύριο τρόπο διαδόσεως θερμότητας σε στερεά σώματα.

β) **Συναγωγή** είναι ο τρόπος διαδόσεως θερμότητας από ένα ρευστό, αέριο ή υγρό με υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας, με ανάμειξη μέρους του ενός ρευστού με μέρος του άλλου ρευστού.

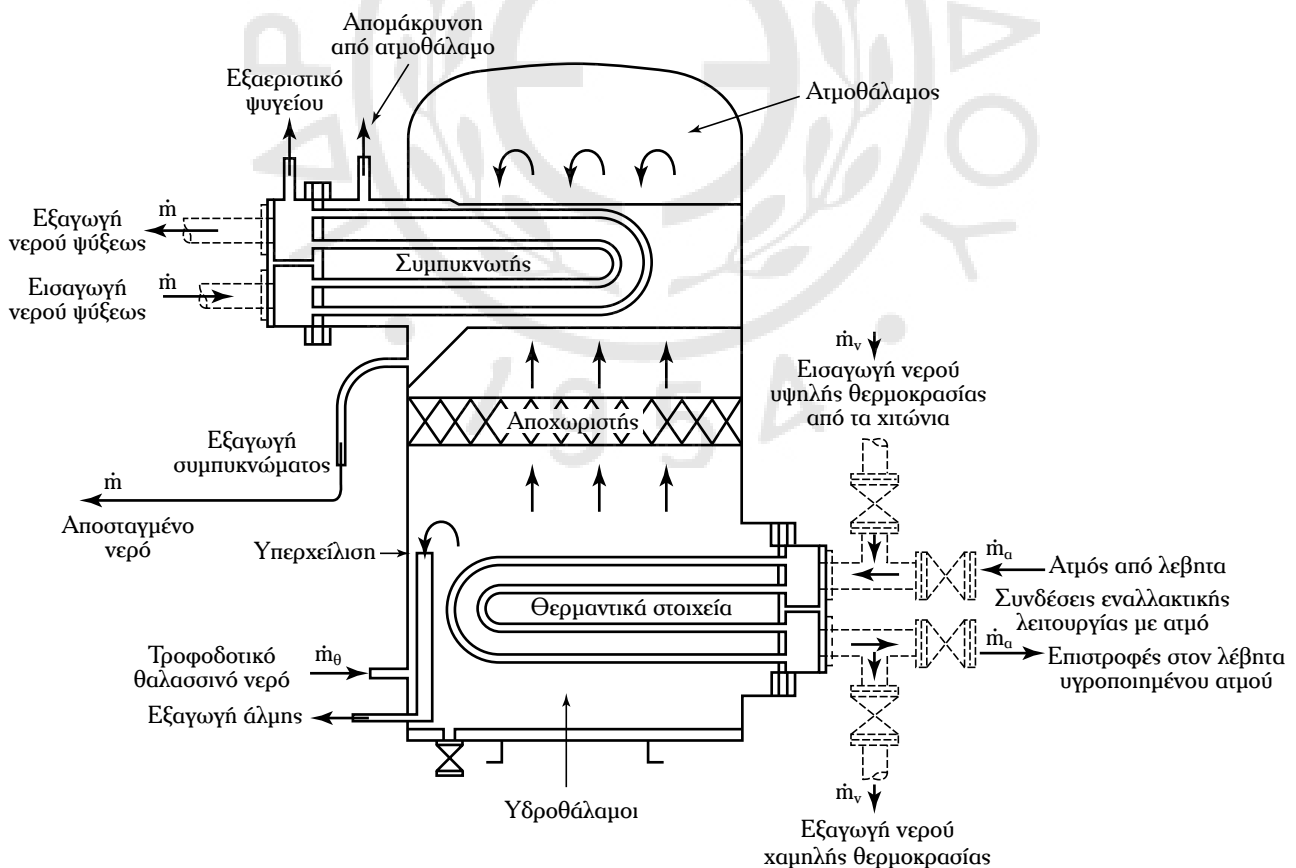
γ) Τέλος, **ακτινοβολία** είναι ο τρόπος διαδόσεως θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων, τα οποία δεν βρίσκονται σε φυσική επαφή, με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Συνήθως, στους βραστήρες τα δύο ρευστά διαχωρίζονται με μεταλλικό τοίχωμα, που μπορεί να είναι για παράδειγμα μία επίπεδη πλάκα, ένας σωλήνας ή μία διάταξη σωλήνων μέσα σε άλλο σωλήνα ή μέσα σε κιβώτιο κ.λπ..

Διάφοροι παράγοντες, όπως η διαφορά θερμότητας μεταξύ του ρευστού που παρέχει την υψηλή θερμότητα και εκείνου που την παραλαμβάνει, η φύση του υλικού, η καθαρότητα της επιφάνειας μεταδόσεως και ο συντελεστής της θερμοπερατότητας της (στον εναλλακτήρα), η ταχύτητα των δύο ρευστών, συνιστούν προβλήματα θερμοδυναμικής και ασκούν ανάλογη επίδραση επηρεάζοντας την καλή και αποδοτική λειτουργία των βραστήρων.

12.3 Η διεργασία της αφαιρώσεως: Απόσταξη – Συμπύκνωση.

Η μέθοδος αφαιρώσεως με απόσταξη (σχ. 12.3) στηρίζεται στο γεγονός ότι η θέρμανση του θαλασσινού νερού εξαερώνει το νερό, ενώ τα διαλυμένα στερεά παραμένουν αμετάβλητα στο υπόλοιπο διάλυμα. Αυτό βεβαίως επιτελείται όταν η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας της αποστάξεως δεν υπερβαίνει τους 300°C . Διαφορετικά εάν η θερμοκρασία του διαλύματος προς απόσταξη υπερβαίνει τους 300°C μεταβάλλεται η δομή των υπολοίπων στοιχεί-



Σχ. 12.3

Διεργασία αφαιρώσεως και παροχή μάζας των ρευστών.

ων που περιέχονται σε αυτό, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί σωστή απόσταξη.

Η διεργασία αφαλατώσεως με απόσταξη έχει ως εξής:

Το θαλασσινό νερό εισάγεται από το κάτω μέρος ενός υδροθαλάμου, μέσα στον οποίο υπάρχει ένας εναλλακτήρας θερμότητας. Το θαλασσινό νερό περιβάλλει το στοιχείο του εναλλακτήρα και θερμαίνεται από ατμούς νερού σε θερμοκρασία βρασμού ή υπέρθερμους. Ο ατμός ή το ζεστό νερό που κυκλοφορεί εσωτερικά των στοιχείων του εναλλακτήρα αποδίδοντας τη θερμότητα στο υγρό εξωτερικά των στοιχείων του εναλλακτήρα υγροποιείται και επιστρέφει στον λέβητα παραγωγής ατμού ή στην πηγή που θερμαίνει το νερό (όταν πρόκειται για το νερό από τα χιτώνια της κύριας μηχανής). Το θαλασσινό νερό μέσα στον θάλαμο φτάνει στο σημείο βρασμού του, οπότε ατμοί νερού αρχίζουν να ανεβαίνουν στο πάνω μέρος του υδροθαλάμου. Καθώς το νερό εξατμίζεται και ανεβαίνει προς το πάνω μέρος του υδροθαλάμου, η συγκέντρωση του θαλασσινού νερού αυξάνει και τελικά ανάλογα με τον σχεδιασμό του βραστήρα, απορρίπτεται από την έξοδο ως άλμη.

Οι παραγόμενοι ατμοί του νερού με τη βοήθεια ενός συμπυκνωτή υγροποιούνται σε αποσταγμένο νερό, το οποίο με την κατάλληλη επεξεργασία διατίθεται στην κατανάλωση.

12.4 Ανάβραση – Προβολή.

Η ποιότητα του αποσταγμένου νερού που παράγεται, εξαρτάται από την ομαλή λειτουργία του βραστήρα. Σοβαρή λειτουργική ανωμαλία είναι η ανάβραση και εν συνεχεία η προβολή του βραστήρα.

Με τον όρο **ανάβραση** (agitation) εννοούμε τον βίαιο βρασμό του τροφοδοτικού θαλασσινού νερού στον υδροθάλαμο του εξατμιστή, προκαλώντας την αναταραχή της μάζας του νερού, με αποτέλεσμα θαλασσινό νερό να εισχωρεί στη μάζα του παραγόμενου ατμού.

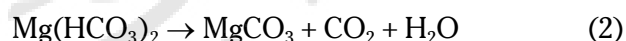
Προβολή (fluid projection) ονομάζεται η αναγκαστική μεταφορά των παραπάνω ποσοτήτων θαλασσινού νερού από τον παραγόμενο ατμό προς τον συμπυκνωτή. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η σοβαρή μόλυνση με άλατα του παραγόμενου νερού και ταυτόχρονα η δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων καθαλατώσεων στο θάλαμο εξατμίσεως.

Η ανάβραση βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με

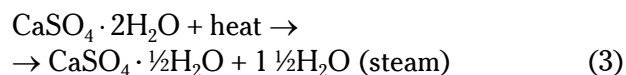
τη θερμοκρασιακή διαφορά του ρευστού που θερμαίνει, του ρευστού που θερμαίνεται και με την πυκνότητα του νερού στον υδροθάλαμο του βραστήρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο ρευστών και η πυκνότητα του νερού (περιεκτικότητα σε άλατα) που αυξάνεται σταδιακά με την εξάτμιση στον υδροθάλαμο, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος αναβράσεως και προβολής.

Ορισμένα από τα άλατα που περιέχονται στο νερό παρουσιάζουν αρνητική διαλυτότητα, δηλαδή είναι λιγότερο διαλυτά στο ζεστό νερό παρά στο κρύο, με αποτέλεσμα σε πολύ ζεστό νερό να κατακρημνίζονται και να επικάθονται στις επιφάνειες εξατμίσεως ως καθαλατώσεις. Οι καθαλατώσεις προκαλούν τη μείωση της ατμοπαραγωγικής ικανότητας του εξατμιστή και την απώλεια θερμότητας, γιατί επικάθονται στις επιφάνειες εξατμίσεως εμποδίζοντας τη μεταφορά θερμότητας από το θερμαντικό ρευστό (ατμός ή θερμό νερό) προς το θαλασσινό νερό που εξατμίζεται.

Η σκληρότητα του θαλασσινού νερού οφείλεται στις πολλές ενώσεις που περιέχει, όπως τα όξινα άλατα του ανθρακικού ασβεστίου $[Ca(HCO_3)_2]$ και του ανθρακικού μαγνησίου $[Mg(HCO_3)_2]$. Όταν η σκληρότητα αυτή αφαιρείται με τον βρασμό του νερού, τότε το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) απελευθερώνεται ως αέριο και τα αδιάλυτα ανθρακικά άλατα ασβεστίου ($CaCO_3$) και μαγνησίου ($MgCO_3$) παραμένουν δημιουργώντας καθαλατώσεις, σύμφωνα με τις παρακάτω χημικές αντιδράσεις:



Άλλα πιθανά άλατα είναι του θειικού ασβεστίου ($CaSO_4$), που μένουν ως καθαλατώσεις από την εξάτμιση του θαλασσινού νερού και σε μικρή αναλογία το πυρίτιο.



Η ποσοστιαία αναλογία των υλικών αυτών στο θαλασσινό νερό είναι μεγαλύτερη στις εκβολές των μεγάλων ποταμών παρά στον ωκεανό.

Η δημιουργία καθαλατώσεων περιορίζεται χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στη λειτουργία του βραστήρα όταν η θερμοκρασία φτάνει έως τους $60^\circ C$ και τα **στοιχεία εξατμίσεως**¹ είναι καλυμμένα με το τροφοδοτικό νερό. Η θερμοκρασία αυτή είναι χαμη-

¹ Στοιχεία εξατμίσεως ονομάζονται οι πλάκες ή οι αυλοί, στις επιφάνειες των οποίων πραγματοποιείται η εξάτμιση.

λή για τον σχηματισμό καθαλατώσεων μαγνησίου και, εφόσον η πυκνότητα της άλμης ελέγχεται, το θειικό ασβέστιο δεν προκαλεί προβλήματα. Η απομάκρυνση της άλμης από τον **εκχυτήρα** (ejector) διατηρεί χαμηλά τα όρια στην πυκνότητα του τροφοδοτικού νερού που υπάρχει στον υδροθάλαμο. Αυτό συμβαίνει διότι η μισή ποσότητα περίπου του τροφοδοτικού νερού μετατρέπεται σε αποσταγμένο νερό και η ποσότητα της άλμης που καταθλίβεται είναι ίση με το υπόλοιπο του τροφοδοτικού νερού που παρέχεται στον βραστήρα. Η στάθμη διατηρείται σταθερή με την αναρρόφηση της περίσσειας του τροφοδοτικού νερού από τον εκχυτήρα κενού.

Μια **δοσομετρική διάταξη**¹ παρέχει συνεχώς, κατά τη λειτουργία του βραστήρα, συνθετικό πολυμερές στον υδροθάλαμο μαζί με το τροφοδοτικό νερό. Το συνθετικό πολυμερές έχει την ιδιότητα να δεσμεύει τις καθαλατώσεις που σχηματίζουν τα άλατα ανθρακικού ασβεστίου, δημιουργώντας μικρά σωματίδια, τα οποία απομακρύνονται μαζί με την άλμη από τον εκχυτήρα. Με αυτόν τον τρόπο διατηρούνται οι επιφάνειες εξατμίσεως καθαρές από τις καθαλατώσεις. Μία μικρή ποσότητα καθαλατώσεων που παραμένει, αφαιρείται με περιοδικό καθαρισμό των στοιχείων του εξατμιστή με χημικά διαλύματα.

Το χλωριούχο νάτριο, γνωστό και ως μαγειρικό αλάτι, το οποίο περιέχεται στο θαλασσινό νερό, δεν δημιουργεί καθαλατώσεις στους βραστήρες, γιατί παραμένει διαλυμένο στο νερό σε πολύ μεγάλες αναλογίες, 7/32 του αγγλικού αλατόμετρου. Παρά το γεγονός ότι το χλωριούχο νάτριο δεν κατακρημνίζεται, όταν η πυκνότητά του είναι υψηλή, δημιουργούνται τάσεις στην επιφάνεια του νερού και οι φουσκάλες του παραγόμενου ατμού, καθώς σπάνε με ορμή, προκαλούν **αφρισμό**² και προβολές. Η μείωση της πυκνότητας του χλωριούχου νατρίου που εισέρχεται με το τροφοδοτικό νερό του υδροθαλάμου επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση της άλμης μέσω του εκχυτήρα.

12.5 Πίεση λειτουργίας αποστακτήρων.

Η πηγή της θερμικής ενέργειας στη διεργασία της παραγωγής υδρατμών, κατά τη λειτουργία ενός αποστακτήρα, προέρχεται από ατμό ή από το θερμό νερό του δικτύου ψύξεως των χιτωνίων της κύριας μηχανής. Οι αποστακτήρες που τροφοδοτούνται με

ατμό υψηλής πίεσεως ονομάζονται **αποστακτήρες υψηλής πίεσεως**, ενώ οι αποστακτήρες που τροφοδοτούνται με ατμό χαμηλής πίεσεως ή θερμό νερό του δικτύου ψύξεως της κύριας μηχανής ονομάζονται **αποστακτήρες χαμηλής πίεσεως**.

12.5.1 Αποστακτήρες υψηλής πίεσεως.

Η παραγωγή αποσταγμένου νερού στις πρώτες εγκαταστάσεις πλοίων γινόταν με τη χρήση ατμού υψηλής πίεσεως από τον λέβητα του πλοίου, γι' αυτόν τον λόγο οι αποστακτήρες αυτοί ονομάστηκαν **αποστακτήρες υψηλής πίεσεως** (high pressure evaporators). Ο ατμός που τροφοδοτεί τον αποστακτήρα διέρχεται μέσω μειωτήρα πίεσεως, ώστε η παροχή ατμού να είναι μέχρι 25 psi περίπου ή σε άλλες εγκαταστάσεις ο ατμός παρέχεται από τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων.

Κλασικός τύπος αυτής της κατηγορίας, είναι ο αποστακτήρας με ατμό από τον λέβητα τύπου Weir (σχ. 12.5α), που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στο παρελθόν σε ατμοκίνητα πλοία. Σήμερα, συναντάται μόνο σε παλαιές εγκαταστάσεις πλοίων.

Οι αποστακτήρες υψηλής πίεσεως είναι κατακόρυφου ή οριζόντιου τύπου.

Ο απλούστερος τύπος αποστακτήρα είναι με αυλούς, βυθισμένους στο θαλασσινό νερό απ' το οποίο τροφοδοτείται ο αποστακτήρας. Οι αυλοί είναι σε οριζόντια διάταξη και η εξατμηση πραγματοποιείται στην εξωτερική επιφάνειά τους. Ο ατμός στους αυλούς (σχ. 12.5α), εισέρχεται από την μία πλευρά και αποβάλλεται απ' την άλλη.

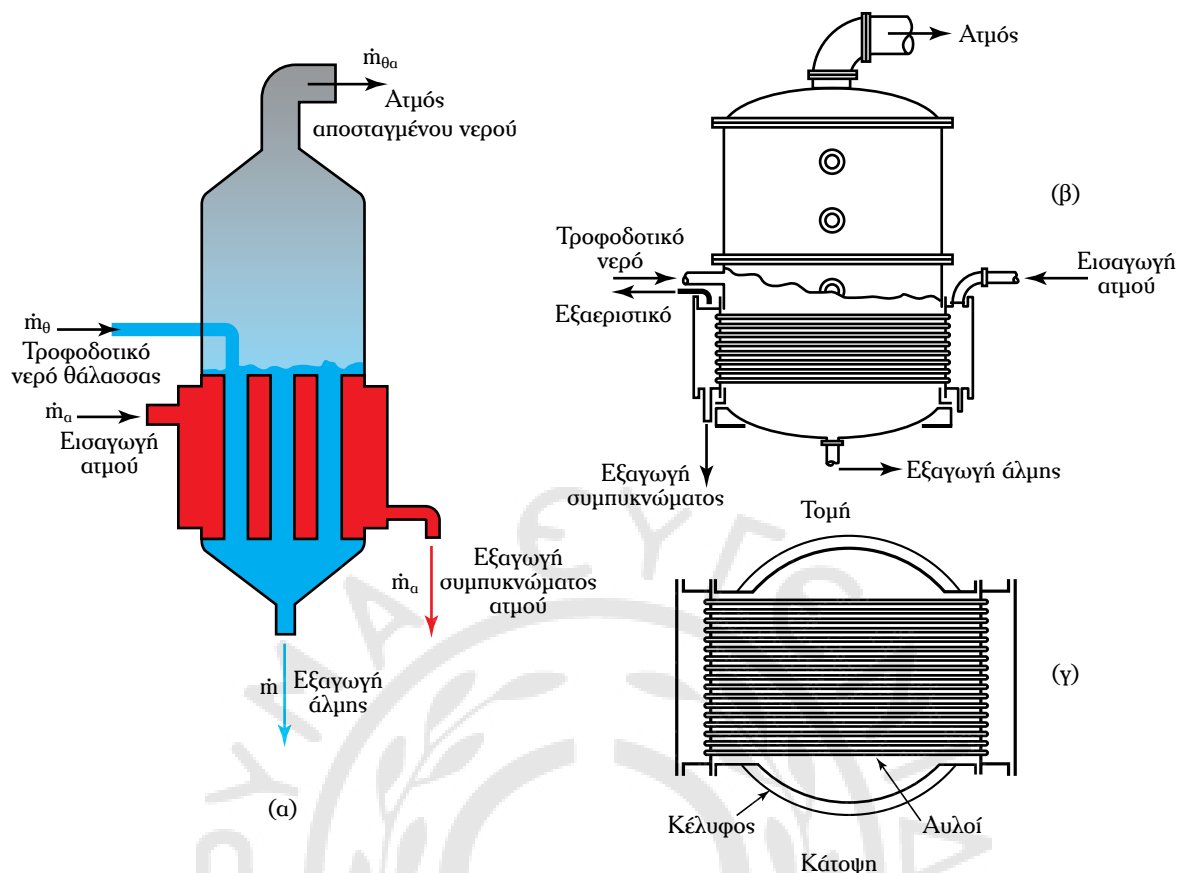
Τροποποίηση σε αυτού του τύπου τους αποστακτήρες γίνεται με τη χρήση θερμαντικών στοιχείων με τους αυλούς σε κάμψη τύπου U, με σκοπό να διευκολύνεται η επιθεώρηση και ο καθαρισμός τους.

Τα βασικά δίκτυα ενός αποστακτήρα με ατμό υψηλής πίεσεως (σχ. 12.5β) είναι:

- α) Το δίκτυο του ατμού θερμάνσεως.
- β) Το δίκτυο των παραγομένων εξατμίσεων (ατμών και υδρατμών).
- γ) Το δίκτυο αποσταγμένου νερού.
- δ) Το δίκτυο θαλασσινού νερού, τροφοδοσίας και ψύξεως.
- ε) Το δίκτυο βαρέων υδάτων ή άλμης ή καθαλατώσεων.

¹ Δοσομετρική διάταξη είναι η διάταξη που παρέχει ελεγχόμενη ποσότητα ενός πρόσθετου διαλύματος ή κάποιου βελτιωτικού υγρού προς όφελος μιας διεργασίας.

² Αφρισμός: Αναταραχή του νερού που περιέχει φυσαλίδες.



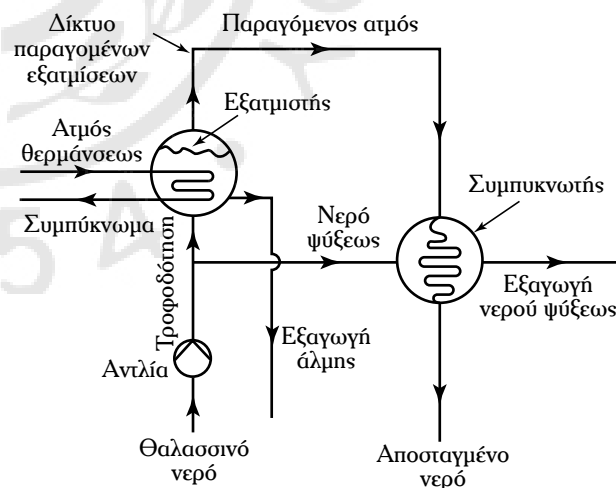
Σχ. 12.5α

Αποστακτήρας τύπου Weir με οριζόντιους αυλούς βυθισμένους στο θαλασσινό τροφοδοτικό νερό. (α) γραφική παράσταση, (β) όψη αποστακτήρα, (γ) κάτοψη αυλών αποστακτήρα.

Κατά τη λειτουργία του αποστακτήρα, ο ατμός δι-ερχόμενος από τους αυλούς αποβάλλει τη θερμική του ενέργεια στο θαλασσινό νερό που κυκλοφορεί μέσα στον θάλαμο εξατμίσεως. Ο ατμός θερμάνε-ως συμπυκνώνεται από το θαλασσινό νερό που πε-ριβάλλει εξωτερικά τους αυλούς του εξατμιστή και το συμπύκνωμα επιστρέφει ξανά στο δίκτυο νερού κυκλοφορίας του λέβητα.

Μέσα στον θάλαμο του αποστακτήρα το τροφο-δοτικό θαλασσινό νερό, θερμαινόμενο, εξατμίζεται παράγοντας ατμό, που οδηγείται στο ψυγείο συμπυ-κνώματος μέσα από το δίκτυο των παραγομένων εξατμίσεων (σχ. 12.5β). Στη συνέχεια, εξέρχεται απ' το ψυγείο συμπυκνώματος ως αποσταγμένο νερό και μέσω του δικτύου αποσταγμένου νερού οδηγείται στις δεξαμενές αποθηκεύσεως και στην κατανάλωση.

Η αντλία θαλάσσης στο δίκτυο θαλασσινού νερού τροφοδοτεί με θάλασσα τον υδροθάλαμο του απο-στακτήρα, για την παραγωγή του ατμού. Το υπόλοι-πο καταθλίβεται από την αντλία στο ψυγείο συμπυ-κνώματος, για την ψύξη του παραγόμενου ατμού. Η εξαγωγή του θαλασσινού νερού απ' τον συμπυκνωτή



Σχ. 12.5β

Βασικά δίκτυα ενός αποστακτήρα.

επιστρέφει στο δίκτυο κυκλοφορίας θαλάσσης του πλοίου.

Μέρος του τροφοδοτικού νερού που βρίσκεται στον υδροθάλαμο του αποστακτήρα αποβάλλεται μέσω του δικτύου άλμης ή των καθαλατώσεων, πα-

ρασύροντας ένα μέρος του θαλασσινού νερού που η πυκνότητά του σε άλατα έχει αυξηθεί λόγω της εξατμίσεως. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγονται πρώτον ο κίνδυνος αναβράσεως και προβολής και δεύτερον η δημιουργία καταλατώσεων στις επιφάνειες εξατμίσεως.

Η δημιουργία καταλατώσεων σε μεγάλο βαθμό και η μεγάλη κατανάλωση σε ενέργεια, είναι τα βασικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν αυτού του τύπου οι αποστακτήρες, με αποτέλεσμα να έχει περιοριστεί η χρήση τους.

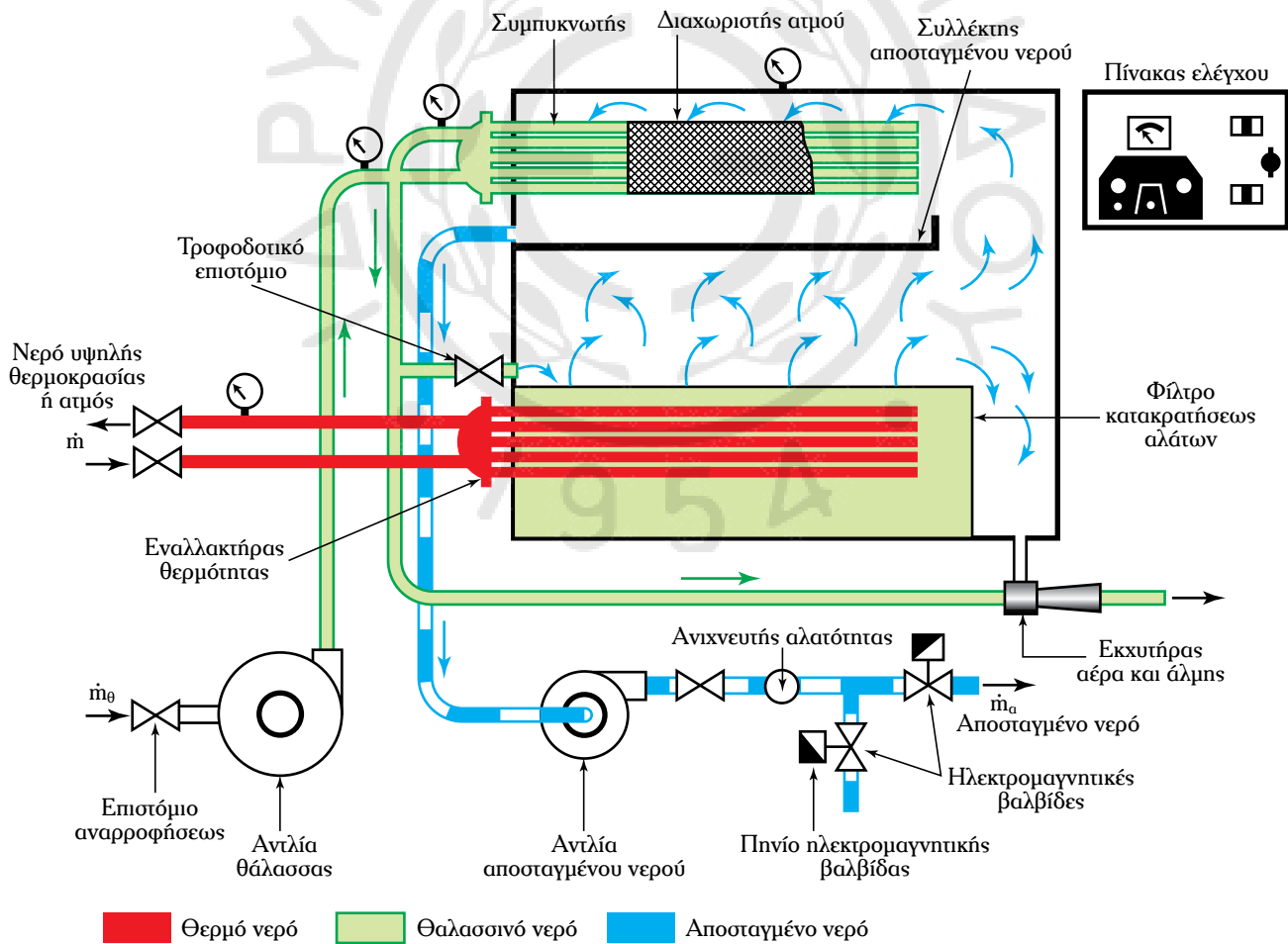
12.5.2 Αποστακτήρες χαμηλής πίεσης και η εξάτμιση υπό κενό.

Με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του σχηματισμού καταλατώσεων λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς νερού-ατμού στους αποστακτήρες, ιδιαίτερα σε μεγάλες εγκαταστάσεις, για πολλά χρόνια χρησιμοποιούνταν ατμός

χαμηλής πίεσης 5 psi (34,47 Kpa) περίπου και θερμοκρασίας 108°C. Οι αποστακτήρες που χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτόν τον σκοπό είναι γνωστοί ως **αποστακτήρες χαμηλής πίεσης** (σχ. 12.5γ).

Η ελάττωση της κατανάλωσης, αλλά και των καταλατώσεων οφείλεται στη μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ατμού που θερμαίνει το νερό και του νερού που υπάρχει στον υδροθάλαμο του αποστακτήρα.

Άλλη μια διαφορά σ' αυτόν τον τύπο αποστακτήρα είναι το γεγονός ότι η εξάτμιση πραγματοποιείται σε πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής, δηλαδή υπό κενό και κάτω απ' αυτές τις συνθήκες κενού η θερμοκρασία που απαιτείται για την ατμοπαραγωγή είναι μικρότερη. Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, τα άλατα δεν κατακρημνίζονται, αλλά παραμένουν διαλυμένα στο νερό του υδροθαλάμου και έτσι αποφεύγεται ο σχηματισμός καταλατώσεων. Για τη μείωση της θερμοκρασίας του ατμού (σύμφωνα με τη Θερμοδυναμική-Κύκλοι Ισχύος Ατμού), χρησιμοποιείται



Σχ. 12.5γ

Αποστακτήρας χαμηλής πίεσης και η διαδικασία αποστάξεως.

η **μέθοδος της αφυπερθερμάνσεως** (desuperheating). Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλο ακροφύσιο, ραντίζοντας τον ατμό με νερό από την κατάθλιψη της αντλίας υγρών, προκαλώντας την πτώση της θερμοκρασίας, μέχρι τη θερμοκρασία του κορεσμένου ατμού.

Οι αποστακτήρες χαμηλής πίεσεως για την παραγωγή αποσταγμένου νερού χρησιμοποιήθηκαν στα πλοία όπου η πρόωση γινόταν με στρόβιλο ατμού και ένα μέρος της παραγωγής ατμού από τον λέβητα τροφοδοτούσε και τον αποστακτήρα με ατμό. Επίσης, προσαρμόστηκαν στα πλοία με ΜΕΚ, όπου η θερμότητα για την ατμοπαραγωγή στον αποστακτήρα παρέχεται από το νερό ψύξεως των χιτωνίων της κύριας μηχανής εν πλω όταν η μηχανή λειτουργεί σε υψηλές στροφές. Η εφαρμογή αυτή έχει ως πλεονέκτημα ότι κατά τη λειτουργία του ο αποστακτήρας αποτελεί ένα ψυγείο στο δίκτυο του νερού ψύξεως των χιτωνίων της κύριας μηχανής.

Η σχετικά χαμηλή θερμοκρασία του νερού ψύξεως των χιτωνίων που εισέρχεται στο στοιχείο εξατμίσεως με θερμοκρασία 65°C και εξέρχεται με θερμοκρασία 60°C , προκαλεί την εξάτμιση του νερού. Αυτό συμβαίνει διότι οι συνθήκες κενού που επικρατούν μέσα στον θάλαμο του αποστακτήρα μειώνουν την απαιτούμενη θερμοκρασία για τον βρασμό του τροφοδοτικού θαλασσινού νερού από τους 100°C σε λιγότερο από 45°C .

Ο αποστακτήρας κενού, με βυθιζόμενα τα στοιχεία εξατμίσεως στο τροφοδοτικό θαλασσινό νερό και η συνολική διαδικασία αποστάξεως που πραγματοποιείται σ' ένα στάδιο (βαθμίδα ή φάση) εικονίζεται στο σχήμα 12.5γ.

Με τη λειτουργία του αποστακτήρα, το θερμό νερό του δικτύου ψύξεως των χιτωνίων της κύριας μηχανής ή ο ατμός χαμηλής πίεσεως εισέρχεται στο στοιχείο του εξατμιστή και αποδίδει την απαραίτητη θερμότητα για την εξάτμιση του τροφοδοτικού νερού. Η θερμότητα που αποβάλλεται, προκαλεί ατμοπαραγωγή σε γρήγορο ρυθμό, με τον βρασμό σε χαμηλότερη θερμοκρασία του τροφοδοτικού θαλασσινού νερού που περιβάλλει το στοιχείο του αποστακτήρα να οφείλεται στο κενό που επικρατεί στο εσωτερικό του.

Οι υδρατμοί που παράγονται, μεταφέρουν σωματίδια θαλασσινού νερού. Τα σωματίδια κατακρατούνται στον **αποχωριστή** (demister), που είναι είδος μεταλλικού ή συνθετικού (πολυπροπυλενικού) πλέγματος και επιστρέφουν ως σταγονίδια, που συλλέγονται και αποβάλλονται από τον αποστακτήρα μέσω

του εκχυτήρα (τζίφარი). Ταυτόχρονα με τα υγροποιημένα σταγονίδια αποβάλλεται ο αέρας μαζί με άλλα αέρια που απελευθερώνονται από την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού και δεν θα συμπυκνωθούν.

Ο καθαρός ατμός συμπυκνώνεται στο ψυγείο συμπυκνώματος στο πάνω μέρος του αποστακτήρα, το οποίο ψύχεται με θάλασσα. Το αποσταγμένο νερό που παράγεται, συλλέγεται και απομακρύνεται μέσω της αντλίας συμπυκνώματος.

Η διεργασία αυτή της αποστάξεως μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περισσότερα του ενός στάδια, με στόχο την ελάττωση του κόστους στην παραγωγή νερού μέσω της αύξησεως της αποδοτικότητας του αποστακτήρα, επιτυγχάνοντας τη μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Επίσης, το νερό ψύξεως υψηλού θερμικού περιεχομένου εξερχόμενο από τον συμπυκνωτή δεν αποβάλλεται αμέσως, προκαλώντας θερμική μόλυνση για το περιβάλλον, αλλά χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της αποδόσεως του αποστακτήρα.

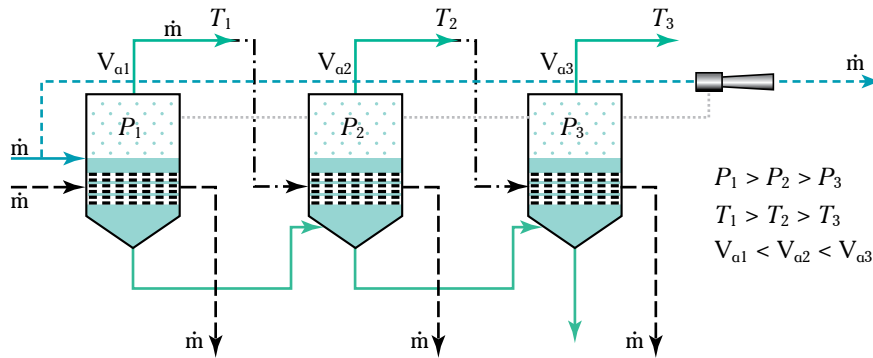
12.6 Πολυσταδιακοί αποστακτήρες.

Η βασική αρχή στη λειτουργία των πολυσταδιακών αποστακτήρων, είναι ότι μειώνοντας την πίεση λειτουργίας σε κάθε στάδιο, μειώνεται και το σημείο βρασμού του διαλύματος που προορίζεται για απόσταξη. Στο σχήμα 12.6 δίνονται παραστατικά τρία στάδια της πολυσταδιακής αποστάξεως.

Οι παραγόμενοι ατμοί από τον πρώτο αποστακτήρα ψύχονται στα στοιχεία του δεύτερου αποστακτήρα και η θερμότητα που παράγεται, χρησιμοποιείται ως θερμαντικό μέσο για τον βρασμό του θαλασσινού νερού στον δεύτερο αποστακτήρα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και στα επόμενα στάδια με τον δεύτερο εξατμιστή να λειτουργεί ως συμπυκνωτής για τον ατμό που παράγεται στον πρώτο, ο τρίτος για τον δεύτερο κ.ο.κ..

Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας, είναι προφανές ότι η θερμοκρασία βρασμού πέφτει από $T_1 > T_2 > T_3$, και συνεπώς η πίεση του διαλύματος τροφοδοσίας θα μειώνεται συνεχώς $P_1 > P_2 > P_3$. Λόγω της πτώσεως της πίεσεως του νερού τροφοδοσίας και της θερμοκρασίας, η εξάτμιση πραγματοποιείται σε υψηλότερο κενό (Vacuum, V_a) δηλαδή $V_{a1} < V_{a2} < V_{a3}$. Το κενό επιτυγχάνεται με τον εκχυτήρα αέρα, που βρίσκεται στο τρίτο στάδιο και δημιουργεί το κενό σε όλους τους θαλάμους.

Η άλμη που παράγεται από το πρώτο στάδιο, και στο οποίο έχει υψηλή θερμοκρασία, αποτελεί το



Σχ. 12.6

Πολυσταδιακή απόσταξη.

τροφοδοτικό νερό για το δεύτερο στάδιο και στη συνέχεια όση άλμη μένει στο δεύτερο στάδιο γίνεται τροφοδοτικό νερό για το τρίτο στάδιο. Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται η θέρμανση του τροφοδοτικού νερού μέχρι το σημείο βρασμού, διότι το σημείο βρασμού σε κάθε επόμενο στάδιο είναι μικρότερο του προηγούμενου.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για τη λειτουργία των αποστακτήρων χαμηλής πίεσης και για τη βελτίωση της αποδόσεώς τους γίνεται η χρήση:

- Ατμού χαμηλής πίεσης ή θερμού νερού ψύξεως από το δίκτυο ψύξεως της κύριας μηχανής ως πηγή θερμότητας.
- Αφυπερθερμάνσεως στους αποστακτήρες όπου χρησιμοποιείται ατμός.
- Εξατμίσεως υπό κενό.
- Πολυσταδιακής εξατμίσεως.

12.7 Τα δίκτυα αποστακτήρων χαμηλής πίεσης.

Η εγκατάσταση για την πραγματοποίηση της διεργασίας της πολυσταδιακής αποστάξεως, αποτελείται από διάφορα λειτουργικά δίκτυα, τα οποία είναι:

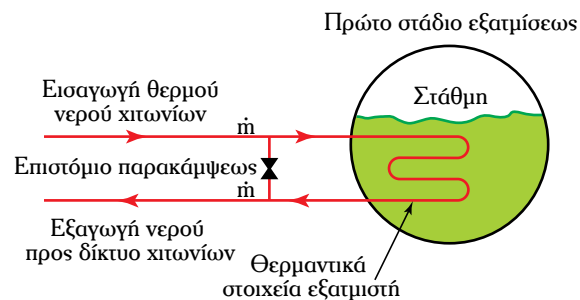
- Το δίκτυο θερμάνσεως του εξατμιστή.
- Το δίκτυο των παραγομένων εξατμίσεων (ατμών και υδρατμών).
- Το δίκτυο αποσταγμένου νερού.
- Το δίκτυο δημιουργίας κενού ή αφαιρέσεως του αέρα.
- Το δίκτυο θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και ψύξεως.
- Το δίκτυο βαρέων υδάτων ή άλμης ή καθαλατώσεων.

12.7.1 Το δίκτυο θερμάνσεως.

Το μέσο θερμάνσεως στο πρώτο στάδιο ενός πολυσταδιακού αποστακτήρα είναι θερμό νερό από το **δίκτυο ψύξεως χιτωνίων της κύριας μηχανής** ή ατμός χαμηλής πίεσης μέσω μειωτήρα από τις βοηθητικές εγκαταστάσεις.

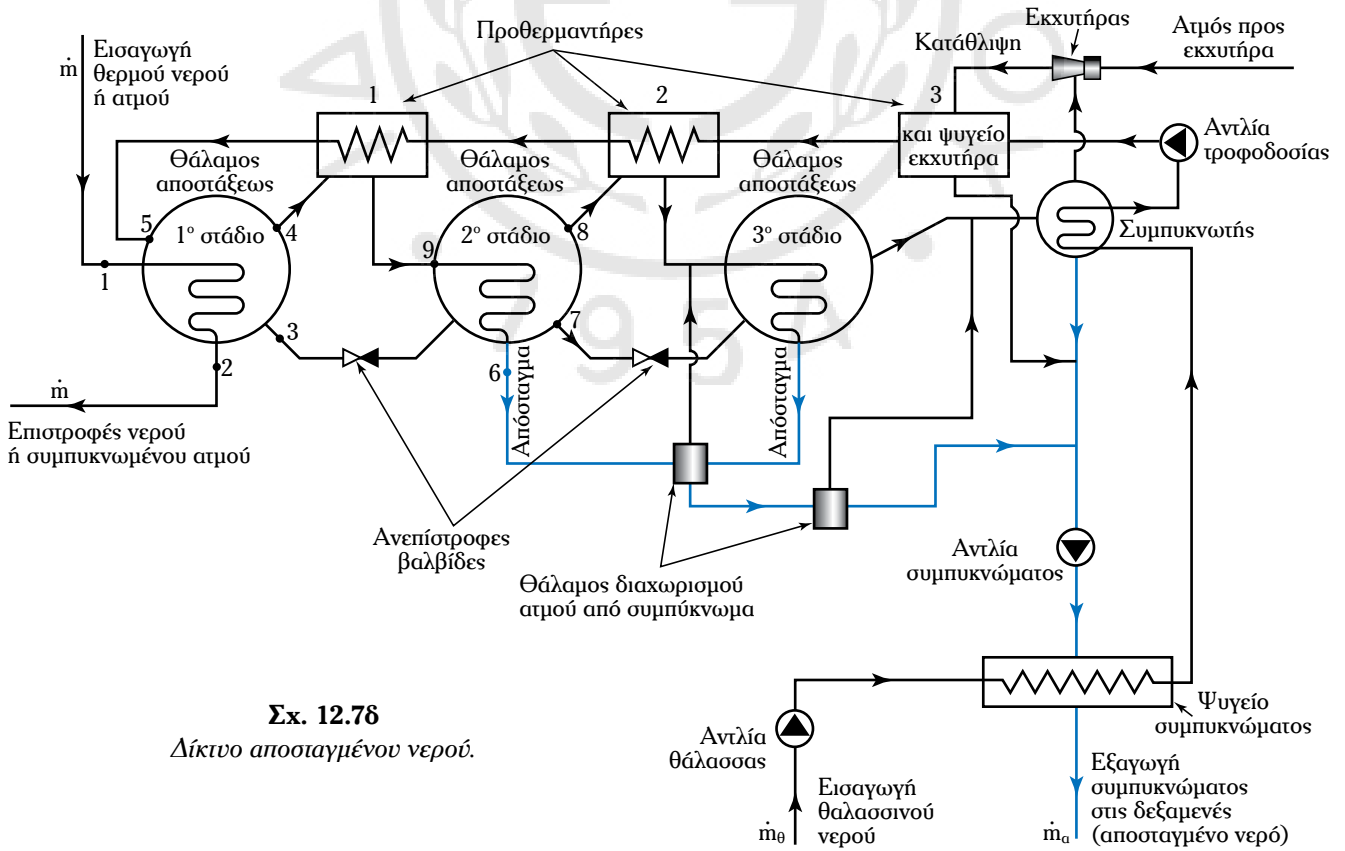
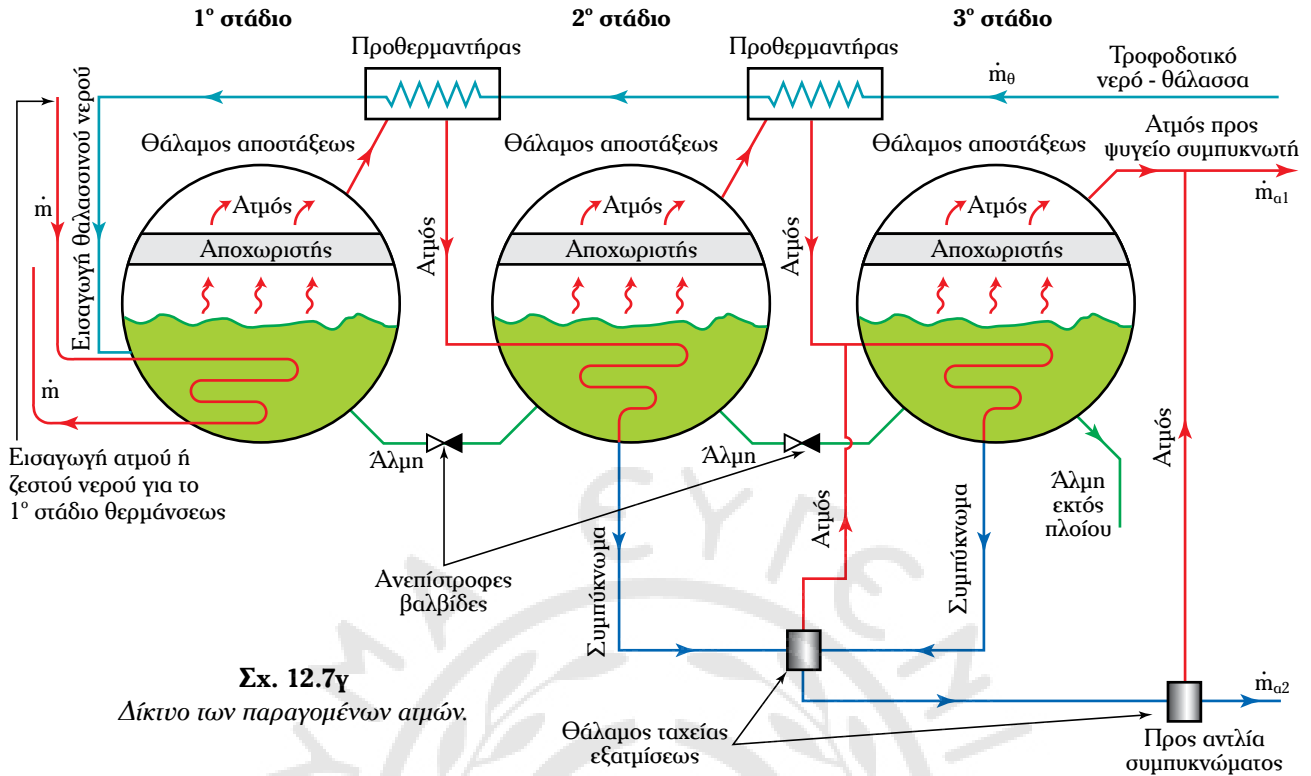
Το νερό από το **δίκτυο ψύξεως χιτωνίων της κύριας μηχανής** εισέρχεται στα θερμαντικά στοιχεία του εξατμιστή (σχ. 12.7α). Στο πρώτο στάδιο εξατμίσεως το θερμό νερό που προέρχεται από την ψύξη των χιτωνίων αποβάλλει τη θερμότητά του θερμαίνοντας το τροφοδοτικό θαλασσινό νερό που περιβάλλει το θερμαντικό στοιχείο και εξέρχεται από τον εξατμιστή επιστρέφοντας στο δίκτυο ψύξεως της κύριας μηχανής. Η ποσότητα θερμού νερού που θα εισέλθει στο στοιχείο του εξατμιστή ρυθμίζεται από ένα **επιστόμιο παρακάμψεως** (by pass), που βρίσκεται μεταξύ εισόδου και εξόδου του εξατμιστή στο δίκτυο τροφοδοσίας θερμού νερού, ώστε να μην προκληθεί διατάραξη στη θερμοκρασιακή ισορροπία του υπόλοιπου δικτύου.

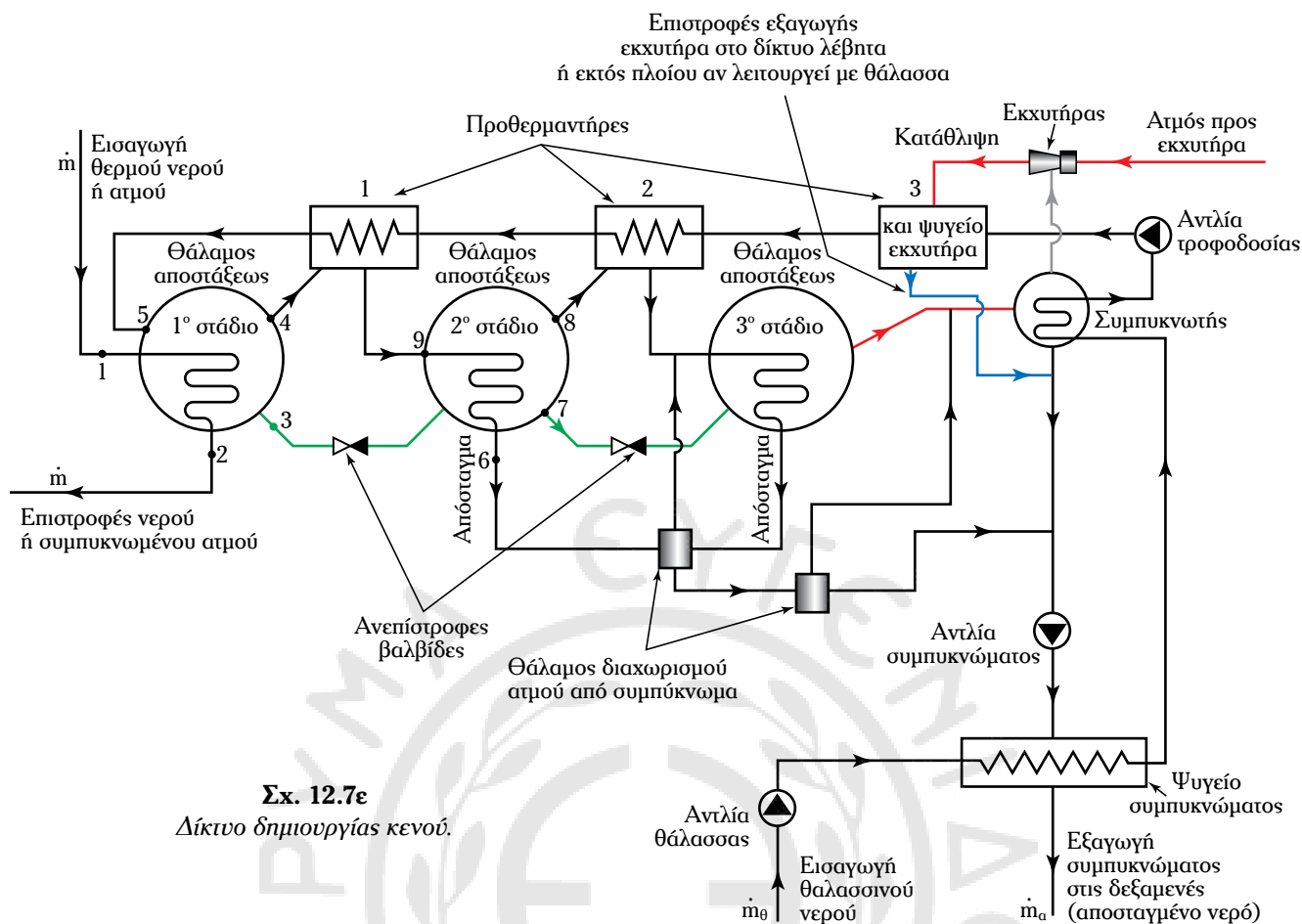
Όταν το θερμαντικό μέσο είναι ατμός χαμηλής πίεσης, για τη θέρμανση του θαλασσινού τροφοδοτικού νερού που περιβάλλει τον εξατμιστή του αποστακτήρα, ο ατμός λαμβάνεται από το δίκτυο του



Σχ. 12.7α

Δίκτυο θερμάνσεως με νερό από την κύρια μηχανή.





Το συμπύκνωμα κάθε σταδίου αποστάξεως διέρχεται από ρυθμιστή υγρών, για να καταλήξει στους δύο θαλάμους εξατμίσεως, όπου απομακρύνονται οι ατμοί που μπορεί να δημιουργηθούν λόγω του κενού και της θερμοκρασίας του συμπυκνώματος.

12.7.4 Το δίκτυο δημιουργίας κενού και αφαιρέσεως του αέρα.

Η διεργασία της εξατμίσεως στους θαλάμους των εγκαταστάσεων των πολυσταδιακών αποστακτών πραγματοποιείται σε πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής. Ο αέρας που βρίσκεται διαλυμένος στο θαλασσινό νερό απελευθερώνεται με την εξάτμιση, όπως επίσης συμβαίνει και με τους συμπυκνωμένους ατμούς και την άλμη. Όλα μαζί συλλέγονται στο τελευταίο στάδιο αποστάξεως, για να απομακρυνθούν από τους θαλάμους της εγκαταστάσεως με τη χρήση εκχυτήρα. Η αναρρόφηση του εκχυτήρα πραγματοποιείται στον συμπυκνωτή του τελευταίου σταδίου. Το κενό στους υπόλοιπους θαλάμους επιτυγχάνεται σταδιακά από το τελευταίο προς το πρώτο, δημιουργώντας τις απαραίτητες συνθήκες για την κυκλοφορία

των παραγομένων ατμών και της άλμης (σχ. 12.7ε).

Σε παλαιότερες εγκαταστάσεις, η λειτουργία των εκχυτήρων γινόταν με την παροχή ατμού. Η εξαγωγή από τον εκχυτήρα διερχόταν από το ψυγείο του εκχυτήρα, όπου ο ατμός με τις ασυμπύκνωτες εξατμίσεις από τον συμπυκνωτή ψυχόταν με θάλασσα, και ήταν εγκατεστημένο στο δίκτυο τροφοδοσίας του αποστακτήρα, προθερμαίνοντας ταυτόχρονα το τροφοδοτικό θαλασσινό νερό. Το συμπύκνωμα που συλλεγόταν από το ψυγείο του εκχυτήρα επέστρεφε στο δίκτυο συμπυκνώματος.

Στις νεότερες εγκαταστάσεις, παρέχεται θάλασσα στον εκχυτήρα για τη δημιουργία του κενού από το δίκτυο ψύξεως του συμπυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο παρασύρονται ο αέρας, οι μη συμπυκνωμένοι ατμοί μαζί με την άλμη από το τελευταίο στάδιο του αποστακτήρα, ενώ η εξαγωγή από τον εκχυτήρα απορρίπτεται στο δίκτυο εξαγωγής προς τη θάλασσα.

12.7.5 Το δίκτυο θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και ψύξεως.

Η θάλασσα που εισέρχεται στο δίκτυο μιας εγκα-

ταστάσεως αποστάξεως είναι το τροφοδοτικό νερό που χρησιμοποιείται για την απόσταξη, αλλά και το ψυκτικό μέσο στους εναλλακτήρες θερμότητας (προθερμαντήρες) μεταξύ των σταδίων (σχ. 12.7στ).

Η παροχή της θάλασσας στο δίκτυο γίνεται από την αντλία θάλασσας. Αρχικά το νερό διέρχεται από το ψυγείο συμπυκνώματος (παράγρ. 3.6.1), ενώ στη συνέχεια περνάει από τον συμπυκνωτή, όπου υγροποιεί τον ατμό που εξέρχεται από το τρίτο στάδιο αποστάξεως. Εκεί, ψύχοντας τους υδρατμούς, ταυτόχρονα προθερμαίνεται.

Η προθέρμανση του θαλασσινού τροφοδοτικού νερού συνεχίζεται στα επόμενα στάδια παραλαμβάνοντας πρόσθετη θερμότητα από την υγροποίηση των παραγομένων ατμών του δεύτερου και του πρώτου σταδίου.

Τελικά, το θαλασσινό νερό εισέρχεται στα στοιχεία του πρώτου σταδίου εξατμίσεως, όπου ατμοποιείται, φτάνοντας στην απαιτούμενη θερμοκρασία βρασμού από το θερμό νερό των χιτωνίων της κύριας μηχανής ή από ατμό χαμηλής πίεσης.

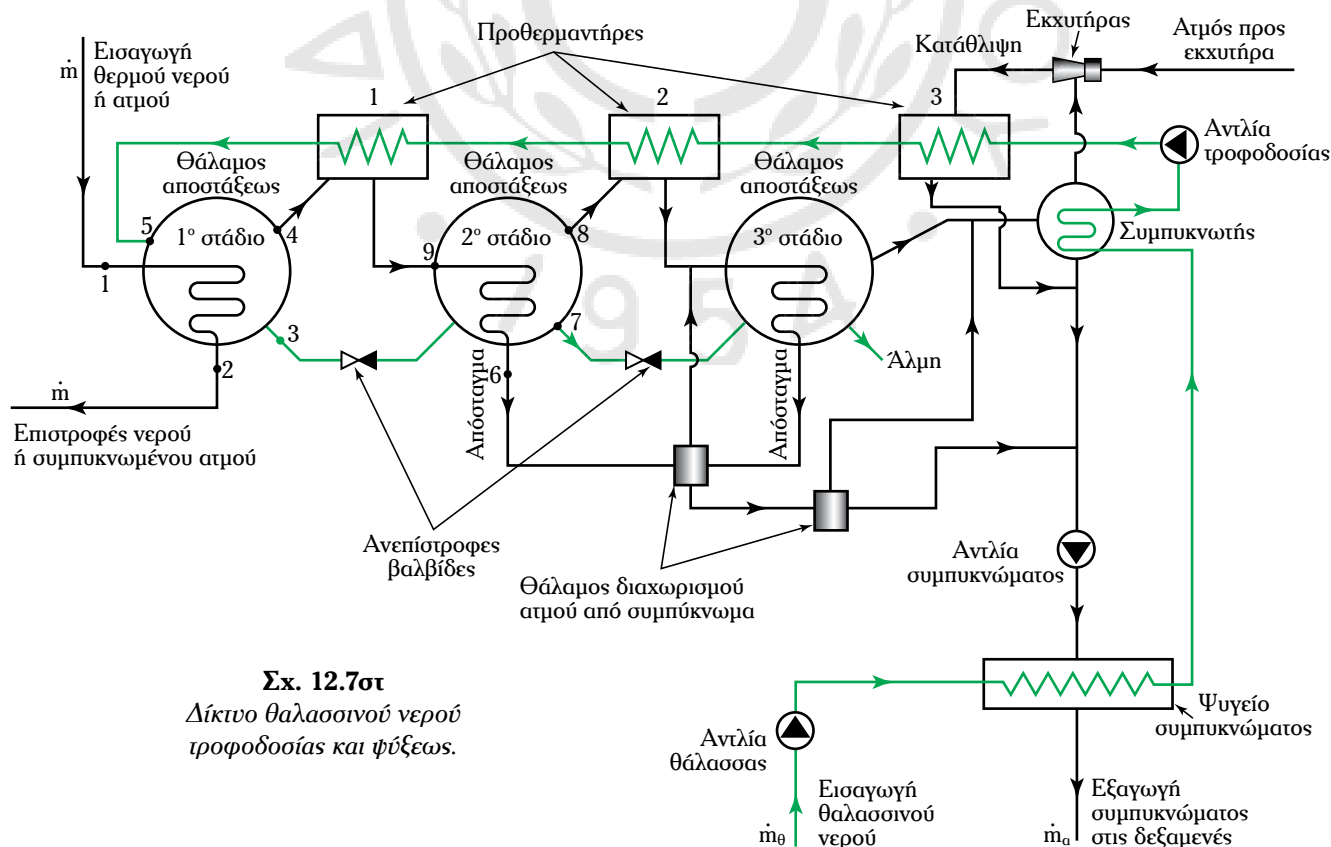
Σε εγκαταστάσεις που ο εκχυτήρας αέρα λειτουργεί με ατμό, η θάλασσα περνάει και μέσα απ' το ψυγείο του εκχυτήρα. Αντίθετα, στους αποστακτήρες με εκχυτήρα που λειτουργεί με θάλασσα, ένα μέρος της

μετά την έξοδο από το ψυγείο συμπυκνώματος διέρχεται από τον εκχυτήρα, παρασύροντας την άλμη και δημιουργώντας ταυτόχρονα το κενό στους θαλάμους αποστάξεως των σταδίων εξατμίσεως.

12.7.6 Το δίκτυο βαρέων υδάτων άλμης ή καθαλατώσεων.

Στο πρώτο στάδιο του πολυσταδιακού αποστακτήρα, λόγω της εξατμίσεως που προκαλείται από τον βρασμό του τροφοδοτικού νερού και από τα σταγονίδια που επιστρέφουν από τον αποχωριστή της υγρασίας των παραγομένων υδρατμών, η περιεκτικότητα σε αλάτι (NaCl κ.ά.) του νερού που μένει στον υδροθάλαμο αυξάνεται προοδευτικά. Το νερό αυτό ονομάζεται **άλμη**.

Η άλμη (σχ. 12.7στ) που συγκεντρώνεται στο πρώτο στάδιο αποστάξεως, αποτελεί το τροφοδοτικό νερό για το δεύτερο στάδιο και η άλμη από το δεύτερο στάδιο, αποτελεί το τροφοδοτικό νερό για την εξατμίση στο τρίτο. Η σταδιακή μεταφορά και η εξατμίση σε κάθε στάδιο έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει περισσότερο την πυκνότητα της άλμης έως το τελευταίο στάδιο, η οποία μέσω της αντλίας καθαλατώσεων καταθλίβεται εκτός πλοίου. Η αντλία αυτή πρέπει



Σχ. 12.7στ

Δίκτυο θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και ψύξεως.

να είναι απόλυτα στεγανή, διότι η αναρρόφησή της είναι υπό κενό.

Όταν ο εκχυτήρας κενού λειτουργεί με νερό από το δίκτυο θάλασσας, η άλμη παρασύρεται από τον εκχυτήρα μαζί με τον αέρα και τους μη συμπυκνωμένους ατμούς. Η μεταφορά της άλμης από το ένα στάδιο στο επόμενο πραγματοποιείται λόγω της διαφοράς κενού μεταξύ των σταδίων, με τη βοήθεια ρυθμιστικών διατάξεων, που παρεμβάλλονται μεταξύ των θαλάμων.

12.8. Τύποι αποστακτών (βραστήρων).

Οι **αποστακτήρες** (βραστήρες-*evaporators*) μπορούν να ταξινομηθούν με πολλούς τρόπους, για παράδειγμα ανάλογα με τη φύση του θερμαντικού μέσου, σε αποστακτήρες με ατμό, με θερμό νερό ή με ηλεκτρικό ρεύμα. Συνήθως όμως κατατάσσονται σε:

α) Αποστακτήρες, όπου ο διαχωρισμός του θερμαντικού μέσου με το υπό εξάτμιση υγρό γίνεται με επιφάνειες μορφής σωλήνων (αυλών).

β) Αποστακτήρες, όπου η κυκλοφορία του θερμαντικού μέσου για την εξάτμιση γίνεται μέσα από σπείρες στους υδροθαλάμους, μέσα σε διπλά τοιχώματα ή μέσα σε επίπεδες πλάκες.

γ) Αποστακτήρες, όπου το θερμαντικό μέσο έρχεται σε άμεση επαφή με το υπό εξάτμιση υγρό.

δ) Αποστακτήρες, όπου η θέρμανση πραγματοποιείται με ηλιακή ακτινοβολία.

Οι αποστακτήρες στους οποίους ο διαχωρισμός του θερμαντικού μέσου με το υπό εξάτμιση υγρό γίνεται με επιφάνειες σε μορφή σωλήνων, είναι οι επικρατέστεροι απ' όλες τις κατηγορίες. Σε αυτούς, η κυκλοφορία του υγρού στις επιφάνειες εξάτμισης μπορεί να προκαλείται από τον βρασμό, οπότε πραγματοποιείται **φυσική κυκλοφορία** (*natural circulation*) ή **με μηχανική υποβοήθηση** (*force circulation*). Στην κυκλοφορία με μηχανική υποβοήθηση ο βρασμός είναι δυνατόν να μην πραγματοποιείται άμεσα στη θερμαινόμενη επιφάνεια λόγω της αυξημένης υδροστατικής πίεσης.

Επίσης, οι αποστακτήρες είναι δυνατόν να λειτουργούν συνεχώς για την παραγωγή αποστάγματος, αλλά και περιστασιακά. Στα περισσότερα συστήματα αποστακτών προτιμώνται αυτοί που είναι σχεδιασμένοι για συνεχή λειτουργία, διότι οι αποστακτήρες που λειτουργούν περιστασιακά απαιτούν περισσότερη ενέργεια και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις όπου η ζητούμενη ποσότητα αποστάξεως είναι μικρή.

Στους αποστακτήρες συνεχούς λειτουργίας η παροχή ενέργειας από το μέσο θερμάνσεως, όπως και η παραγωγή συμπυκνώματος, παραμένει σταθερή σε όλη τη διεργασία αποστάξεως. Έτσι, μπορούν να λειτουργούν είτε ως απλής διελεύσεως με την παραγωγή-απόσταξη σ' ένα στάδιο, είτε χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία του συμπυκνώματος με επανακυκλοφορία και θερμαίνοντας άλλα στοιχεία. Έτσι, επιτυγχάνεται απόσταξη σε περισσότερα στάδια (πολυσταδιακή).

Η απόσταξη με ηλιακή ακτινοβολία, λόγω των επιφανειών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση εξάτμισης, δεν περιλαμβάνεται στους αποστακτήρες που εξετάζονται.

Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται οι κυριότεροι τύποι αποστακτών που χρησιμοποιούνται σήμερα.

12.8.1 Αποστακτήρες φυσικής και αναγκαστικής κυκλοφορίας.

Οι αποστακτήρες **φυσικής κυκλοφορίας** (*natural circulation*), βασίζονται στη φυσική κυκλοφορία του παραγόμενου αποστάγματος που προκύπτει απ' τη διαφορά στην πυκνότητα, η οποία αυξάνεται με τη θέρμανση. Στους αποστακτήρες αυτούς χρησιμοποιούνται αυλοί, ώστε όταν το νερό αρχίσει να βράζει και διαχωρίζεται το υγρό από τους ατμούς, οι φυσαλίδες που δημιουργούνται μέσα στους αυλούς να ανεβαίνουν προς τα επάνω προκαλώντας την φυσική κυκλοφορία του νέρου στο εσωτερικό του βραστήρα. Η ποσότητα παραγωγής τους εξαρτάται από τη διαφορά θερμότητας του ατμού θερμάνσεως και του νερού. Το πρόβλημα σε αυτόν τον τύπο αποστακτών είναι ότι σε περίπτωση που τα στοιχεία των αποστακτών δεν είναι γεμάτα με νερό, δημιουργούνται καθαλατώσεις που επηρεάζουν την απόδοση και την καλή λειτουργία του βραστήρα. Σ' αυτήν την περίπτωση απαιτείται η εκκένωση και ο καθαρισμός των στοιχείων του αποστακτήρα.

Για την καλύτερη απόδοση στη λειτουργία των αποστακτών προκαλείται **αναγκαστική κυκλοφορία** (*forced circulation*), που επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μίας αντλίας στο δίκτυο. Σκοπός της είναι η αύξηση της πίεσης και της κυκλοφορίας του νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικής ικανότητας του αποστακτήρα, αλλά και της ποιότητας του αποσταγμένου νερού.

Η πιο κοινή εφαρμογή αυτού του τύπου βραστήρων είναι **με βυθιζόμενα στοιχεία** (*submerged ele-*

ments), των οποίων η διάταξη μπορεί να είναι ή **οριζόντια** (horizontal tube evaporator) ή **κάθετη** (vertical tube evaporator). Λόγω της υδροστατικής πίεσης από την αντλία η εξάτμιση δεν γίνεται στην επιφάνεια θερμάνσεως. Έτσι, εμποδίζεται ο σχηματισμός φυσαλίδων στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας και δεν δημιουργούνται καθαλατώσεις.

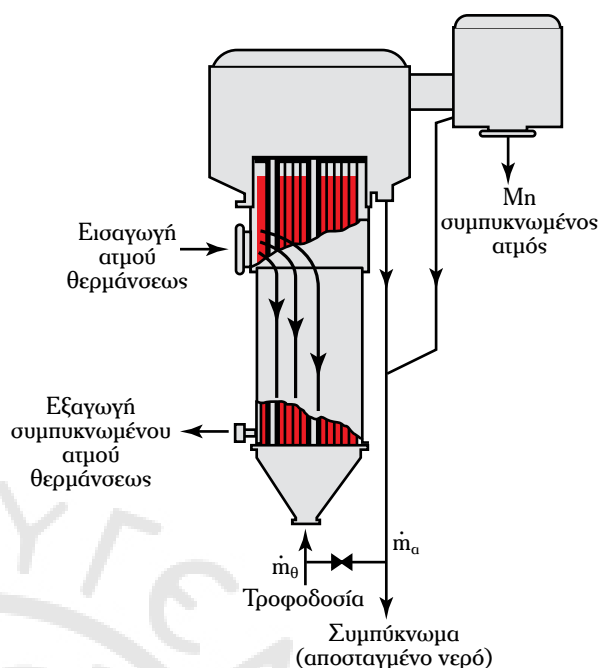
Τα περισσότερα συστήματα αποστάξεως λειτουργούν με αυτού του τύπου τους αποστακτήρες, διότι βρίσκουν πολλές εφαρμογές και είναι φθηνότεροι ανά μονάδα αποδόσεως παραγωγής. Δύο κατηγορίες βραστήρων που ανήκουν σ' αυτόν τον τύπο είναι οι **αποστακτήρες ανοδικής** και οι **καθοδικής μεμβράνης**.

1) Αποστακτήρες ανοδικής μεμβράνης [rising film (RF) evaporators].

Στους αποστακτήρες ανοδικής μεμβράνης το στοιχείο αποτελείται από κάθετους μακρούς αυλούς, που συνήθως έχουν διάμετρο από 25 έως 50 mm και το μήκος τους είναι από 6 έως 10 m (σχ. 12.8α). Μπορεί να λειτουργούν ως απλής διελεύσεως, χωρίς να διατηρείται στάθμη υγρού στον εξατμιστή ή με σύστημα επανακυκλοφορίας, που για την ομαλή του λειτουργία διατηρεί στάθμη υγρού στον εξατμιστή. Οι αποστακτήρες αυτού του τύπου με επανακυκλοφορία μπορεί να λειτουργούν περιστασιακά ή συνεχώς, ενώ η κυκλοφορία του ρευστού επάνω στην επιφάνεια μεταφοράς της θερμότητας εξαρτάται από τον βρασμό. Η θερμοκρασία του ρευστού στους αυλούς δεν είναι ενιαία σε όλο το μήκος τους και είναι δύσκολο να υπολογισθεί. Η ευαισθησία κατά τη λειτουργία αυτού του τύπου των βραστήρων σε αλλαγές είναι μικρότερη όταν η θερμοκρασιακή διαφορά των ρευστών είναι μεγάλη και μεγαλύτερη όταν η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μικρή. Επίσης, εξαιτίας του μεγάλου μήκους των αυλών, η υδροστατική στήλη που δημιουργείται επιδρά έντονα στο σημείο βρασμού του ρευστού που κυκλοφορεί στον αποστακτήρα.

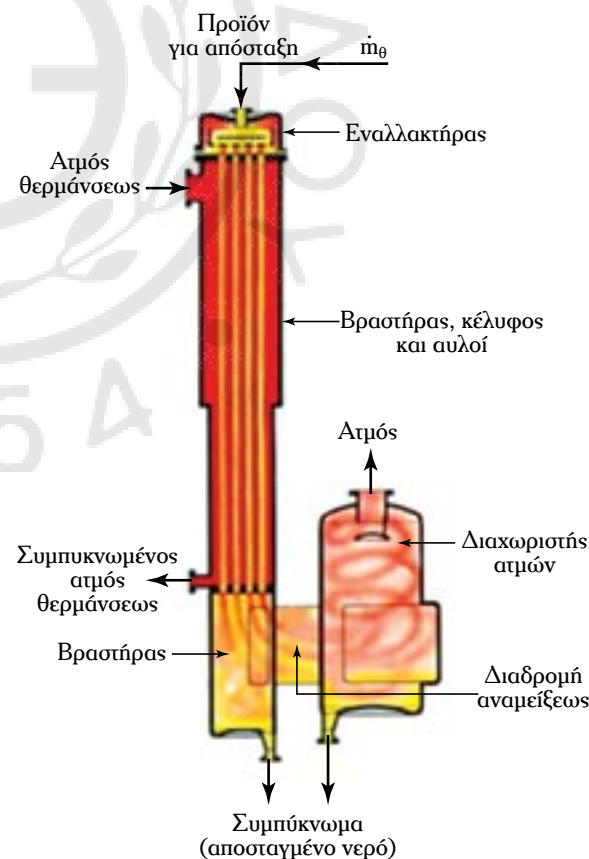
2) Αποστακτήρες καθοδικής μεμβράνης [falling film (FF) evaporators].

Πρόκειται για αποστακτήρες με μακρούς αυλούς, που εξαλείφουν τα προβλήματα πίεσης λόγω υδροστατικής στήλης (σχ. 12.8β). Σ' αυτούς, το υγρό πέφτει κατά μήκος των αυλών από την κορυφή και κυλάει στο εσωτερικό τοίχωμα με τη μορφή μεμβράνης. Η εξάτμιση πραγματοποιείται στο υψηλότερο μέρος της μεμβράνης, που δημιουργείται δίχως να έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια της εξάτμισης.



Σχ. 12.8α

Αποστακτήρας ανοδικής μεμβράνης.



Σχ. 12.8β

Αποστακτήρας καθοδικής μεμβράνης.

Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η δημιουργία καταλατώσεων στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας.

Η πτώση πιέσεως στο εσωτερικό του αποστακτήρα είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα η αύξηση στο σημείο βρασμού του υγρού να είναι μικρή και ο λόγος μεταδόσεως της θερμότητας να είναι υψηλός, ακόμα και όταν η διαφορά θερμοκρασίας είναι χαμηλή. Το πρόβλημα σε αυτούς τους αποστακτήρες είναι η ανισοκατανομή του υγρού σε όλους τους αυλούς, η οποία σταθεροποιείται με αύξηση της παροχής με στόμια orifice και με αντλίες επανακυκλοφορίας.

12.8.2 Αποστακτήρες με κάθετους αυλούς (*short tube vertical evaporators*).

Οι αποστακτήρες με κάθετους αυλούς δεν ήταν οι πρώτοι που κατασκευάστηκαν, αλλά ήταν αυτοί που γνώρισαν τη μεγαλύτερη δημοτικότητα με πρώτο κατασκευαστή τον Robert, ώστε συχνά να αναφέρονται και ως τύπου Robert. Είναι τόσο συνηθισμένοι, ώστε με τον όρο **αποστακτήρας** να εννοείται αυτός ο τύπος. Το μήκος των αυλών τους κυμαίνεται από 1–3 m και η διάμετρος από 2–8 cm, ενώ βρίσκονται κάθετα τοποθετημένοι μέσα σε κυλινδρικό κέλυφος.

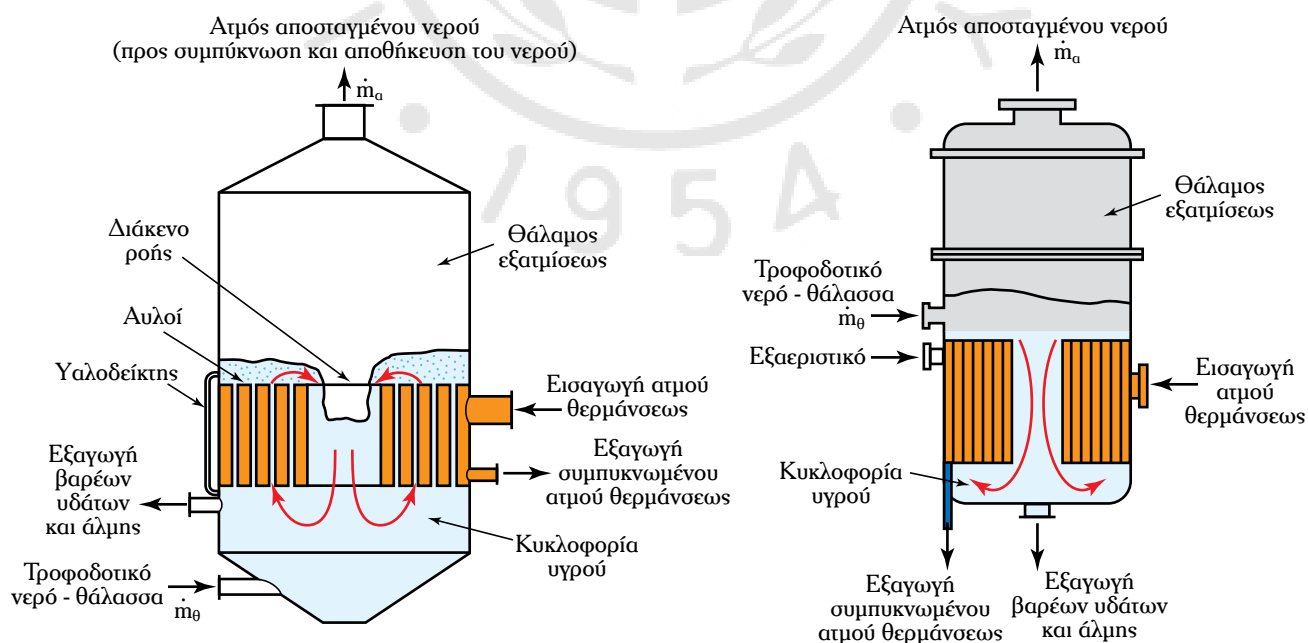
Η παροχή του υγρού σ' αυτού του τύπου τους αποστακτήρες γίνεται από μία οπή στο κέλυφος του βραστήρα πάνω από τους αυλούς. Ο ατμός παρέχεται στη μονάδα κελύφους και αυλών ζεσταίνοντας

το νερό μέσα στους αυλούς. Ο ατμός ανεβαίνει προς το επάνω μέρος, ενώ το νερό με τα άλατα μένει στο κάτω μέρος του βραστήρα. Η απόσταση μπορεί να γίνεται σε ένα στάδιο, με το υγρό της παροχής καθώς περνάει μία φορά από τους αυλούς να επιτυγχάνεται η εξάτμιση και να διαχωρίζεται ο ατμός από το υπόλοιπο διάλυμα. Εναλλακτικά η απόσταση μπορεί να γίνεται με επανακυκλοφορία του υγρού παροχής. Κατά την επανακυκλοφορία διατηρείται υγρό μέσα στον αποστακτήρα, καλύπτοντας τα στοιχεία των αυλών, ώστε να εξασφαλιστεί η αποδοτική λειτουργία του αποστακτήρα.

Η κυκλοφορία του υγρού ανάμεσα στους αυλούς επιτυγχάνεται ως εξής:

- Με κενό στο κέντρο της διατάξεως των αυλών (σχ. 12.8γ).
- Με έκκεντρη διάταξη.
- Με διάσπαρτα κενά ανάμεσα στους αυλούς.
- Με σωλήνα εξωτερικά, στο σώμα του αποστακτήρα.

Καθώς το υγρό περνάει από τις θερμαινόμενες επιφάνειες λόγω του βρασμού, προκαλείται φυσική κυκλοφορία. Σε αυτού του τύπου τους αποστακτήρες η επιφάνεια του κενού που περνάει το υγρό προς το κάτω μέρος των αυλών και δημιουργείται η κυκλοφορία, είναι σχεδόν ίδια με την επιφάνεια του κενού της επιφάνειας των αυλών, ώστε να μην εμποδίζεται η ροή του υγρού. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται



Σχ. 12.8γ

Αποστακτήρας με κοντούς κάθετους αυλούς.

η μεταφορά θερμότητας και μειώνεται η δημιουργία φυσαλίδων στην επιφάνεια του υγρού.

Σε αυτόν τον τύπο αποστακτών ανήκουν οι:

1) Αποστακτήρες με κεκλιμένους αυλούς (*inclined tube evaporators*).

Οι αυλοί στους αποστακτήρες αυτού του τύπου είναι τοποθετημένοι οριζόντια 30° – 45° , στο κάτω μέρος του κελύφους του εξατμιστή. Προκειμένου να βελτιωθεί η κυκλοφορία του υγρού, το κενό στους αυλούς βρίσκεται στο κάτω μέρος ή εξωτερικά από αυτούς. Η εξάτμιση γίνεται με τον τρόπο που περιγράφεται παραπάνω και στα πλεονεκτήματά τους είναι το χαμηλό ύψος του χώρου, στον οποίο μπορεί να τοποθετηθούν. Λόγω της απότομης αλλαγής στην κλίση, περιορίζεται η δημιουργία αφρού και είναι εύκολη η πρόσβαση στους αυλούς.

2) Αποστακτήρες με έλικα (*propeller calandrias evaporators*).

Η κυκλοφορία του υγρού στους αποστακτήρες οφείλεται στον βρασμό ή σε εξωτερική αντλία, όπως είδαμε παραπάνω. Όμως, για να βελτιωθεί η κυκλοφορία του υγρού και ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ο βαθμός μεταδόσεως της θερμότητας στις επιφάνειες εξατμίσεως, τοποθετείται ένα σύστημα έλικας στο κενό ανάμεσα στους αυλούς, με κατάλληλη στήριξη στο επάνω ή στο κάτω μέρος του αποστακτήρα, επιτυγχάνοντας την αύξηση της ταχύτητας κυκλοφορίας του υγρού. Για την πρόληψη του φαινομένου της σπλαιώσεως από τις φυσαλίδες που εμφανίζονται κατά την περιστροφή της, η έλικα τοποθετείται στο χαμηλότερο σημείο μέσα στον αποστακτήρα, επειδή η πίεση του ρευστού είναι μεγαλύτερη.

12.8.3 Αποστακτήρες τύπου καλάθου (*basket type evaporators*).

Η διαφορά του αποστακτήρα τύπου καλάθου και του αποστακτήρα με βυθιζόμενα στοιχεία μέσα στο νερό συνίσταται στον τρόπο σχεδιάσεως του εξατμιστή. Πρόκειται για πολύ αποδοτικούς αποστακτήρες και το νερό που παράγεται με αυτήν τη μέθοδο έχει περιεκτικότητα σε αλάτι κάτω των 4 ppm.

Ο αποστακτήρας αυτός αποτελείται από έναν εξατμιστή κάθετου τύπου καλάθου, τον συμπυκνωτή, προθερμαντήρες ατμού, ψυγείο συμπυκνώματος και εκχυτήρες αέρα.

Ο εξατμιστής τύπου καλάθου βρίσκεται στο κάτω μέρος του κελύφους του αποστακτήρα και περιβάλλεται από θαλασσινό νερό. Με την παροχή ατμού

χαμηλής πίεσεως θερμαίνεται ο εξατμιστής, προκαλώντας έντονο βρασμό στο θαλασσινό νερό που τον περιβάλλει. Τα υγρά που συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του εξατμιστή από τη συμπύκνωση του ατμού θερμάνσεως επιστρέφουν στο δίκτυο τροφοδοτήσεως του λέβητα.

Οι υδρατμοί που παράγονται από τον βρασμό, παρασύρουν αιωρούμενα σωματίδια θαλασσινού νερού, που διαχωρίζονται σε δύο στάδια προτού συμπυκνωθούν. Στο πρώτο στάδιο απαλλάσσονται οι υδρατμοί απ' τα περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια θαλασσινού νερού στον κυκλωνικό αποχωριστή λόγω της φυγόκεντρου δυνάμεως. Η μικρή ποσότητα υγρασίας που τυχόν απομένει, αφαιρείται στο δεύτερο στάδιο του αποχωριστή, που ονομάζεται **σαλίγκαρος** ή στον διαχωριστή σταγονιδίων (*demister*) (φίλτρα μεταλλικά ή συνθετικά).

Ο ξηρός ατμός στη συνέχεια, από τον ουρανό του κελύφους του αποστακτήρα καταλήγει στον συμπυκνωτή, όπου ψύχεται με θαλασσινό νερό, και το συμπύκνωμα απομακρύνεται με αντλία σε δεξαμενή. Στους αποστακτήρες, όπου η συμπύκνωση του ατμού γίνεται με θαλασσινό νερό, η λανθάνουσα θερμότητα του ατμού χάνεται στη θάλασσα. Γι' αυτόν τον λόγο είναι δύο ή περισσότερων φάσεων, ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας.

Στους αποστακτήρες δύο φάσεων (σχ. 12.8δ) ο ξηρός ατμός από τον ουρανό του κελύφους του πρώτου σταδίου αποστάξεως εισάγεται στο εσωτερικό του εξατμιστή τύπου καλάθου ενός δεύτερου αποστακτήρα. Το νερό που περιβάλλει τον εξατμιστή της δεύτερης φάσεως, προέρχεται από τον διαχωρισμό των υδρατμών που συγκεντρώνεται στην πρώτη φάση εξατμίσεως. Τα υγρά από τη συμπύκνωση του ατμού που θερμαίνει τον δεύτερο εξατμιστή, συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του και στη συνέχεια οδηγούνται στη δεξαμενή συλλογής του συμπυκνωτή. Οι υδρατμοί που παράγονται στη δεύτερη φάση ακολουθούν διαδρομή παρόμοια με την παραπάνω. Ο ατμός από τον ουρανό του δεύτερου αποστακτήρα καταλήγει στο συμπυκνωτή, όπου υγροποιείται και καταλήγει στη δεξαμενή συλλογής του συμπυκνωτή μαζί με το συμπύκνωμα από τον καλάθο της δεύτερης φάσεως. Το νερό που μένει από τον αποχωρισμό των υδρατμών στη δεύτερη φάση απορρίπτεται στη θάλασσα.

Το αποσταγμένο νερό από τη δεξαμενή συλλογής του συμπυκνωτή αναρροφάται από την αντλία συμπυκνώματος και καταθλίβεται μέσω του ψυγείου συμπυκνώματος στις δεξαμενές αποθηκεύσεως.

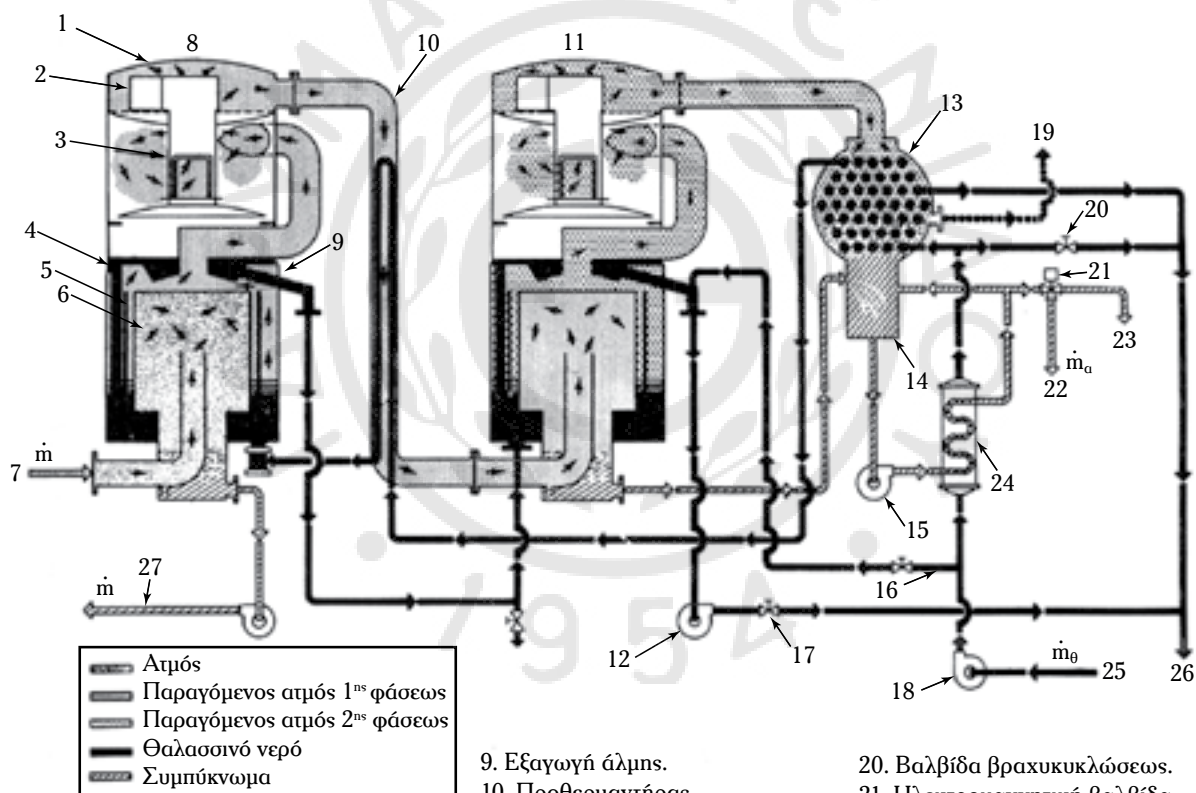
Το θαλασσινό νερό που παρέχεται στον αποστακτήρα προθερμαίνεται σε διάφορα στάδια της διεργασίας, επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση ενέργειας. Τα στάδια είναι ο προθερμαντήρας του ατμού της πρώτης φάσεως, ο συμπυκνωτής, το ψυγείο του συμπυκνώματος και ο εκχυτήρας (τζιφάρι). Όμως, με τη λειτουργία του αποστακτήρα, μόνο το 15% περίπου του προθερμασμένου θαλασσινού νερού χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του αποστακτήρα. Το υπόλοιπο απορρίπτεται στη θάλασσα.

12.8.4 Απόσταξη με συμπίεση ατμών (vapor compression distillation).

Σε αυτού του τύπου τους αποστακτήρες, η απόσταξη πραγματοποιείται με θετική πίεση, δηλαδή λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Ο ατμός

που παράγεται από τον εναλλακτήρα θερμότητας (εξατμιστή) του αποστακτήρα, συμπιέζεται σε πίεση μικρότερη του 1 bar από έναν ηλεκτροκίνητο μηχανικό συμπιεστή. Η αύξηση της πίεσεως του ατμού σε 0,34 atm ή περίπου 5 psi προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας σε 108°C. Ο συμπιεσμένος ατμός επιστρέφει στο στοιχείο του εξατμιστή και ζεσταίνει το θαλασσινό νερό που υπάρχει σε αυτόν για την παραγωγή νέου ατμού.

Τα βασικά μέρη απ' τα οποία αποτελείται αυτού του τύπου ο αποστακτήρας είναι το κέλυφος, ο εξατμιστής που βρίσκεται στο κάτω μέρος του αποστακτήρα (σχ. 12.8ε), ο ηλεκτροκίνητος συμπιεστής στο πάνω μέρος του αποστακτήρα, ηλεκτρικά στοιχεία για την αρχική θέρμανση του θαλασσινού νερού και ένας προθερμαντήρας.



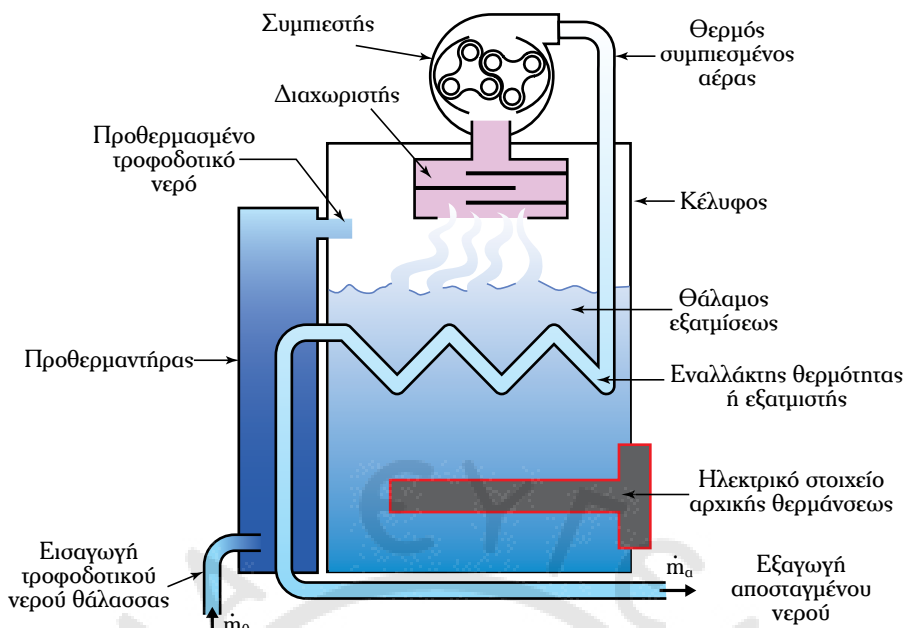
1. Επάνω μέρος (ουρανός) ατμοθαλάμου.
2. Σαλίγκαρος.
3. Κυκλωνικός αποχωριστής.
4. Εξισωτής.
5. Χιτώνιο θαλάμου.
6. Κυματοειδής κάλαθος.
7. Εισαγωγή ατμού θερμάνσεως.
8. Πρώτη φάση.

9. Εξαγωγή άλμης.
10. Προθερμαντήρας.
11. Δεύτερη φάση.
12. Αντλία άλμης.
13. Συμπυκνωτής.
14. Δεξαμενή εξατμίσεως.
15. Αντλία αποσταγμένου νερού.
16. Αραίωση άλμης.
17. Βαλβίδα ελέγχου της άλμης.
18. Αντλία κυκλοφορίας θάλασσας.
19. Αναρρόφηση εκχυτήρα.

20. Βαλβίδα βραχυκυκλώσεως.
21. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.
22. Εξαγωγή συμπυκνώματος (αποσταγμένου νερού) προς τη δεξαμενή.
23. Αποχέτευση.
24. Ψυγείο αποσταγμένου νερού.
25. Εισαγωγή θάλασσας.
26. Εξαγωγή εκτός πλοίου.
27. Επιστροφή των συμπυκνωμάτων του ατμού θερμάνσεως προς τον λέβητα.

Σχ. 12.86

Αποστακτήρες τύπου καλάθου δύο φάσεων.



Σχ. 12.8ε

Διάγραμμα και εγκατάσταση αποστακτήρα με συμπίεση ατμών.

Το θαλασσινό νερό εισέρχεται μέσω του προθερμαντήρα στον αποστακτήρα, γεμίζοντας με θάλασσα τον εξατμιστή του αποστακτήρα εσωτερικά των αυλών, που αποτελεί την επιφάνεια εξατμίσεως. Η στάθμη του θαλασσινού νερού διατηρείται με μια χοάνη υπερχειλίσεως στο κέντρο του εξατμιστή, που αποτελεί και το μέσο εξαγωγής της άλμης, η οποία απομένει από τον βρασμό. Τα ηλεκτρικά στοιχεία που βρίσκονται στον αποστακτήρα θερμαίνουν το θαλασσινό νερό και παράγεται ατμός. Μετά την πρώτη παραγωγή ατμού, τα ηλεκτρικά στοιχεία παύουν να λειτουργούν αυτόματα. Ο ατμός αυτός ανεβαίνει μέσω διαχωριστών στην αναρρόφηση του ηλεκτρικού συμπιεστή και συμπιέζεται, με αποτέλεσμα η αύξηση της πίεσεως να προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του, που είναι απαραίτητη στον βρασμό μέσα στο στοιχείο του αποστακτήρα.

Μετά τη συμπίεση ο ατμός επιστρέφει στον εξατμιστή του αποστακτήρα, στην εξωτερική πλευρά των αυλών, θερμαίνοντας τον εξατμιστή του θαλασσινού νερού, ενώ ο ίδιος συμπυκνώνεται σε νερό. Το συμπύκνωμα, που είναι ακόμη θερμό, περνάει μέσα από τον προθερμαντήρα του τροφοδοτικού νερού και το προθερμαίνει πριν την εισαγωγή του στον εξατμιστή του αποστακτήρα. Με την ολοκλήρωση της διεργασίας, το συμπύκνωμα μετά τον προθερμαντήρα συλλέγεται στις δεξαμενές αποθηκεύσεως του νερού.

12.8.5 Αποστακτήρες άμεσης ή ακαριαίας εξατμίσεως (flash evaporators).

Στους αποστακτήρες αυτού του τύπου εφαρμόζεται η αρχή της ακαριαίας εξατμίσεως, που είναι απλή στη θεωρία, αλλά ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και πολύπλοκη στην εφαρμογή. Έχουν περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας με τους βυθιζόμενους αποστακτήρες με στοιχεία χαμηλής πίεσεως και στηρίζονται στη διαφορά πίεσεως μεταξύ των φάσεων για την παραγωγή ατμού από θαλασσινό νερό. Η βασική διαφορά στη μέθοδο αποστάξεως είναι ότι η δημιουργία των ατμών του παραγόμενου νερού γίνεται σε όλη τη μάζα του νερού και όχι στην επιφάνεια των εναλλακτών, όπως στους προηγούμενους αποστακτήρες.

Η εξαέρωση μέρους του θαλασσινού νερού και η μετατροπή του σε ατμό γίνεται αστραπιαία κατά την είσοδό του στον θάλαμο εξατμίσεως (σχ. 12.8στ). Αυτό συμβαίνει διότι η πίεση μέσα στον θάλαμο είναι χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού, που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του θερμού θαλασσινού νερού τροφοδοτήσεως του αποστακτήρα.

Για την εξοικονόμηση της ενέργειας, οι αποστακτήρες άμεσης ή ακαριαίας εξατμίσεως είναι **πολυσταδιακοί** (Multy-Stage Flash evaporators – MSF). Η εγκατάσταση περιλαμβάνει εκχυτήρα αέρα, προθερμαντήρα τροφοδοτικού νερού και ψυγείο συμπυκνώ-

το στάδιο αποστάξεως. Έτσι, διερχόμενο από στόμια στον θάλαμο ατμοπαραγωγής, το τροφοδοτικό νερό εξατμίζεται ακαριαία λόγω της μεταβολής στη θερμοκρασία κορεσμού του θαλασσινού νερού, από τη χαμηλή πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό του θαλάμου, ώστε να επιτευχθεί ισορροπία.

Ο ατμός που παράγεται, διέρχεται από αποχωριστή και συμπυκνώνεται στην επιφάνεια των αυλών του εναλλακτήρα στο πάνω μέρος του θαλάμου, στο πρώτο στάδιο αποστάξεως. Το τροφοδοτικό νερό που δεν έχει εξατμιστεί στο πρώτο στάδιο, εισέρχεται στον θάλαμο του δεύτερου σταδίου αποστάξεως, όπου επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Σε κάθε στάδιο το τροφοδοτικό θαλασσινό νερό που δεν ατμοποιείται γίνεται τροφοδοτικό θαλασσινό νερό για το επόμενο στάδιο, και από το τελευταίο στάδιο μαζί με την άλμη που απομένει απομακρύνεται με την αντλία καθαλατώσεων ή άλμης.

Το συμπύκνωμα από κάθε στάδιο οδηγείται στον συμπυκνωτή του επόμενου σταδίου και από το τελευταίο στάδιο με αντλία συμπυκνώματος καταθλίβεται μέσω του ψυγείου συμπυκνώματος στη δεξαμενή αποθηκεύσεως.

12.8.6 Αποστακτήρες τύπου πλακών (plate evaporators).

Οι πλάκες που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό των εναλλακτών θερμότητας στη διεργασία της αφαιρώσεως έχουν δώσει το όνομά τους σε αυτού του τύπου τους αποστακτήρες. Χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικός σχεδιασμός για τους αποστακτήρες τύπου αυλών. Οι πλάκες (ή φύλλα) μπορεί να είναι

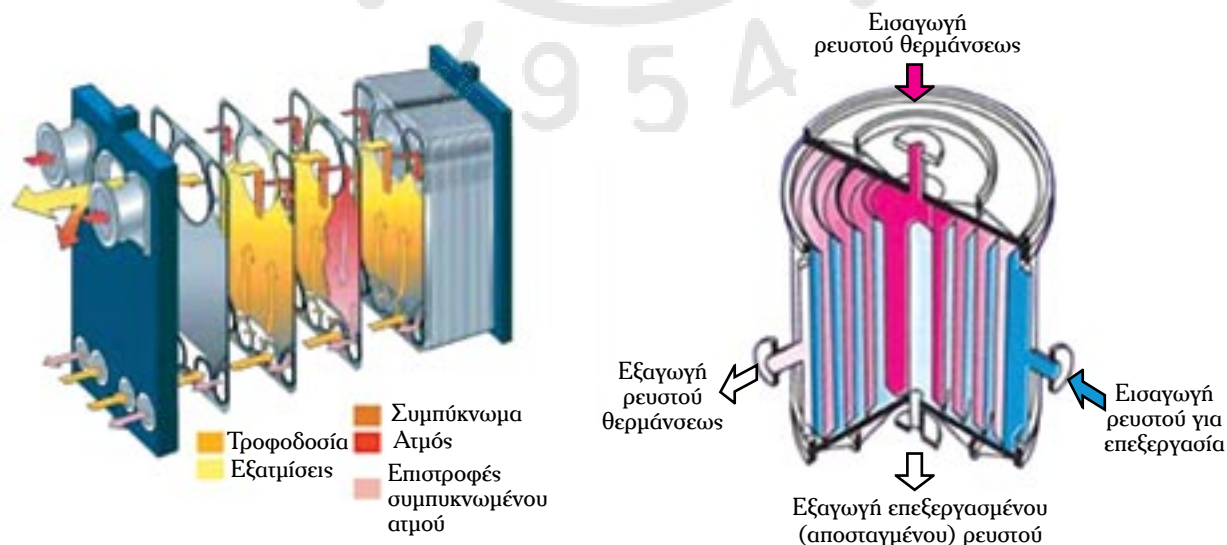
επίπεδες ή σε μορφή καμπύλης και έχουν το επί πλεονέκτημα ότι εκμεταλλεύονται τη φυγόκεντρο δύναμη, βελτιώνοντας τη διαδικασία της μεταφοράς της θερμότητας (σχ. 12.8n).

Έχουν σχετικά μεγάλη επιφάνεια μεταδόσεως, με μικρές απαιτήσεις χώρου για την εγκατάστασή τους. Οι πλάκες που χρησιμοποιούνται, μπορεί να έχουν λεία ή κυματοειδή μορφή, ώστε οι καθαλατώσεις που σχηματίζονται με τη μορφή νιφάδων να απομακρύνονται ευκολότερα.

Τα φύλλα σε κάθε στάδιο διεργασίας αφαιρώσεως είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο με ελαστικά επιθέματα στεγανοποιήσεως ανάμεσά τους. Επίσης, έχουν τρύπες συγκοινωνίας σε τέτοια διάταξη, ώστε να δημιουργούν στενά περάσματα ροής ανάμεσα στις πλάκες και όλα μαζί είναι σφιγμένα με βίδες σε ένα ενιαίο πλαίσιο.

Ο ατμός ή το θερμό νερό στο στάδιο εξατμίσεως διοχετεύεται στα στρώματα που σχηματίζονται ανάμεσα στις πλάκες. Έτσι, μεταδίδεται η απαιτούμενη ενέργεια για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού που διαρρέει την άλλη πλευρά των πλακών, όπου πραγματοποιείται η εξάτμιση. Όταν ο ατμός ή το θερμό νερό αποβάλλει τη θερμότητά του, επιστρέφει στο δίκτυο του λέβητα σαν συμπυκνωμένος ατμός ή στο δίκτυο κυκλοφορίας θερμού νερού αντίστοιχα.

Οι υδρατμοί που παράγονται από τη διεργασία της εξατμίσεως, εισέρχονται στον θάλαμο συμπυκνώσεως μέσω αποχωριστών υγρασίας και υγροποιούνται στις επιφάνειες των πλακών του συμπυκνωτή, που ψύχεται με θάλασσα. Το συμπύκνωμα που συλλέγεται, απομακρύνεται με την αντλία συμπυκνώματος.



Σχ. 12.8n

Αποστακτήρες τύπου πλακών με επίπεδες και καμπύλες πλάκες.

12.9 Περιγραφή των αποστακτών-βραστήρων που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

Τα πλοία με ΜΕΚ χρησιμοποιούν τη θερμότητα του νερού που κυκλοφορεί στο δίκτυο ψύξεως των κιτρίων της κύριας μηχανής ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή αποσταγμένου νερού. Επίσης, στα πλοία που χρησιμοποιείται ατμός από τον λέβητα για πρόωση ή στις βοηθητικές εγκαταστάσεις λεβήτων, πρέπει να παράγεται αποσταγμένο νερό υψηλής ποιότητας για την τροφοδοσία των λεβήτων. Στα επιβατηγά πλοία πρέπει να παράγεται νερό σε ποσότητες που να καλύπτουν τη μεγάλη κατανάλωση. Για τους λόγους αυτούς η επιλογή ενός τύπου αποστακτήρα ή βραστήρα στον σχεδιασμό της εγκατάστασης παραγωγής αποσταγμένου νερού σε ένα πλοίο επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν το είδος και τον τύπο που θα επιλεγεί, την αποδοτικότητα κατά τη διεργασία αποστάξεως και τα οικονομικά οφέλη. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι:

α) Η παραγωγική ικανότητα σύμφωνα με τα λειτουργικά δεδομένα, όπως οι θερμοκρασίες, οι επίσιμες ώρες λειτουργίας, οι αυτοματισμοί ελέγχου κ.λπ..

β) Τα απαιτούμενα μέσα λειτουργίας του βραστήρα, όπως ο ατμός, το νερό λειτουργίας και ψύξεως, η ηλεκτρική ενέργεια, τα προϊόντα καθαρισμού, τα ανταλλακτικά κ.λπ..

γ) Το οικονομικό κόστος της εγκατάστασης.

δ) Τα λειτουργικά έξοδα και το κόστος συντηρήσεως.

ε) Οι προδιαγραφές κατασκευής του αποστακτήρα.

στ) Η επιλογή των υλικών κατασκευής.

ζ) Ο διαθέσιμος χώρος τοποθέτησεως και τα απαιτούμενα δίκτυα για την εγκατάσταση του αποστακτήρα.

η) Η κάλυψη των απαιτήσεων των κανονισμών, ως προς την ασφαλή και φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία του αποστακτήρα και την πρόληψη ατυχημάτων.

Οι αποστακτήρες χαμηλής πίεσεως που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα πλοία και στις νέες κατασκευές, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα σε σύγκριση με τους τύπους που είχαν τοποθετηθεί σε παλαιότερα πλοία. Είναι επαρκώς αξιόπιστοι, ώστε με συνεχή λειτουργία και ελάχιστη επιτήρηση να παράγουν το αποσταγμένο νερό για τις ανάγκες του μηχανοστασίου και τις γενικές καταναλώσεις

του πλοίου. Οι τύποι αποστακτών που συναντάμε περισσότερο σήμερα στα πλοία περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

12.9.1 Οι αποστακτήρες υψούμενης μεμβράνης (Rising Film Evaporators–RFE).

Οι αποστακτήρες αυτοί κατασκευάζονται από πολλούς κατασκευαστές (παλαιότερα αναφέρονταν ως τύπου Weir) και είναι κατάλληλοι για διάφορες κατηγορίες πλοίων. Οι αποστακτήρες υψούμενης μεμβράνης αποτελούνται από το κέλυφος και τους αυλούς (σχ. 12.9α) (shell-and-tube type) και είναι μονοσταδιακοί (single-stage units).

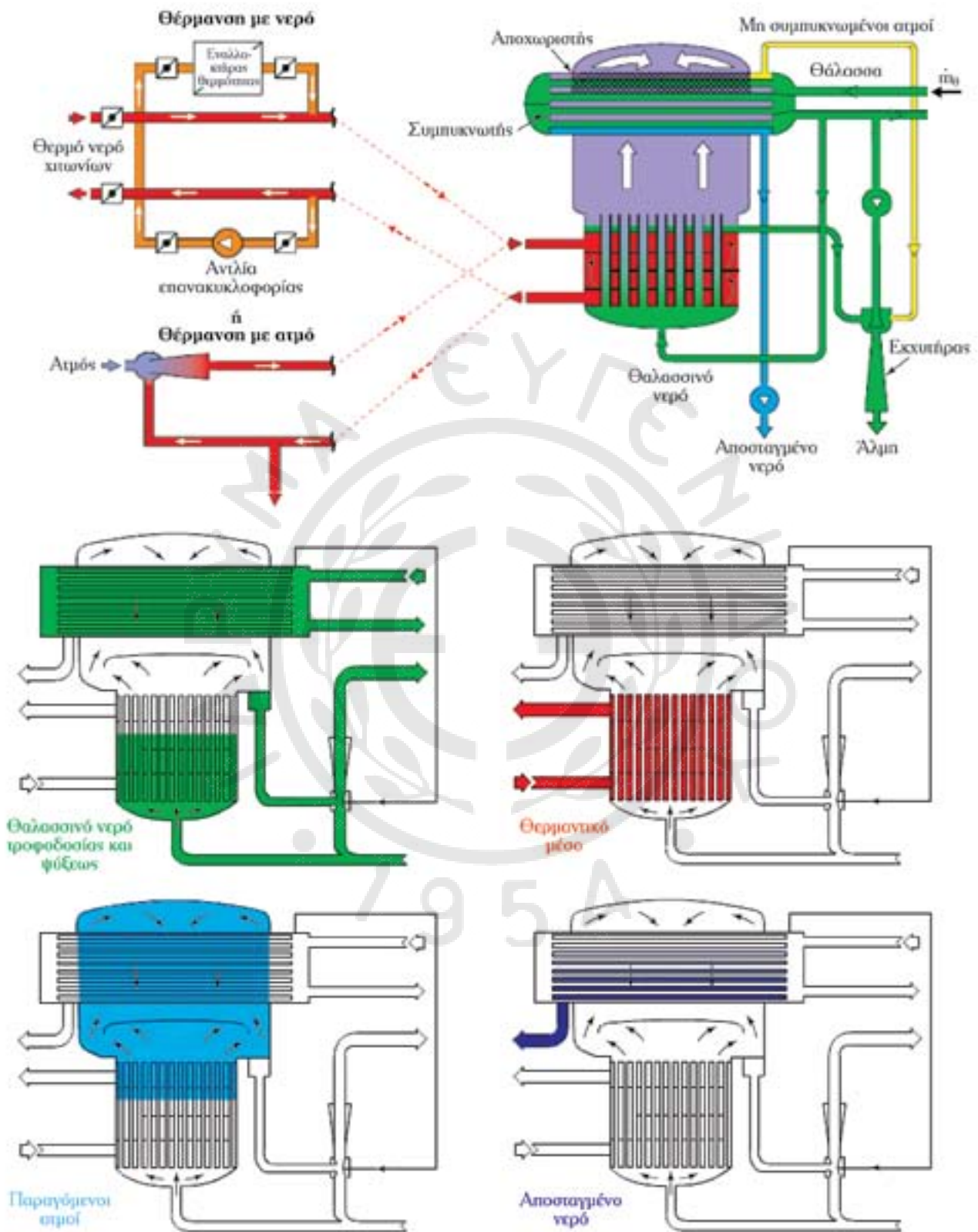
Το κέλυφος του βραστήρα είναι τοποθετημένο πάνω σε σιδερένια βάση, με τα θερμαντικά στοιχεία τοποθετημένα κατακόρυφα στο κάτω μέρος του βραστήρα, ενώ οι αυλοί του ψυγείου του αποσταγμένου νερού είναι τοποθετημένοι οριζόντια στο επάνω μέρος. Οι αυλοί του εξατμιστή και του συμπυκνωτή είναι εκτονωμένοι πάνω σε πλάκες και όλα αποτελούνται από ορείχαλκο.

Το θαλασσινό νερό ρέει μέσα στους κάθετους αυλούς (τούμπα, tubes) (σχ. 12.9β και 12.9γ) σχηματίζοντας μία δέσμη ροής, που δεν αναμειγνύεται με το θερμαντικό μέσο το οποίο κυκλοφορεί εξωτερικά των αυλών. Το θερμαντικό μέσο είναι το θερμό νερό από τα κιτρίων της κύριας μηχανής ή ο ατμός.



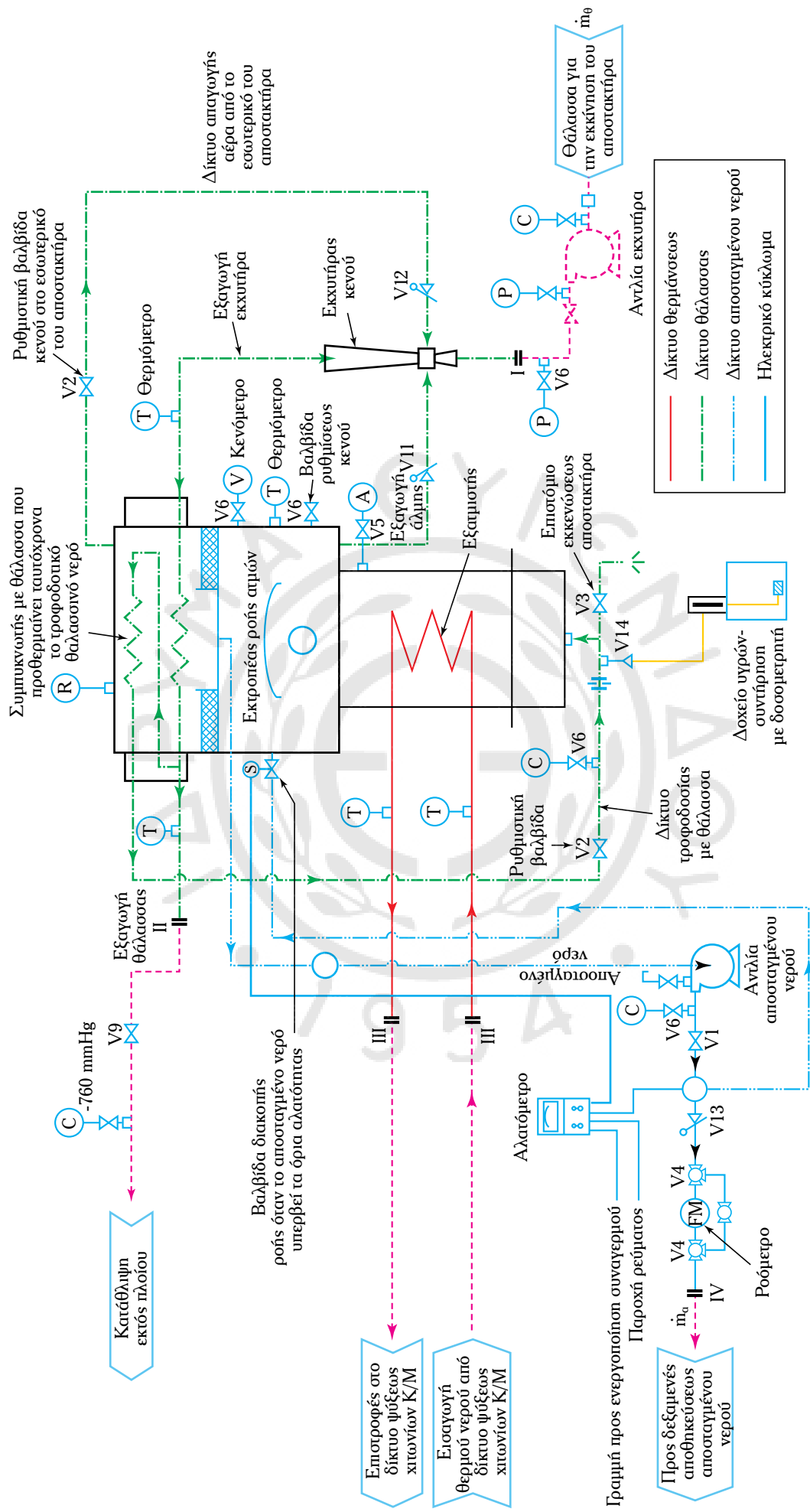
Σχ. 12.9α

Αποστακτήρας με αυλούς.



Σχ. 12.9β

Ροή κατά τη λειτουργία μονοσταδιακού αποστακτήρα.



Σχ. 12.9γ
Σχεδιάγραμμα εγκατάστασής ενός βραστήρα.

Η παροχή του τροφοδοτικού νερού του βραστήρα προέρχεται από ιδιαίτερη φυγοκεντρική αντλία, την **αντλία εκχυτήρα** (ejector pump). Από σωλήνα που συνδέεται στο κάτω μέρος του κελύφους του εξαμιστή εισέρχεται το θαλασσινό τροφοδοτικό νερό. Ένα μέρος από αυτό εξατμίζεται μέσα στους αυλούς και οι ατμοί ανεβαίνουν στο επάνω μέρος του θαλάμου, περνώντας μέσα από τον αποχωριστή υγρασίας (αφυγραντήρα), που είναι κατασκευασμένος με σύρμα πυκνής πλέξεως από κράμα **monel**¹.

Η εξάτμιση πραγματοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 38–45°C), λόγω του κενού που επικρατεί στον θάλαμο του βραστήρα. Το κενό που δημιουργείται από τον εκχυτήρα και σ' αυτό οφείλεται η χαμηλή θερμοκρασία εξατμίσεως του θαλασσινού νερού, κυμαίνεται περίπου από 720 mmHg έως 740 mmHg (0,960 έως 0,987 bar). Ο ατμός που παράγεται, έχοντας αποβάλει την υγρασία του θαλασσινού νερού διερχόμενος από τον αποχωριστή, υγροποιείται στις επιφάνειες των αυλών του συμπυκνωτή που ψύχεται με θάλασσα. Μ' αυτόν τον τρόπο παράγει αποσταγμένο νερό με περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη των 4 ppm.

Η άλμη που συλλέγεται από την ατμοποίηση και τον αποχωρισμό της υγρασίας των υδρατμών κατά την εξάτμιση, μαζί με τον αέρα του θαλάμου, παρασύρονται από τον εκχυτήρα κενού που λειτουργεί με την παροχή θαλασσινού νερού από την αντλία θαλάσσης και αποβάλλονται εκτός πλοίου. Έτσι, το σύστημα του εκχυτήρα δημιουργεί το απαραίτητο κενό για την εκκίνηση του βραστήρα και το διατηρεί σε όλη τη διάρκεια της διεργασίας αποστάξεως. Για να διατηρείται χαμηλά η συγκέντρωση των αλάτων στο τροφοδοτικό του νερού που περιβάλλει τον εξαμιστή, η οποία αυξάνεται σταδιακά λόγω της εξατμίσεως, ο αποστακτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με θάλασσα. Το πλεόνασμα του θαλασσινού νερού στον εναλλακτήρα θερμότητας απομακρύνεται από τον εκχυτήρα με τη συνεχή αναρρόφησή του, μαζί με την άλμη, ελαττώνοντας έτσι και τον σχηματισμό καταλατώσεων. Η τροφοδοσία του βραστήρα ρυθμίζεται από επιστόμιο και πρέπει να διατηρείται σταθερή, διαφορετικά επηρεάζει τη στάθμη, άρα και την απόδοση του αποστακτήρα καθώς και την ποιότητα του αποσταγμένου νερού.

Το κέλυφος του αποστακτήρα και όλα τα εξαρτήματα που έρχονται σε επαφή με τη θάλασσα αποτελούνται από υλικά ανθεκτικά στη **σημειακή διάβρωση**² (pitting corrosion) και τη σκουριά, όπως το κράμα **cupronickel**³. Το κέλυφος του βραστήρα είναι συνήθως κατασκευασμένο από χάλυβα που προστατεύεται με επίστρωση από ελαστικό, το οποίο εφαρμόζεται με θερμοκόλληση.

Στο σχήμα 12.9δ παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά ενός βραστήρα αυτού του τύπου, που εγκαθίσταται σε ένα πλοίο.

12.9.2 Πολυσταδιακοί ή πολυφασικοί αποστακτήρες.

Σε πλοία όπου οι ανάγκες σε αποσταγμένο νερό είναι μεγαλύτερες χρησιμοποιούνται πολυσταδιακοί αποστακτήρες (σχ. 12.9ε). Η διεργασία αποστάξεως είναι παρόμοια με την απόσταξη με υψούμενη μεμβράνη.

Σε αυτού του τύπου τους αποστακτήρες το μέσο θερμάνσεως για την παραγωγή ατμού στο πρώτο στάδιο είναι ζεστό νερό από τα χιτώνια της κύριας μηχανής ή ατμός από τον λέβητα. Ο ατμός που παράγεται απ' τη θέρμανση του νερού ψύχεται στο στοιχείο εξατμίσεως του επόμενου σταδίου και η θερμότητα που αποβάλλει είναι η θερμότητα για την εξάτμιση στο επόμενο στάδιο.

Το θερμαντικό μέσο κυκλοφορεί εξωτερικά των αυλών του εξαμιστή, παράγοντας υδρατμούς. Η εξάτμιση του τροφοδοτικού θαλασσινού νερού πραγματοποιείται μέσα στους αυλούς σε χαμηλή θερμοκρασία, λόγω του κενού που επικρατεί στο εσωτερικό του υδροθαλάμου.

Οι παραγόμενοι υδρατμοί οδηγούνται μέσω του αποχωριστή στις επιφάνειες των αυλών του συμπυκνωτή. Η υγρασία που συγκρατείται από τον αποχωριστή, επιστρέφει με τη μορφή σταγονιδίων στον υδροθάλαμο και μαζί με το τροφοδοτικό θαλασσινό νερό που δεν έχει ατμοποιηθεί, εισέρχεται στο εσωτερικό των αυλών, στον εξαμιστή του δεύτερου σταδίου. Για να συμπληρωθεί η απαιτούμενη ποσότητα θαλασσινού νερού στον εξαμιστή του δεύτερου σταδίου εισέρχεται επί πλέον θάλασσα από το κάτω μέρος του εξαμιστή στο εσωτερικό των αυλών.

¹ Monel είναι η ονομασία κράματος μετάλλου με περιεκτικότητα σε νικέλιο που φτάνει το 67% και η ονομασία του οφείλεται στην εταιρεία παραγωγής του.

² Σημειακή διάβρωση (pitting corrosion) ονομάζεται η διάβρωση κατά σημεία ή διά βελονισμού.

³ Cupronickel: είναι κράμα χαλκού που περιέχει νικέλιο και ενίσχυση από στοιχεία όπως σίδηρο και μαγγάνιο.

1. Particulars

Document No.						
Classification society						
Type	tubular type					
Model	KE 30.0					
Capacity of Distillate	30.0	t/day				
Max. Salinity	10.0	ppm				
No. of unit per ship	1	unit(s)/ship				
Cooling method	sea water					
Cooling water	inlet temp.	32.0	°C	outlet temp	41.9°C	
	quantity	–	m³/h			
Jacket cooling water	inlet temp.	80.0	°C	outlet temp	69.4°C	
	quantity	68.5	m3/h			
Steam injector system	with					
Capacity of distillate for steam injector system	Capacity	30	t/day			
	pressure	0.59 (6.00)	MPa (kg/cm²)	quantity	1261	
Condenser cover	design pres.	0.34 (3.47)	MPa (kg/cm²)	WTP	0.51 (5.20)	MPa (kg/cm²)
Heater shell	design pres.	0.35 (3.57)	MPa (kg/cm²)	WTP	0.53 (5.40)	MPa (kg/cm²)
Evapo. shell & heater cover	design pres.	0.10 (1.02)	MPa (kg/cm²)	WTP	0.15 (1.53)	MPa (kg/cm²)
Distillate pump & motor	quantity	2.5	m³/h	head	30.0	mAq
	pole	2		output	1.5	kW
Ejector pump & motor (yard supply)	quantity	(75)	m³/h	head	(48)	mAq
	pole	(2)		output	(18.5)	kW
Power source (motor)	AC	440	V	60 Hz	3	Phase
(indicator)	AC		V	60 Hz	1	Phase
Unit	SI+MKS					
Name plate	English					
Caution plate	English & italian					

2. Materials

	Shell	Tube	Tube sheet	Cover	
Evaporator	mild steel			mild steel	
Condenser	stainless steel	alumi. brass	naval brass	cast iron	
Pre-heater		copper nickel			
Heater	mild steel	alumi. brass	naval brass	mild steel	
Water ejector	body: cast bronze		nozzle: stainless steel		
Deflector	Fiber glass reinforced plastic (F.R.P)				
Demister	stainless wire				
Pipe (sea water line)	90/10Cu-Ni, Copper, stainless steel				
(fresf water line)	copper & vinyl pipe				
Steam injector	body: cast bronze		nozzle: stainless steel		
Pump	casing	casing ring	impeller	shaft	shaft seal
Distillate pump	cast iron	cast bronze	phos. bronze	stainless steel	mechanical seal
Ejector pump	—	—	—	—	—

Σχ. 12.96

Χαρακτηριστικά αποστακτήρα υφούμενης μεμβράνης.

Ο ατμός που εξέρχεται από το πρώτο στάδιο, εισέρχεται στον εξατμιστή του δεύτερου σταδίου αλλά εξωτερικά των αυλών, παρέχοντας έτσι την απαιτούμενη θερμότητα για την ατμοποίηση στο δεύτερο στάδιο. Το αποτέλεσμα, εφόσον αποβάλλει τη θερμότητα που μεταφέρει, είναι να συμπυκνωθεί.

Η ίδια διεργασία επαναλαμβάνεται στο επόμενο στάδιο μέχρι το τελευταίο, ανάλογα με το πόσα στάδια έχει ο αποστακτήρας. Όμως, στο τελευταίο στάδιο ο ατμός που παράγεται για να συμπυκνωθεί,

ψύχεται με θάλασσα, η οποία αποτελεί το τροφοδοτικό νερό του πρώτου σταδίου.

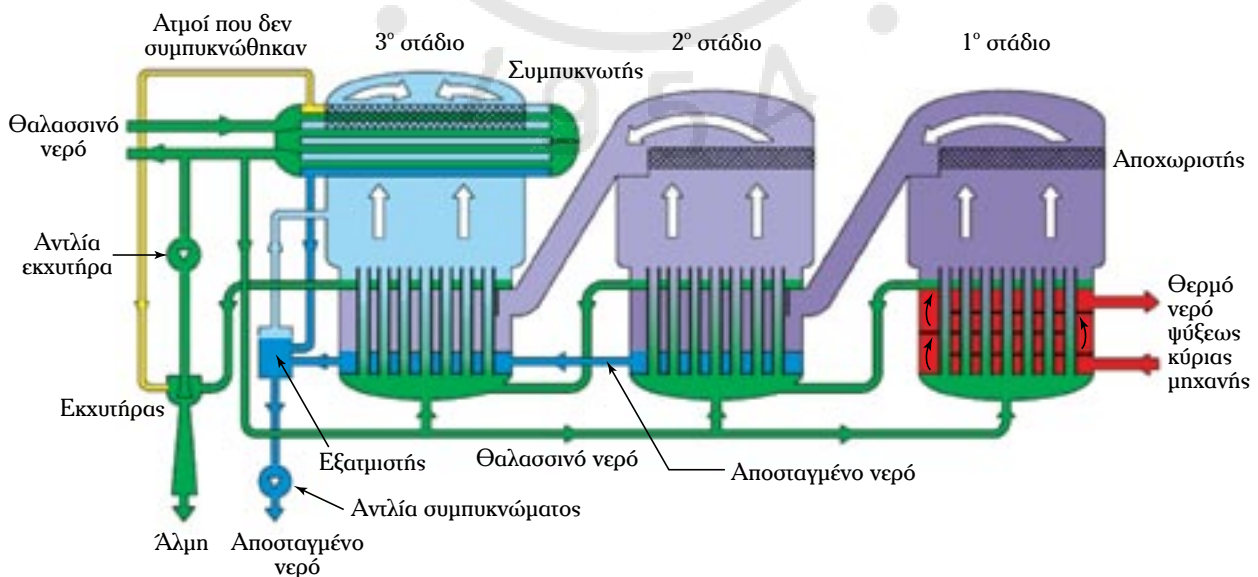
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 12.9στ, η παραγωγή αποσταγμένου νερού αρχίζει στο δεύτερο στάδιο και αυτό το νερό περνάει στο τρίτο για να συγκεντρωθεί σε δεξαμενή (εξατμιστήρας). Εκεί, μαζί με το συμπύκνωμα του τελευταίου (τρίτου) σταδίου, αντλείται από την φυγοκεντρική αντλία συμπυκνώματος για να οδηγηθεί στις δεξαμενές αποθηκεύσεως νερού.

Η άλμη που συσσωρεύεται από όλα τα στάδια



Σχ. 12.9ε

Πολυσταδιακοί ή πολυφασικοί αποστακτήρες.



Σχ. 12.9στ

Ροή πολυσταδιακής αποστάξεως (Multiple Effect Desalination–MED).

απομακρύνεται μαζί με τον αέρα από τον εκχυτήρα κενού του αποστακτήρα.

Ανάλογα με το δίκτυο θαλασσινού νερού ψύξεως του πλοίου, το νερό στον εκχυτήρα παρέχεται είτε από **συμπληρωματική-ενισχυτική αντλία** (booster pump), είτε χωρίς αντλία όταν λόγω επαρκούς πίεσης του δικτύου, το θαλασσινό νερό από την έξοδο του συμπυκνωτή διέρχεται και από τον εκχυτήρα.

12.9.3 Αποστακτήρες με φύλλα (plate evaporators).

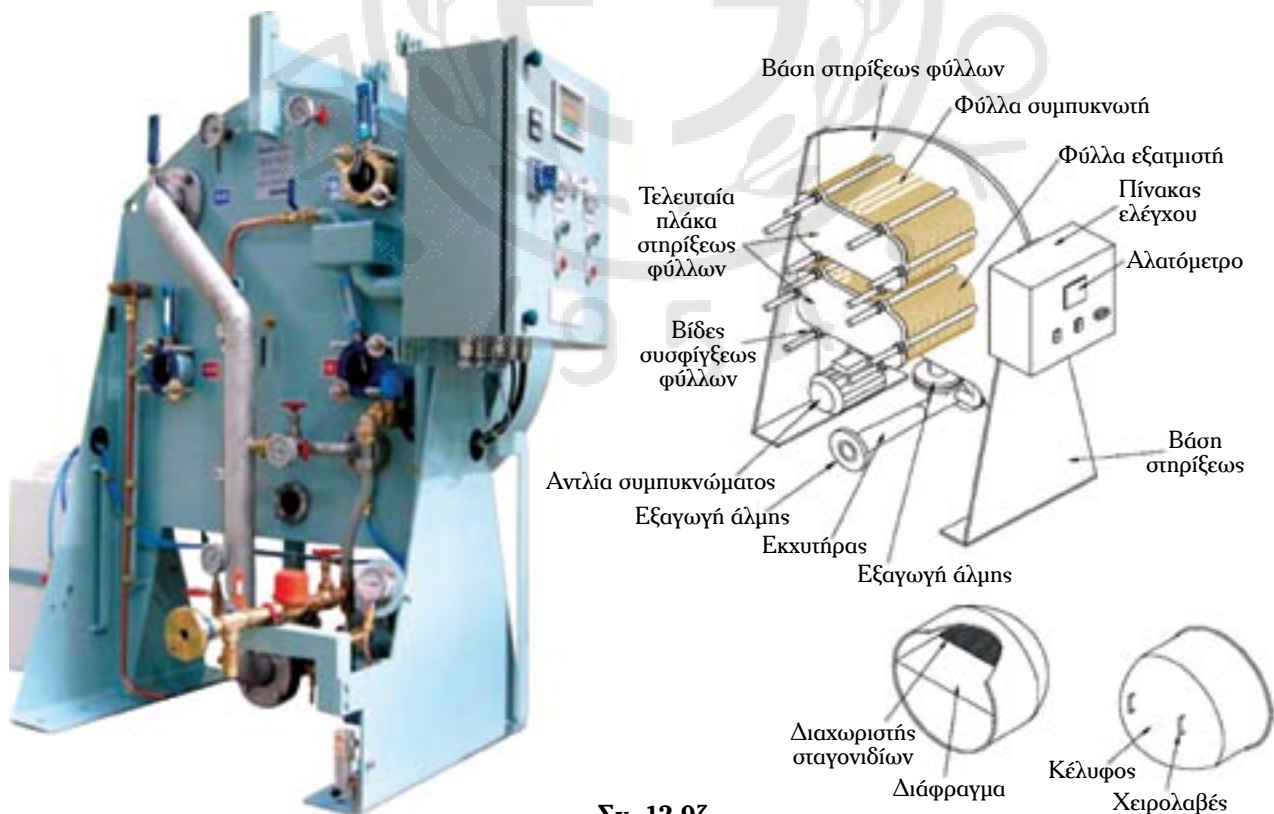
Το θερμαντικό μέσο που χρησιμοποιείται γενικά στους αποστακτήρες με φύλλα στις εγκαταστάσεις των πλοίων είναι το θερμό νερό κυκλοφορίας από το δίκτυο των χιτωνίων της κύριας μηχανής. Εναλλακτικά, όπως και στους άλλους τύπους βραστήρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ατμός. Η παραγωγική τους ικανότητα κυμαίνεται από 10 – 75 τόνους το εικοσιτετράωρο και εξαρτάται από τη διαθέσιμη θερμική ενέργεια.

Ο αποστακτήρας αποτελείται από τη μεταλλική βάση στην επιφάνεια της οποίας βρίσκονται οι τρύπες για τις συνδέσεις του δικτύου, το κέλυφος και τους δύο εναλλακτές θερμότητας, δηλαδή τον εξα-

τμιστή και τον συμπυκνωτή, που είναι κατασκευασμένοι με φύλλα τιτανίου. Εσωτερικά του κελύφους υπάρχει το διάφραγμα που χωρίζει τον θάλαμο σε δύο μέρη, δημιουργώντας τον θάλαμο εξατμίσεως στο κάτω μέρος και τον θάλαμο συμπυκνώσεως επάνω. Ένα μέρος του διαφράγματος αποτελείται από τον αποχωριστή των παραγομένων υδρατμών από την υγρασία απ' όπου περνάει ο ατμός (σχ. 12.9ζ).

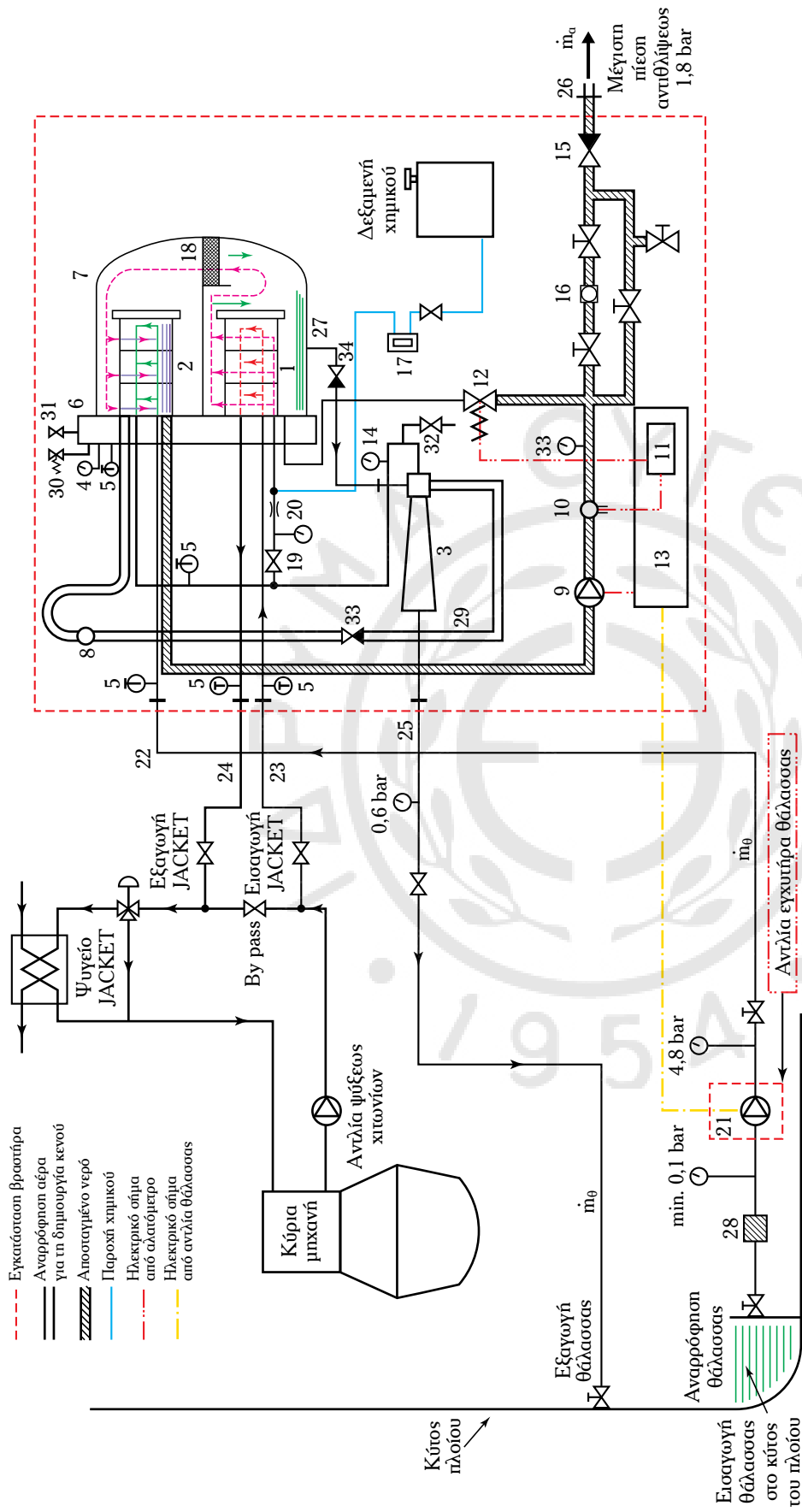
Στο εσωτερικό του θαλάμου, κατά τη λειτουργία του βραστήρα, η πίεση είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής και το κενό δημιουργείται από τον εκχυτήρα κενού (τζιφάρι ejector) με την παροχή θαλασσινού νερού.

Η θάλασσα καταθλίβεται στο δίκτυο του βραστήρα από την αντλία θαλάσσης ή την αντλία του **εκχυτήρα** (ejector pump). Αρχικά, διέρχεται από το ψυγείο του συμπυκνωτή και υγροποιώντας τους ατμούς προθερμαίνεται. Ένα μέρος του θαλασσινού νερού από την έξοδο του συμπυκνωτή περνάει από τον εκχυτήρα κενού δημιουργώντας το απαραίτητο κενό για τη λειτουργία του βραστήρα, ενώ ταυτόχρονα παρασύρεται μέσω του εκχυτήρα και η άλμη από τον θάλαμο εξατμίσεως. Το υπόλοιπο προθερμασμένο θαλασσινό νερό είναι το νερό τροφοδοσίας του βραστήρα που εισέρχεται στον εξατμιστή (σχ. 12.9η).



Σχ. 12.9ζ

Αποστακτήρας με φύλλα.



1. Βραστήρας (evaporator)
2. Συμπυκνωτής (condenser)
3. Εγχυτήρας (ejector)
4. Ένδειξη κενού (vacuum gauge)
5. Θερμόμετρο (thermometer)
6. Βάση στηρίξεως και συνδέσεων βραστήρα (distiller base flange)
7. Κέλυφος βραστήρα (distiller cover)
8. Γυαλί ενδείξεως ροής (flow sight glass)
9. Αντλία αποσταγμένου νερού (fresh water pump)
10. Αισθητήρας αλατόμετρου (salinity sensor)
11. Ενδείκτης αλατότητας salinity indicator (controller)
12. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα solenoid V/V
13. Πίνακας ελέγχου (control panel)
14. Ένδειξη πιέσεως (pressure gauge)
15. Ανεπίστροφη βαλβίδα (pan check valve)
16. Ροόμετρο αποσταγμένου νερού (flow meter for distilled water)
17. Δοσομετρική συσκευή χημικού (chemical dosing unit)
18. Φίλτρο (demister)
19. Τροφοδοτικό επιστόμιο (feed valve)
20. Στόμιο (orifice)
21. Αντλία θαλάσσης εγχυτήρα (ejector pump)
22. Εισαγωγή θαλάσσιου νερού (sea water inlet)
23. Εισαγωγή θερμού νερού κύριας μηχανής (jacket water inlet)
24. Εξαγωγή θερμού νερού κύριας μηχανής (jacket water outlet)
25. Εξαγωγή θάλασσης (sea water outlet)
26. Εξαγωγή αποσταγμένου νερού (distilled water outlet)
27. Εξαγωγή άλμης (brine outlet)
28. Φίλτρο θαλάσσιου νερού sea water filter (max. 5 mm)
29. Σωλήνας αναρρόφησης αέρα για δημιουργία κενού (air/vacuum suction line)
30. Ασφαλιστικός (safety valve)
31. Επιστόμιο για τη ρύθμιση του κενού (vacuum breaker)
32. Επιστόμιο αποστράγγισης (drain line valve)
33. Ανεπίστροφη βαλβίδα (επιστόμιο) (check valve)
34. Ανεπίστροφη βαλβίδα απομακρύνσεως άλμης.

Σχ. 12.9n

Λίσταξη δικτύου του αποστακτήρα με φύλλα.

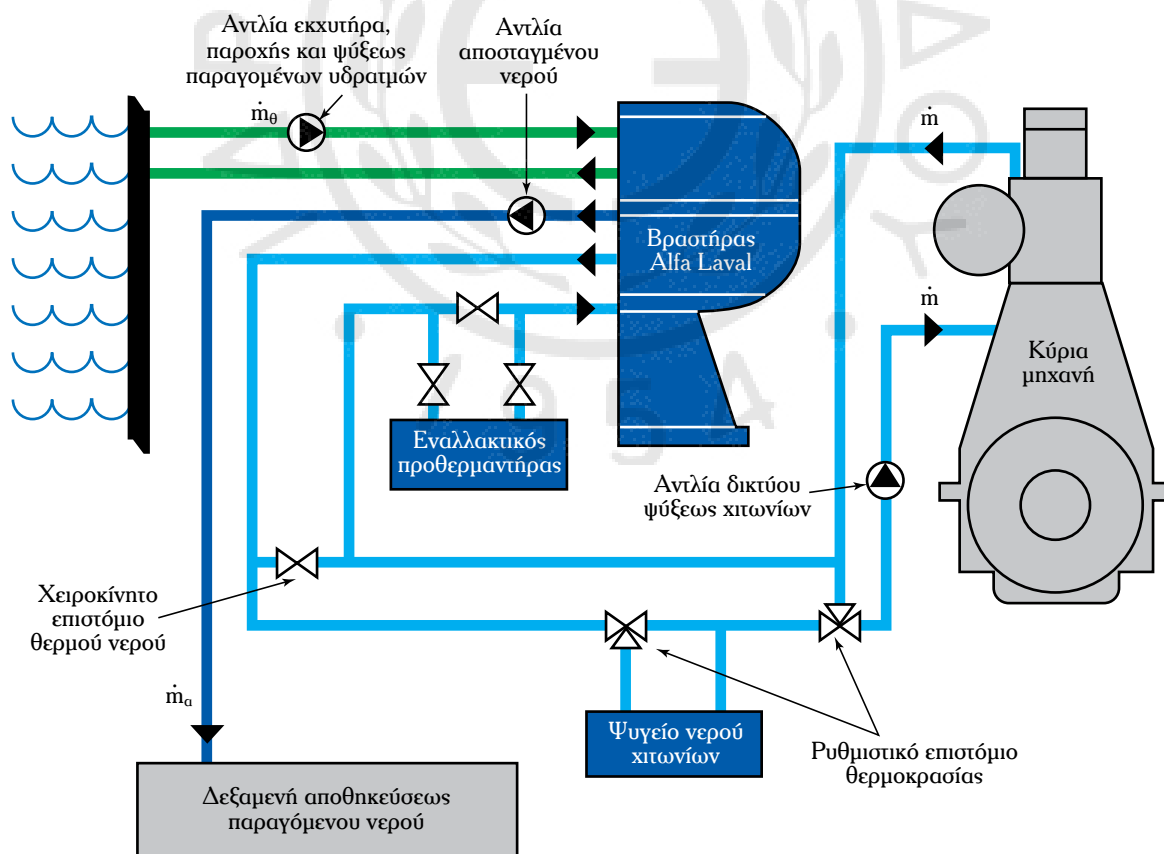
Το νερό τροφοδοσίας εξατμίζεται στις επιφάνειες των φύλλων, εισερχόμενο στον εξατμιστή λόγω του κενού που επικρατεί στο εσωτερικό του θαλάμου. Οι υδρατμοί αποβάλλουν την υγρασία (νερό) που έχουν συμπαρασύρει στον αποχωριστή και ο ατμός συμπυκνώνεται στις επιφάνειες των φύλλων του συμπυκνωτή. Η άλμη που συγκεντρώνεται στον βραστήρα απομακρύνεται με τον εκχυτήρα (τζιφάρι) κενού και ο υγροποιημένος ατμός μέσω της **αντλίας συμπυκνώματος** (fresh water pump). Ένα γενικό διάγραμμα ροής με την εγκατάσταση του **βραστήρα με φύλλα** (plate type evaporator) παρουσιάζεται στο σχήμα 12.9θ.

Για τις μεγάλες καταναλώσεις γλυκού νερού σε πλοία, όπως τα κρουαζιερόπλοια, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν **αποστακτήρες πολυσταδιακοί με φύλλα** (Multi-Effect Plate Distillers – MED) (σχ. 12.9ι). Η ικανότητα παραγωγής τους σε νερό κυμαίνεται από 200 έως 10.000 τόνους ημερησίως. Ο τρόπος λειτουργίας τους δεν διαφέρει από τον τρόπο λειτουργίας των πολυσταδιακών βραστήρων με αυλούς, εκτός από τον τύπο των εξατμιστών που χρησιμοποιούνται και είναι εναλλακτικές θερμότητας με φύλλα.

Άλλος ένα τύπος του βραστήρα με φύλλα είναι ο αποστακτήρας του σχήματος 12.9ια(α). Αποτελείται από στοιβάδα φύλλων, τα οποία είναι δύο ειδών, εναλλάξ τοποθετημένα: τα **φύλλα διεργασίας αποστάξεως** (process plates) και τα **φύλλα λειτουργίας** (utility plates). Οι επιφάνειές τους είναι με τέτοιο τρόπο διαμορφωμένες, ώστε μέσα στη στοιβάδα να δημιουργούνται στάδια [σχ. 12.9ια(β)]. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται το τμήμα της εξατμίσεως, με γκρι το τμήμα διαχωρισμού των υδρατμών και με πράσινο το τμήμα όπου πραγματοποιείται η συμπύκνωση και παράγεται το αποσταμένο νερό.

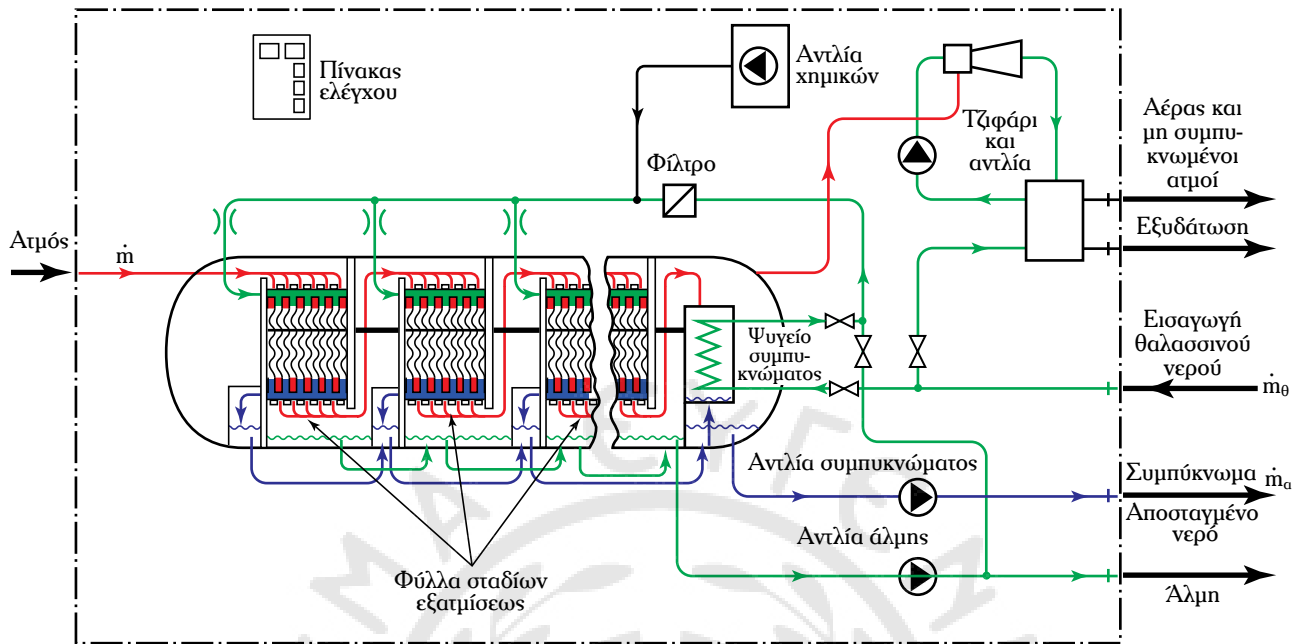
Επίσης, υπάρχει το τζιφάρι για τη δημιουργία του κενού και την απομάκρυνση της άλμης, η αντλία του αποσταγμένου νερού, ο πίνακας ελέγχου και τα αντίστοιχα όργανα ελέγχου πίεσης και θερμοκρασίας.

Με τη λειτουργία του αποστακτήρα αυτού, η θάλασσα που παρέχεται στην εγκατάσταση, διερχόμενη μέσα από τις διαδρομές που δημιουργούνται από τη μορφή των επιφανειών των φύλλων, θερμαίνεται από το θερμαντικό μέσο το οποίο είναι νερό, από το



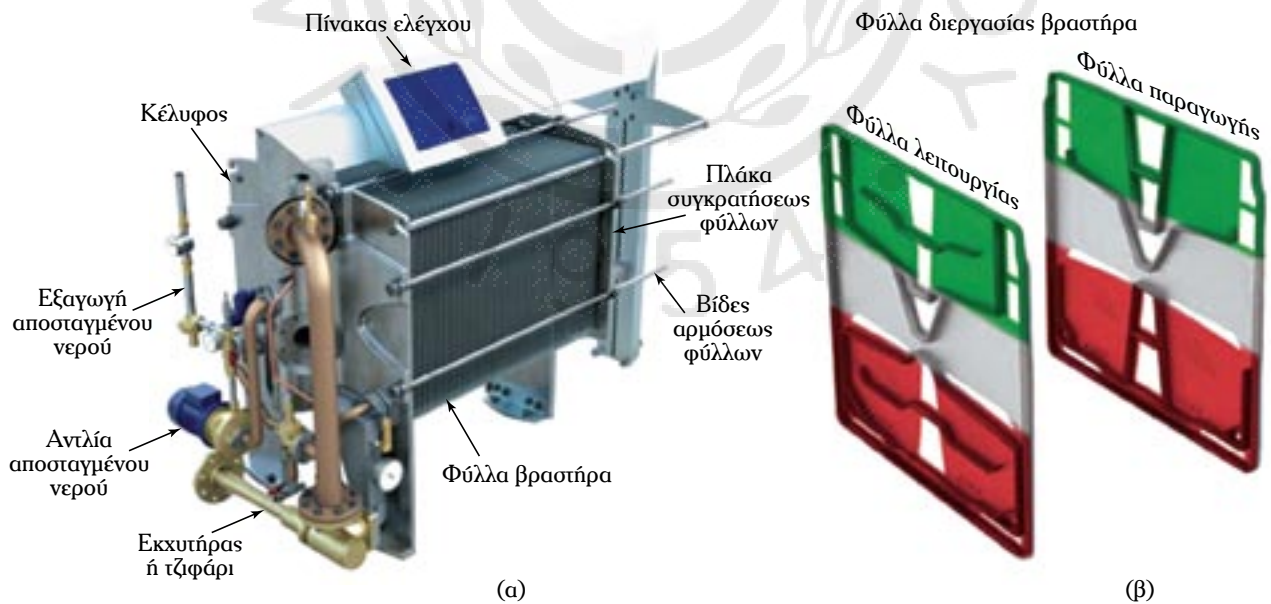
Σχ. 12.9θ

Παράσταση διαγράμματος ροής του αποστακτήρα με φύλλα στο δίκτυο του πλοίου.



Σχ. 12.9i

Διάταξη πολυσταδιακών αποστακτήρων (βραστήρων) με φύλλα.



Σχ. 12.9ia

Ο αποστακτήρας (βραστήρας) και τα φύλλα απ' τα οποία αποτελείται.

δίκτυο ψύξεως των χιτωνίων της κύριας μηχανής, ή ατμός από τον λέβητα (σχ. 12.9ιβ).

Το θαλασσινό νερό εξατμίζεται στους 40–60°C λόγω του κενού που δημιουργεί το τζιφάρι και φτάνει το 85–95% του απόλυτου κενού. Ο ατμός που δημιουργείται, ανεβαίνει στο στάδιο διαχωρισμού, όπου διαχωρίζεται από τα άλατα, τα οποία συλλέγονται ως άλμη στο κάτω μέρος του αποστακτήρα για να απομακρυνθούν από το τζιφάρι.

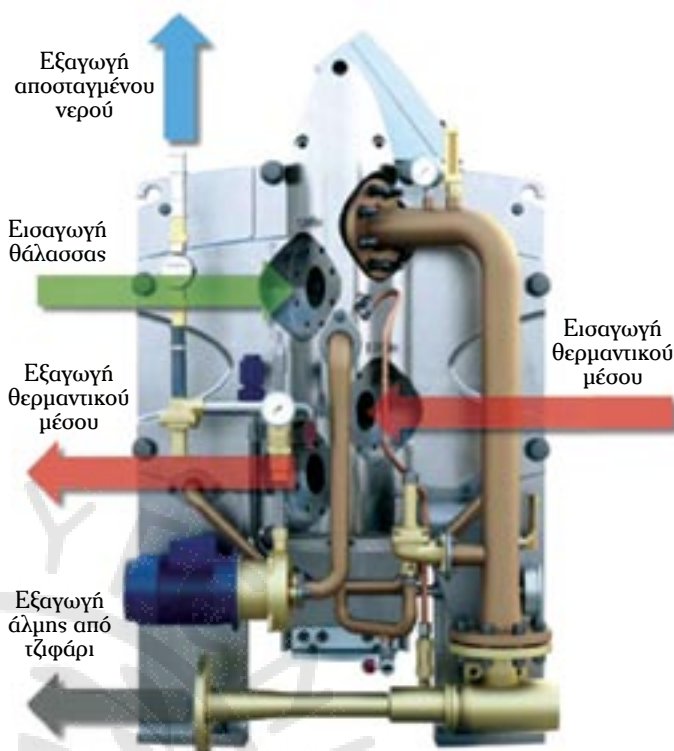
Ο καθαρός ατμός συμπυκνώνεται από τη θάλασσα στο επάνω μέρος του αποστακτήρα. Από εκεί, το αποσταγμένο νερό συγκεντρώνεται και οδηγείται μέσω της αντλίας αποσταγμένου νερού στις δεξαμενές αποθηκεύσεως.

12.9.4 Πολυσταδιακοί αποστακτήρες ακαριαίας εξατμίσεως [multi stage flash (MSF) evaporators].

Στους πολυσταδιακούς αποστακτήρες που χρησιμοποιούνται για τις μεγάλες ανάγκες παραγωγής γλυκού νερού στα κρουαζιερόπλοια ανήκει και ο τύπος ακαριαίας πολυσταδιακής αποστάξεως, που η παραγωγική του ικανότητα είναι από 50 έως 1000 τόνους νερού ημερησίως.

Συνοπτικά, αναφέρεται η διαδικασία αποστάξεως αυτού του τύπου βραστήρων. Το θαλασσινό νερό διερχόμενο με θετική πίεση από την αντλία θαλάσσης μέσω των αυλών των συμπυκνωτών, από το τελευταίο προς το πρώτο στάδιο σύμφωνα με τη σειρά θερμάνσεως-συμπυκνώσεως των διαφόρων σταδίων, συμπυκνώνει τους παραγόμενους ατμούς σε κάθε στάδιο, ενώ ταυτόχρονα προθερμαίνεται.

Την τελική θέρμανση την λαμβάνει στον προθερμαντήρα θαλασσινού νερού τροφοδοσίας, από το νερό των χιτωνίων της μηχανής ή τον ατμό του λέβητα ή από συνδυασμό και των δύο (σχ. 12.9ιγ). Στη φάση αυτή το τροφοδοτικό θαλασσινό νερό, με μέγιστη θερμοκρασία περίπου 80°C και πίεση πάνω από την ατμοσφαιρική, 740 mmHg, βρίσκεται κάτω από την πίεση που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί βρασμός. Με την εισαγωγή του στο πρώτο στάδιο, όπου οι συνθήκες πίεσεως είναι κάτω από την πίεση βρασμού λόγω του κενού που επικρατεί, το τροφοδοτικό νερό εξατμίζεται ακαριαία (παράγρ. 12.6), ώστε να επιστρέψει σε μια κατάσταση ισορροπίας. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο με την πίεση και την θερμοκρασία να ελαττώνονται διαδοχικά. Η άλμη που συγκεντρώνεται, αποβάλλεται από το τελευταίο στάδιο, ενώ το



Σχ. 12.9ιβ

Λειτουργία βραστήρα.

αποσταγμένο νερό που συλλέγεται σε όλα τα στάδια, αναρροφάται από την αντλία αποσταγμένου νερού. Ο εκκυτήρας δημιουργεί το απαραίτητο κενό απομακρύνοντας ταυτόχρονα τα μη συμπυκνωμένα αέρια από τους θαλάμους.

12.10 Ποιότητα και επεξεργασία αποσταγμένου νερού.

Η ρύπανση στα παράκτια ύδατα οφείλεται στην απόρριψη λυμάτων, στην απόρριψη χημικών αποβλήτων από τη βιομηχανία, στην αποστράγγιση των λιπασμάτων και σε μεμονωμένες περιπτώσεις οφείλεται στις προσαράξεις, συγκρούσεις ή διαρροές φορτίου. **Για τον λόγο αυτόν προβλέπεται οι αποστακτήρες να μην χρησιμοποιούνται σε απόσταση μικρότερη των 20 μιλίων απ' τις ακτές ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ρυπάνσεως.** Παρά τις προφυλάξεις που λαμβάνονται, κοντά στις ακτές είναι δυνατόν επιβλαβείς μικροοργανισμοί να περάσουν στο δίκτυο, στο εσωτερικό της δεξαμενής ή να προσβληθεί το νερό που υπάρχει στη δεξαμενή από βακτήρια από κάποια προϋπάρχουσα μόλυνση και να καταστεί αναγκαία η αποστείρωσή του, πριν αυτό αποθηκευθεί στις δεξαμενές νερού του πλοίου.

Η θερμοκρασία λειτουργίας στους αποστακτήρες

ρίου. Το νερό των δεξαμενών, πριν οδηγηθεί στην κατανάλωση, διέρχεται από φίλτρα άνθρακα και μονάδα αποχλωρίωσης που περιέχει ανθρακικό ασβέστιο, ώστε να αφαιρεθεί η γεύση χλωρίου.

β) Η **ηλεκτροκαταλυτική μέθοδος** (electrocatalytic method). Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ανόδρια αργύρου διαχέοντας ιόντα αργύρου (Ag^+) στο νερό που διέρχεται από τα ηλεκτρόδια (σχ. 12.10α). Ο άργυρος είναι τοξικός για τους επιβλαβείς μικροοργανισμούς, και σε αντίθεση με το χλώριο δεν εξατμίζεται, αλλά παραμένει διαλυμένος στο νερό.

Η μονάδα αυτή τοποθετείται κοντά στον αποστακτήρα και πριν τη δεξαμενή αποθηκεύσεως. Η ποσότητα των ιόντων αργύρου που απελευθερώνεται στο διερχόμενο από τα ηλεκτρόδια νερό ελέγχεται από τη ρύθμιση στην τάση του ρεύματος που παρέχεται στα ηλεκτρόδια. Για μικρές ποσότητες νερού, η τάση του ρεύματος είναι μικρή και όλη η ποσότητα του νερού περνάει από τη συσκευή. Όταν η ποσότητα του αποσταγμένου νερού είναι μεγάλη, με παράκαμψη της συσκευής, μόνο ορισμένη ποσότητα νερού περνάει μέσα από τα ηλεκτρόδια, όπου παρέχεται υψηλή τάση και στη συνέχεια ενώνεται με την υπόλοιπη ποσότητα του νερού. Η περιεκτικότητα αργύρου στο νερό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,08 ppm.

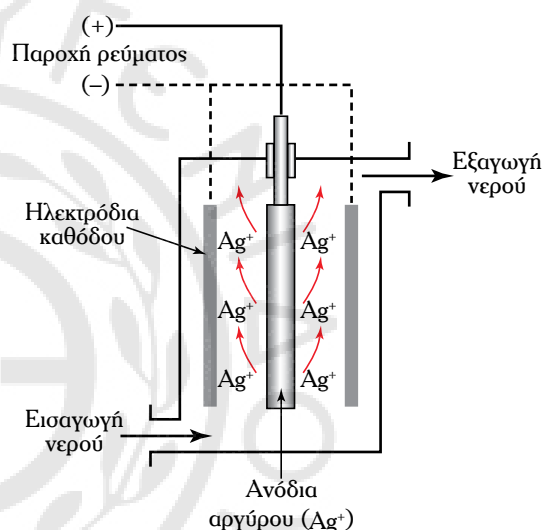
γ) **Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία** (ultra-violet sterilization). Με τη μέθοδο αυτή, το αποσταγμένο νερό διέρχεται από τον θάλαμο υπεριώδους ακτινοβολίας (σχ. 12.10β). Το κέλυφος του θαλάμου είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, ο οποίος περιέχει χαμηλής πίεσης σωλήνες ατμών υδραργύρου, τοποθετημένους σ' ένα κιβώτιο καλαζα. Οι σωλήνες είναι συνδεδεμένοι με έναν μετασχηματιστή για ασφάλεια. Η υπεριώδης ακτινοβολία που παράγεται από τους σωλήνες ατμών υδραργύρου είναι αυτή που σκοτώνει όλα τα βακτηρίδια, τους ιούς και κάθε βλαβερό μικροοργανισμό.

δ) **Ηλεκτρικός μετρητής αλατότητας** (electric salinometer). Το παραγόμενο νερό απ' τον αποστακτήρα, πριν οδηγηθεί στις δεξαμενές αποθηκεύσεως από την αντλία συμπυκνώματος, πρέπει να είναι κατάλληλης ποιότητας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κατανάλωσης για τις οποίες προορίζεται. Ο έλεγχος στην ποιότητα του παραγόμενου νερού πραγματοποιείται από την εκκίνηση του αποστακτήρα και σε όλη τη διάρκεια της παραγωγής με τον **μετρητή αλατότητας** (salinometer).

Αν η συσκευή ανιχνεύσει υπέρβαση του ορίου αλατότητας, που έχει οριστεί από τον χειριστή και

τις αντίστοιχες προδιαγραφές του αποστακτήρα, το νερό απορρίπτεται εκτός του δικτύου που οδηγεί στις δεξαμενές. Αυτό πραγματοποιείται μέσω κατάλληλα τοποθετημένων ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, ενώ ταυτόχρονα ενεργοποιείται **σήμα συναγερμού** (alarm). Το ακατάλληλο νερό, λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε άλατα, απορρίπτεται εκτός πλοίου ή επανακυκλοφορεί επιστρέφοντας στον βραστήρα για περαιτέρω επεξεργασία, μέχρι να μειωθεί η περιεκτικότητα σε άλατα.

Το αποσταγμένο νερό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όμως η προσθήκη προσμείξεων όπως είναι τα άλατα στο διάλυμα αυξάνουν την αγωγιμότητά του, η οποία μπορεί να μετρηθεί. Δεδομένου



Σχ. 12.10α

Ηλεκτρολύτης αποστείρωσης.



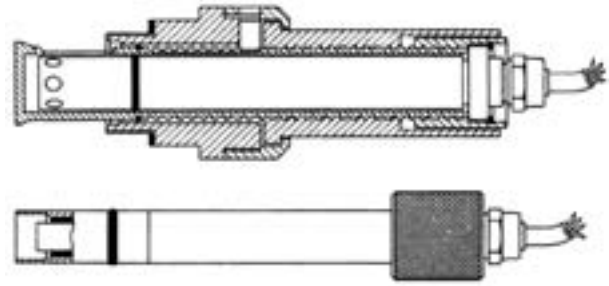
Σχ. 12.10β

Σύστημα αποστείρωσης με υπεριώδη ακτινοβολία.

ότι η αγωγιμότητα του νερού σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε προσμείξεις αλάτων που υπάρχουν σε μικρή συγκέντρωση, ένας μετρητής αγωγιμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση της συγκεντρώσεως αυτής, επομένως και της αλατότητας του αποσταγμένου νερού. Σ' αυτήν τη μέτρηση της αγωγιμότητας βασίζεται η λειτουργία του **ηλεκτρικού αλατόμετρου** (electric salinometer) (σχ. 12.10γ), το οποίο είναι βαθμονομημένο να μετράει σε μονάδες αγωγιμότητας (microhms) ή σε μονάδες αλατότητας, μέρη αλάτων ανά εκατομμύριο, μικρογραμμάρια ανά λίτρο (ppm ή mg).

Το αλατόμετρο αποτελείται από τον αισθητήρα, που τοποθετείται στον σωλήνα εξαγωγής του συμπυκνώματος από τον αποστακτήρα, και είναι κατασκευασμένος από ομόκεντρα κυλινδρικά ηλεκτρόδια ανοξείδωτου χάλυβα. Ο αισθητήρας λειτουργεί σε πίεση έως 10,5 bar και σε νερό θερμοκρασίας από 15 έως 110°C, με δυνατότητα να αφαιρούνται τα ηλεκτρόδια, ώστε να ελέγχονται και να καθαρίζονται όταν ο αποστακτήρας βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Στον αισθητήρα, το ρεύμα που παρέχεται ελέγ-

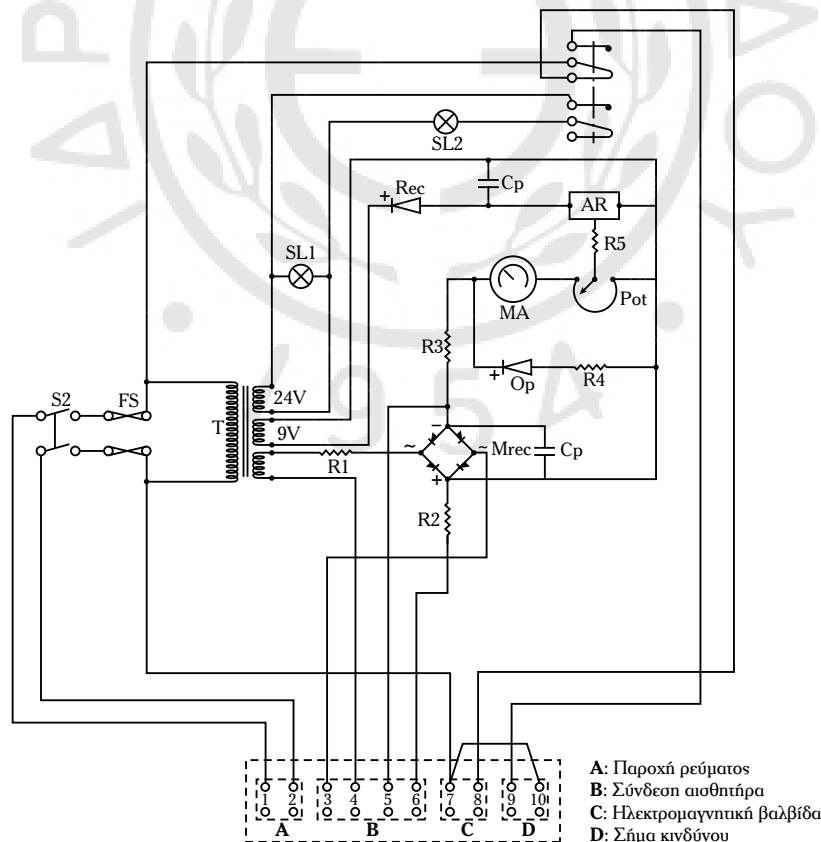


Σχ. 12.10γ

Αισθητήρας μετρήσεως αλατότητας.

χεται με κατάλληλη διάταξη από αντιστάσεις, μετασχηματιστή ρεύματος, γέφυρα ανορθώσεως και ροοστάτη που μετράει το ρεύμα που παρέχεται στα ηλεκτρόδια (σχ. 12.10δ). Η μέτρηση της ενδείξεως του ρεύματος που παρέχεται, ενεργοποιεί τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, αποβάλλοντας το ακατάλληλο νερό εκτός δικτύου.

Το αλατόμετρο επαναφέρει αυτόματα τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, όταν η μέτρηση της αλατότητας του παραγόμενου νερού επανέλθει στα επιθυμητά επίπεδα.



Σχ. 12.10δ

Παράσταση κυκλώματος ηλεκτρικού αλατόμετρου.

12.11 Συντήρηση και επισκευές αποστακτήρων-βραστήρων.

Για την ικανοποιητική λειτουργία του αποστακτήρα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, οι σταθερές συνθήκες λειτουργίας έχουν ιδιαίτερη σημασία. Οι απότομες μεταβολές στην πίεση, στη θερμοκρασία ή στη στάθμη του τροφοδοτικού νερού στον εξατμιστή, διαταράσσουν την ισορροπία του συστήματος, με αποτέλεσμα την αύξηση της αλατότητας του αποσταγμένου νερού. Το κενό κατά τη λειτουργία του αποστακτήρα θα πρέπει να διατηρείται στην κανονική τιμή, διότι αν ελαττωθεί, παρατηρείται τάση δημιουργίας καθαλατώσεων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση του αποστακτήρα.

Στην εποχή μας οι αποστακτήρες είναι κατασκευασμένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε μετά την εκκίνησή τους να απαιτούν ελάχιστη επίβλεψη, αρκεί να τηρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις.

Η συχνή εκκίνηση και κράτηση του αποστακτήρα, λόγω της διαταράξεως στην ισορροπία πίεσεως και θερμοκρασίας, καθώς και η ποιότητα του τροφοδοτικού νερού, δημιουργούν καθαλατώσεις με την πάροδο του χρόνου στις επιφάνειες εξατμίσεως και στους εναλλακτήρες θερμότητας (σχ. 12.11). Ο περιοδικός έλεγχος και καθαρισμός στον εναλλακτήρα θερμότητας, στα ψυγεία συμπυκνώματος και στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τη θάλασσα προλαμβάνει μείωση στην απόδοση του αποστακτήρα. Οι μέθοδοι καθαρισμού του αποστακτήρα είναι οι ακόλουθες:

α) Ο **μηχανικός καθαρισμός** των βραστήρων με βούρτσες για τους αυλούς και τις πλάκες. Είναι χρονοβόρος, λόγω της δυσκολίας στην πρόσβαση των στοιχείων, καθώς και λόγω της ποιότητας των υλικών κατασκευής τους και απαιτείται προσοχή. Στις περιπτώσεις αυτές, για να γίνει ο καθαρισμός του αποστακτήρα απαιτείται αποσυναρμολόγηση ορισμένων τμημάτων.

β) Ο **χημικός καθαρισμός**, ο οποίος γίνεται με **σουλφαμινικό οξύ** (sulfamic acid) αναμεμιγμένο με διαβρεκτικά πρόσθετα και χρώμα, γνωστό ως SAF ACID.

Το διαβρεκτικό ενισχύει τη δράση του σουλφαμινικού οξέος στην απομάκρυνση των καθαλατώσεων από τις επιφάνειες που καθαρίζονται, ενώ το χρώμα αποτελεί μία απλή μέθοδο που καθορίζει το επίπεδο διαλύσεως της ποσότητας του οξέος για τον αποτελεσματικό καθαρισμό. Τα συνθετικά καθαριστικά περιέχουν και άλλες ουσίες, ώστε να εξουδετερώνε-

ται η επίδραση του οξέος στα μέταλλα. Για τη χρήση των περισσότερων συνθετικών παρασκευασμάτων, επειδή έχουν ως βάση το οξύ, επιβάλλεται να τηρούνται οι γενικοί κανόνες ασφάλειας και αυτοί που προτείνονται από τον κατασκευαστή.

Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτική λειτουργία του αποστακτήρα είναι οι παρακάτω:

α) Η καθαριότητα των επιφανειών του εξατμιστή, οι οποίες έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Λόγω της εξατμίσεως με την πάροδο του χρόνου, δημιουργούνται καθαλατώσεις, που πρέπει να απομακρύνονται με καθαρισμό, γιατί εμποδίζεται η μετάδοση της θερμότητας. Σ' αυτήν την περίπτωση, μετά την απενεργοποίηση του αποστακτήρα στο λιμάνι γίνεται καθαρισμός των επιφανειών ή είναι δυνατόν να γίνει έκτακτη στάση και καθαρισμός εν πλω.

β) Η αποδοτική λειτουργία του συμπυκνωτή, που είναι και αυτή αποτέλεσμα της καθαριότητας των επιφανειών, οι οποίες καθαρίζονται όταν είναι σταματημένος ο αποστακτήρας.

γ) Η διατήρηση του κενού σε κανονική τιμή, η οποία επηρεάζεται απ' τη στεγανότητα του απο-



Σχ. 12.11

Θάλαμος εξατμίσεως βραστήρα πριν και μετά από συντήρηση.

στακτήρα και γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να γίνεται σχολαστικός έλεγχος κατά τη συναρμολόγηση των τμημάτων μετά τον καθαρισμό.

δ) Η αποδοτική λειτουργία του εκχυτήρα, που επηρεάζει το κενό και την άντληση της άλμης από τον αποστακτήρα. Η πώση της αποδόσεως του οφείλεται είτε στην άντληση αέρα από το περιβάλλον, λόγω της κακής στεγανοποιήσεως κατά τη συναρμολόγηση, είτε στη φθορά του εκχυτήρα (τζιφάρι), όπου επιβάλλεται να γίνει η αντικατάστασή του.

ε) Η στεγανή λειτουργία της αντλίας συμπυκνώματος, που επίσης επηρεάζει το κενό του αποστακτήρα. Στην αντλία συμπυκνώματος πρέπει να διαπιστωθεί η αιτία για την οποία αναρροφά αέρα από το περιβάλλον και στη συνέχεια να στεγανοποιηθεί ή, αν κρίνεται αναγκαίο, να επισκευαστεί.

στ) Υπερχείλιση ή χαμηλή στάθμη του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας στον εξατμιστή. Πρέπει να γίνεται έλεγχος των αιτιών που προκάλεσαν τη μεταβολή της στάθμης, που μπορεί να οφείλεται στην αντλία θαλάσσης εκχυτήρων ή στο δίκτυο, και ανάλογα να πραγματοποιούνται οι ενέργειες για την επαναφορά της στα επιθυμητά επίπεδα λειτουργίας.

12.12 Ώσμωση.

Η **ώσμωση** είναι μία φυσική διεργασία και ορίζεται ως το φαινόμενο της διελεύσεως μορίων διαλύτη, που συνήθως ενδέχεται να είναι μόρια νερού, από το διάλυμα μικρότερης συγκεντρώσεως μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκεντρώσεως.

Στη φύση εμφανίζεται στα φυτά όταν η υγρασία

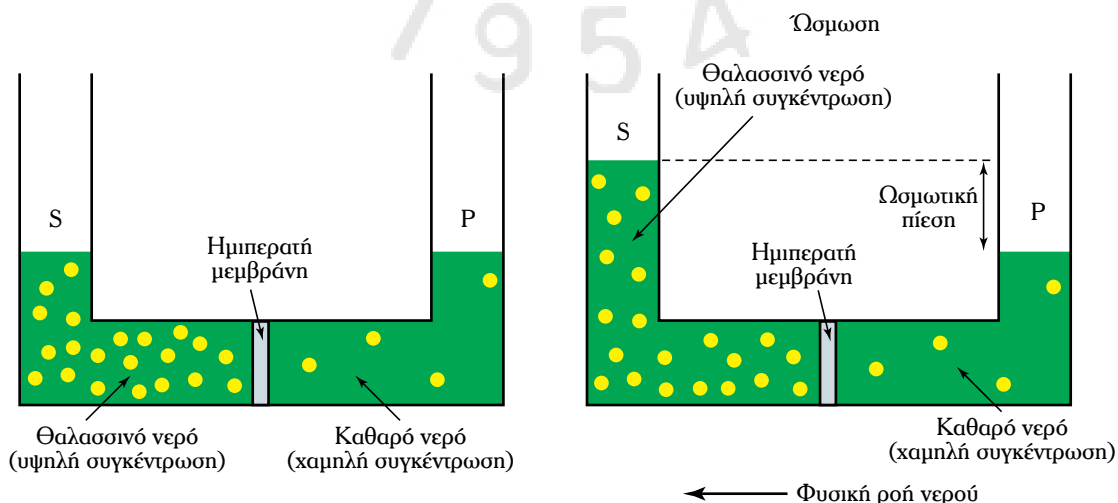
από το έδαφος περνάει μέσα από τη μεμβράνη που καλύπτει τις ρίζες, χωρίς να χάνονται τα θρεπτικά συστατικά για το φυτό. Η μεμβράνη αυτή λειτουργεί ως εμπόδιο, επιτρέποντας τη διέλευση του νερού προς μία διεύθυνση, συγκρατώντας τις θρεπτικές ουσίες που υπάρχουν διαλυμένες στο εσωτερικό της ρίζας.

Η ώσμωση αποδεικνύεται εργαστηριακά με τη χρήση δύο θαλάμων που συνδέονται σε διάταξη με μορφή U. Στον δεξιό θάλαμο υπάρχει γλυκό νερό P (pure water), ενώ στον αριστερό θάλαμο θαλασσινό νερό S (sea water). Το νερό των δύο θαλάμων χωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη M (membrane) και παρουσιάζεται στο σχήμα 12.12 που ακολουθεί.

Οι δύο θάλαμοι βρίσκονται σε ατμοσφαιρική πίεση, αλλά λόγω της διαφοράς στην πυκνότητα των υγρών που διαχωρίζονται από τη μεμβράνη, παρατηρείται το φαινόμενο της διαχύσεως μορίων νερού από τον θάλαμο P, στον οποίο υπάρχει το γλυκό νερό με χαμηλότερη πυκνότητα, προς τον θάλαμο S, με το θαλασσινό νερό που έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.

Η διαφορά στην πυκνότητα οφείλεται στη μεγαλύτερη συγκέντρωση στο θαλασσινό νερό ιόντων Na^+ , Ca_2^+ , Cl και μεγαλύτερων μορίων όπως γλυκόζης, ουρίας, βακτηρίδιων κ.ά.. Επίσης, η ημιπερατή μεμβράνη είναι ένα είδος φίλτρου που επιτρέπει τη διέλευση των μορίων του νερού, ενώ δεν επιτρέπει να διέρχονται τα μεγαλύτερα μόρια, που είναι διαλυμένα στο θαλασσινό νερό.

Τα μόρια καθαρού νερού, διερχόμενα μέσα από τη μεμβράνη, ελαττώνουν την πίεση, αυξάνοντας τη συγκέντρωση αλάτων του καθαρού νερού, ενώ ταυτόχρονα διαχέονται στη μάζα του θαλασσινού νερού αραιώνοντας τη συγκέντρωση των αλάτων και αυξά-



Σχ. 12.12

Εργαστηριακή απόδειξη ωσμωτικής διεργασίας.

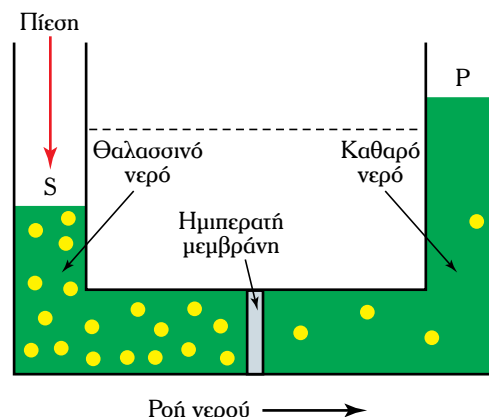
νοντας την πίεση στον θάλαμο S. Η αύξηση στην πίεση εμφανίζεται ως υδροστατική διαφορά της στάθμης του καθαρού νερού και του θαλασσινού νερού, που έχει ως συνέπεια τη βαθμιαία ελάττωση της ροής του νερού που διέρχεται στον θάλαμο S. Αποτέλεσμα είναι η πίεση σε κάποιο σημείο να αντισταθμίζει τη ροή, αποκαθιστώντας μια κινητική ισορροπία και επιτρέποντας παράλληλα στα μόρια του νερού να ρέουν και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η υδροστατική διαφορά της πίεσης στο σημείο ισορροπίας ονομάζεται **ωσμωτική πίεση**.

Η ωσμωτική πίεση παραμένει σταθερή στο σημείο ισορροπίας, εφόσον δεν επεμβαίνουν εξωτερικοί παράγοντες που μπορεί να επιβραδύνουν, να σταματήσουν ή ακόμα και να αντιστρέψουν την ώσμωση. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι η πίεση που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του νερού στην πλευρά της μεμβράνης με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, δηλαδή στην πλευρά του θαλασσινού νερού.

12.13 Αντίστροφη ώσμωση.

Όταν η πίεση που ασκείται στην επιφάνεια του υγρού με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη της ωσμωτικής, έχει ως αποτέλεσμα το νερό να διαχέεται αντίθετα με τη ροή που έχει με την ώσμωση μέσω της ημιπερατής μεμβράνης από την υψηλότερη προς τη χαμηλότερη συγκέντρωση.

Όταν το φαινόμενο της ωσμώσεως αντιστραφεί, η διεργασία ονομάζεται **αντίστροφη ώσμωση** (σχ. 12.13α). Τα μόρια του νερού θα διαχέονται από το θαλασσινό νερό προς το καθαρό, αυξάνοντας περισσότερο τη συγκέντρωση του θαλασσινού νερού. Έτσι, η ταχύτητα του νερού είναι ανάλογη με τη δύναμη της αντιστροφής και είναι ίση με τη διαφορά της εφαρμοζόμενης πίεσης και της ωσμωτικής.



Σχ. 12.13α

Απεικόνιση της αντίστροφης ωσμώσεως.

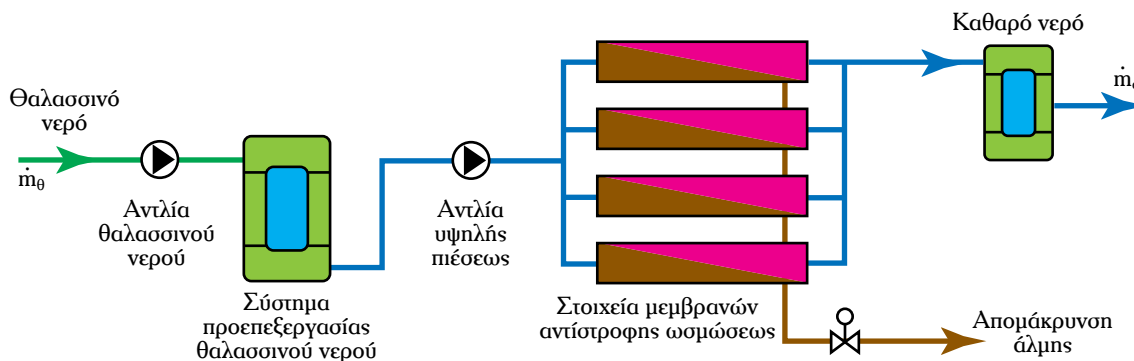
12.13.1 Η διεργασία της αντίστροφης ωσμώσεως.

Αν και η αντίστροφη ώσμωση φαίνεται σαν ένα πολύπλοκο σύστημα, είναι πραγματικά μια απλή και εύκολη διαδικασία φιλτραρίσματος και παραγωγής νερού, η οποία προϋποθέτει την υποχρεωτική διέλευση του νερού από μία ημιπερατή μεμβράνη προς την αντίθετη κατεύθυνση της φυσικής ροής ωσμώσεως.

Τα βασικά μέρη που αποτελούν ένα σύστημα αντίστροφης ωσμώσεως (σχ. 12.13β) είναι:

- Η αντλία θαλάσσης τροφοδοτικού νερού.
- Το φίλτρο προεπεξεργασίας.
- Η αντλία υψηλής πίεσης τροφοδοτικού νερού.
- Η μονάδα μεμβρανών αντίστροφης ωσμώσεως.
- Η επεξεργασία του καθαρού νερού.

Με την αντλία τροφοδοτείται η εγκατάσταση με θαλασσινό νερό, που αρχικά διέρχεται από το σύστημα προεπεξεργασίας. Ο βασικός σκοπός της προεπεξεργασίας του τροφοδοτικού νερού είναι η



Σχ. 12.13β

Διάταξη συστήματος αντίστροφης ωσμώσεως για παραγωγή αποσταμένου νερού.

μεγιστοποίηση της αποδόσεως της εγκαταστάσεως και η αξιόπιστη λειτουργία των μεμβρανών, μειώνοντας τις επικαθίσεις των αλάτων και τη μόλυνση των μεμβρανών. Με αυτόν τον τρόπο επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής του συστήματος και ο χρόνος αντικαταστάσεως των μεμβρανών.

Στην προεπεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιούνται χημικά ή μηχανικά μέσα (φίλτρα κ.ά.), κάτι που εξαρτάται είτε από τον κατασκευαστή και τη μέθοδο που ακολουθεί, είτε από τη διαμόρφωση των μεμβρανών, την κατασκευή τους και τις προδιαγραφές της ποιότητας του νερού που θα παραχθεί. Με την προεπεξεργασία του νερού προλαμβάνεται η αύξηση στο κόστος λειτουργίας και στο κόστος συντηρήσεως της εγκαταστάσεως. Η διεργασία σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνει τη χλωρίωση του θαλασσινού νερού για την πρόληψη δημιουργίας επιστρωμάτων οργανικής μόλυνσεως και επιτυγχάνεται με χημικό εξαμεταφοσφωρικό νάτριο, το οποίο προστίθεται στο νερό εξουδετερώνοντας τα βακτηρίδια στις επιφάνειες των στοιχείων. Σε άλλες μονάδες γίνεται χρήση υποχλωριώδους νατρίου ή λιγότερο συχνά υποχλωριώδους ασβεστίου.

Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει θρόμβωση-κροκίδωση. Πρόκειται για την μέθοδο με την οποία γίνεται χρήση καταλλήλων ουσιών, προκειμένου να προκληθεί η συσσωμάτωση και ο διαχωρισμός των αιωρούμενων στερεών από το νερό, το οποίο κατόπιν διέρχεται από φίλτρα άμμου και πολυστρωματικά φίλτρα. Αυτά περιλαμβάνουν στρώσεις από αδρανή υλικά και φίλτρα κυλινδρικά, ανθεκτικά στη διάβρωση, από ανοξείδωτο υλικό ή κατάλληλο πολυμερές ή χάλυβα επενδυμένο με κατάλληλη επίστρωση. Εκεί, συγκεντρώνονται αιωρούμενα στερεά με μέγεθος μεγαλύτερο από 1–5 μm .

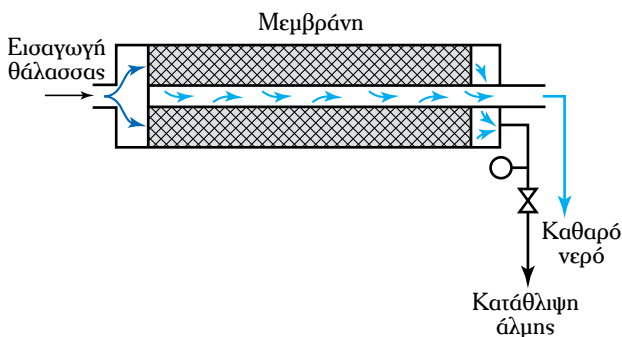
Το χλώριο που χρησιμοποιείται για την αποστείρωση του θαλασσινού νερού, εάν φτάσει στις μεμ-

βράνες, θα τις καταστρέψει. Γι' αυτόν τον λόγο πραγματοποιείται στο νερό αποχλωρίωση με τη χρήση φίλτρων ενεργού άνθρακα ή με την προσθήκη μέσω δοσομετρικής αντλίας αναγωγικών μέσων, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να παραμείνει χλώριο στο διάλυμα.

Μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας, το νερό διέρχεται από την αντλία υψηλής πίεσεως, η οποία τροφοδοτεί τις μεμβράνες, με πίεση νερού που φτάνει τα 60 bar. Πρόκειται για εμβολοφόρο ή πολυσταδιακή αντλία από ανοξείδωτο χάλυβα, κεραμικό ή άλλο υλικό, ανθεκτικό στη διάβρωση.

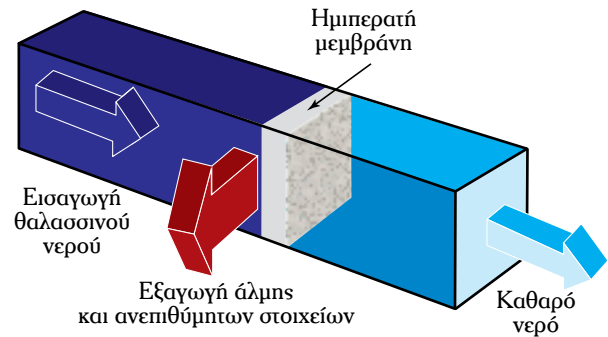
Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας που εξέρχεται από την αντλία υψηλής πίεσεως διοχετεύεται στο στοιχείο της αντίστροφης ωσμώσεως, που αποτελείται από ειδικό δοχείο πίεσεως, μέσα στο οποίο βρίσκεται η μεμβράνη. Τα δοχεία είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ατσάλι ή άλλο ανθεκτικό στη διάβρωση υλικό, εφόσον το διάλυμα τροφοδοσίας είναι θαλασσινό νερό. Επίσης, τα δοχεία πρέπει να αντέχουν στις υψηλές πιέσεις που δημιουργούνται από την αντλία. Τα άκρα τους έχουν ειδικές πλάκες με κατάλληλα εξαρτήματα, ώστε να είναι δυνατή η συναρμολόγησή τους χωρίς να υπάρχουν διαρροές θάλασσας ή διαρροή του παραγόμενου νερού στο περιβάλλον. Οι πλάκες αυτές είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλίσουν τη στεγανότητα μεταξύ της θάλασσας και του παραγόμενου νερού.

Μέσα στα δοχεία βρίσκεται η μεμβράνη της αντίστροφης ωσμώσεως, η οποία αποτελεί την «καρδιά» του συστήματος παραγωγής του νερού (σχ. 12.13γ). Έτσι, η θάλασσα, πέφτοντας επάνω στη μία πλευρά της μεμβράνης, με την πίεση που φέρει από την αντλία υψηλής πίεσεως, επιτρέπει μόνο στα μόρια του γλυκού νερού να περάσουν απ' τους πόρους της (σχ. 12.13δ). Τα ιόντα αλάτων, βακτηρίδια, ιοί και άλλα



Σχ. 12.13γ

Ροή στη μεμβράνη αντίστροφης ωσμώσεως.



Σχ. 12.13δ

Διεργασία αντίστροφης ωσμώσεως.

σωματίδια όπως νιτρικά, φθοριούχα, βάριο, άργυρος, αρσενικό, μόλυβδος, χρώμιο, κάδμιο, σελήνιο, υδράργυρος και άλλα που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό, συγκεντρώνονται και αποβάλλονται.

Μία εικόνα για το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης συγκρινόμενο με τα επιβλαβή στοιχεία που περιέχονται στο θαλασσινό νερό και απορρίπτονται παρουσιάζεται στο σχήμα 12.13ε. Σ' αυτό, οι πόροι της μεμβράνης έχουν μέγεθος 0,001–0,0001 micron, ενώ το μέγεθος ενός ιού είναι 0,02–0,4 micron και ένα βακτήριο είναι 0,4–1 micron.

Το σημαντικό με την αντίστροφη ώσμωση είναι ότι τα ανεπιθύμητα στοιχεία αποβάλλονται με τη χρήση μέρους του νερού παροχής. Αυτό ξεπλένει τη μεμβράνη σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας κρατώντας την καθαρή, δίχως να δημιουργούνται επικαθίσεις στις επιφάνειες, όπως συμβαίνει με τα κοινά συστήματα φίλτρων. Έτσι, οι μεμβράνες μένουν καθαρές από επικαθίσεις, ενώ με μια μικρή συντήρηση μπορούν να λειτουργήσουν και να διαρκέσουν πολύ περισσότερο σαν καινούργιες.

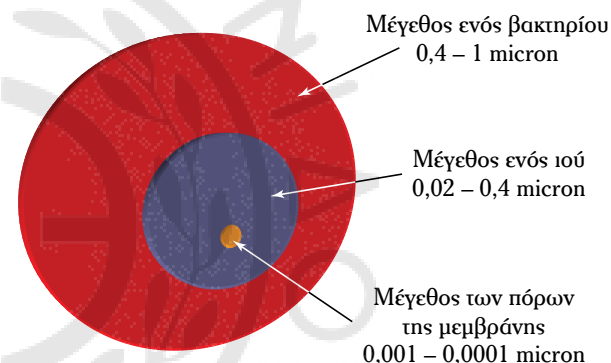
Για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας νερού απαιτείται και μεγάλη επιφάνεια μεμβράνης, με τέτοιον τρόπο δομημένη, ώστε να είναι ανθεκτική στη μεγάλη πίεση που ασκείται από την αντλία υψηλής πίεσης. Το υλικό που χρησιμοποιείται στην παραγωγή των συνθετικών μεμβρανών διαχωρισμού του θαλασσινού νερού είναι πολυαμίδιο ή πολυσουλφονικό, σε μορφή πολύ λεπτών φύλλων. Τα φύλλα αυτά βέβαια θα ήταν εύθραυστα στην υψηλή πίεση που ασκείται από την αντλία, αν δεν υπήρχε κάποιου είδους ενίσχυση. Η λύση στη δυσκολία να συνδυασθούν οι απαιτήσεις μεγάλης επιφάνειας από εύθραυστα φύλλα, στα οποία ασκείται μεγάλη πίεση, αντιμετωπίζεται με τη δημιουργία κυλίνδρων από τη μεμβράνη, τυλιγμένη σε ελικοειδή μορφή (σχ. 12.13στ).

12.13.2 Δοχείο και μεμβράνη αντίστροφης ωσμώσεως.

Ο πυρήνας του κυλίνδρου της μεμβράνης είναι ένας σωλήνας με πόρους (τρύπες), επάνω στον οποίο είναι τυλιγμένα τα στάδια της μεμβράνης. Κάθε στάδιο αποτελείται από φύλλο χοντρής γάζας, που διατηρεί την απόσταση μεταξύ των μεμβρανών κάθε σπείρας. Έτσι, δημιουργείται η διαδρομή του

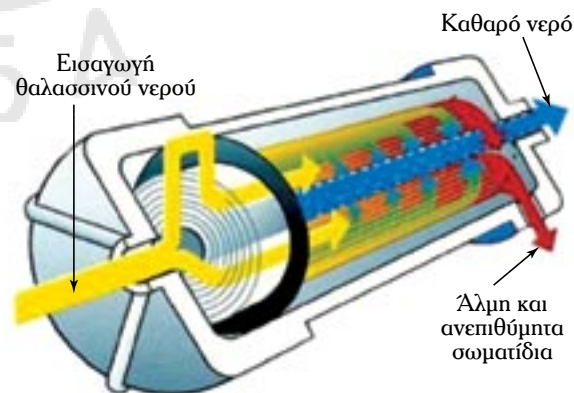
τροφοδοτικού νερού προς το φύλλο απ' το οποίο διέρχεται το καθαρό νερό, μέχρι να φτάσει στον κεντρικό σωλήνα του κυλίνδρου, απ' όπου εξαγεται καθαρό νερό (σχ. 12.13ζ).

Ο τρόπος του σχεδιασμού των κυλίνδρων είναι τέτοιος, ώστε το θαλασσινό νερό περνώντας μέσα από τα τυλίγματα κάθε σταδίου που δημιουργείται από τη μεμβράνη, να απομακρύνει τις κατακαθίσεις που συσσωρεύονται σταδιακά στην επιφάνεια της μεμβράνης. Το τροφοδοτικό νερό παρασύροντας την άλμη και τα ανεπιθύμητα στοιχεία που είναι διαλυμένα στη θάλασσα, διατηρεί τις επιφάνειες της μεμβράνης καθαρές. Για την πρόληψη και την αποφυγή κατακαθίσεων αλάτων χρησιμοποιούνται οξέα (υδροχλωρικό οξύ ή θειικό οξύ) μειώνοντας το pH^1 του διαλύματος ή μικρές ποσότητες χημικού εξαμεταφωσφορικού νατρίου, που αποτρέπουν τις κατακαθίσεις. Οι ουσίες αυτές απορροφώνται επιφανειακά



Σχ. 12.13ε

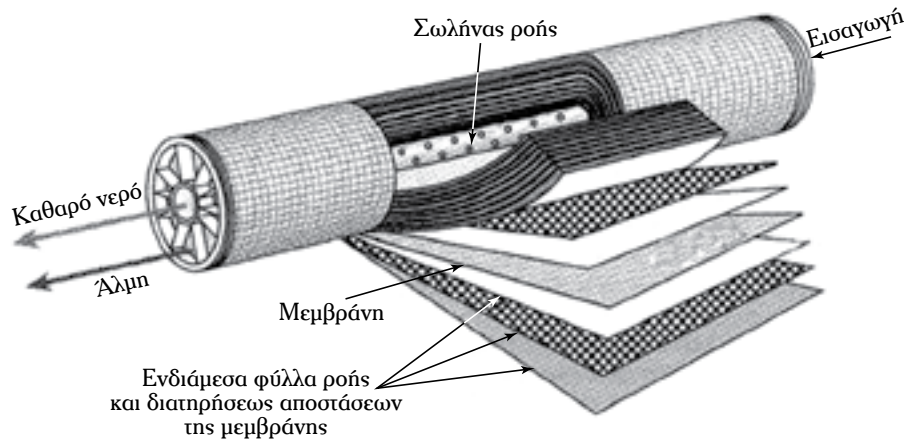
Σύγκριση των πόρων της μεμβράνης με τα άλλα στοιχεία.



Σχ. 12.13στ

Λειτουργία μεμβράνης.

¹ pH είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως των ιόντων υδροξωνίου (H_3O^+) σε ένα υδατικό διάλυμα. Δίδεται ως $pH = -\log[H^+]$ και αποτελεί μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας μίας χημικής ουσίας.



Σχ. 12.13ζ

Τομή μεμβράνης αντίστροφης ωσμώσεως.

στο αρχικό στάδιο, όπου σχηματίζονται τα άλατα, αποτρέποντας την ανάπτυξη κρυστάλλων και συνεπώς απομακρύνονται ευκολότερα οι κατακαθίσεις από τις επιφάνειες.

Το νερό που παράγεται με αντίστροφη ωσμωση παρουσιάζει πολύ μικρή σκληρότητα, σχετικά χαμηλό pH με διαβρωτικές ιδιότητες στις σωληνώσεις, που αποτελούνται από απλό γαλβανισμένο ή ακόμα και ανοξείδωτο χάλυβα. Έτσι, πριν αποθηκευθεί, είναι απαραίτητο να προστεθούν συγκεκριμένα χημικά παρασκευάσματα, που θα το καταστήσουν κατάλληλο για κατανάλωση. Οι ενέργειες για τη βελτίωση του νερού είναι οι εξής:

α) Η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει με την προσθήκη CaCl_2 και MgCl_2 μέσω δοσομετρικής αντλίας ή με τη διέλευση του νερού μέσα από στήλες που περιέχουν ορυκτό Calcite, το οποίο περιλαμβάνει άλατα μαγνησίου και ασβεστίου.

β) Το pH αυξάνεται με την προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου ή όξινου ανθρακικού νατρίου, ανάλογα με το pH του παραγόμενου νερού, προκειμένου να φτάσει την επιθυμητή τιμή.

γ) Για τη μείωση των διαβρωτικών ιδιοτήτων του αφαλατωμένου νερού προστίθεται αντιδιαβρωτικό, όπως διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις. Επίσης, απαραίτητη είναι η χλωρίωση του νερού, που γίνεται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου.

12.13.3 Τα κύρια χαρακτηριστικά της αντίστροφης ωσμώσεως.

Τα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων αντίστροφης ωσμώσεως είναι τα εξής:

α) Όλα τα συστήματα αντίστροφης ωσμώσεως λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο.

β) Όλα τα συστήματα αποτελούνται από τα ίδια βασικά εξαρτήματα.

γ) Απομακρύνουν σταθερά και αποτελεσματικά τα διαλυμένα άλατα, τις διαλυμένες οργανικές ουσίες και τα μικροσκοπικά σωματίδια από το νερό.

δ) Εφόσον δεν γίνεται εξάτμιση του νερού, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη, όπως και οι εκπομπές ρύπων από την κατανάλωση καυσίμων για την παραγωγή αυτής της ενέργειας.

ε) Δεν μεταβάλλεται η χημική σύσταση των υλικών που είναι διαλυμένα στο θαλασσινό νερό, εφόσον δεν απαιτείται η θέρμανση του νερού τροφοδοσίας του συστήματος.

στ) Η πραγματική διαφορά μεταξύ των συστημάτων αντίστροφης ωσμώσεως συνίσταται στην ποιότητα των φίλτρων και των μεμβρανών.

ζ) Η διαδικασία της αντίστροφης ωσμώσεως είναι απλή, χωρίς περίπλοκο χειρισμό, ενώ η συντήρηση πραγματοποιείται εύκολα και πιο οικονομικά.

12.14 Η αντίστροφη ωσμωση στα πλοία.

Η λειτουργία στις εγκαταστάσεις αντίστροφης ωσμώσεως των πλοίων (σχ. 12.14) δεν διαφέρει από τα άλλα συστήματα παραγωγής νερού αντίστροφης ωσμώσεως. Πρόκειται για συμπαγή συστήματα σε ένα ενιαίο πλαίσιο βάσεως ή με κάθε στάδιο επεξεργασίας χωριστό όπως προεπεξεργασία, αντλία υψηλής πίεσης, μεμβράνες κ.λπ. και εξαρτάται από τις ανάγκες παραγωγής νερού για κάθε πλοίο.

Οι εγκαταστάσεις αντίστροφης ωσμώσεως σε πλοία είναι αυτόνομες και εφοδιασμένες με όλο τον εξοπλισμό μετρήσεως και αξιολογήσεως της ποιότητας του παραγόμενου νερού και τους απαραίτητους αυτοματισμούς που εξασφαλίζουν την παραγωγή

γλυκού νερού, χωρίς να απαιτούνται δαπανηρές μετατροπές και συνδέσεις με άλλα δίκτυα του μηχανοστασίου.

Η παραγωγή τους κυμαίνεται από 50 έως 1000 m³ ημερησίως, ανάλογα με την εγκατάσταση, και με περιεκτικότητα σε αλάτι μικρότερη από 500 μS/cm (microsiemens/cm) για την παραγωγή πόσιμου νερού. Για νερό που θα χρησιμοποιηθεί στα δίκτυα του μηχανοστασίου, όπως το δίκτυο ψύξεως των μηχανών, και για το τροφοδοτικό νερό των λεβήτων, η περιεκτικότητα σε αλάτι του παραγόμενου νερού είναι μικρότερη από 5 μS/cm, με την προϋπόθεση ότι η εγκατάσταση περιλαμβάνει τουλάχιστον σύστημα μεμβρανών δύο βαθμίδων.

Η επεξεργασία νερού με αντίστροφη ώσμωση χρησιμοποιείται σε επιβατηγά πλοία, κρουαζιερόπλοια, όπου οι απαιτήσεις καταναλώσεως γλυκού νερού είναι μεγάλες, αλλά και στα ποντοπόρα εμπορικά πλοία, χωρίς να απαιτείται θερμική ενέργεια από τη λειτουργία άλλων μηχανημάτων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την καλή λειτουργία της αντίστροφης ωσμώσεως είναι:

α) Η πίεση της εισαγωγής στις μεμβράνες του τροφοδοτικού νερού, που πρέπει να είναι υψηλή, ώστε να επιτυγχάνεται η διέλευση του νερού αντίθετα με τη φυσική ώσμωση, κατά την οποία το γλυκό νερό με χαμηλή συγκέντρωση, μέσω των πόρων της

μεμβράνης, διεισδύει προς το θαλασσινό νερό, που έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση.

β) Η θερμοκρασία του νερού που επηρεάζει το ποσοστό παραγωγής του νερού της αντίστροφης ωσμώσεως. Η βαθμονόμηση για την παραγωγή στις μεμβράνες γίνεται με βάση τα γαλόνια ανά ημέρα σε θερμοκρασία 25°C. Η διακύμανση που παρατηρείται στην παραγωγή νερού παρουσιάζει πτώση από 1,5% – 2%, ανάλογα με τον τύπο της μεμβράνης για θερμοκρασίες μικρότερες ή μεγαλύτερες των 25°C.

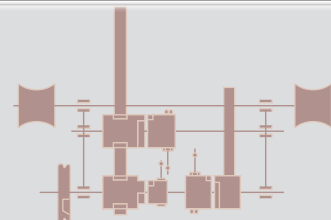
γ) Η ποιότητα του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και ο Αριθμός των Διαλυμένων Στερεών μέσα σε αυτό (Total Dissolved Solids – TDS). Η ωσμωτική πίεση σχετίζεται με τις δυνάμεις συνοχής των μορίων (οι δυνάμεις που συγκρατούν ενωμένα τα μόρια) του νερού και των διαλυμένων σε αυτό ιόντων και στερεών. Όσο υψηλότερος είναι ο TDS, τόσο υψηλότερες είναι οι δυνάμεις συνοχής των μορίων. Προκειμένου να αρχίσουν τα μόρια του νερού να διαχωρίζονται για να περάσουν τη μεμβράνη, πρέπει να διασπάσουν οι δυνάμεις συνοχής των μορίων με την εφαρμογή πίεσεως. Η πίεση αυτή για κάθε 100 mg/l TDS απαιτεί 1 psi για να ξεπεραστεί η ωσμωτική πίεση.

δ) Η καλή ποιότητα των φίλτρων και των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα αντίστροφης ωσμώσεως.



Σχ. 12.14

Εγκατάσταση αντίστροφης ωσμώσεως ενός πλοίου.



13.1 Εισαγωγή.

Με την άφιξη του πλοίου στο λιμάνι, απαιτείται μεγάλος αριθμός από τα μέλη του πληρώματος να βρίσκεται κατά μήκος του, από την πλώρη έως την πρύμνη, για τις εργασίες προσδέσεως. Κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι, είναι απαραίτητη η επίβλεψη των προσδέσεων, ώστε να διατηρείται η σωστή θέση του πλοίου ως προς τις αλλαγές που προκύπτουν, άλλοτε από τα θαλάσσια ρεύματα και άλλοτε από τη μεταβολή του ύψους εξάλων του πλοίου σε σχέση με τις εγκαταστάσεις ξηράς κατά τη φόρτωση ή την εκφόρτωση.

Επίσης, είτε στην πόντιση ή στην ανέλκυση της άγκυρας είτε στη φορτοεκφόρτωση για τον χειρισμό φορτωτήρων και την ανύψωση και κατάβαση βαρών, διενεργούνται απαραίτητες εργασίες και χειρισμοί, που πραγματοποιούνται με την ανάπτυξη μεγάλων ελκτικών δυνάμεων.

Η αγκυροβολία, η πρόσδεση, ο έλεγχος των προσδέσεων και ο χειρισμός φορτωτήρων, επιτυγχάνεται με τη χρήση των βαρούλκων, που βρίσκονται στο κατάστρωμα του πλοίου (σχ. 13.1).

Για να πραγματοποιηθούν οι εργασίες ανυψώσε-

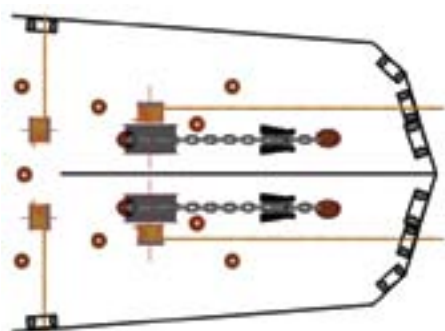
ως και προσδέσεως, χρησιμοποιούνται και βοηθητικά μέσα όπως είναι οι αλυσίδες, τα συρματόσχοινα και τα σχοινιά. Ο χειρισμός τους επιτυγχάνεται από τα αλυσέλικτρα (σκρόφες) και τα κατάλληλα διαμορφωμένα τύμπανα των βαρούλκων. Η επιλογή για τη χρήση κάθε βοηθητικού μέσου εξαρτάται από το είδος της εργασίας που πρόκειται να πραγματοποιηθεί, το φορτίο που ασκείται, την κινητήρια δύναμη του μηχανήματος, τον τύπο του πλοίου και τη διαθέσιμη ενέργεια απ' τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του.

Η μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κίνηση των μηχανημάτων του καταστρώματος εξαρτάται από τη θέση και τα ειδικά καθήκοντα που εξυπηρετεί το κάθε μηχανήμα. Αυτή μπορεί να είναι ο ατμός, η υδραυλική ή η ηλεκτρική ενέργεια (βλ. παράγρ. 13.3).

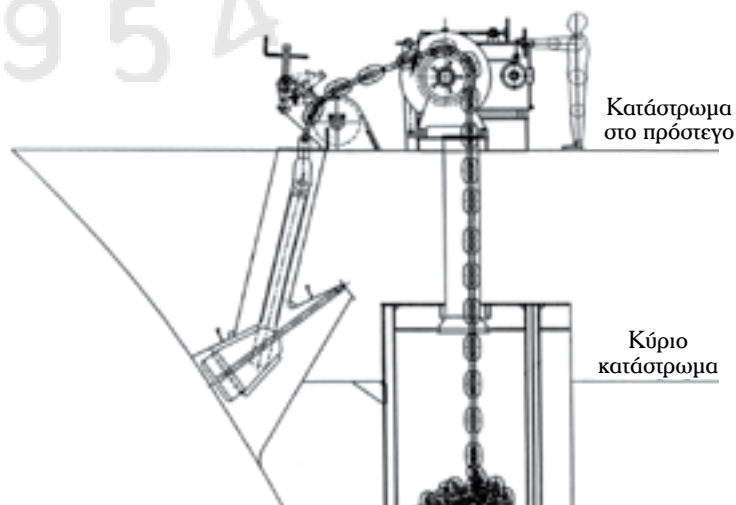
13.2 Βαρούλκα – Εργάτες άγκυρας.

Τα βαρούλκα είναι μηχανήματα εξοπλισμένα με ειδικές τροχαλίες, που καθιστούν δυνατή την έλξη ή την ανύψωση βαρών. Οι τύποι των βαρούλκων ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν είναι οι εξής:

α) Ο *εργάτης της άγκυρας* ή το *βαρούλκο άγκυρας* (capstan ή anchor windlass).



Κάτοψη



Τομή

Σχ. 13.1

Τυπική πρωραία διάταξη βαρούλκων.

β) Τα **βαρούλκα προσδέσεως** (mooring winches).

γ) Τα **βαρούλκα των φορτωτήρων** (crane winches).

Η διαφορά που χαρακτηρίζει ένα μηχανήμα ως εργάτη ή βαρούλκο είναι η θέση του άξονα του τυμπάνου, που αποτελεί τον μηχανισμό έλξεως. Στον εργάτη ο άξονας του τυμπάνου είναι κάθετος, ενώ στο βαρούλκο οριζόντιος. Γενικά όμως στην πράξη πολλές φορές και τα δύο ονομάζονται **εργάτες**.

Ο σκοπός της λειτουργίας του εργάτη ή του βαρούλκου είναι η ανύψωση ενός βάρους (π.χ. άγκυρα) ή η ελκτική δύναμη που απαιτείται για να υπερνικήσει την «αντίσταση» του πλοίου, ώστε να παραμείνει δεμένο στην ξηρά. Επίσης, τα βαρούλκα χρησιμοποιούνται στην κίνηση και στους χειρισμούς των φορτωτήρων που βρίσκονται στο κατάστρωμα του πλοίου, με σκοπό τη διακίνηση του φορτίου κατά τη διαδικασία φορτώσεως ή εκφορτώσεως.

Είναι σημαντικό ότι λόγω της φύσεως λειτουργίας τους, τα περισσότερα μηχανήματα του καταστρώματος δεν χρησιμοποιούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα –όταν δηλαδή το πλοίο βρίσκεται εν πλω– με αποτέλεσμα να εκτίθενται σε ιδιαίτερα διαβρωτικές συνθήκες περιβάλλοντος. Τα μηχανήματα φορτίου, ή προσδέσεως και αγκυροβολίας, παρά τις μεγάλες περιόδους αδράνειας ή τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, θα πρέπει να λειτουργήσουν αμέσως, όποτε αυτό απαιτείται.

Για την άμεση λειτουργία των μηχανημάτων προσδέσεως και φορτοεκφορτώσεως, η συντήρηση επιτυγχάνεται με τη λίπανση του εσωκλειόμενου εξοπλισμού και των τριβών του κάθε μηχανήματος. Λόγω του σχεδιασμού των μηχανημάτων αυτών, οι εργασίες συντηρήσεως που προβλέπονται είναι ελάχιστες και πρέπει να διεξάγονται ως έλεγχοι ρουτίνας σε προγραμματισμένη βάση. Ο τακτικός έλεγχος και η συντήρηση των μηχανημάτων καταστρώματος αποτρέπει τις αιφνίδιες βλάβες, που πρέπει να αποκαθίστανται άμεσα λόγω της κρισιμότητας των μηχανημάτων στην ασφαλή διαχείριση του πλοίου.

13.3 Συστήματα λειτουργίας μηχανημάτων καταστρώματος.

13.3.1 Συστήματα ατμού.

Ο ατμός στα μηχανήματα καταστρώματος και στα συστήματα ελέγχου παρέχεται μέσω δικτύου που

αναπτύσσεται στο κατάστρωμα του πλοίου. Διέρχεται αρχικά απ' την κύρια βαλβίδα (επιστόμιο) του δικτύου ατμού στο κατάστρωμα και στη συνέχεια μέσω ιδιαίτερης βαλβίδας εισαγωγής ατμού τροφοδοτεί κάθε ένα από αυτά. Επίσης, χρησιμοποιούνται ρυθμιστικές διατάξεις για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων της πίεσεως στην κύρια γραμμή του ατμού, που προκύπτουν από τη χρήση του σε άλλες καταναλώσεις.

Τα ατμοκίνητα μηχανήματα χρησιμοποιούνται ευρέως στα Δ/Ξ, δεδομένου ότι δεν παρουσιάζεται κανένας κίνδυνος εκρήξεως και πυρκαγιάς. Όμως, το μήκος του δικτύου που αναπτύσσεται στο κατάστρωμα και το διαβρωτικό περιβάλλον λειτουργίας, δημιουργούν σημαντικές απαιτήσεις σε εργασίες συντηρήσεως, υποχρεώνοντας τους κατασκευαστές να αντικαθιστούν τα συστήματα ατμού στα νέα πλοία με υδραυλικά συστήματα.

13.3.2 Υδραυλικά συστήματα.

Τα υδραυλικά συστήματα για την κίνηση των μηχανημάτων καταστρώματος είναι τριών τύπων: το ανοικτού βρόγχου, το άμεσης αποκρίσεως και το κλειστού βρόγχου (παράγρ. 13.4.2).

Κάθε τύπος έχει χαρακτηριστικά που, ανάλογα με την επιθυμητή πίεση λειτουργίας του συστήματος και τον σχεδιασμό του, χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των μηχανημάτων καταστρώματος στα πλοία. Η υδραυλική πίεση λειτουργίας των συστημάτων μπορεί να είναι υψηλή, μέση και χαμηλή. Στα μέσες πιέσεως συστήματα των πλοίων, όπως και σε μικρότερες εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται ανοικτού ή κλειστού βρόγχου κυκλώματα. Όταν υπάρχει όμως μεγάλος αριθμός υδραυλικών κινητήρων, η χρήση του κυκλώματος άμεσης αποκρίσεως, που παρέχει το έλαιο με πίεση από μια μονάδα υδραυλικής ισχύος μέσω ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου, είναι περισσότερο αποδοτική και οικονομική.

13.3.3 Ηλεκτρικά συστήματα.

Τα κινητήρια μηχανήματα στα ηλεκτρικά συστήματα σχεδιάζονται, ώστε να λειτουργούν ανάλογα με την ηλεκτρική τάση που διατίθεται και η οποία μπορεί να είναι συνεχής ή εναλλασσόμενη. Ειδικότερα:

α) Σε συστήματα με παροχή συνεχούς τάσεως, ο έλεγχος της ταχύτητας του μηχανήματος επιτυγχάνεται με αντιστάσεις που συνδέονται σε σειρά. Η μέθοδος αυτή είναι αναποτελεσματική λόγω της απώλειας

ενέργειας στις αντιστάσεις. Αντί αυτής χρησιμοποιούνται συστήματα **Ward Leonard Control**¹, που αποτελούν μία βελτιωμένη μέθοδο ελέγχου. Το μειονέκτημα της μεθόδου Ward Leonard είναι το σημαντικό υψηλό κόστος του συνολικού εξοπλισμού και της συντηρήσεως που απαιτείται. Γι' αυτό, το σύστημα Ward Leonard αντικαθίσταται από **θυρίστωρ**² (thyristor), που παρέχουν ομαλό έλεγχο της ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα με τη βέλτιστη κατανομή της ροπής.

β) Στα συστήματα με παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος, ο έλεγχος της ταχύτητας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μεταβαλλομένων συνδέσεων πόλων ή με ολισθαίνοντες δακτυλίους. Οι κινητήρες με **ολισθαίνοντες δακτυλίους** (slip-ring) απαιτούν χαμηλό ρεύμα εκκινήσεως με χαμηλές απώλειες ισχύος, όμως απαιτείται τακτική συντήρηση. Οι κινητήρες με μεταβαλλόμενους πόλους είναι κατασκευής κλωβού, παρέχοντας δύο ταχύτητες λειτουργίας, το ρεύμα που απαιτείται για την εκκίνηση είναι υψηλό, ενώ η συντήρησή τους αμελητέα.

13.4 Βαρούλκα – Γενικά.

Τα βαρούλκα, είτε χρησιμοποιούνται για την πρόσδεση, είτε για την αγκυροβολία, είτε για την εξυπηρέτηση των φορτωτήρων, έχουν παρόμοια λει-

τουργικά χαρακτηριστικά. Η βασική διαφοροποίησή τους οφείλεται στο μέσο της κινητήριας δυνάμεως που χρησιμοποιείται και διακρίνονται σε: **ατμοκίνητα**, **υδραυλικά** και **ηλεκτροκίνητα** βαρούλκα.

13.4.1 Το ατμοκίνητο βαρούλκο.

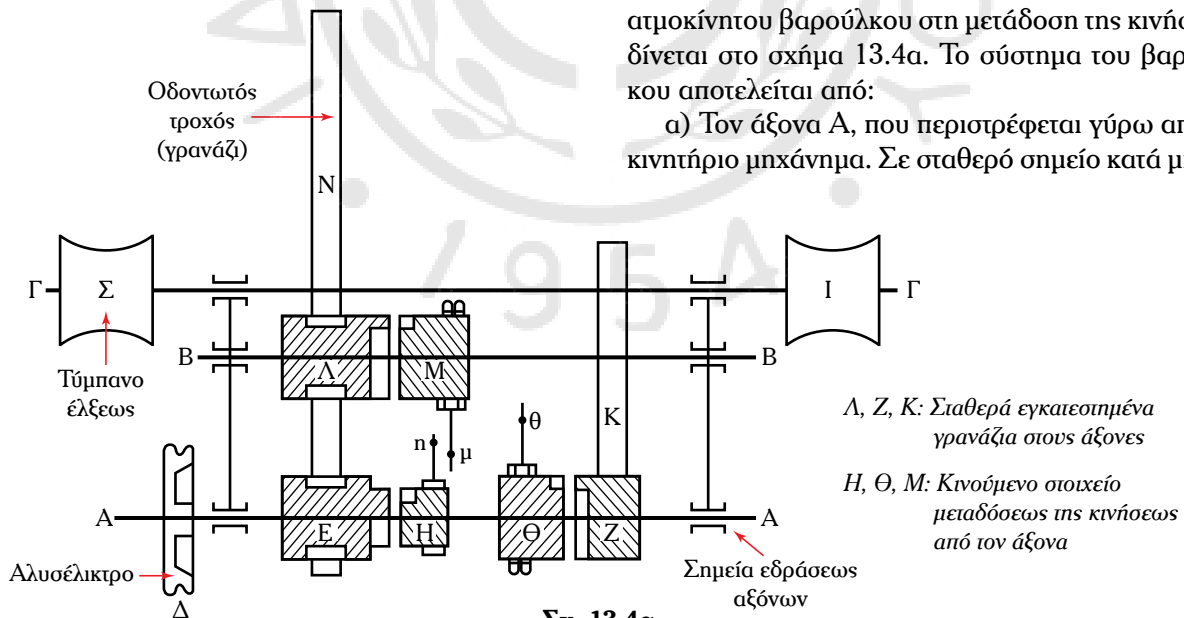
Τα κύρια μέρη που αποτελούν το ατμοκίνητο βαρούλκο είναι:

- Η ατμομηχανή.
- Το κιβώτιο οδοντωτών τροχών μεταδόσεως (γρανάζι) της κινήσεως.
- Οι άξονες.
- Το αλυσέλκτρο (σक्रόφα).
- Το τύμπανο έλξεως.
- Το τύμπανο περιελίξεως.

Η ατμομηχανή είναι διπλής ενέργειας και συνήθως δύο κυλίνδρων, σε οριζόντια διάταξη με κατάλληλο σύστημα διανομής του ατμού και μηχανισμό αναστροφής του μηχανήματος. Τα βάκτρα από τα έμβολα του ατμού μεταδίδουν την κίνηση σε στροφαλοφόρο άξονα, επάνω στον οποίο προσαρμόζονται με κατάλληλη διάταξη οι τροχοί του κιβωτίου μεταδόσεως της κινήσεως. Από το κιβώτιο η κίνηση μεταδίδεται στους άξονες, στους οποίους συνδέεται, στο αλυσέλκτρο, που έλκει την αλυσίδα, και στα τύμπανα, που έλκουν τα σύρματα και τους κάβους (σχοινιά).

Μια τυπική διάταξη των τροχών και των αξόνων ατμοκίνητου βαρούλκου στη μετάδοση της κινήσεως δίνεται στο σχήμα 13.4α. Το σύστημα του βαρούλκου αποτελείται από:

- Τον άξονα Α, που περιστρέφεται γύρω από το κινητήριο μηχανήμα. Σε σταθερό σημείο κατά μήκος



Σχ. 13.4α

Τυπική διάταξη αξόνων και γραναζιών ατμοκίνητου βαρούλκου.

¹ Το Ward Leonard Control System αποτελεί ένα σύστημα έλεγχου της ταχύτητας ενός ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος που αναπτύχθηκε από τον Ward Leonard το 1891. Το σύστημα αυτό ελέγχου με παραλλαγές χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα.

² Θυρίστωρ ονομάζονται οι ημιαγωγικές συσκευές, που συνήθως χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος.

του άξονα εφαρμόζεται το αλυσέλιτρο Δ με σφήνα, ώστε να ακολουθεί την κίνηση του άξονα.

β) Τα γρανάζα Ε και Ζ, τοποθετημένους σε σταθερή θέση κατά μήκος του άξονα Α, χωρίς σφήνα, επιτρέποντας να περιστρέφεται ο άξονας χωρίς να περιστρέφονται τα γρανάζα

γ) Τα στοιχεία Η και Θ που αποτελούν τμήματα ελέγχου στην περιστροφή των γραναζιών και των αξόνων. Εφαρμόζονται με σφήνα στον άξονα Α και περιστρέφονται μαζί με αυτόν. Τα στοιχεία αυτά έχουν τη δυνατότητα να κινηθούν κατά μήκος του άξονα Α (δεξιά ή αριστερά) από τους μοχλούς (η) και (θ), ώστε να εμπλέκονται σε κατάλληλες εγκοπές στα γρανάζα Ε και Ζ μεταδίδοντάς τους την περιστροφή του άξονα Α.

δ) Το γρανάζι Κ, που εμπλέκεται με το γρανάζι Ζ και εφαρμόζεται σταθερά με σφήνα στον άξονα Β.

ε) Το γρανάζι Λ, τοποθετημένο σε σταθερή θέση στον άξονα Β, χωρίς σφήνα, ώστε να περιστρέφεται ανεξάρτητα από τον άξονα Β ή μαζί με αυτόν όταν στις εγκοπές που υπάρχουν στο γρανάζι Λ εμπλέκονται οι εγκοπές του στοιχείου Μ.

στ) Το στοιχείο Μ, που εφαρμόζεται με σφήνα στον άξονα Β, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να κινηθεί κατά μήκος (δεξιά ή αριστερά) επάνω σε αυτόν, μέσω του μοχλού, μεταδίδοντας την κίνηση του άξονα Β στο γρανάζι Λ.

ζ) Το γρανάζι Ν, που εμπλέκεται με το γρανάζι Λ και με το γρανάζι Ε, ώστε να μπορεί να κινηθεί με οποιονδήποτε από αυτούς και εφαρμόζεται με σφήνα στον άξονα Γ.

η) Τον άξονα Γ, στον οποίο εφαρμόζονται με σφήνα τα τύμπανα Σ και Ι.

Η διαφορά της διαμέτρου των τροχών και του συνδυασμού, με τον οποίο εμπλέκονται, δημιουργεί την μετάδοση της περιστροφής από τον άξονα Α στα γρανάζα και τους άξονες Β και Γ έτσι, ώστε με τη λειτουργία του συστήματος:

α) Για να κινηθεί το γρανάζι Ν από τον Ε, κινείται το στοιχείο Η του συστήματος τροχών προς τα αριστερά μέσω του μοχλού (η), ώστε με την περιστροφή του άξονα Α περιστρέφεται μέσω του Η το γρανάζι Ε, παρέχοντας απλή σχέση μεταδόσεως και το βαρούλκο έλκει με μικρή δύναμη και μεγάλη ταχύτητα.

β) Για να κινηθεί το γρανάζι Ν από το Λ, μετατοπίζεται το στοιχείο Θ δεξιά μέσω του μοχλού (θ), ώστε να εμπλέκεται στις εγκοπές του Ζ, και το στοιχείο Μ προς τα αριστερά με τον μοχλό (μ). Τότε, έχουμε διπλή σχέση μεταδόσεως (εμπλοκή περισσότερων

γραναζιών, για την κίνηση του άξονα) και το βαρούλκο έλκει με μεγάλη δύναμη και μικρή ταχύτητα.

Το βαρούλκο μπορεί να είναι **απλού** ή **διπλού τυμπάνου**, με σύνθετη οδόντωση για επίτευξη δύο μηχανικών ταχυτήτων και έλξεων, ενώ η ταχύτητα μπορεί εύκολα να ελεγχθεί από την παροχή του ατμού. Επίσης, χρησιμοποιώντας τη διάταξη οδοντωτών γραναζιών επιτυγχάνονται δύο ταχύτητες λόγω της διαφοράς στην ταχύτητα μεταδόσεως που οφείλεται στη διαφορά της διαμέτρου των γραναζιών με διαφορετική διάμετρο. Η υψηλή ταχύτητα, για κανονικά φορτία και η χαμηλή, για φορτία μεγάλου βάρους. Στην έλξη υψηλών φορτίων περιλαμβάνεται και η ανέλκυση της άγκυρας μέσω του αλυσέλιτρου. Έτσι, τα βαρούλκα του τύπου αυτού μπορούν να χρησιμοποιούνται εξυπηρετώντας, εκτός από τον χειρισμό της άγκυρας και των προσδέσεων, και τους χειρισμούς των φορτωτών.

Ο συνδυασμός των τροχών και η διάταξη είναι δυνατόν να διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή του βαρούλκου. Το βαρούλκο είναι εφοδιασμένο με εμβολοειδή βαλβίδα αναστροφής της λειτουργίας του, ώστε να επιτρέπεται η έλξη, η ανύψωση ή η κατάβαση του φορτίου, ενώ είναι εφοδιασμένο και με ποδόφρενο, το οποίο συνδέεται μέσω αξονικής διατάξεως σε τροχό στο σύστημα αξόνων.

Το φρένο συνήθως είναι τοποθετημένο, για προληπτική χρήση, στους γερανούς και χρησιμοποιείται σπάνια σε κανονική λειτουργία, εφόσον η κατάβαση του φορτίου εκτελείται πάντοτε με το βαρούλκο ενεργοποιημένο, ενώ στο βαρούλκο άγκυρας χρησιμοποιείται για να συγκρατήσει ή να ασφαλίσει την αλυσίδα κατά την πόντιση ή την ανέλκυση.

13.4.2 Το υδραυλικό βαρούλκο.

Τα υδραυλικά συστήματα παρέχουν ένα μέσο για τη διανομή της ενέργειας, ώστε η πίεση του ελαίου μέσω υδραυλικών κινητήρων να χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση των συσκευών. Τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα υδραυλικό σύστημα είναι:

α) Το υδραυλικό υγρό, που υπάρχει μέσα σε μια δεξαμενή και κυκλοφορεί στο δίκτυο.

β) Η υδραυλική αντλία, που αναγκάζει το υγρό να κυκλοφορήσει στο σύστημα (σχ. 13.4β).

γ) Ο υδραυλικός κινητήρας ή κύλινδρος, που μετατρέπει την ενέργεια του κινούμενου υγρού σε περιστροφική ή γραμμική μηχανική δύναμη.

Τα υδραυλικά έλαια μπορεί να είναι ορυκτά ή συνθετικά με ειδικά πρόσθετα που ενισχύουν τις ιδι-

ότιπές τους, ώστε να αντιστέκονται στην οξείδωση, στις υψηλές θερμοκρασίες και στις πιέσεις των συγχρόνων συστημάτων.

1) Υδραυλικά κυκλώματα.

Τα υδραυλικά κυκλώματα είναι τριών τύπων. Ειδικότερα:

α) Το **κύκλωμα ανοικτού βρόχου** (open-loop circuit), στο οποίο το έλαιο καταθλίβεται με αντλία στο δίκτυο, δίνοντας κίνηση στον υδραυλικό κινητήρα. Ο έλεγχος του κινητήρα του μηχανήματος (βαρούλκου) επιτυγχάνεται από βαλβίδα τοποθετημένη παράλληλα με αυτό, ώστε όταν είναι ανοικτή, το μηχανήμα να βρίσκεται εκτός λειτουργίας, ενώ όταν περιορίζεται ή κλείνει, το μηχανήμα να τίθεται σε λειτουργία. Η εξαγωγή ελαίου από το κινητήριο μηχανήμα, όταν η βαλβίδα ελέγχου είναι κλειστή ή ανοικτή, επιστρέφει σε δεξαμενή ελαίου όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η αναρρόφηση της υδραυλικής αντλίας, παρακάμπτοντας τον κινητήρα του μηχανήματος. Με αυτήν τη μέθοδο, λόγω της ομαλής μεταβολής στην πίεση του ελαίου, επιτυγχάνεται ομαλή μεταβολή και στην ταχύτητα περιστροφής του μηχανήματος.

β) Το **κύκλωμα άμεσης αποκρίσεως** (live-line circuit), στο οποίο η πίεση του δικτύου διατηρείται συνεχώς υψηλή. Το υδραυλικό έλαιο μέσω της βαλβίδας ελέγχου, που συνδέεται σε σειρά με τον κινητήρα, παρέχει το έλαιο με πίεση, όταν απαιτείται

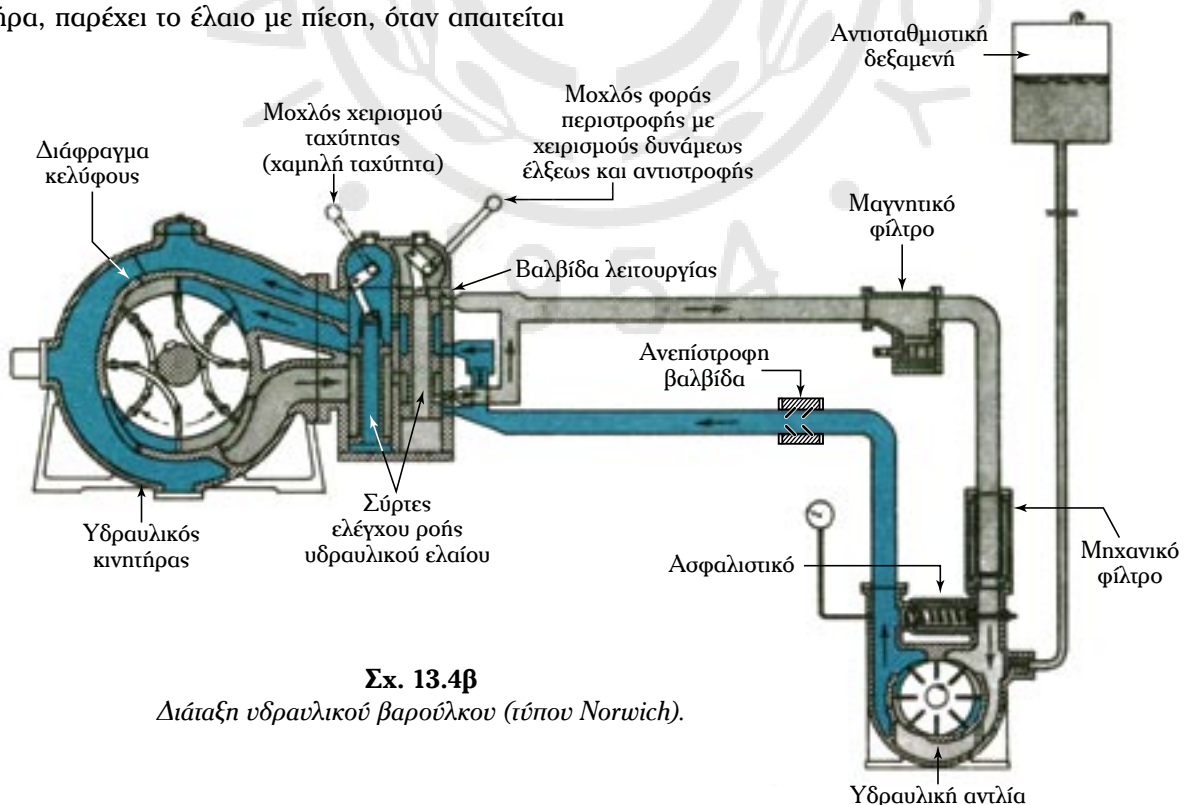
η λειτουργία του κινητήρα. Οι επιστροφές από το κινητήριο μηχανήμα καταλήγουν στη δεξαμενή του υδραυλικού ελαίου.

γ) Το **κλειστό κύκλωμα** (closed-loop circuit), στο οποίο οι επιστροφές του ελαίου από το κινητήριο μηχανήμα οδηγούνται στην αναρρόφηση της υδραυλικής αντλίας ώστε, δεδομένου ότι το έλαιο δεν επιστρέφει σε μία ανοικτή δεξαμενή, θεωρείται ότι το σύστημα είναι κλειστό. Η δεξαμενή ελαίου στο κλειστό κύκλωμα ως σκοπό έχει να απορροφά τις μεταβολές στον όγκο του υδραυλικού ελαίου λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας και να συμπληρώνει τις απώλειες του δικτύου.

2) Υδραυλικές αντλίες βαρούλκων.

Η πίεση του υδραυλικού ελαίου στο δίκτυο για την περιστροφή του βαρούλκου επιτυγχάνεται μέσω αντλιών. Ανάλογα με τον τύπο της αντλίας που χρησιμοποιείται, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

α) Σε **αντλίες σταθερής παροχής**, όταν λειτουργούν με δεδομένη ταχύτητα και η παροχή του υδραυλικού ελαίου για την κίνηση του βαρούλκου πραγματοποιείται μέσω βαλβίδας ελέγχου της κυκλοφορίας του ελαίου. Οι αντλίες είναι πτερυγοφόρες ή με λοβούς και το βαρούλκο περιστρέφεται από



Σχ. 13.4β

Διάταξη υδραυλικού βαρούλκου (τύπου Norwich).

περυγιοφόρο κινητήρα εφοδιασμένο με ελαιοδιανομέα που ρυθμίζει την κίνησή του.

β) Σε **αντλίες μεταβλητής παροχής**, που ρυθμίζουν την κατάθλιψη του υδραυλικού ελαίου στο δίκτυο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Η αντλία παροχής ελαίου είναι εμβολοφόρος τύπου ολισθαίνουσας λεκάνης με μεταβλητή διαδρομή από κινούμενη στεφάνη ή με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως και η παροχή στην έξοδό της ρυθμίζεται αυτόματα μέσω κατάλληλης διατάξεως γραναζιών, από πλήρη έως μηδενική ροή. Η πλήρης ροή στο δίκτυο με αυτού του τύπου τις αντλίες επιτυγχάνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις, αλλάζοντας αντίστοιχα και τη φορά περιστροφής του μηχανήματος, ενώ η πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με τη διαδρομή των εμβόλων.

Στα υδραυλικά δίκτυα, όταν για την κίνηση της υδραυλικής αντλίας στην αύξηση της πίεσεως και την κυκλοφορία του ελαίου χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας, το σύστημα ονομάζεται **ηλεκτρο-υδραυλικό**, ενώ αντίστοιχα όταν χρησιμοποιείται παλινδρομική ατμομηχανή ή στρόβιλος, ονομάζεται **ατμο-υδραυλικό**.

3) Λειτουργία υδραυλικού βαρούλκου πλοίων.

Το κύκλωμα μίας μονάδας υδραυλικού βαρούλκου (σχ. 13.4β) αποτελείται από την υδραυλική αντλία, η οποία είναι περιστροφικού τύπου με περύγια, ενώ μπορεί να κινείται από ηλεκτροκινητήρα ή άλλο μηχανισμό. Καθώς το στροφέιο της περιστρέφεται, μέσα στο ελλειπτικό κέλυφος και λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως, τα περύγια ολισθαίνουν μέσα στα περιφερειακά αυλάκια του στροφείου, προκαλώντας την άντληση και την κατάθλιψη του υδραυλικού ελαίου. Η αντλία περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα από τον κινητήριο μηχανισμό, δημιουργώντας συνεχή ροή στο δίκτυο όσο ο ηλεκτροκινητήρας ή άλλος μηχανισμός κινήσεως βρίσκεται σε λειτουργία.

Στο δίκτυο κυκλοφορίας του ελαίου τοποθετούνται κατάλληλα μηχανικά και μαγνητικά φίλτρα διατηρώντας το έλαιο καθαρό. Για προστασία από την υπερβολική πίεση, στο κέλυφος του υδραυλικού κινητήρα και στην αντλία ελαίου υπάρχει ανακουφιστική βαλβίδα ασφαλείας (κοινώς ασφαλιστικό).

Η αντισταθμιστική δεξαμενή ή εκτονώσεως, συνδέεται στο δίκτυο αντιμετωπίζοντας τις αναπόφευκτες μικρές απώλειες, ενώ ταυτόχρονα απορροφά τις μεταβολές στον όγκο του ελαίου λόγω της διακυμάνσεως στη θερμοκρασία κατά τη λειτουργία του συστήματος.

Ο υδραυλικός κινητήρας, που μεταδίδει την κί-

νηση στον άξονα του βαρούλκου, είναι επίσης περιστροφικού τύπου με τα περύγια τοποθετημένα αντίστοιχα σε ένα κυλινδρικό στροφέιο.

Το στροφέιο περιβάλλεται από κέλυφος κατασκευασμένο με δύο θαλάμους πίεσεως. Η κυκλοφορία του ελαίου στους θαλάμους ελέγχεται από μοχλούς, που ενεργούν σε δύο κυλινδρικούς σύρτες. Ο ένας σύρτης ελέγχει την ταχύτητα ροής του ελαίου, άρα και την ταχύτητα περιστροφής, ενώ ο άλλος τη φορά περιστροφής του κινητήρα και τη βαθμιαία ανάπτυξη της ταχύτητας στην κλίμακα που έχει επιλεγεί.

Οι κλίμακες ταχύτητας είναι δύο και η επιλογή γίνεται ανάλογα με τις ακόλουθες απαιτήσεις.

Όταν ο κινητήρας απαιτείται να αναπτύξει τη μέγιστη δυνατή ροπή λειτουργίας του, η ροή του υδραυλικού ελαίου από την αντλία καταθλίβεται και στους δύο θαλάμους πίεσεως. Αντίθετα, όταν οι απαιτήσεις είναι μικρότερες λόγω χαμηλού φορτίου, ο μοχλός χειρισμού τοποθετείται στην κατάλληλη θέση μετατοπίζοντας τον κυλινδρικό σύρτη ελέγχου της παροχής του ελαίου σε ανάλογη θέση, έτσι ώστε η ροή να έχει κατεύθυνση προς τον έναν από τους θαλάμους πίεσεως.

Στην πρώτη κλίμακα ταχύτητας, αποδίδεται η μέγιστη ροπή στρέψεως και η κίνηση επιτυγχάνεται όταν το υδραυλικό έλαιο διοχετεύεται και στους δύο θαλάμους του κινητήρα. Στη δεύτερη, όταν το έλαιο διοχετεύεται στον έναν θάλαμο, ο κινητήρας αποδίδει περίπου το 40% της ροπής στρέψεως από την προηγούμενη, αλλά με διπλάσια ταχύτητα.

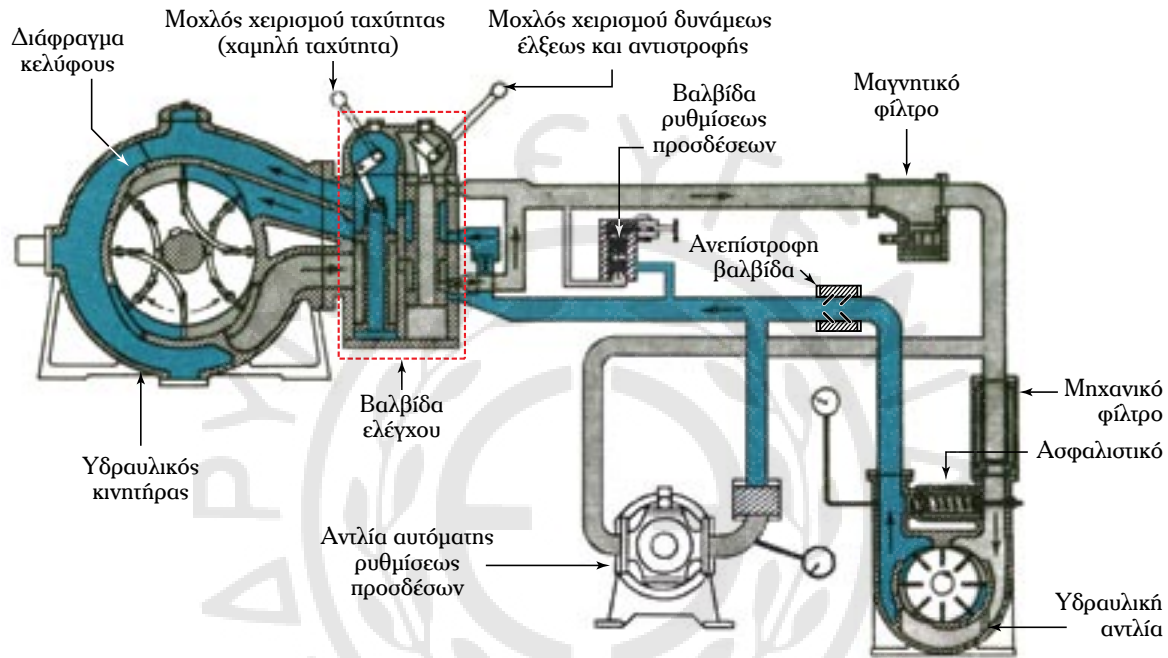
Το υδραυλικό έλαιο ρέει στο δίκτυο πάντα προς μία κατεύθυνση. Έτσι, η αντιστροφή του υδραυλικού κινητήρα επιτυγχάνεται από τον ελεγκτικό μηχανισμό ροής, αλλάζοντας τη διεύθυνση της ροής του ελαίου στον υδραυλικό κινητήρα. Όταν το βαρούλκο δεν χρησιμοποιείται, το έλαιο διέρχεται μόνο μέσα από τη βαλβίδα λειτουργίας, παρακάμπτοντας τον υδραυλικό κινητήρα και επιστρέφει ξανά στην αντλία. Η πίεση του ελαίου στο δίκτυο, όταν ο υδραυλικός κινητήρας βρίσκεται σε αδράνεια, είναι αμελητέα, μειώνοντας την απαιτούμενη ισχύ στο ελάχιστο.

Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να παρέχει δύο μεταβλητές ταχύτητες με διάταξη αυτόματης ρυθμίσεως της εντάσεως του σχοινιού ή του σύρματος. Η εγκατάσταση και η σύνδεση της αντλίας αυτόματης ρυθμίσεως των προσδέσεων, η οποία είναι κατάλληλη για τον έλεγχο και την διατήρηση των κάβων και των συρματοσχοινίων τεντωμένων, εικονίζεται στο σχήμα 13.4γ. Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει την ειδική υδραυλική βαλβίδα ρυθμίσεως προσδέσεων,

την αντλία αυτόματης ρυθμίσεως προσδέσεων σε παράλληλη διάταξη με την υδραυλική αντλία του συστήματος και μία ανεπίστροφη βαλβίδα στο δίκτυο καταθλίψεως της κύριας αντλίας. Η βαλβίδα ενεργοποιείται από την πίεση του ελαίου του συστήματος, ενώ η πίεση είναι αντίστοιχη προς την ένταση του μέσου προσδέσεως (σχοινί ή συρματόσχοινο), με δυνατότητα η ένταση να επιλέγεται κάθε στιγμή σε βαθμολογημένη κλίμακα. Ο σκοπός της βοηθητικής

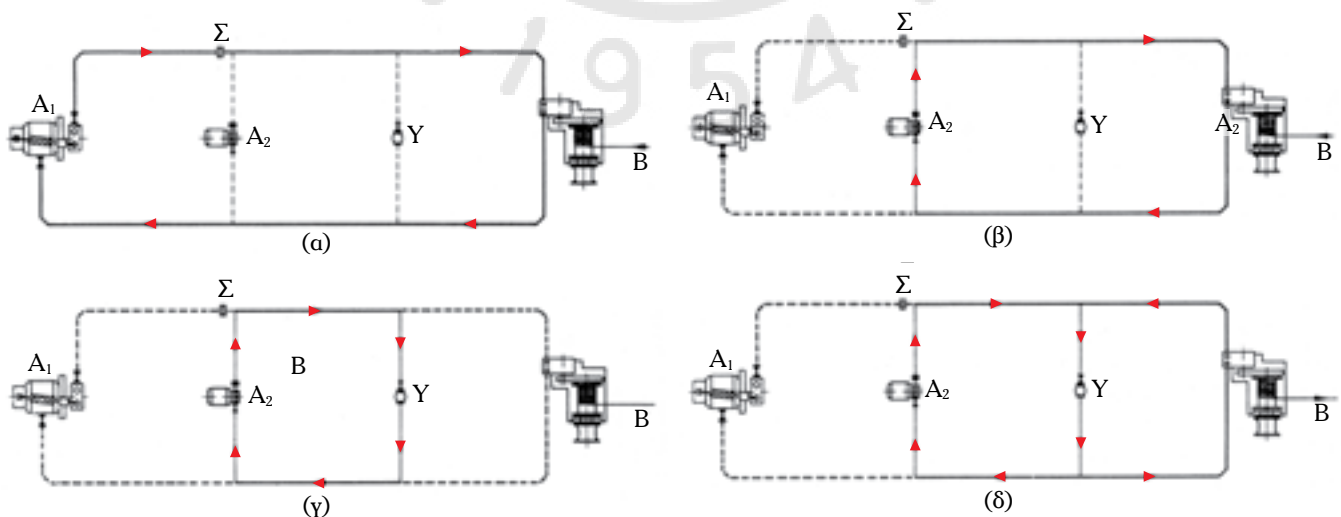
αντλίας είναι η ενεργοποίηση του βαρούλκου κατά τη διάρκεια των κινήσεων της αυτόματης ρυθμίσεως της εντάσεως των προσδέσεων.

Στο σχήμα 13.48 παριστάνεται η διάταξη της κύριας υδραυλικής αντλίας A_1 , της βοηθητικής υδραυλικής αντλίας A_2 για τον έλεγχο των προσδέσεων, η υδραυλική βαλβίδα (Y), το ασφαλιστικό σε περίπτωση αυξήσεως της πίεσεως (Σ) και το βαρούλκο B. Η ροή του ελαίου στο δίκτυο παριστάνεται με την



Σχ. 13.4γ

Διάταξη υδραυλικού βαρούλκου με αυτόματη ρύθμιση προσδέσεων.



Σχ. 13.46

Ροή του ελαίου στο δίκτυο αυτόματης ρυθμίσεως προσδέσεων.

έντονη γραμμή, ενώ το τμήμα του δικτύου που παρακάμπτεται και δεν περνάει έλαιο παριστάνεται με τη διακεκομμένη. Έτσι:

α) Η κυκλοφορία του υδραυλικού ελαίου πραγματοποιείται από την κύρια υδραυλική αντλία (A_1) στη διάρκεια των συνηθισμένων χειρισμών προσδέως [σχ. 13.4δ(α)].

β) Η κυκλοφορία πραγματοποιείται μέσω της βοηθητικής υδραυλικής αντλίας (A_2) ρυθμίζοντας αυτόματα την ένταση του σχοινιού ή του σύρματος προσδέσεως με τη βοήθεια της υδραυλικής βαλβίδας [σχ. 13.4δ(β)].

γ) Η κυκλοφορία πραγματοποιείται μόνο μέσω της υδραυλικής βαλβίδας (Υ) και της βοηθητικής αντλίας (A_2), όταν η ένταση των προσδέσεων είναι όση ακριβώς απαιτείται [σχ. 13.4δ(γ)].

δ) Η κυκλοφορία πραγματοποιείται από τη βοηθητική αντλία (A_2) και τον κινητήρα του βαρούλκου με αντίθετη κατεύθυνση μέσω της υδραυλικής βαλβίδας (Υ), ώστε το βαρούλκο να ελευθερώνει περισσότερο σχοινί ή συρματοσχοινίο επιτυγχάνοντας την απαιτούμενη ένταση προσδέσεως [σχ. 13.4δ(δ)].

Όταν στο υδραυλικό σύστημα που εγκαθίσταται για τους υδραυλικούς κινητήρες βαρούλκων, ο κάθε υδραυλικός κινητήρας λειτουργεί από αντίστοιχη αντλία κινήσεως, η αντλία αυτή είναι εγκατεστημένη κάτω από το κατάστρωμα, στο σημείο, που βρίσκεται το βαρούλκο. Σε πολλά όμως πλοία, ακολουθείται η εξής τακτική: μία κύρια μονάδα υδραυλικής ισχύος με αντλίες να παρέχει έλαιο με πίεση σε όλο το δίκτυο. Αυτή συνήθως είναι εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο και είναι σε θέση να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα ή εναλλακτικά περισσότερους υδραυλικούς μηχανισμούς σε διάφορα φορτία. Με την εγκατάσταση μίας κύριας μονάδας υδραυλικής ισχύος εξασφαλίζονται μεγάλα πλεονεκτήματα, διότι η μονάδα αυτή δεν περιορίζεται στη λειτουργία μόνο των μηχανημάτων καταστρώματος, αλλά δύναται να λειτουργεί και άλλα βοηθητικά μηχανήματα. Έτσι, επιτυγχάνεται μείωση του κεφαλαίου που επενδύεται στον εξοπλισμό του πλοίου.

4) Έλεγχος υδραυλικού βαρούλκου.

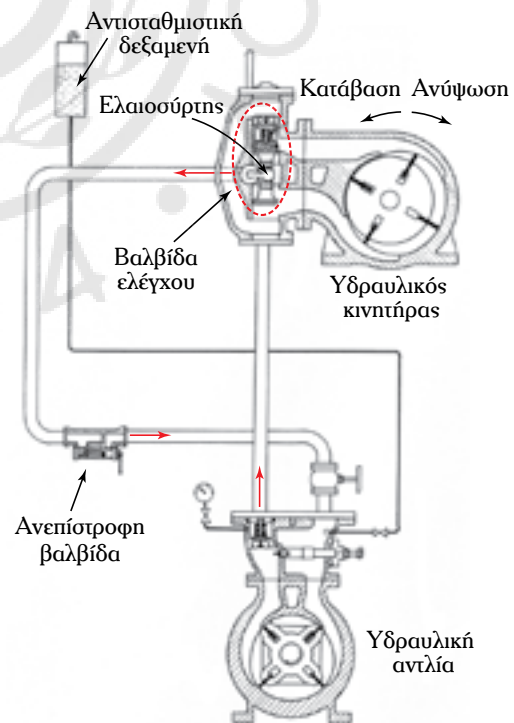
Υπάρχουν διάφορα συστήματα ελέγχου υδραυλικών βαρούλκων, που εξαρτώνται από τον κατασκευαστή. Μια τυπική διάταξη ελέγχου (σχ. 13.4ε) περιλαμβάνει μία υδραυλική αντλία, που κινείται από τον κινητήρα. Η αντλία αυτή είναι περιστροφική περυγιοφόρος όπως και ο υδραυλικός κινητήρας. Ο έλεγχος του υδραυλικού κινητήρα πραγματοποιείται

μέσω της βαλβίδας ελέγχου, που αποτελείται από τον σύρτη ελέγχου ροής υδραυλικού ελαίου (κοινώς ελαιοσύρτη) και την ανεπίστροφη βαλβίδα.

Το υδραυλικό έλαιο κυκλοφορεί συνεχώς προς μία κατεύθυνση μέσα στο δίκτυο. Όταν ο ελαιοσύρτης βρίσκεται στη θέση κρατήσεως, το έλαιο επιστρέφει στην αντλία παρακάμπτοντας τον υδραυλικό κινητήρα που μένει σε κατάσταση αδράνειας. Για τη λειτουργία του κινητήρα, ο ελαιοσύρτης πρέπει να μεταβεί στη θέση λειτουργίας. Το έλαιο τότε εισέρχεται στον υδραυλικό κινητήρα μέσω της ανεπίστροφης βαλβίδας γεμίζοντας τον χώρο μεταξύ των περυγίων του στροφείου. Ο κινητήρας περιστρέφεται και οι επιστροφές μέσω ειδικού σωλήνα ξαναγυρίζουν στην αντλία.

Όταν η βαλβίδα ελέγχου από τον μοχλό χειρισμού τεθεί στη θέση κρατήσεως και ασκείται εξωτερική δύναμη στο τύμπανο του βαρούλκου, ο κινητήρας τείνει να στραφεί προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η κίνηση αυτή εμποδίζεται απ' τον κινητήρα, λόγω της υδραυλικής πίεσης που αναπτύσσεται από το έλαιο που υπάρχει ήδη μεταξύ των περυγίων και της ανεπίστροφης βαλβίδας, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να παραμένει ακίνητος.

Για την αντίστροφη κίνηση, ο ελαιοσύρτης μετατοπίζεται κατάλληλα αντιστρέφοντας τη ροή του



Σχ. 13.4ε

Τυπική διάταξη ελέγχου υδραυλικού βαρούλκου.

υδραυλικού ελαίου στον κινητήρα. Το δίκτυο είναι εφοδιασμένο με αντισταθμιστική δεξαμενή, για την εκτόνωση του ελαίου λόγω της μεταβολής του όγκου του απ' τη θερμοκρασία, και για την πλήρωση τυχόν απωλειών.

13.4.3 Τα ηλεκτροκίνητα βαρούλκα.

Η κίνηση του βαρούλκου πραγματοποιείται από ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα βαρούλκα εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν μία ή δύο βαθμίδες ταχύτητας, ενώ τα συνεχούς ρεύματος τρεις έως πέντε. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, είναι η αποδοτικότητά τους σε σχέση με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, όταν λειτουργούν σε ταχύτητες της κατώτερης κλίμακας λειτουργίας τους.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος παρέχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε συνεχές φορτίο ενάντια στην πλήρη ροπή τους, γι' αυτό χρησιμοποιούνται στα αυτόματα βαρούλκα προσδέσεως. Η μέγιστη απόδοση στην έξοδο των περισσότερων βαρούλκων με ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι 500 rpm/min, με δυνατότητα να αυξηθεί μέχρι δύο έως τέσσερις φορές, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλά φορτία.

Όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, στην πλειονότητά τους λειτουργούν με μέγιστη ταχύτητα περιστροφής που αντιστοιχεί σε 4 πόλους σύγχρονης λειτουργίας στις 1800 rpm/min με συχνότητα ρεύματος 60 Hz. Οι στροφές αυτές είναι παρόμοιες με τις μέγιστες στροφές των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Όμως, όταν λειτουργούν με φορτίο και η αντίσταση που ασκείται από το τύμπανο του βαρούλκου προκαλέσει τη διακοπή της περιστροφής των κινητήρων τους, ενώ το ρεύμα εξακολουθεί να παρέχεται στον κινητήρα, η αντίσταση που αναπτύσσεται έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του κινητήρα (μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε θερμική).

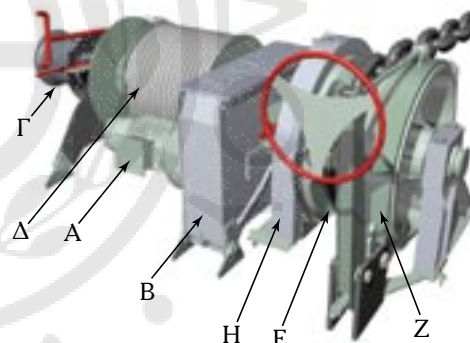
Τα πλεονεκτήματα μεταξύ των δύο τύπων ισορροπούνται έτσι, ώστε να επιλέγεται ο ηλεκτροκινητήρας με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για κάθε χρήση.

Το βαρούλκο του σχήματος 13.4στ αποτελείται από τον ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος μίας ταχύτητας (Α) και συνδέεται οριζόντια με το κιβώτιο γρاناζιών (Β), που μεταδίδει την κίνηση στο τύμπανο έλξεως (Γ), στο τύμπανο περιελίξεως (Δ) και στο αλυσέλικτρο (Ε) μέσω διακλαδωτήρα τύπου ψαροκόκκαλου ή ελικοειδών τροχών (Η). Επίσης, διακρίνεται το φρένο του βαρούλκου (Ζ).

Άλλη διάταξη ηλεκτροκίνητου βαρούλκου παρουσιάζεται στο σχήμα 13.4ζ, όπου ο κινητήρας με το κιβώτιο των γρاناζιών τοποθετείται κάτω από το κατάστρωμα και η μετάδοση της κίνησης στο τύμπανο και στο αλυσέλικτρο πραγματοποιείται μέσω του κάθετου άξονα συνδέσεως.

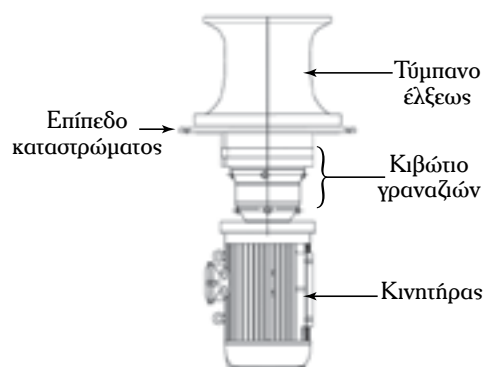
Ο κινητήρας, σε κάθε περίπτωση, έχει τη δυνατότητα περιστροφής και προς τις δύο κατευθύνσεις έλκοντας το βάρος μιας άγκυρας, αλλά και τη δυνατότητα ανυψώσεως και καθελκύσεως φορτίων με τον κινητήρα σε συνεχή λειτουργία.

Το βαρούλκο διαθέτει ηλεκτρικό φρένο, που ενεργεί αυτόματα, συγκρατώντας το φορτίο σε περίπτωση αιφνίδιας διακοπής του ρεύματος στον κινητήρα. Αποτελείται από δύο δίσκους, έναν κινητό στερεωμένο στον άξονα του κινητήρα και έναν σταθερό. Και οι δύο δίσκοι βρίσκονται σε επαφή συγκρατώντας τον άξονα σταθερό. Με την παροχή ρεύματος για τη λειτουργία του κινητήρα, παρέχεται ρεύμα στο πηνίο του φρένου που, αναπτύσσοντας μαγνητική δύναμη, ανασπκώνει τον έναν κινητό δίσκο επιτρέποντας την ελεύθερη περιστροφή του άξονα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Μόλις το ρεύμα διακοπεί, οι δίσκοι



Σχ. 13.4στ

Ηλεκτροκίνητο βαρούλκο.



Σχ. 13.4ζ

Ηλεκτροκίνητο βαρούλκο με κάθετο άξονα.

έρχονται πάλι σε επαφή διατηρώντας τη θέση του άξονα σταθερή.

Επίσης, λόγω μεγάλης ποικιλίας από διάφορους κατασκευαστές και ανάλογα με τη χρήση, η πέδηση (φρενάρισμα) του άξονα περιστροφής μπορεί να πραγματοποιείται με τη βοήθεια χειροκίνητης διάταξης με σύστημα μοχλών και συνδέσμων. Μέσω αυτού του συστήματος, επιτυγχάνεται η σταθερή θέση του βαρούλκου όταν ο κινητήρας βρίσκεται εκτός λειτουργίας ή στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όταν υποστεί βλάβη το μαγνητικό φρένο.

Στο αυτόματο σύστημα προσδέσεως συνήθως χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας με δύο ταχύτητες, που ενεργοποιείται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα με τη βοήθεια ειδικού χρονοδιακόπτη. Το σχοινί προσδέσεως έλκεται αυτόματα ή χαλαρώνει αντίστοιχα προς τις μεταβολές της εντάσεώς του και διατηρείται τεντωμένο με τη βοήθεια μαγνητικής πέδης. Σε διατάξεις σταθερής εντάσεως, ο άξονας του βαρούλκου εφοδιάζεται με ειδικό μηχανισμό, που ενεργοποιείται από την ένταση του σχοινιού και επιδρά σε διακόπτη του ηλεκτροκινητήρα, ανάλογα με τις μεταβολές εντάσεως του σχοινιού. Ο διακόπτης του ηλεκτροκινητήρα αποτελείται από κνώδακες, που ελέγχουν την κίνηση του βαρούλκου. Ο κύριος διακόπτης ελέγχου συνήθως τοποθετείται στο κατάρωμα, κοντά στα σημεία απ' όπου διευκολύνεται ο χειρισμός του μηχανήματος.

13.5 Εργάτης και βαρούλκο άγκυρας.

Η αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του εργάτη (capstan) ή του βαρούλκου της άγκυρας (windlass) είναι σημαντική για την ασφάλεια του πλοίου. Όπως έχει αναφερθεί, με τους όρους εργάτη και βαρούλκο εννοούμε τον μηχανισμό που διαθέτει κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα αντίστοιχα, επάνω στον οποίο προσαρμόζεται τύμπανο ή αλυσέλικτρο. Το αλυσέλικτρο έχει ειδικής μορφής οδοντώσεις ή γλύφες, οι οποίες με την περιστροφή του, δέχονται τους κρίκους της μετακινούμενης αλυσίδας (σχ. 13.5α).

Ένα βαρούλκο άγκυρας πρέπει να ανταποκρίνεται στα ακόλουθα:

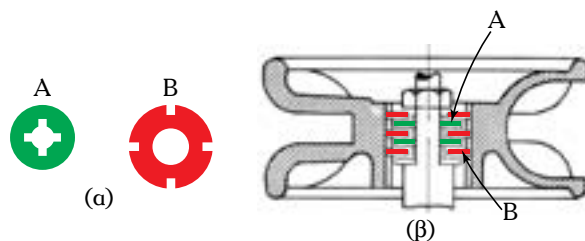
α) Το αλυσέλικτρο του βαρούλκου πρέπει να ελέγχει την άγκυρα και την αλυσίδα, ενώ όταν αυτό αποσυνδεθεί από τα γρανάζια, πρέπει να στρέφεται ελεύθερα κατά την πόντιση της άγκυρας στη θάλασ-

σα. Η μέση ταχύτητα κατά τη διάρκεια λειτουργίας για κάθε εγκατάσταση ορίζεται από τον νηογνώμονα και ελέγχεται με δοκιμαστική λειτουργία σε επιθεωρήσεις του πλοίου. Για την ελεύθερη περιστροφή του αλυσέλικτρου πάνω στον άξονα χρησιμοποιείται μία διάταξη με δίσκους τριβής, που είναι 8–12 δίσκοι τύπου Α και αντίστοιχα 8–12 δίσκοι τύπου Β (σχ. 13.5β). Οι δίσκοι τύπου Α τοποθετούνται στον άξονα σε κατάλληλες εξοχές και αντίστοιχα οι δίσκοι τύπου Β στο εσωτερικό του τροχού του αλυσέλικτρου εναλλάξ [σχ. 13.5β(β)]. Έτσι, με τη σύσφιγξή τους από το περικόχλιο οι δίσκοι έρχονται σε επαφή στρέφοντας το αλυσέλικτρο μαζί με τον άξονα, ενώ όταν το περικόχλιο χαλαρώνει, οι δίσκοι παύουν να εφάπτονται και ο άξονας ή το αλυσέλικτρο περιστρέφεται ανεξάρτητα.

β) Το βαρούλκο πρέπει να είναι σε θέση να ανυψώσει αλυσίδα μήκους όσο ένα **κλειδί** = 27,45 m (**άμμα**)¹ μέσα σε ορισμένο χρονικό περιθώριο, που ορίζεται από τον κατασκευαστή κάθε τύπου βαρούλκου. Το πλήρες φορτίο του βαρούλκου ποικίλλει και



Σχ. 13.5α
Βαρούλκο άγκυρας.



Σχ. 13.5β
(α) Μορφή δίσκων αλυσέλικτρου και
(β) διάταξή τους σ' αυτό.

¹ Κλειδί ή άμμα: μέτρο μήκους της αλυσίδας ενός πλοίου, π.χ. 4 κλειδιά = 109,8 m.

μπορεί να φτάσει τους 70 τόνους, ενώ συνήθως αντιπροσωπεύει 4–6 φορές το βάρος της άγκυρας.

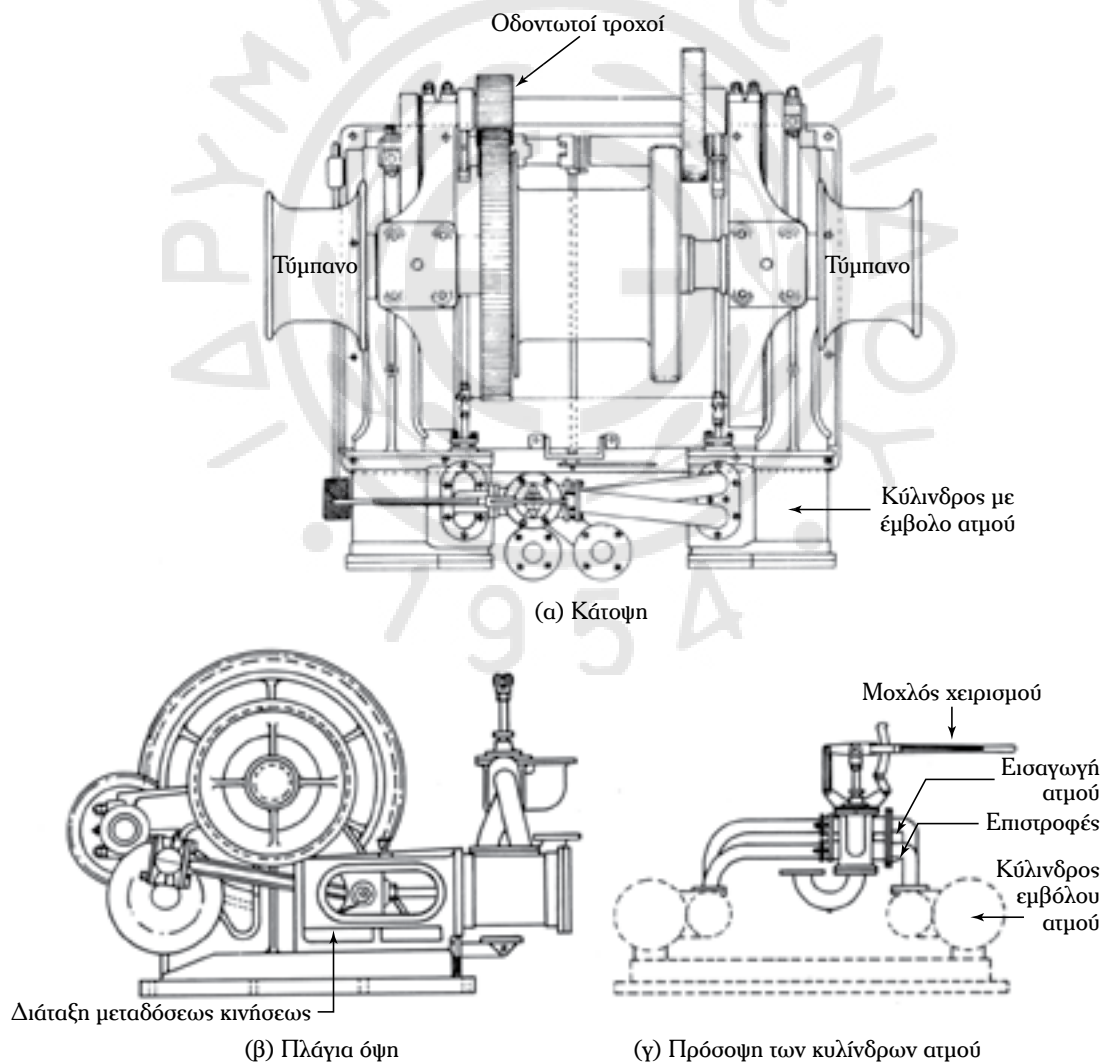
γ) Η δύναμη πεδήσεως που λαμβάνεται στην ανύψωση της αλυσίδας πρέπει να είναι ίση τουλάχιστον με το 40% του ορίου θραύσεως της αλυσίδας.

Στα βαρούλκα άγκυρας ο μηχανισμός παρέχει επίσης κίνηση σε ακραία τύμπανα, ώστε να πραγματοποιείται ταυτόχρονα ο χειρισμός σε σχοινιά ή σύρματα προσδέσεως, ενώ είναι δυνατόν τα βαρούλκα άγκυρας να διαθέτουν και τύμπανα περιελίξεως για την αποθήκευση των σχοινιών μέχρι την επόμενη χρήση.

Ανάλογα με τον μηχανισμό κινήσεως που χρησιμοποιείται, τα βαρούλκα άγκυρας διακρίνονται σε:

α) **Ατμοκίνητα**, με δικύλινδρη συνήθως παλινδρομική μηχανή και σύστημα διανομής του ατμού για

την αναστροφή, επιτυγχάνοντας την περιστροφή του τυμπάνου και του αλυσέλικτρου προς τις δύο κατευθύνσεις (σχ. 13.5γ). Η αναστροφή πραγματοποιείται με την ανάλογη θέση του μοχλού ελέγχου του μηχανήματος. Στη μετάδοση της κινήσεως χρησιμοποιείται διάταξη ατέρμονα κοχλία και οδοντωτών τροχών. Σε ορισμένες κατασκευές χρησιμοποιούνται ατμοκίνητοι εργάτες με αναστρεφόμενο ατμοστρόβιλο, που αποτελείται από δύο σειρές ακτινικών περυγίων. Η μία σειρά, συνήθως η δεξιόστροφη, χρησιμοποιείται για την κανονική κίνηση του μηχανήματος, ενώ η αριστερόστροφη, με τα περύγια μικρότερου ύψους τοποθετημένα σε αντίθετη φορά, χρησιμοποιείται στην αντίστροφη κίνηση. Οι δύο θάλαμοι στους οποίους περιστρέφονται οι σειρές των ακτινικών περυγίων διαχωρίζονται στεγανά, ενώ ο έλεγχος λειτουργίας



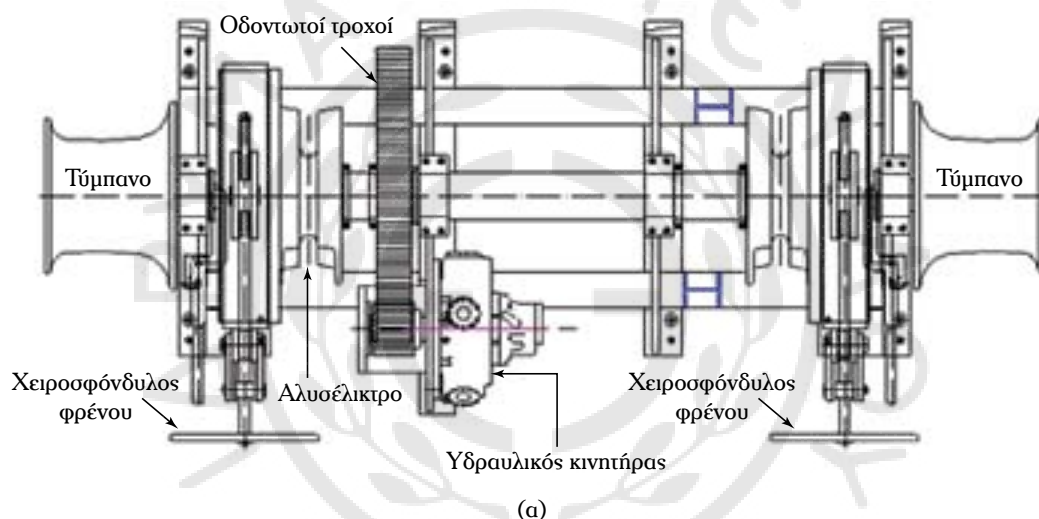
Σχ. 13.5γ
Ατμοκίνητο βαρούλκο.

του ατμοστροβίλου πραγματοποιείται μέσω εξωτερικών μοχλών, που ενεργούν στις βαλβίδες παροχής του ατμού.

β) **Υδραυλικά βαρούλκα**, με περυγιοφόρο υδραυλικό κινητήρα ή με ακτινικά έμβολα για την περιστροφή του άξονα του μηχανήματος, ενώ η πίεση στον υδραυλικό κινητήρα παρέχεται από υδραυλική αντλία (σχ. 13.5δ). Σε ένα σύστημα υδραυλικού βαρούλκου, οι υδραυλικές αντλίες μπορεί να είναι εμβολοφόρες μεταβλητής διαδρομής, για την αντιστροφή της κινήσεως του υδραυλικού κινητήρα. Οι υδραυλικές μονάδες εγκαθίστανται κάτω από το κατάστρωμα όταν εξυπηρετούν κάθε μηχανήμα χωριστά, ενώ στον χώρο του μηχανοστασίου εγκαθίσταται μια κεντρική μονάδα ισχύος, όταν πρόκειται

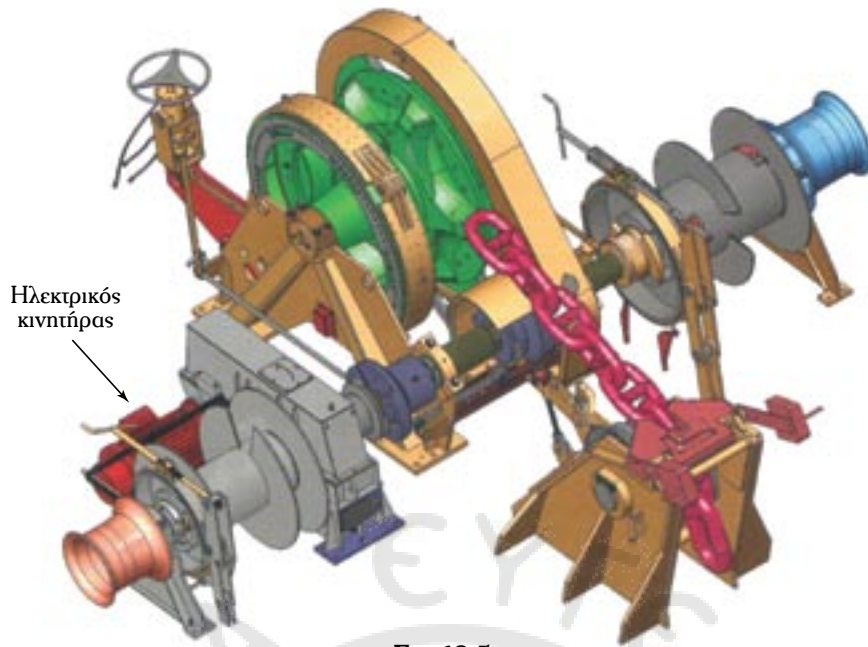
να λειτουργήσουν πολλά μηχανήματα μέσω υδραυλικού δικτύου.

γ) **Ηλεκτρικά**, με κινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Η μετάδοση από τον ηλεκτροκινητήρα γίνεται σε κατάλληλο κιβώτιο με γρανάζια, που μεταδίδει την κίνηση στον άξονα του βαρούλκου ή του εργάτη όπου εφαρμόζονται το αλυσέλιτρο, το τύμπανο έλξεως κ.λπ.. Στο σχήμα 13.5ε, παρουσιάζεται βαρούλκο με οριζόντιο άξονα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας για την κίνηση του μηχανήματος είναι εγκατεστημένος επάνω στο κιβώτιο των γραναζιών ή κάτω από το κατάστρωμα, μεταδίδοντας την κίνηση μέσω άξονα. Όταν η εγκατάσταση του κινητήριου μηχανήματος βρίσκεται κάτω από το κατάστρωμα, ο εργάτης έχει τη διάταξη του σχήματος 13.5στ.



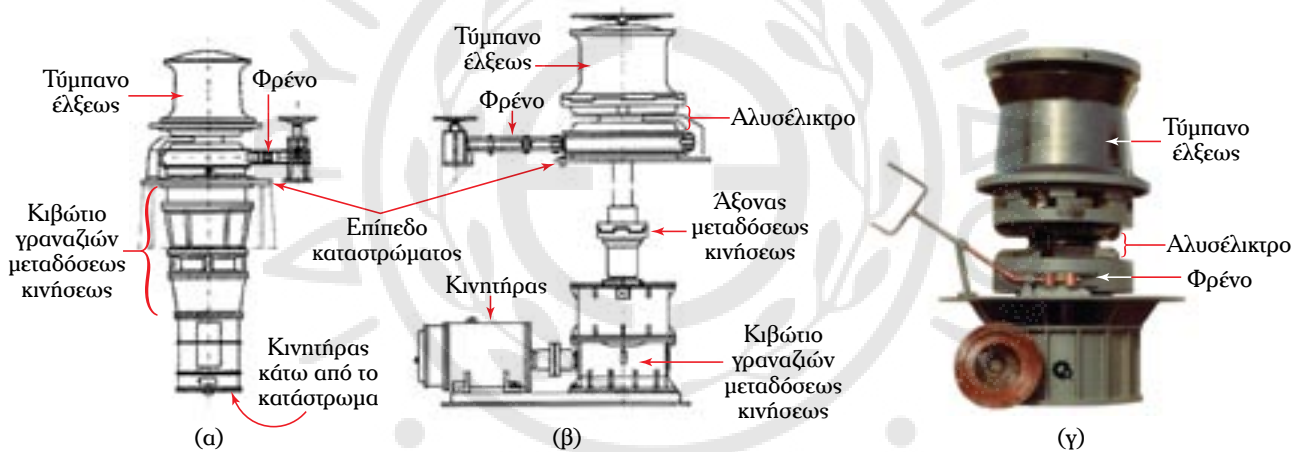
Σχ. 13.56

Υδραυλικό βαρούλκο. (α) Σχηματική αναπαράσταση και (β) εικόνα.



Σχ. 13.5ε

Ηλεκτρικό βαρούλκο με οριζόντιο άξονα.



Σχ. 13.5στ

Ηλεκτροκίνητος εργάτης άγκυρας με κινητήρα (α) σε κάθετη διάταξη, (β) σε οριζόντια διάταξη και (γ) εικόνα.

13.6 Μηχανισμοί προσδέσεως.

Τα βαρούλκα που χρησιμοποιούνται για την πόντιση και την ανέλκυση της άγκυρας διαθέτουν τύμπανα σχεδιασμένα, ώστε να έλκουν με την περιστροφή τους εκτός από την αλυσίδα της άγκυρας και τα σχοινιά ή τα σύρματα προσδέσεως (σχ. 13.6α). Επίσης, μπορεί να φέρουν και τύμπανα περιελίξεως των σχοινιών (κάβων) ή των συρματοσχοινίων.

Είναι τοποθετημένα στην πλώρη του πλοίου, ενώ στην πρύμνη ή κατά μήκος του καταστρώματος σε μεγάλο μήκος πλοία εγκαθίστανται **βίντζια** (mooring winches), που είναι όμοιας κατασκευής, αλλά δεν διαθέτουν αλυσέλικτρο, με σκοπό την



Σχ. 13.6α

Πρωαίο βαρούλκο με τύμπανα προσδέσεως.

πρόσδεση και τη συγκράτηση του πλοίου στην ξηρά.

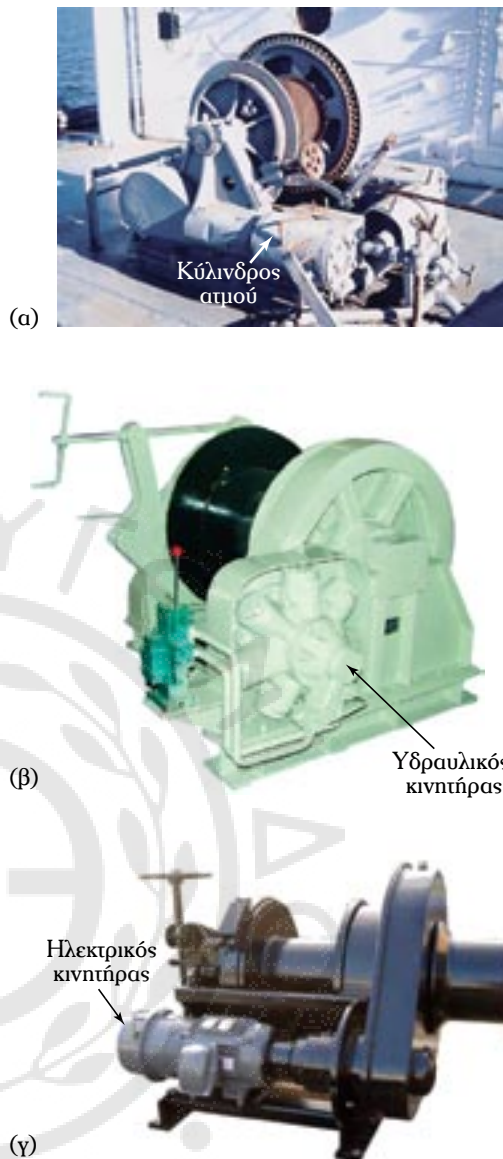
Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των αξόνων των τυμπάνων είναι όμοιοι με των βαρούλκων άγκυρας. Ανάλογα με τον μηχανισμό κινήσεως, τον τύπο του πλοίου, τον σχεδιασμό καθώς και τη διαθέσιμη ενέργεια τα βίντζια διακρίνονται σε **ατμοκίνητα**, **υδραυλικά**, **ηλεκτροϋδραυλικά** ή **ηλεκτρικά**.

Στα ατμοκίνητα [σχ. 13.6β(α)] ο ατμός παρέχεται από το δίκτυο ατμού του καταστρώματος, στα υδραυλικά [σχ. 13.6β(β)] και στα ηλεκτροϋδραυλικά από κεντρική μονάδα ισχύος, ενώ στα ηλεκτρικά [σχ. 13.6β(γ)] σε κάθε βίντζι εγκαθίσταται και ο ανάλογος ηλεκτροκινητήρας. Ο χειρισμός πραγματοποιείται από συστήματα ελέγχου όπως βαλβίδες ατμού, βαλβίδες με μοχλούς ελέγχου του υδραυλικού ελαίου και διακόπτες για τα ηλεκτροκίνητα.

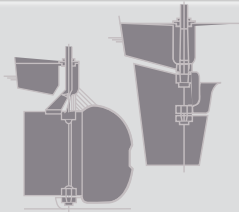
Τα βίντζια στηρίζονται σε σταθερή βάση στο κατάστρωμα και διαθέτουν κατάλληλο μηχανισμό πεδήσεως (φρένου) με αντίβαρο και κοχλία συσφίξεως ή μαγνητική πέδη. Το φρένο είναι τύπου ταινίας ή ζώνης περιβάλλοντας τον τροχό πεδήσεως για την κράτηση του τυμπάνου όταν αυτό απαιτείται, ενώ η ζώνη πεδήσεως επενδύεται με αντιολισθητικό συνθετικό υλικό (φερμουίτ) στα σημεία επαφής με τον τροχό πεδήσεως του άξονα.

Η περιστροφή του τυμπάνου πραγματοποιείται και προς τις δύο κατευθύνσεις για την έλξη ή την απελευθέρωση των σχοινιών και των συρμάτων προσδέσεως.

Τα σύγχρονα βίντζια είναι εφοδιασμένα με αυτόματο μηχανισμό ελέγχου των προσδέσεων, ώστε όταν μεταβάλλεται η προκαθορισμένη ένταση να έλκουν ή να απελευθερώνουν ανάλογα τον κάβο ή το συρματοσχοίνο προσδέσεως, διατηρώντας την επιθυμητή τάση.



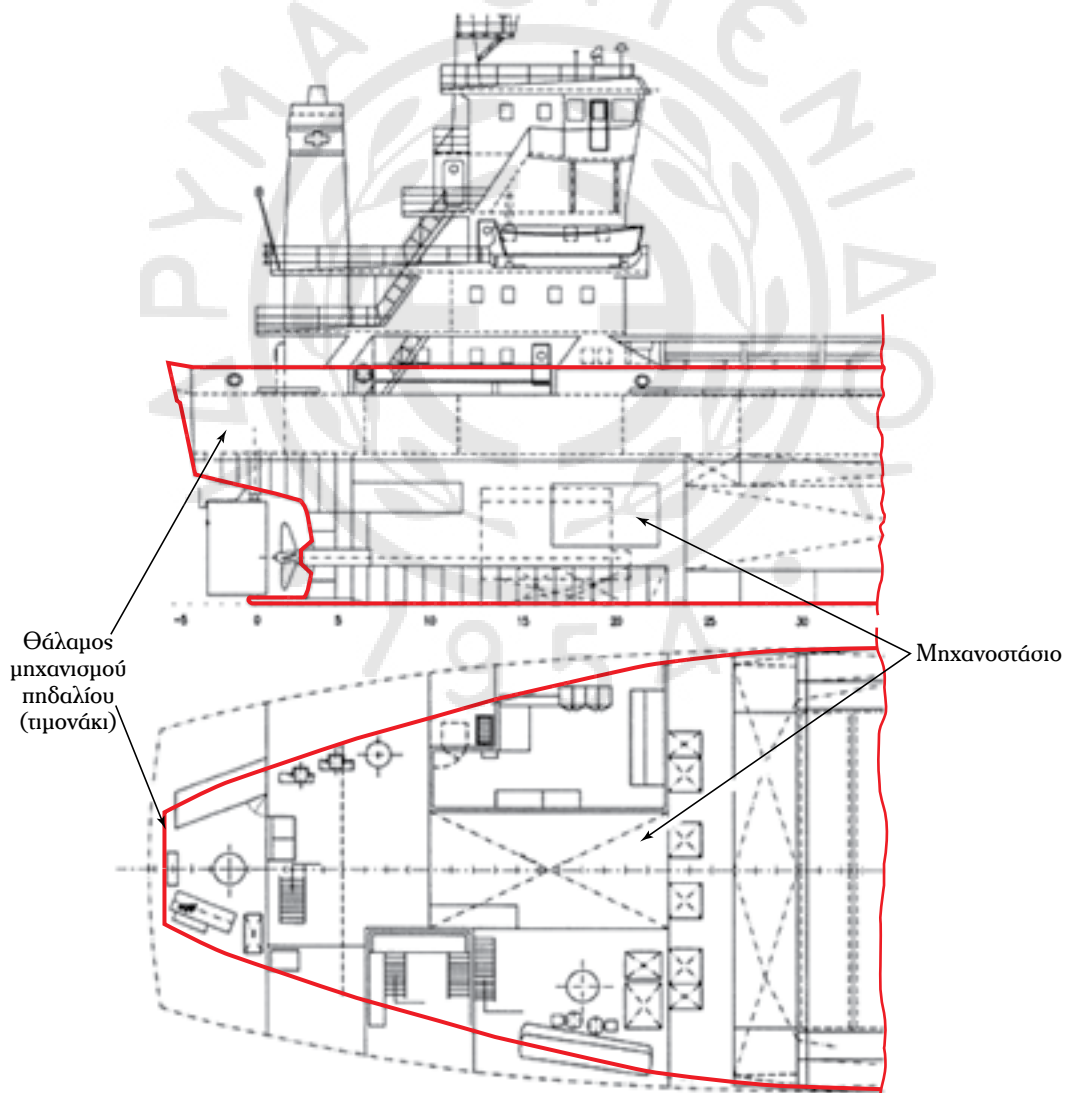
Σχ. 13.6β
Τύποι βιντζιών.



14.1 Εισαγωγή.

Ο **μηχανισμός πηδαλίου** (steering gear) στα πλοία είναι η διάταξη που εξασφαλίζει την περιστροφή του πηδαλίου και κατά συνέπεια την αλλαγή της πορείας του πλοίου. Οι εντολές αλλαγής της πορείας δίνονται από τη **γέφυρα** (bridge) και εκτελούνται από

τον θάλαμο μηχανισμού πηδαλίου κοινώς τιμονάκι (steering gear room), που βρίσκεται στο πρυμναίο τμήμα του πλοίου συνήθως πίσω από το μηχανοστάσιο (σχ. 14.1). Κάτω από τον μηχανισμό πηδαλίου και εξωτερικά της γάστρας του πλοίου βρίσκεται το **περύγιο πηδαλίου** (rudder ή rudder blade).



Σχ. 14.1

Τμήμα από το σχέδιο γενικής διατάξεως πλοίου, όπου φαίνεται ο θάλαμος μηχανισμού πηδαλίου σε σχέση με το μηχανοστάσιο.

Το σύστημα της πηδαλιουχίας θεωρητικά αποτελείται από τρία υποσυστήματα: το **σύστημα ελέγχου** (control equipment), το **σύστημα παραγωγής ισχύος** (power unit) και τέλος το **σύστημα μεταφοράς της απαιτούμενης ροπής στον άξονα του πηδαλίου** (transmission to the rudder stock). Το σύστημα ελέγχου παράγει το επιθυμητό σήμα από τη γέφυρα του πλοίου. Στη συνέχεια, το σήμα ενεργοποιεί το σύστημα παραγωγής ισχύος και έτσι δημιουργείται η απαιτούμενη ροπή από το σύστημα μεταδόσεως, προκειμένου να περιστραφεί το πηδάλιο στην επιθυμητή γωνία.

Το πηδάλιο είναι μία ενισχυμένη κατασκευή με υδροδυναμικό σχήμα (hydrofoil), έτσι ώστε να δημιουργεί τη μέγιστη απαιτούμενη δύναμη για την αλλαγή της πορείας του πλοίου με τη λιγότερη δυνατή κατανάλωση ισχύος.

Στη Διεθνή Συνθήκη για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα SOLAS¹ (Safety Of Life At Sea) του IMO προβλέπονται οι ελάχιστες απαραίτητες προϋποθέσεις για πλοία, που εκτελούν διεθνείς πλόες ή οι κανονισμοί σχετικά με τη συμμόρφωση των μηχανισμών πηδαλίων των πλοίων.

Βασικοί κανόνες της SOLAS είναι οι παρακάτω:

α) Να υπάρχει εκτός του κύριου μηχανισμού πηδαλίου και ένα βοηθητικό πλήρες σύστημα και αντίστοιχης ιπποδυνάμεως, το οποίο να μπορεί να τεθεί σε λειτουργία σε περίπτωση βλάβης του κύριου.

β) Το σύστημα μηχανισμού πηδαλίου και το πηδάλιο πρέπει να είναι σχεδιασμένα, έτσι ώστε να αντέχουν υδραυλικές πιέσεις και δυνάμεις στο 125% των συνθηκών σχεδιάσεως.

γ) Η γωνία στροφής του πηδαλίου πρέπει να είναι από -35° έως $+35^\circ$ (σύνολο 70°) και στο βύθισμα σχεδιάσεως του πλοίου πρέπει ο χρόνος στροφής να μην υπερβαίνει τα 28 s για συνολική γωνία στροφής 65° .

δ) Η ελάχιστη διάμετρος του άξονα πηδαλίου πρέπει να είναι 120 mm, εκτός αν το πλοίο είναι σχεδιασμένο να πλέει σε θάλασσα με πάγους, που στην περίπτωση αυτή θα είναι μεγαλύτερη.

ε) Τα Δ/Ξ άνω των 10.000 κόνων ολικής χωρητικότητας (κοx²) πρέπει να έχουν δύο ανεξάρτητα συ-

στήματα ελέγχου στη γέφυρα του πλοίου.

στ) Σε όλους τους τύπους πλοίων άνω των 70.000 κοx και ειδικά στα Δ/Ξ άνω των 10.000 κοx πρέπει να υπάρχουν δύο όμοια κύρια συστήματα παραγωγής ισχύος.

ζ) Σε περίπτωση αστοχίας του κύριου συστήματος μηχανισμού πηδαλίου, πρέπει να υπάρχει οπτική και ηχητική ειδοποίηση στη γέφυρα και να τίθεται αυτόματα σε λειτουργία το βοηθητικό σύστημα, το αργότερο σε 45 s.

η) Πρέπει να υπάρχει σύστημα επικοινωνίας μεταξύ της γέφυρας και θαλάμου συστήματος πηδαλιουχίσεως.

Ο τύπος και η αρχή λειτουργίας του συστήματος μηχανισμού πηδαλίου μπορεί να είναι υδραυλικός (ηλεκτροϋδραυλικός, telemotor), μηχανικός ή ηλεκτρικός, όπως θα περιγραφούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Παλαιότερα, γινόταν χρήση του ατμοκίνητου πηδαλίου, όταν ο ατμός ήταν το βασικό μέσο παραγωγής ισχύος στα πλοία. Το ατμοκίνητο πηδάλιο κατασκευάστηκε από τον Αμερικανό μηχανολόγο Frederick Sickel (1819–1895) το 1853 και εγκαταστάθηκε σε πολλά ατμοκίνητα πλοία, όπως ο Τιτανικός και ο Βρετανικός. Η εταιρεία Brown Bros. Co. Ltd στο Εδιμβούργο εξέλιξε την πατέντα του Sickel, κατασκευάζοντας σχεδόν όλα τα ατμοκίνητα πηδάλια που εγκαταστάθηκαν έκτοτε στα πλοία.

14.2 Γεωμετρία πηδαλίου – Τύποι πηδαλίων.

Το πηδάλιο είναι το μέσο με το οποίο το πλοίο μπορεί να αλλάζει κατεύθυνση και να ακολουθεί την επιθυμητή πορεία. Βασικά στοιχεία στον υπολογισμό του τύπου και του μεγέθους του πηδαλίου είναι:

α) Η μέγιστη ταχύτητα του πλοίου.

β) Η ευθύγραμμη απόσταση του **άξονα του πηδαλίου** (rudder stock) από το **σημείο στροφής** ή **ουδέτερο σημείο** (pivoting point)³ του πλοίου L_{PV} (σχ. 14.2α).

γ) Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας του πλοίου.

δ) Το σχήμα της πρύμνης του πλοίου.

¹ SOLAS 2002, consolidated edition.

² Ένας κόρος ισούται με 100 κυβικά πόδια ($1 \text{ κοx} = 100 \text{ ft}^3$).

³ Όταν ασκείται κάθετη δύναμη από το πηδάλιο του πλοίου, αυτό περιστρέφεται γύρω από έναν «νοντό» κάθετο άξονα, ο οποίος διέρχεται από ένα σημείο, που ονομάζεται σημείο στροφής. Το σημείο στροφής βρίσκεται στο $\frac{1}{3}$ του μήκους του πλοίου από την πύρα, όταν το πλοίο είναι εν κινήσει.

ε) Το εμβαδόν της προβολής της βρεχόμενης επιφάνειας του πλοίου και η θέση του **κέντρου εγκάρσιων αντιστάσεως** (centre of lateral resistance)

στ) Το βάθος του νερού (σχ. 14.2β).

Το βάθος του νερού ή καλύτερα η απόσταση του πυθμένα του πλοίου από τον πυθμένα του βυθού είναι βασική συνιστώσα στην αλλαγή κατευθύνσεως του πλοίου. Ο βασικός λόγος είναι η ύπαρξη ροής του νερού κάτω από τον πυθμένα του πλοίου. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα ροής του νερού. Το γεγονός αυτό αυξάνει την εγκάρσια αντίσταση του πλοίου, δηλαδή τη δυνατότητα να αλλάξει κατεύθυνση.

Η κάθετη συνιστώσα της εφαρμοζόμενης από το πηδάλιο δυνάμεως F_R είναι ανάλογη με την επιφάνεια του πηδαλίου A_T , το προφίλ της υδροτομής του πηδαλίου, της πυκνότητας του νερού, όπως επίσης και της ταχύτητας προσπώσεως του νερού από την έλικα προς το πηδάλιο. Για τον λόγο αυτόν τα πηδάλια βρίσκονται πάντα πίσω από τις έλικες των πλοίων, έτσι ώστε το πλοίο να έχει καλύτερες ελκτικές ικανότητες λόγω αυξημένης ροής του νερού. Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση L_{PV} , τόσο μεγαλύτερη είναι η ροπή που αναπτύσσεται από το πηδάλιο, προκειμένου να αλλάξει κατεύθυνση το πλοίο.

Η επιφάνεια του πηδαλίου A_T υπολογίζεται σε συνάρτηση με γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας του πλοίου, όπως είναι το εμβαδόν της προβολής βρεχόμενης επιφάνειας, το οποίο εκφράζεται από το γινόμενο (μήκος πλοίου $\times$ βύθισμα), το πλάτος του και επίσης την επιθυμητή δύναμη F_R , που υπολογίζεται στην παράγραφο 14.3.1.

Ενδεικτικά, από τους κανονισμούς του νορβηγικού νηογνώμονα DNV (Det Norske Veritas) δίνεται μία εκτίμηση της ελάχιστης επιφάνειας του πηδαλίου από τη σχέση:

$$A_T = \frac{T \cdot L_{BP}}{100} \cdot \left[1 + 25 \cdot \left(\frac{B}{L_{BP}} \right)^2 \right] [m^2] \quad (1)$$

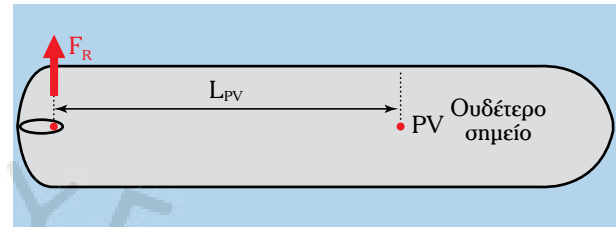
όπου: A_T το εμβαδόν σε m^2 , T το έμφορτο βύθισμα σε m, L_{BP} το μήκος μεταξύ καθέτων σε m και B το πλάτος υπολογισμού σε m.

Ενδεικτικά, στον πίνακα 14.2 παρουσιάζονται για ορισμένους τύπους πλοίων οι τιμές του αδιάστατου λόγου $100 \cdot \left(\frac{A_T}{T \cdot L_{BP}} \right)$.

Από τη σχεδίαση του πλοίου, πριν τη ναυπήγησή του, είναι γνωστά τα υδροδυναμικά χαρακτηριστι-

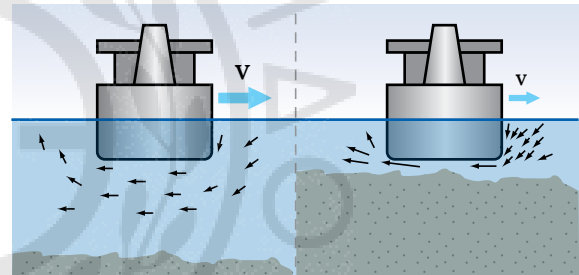
κά του και επομένως το απαιτούμενο μέγεθος του πηδαλίου, τα οποία σε σχέση με τον απαιτούμενο χώρο για το πτερύγιο του (των) πηδαλίου (-λίων) καθορίζουν την επιλογή του τύπου του σχήματος του πηδαλίου. Έτσι, καταλήγουμε να επιλέξουμε:

α) **Μη ζυγισταθμισμένο πηδάλιο πολλαπλής εδράσεως** (non balanced rudder) [σχ. 14.2γ(α)]. Αυτός ο τύπος πηδαλίου απαιτεί τη μέγιστη ροπή



Σχ. 14.2α

Το πλοίο περιστρέφεται γύρω από το σημείο στροφής. Η ροπή που σιρέφει το πλοίο είναι ανάλογη της δυνάμεως F από το πηδάλιο και της αποστάσεως L_{PV} .



Σχ. 14.2β

Ροή γύρω από την γάστρα του πλοίου σε βαθύ ή ρηχό νερό.

Πίνακας 14.2

Ενδεικτικές τιμές του λόγου $100 \cdot \left(\frac{A_T}{T \cdot L_{BP}} \right)$ για διάφορους τύπους πλοίων.

Τύπος πλοίου	$100 \cdot \left(\frac{A_T}{T \cdot L_{BP}} \right)$
Ρυμουλκά (tugs)	2,4 – 2,8
Ασφαλτάδικα (asphalt bitumen)	1,5 – 2,0
Φορτηγά χύδην φορτίου (bulk carriers)	1,5 – 2,0
Δ/Ξ (oil tankers)	1,2 – 1,9
Δ/Ξ εμπορευματοκιβωτίων (containers)	1,3 – 2,7
Επιβατηγά (passenger ferries)	1,3 – 2,0
Αλιευτικά (trawlers)	2,4 – 4,0

στρέψεως, καθώς είναι μη ζυγοσταθμισμένο, δηλαδή όλη η επιφάνειά του βρίσκεται πίσω από τον άξονά του. Επίσης, η ροπή κάμψεως στον άξονα του πηδαλίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους τύπους των πηδαλίων με υποβραχιόνιο.

β) **Ζυγοσταθμισμένο πηδάλιο διπλής εδρασεως** (balanced rudder) [σχ. 14.2γ(β)]. Στο πηδάλιο αυτό η επιφάνεια του πηδαλίου εκτείνεται και στο μπροστινό τμήμα του άξονα. Με αυτήν τη γεωμετρία χρειάζεται μικρότερη ροπή στρέψεως από τον μηχανισμό πηδαλίου. Η καμπτική ροπή στον άξονα είναι όμοια με την προηγούμενη περίπτωση.

γ) **Κρεμαστό ζυγοσταθμισμένο πηδάλιο με υποβραχιόνιο** (balanced rudder with sole piece) [σχ. 14.2γ(γ)]. Σε αυτό το πηδάλιο, το υποβραχιόνιο εξυπηρετεί έτσι, ώστε να μειώνεται η καμπτική ροπή του άξονα του πηδαλίου. Αντίστοιχα, υπάρχει ο ίδιος τύπος πηδαλίου χωρίς υποβραχιόνιο [σχ. 14.2γ(δ)].

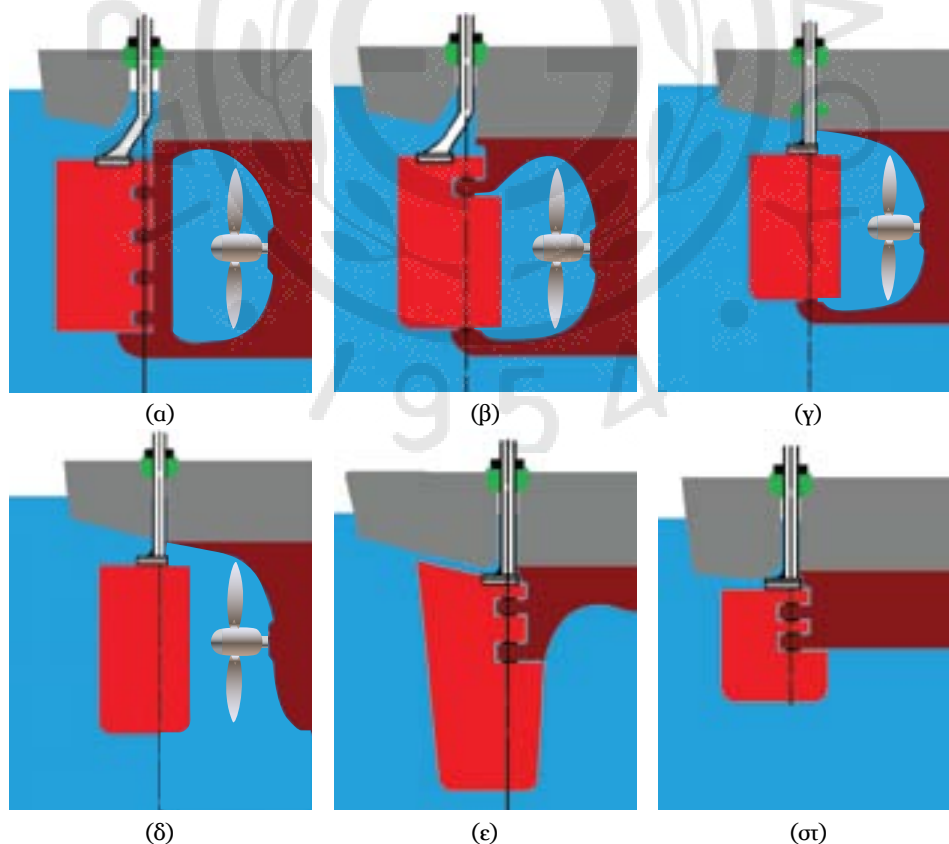
δ) **Ημι-ζυγοσταθμισμένο πηδάλιο με ποδόστημα** (semi balanced spade rudder with rudder horn) [σχ. 14.2γ(ε)] και **ημι-ζυγοσταθμισμένο πηδάλιο δύο τριβέων με ποδόστημα** [σχ. 14.2γ(στ)]. Σε αυτήν την περίπτωση, έχουμε μείωση τόσο της ρο-

πής στρέψεως από τον μηχανισμό πηδαλίου, όσο και της καμπτικής ροπής στον άξονα λόγω του ποδοστίματος.

Ως **βαθμός ζυγοσταθμίσεως** χαρακτηρίζεται ο λόγος της επιφάνειας του πηδαλίου που βρίσκεται μπροστά από τον άξονά του προς τη συνολική επιφάνεια του πηδαλίου. Ο λόγος αυτός κυμαίνεται περίπου από 0,10 έως 0,35.

Τα πρώτα πηδάλια που χρησιμοποιήθηκαν σε πλοία ήταν επίπεδα και αρθρωτά στο μπροστινό τμήμα τους, επάνω στη γάστρα του πλοίου. Με την περιστροφή του πηδαλίου μεταβαλλόταν η ροή του νερού, με αποτέλεσμα να εγείρεται η επιθυμητή δύναμη στην πρύμνη του πλοίου έτσι, ώστε να αλλάζει κατεύθυνση.

Η εισαγωγή του ζυγοσταθμισμένου πηδαλίου ουσιαστικά μετατόπισε τον άξονα περιστροφής του περίπου στο 50% του μήκους του πηδαλίου. Έτσι, κατά την περιστροφή του πηδαλίου, η ροή του νερού στην επιφάνεια μπροστά από τον άξονα περιστροφής υποβοηθά την περιστροφή του πηδαλίου. Μ' αυτόν τον τρόπο χρειάζεται λιγότερη ροπή στον άξονα περιστροφής του.



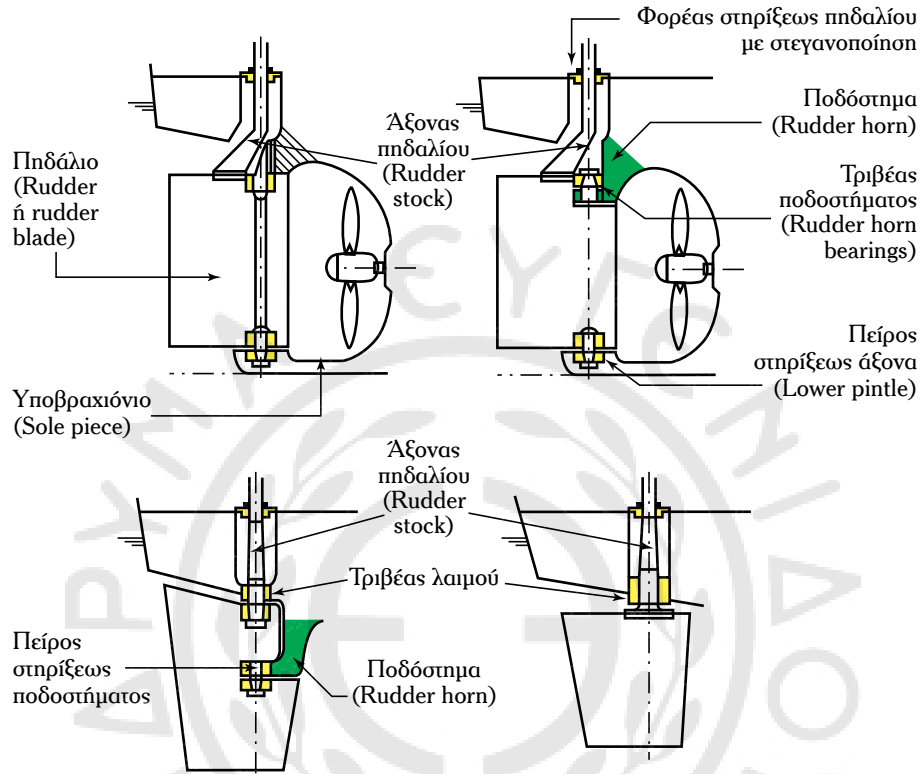
Σχ. 14.2γ
Τύποι πηδαλίων.

Το ζυγοσταθμισμένο πηδάλιο τοποθετήθηκε για πρώτη φορά στο πολεμικό πλοίο USS Monitor το 1862.

Μία εξέλιξη των συμβατικών πηδαλίων όπως αυτά που παρουσιάζονται στο σχήμα 14.2δ είναι τα πηδάλια με **ουραία περύγια** (flap rudders) (σχ.

14.2ε και 14.2στ). Τα πηδάλια αυτά τοποθετούνται κυρίως σε γρήγορα πλοία με σχετικά μικρό συντελεστή γάστρας C_B , όπως είναι τα επιβατηγά ή τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων. Η ύπαρξη των περυγίων (flaps):

α) Διευκολύνει τη διόρθωση της πορείας του



Σχ. 14.2δ

Περιγραφή βασικών τμημάτων πηδαλίων.



Σχ. 14.2ε

Πηδάλια με ουραία περύγια.

πλοίου, χωρίς μεγάλη κατανάλωση ισχύος, αφού περιστρέφεται μόνο το περύγιο, ενώ το κυρίως πηδάλιο παραμένει ακίνητο.

β) Αυξάνει τη δύναμη του πηδαλίου, όταν αυτό στρέφεται σε μεγάλη γωνία, με αποτέλεσμα να έχει καλύτερες ελκτικές ικανότητες.

Η διαμόρφωση του πρυμναίου τμήματος της γάστρας του πλοίου είναι ένας βασικός παράγοντας για την επιλογή του σχήματος του πηδαλίου. Σε περίπτωση που η γάστρα επιτρέπει την τοποθέτηση δύο πηδαλίων αντί ενός, τότε, κατόπιν μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις ελιγμών του πλοίου και τους γεωμετρικούς περιορισμούς (όπως το απαιτούμενο ύψος του πηδαλίου σε σχέση με το βύθισμα του πλοίου), είναι δυνατόν να τοποθετηθούν δύο πηδάλια (σχ. 14.2ζ).

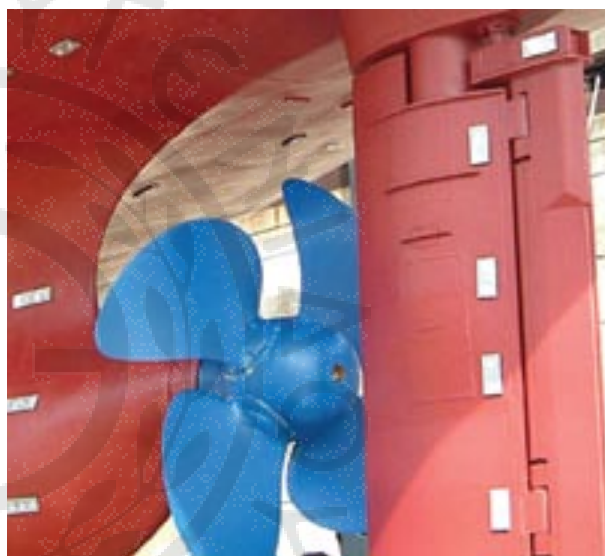
14.3 Ροπή στρέψεως πηδαλίου.

Το πηδάλιο, προκειμένου να περιστραφεί στην επιθυμητή από τον χειριστή γωνία, απαιτείται να εφαρμοστεί ροπή στον άξονά του από τον μηχανισμό του πηδαλίου. Για τον υπολογισμό του μεγέθους της απαιτούμενης ροπής στρέψεως είναι απαραίτητο να είναι γνωστές τόσο η γεωμετρία του πηδαλίου, όσο και η μέγιστη ταχύτητα του πλοίου.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ροπής στρέψεως μπορεί να γίνει με χρήση αναλυτικών σχέσεων της ροής ρευστών σε αλληλεπίδραση με στερεά σώματα. Επειδή όμως το πηδάλιο υπόκειται σε δυναμικές καταπονήσεις, δηλαδή καταπονήσεις σε συνάρτηση με τον χρόνο, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι αδρανειακές δυνάμεις λόγω των επιταχύνσεων. Για τον λόγο αυτόν καλό είναι να γίνεται χρήση των κανόνων των νηογνώμωνων, οι οποίοι περιλαμβάνουν τις δυναμικές καταπονήσεις.

Στις επόμενες παραγράφους, θα ακολουθήσει μία αναλυτική περιγραφή του υπολογισμού της ροπής στρέψεως πηδαλίου, με βάση τους κανονισμούς του ιταλικού νηογνόμωνα RINA¹ (Registro Italiano Navale Architectura). Οι κανονισμοί σχεδιάσεως των πηδαλίων είναι κοινοί για όλους τους νηογνώμονες που ανήκουν στον Διεθνή Οργανισμό των Νηογνώμωνων (International Association of Classification Society – IACS) και επίσης η μέθοδος μπορεί πολύ εύκολα να προγραμματιστεί σε υπολογιστικό φύλλο (π.χ. Excel) και να γίνει παραμετρική

ανάλυση σε συνάρτηση με τους παράγοντες σχεδίασεως, το σχήμα του πηδαλίου και την ταχύτητα του πλοίου.



Σχ. 14.2στ

Πηδάλια με ουραία περύγιο.



Σχ. 14.2ζ

Πλοίο με δύο πηδάλια.

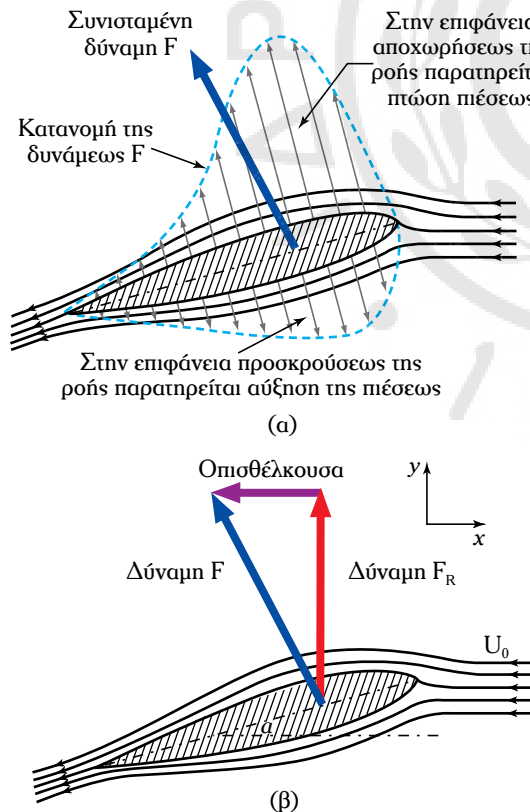
¹ Βλ. Κανονισμούς κατασκευής πλοίων RINA 2008.

14.3.1 Υπολογισμός της δυνάμεως πηδαλίου.

Το πηδάλιο είναι μία συμμετρική υδροδυναμική κατασκευή, που όταν περιστραφεί κατά μία γωνία $\hat{\alpha}$, αναπτύσσεται μία δύναμη F λόγω της διαφορετικής κατανομής της πίεσης στη δεξιά και αριστερή πλευρά του πηδαλίου. Στην επιφάνεια προσκρούσεως παρατηρείται αύξηση της πίεσης, ενώ στην επιφάνεια αποχωρήσεως παρατηρείται πτώση της πίεσης, σύμφωνα με τον νόμο του Bernoulli. Η συνισταμένη δύναμη από την άθροιση των επί μέρους δυνάμεων στην επιφάνεια πίεσης και υποπίεσης είναι η δύναμη F [σχ. 14.3α(α)].

Η συνισταμένη δύναμη F αναλύεται σε δύο δυνάμεις, σε βάση ενός καρτεσιανού συστήματος αξόνων x - y [(σχ. 14.3α(β))], την **οπισθέλκουσα** (drag) και τη **δύναμη στρέψεως πηδαλίου** F_R (rudder force ή lift). Η οπισθέλκουσα έχει φορά αντίθετη με την κίνηση του πλοίου, ενώ η F_R έχει κάθετη φορά και είναι η δύναμη, που θα προκαλέσει την αλλαγή της πορείας του πλοίου.

Το μέγεθος της δυνάμεως F_R είναι η αιτία αλλαγής κατευθύνσεως του πλοίου. Επίσης, η δύναμη



Σχ. 14.3α
Δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πηδάλιο όταν αυτό έχει γωνία $\hat{\alpha}$, σε ρευστό με ταχύτητα U_0 .

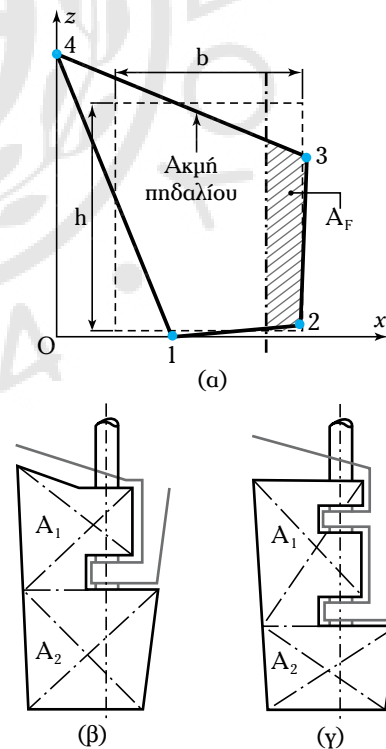
αυτή σε σχέση με τα γεωμετρικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του πλοίου καθορίζει τον κύκλο στροφής του πλοίου, όπως επίσης και την αλλαγή στη διαγωγή του (σχ. 14.3β).

Στη συνέχεια, θα περιγραφεί η εμπειρική μέθοδος υπολογισμού του μεγέθους της F_R για τους τρεις τύπους πηδαλίων που εικονίζονται στο σχήμα 14.3γ.



Σχ. 14.3β

Όταν τα πλοία αλλάζουν κατεύθυνση μετά από στροφή του πηδαλίου, αλλάζει η διαγωγή τους.



(α) Περιγραφή κρεμαστού πηδαλίου σε καρτεσιανό σύστημα. (β) Πηδάλιο με ποδόστημα και μονό πείρο. (γ) Πηδάλιο με ποδόστημα και διπλό πείρο.

Η δύναμη F_R σε [Newton] δίνεται από την σχέση:

$$F_R = 132 \cdot n_R \cdot A \cdot V^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \quad (2)$$

όπου:

α) n_R είναι ο συντελεστής ο οποίος έχει σχέση με την περιοχή πλόων του πλοίου, προκειμένου να λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις από τους κυματισμούς της θάλασσας. Οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής αυτός φαίνονται στον πίνακα 14.3.1. Όπως παρατηρείται από τις τιμές του πίνακα, για πλοία τα οποία δραστηριοποιούνται σε προστατευμένες περιοχές, η δύναμη F_R (λόγω του n_R) είναι μειωμένη κατά 25% σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για πλόες σε ανοικτή θάλασσα, χωρίς περιορισμούς.

β) A είναι η ολική επιφάνεια του πηδαλίου σε m^2 , όπως υπολογίζεται από το περίγραμμά του. Για το πηδάλιο του σχήματος 14.3γ(α) η συνολική επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{(z_3 + z_4) \cdot x_3}{2} - \frac{z_4 \cdot x_1}{2} - \frac{z_2 \cdot (x_2 - x_1)}{2} - \frac{(x_3 - x_2) \cdot (z_3 - z_2)}{2} [m^2]$$

όπου: x_n και z_n είναι οι τετημμένες και τεταγμένες των σημείων 1, 2, 3, 4. Στην περίπτωση που απαιτείται να υπολογισθεί η δύναμη πηδαλίου, για οποιονδήποτε τύπο πηδαλίου απαιτείται να είναι γνωστές οι διαστάσεις του, προκειμένου να σχεδιασθεί υπό κλίμακα το περύγιο του πηδαλίου σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

γ) V είναι η **μέγιστη υπηρεσιακή ταχύτητα** (maximum ahead service speed) πλοίου σε πρόσω κίνηση, σε κόμβους (kn), στη **γραμμή φορτώσεως**

Πίνακας 14.3.1*
Τιμές συντελεστή n_R .

Περιοχή πλόων	Τιμές συντελεστή
Πλόες χωρίς περιορισμούς	1,00
Πλόες σε θάλασσα θέρους (summer zone)	0,95
Πλόες σε τροπικές θάλασσες (tropical zones)	0,85
Παράκτιοι πλόες (coastal areas)	0,85
Πλόες σε προστατευμένες περιοχές – Ποτάμια ή λίμνες (sheltered areas)	0,75

* Πηγή: RINA Classification rules, 2004.

θέρους (summer waterline). Εάν η ταχύτητα του πλοίου είναι μικρότερη από 10 kn, τότε θα λαμβάνεται ίση με V_{min} , σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$V_{min} = \frac{V + 20}{3} \quad (3)$$

Επομένως, για ένα πλοίο που έχει μέγιστη υπηρεσιακή ταχύτητα $V = 8$ kn, για τον υπολογισμό της ταχύτητας με την σχέση (2) θα λαμβάνεται ίση με:

$$V_{min} = \frac{8 + 20}{3} = \frac{28}{3} = 9,33 \text{ kn}$$

Στην περίπτωση που υπολογίζουμε τη δύναμη F_R για την πλεύση του πλοίου σε κατάσταση ανάποδα, τότε πρέπει να λάβουμε υπόψη τη μέγιστη ταχύτητα του πλοίου προς αυτήν την κατεύθυνση. Σε καμία περίπτωση η ταχύτητα αυτή δεν μπορεί να είναι μικρότερη από το μισό της ταχύτητας πορείας πρόσω.

δ) r_1 είναι ο **αδιάστατος συντελεστής μορφής του πηδαλίου** και λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση:

$$r_1 = \frac{\lambda + 2}{3} \quad (4)$$

Η μέγιστη τιμή του r_1 είναι ίση με:

$$r_1 = \left(\frac{4}{3} \right) = 1,333$$

γιατί η μέγιστη τιμή του συντελεστή λ είναι το 2.

Το λ είναι **αδιάστατος συντελεστής**, που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση, και δεν μπορεί να πάρει τιμή μεγαλύτερη του 2:

$$\lambda = \frac{h^2}{A_T} \quad (5)$$

όπου: το h είναι το μέσο ύψος του πηδαλίου σε m, από το επίπεδο αναφοράς [σχ. 14.3γ(α)] και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$h = \frac{z_3 + z_4 - z_2}{2} \quad (6)$$

Σε περίπτωση που το επίπεδο αναφοράς εφάπτεται με το σημείο 2 αντί του σημείου 1 [σχ. 14.3γ(α)], τότε η σχέση (6) αλλάζει αντίστοιχα (δηλ. το z_2 αντικαθίσταται από το z_1). Όταν το πηδάλιο είναι ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, τότε:

$$z_3 = z_4 = z \text{ και } z_1 = z_2 = 0.$$

Τότε το $h = 0,5 \cdot z$.

Το $A_T = A_1 + A_2$ αντιπροσωπεύει επιφάνεια σε m^2 . Είναι η άθροιση της επιφάνειας του πηδαλίου

Α με την πλάγια επιφάνεια του ποδοστήματος μέχρι το ύψος h . Εάν δεν υπάρχει ποδόστημα, τότε το $A_T = A$.

ε) r_2 είναι ο αδιάστατος συντελεστής, ο οποίος έχει σχέση με το σχήμα της υδροτομής του πηδαλίου. Οι τιμές του συντελεστή r_2 δίνονται από τον πίνακα 14.3.2 ανάλογα με το σχήμα της υδροτομής. Τα περισσότερα πηδάλια έχουν προφίλ με επίπεδες ή κοίλες πλευρές. Ο τύπος του προφίλ του πηδαλίου καθορίζεται από την μέγιστη ταχύτητα του πλοίου.

στ) r_3 είναι ο αδιάστατος συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει τις παρακάτω τιμές:

- $r_3 = 0,80$ για πηδάλια που δεν είναι τοποθετημένα πίσω από προπέλα,

- $r_3 = 1,15$ για πηδάλια που είναι τοποθετημένα πίσω από προπέλα και

- $r_3 = 1,00$ για όλα τα υπόλοιπα πηδάλια.

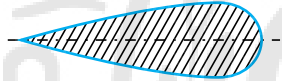
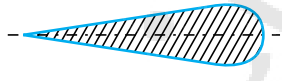
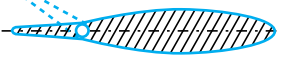
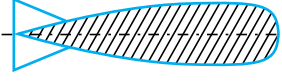
Στην περίπτωση που τα πηδάλια έχουν διαφορετικό σχήμα από αυτό του σχήματος 14.3γ(α), ο υπολογισμός της δυνάμεως πηδαλίου F_R γίνεται επίσης με τη χρήση της σχέσεως (2). Τα μεγέθη που χρειάζονται προσοχή είναι η επιφάνεια πηδαλίου A και ο υπολογισμός του συντελεστή r_1 .

Άλλοι παλαιότεροι προσεγγιστικοί τύποι για τον υπολογισμό της δυνάμεως του πηδαλίου είναι οι κάτωθι:

- α) Τύπος Rankine:

$$F_R = 11 \cdot A \cdot V^2 \cdot \sin^2 \hat{\phi}$$

Πίνακας 14.3.2
Τιμές αδιάστατου συντελεστή r_2 .

Προφίλ υδροτομής πηδαλίου	Τιμές του r_2 για κίνηση του πλοίου πρόσω	Τιμές του r_2 για κίνηση του πλοίου ανάποδα
NACA 00 – Goettingen 	1,10	0,80
Τομή με κοίλες πλευρές – Hallow type 	1,35	0,90
Τομή με επίπεδες πλευρές – Flat type 	1,10	0,90
Τομή με ουραίο πτερύγιο – High Lift 	1,70	1,30
Τομή σε σχήμα ψαριού – Fish tail 	1,40	0,80
Τομή επίπεδης πλάκας – Single plate 	1,00	1,00

β) Τύπος Middendorf:

$$F_R = 11 \cdot A \cdot (1,2 \cdot V^2) \cdot \sin^2 \hat{\phi}$$

γ) Τύπος Weissbach:

$$F_R = 34,5 \cdot A \cdot (1,2 \cdot V^2) \cdot \sin \hat{\phi} (1 - \cos \hat{\phi})$$

δ) Τύπος Joessel:

$$F_R = \frac{5,293 \cdot \sin \hat{\phi}}{0,2 + 0,3 \cdot \sin \hat{\phi}} \cdot A \cdot V^2$$

όπου $\hat{\phi}$ η γωνία στροφής του πηδαλίου.

14.3.2 Ροπή άξονα πηδαλίου.

Γνωρίζοντας το μέγεθος της δυνάμεως στρέψεως του πηδαλίου είναι δυνατό να υπολογίσουμε την ροπή στρέψεως ως προς το **κέντρο πλευστότητας**¹ C_F (center of flotation), τον χρόνο στρέψεως του πλοίου και γενικά τις ελκτικές του ικανότητες, σε συνάρτηση με την ταχύτητα, το βύθισμα και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας.

Επίσης, γνωρίζοντας το μέγεθος της δυνάμεως F_R , μπορούμε να υπολογίσουμε τη ροπή στρέψεως του πηδαλίου ως προς τον άξονά του και κατά συνέπεια τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μηχανισμού στρέψεως, που βρίσκεται στο διαμέρισμα μηχανισμού πηδαλίου.

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου του άξονα του πηδαλίου, εκτός από τη ροπή στρέψεως, χρειάζεται να υπολογισθεί και η ροπή κάμψεως του άξονα, εξαιτίας της δυνάμεως F_R .

Για τον υπολογισμό της ροπής (M_R) του άξονα πηδαλίου, πρέπει να είναι γνωστή η δύναμη του πηδαλίου F_R . Ο υπολογισμός της ροπής του άξονα σε Nm γίνεται με τη χρήση της παρακάτω σχέσεως:

$$M_R = F_R \cdot r \quad (7)$$

όπου: r [m] ο μοχλοβραχίονας της ροπής στρέψεως, δηλαδή η κάθετη απόσταση από το σημείο εφαρμογής της δυνάμεως F_R στον άξονα του πηδαλίου. Δίνεται από τη σχέση:

$$r = b \cdot \left(a - \frac{A_F}{A} \right) \quad (8)$$

Η ελάχιστη τιμή του r δεν μπορεί να είναι μικρότερη από $r = 0,1 \cdot b$, όπου το b είναι το μέσο πλάτος του πηδαλίου [σχ. 14.3γ(α)]. Για το προφίλ του σχήματος 14.2γ(α) δίνεται από την σχέση:

$$b = \frac{x_2 + x_3 - x_1}{2} \quad (9)$$

Το a είναι αδιάστατος συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει τις παρακάτω τιμές:

α) Για κίνηση πρόσω $a = 0,33$.

β) Για κίνηση ανάποδα $a = 0,66$.

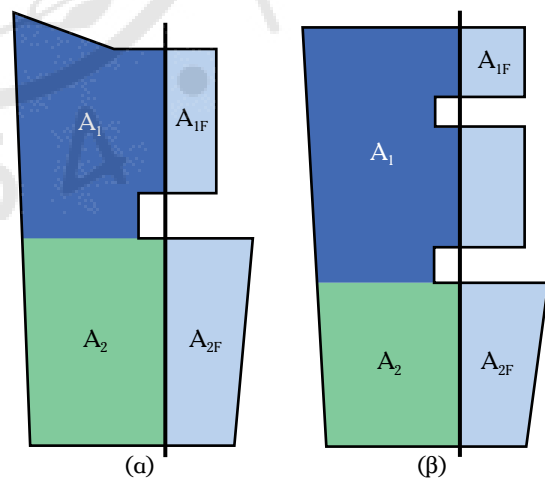
A_T είναι η ολική επιφάνεια του πηδαλίου σε m^2 και A_F είναι η επιφάνεια του πηδαλίου σε m^2 , που βρίσκεται μπροστά από τον άξονα συμμετρίας του άξονα περιστροφής του πηδαλίου (για τα ζυγισταθμισμένα και ημι-ζυγισταθμισμένα πηδάκια) [σχ. 14.3γ(α)].

Για πηδάκια τοποθετημένα σε πρύμνη με ποδόστημα με μονό ή διπλό πείρο (σχ. 14.3δ), ο υπολογισμός της ροπής στρέψεως γίνεται με παρόμοιο τρόπο, αρκεί να χωριστεί η επιφάνεια του πηδαλίου σε δύο περιοχές, A_1 και A_2 . Η μία περιοχή είναι αυτή που βρίσκεται κάτω από το ποδόστημα (A_2) και η δεύτερη περιοχή είναι η υπόλοιπη (A_1). Για την συνολική επιφάνεια του πηδαλίου ισχύει πάντα ότι:

$$A = A_1 + A_2$$

Έχοντας υπολογίσει τη δύναμη πηδαλίου F_R από τη σχέση (2) χρειάζεται να υπολογίσουμε τις επιμέρους δυνάμεις F_{R1} και F_{R2} , που ασκούνται στις επιφάνειες A_1 και A_2 από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} F_{R1} &= F_R \frac{A_1}{A} \quad [N] \\ F_{R2} &= F_R \frac{A_2}{A} \quad [N] \end{aligned} \quad (10)$$



Σχ. 14.3δ

(α) Πηδάκιο με ποδόστημα και μονό πείρο.

(β) Πηδάκιο με ποδόστημα και διπλό πείρο.

¹ C_F είναι το γεωμετρικό κέντρο της ισάλλου επιφάνειας. Το πλοίο περιστρέφεται γύρω από αυτό το σημείο σε ήρεμο νερό.

Για τον υπολογισμό των αντιστοίχων μοχλοβραχιόνων επαναφοράς r_{R1} και r_{R2} , δίνεται η ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} r_{R1} &= b_1 \cdot \left(a - \frac{A_{1F}}{A_1} \right) \\ r_{R2} &= b_2 \cdot \left(a - \frac{A_{2F}}{A_2} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

και λαμβάνονται υπόψη τα περιγράμματα του σχήματος 14.3γ(α) και (β). Τα περιγράμματα που εικονίζονται αντιστοιχούν στα πηδάλια του σχήματος 14.2γ(β) και (ε), όπου τα b_1 και b_2 είναι τα μέσα πλάτη των αντιστοίχων τμημάτων του πηδαλίου και υπολογίζονται με βάση τη σχέση (10). Τα A_{1F} και A_{2F} είναι οι αντίστοιχες επιφάνειες πλώραθεν του άξονα συμμετρίας του άξονα του πηδαλίου. Ο συντελεστής a λαμβάνει τις τιμές που έχουν ήδη προαναφερθεί.

Οι αντίστοιχες ροπές των επιμέρους τμημάτων A_1 και A_2 λαμβάνονται αντίστοιχα από τις παρακάτω σχέσεις (12)

$$M_{TR1} = F_{R1} \cdot r_{R1} \quad (12)$$

$$M_{TR2} = F_{R2} \cdot r_{R2}$$

Η συνολική ροπή (συνισταμένη ροπή) σε [Nm] είναι το άθροισμα M_{TR1} και M_{TR2} .

$$M_{TR} = M_{TR1} + M_{TR2} \quad (13)$$

Για την κίνηση πρόσω, η ελάχιστη ροπή στρέψης σε Nm δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη που προκύπτει από τη σχέση (14).

$$M_{TRmin} = 0,1 \cdot F_R \cdot \left(\frac{A_1 b_1 + A_2 b_2}{A} \right) \quad (14)$$

14.3.3 Το έργο και η ισχύς στρέψης του πηδαλίου.

Προσδιορίζοντας το έργο και την ισχύ στρέψης του πηδαλίου είναι δυνατό να υπολογιστεί και η απαιτούμενη ενέργεια και ισχύς από τον μηχανισμό στρέψης του πηδαλίου. Το έργο W στροφής του πηδαλίου σε Nm είναι ίσο με το γινόμενο της δύναμης στρέψης F_R και του τόξου S , όπως φαίνεται στη σχέση (15), που αντιστοιχεί σε γωνία στρέψης $\hat{\phi}$ (σχ. 14.3ε).

$$W = F_R \cdot S \quad (15)$$

Το τόξο S εξαρτάται από το μέγεθος του μοχλοβραχίονα r όπως υπολογίζεται από τη σχέση (8).

Σύμφωνα με τη ΔΣ SOLAS, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η μέγιστη γωνία του πηδαλίου είναι 70° (35° από αριστερά σε 35° δεξιά) και η ελάχιστη απαιτούμενη γωνιακή ταχύτητα στρέψης είναι 28 s για γωνία 65° . Επομένως, η ελάχιστη απαιτούμενη γωνιακή ταχύτητα είναι:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1}{28s} \cdot \frac{2\pi \cdot 65^\circ}{360^\circ} \text{ rad} \Rightarrow \\ \Rightarrow \omega &= 0,04 \frac{\text{rad}}{s} \end{aligned} \quad (16)$$

Το τόξο S για τυχαία γωνία $\hat{\phi}$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S = 2\pi \cdot \frac{\hat{\phi}}{360^\circ} \cdot r \quad [\text{m}] \quad (17)$$

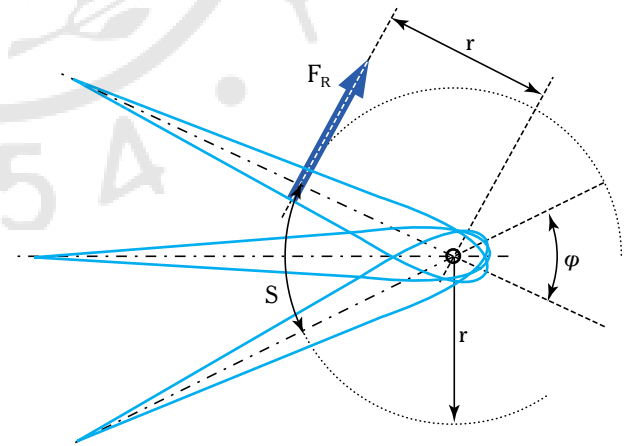
Από τις σχέσεις (15) και (17) προκύπτει ότι το έργο που παράγεται απ' τη στρέψη του πηδαλίου είναι:

$$W = F_R \cdot 2\pi \cdot \frac{\hat{\phi}}{360^\circ} \cdot r \quad [\text{Nm}] \quad (18)$$

Το συνολικό έργο σε Nm που παράγεται για μία πλήρη στροφή του πηδαλίου για 70° από τη σχέση (18) υπολογίζεται σε:

$$W = \frac{2\pi \cdot 70^\circ}{360^\circ} \cdot F_R \cdot r = 1,221 \cdot F_R \cdot r \quad [\text{Nm}] \quad (19)$$

Η απαιτούμενη ισχύς για την περιστροφή του πηδαλίου για τυχαία γωνία $\hat{\phi}$ υπολογίζεται από τη



- F_R Δύναμη στρέψης πλοίου
- S Τόξο στρέψης στροφής πηδαλίου
- r Κάθετη απόσταση του σημείου εφαρμογής της δύναμης F_R από τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου
- ϕ Γωνία στρέψης του πηδαλίου

Σχ. 14.3ε

Πηδάλιο σε γωνία στρέψης $\hat{\phi}$.

σχέση (18), εάν διαιρέσουμε το έργο που παράγεται με τον απαιτούμενο χρόνο t [s]. Έτσι, προκύπτει η ισχύς, p , σε Joule/s ως:

$$p = F_R \cdot 2\pi \cdot \frac{\hat{\phi}}{360^\circ} \cdot r \cdot \frac{1}{t} \left[\frac{Nm}{sec} \right] \quad (20)$$

Εκτελώντας τις πράξεις στη σχέση (20) και λαμβάνοντας υπόψη ότι $1 \text{ joule/s} = 0,001 \text{ kW} = 0,00136 \text{ HP}$, λαμβάνουμε την ισχύ σε kW ή σε HP από τις σχέσεις (21) και (22).

$$p = F_R \cdot 2\pi \cdot \frac{\hat{\phi}}{360^\circ} \cdot r \cdot \frac{1}{t} \left[\frac{Nm}{sec} \right] \quad (21)$$

$$p = 4,08 \cdot \frac{F_R \cdot \pi \cdot \hat{\phi} \cdot r}{t} [HP] \quad (22)$$

14.4 Διατάξεις και μηχανισμοί πηδαλίων άμεσης και έμμεσης μεταδόσεως.

Η διάταξη του μηχανισμού πηδαλίου, όπως έχει προαναφερθεί, περιλαμβάνει το σύστημα ελέγχου, το σύστημα παραγωγής ισχύος και τέλος το σύστημα μεταφοράς της απαιτούμενης ροπής στον άξονα του πηδαλίου. Οι τύποι των εγκατεστημένων μηχανισμών πηδαλίων διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

α) Το **ηλεκτροϋδραυλικό πηδάλιο** (electro hydraulic system - telemotor).

β) Το **μηχανικό πηδάλιο** (mechanical rudder).

γ) Το **ηλεκτρικό πηδάλιο** (electric rudder).

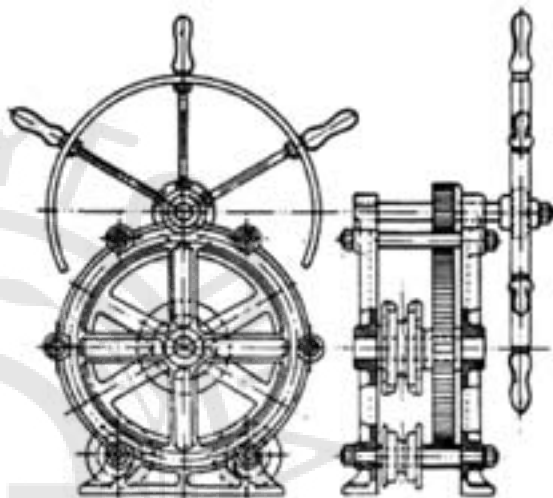
Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει το **οιακοστρόφιο** ή **τιμόνι** (rudder wheel), το οποίο βρίσκεται στη γέφυρα του πλοίου και ανάλογα με τον τύπο του συστήματος πηδαλίου διακρίνεται σε μηχανικό (σχ. 14.4α) και ηλεκτρικό ή ηλεκτροϋδραυλικό (σχ. 14.4β)

Το **μηχανικό πηδάλιο** υπήρχε σε μεγάλα πλοία πριν από την ανάπτυξη των ηλεκτροϋδραυλικών συστημάτων. Η κίνηση του χειριστηρίου τροχού (τιμονιού) μεταβιβάζεται μέσω του συστήματος των γραναζιών στον τυμπανοφόρο άξονα, ο οποίος φέρει αλυσέλικτρο, προκειμένου να συνδεθεί αλυσίδα για τη μεταφορά της δυνάμεως στρέψεως από το τιμόνι στον οίακα, που βρίσκεται στο διαμέρισμα πηδαλίου, ακριβώς επάνω από τον άξονα του πηδαλίου. Ο οίακας αποτελείται από τόξο, στα άκρα του οποίου προσδένεται η αλυσίδα. Αντί της αλυσίδας, σε μικρότερα σκάφη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συρματοσχοινο για τη μετάδοση της δυνάμεως. Ανεξάρτητα από το μέσο μεταφοράς της δυνάμεως γίνεται χρήση τοπικών τροχαλίων ή αλυσελίκτρων για την αλλαγή

διευθύνσεως της φοράς μεταδόσεως από τη γέφυρα του πλοίου στον μηχανισμό στρέψεως του πηδαλίου. Τα μηχανικά πηδάλια, επειδή ακριβώς περιλαμβάνουν πολλά μηχανικά μέρη, έχουν αυξημένες τριβές, οι οποίες μειώνουν τον συνολικό βαθμό αποδόσεώς τους και αυξάνουν τη συντήρηση.

Μία μορφή μηχανικού πηδαλίου, χωρίς τη χρήση αλυσίδας για την μεταφορά της δυνάμεως στρέψεως φαίνεται στο σχήμα 14.4γ.

Σήμερα, σπάνια συναντάται μηχανικό σύστημα



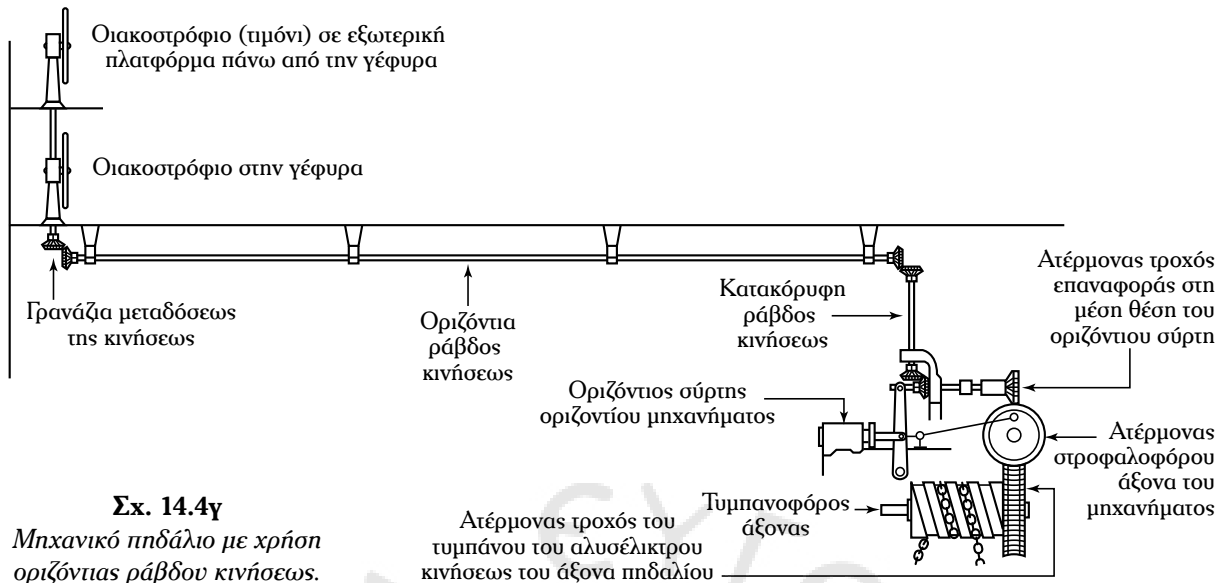
Σχ. 14.4α

Μηχανικό οιακοστρόφιο.



Σχ. 14.4β

Σύγχρονο οιακοστρόφιο τηλεκινήσεως.



Σχ. 14.4γ
Μηχανικό πηδαλίο με χρήση
οριζόντιας ράβδου κινήσεως.

πηδαλίου, γιατί έχει αντικατασταθεί από την τηλεκίνηση με υδραυλικό σύστημα. Η χρήση και εγκατάσταση των **υδραυλικών πηδαλίων** έχει απλουστευθεί πάρα πολύ με την ευρεία διάδοσή τους. Η πιο απλή εφαρμογή τους είναι αυτή που εγκαθίσταται σε μικρές λέμβους (βλ. τη διάταξη του σχ. 14.4δ).

Με τη χρήση μίας απλής χειροκίνητης περιστροφικής αντλίας και ενός εμβόλου επιτυγχάνεται η μεταφορά της δυνάμεως περιστροφής στη **λαγουδέρα**¹ (tiller) μέσω ενός κλειστού συστήματος υδραυλικού ελαίου και ενός συστήματος υποβοηθήσεως σερβομοτέρ. Το σύστημα αυτό εγκαθίσταται σε μικρές λέμβους και σε μεσαίου μεγέθους εμπορικά πλοία χωρητικότητας μέχρι 500 κοκ. Σε εμπορικά πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας που εκτελούν διεθνείς πλόδες ακολουθούνται οι κανονισμοί της SOLAS για τους μηχανισμούς πηδαλίων.

Σε μεγάλα πλοία, το σύστημα μεταδόσεως από τη γέφυρα στον μηχανισμό στρέψεως δίνεται μέσω τηλεκινήσεως. Με τη χρήση υδραυλικής μεταδόσεως, η ροπή στρέψεως του πηδαλίου μεταφέρεται στον άξονα πηδαλίου μέσω **παλινδρομικού** (ram type) ή **περιστροφικού συστήματος** (rotary vane) [σχ. 14.4ε(α) και (β)].

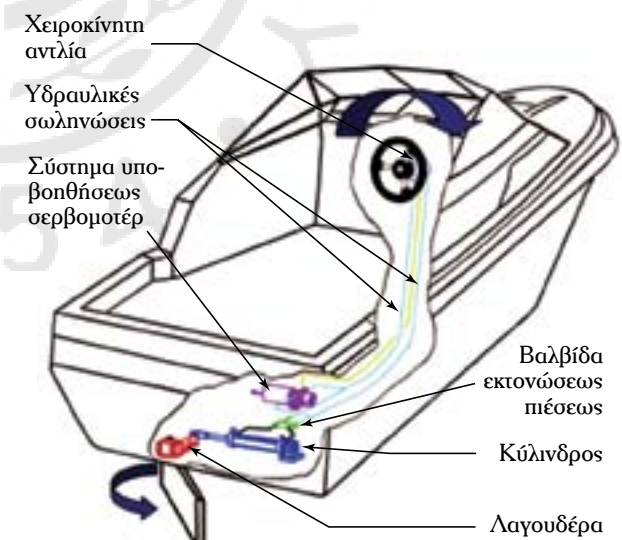
Η μεταφορά της υδραυλικής πίεσεως από το τιμόνι της γέφυρας στο σύστημα στρέψεως του πηδαλίου γίνεται μέσω υδραυλικού δικτύου γεμάτου με λάδι.

Παλαιότερα, γινόταν χρήση διαλύματος νερού και γλυκερίνης, έτσι ώστε να ελαττώνεται το σημείο

πήξεως και να μην πήζει το διάλυμα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η χρήση του διαλύματος γλυκερίνης δημιουργούσε προβλήματα οξειδώσεως λόγω του νερού και για τον λόγο αυτόν καταργήθηκε.

Το πιο διαδεδομένο σύστημα υδραυλικής τηλεκινήσεως είναι αυτό της εταιρείας Brown Bros Co. Ltd (σχ. 14.4στ) με πατέντα που κατοχυρώθηκε στις 14/04/1919 στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο κοίλα έμβολα, τα οποία είναι σταθερά πακτωμένα στο σκά-



Σχ. 14.4δ
Υδραυλικό σύστημα πηδαλίου σε λέμβο.

¹ Η λαγουδέρα είναι ένας οριζόντιος μοχλός (άξονας) συνδεδεμένος με τον άξονα του πηδαλίου.

φος. Τα έμβολα αυτά περιβάλλονται από κύλινδρο, ο οποίος είναι χωρισμένος με διάφραγμα στη μέση.

Όταν ασκηθεί πίεση από τον τηλεκινητήρα μεταδότη από τη γέφυρα του πλοίου, τότε η πίεση μεταβιβάζεται στο ένα τμήμα του κυλίνδρου ασκώντας πίεση, ενώ ταυτόχρονα στο άλλο τμήμα του κυλίνδρου ασκείται υποπίεση ίσου απόλυτου μεγέθους με την πίεση. Τότε, ο κύλινδρος μετατοπίζεται και μέσω των διωστήρων μεταφέρεται η κίνηση στον μηχανισμό στρέψεως του πηδαλίου.

Αντίστοιχης κατασκευής και αρχής λειτουργίας είναι το σύστημα μεταδότη δέκτη Mactaggart-Scott, με πατέντα που αναγνωρίστηκε στις 24/02/1920 από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Σε όλα τα συστήματα υδραυλικής τηλεκινήσεως πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στον εξαερισμό του υδραυλικού συστήματος, ούτως ώστε να αποφεύγεται η παρουσία αέρα στο σύστημα, προκειμέ-



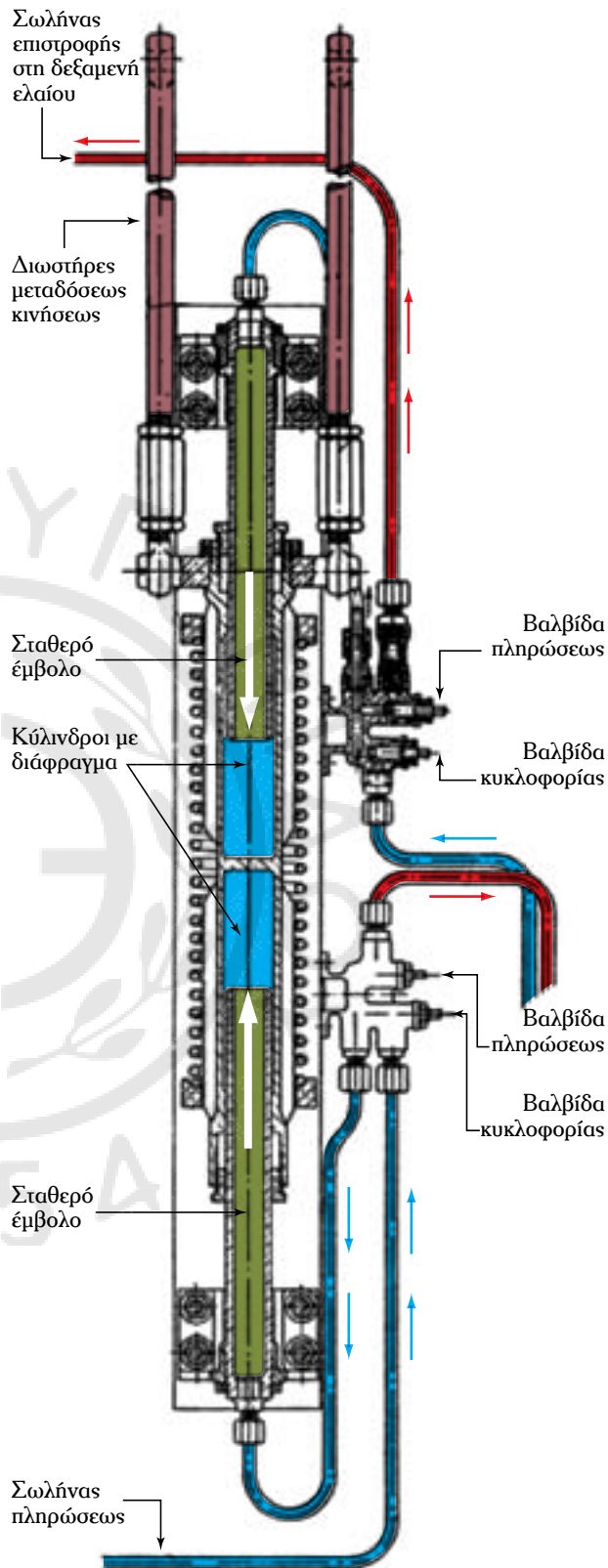
(α)



(β)

Σχ. 14.4ε

Διατάξεις μηχανισμών σιρέψεως του άξονα του πηδαλίου
(α) παλινδρομικού και (β) περιστροφικού τύπου.

**Σχ. 14.4στ**

Υδραυλικός τηλεκινητήρας δέκτη
της εταιρείας Brown Bros Co.

νου να έχει άμεση απόκριση κατά τους χειρισμούς απ' τη γέφυρα ελέγχου του πλοίου.

14.5 Ηλεκτρικά πνδάλια.

Ο όρος **ηλεκτρικά πνδάλια** (electric rubbers) χρησιμοποιείται για συστήματα πνδαλιουκίσεως που περιλαμβάνουν:

α) Ηλεκτρική διάταξη στο σύστημα ελέγχου του πνδαλίου στη γέφυρα.

β) Ηλεκτρική μετάδοση απ' τις θέσεις πνδαλιουκίας προς τον μηχανισμό πνδαλίου.

γ) Ηλεκτρικές μονάδες ισχύος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή του πνδαλίου.

Οι δύο βασικοί τύποι συστημάτων ηλεκτρικών πνδαλίων είναι το **σύστημα Ward-Leonard** και το **σύστημα άμεσου μονού κινητήρα** (direct single motor). Το σύστημα Ward-Leonard αποτελεί παλαιότερη κατασκευή και δύσκολα θα συναντηθεί ανάλογη εγκατάσταση σε σύγχρονα πλοία.

Στο σύστημα Ward-Leonard, για την κίνηση του άξονα του πνδαλίου χρησιμοποιείται σύστημα γραναζιών, το οποίο περιστρέφεται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα.

Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στον κινητήρα του πνδαλίου δεν προέρχεται άμεσα από το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος του πλοίου, αλλά μέσω ενός ξεχωριστού συστήματος κινητήρα-γεννήτριας, που

τροφοδοτεί με ρεύμα τον κινητήρα του πνδαλίου και βρίσκεται στον θάλαμο πνδαλιουκίσεως. Το σύστημα αυτό κινητήρα-γεννήτριας βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία και τροφοδοτείται με ρεύμα από τις γεννήτριες του πλοίου.

Η διάταξη και οι συνδέσεις του κυκλώματος ενός ηλεκτρικού πνδαλίου Ward-Leonard παριστάνεται στο σχήμα 14.5.

Ολόκληρο το κύκλωμα ηλεκτρικής πνδαλιουκίας του Ward-Leonard αποτελείται από:

α) Το οιακοστρόφιο.

β) Δύο ροοστάτες.

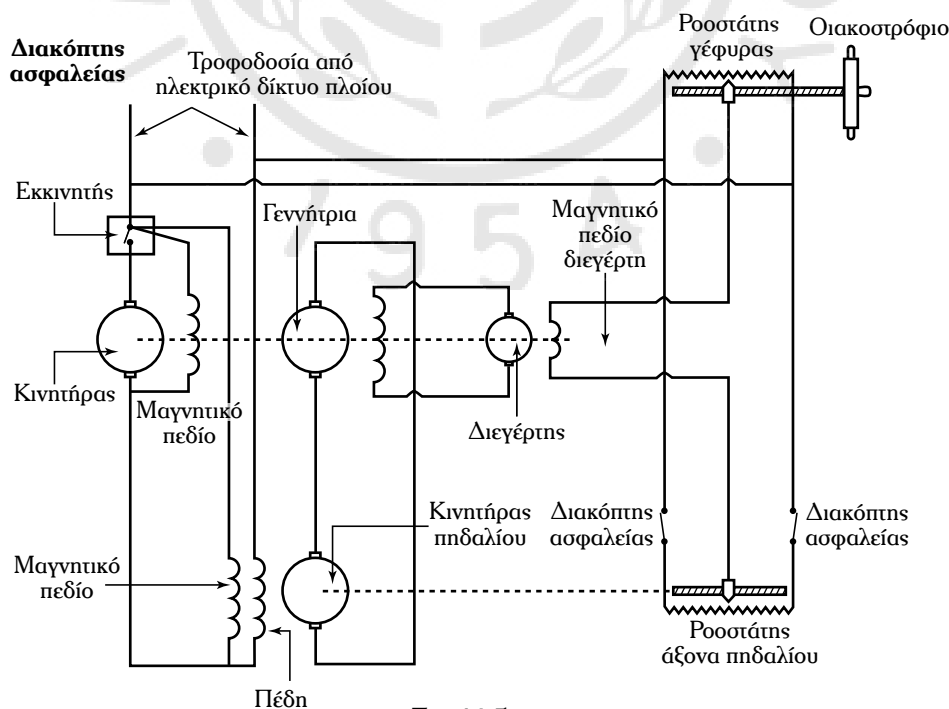
γ) Τη γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τον κινητήρα της.

δ) Τη διεγέρτρια γεννήτρια.

ε) Τον κινητήρα του πνδαλίου με το σύστημα γραναζιών για την μετάδοση της κινήσεως στο πνδάλιο.

Ο κινητήρας του ζεύγους κινητήρα-γεννήτριας τροφοδοτείται από τις γεννήτριες του πλοίου. Η παραγόμενη τάση από τη γεννήτρια κυμαίνεται από μηδέν έως τη μέγιστη θετική τιμή και από μηδέν έως τη μέγιστη αρνητική. Με την τάση αυτή τροφοδοτείται ο κινητήρας του άξονα στρέψεως του πνδαλίου επιτυγχάνοντας, ανάλογα με την πολικότητα της τάσεως, την φορά προς την οποία θα στρέψει το πνδάλιο.

Το σύστημα κινητήρα-γεννήτριας, που βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, συνδέεται άμεσα με τον δι-



Σχ. 14.5

Διάταξη πνδαλίου Ward-Leonard.

εγέρτη, ο οποίος μεταβάλλει το ρεύμα στο μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως της γεννήτριας. Σε κάποια ηλεκτρικά κυκλώματα, το τροφοδοτικό ρεύμα ελέγχου ενεργεί άμεσα στο μαγνητικό πεδίο της γεννήτριας, παραλείποντας τον διεγέρτη. Επίσης, για τη λειτουργία και τον έλεγχο του ηλεκτρικού πηδαλίου δεν παρεμβάλλονται διακόπτες στο κύκλωμα μεταξύ γεννήτριας και κινητήρα του πηδαλίου.

Ο έλεγχος του ρεύματος διεγέρσεως της γεννήτριας πραγματοποιείται από τους δύο ροοστάτες, έναν στη γέφυρα και έναν στον χώρο του πηδαλίου. Τους ροοστάτες διαρρέει ρεύμα μικρής τάσεως, και συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά με **γέφυρα Wheatstone**¹. Πάνω σε αυτούς ολισθαίνουν επαφές και μετακινώντας τη θέση τους μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο του διεγέρτη.

Όταν οι επαφές που ολισθαίνουν πάνω στους ροοστάτες βρίσκονται σε αντίστοιχες θέσεις στο ηλεκτρικό κύκλωμα του πηδαλίου, επικρατεί ισορροπία και δεν προκαλούνται μεταβολές στην τάση διεγέρσεως του διεγέρτη και της γεννήτριας. Ως αποτέλεσμα, ο κινητήρας του πηδαλίου, δεν διαρρέεται από ρεύμα και το πηδάλιο δεν κινείται. Στη θέση αυτή ενεργοποιείται μαγνητική πέδη που συγκρατεί τον κινητήρα του πηδαλίου, ώστε το πηδάλιο να μένει ακίνητο και να απενεργοποιείται όταν το πηνίο της πέδης διαρρέεται με ρεύμα.

Η μετατόπιση της επαφής απ' τη θέση πηδαλιούχιας της γέφυρας γίνεται πάνω σε άξονα με σπείρωμα, που συνδέεται με το οιακοστρόφιο της γέφυρας, ενώ η επαφή του ροοστάτη του πηδαλίου μετακινείται πάνω σε άξονα με σπείρωμα που συνδέεται με τον κινητήρα μέσω μειωτήρα οδοντωτών τροχών.

Περιστρέφοντας το τιμόνι παρασύρεται μέσω του άξονα η επαφή του ροοστάτη, ώστε να στραφεί το πηδάλιο δεξιά ή αριστερά, ανάλογα με την επιθυμητή φορά.

Μετατοπίζοντας τη θέση του ενός ροοστάτη διαταράσσεται η ισορροπία ρεύματος του κυκλώματος, μεταβάλλοντας την τάση στον διεγέρτη της γεννήτριας. Από το ρεύμα που θα κυκλοφορήσει στη διεγερση, διεγείρεται η γεννήτρια και αρχίζει να παρέχει ρεύμα στον κινητήρα στροφής του πηδαλίου. Επίσης, το ρεύμα διαρρέει και το πηνίο της μαγνητικής πέδης, απελευθερώνοντας το πηδάλιο.

Το πηδάλιο θα αρχίσει να κινείται, σύμφωνα με την εντολή που έχει δοθεί από τον πηδαλιούχο στο

τιμόνι της γέφυρας του πλοίου. Ο πηδαλιούχος περιστρέφει τον άξονα που συνδέει τον κινητήρα του πηδαλίου με τον ροοστάτη παρασύροντας σε αντίστοιχη θέση με την επαφή του ροοστάτη της γέφυρας την επαφή του ροοστάτη πηδαλίου, επαναφέροντας το κύκλωμα σε ισορροπία.

Το κύκλωμα δεν διαρρέεται πλέον από ρεύμα, σταματάει να κινείται ο κινητήρας του πηδαλίου, ενεργοποιείται η μαγνητική πέδη και το πηδάλιο μένει ακίνητο στην επιθυμητή θέση.

Για τον έλεγχο της φοράς του πηδαλίου απ' το πλήρωμα υπάρχουν πάνω σε κλίμακα με υποδιαίρεση σε μοίρες, κατάλληλοι δείκτες που συνδέονται με περικύκλιο στους άξονες, όπου ολισθαίνουν οι επαφές των ροοστατών της γέφυρας και του κινητήρα πηδαλίου. Οι δείκτες αυτοί δείχνουν τη γωνία στροφής του.

Η αντίθετη φορά του τροφοδοτικού ρεύματος από τον κινητήρα είναι αυτή που ωθεί το πηδάλιο να στραφεί προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά, και εξαρτάται από την κίνηση της επαφής στον ροοστάτη, που παρασύρεται από το οιακοστρόφιο στη γέφυρα.

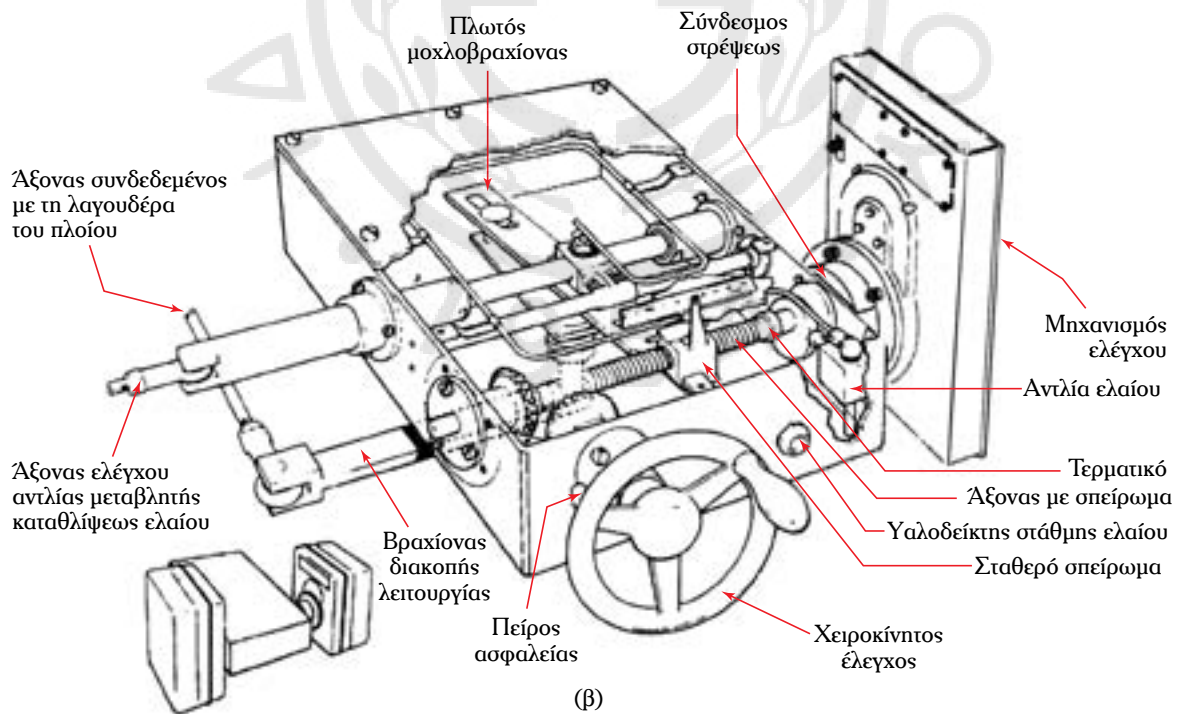
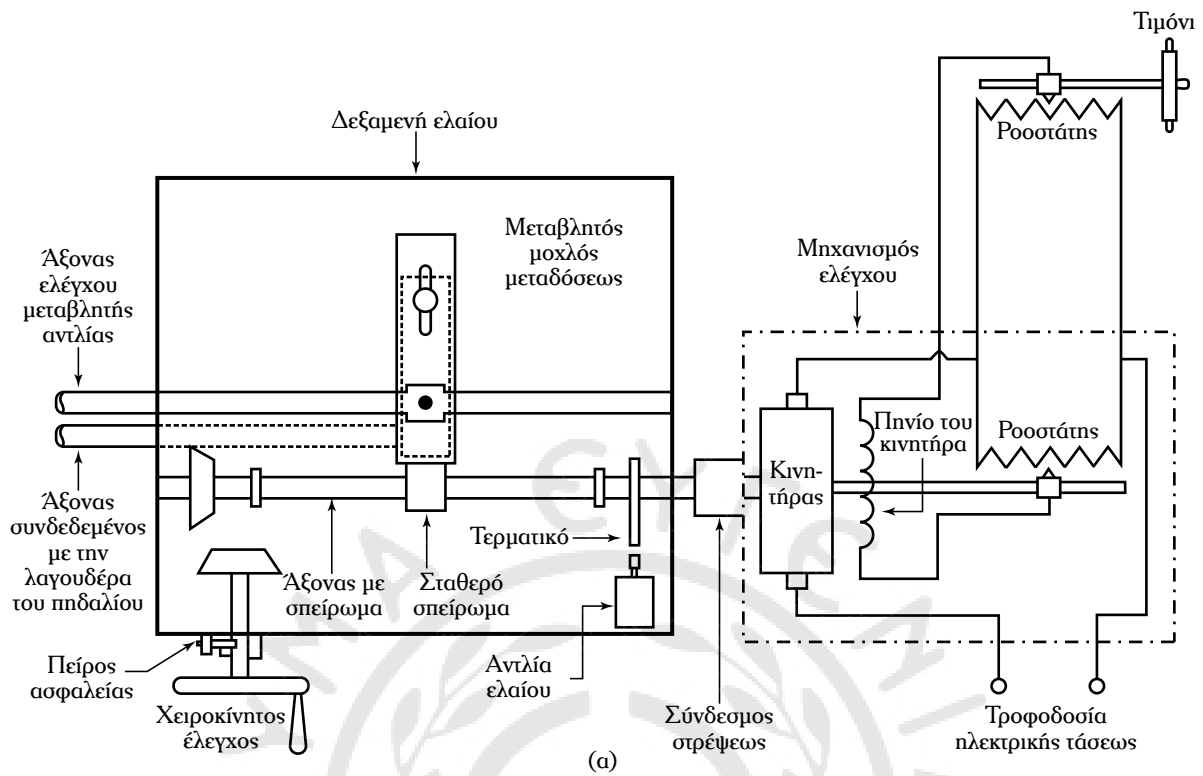
Στα **συστήματα άμεσου μονού κινητήρα**, η παροχή του ρεύματος για να κινηθεί το πηδάλιο, προέρχεται από το κύριο κύκλωμα τροφοδοσίας ρεύματος του πλοίου **μέσω διακόπτη εκκινήσεως** (starter). Ο κινητήρας λειτουργεί στη μέγιστη ταχύτητα μέχρις ότου, διακόποντας το ρεύμα, να σταματήσει η λειτουργία του από το σύστημα ελέγχου. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη πάλι η λειτουργία ενός **συστήματος φρένου**, ώστε το πηδάλιο να παραμένει ακίνητο.

14.6 Ηλεκτρική μετάδοση – Τηλεκίνηση (telemotor).

Στις κατασκευές των νεοτεύκτων πλοίων, που για τη μετάδοση των κινήσεων από τη γέφυρα απαιτούν απλούς, λειτουργικούς και αξιόπιστους μεταδότες, είναι ευρύτερα διαδεδομένο το ηλεκτρικό σύστημα μεταδόσεως ελέγχου του πηδαλίου τηλεκινήσεως.

Η μονάδα τηλεκινήσεως αποτελείται από δύο μέρη, τον **πομπό** και τον **δέκτη**. Ο πομπός είναι εγκατεστημένος στη γέφυρα και διαθέτει το τιμόνι του πηδαλίου, το οποίο με την περιστροφή μεταδίδει την εντολή στον δέκτη που βρίσκεται στον χώρο εγκαταστάσεως του συστήματος στρέψεως του πηδαλίου. Ο δέκτης μεταβιβάζει την εντολή στη μονάδα ελέγχου (σχ. 14.6), που βρίσκεται επίσης στον χώρο

¹ Γέφυρα Wheatstone, ονομάζεται το ηλεκτρικό κύκλωμα σταθερού ρεύματος, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μιας άγνωστης αντιστάσεως, συγκρίνοντάς την με μία γνωστή πρότυπη αντίσταση.



Σχ. 14.6

Σύστημα ηλεκτρικής μεταδόσεως χειρισμών ηλεκκινήσεως (α) διάταξη και (β) τομή.

εγκαταστάσεως του συστήματος στρέψεως του πηδαλίου. Η τηλεκίνηση είναι υδραυλικού τύπου, ηλεκτρικού τύπου ή, όπως συμβαίνει στα περισσότερα σύγχρονα συστήματα πηδαλιουχίας πλοίων, ηλεκτροϋδραυλικού τύπου.

Το οιακοστρόφιο ενός τέτοιου συστήματος εικονίζεται στο σχήμα 14.4β, ενώ ο μηχανισμός ελέγχου που τοποθετείται για την πηδαλιουχία του πλοίου στα σχήματα 14.4στ και 14.6.

Το αποτέλεσμα της κινήσεως του οιακοστρόφιου στη γέφυρα προκαλεί, μέσω ροοστάτη, ηλεκτρική μεταβολή στην ισορροπία του ρεύματος που διαρρέει τον μηχανισμό ελέγχου.

Το μηχανήμα κινείται μέσω μίας συνδεσμολογίας αξόνων, αναγκάζοντάς τους να περιστραφούν μεταδίδοντας την κίνηση σ' έναν μεταβλητό μοχλό που συνδέεται με τον άξονα ελέγχου της αντλίας Hele-Shaw ή Waterbury μεταβλητής καταθλίψεως ελαίου.

Στη συνέχεια, κατόπιν της επιδράσεως του άξονα, που είναι συνδεδεμένος με το πηδάλιο, επαναφέρεται ο άξονας ελέγχου της αντλίας καταθλίψεως ελαίου, ενεργώντας στον μεταβλητό μοχλό μεταδόσεως, που βρίσκεται μέσα στο κουτί με το μηχανικό σύστημα του τηλεκινήτηρα. Έτσι και μετά την επιτυχή στρέψη του πηδαλίου στην επιθυμητή γωνία, ο άξονας με το σπείρωμα επανέρχεται στην αρχική θέση, ισορροπώντας το ηλεκτρικό κύκλωμα, ενώ ο κινητήρας στον μηχανισμό ελέγχου δεν περιστρέφεται.

Ο άξονας της αντλίας μεταβλητής καταθλίψεως είναι στη μέση θέση και η αντλία συνεχίζει να περιστρέφεται, διακόπτοντας την κατάθλιψη ελαίου στον μηχανισμό στρέψεως του πηδαλίου.

Εκτός απ' τη θέση πηδαλιουχίας της γέφυρας, οιακοστρόφια μπορεί να υπάρχουν και σε άλλα σημεία του σκάφους με αντίστοιχες θέσεις πηδαλιουχίας. Σε αυτήν την περίπτωση, ο μεταδότης ελέγχεται ως εξής: από κάθε θέση πηδαλιουχίας συνδέεται μηχανικά με οιακοστρόφιο και ηλεκτρικά με αντίστοιχο δέκτη στον χώρο του μηχανήματος πηδαλίου και στη συνέχεια με τον άξονα ελέγχου της μεταβλητής αντλίας καταθλίψεως ελαίου. Αν οι θέσεις τηλεχειρισμού είναι περισσότερες από μία, τότε υπάρχει κατάλληλος επιλογέας με ενδεικτική λυχνία για την επιθυμητή θέση ελέγχου, καθώς ενδεικτικές λυχνίες υπάρχουν και σε κάθε μεταδότη για τη θέση πηδαλιουχίας που έχει επιλεγεί και τη διαθέσιμη ισχύ.

Ο μηχανισμός είναι εφοδιασμένος με χειροκίνητο άξονα ελέγχου για τον τοπικό έλεγχο του πηδαλίου.

Για να το χρησιμοποιήσουμε χειροκίνητα, διακόπουμε την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και αφαιρούμε τον πείρο ασφαλείας. Τότε, με τη βοήθεια του τοπικού οιακοστρόφιου, που συνδέεται με γρανάζι στο σύστημα ελέγχου, γίνεται ο έλεγχος του μεταβλητού μοχλού μεταδόσεως με τον ίδιο τρόπο που έχει ήδη περιγραφεί παραπάνω.

14.7 Ο τριβέας και ο μηχανισμός στηρίξεως του πηδαλίου.

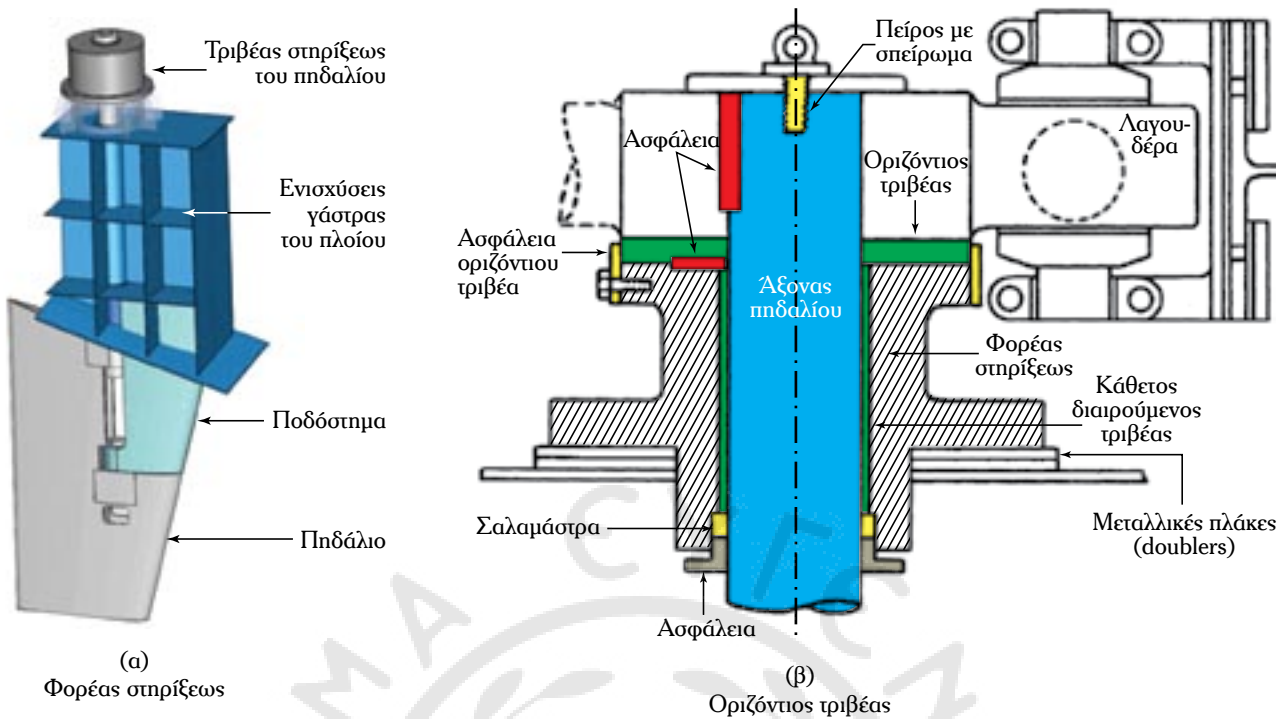
Το βάρος του πηδαλίου σε εμπορικά πλοία κυμαίνεται από 2 τόνους έως 120 τόνους. Σε πλοίο εμπορευματοκιβωτίων νεκρού βάρους (deadweight) 960 τόνων ζυγίζει περίπου 3 τόνους, ενώ σε Δ/Ξ νεκρού βάρους 442.470 τόνων ζυγίζει περίπου 118 τόνους.

Η στήριξη του πηδαλίου πραγματοποιείται από τον **τριβέα στηρίξεως** (rudder carrier bearing) μέσω του άξονα του πηδαλίου. Το βάρος του πηδαλίου μέσω του τριβέα και του μηχανισμού στηρίξεως μεταφέρεται στην ενισχυμένη πρυμναία περιοχή της γάστρας του πλοίου (σχ. 14.7α). Συνήθως, ο κατασκευαστής του πηδαλίου προμηθεύει και τον μηχανισμό στηρίξεως, ο οποίος προσαρμόζεται εντός του διαμερίσματος του μηχανισμού πηδαλίου.

Ο μηχανισμός στηρίξεως του πηδαλίου αποτελείται από τα εξής τμήματα (σχ. 14.7α):

α) Τον **φορέα στηρίξεως**. Πρόκειται για το βασικό τμήμα του μηχανισμού στηρίξεως του πηδαλίου κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο, το οποίο μεταφέρει το βάρος του πηδαλίου στον σκελετό του πρυμναίου τμήματος του πλοίου. Ο φορέας στηρίξεως δεν είναι απαραίτητο να αποτελεί συμπαγή (χυτή) κατασκευή. Μπορεί να είναι κατασκευασμένος από μεταλλικές πλάκες έτσι, ώστε να είναι δυνατόν να επιθεωρείται ο άξονας πηδαλίου και τα διάκενα εντός της κοάνης (σχ. 14.7β).

β) Τον **οριζόντιο τριβέα**. Πρόκειται για τον βασικό τριβέα, ο οποίος δέχεται τις μεγαλύτερες πιέσεις λόγω του βάρους και της περιστροφής του πηδαλίου. Ο τριβέας φθείρεται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα και αντικαθίσταται, χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνει εξάρμωση του πηδαλίου με ταυτόχρονο δεξαμενισμό του πλοίου. Το υλικό κατασκευής του τριβέα είναι ορείχαλκος υψηλής ανθεκτικότητας [σχ. 14.7γ(α)] (τύπου HATLAPA) ή πολυμερές [σχ. 14.7γ(β)]. Τα πολυμερή υλικά πλεονεκτούν έναντι του ορείχαλκου, γιατί παραμορφώνονται «ελαστικά» κατά τη διάρκεια δυναμικών καταπονήσεων και έτσι αυξάνεται ο χρόνος λειτουργίας τους. Ο ορείχαλκος



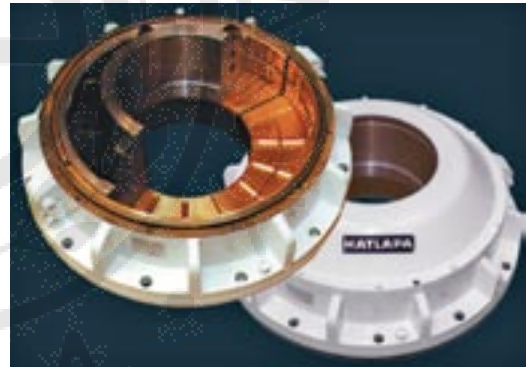
Σχ. 14.7α

Μηχανισμός στηρίξεως πηδαλίου.

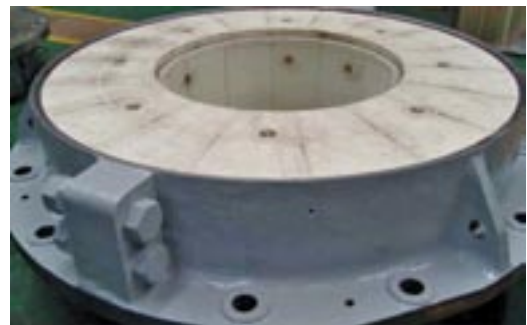


Σχ. 14.7β

Μηχανισμός στηρίξεως πηδαλίου.



(α) Τριβέας από ορείχαλκο της εταιρείας HATLAPA.



(β) Τριβέας από πολυμερές (Thordon).

Σχ. 14.7γ

Τριβείς μηχανισμών στηρίξεως πηδαλίων.

είναι λιγότερο ανθεκτικός στις δυναμικές καταπονήσεις, κατά τις οποίες παραμορφώνεται «πλαστικά». Στην επιφάνεια τριβής του οριζόντιου τριβέα υπάρχουν διάκενα/αυλάκια, προκειμένου να κυκλοφορεί λιπαντικό σε όλη την επιφάνεια να μειώνονται οι τριβές και κατά συνέπεια η φθορά του τριβέα. Ο τριβέας ασφαλίζεται με ανάλογη διάταξη και πρέπει να επιθεωρείται από το πλήρωμα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Όταν το πάχος του τριβέα μειωθεί με τη χρήση, ελαττώνοντας έτσι και το πάχος των διακέων, πρέπει να αντικατασταθεί με νέο τριβέα.

γ) Τον **κάθετο διαιρούμενο τριβέα**. Ο τριβέ-

ας αυτός είναι κατασκευασμένος από ίδιο υλικό με τον οριζόντιο τριβέα και βρίσκεται εντός της κοάνης. Σκοπός του είναι να αποτρέπει τις πλάγιες μετατοπίσεις του πηδαλίου. Διαθέτει κατακόρυφα αυλάκια για την κυκλοφορία του λιπαντικού και στο κάτω τμήμα του υπάρχει σαλαμαστροφόρος διάταξη για την επίτευξη στεγανότητας.

Στο σχήμα 14.7δ φαίνονται χαρακτηριστικές διαστάσεις του μηχανισμού στηρίξεως του τύπου HATLAPA και στον πίνακα 14.7 αντίστοιχα οι τιμές τους.

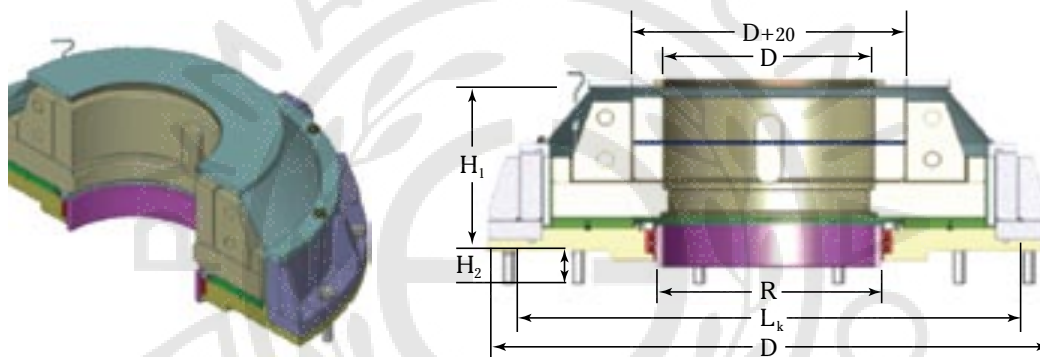
14.8 Αντλία κινούμενης στεφάνης (pump with movable body).

Η αντλία κινούμενης στεφάνης συναντάται στη βιβλιογραφία ως αντλία Hele-Shaw. Η μεταβολή στην

αναρρόφηση-κατάθλιψη του ελαίου στην αντλία αυτή ελέγχεται με την απλή πίεση ή έλξη του άξονα που είναι εφαρμοσμένος σε κύλινδρο. Μετατοπίζοντάς τον επηρεάζεται η στεφάνη ελέγχου λειτουργίας της αντλίας που κινείται μέσα σε αυτόν. Επίσης, μεταβάλλεται η αναρρόφηση σε κατάθλιψη, δίχως να διακοπεί η λειτουργία της ή να μειωθούν οι στροφές της.

Η αντλία Hele-Shaw (σχ. 14.8α) αποτελείται από:

α) Το **κέλυφος** A (cover), στο οποίο είναι προσαρμοσμένα δύο καλύμματα (καπάκια), το κάλυμμα B απ' το οποίο διέρχεται ο άξονας κινήσεως (shaft) και συνδέεται με τον κινητήρα στρέψεως της αντλίας, και το κάλυμμα της συνδέσεως των σωληνώσεων αναρροφήσεως-καταθλίψεως ελαίου (Γ) (pipe connection cover).



Σχ. 14.7δ

Χαρακτηριστικές διαστάσεις μηχανισμού στηρίξεως HATLAPA.

Πίνακας 14.7

Χαρακτηριστικά κατασκευαστικά στοιχεία για διαφορετικούς τύπους (μεγέθη) μηχανισμών στηρίξεως HATLAPA. Τα μεγέθη του πίνακα εικονίζονται στο σχήμα 14.7δ.

Τύπος		340	380	425	475	525	580	630	680	750	820
Μέγιστη διάμετρος οπής	mm	340	380	425	475	525	580	630	680	750	820
Διάμετρος	D min	870	880	950	1050	110	1210	1350	1480	1600	1890
	R min	650	700	750	800	850	950	1000	1000	1100	1100
	L _k mm	830	830	900	990	1030	1150	1280	1400	1520	1780
Βίδες, ποσότητα και διάμετρος	mm	12×24	12×24	12×31	12×31	12×37	12×37	12×47	12×42	12×42	12×49
Ύψος	H ₁ mm	285	295	315	330	335	355	390	435	455	550
	H ₂ mm	45	45	35	35	60	40	15	25	25	60
Αξονικό φορτίο	F _a kN	1500	1700	1800	1950	2150	2450	3000	4000	4800	7000
	F _r kN	500	570	620	650	700	800	1000	1300	1550	2300
Βάρος	kg	600	680	850	1050	1290	1570	1920	2350	2950	4500

β) Την **κεντρική βαλβίδα** (Δ), η οποία είναι προσαρμοσμένη στο εσωτερικό της αντλίας πάνω στο κάλυμμα συνδέσεων των σωληνώσεων και έχει δύο θυρίδες: την **θυρίδα εισαγωγής ελαίου** (oil inlet port) (E) και την **θυρίδα εξαγωγής ελαίου** (oil outlet port) (Z). Αποτελεί συνέχεια της συνδέσεως των σωληνώσεων (H) και (Θ) της εισαγωγής-εξαγωγής του κελύφους μεταφέροντας με αναρρόφηση-κατάθλιψη το έλαιο στα έμβολα κινήσεως του πηδαλίου.

γ) Το **σώμα των κυλίνδρων** (K) (cylinder body), που βρίσκεται στο κέντρο της αντλίας και στρέφεται από έναν άξονα (Λ) συνδεδεμένο με τον άξονα του κινητήρα περιστροφής της αντλίας. Το σώμα αυτό αποτελείται από τους κυλίνδρους μέσα στους οποίους παλινδρομούν τα έμβολα και περιστρέφεται γύρω από την κεντρική βαλβίδα (Δ). Η στήριξή του πραγματοποιείται με τους **ένσφαιρους τριβείς** (Y) (ball bearings) που εφαρμόζονται στις δύο πλευρές του κελύφους της αντλίας.

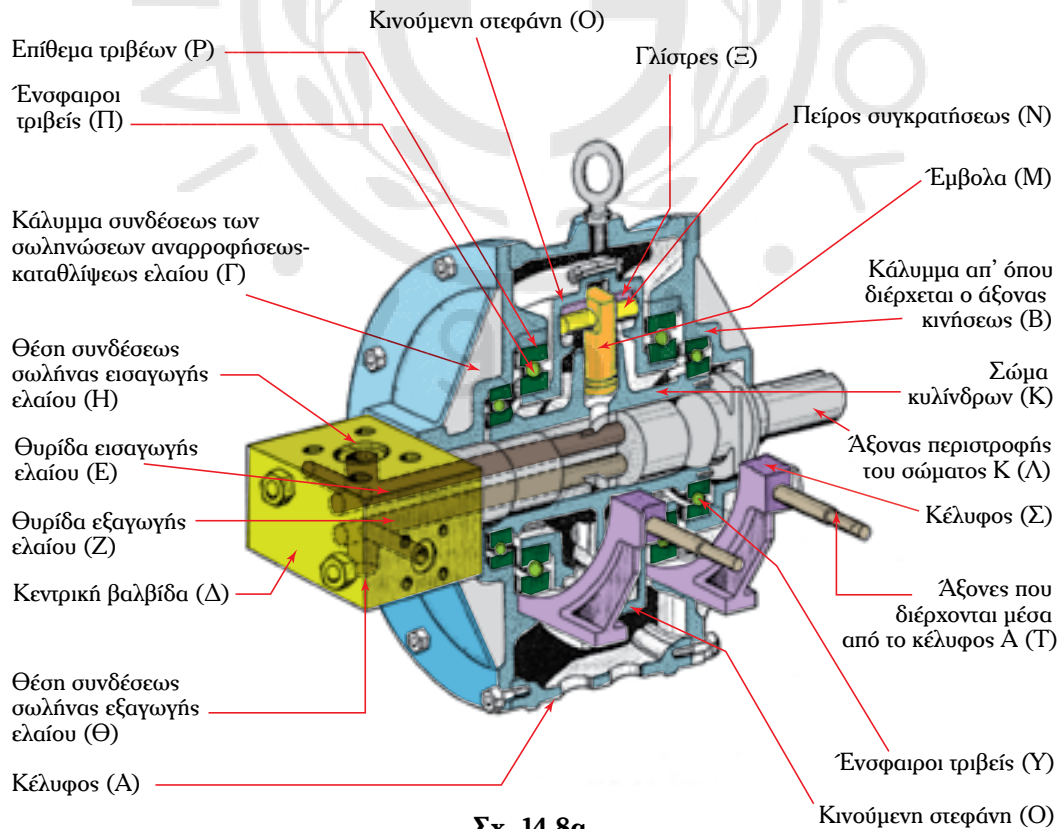
δ) Τα **έμβολα** (M), τα οποία μπορεί να είναι επτά ή εννέα και κινούνται μέσα στο σώμα των κυλίνδρων. Είναι τοποθετημένα σε ακτινική διάταξη σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της αντλίας. Στην

άκρη των εμβόλων που βρίσκεται προς την εξωτερική πλευρά υπάρχει πείρος συγκρατήσεως (N) (gudgeon pin), που ολισθαίνει πάνω σε γλίστρες (Ξ) (slippers), παρασύροντας τα έμβολα σε κίνηση μέσα στα χιτώνια, ακολουθώντας την διαδρομή που προκαλείται απ' τη διαδρομή των πείρων μέσα στην κινούμενη στεφάνη (O) (circular floating ring).

ε) Την **κινούμενη στεφάνη** (O) (circular floating ring), που στηρίζεται σε ένσφαιρους τριβείς (Π) εφαρμοσμένους στο κέλυφος (Σ).

στ) Το **κέλυφος** (Σ) (cover ή body) που ακολουθεί οριζόντια διαδρομή πάνω σε «διαδρόμους», οι οποίοι βρίσκονται στα εξωτερικά κελύφη της αντλίας (B) και (Γ). Η φορά της οριζόντιας κινήσεως του κελύφους (Σ) ελέγχεται από τους άξονες (T) (spindles) που διέρχονται μέσα από το κέλυφος (A), με τη μέγιστη επιτρεπόμενη διαδρομή να ορίζεται από τα τοιχώματα του κελύφους της αντλίας.

Για την κατανόηση λειτουργίας της αντλίας Hele-Shaw παρατίθεται το σχήμα 14.8β, όπου φαίνονται σε τομή η κεντρική βαλβίδα (Δ) της αντλίας ελαίου, το σώμα των κυλίνδρων και τα έμβολα. Η κίνηση στο σώμα της αντλίας προκαλείται από την επίδραση της κινούμενης στεφάνης. Κατά τη λειτουργία



Σχ. 14.8α

Αντλία κινούμενης στεφάνης Hele-Shaw.

της αντλίας, η κίνηση της στεφάνης γίνεται οριζόντια στον άξονα xy .

Όταν η στεφάνη κινείται κυκλικά έχοντας το ίδιο κέντρο με τη βαλβίδα (Δ) [σχ. 14.8β(α)], που σ' αυτήν βρίσκονται οι θύρες αναρροφήσεως-καταθλίψεως του ελαίου και το σώμα των κυλίνδρων, τότε τα έμβολα περιστρέφονται διατηρώντας ίση απόσταση απ' το κέντρο περιστροφής και δεν γίνεται αναρρόφηση ή κατάθλιψη.

Μετακινούμενος από τους άξονες ελέγχου της αντλίας, ο δακτύλιος μετατοπίζεται και μαζί με αυτόν και η στεφάνη με τις γλίστρες προς τα αριστερά [σχ. 14.8β(β)] πάνω στον νοντό άξονα xy . Τα έμβολα υπό την επίδραση της κινήσεως των πείρων πάνω στις γλίστρες της στεφάνης αρχίζουν να παλινδρομούν.

Η παλινδρόμηση των εμβόλων, λόγω της έκκεντρης περιστροφής της στεφάνης σε σχέση με το κέντρο περιστροφής της αντλίας και το κέντρο της σταθερής κεντρικής βαλβίδας (Δ) δημιουργεί αναρρόφηση και κατάθλιψη στις θυρίδες ελαίου της αντλίας.

Όταν η περιστροφή γίνεται σύμφωνα με τη φορά του βέλους, από δεξιά προς τα αριστερά, καθώς τα έμβολα περνούν από τον οριζόντιο άξονα xy επηρεασμένα από την έκκεντρη κίνηση της στεφάνης, απομακρύνονται από το κέντρο περιστροφής, όπου βρίσκεται η βαλβίδα (Δ) αναρροφώντας έλαιο απ' τις θυρίδες εισαγωγής ελαίου (Ε).

Στη συνέχεια, κι ενώ περιστρέφεται πάντα με την ίδια φορά, τα έμβολα αρχίζουν να πλησιάζουν το κέντρο περιστροφής, καταθλίβοντας το έλαιο στις θυρίδες εξαγωγής ελαίου (Ζ).

Στην αντίθετη περίπτωση που η μετατόπιση της στεφάνης γίνεται προς τα δεξιά πάνω στον οριζόντιο άξονα xy [σχ. 14.8β(γ)] η αναρρόφηση γίνεται από τις θυρίδες (Ζ) και η κατάθλιψη από τις θυρίδες (Ε).

Σύμφωνα με αυτές τις κινήσεις φαίνεται κατά τη ροή του ελαίου πότε θα έχουμε αναρρόφηση και πότε κατάθλιψη στις θυρίδες της αντλίας. Αυτό θα εξαρτάται από τη θέση της κινούμενης στεφάνης δεξιά, στο κέντρο ή αριστερά, οπότε κινούμενη έκκεντρα από το κέντρο περιστροφής της αντλίας έως τη μέγιστη απόσταση, θα επιτυγχάνεται η απαιτούμενη παροχή ελαίου στην εκάστοτε κατάθλιψη της αντλίας.

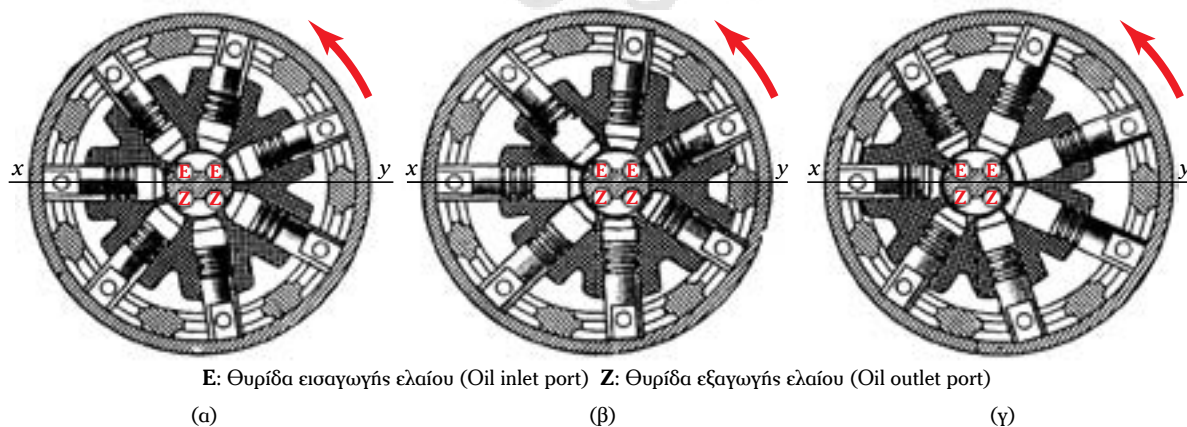
14.9 Αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως.

Η **αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως** (swash plate) τύπου Waterbury είναι ένας ακόμα τύπος αντλίας, στην οποία χωρίς να διακοπεί η περιστροφή της κατά την λειτουργία της, διακόπτεται η παροχή ελαίου ή εναλλάσσεται η αναρρόφηση σε κατάθλιψη στις θυρίδες εξαγωγής της. Σ' αυτές συνδέονται οι σωλήνες που στέλνουν το έλαιο στον μηχανισμό στρέψεως του πηδαλίου.

Βασικό χαρακτηριστικό της αντλίας τύπου Waterbury είναι η διάταξη των κυλίνδρων και των εμβόλων που την αποτελούν. Στην αντλία αυτή το κέλυφος των κυλίνδρων, που περιστρέφεται από τον άξονα περιστροφής του κινητήρα της αντλίας, μαζί με τα χιτώνια και τα έμβολα είναι σε αξονική διάταξη (σχ. 14.9).

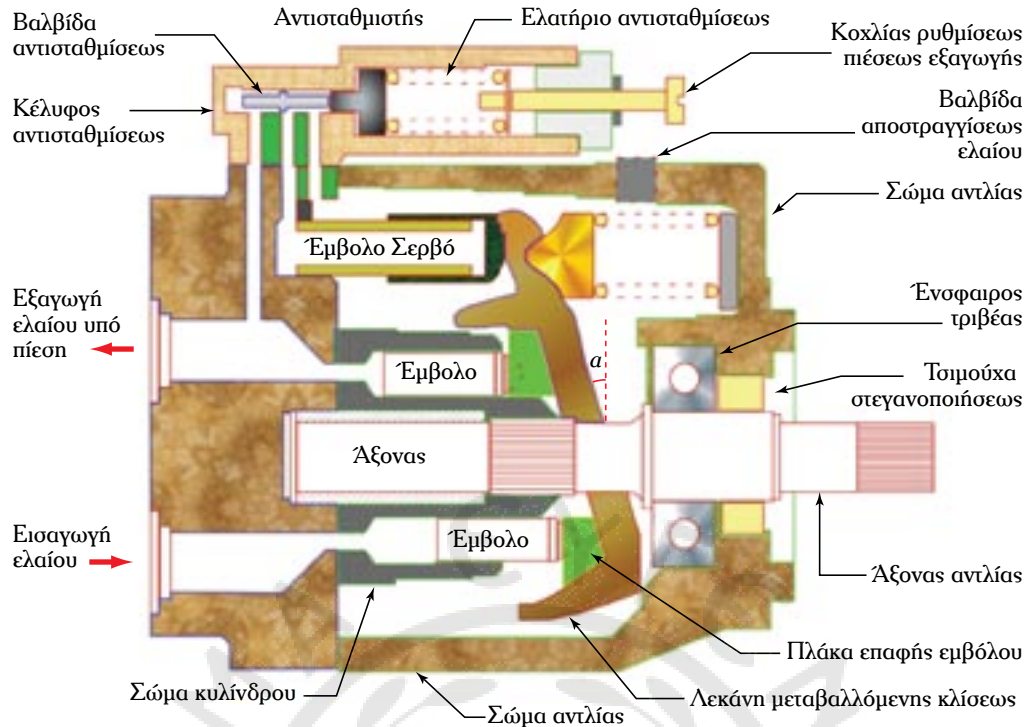
Με την εκκίνηση περιστροφής και κατά τη λειτουργία της αντλίας, ο κινητήρας περιστρέφοντας το σώμα των κυλίνδρων παρασύρει μαζί του σε περιστροφή και τα έμβολα.

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 περι-



Σχ. 14.8β

Τομή της αντλίας Hele-Shaw.



Σχ. 14.9

Αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως Waterbury.

στρέφεται το σώμα των κυλίνδρων παρাসύροντας τα έμβολα πάνω στην επιφάνεια που υπάρχει στη λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως. Έτσι, επιτυγχάνεται η μεταφορά της κινήσεως, αρχίζοντας 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 ενός σερβομηχανισμού, ανάλογα με τον τύπο της αντλίας που συνδέεται στη λεκάνη και προκαλεί τη μεταβολή στην κλίση της.

Όταν ο άξονας ελέγχου κλίσεως της λεκάνης βρίσκεται στη μέση θέση, η λεκάνη περιστρέφεται σε κάθετη θέση σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της και δεν έχουμε αναρρόφηση ή κατάθλιψη ελαίου στις θυρίδες εισαγωγής-εξαγωγής της αντλίας.

Με την επίδραση του εξωτερικού άξονα ελέγχου, που μεταφέρει την κίνηση του οιακοστροφίου (τιμονιού) στη λεκάνη της αντλίας, αυτή παίρνει κλίση και καθώς περιστρέφεται τα πλινθία ολισθαίνουν πάνω στη λεκάνη. Η κλίση αυτή μεταφέρεται στα έμβολα που αρχίζουν να παλινδρομούν πραγματοποιώντας διαδρομή, η οποία ορίζεται από την κλίση της λεκάνης. Με αυτόν τον τρόπο, στις θυρίδες της αντλίας, εναλλάσσεται η ροή του ελαίου, πότε σε αναρρόφηση και πότε σε κατάθλιψη.

Η αναρρόφηση και η εξαγωγή του ελαίου από

την αντλία πραγματοποιείται από θυρίδες σε διάταξη τόξου εσωτερικά του κελύφους της αντλίας, όπου δημιουργείται μία επιφάνεια, στην οποία εφάπτεται και το σώμα των κυλίνδρων. Το σύστημα κυλίνδρων-εμβόλων (σχ. 14.9) κατά την περιστροφή του πάνω στο σημείο επαφής μέσω θυρίδων που υπάρχουν στο σώμα των κυλίνδρων για κάθε έμβολο χωριστά στη μισή διαδρομή, ανάλογα με την κλίση της λεκάνης, κάνει αναρρόφηση ελαίου ενώ, στην άλλη μισή, κατάθλιψη.

14.10 Αντλία ολισθηρών ελασμάτων-επιθέματος (πλινθία ολισθήσεως).

Η εξέλιξη της αντλίας με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως είναι η αντλία με πλινθία ολισθήσεως (slipper pad). Η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια, αλλά στην τελευταία τα έμβολα επιμηκύνονται (σχ. 14.10), χωρίς την ύπαρξη διωστήρα και η μία άκρη τους, η οποία εφάπτεται στα ελάσματα που ολισθαίνουν στη λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως είναι στρογγυλεμένη. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να επιτυγχάνεται η ελεύθερη αξονική κίνηση κατά την περιστροφή.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αύξηση στην πίεση καταθλίψεως ελαίου από την αντλία, με σκοπό να καλυφθούν οι απαιτήσεις λειτουργίας των νέων πηδαλίων και των **περυγίων ενστάθειας** (stabilizers).

Ένας ακόμα τύπος αντλίας μεταβλητής καταθλίψεως είναι αυτός, στον οποίο η κλίση στη λεκάνη όπου ολισθαίνουν τα πλινθία των εμβόλων δίνεται από έναν σερβομηχανισμό και όχι από εξωτερικό άξονα ελέγχου.

14.11 Ασφαλιστική διάταξη περιορισμού αναστροφής κίνησης της αντλίας (pump non-reverse locking gear).

Ο μηχανισμός στρέψεως του πηδαλίου δύναται να λειτουργεί υπό φυσιολογικές συνθήκες με μία αντλία μεταβλητής καταθλίψεως.

Για την ταχύτερη ανταπόκριση στις κινήσεις πηδαλιουχίας του πλοίου προβλέπεται απ' τον κατασκευαστή η δυνατότητα και οι δύο αντλίες παροχής ελαίου να λειτουργούν παράλληλα, με κατάλληλη διάταξη επιστομίων στο δίκτυο.

Ως αποτέλεσμα, όταν λειτουργεί η μία αντλία, κατά τη φυσιολογική λειτουργία του μηχανισμού πηδαλίου, η αντλία που είναι σταματημένη, λόγω της πίεσεως που δέχεται από την κατάθλιψη του ελαίου στο δίκτυο, αρχίζει να στρέφεται κατά την αντίθετη φορά.

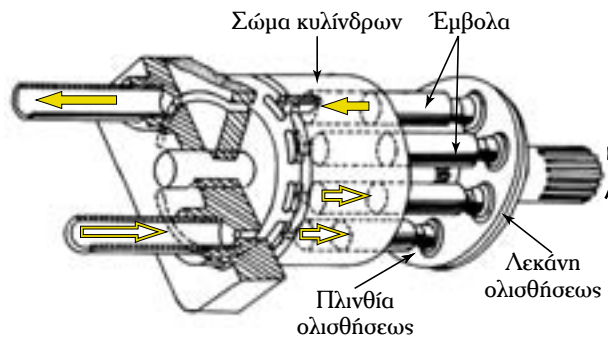
Για να αποφευχθεί η αναστροφή κίνησης της αντλίας που βρίσκεται εκτός λειτουργίας, υπάρχει μία ασφαλιστική διάταξη που εφαρμόζεται στον **εύκαμμο σύνδεσμο** (flexible coupling), στο σημείο που ενώνονται ο άξονας της αντλίας και ο κινητήρας. Η διάταξη αυτή είναι εφαρμοσμένη στην άκρη του **εύκαμπτου συνδέσμου** (motor coupling rim) του άξονα του κινητήρα.

Η ασφαλιστική διάταξη αποτελείται από έναν αριθμό **μεταλλικών νυχιών** (pawls) π.χ. τρία (σχ. 14.11). Όταν η αντλία βρίσκεται σε λειτουργία, τα νύχια αυτά, καθώς είναι στερεωμένα απ' τη μία άκρη, με την περιστροφή ανοίγουν προς την εξωτερική πλευρά ωθούμενα από τη φυγόκεντρο δύναμη, απελευθερώνοντας τον άξονα από τα **σταθερά δόντια** (ratchet teeth), ώστε να γυρίζει ελεύθερα.

Όταν διακοπεί η λειτουργία της αντλίας τα νύχια αυτά επανέρχονται, συγκρατώντας τον άξονα, ώστε να μην γυρίζει ανάποδα. Το άνοιγμα των νυχιών είναι τόσο, όσο τους επιτρέπει το εξωτερικό κέλυφος που καλύπτει τον **σύνδεσμο** (coupling) των δύο αξόνων.

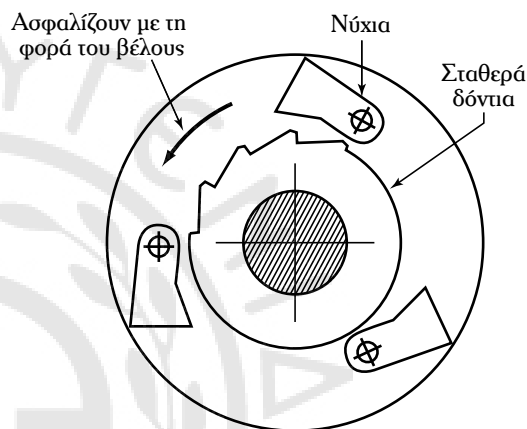
Η απελευθέρωση του συστήματος ασφαλίσεως γίνεται αυτόματα με την εκκίνηση της αντλίας.

Με αυτήν τη διάταξη δεν χρειάζεται να κλείσουν τα επιστόμια που απομονώνουν την αντλία και το σύ-



Σχ. 14.10

Αντλία με λεκάνη μεταβαλλόμενης κλίσεως με πλινθία ολισθήσεως.



Σχ. 14.11

Ασφαλιστική διάταξη περιορισμού αναστροφής κίνησης της αντλίας.

στημα ασφαλίσεως απομονώνεται μόνο σε έκτακτη ανάγκη, όπως στη διαρροή ελαίου από το δίκτυο.

14.12 Μηχανισμοί στρέψεως πηδαλίων.

Οι μηχανισμοί στρέψεως των πηδαλίων είναι δύο, ο **παλινδρομικός** (ram type) και ο **περιστροφικός** (rotary vane).

Στον παλινδρομικό και στον περιστροφικό μηχανισμό οι αντλίες μεταβλητής καταθλίψεως στέλνουν το έλαιο στον μηχανισμό στρέψεως του πηδαλίου. Ο μηχανισμός αυτός με τη σειρά του στρέφει τον άξονα του πηδαλίου προς την επιθυμητή διεύθυνση που έχει δοθεί απ' το οιακοστροφίο της γέφυρας ή άλλης θέσεως πηδαλιουχίας.

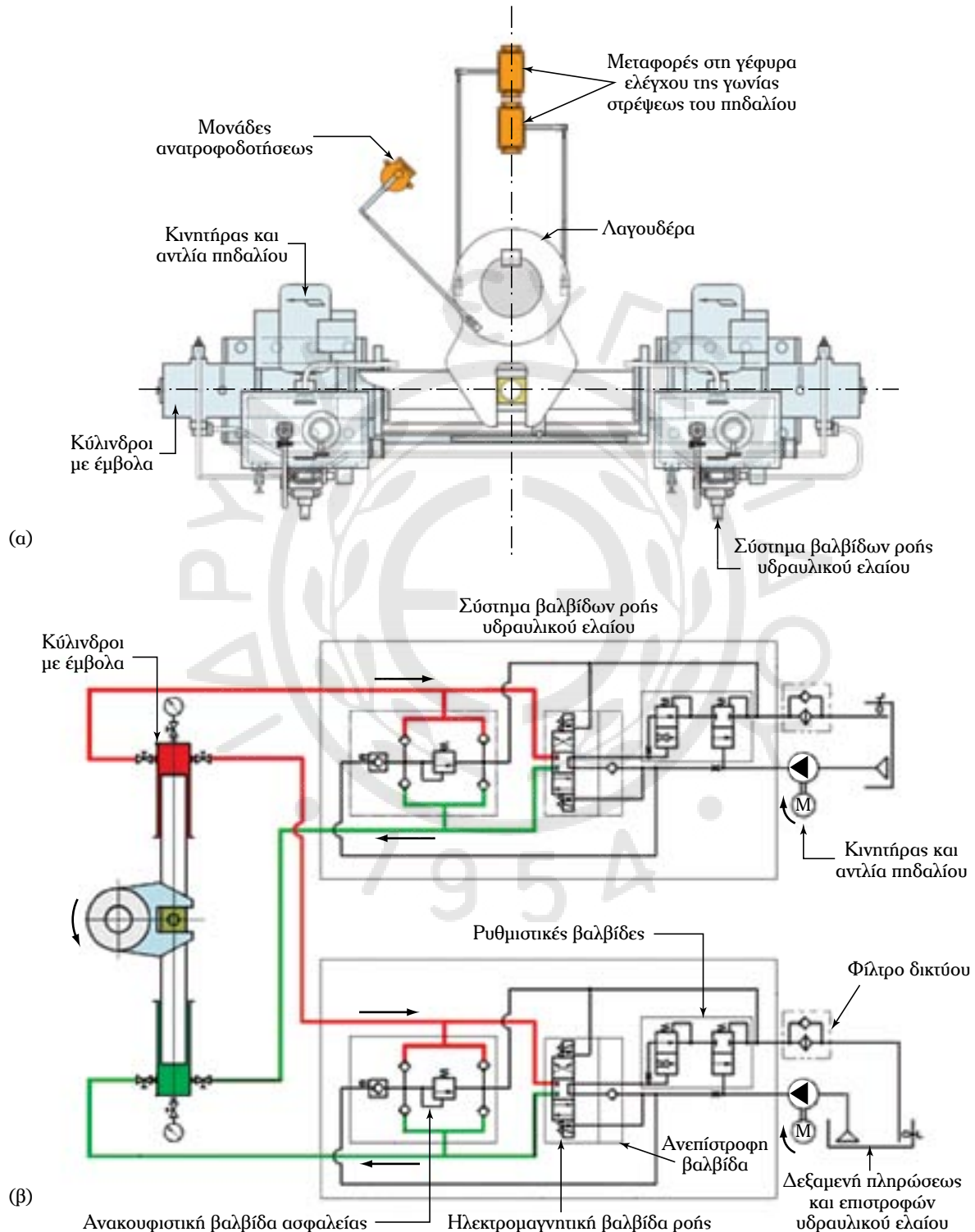
Στον κάθε τύπο μηχανισμού στρέψεως, προσαρτάται ο μηχανισμός επαναφοράς του μοχλού ελέγχου της αντλίας στη θέση «μέσον»¹ και αυτό επιτυγχάνεται με σύστημα **μοχλοβραχιόνων** (levers) ή **διαφορικού** (differential) συστήματος.

¹ Η θέση του οιακοστροφίου όπως το πηδάλιο είναι ευθυγραμμισμένο ονομάζεται «μέσον».

14.12.1 Μηχανισμός παλινδρομικής στρέψεως.

Ο παλινδρομικός τύπος μηχανισμού στρέψεως πηδαλίου αποτελείται από έμβολα βυθίσεως, τα

οποία λαμβάνουν εντολή από τη γέφυρα ελέγχου (σχ. 14.12α). Ο παλινδρομικός τύπος μηχανισμού πηδαλίων συναντάται με δύο και με τέσσερα έμβολα, πα-



Σχ. 14.12α

Παλινδρομικός τύπος μηχανισμού πηδαλίου δύο εμβόλων. (α) Διάταξη λαγουδέρας μεταξύ των μηχανισμών πηδαλίου δύο εμβόλων και (β) τυπική διάταξη ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων ελέγχου του πηδαλίου.

ραλλαγές που εξαρτώνται από τις απαιτήσεις ροπής στρέψεως.

Η λαγουδέρα που συνδέεται στον άξονα του πηδαλίου είναι κατασκευασμένη από **σφυρήλατο** ή **χυτό χάλυβα**. Τα έμβολα είναι κατασκευασμένα από χυτοσίδηρο ή χάλυβα με τέλεια λείανση και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη ολίσθηση στις επιφάνειες τριβής.

Παλινδρομώντας στους υδραυλικούς κυλίνδρους, τα έμβολα κινούν τη λαγουδέρα. Η παλινδρομική κίνηση των εμβόλων μετατρέπεται σε περιστροφική στον άξονα του πηδαλίου από τη σύνδεση των εμβόλων με τη λαγουδέρα. Η σύνδεση αυτή γίνεται με πείρους και δακτυλίους τριβής, ώστε να μετατρέπεται η γραμμική κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική στον άξονα του πηδαλίου μέσω της λαγουδέρας.

Η αντλία μεταβλητής καταθλίψεως είναι συνδεδεμένη σε κάθε κύλινδρο με σωλήνες για να αναρροφούν ή να καταθλίσουν έλαιο από αυτούς.

Όταν ο άξονας ελέγχου της αντλίας μεταβλητής καταθλίψεως Waterbury ή Hele-Shaw, που στρέφεται με σταθερή ταχύτητα, βρίσκεται στη μέση θέση, δεν έχουμε αναρρόφηση και κατάθλιψη, άρα δεν έχουμε κίνηση των εμβόλων. Στρέφοντας το οιακοστρόφιο στη γέφυρα μέσω τηλεκινήσεως μεταφέρεται η κίνηση στον άξονα ελέγχου της αντλίας, μεταβάλλοντας την κλίση της λεκάνης ή μετατοπίζοντας τη θέση της στεφάνης. Έτσι, η αντλία αναρροφά από τον έναν κύλινδρο και καταθλίζει στον άλλο έλαιο, προκαλώντας την πίεση που απαιτείται για την κίνηση των εμβόλων και τη στρέψη του πηδαλίου (σχ. 14.12β).

Στο σύστημα πηδαλιουχίας δύο εμβόλων (σχ. 14.12γ) οι αντλίες αναρροφούν το έλαιο από τον κύλινδρο K_1 και το καταθλίζουν στον κύλινδρο K_2 αναγκάζοντας τη λαγουδέρα Λ_1 να μετατοπιστεί προς τα αριστερά και τον άξονα του πηδαλίου να περιστραφεί δεξιά, σύμφωνα με την φορά του τόξου.

Στα συστήματα πηδαλιουχίας με τέσσερα έμβολα, οι βασικές αρχές λειτουργίας είναι ίδιες με αυτές του συστήματος πηδαλιουχίας με δύο έμβολα, εκτός απ' την κυκλοφορία του ελαίου στο δίκτυο, όπου η αναρρόφηση από την αντλία γίνεται από τους απέναντι και διαγώνιους κυλίνδρους και η κατάθλιψη στους άλλους δύο αντίστοιχα. Σύμφωνα με το σχήμα 14.12γ κατά τη λειτουργία του μηχανισμού στρέψεως, οι αντλίες αναρροφούν έλαιο από τους κυλίνδρους K_1 και K_4 (σχ. 14.12δ) καταθλίζοντάς το στους κυλίνδρους K_2 και K_3 , μετατοπίζοντας το σημείο συνδέσεως Λ_1 (τριβέα) αριστερά και το σημείο συνδέσεως Λ_2 (τριβέα) δεξιά, στρέφοντας το

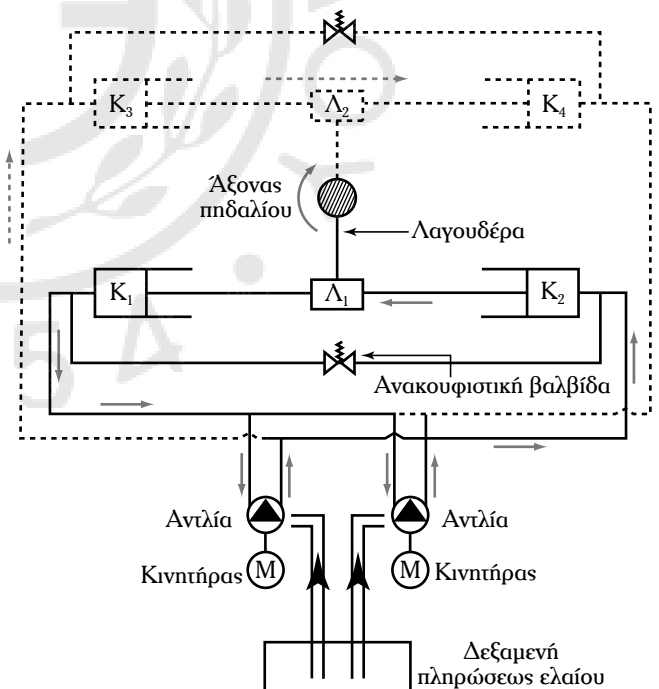
πηδάλιο σύμφωνα με τη φορά του τόξου δεξιά.

Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και το σύστημα πηδαλιουχίας του σχήματος 14.12δ, όπου διακρίνεται η πραγματική διάταξη των εμβόλων, του άξονα πηδαλίου των αντλιών και όλο το σύστημα μεταδόσεως των κινήσεων μαζί με τον μηχανισμό χειροκίνητης λειτουργίας που χρησιμοποιείται σε έκτακτη ανά-



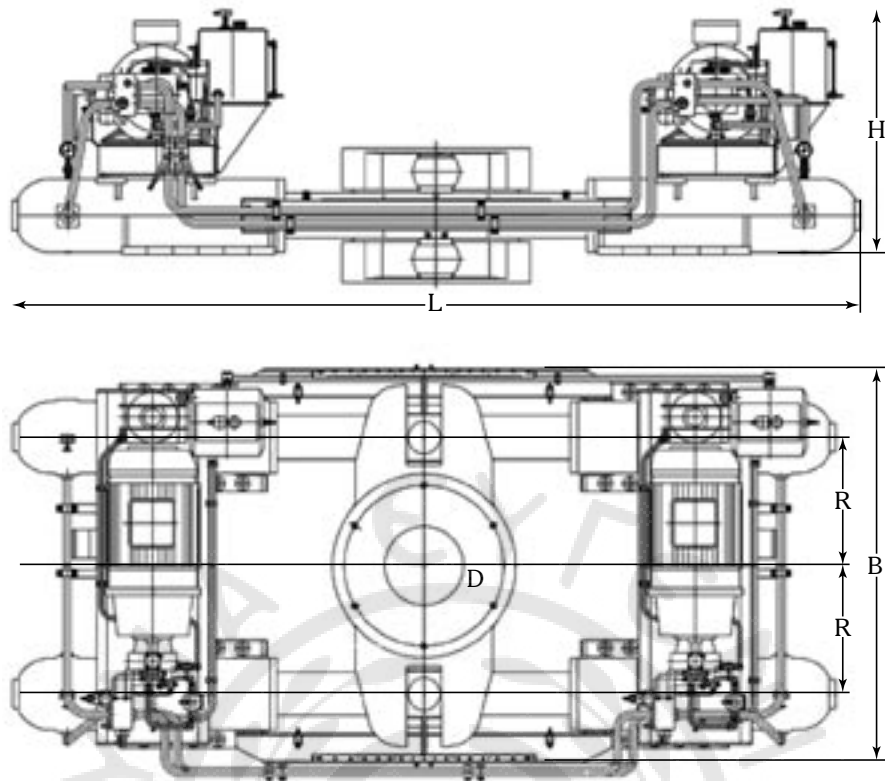
Σχ. 14.12β

Διάταξη μηχανισμού στρέψεως πηδαλίου δύο εμβόλων.



Σχ. 14.12γ

Διάταξη μηχανισμού στρέψεως πηδαλίου δύο εμβόλων (με διακεκομμένες γραμμές είναι η διάταξη όταν έχουμε τέσσερα έμβολα). K_1, K_2, K_3, K_4 είναι οι εμβολοφόροι κύλινδροι και Λ είναι ο τριβέας.



Σχ. 14.12στ

Σύστημα παλινδρομικής στρέψεως HATLAPA.

Πίνακας 14.12.1

Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά συστήματος παλινδρομικής στρέψεως HATLAPA.

Τύπος		1840	2120	2680	3050	4000	4170	7650
Ροπή λειτουργίας*	kNm	1840	2127	3350	3053	4000	5177	7658
Ροπή σχεδιάσεως**	kNm	2300	2659	650	3816	5000	6471	9573
Μέγιστη διάμετρος άξονα πεδαλίου	D mm	550	600	5600	700	750	850	1000
Μήκος	L mm	4850	4890	2600	5670	6080	6560	7800
Πλάτος	B mm	2230	2420	1350	2850	3000	3260	3700
Ύψος	H mm	1200	1200	820	1450	1600	1700	1850
Ακτίνα	R mm	700	750	125	880	950	1000	1150
Ισχύς ηλεκτρικού κινητήρα	kW	88	106	600	148	170	4×125	4×180
Χωρητικότητα ελαίου [oil charge (approx.)]	I	350	510	23000	650	700	900	1100
Βάρος εγκαταστάσεως [weight (approx.)]	kg	16000	18000		28500	30500	37000	51000

*at working pressure= Πίεση λειτουργίας.

** at max. operation pressure which corresponds to adjusted pressure of safety valves (working torque x 1,25) = Σε μέγιστη πίεση λειτουργίας που αναλογεί στην πίεση των βαλβίδων ασφαλείας (Ροπή λειτουργίας x 1,25).

του κορμού του άξονα πηδαλίου, που στηρίζεται στο κινητό τμήμα του μηχανισμού με τα κινητά περύγια και του σταθερού τμήματος του μηχανισμού, όπου στηρίζονται τα σταθερά περύγια, δημιουργείται η πλήμνη των θαλάμων πίεσεως και κάθε θάλαμος συνδέεται με διακλάδωση σωληνώσεων με το δίκτυο παροχής ελαίου από την αντλία.

Κάθε θάλαμος πίεσεως που δημιουργείται μεταξύ των σταθερών περυγίων χωρίζεται σε δύο ημι-θαλάμους από τα κινητά περύγια και ενώ στον μισό θάλαμο γίνεται η εισαγωγή ελαίου, στον άλλο μισό ταυτόχρονα γίνεται η εξαγωγή. Για ένα περυγιοφόρο πηδάλιο με τρία σταθερά και τρία κινητά περύγια έχουμε τρία ζεύγη θαλάμων, τρεις θαλάμους αναρροφήσεως και τρεις θαλάμους καταθλίψεως, που η λειτουργία τους εναλλάσσεται, σύμφωνα με την παροχή από την αντλία μεταβλητής καταθλίψεως.

Η ποσότητα του ελαίου που καταθλίβεται από την αντλία στη μία πλευρά του θαλάμου, η οποία δημιουργείται από τα περύγια σε κάθε ζεύγος θαλάμων, εξάγεται από την αντίθετη πλευρά και αναρροφάται από την αντλία. Τα περύγια ενεργούν σαν έμβολα, μετακινούνται γωνιακά από την πίεση του ελαίου στρέφοντας τον άξονα του πηδαλίου δεξιά ή αριστερά, σύμφωνα με την εναλλαγή της εξαγωγής-εισαγωγής της αντλίας μεταβλητής καταθλίψεως προς τα ζεύγη των θαλάμων πίεσεως.

Συνήθως, οι διατάξεις που εγκαθίστανται στα πλοία (σχ. 14.120), είναι με τρία σταθερά και τρία κινητά περύγια και επιτρέπουν στο πηδάλιο να στραφεί σε τόξο 70° , δηλαδή 35° δεξιά και 35° αριστερά από τη μέση θέση των κινητών περυγίων. Οι μεγαλύτερες γωνίες περιστροφής του πηδαλίου επιτυγχάνονται από διατάξεις περυγιοφόρων πηδαλίων με δύο κινητά και δύο σταθερά περύγια, με ικανότητα στρέψεως του πηδαλίου στις 130° .

Η στεγανοποίηση μεταξύ των θαλάμων πίεσεως ελαίου πραγματοποιείται με συνθετικά λάστιχα που εφαρμόζονται κατά μήκος των περυγίων, φτάνοντας την ογκομετρική απόδοση του μηχανισμού στρέψεως του πηδαλίου στο 96–98%, με πίεση δικτύου τα 100 bar. Τα σταθερά περύγια είναι έτσι κατασκευασμένα, ώστε να αντέχουν την πίεση των κινητών περυγίων και να λειτουργούν σαν τερματικά (stoppers) γι' αυτά.

Σχηματική διάταξη του συστήματος της HATLAPA και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του εικονίζονται στο σχήμα 14.121 και στον πίνακα 14.12.2 αντίστοιχα.

Η μέθοδος ελέγχου και παροχής ελαίου για το



(α) Σύστημα Rolls Royce



(β) Σύστημα HATLAPA

Σχ. 14.120

Περιστροφικό περυγιοφόρο ηλεκτροϋδραυλικό πηδάλιο.

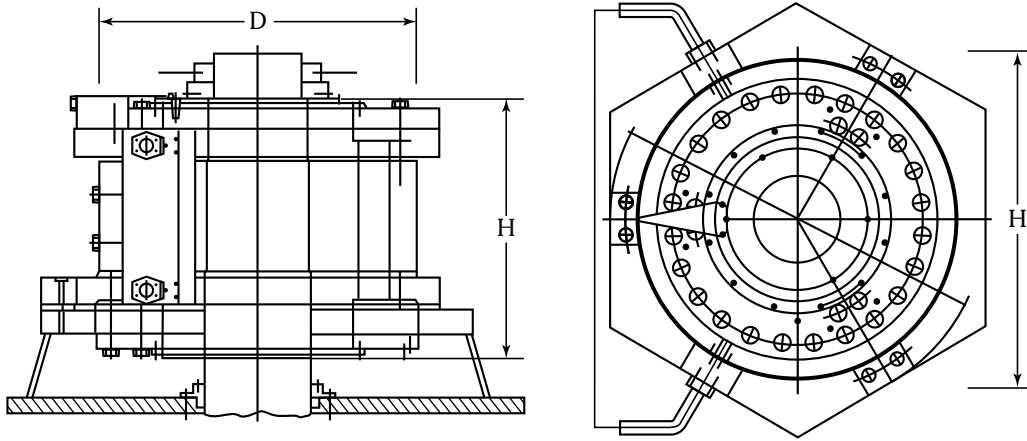
περιστροφικό περυγιοφόρο ηλεκτροϋδραυλικό πηδάλιο είναι η ίδια που έχει περιγραφεί για τα ηλεκτροϋδραυλικά πηδάλια.

14.13 Ηλεκτροϋδραυλικά πηδάλια.

Μία τυπική διάταξη ηλεκτροϋδραυλικού συστήματος πηδαλιουχίας σε σύγχρονο πλοίο, για τη μετάδοση του σήματος στρέψεως και ελέγχου του πηδαλίου από τη γέφυρα, απεικονίζεται στο σχήμα 14.13α.

Η εντολή από τη γέφυρα μεταδίδεται ηλεκτρικά σε σωληνοειδή ηλεκτροϋδραυλική βαλβίδα (solenoid valve), η οποία στέλνει ή διακόπτει το έλαιο, που κυκλοφορεί στο δίκτυο από την αντλία μεταβλητής καταθλίψεως προς τα υδραυλικά έμβολα περιστροφής του πηδαλίου.

Για τον έλεγχο ολοκληρώσεως της εντολής από το τιμόνι, στον άξονα του πηδαλίου συνδέεται ηλεκτρική διάταξη η οποία στέλνει νέο ηλεκτρικό σήμα στη μονάδα ελέγχου ότι η επιθυμητή εντολή ολοκληρώθηκε, προκειμένου να διακοπεί η παροχή ελαίου από τη σωληνοειδή βαλβίδα προς τα έμβολα στρέψεως του άξονα του πηδαλίου.



Σχ. 14.12ι

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συστήματος περιστροφικού πτερυγιοφόρου ηλεκτροϋδραυλικού πηδαλίου της HATLAPA.

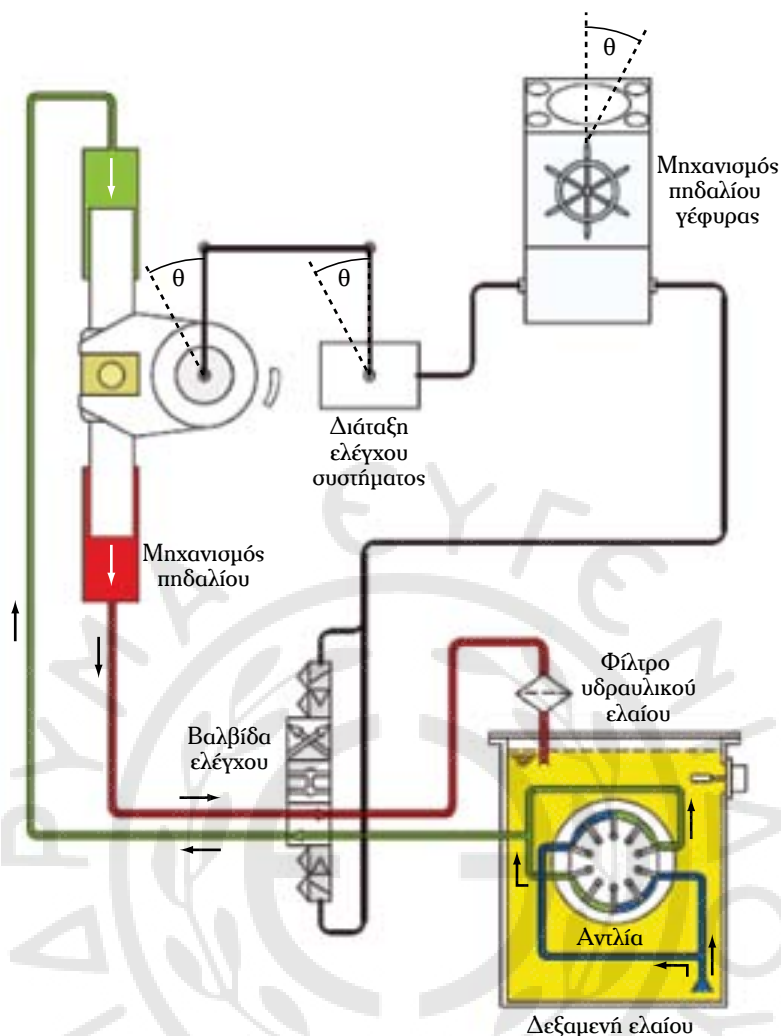
Πίνακας 14.12.2

Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά συστήματος περιστροφικού πτερυγιοφόρου ηλεκτροϋδραυλικού πηδαλίου της HATLAPA.

Τύπος		130	200	300	450
Ροπή λειτουργίας συστήματος	kNm	130	200	300	450
Διάμετρος άξονα πηδαλίου	mm	150 / 160 / 170 / 180 / 190 / 200 / 210 / 215	190 / 200 / 210 / 220 / 230 / 240 / 250	220 / 230 / 240 / 250 / 260 / 270 / 280	250 / 260 / 270 / 280 / 290 / 300 / 310 / 320
Βάρος εγκατάστασής κατά προσέγγιση	kg	682	1003	1480	2198
Διαστάσεις (διάμετρος-ύψος)	mm	640×660	740×740	830×820	940×930
Κατανάλωση ισχύος	kW	2×11	2×18	2×24	2×32

Τύπος		600	800	1000	1250
Ροπή λειτουργίας συστήματος	kNm	545	725	915	1100
Διάμετρος άξονα πηδαλίου	mm	280 / 290 / 300 / 310 / 320 / 330 / 340 / 350 / 354	310 / 320 / 330 / 340 / 350 / 360 / 370 / 380 / 390	340 / 350 / 360 / 370 / 380 / 390 / 400 / 410 / 420	370 / 380 / 390 / 400 / 410 / 420 / 430 / 440 / 446
Βάρος εγκατάστασής κατά προσέγγιση	kg	2832	3918	4726	5874
Διαστάσεις (διάμετρος-ύψος)	mm	1030×1110	1130×1170	1220×1170	1290×1260
Κατανάλωση ισχύος*	kW	2×40	2×50	2×76	2×95

*σύμφωνα με τον IEC 92-204: duty S6-25%



Σχ. 14.13α

Ηλεκτροϋδραυλική διάταξη ελέγχου του πηδαλίου.

Η εφαρμογή των ηλεκτροϋδραυλικών πηδαλίων είναι ο συνηθέστερος τρόπος συστημάτων πηδαλιουχίας των σημερινών πλοίων. Η αξιοπιστία, η γρήγορη ανταπόκριση των επιθυμητών κινήσεων και η ανθεκτική κατασκευή είναι ορισμένοι λόγοι, για τους οποίους είναι διαδεδομένα στις εγκαταστάσεις των μεγάλων πλοίων.

Η εγκατάσταση του συστήματος ενός ηλεκτροϋδραυλικού πηδαλίου αποτελείται από:

α) Το **σύστημα τηλεκινήσεως** (telemotor ή remote control), διά του οποίου, μεταδίδονται από τη γέφυρα οι κινήσεις του πηδαλιούχου μέσω του οιακοστροφίου, προς το μηχανήμα του πηδαλίου.

β) Τον **μηχανισμό κινήσεως** του πηδαλίου, το οποίο δέχεται τις κινήσεις μέσω της τηλεκινήσεως απ' το οιακοστρόφιο και σύμφωνα με αυτές λειτουργεί,

παρέχοντας την κίνηση στον μηχανισμό στρέψεως για τον άξονα του πηδαλίου.

γ) Τον **μηχανισμό στρέψεως** του πηδαλίου, μέσω του οποίου, με κατάλληλη διάταξη, μεταφέρεται η ροπή στρέψεως στο περύγιο του πηδαλίου.

Στο σχήμα 14.13β, παρουσιάζεται η διάταξη πηδαλιουχίας με περιστροφικό περυγιοφόρο ηλεκτροϋδραυλικό πηδάλιο, ενώ στο σχήμα 14.13γ παρουσιάζεται το σύστημα μεταδόσεως κινήσεως στο πηδάλιο με δύο πίνακες ελέγχου και δύο συστήματα υδραυλικών αντλιών.

– **Ο μηχανισμός κινήσεως του ηλεκτροϋδραυλικού πηδαλίου.**

Οι αντλίες ελαίου, τα έμβολα και οι διατάξεις ελέγχου αποτελούν την εγκατάσταση ενός ηλεκτροϋδραυλικού συστήματος για την κίνηση του πηδαλίου.

Με τις αντλίες παρέχεται το έλαιο στα έμβολα, και αυτά με τη σειρά τους, ενεργώντας στον μηχανισμό στρέψεως, μετατοπίζουν το πηδάλιο στην επιθυμητή θέση.

Στα ηλεκτροϋδραυλικά πηδάλια, οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για την παροχή του ελαίου στα έμβολα είναι μεταβλητής καταθλίψεως.

Ο όρος μεταβλητή κατάθλιψη δηλώνει τη δυνατότητα μιας αντλίας να μετατρέπει κατ' επιλογή με την επίδραση ενός μηχανισμού ελέγχου την αναρρόφηση της αντλίας σε κατάθλιψη και αντίθετα, δίκως να διακοπεί η λειτουργία της.

Οι αντλίες αυτές, συνήθως, είναι δύο στην εγκατάσταση του πηδαλίου ενός πλοίου, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής ναυσιπλοΐα σε περίπτωση βλάβης στη μία από αυτές, καθώς και να διατηρείται η ικανότητα πηδαλιουχίας του πλοίου όταν πραγματοποιούνται εργασίες συντηρήσεως σε μία από τις δύο αντλίες. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να εργάζονται χωριστά και παράλληλα, αυξάνοντας την ταχύτητα ανταποκρίσεως των κινήσεων του πηδαλίου.

Για κάθε τύπο από τις αντλίες αυτές, επηρεάζοντας με διαφορετικό τρόπο τη διαδρομή των εμβόλων της χωρίς να απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας της, η ποσότητα του ελαίου που εκτοπίζεται από την αντλία μπορεί να μεταβάλλεται από μηδενική έως μέγιστη. Με αυτόν τον τρόπο καταθλίβει την ποσότητα που προβλέπεται, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της κατασκευής της.

Μεγάλος αριθμός τύπων αντλιών μεταβλητής καταθλίψεως που χρησιμοποιούνται για την παροχή ελαίου στα έμβολα είναι διαθέσιμος.

Οι κυριότεροι από αυτούς τους τύπους είναι:

α) Κινούμενης στεφάνης (floating ring).

β) Λεκάνης μεταβαλλόμενης κλίσεως (swash plate),

και

γ) ολισθηρών επιθεμάτων-ελασμάτων (slipper-pad).

14.14 Ο μηχανισμός επαναφοράς του πηδαλίου.

Στις δύο αντλίες αξονικής και ακτινικής κινήσεως τύπου Waterbury και Hele-Shaw ή άλλων κατασκευαστών, η θέση της λεκάνης ή της στεφάνης ολισθήσεως ρυθμίζεται από τον πηδαλιούχο όταν στρέφει το οιακοστρόφιο μέσω του συστήματος τηλεκινήσεως, επενεργώντας στον άξονα ελέγχου της λεκάνης ή της στεφάνης της αντλίας.

Στο τέλος όμως κάθε ενέργειας προς την επιθυμητή θέση του πηδαλίου είναι αναγκαίο να διακόπτεται η

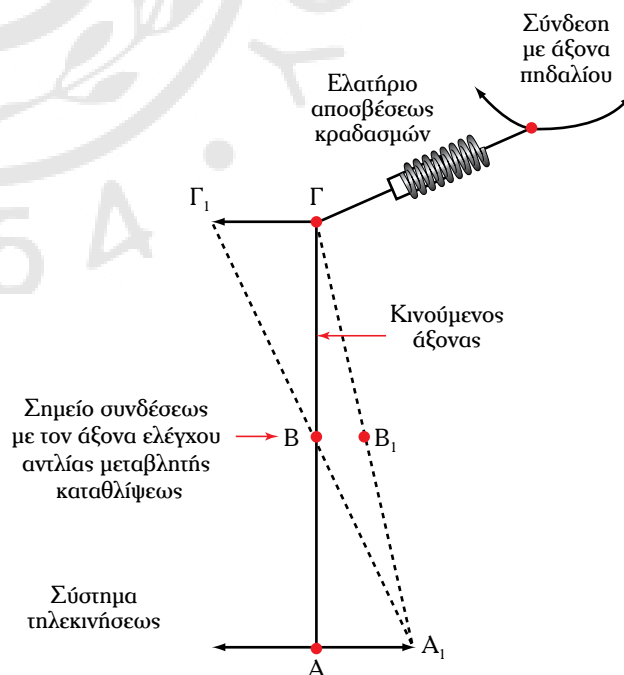
κατάθλιψη του ελαίου στον μηχανισμό κινήσεως του πηδαλίου, μέχρι την επόμενη επιθυμητή μεταβολή.

Γι' αυτόν τον λόγο ένα μηχανικό σύστημα με οδοντωτούς άξονες και γρανάζια ή ελατηρίου ενεργοποιείται για την ομαλή επαναφορά του άξονα ελέγχου της αντλίας μεταβλητής καταθλίψεως στη μέση θέση, ώστε να διακοπεί η κυκλοφορία ελαίου στο δίκτυο. Η εντολή για την κίνηση του άξονα ελέγχου, προκειμένου η λεκάνη ολισθήσεως ή η στεφάνη να επανέλθει στη μέση θέση, μεταδίδεται από βραχίονα, που συνδέεται με τον άξονα πηδαλίου του πλοίου.

Μία απλή διάταξη, όπου φαίνεται η λειτουργία μηχανισμού επαναφοράς του άξονα ελέγχου της αντλίας στη μέση θέση παρουσιάζεται στο σχήμα 14.14a έτσι, ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του.

Τα τρία σημεία A, B, Γ είναι τα σημεία συνδέσεως στον κινούμενο άξονα, που σχετίζεται με τον μηχανισμό επαναφοράς όταν δεν υπάρχει κίνηση από οιακοστρόφιο. Το A είναι το σημείο όπου συνδέεται το σύστημα τηλεκινήσεως με τον κινούμενο άξονα του μηχανισμού. Το B είναι το σημείο όπου συνδέεται ο άξονας ελέγχου της αντλίας μεταβλητής καταθλίψεως και το Γ είναι το σημείο συνδέσεως με τον άξονα πηδαλιουχίας του πλοίου. Τα A₁, B₁, Γ₁ είναι οι νέες θέσεις του άξονα μετά την εντολή στρέψεως του πηδαλίου.

Ο μεταδότης, ενεργώντας από τη γέφυρα ή από άλλη θέση πηδαλιουχίας με τηλεκίνηση στη μία



Σχ. 14.14a

Μηχανισμός επαναφοράς του πηδαλίου.

άκρη του άξονα στο σημείο συνδέσεως Α, μετατοπίζει τον άξονα στη νέα θέση Α₁. Ως συνέπεια παρασύρεται ο άξονας ελέγχου της αντλίας που συνδέεται στον κινούμενο άξονα στο σημείο Β στη νέα θέση Β₁. Η αντλία που βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία αρχίζει να τροφοδοτεί με έλαιο τον μηχανισμό στρέψεως του πηδαλίου, ο οποίος βρίσκεται σε ισορροπία. Τότε το πηδάλιο αρχίζει να κινείται προς την επιθυμητή φορά (δεξιά ή αριστερά).

Μέσω του συστήματος μεταδόσεως που παίρνει κίνηση από το πηδάλιο και ενώνεται στον άξονα επαναφοράς στο σημείο Γ, η άκρη του άξονα μετακινείται στη νέα θέση Γ₁ προκαλώντας την επαναφορά του άξονα ελέγχου της αντλίας στην αρχική θέση Β. Στο σημείο αυτό διακόπεται η παροχή ελαίου από την αντλία και το πηδάλιο παραμένει σε αυτήν τη θέση μέχρι την επόμενη μεταβολή από τον πηδαλιούχο.

Σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο πηδάλιο μειώνονται με τον ίδιο τρόπο, αλλά η μεταβολή προκαλείται από τις **ανακουφιστικές βαλβίδες** (relief valves) και όχι από το οιακοστρόφιο πηδαλιουχίας.

Το σχήμα 14.14α αφορά στις κινήσεις επαναφοράς για μία κίνηση του οιακοστρόφιου. Αν το οιακοστρόφιο μετακινηθεί και οι συνδέσεις στον κινούμενο άξονα επαναφοράς από τον άξονα ελέγχου της αντλίας ελαίου ή του άξονα του πηδαλίου ολισθαίνουν σε αυλάκι, τότε τα διαγράμματα για την επαναφορά του πηδαλίου παρουσιάζονται στο σχήμα 14.14β.

14.15 Επιθεωρήσεις – Έλεγχοι.

Το σύστημα ελέγχου πηδαλίου υπόκειται στα

πλαίσια του ετήσιου ελέγχου και της ανανεώσεως του **πιστοποιητικού ασφαλούς κατασκευής του πλοίου** (cargo ship safety construction certificate), σύμφωνα με τον κανονισμό 10, παράγραφο Β1 της SOLAS. Το σύστημα του πηδαλίου ελέγχεται από τον επιθεωρητή του νηογνώμονα και, εάν απαιτηθεί, από τον **επιθεωρητή της σημαίας του πλοίου** (flag surveyor).

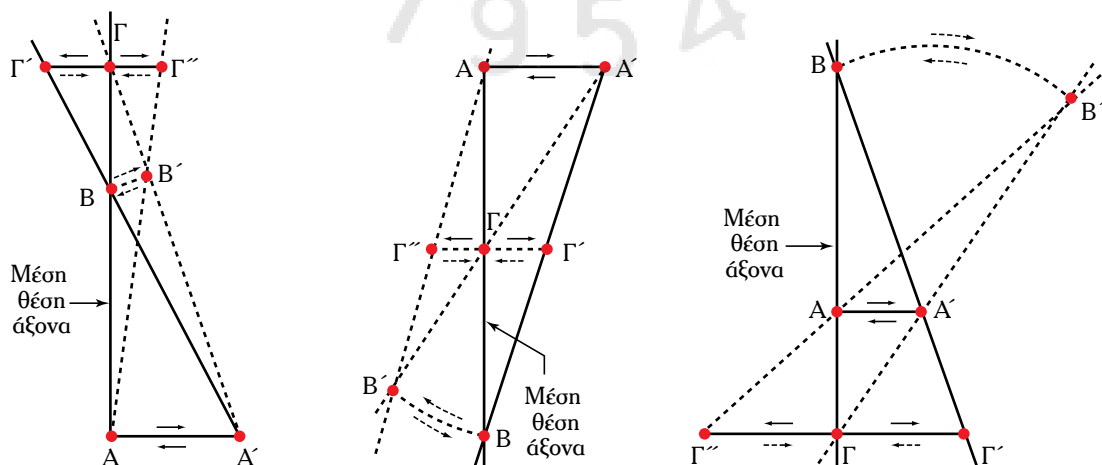
Για όλους τους ελέγχους που γίνονται από το πλήρωμα του πλοίου πρέπει να τηρούνται αρχεία, σύμφωνα με τον Κώδικα Ασφαλούς Διαχειρίσεως του πλοίου (International Safety Management– ISM).

Οι προδιαγραφές κατασκευής του μηχανισμού πηδαλίου αναφέρονται στο Κεφάλαιο II της SOLAS 2004, στους κανονισμούς 29 (Μηχανισμός Πηδαλίου, Steering Gear) και 30 [Πρόσθετες Απαιτήσεις για Ηλεκτρικούς και Ηλεκτροϋδραυλικούς Μηχανισμούς Πηδαλίων (Additional requirements for electric and electrohydraulic steering gear)].

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 26 του Κεφαλαίου V της SOLAS 2004 Μηχανισμός Πηδαλίου: Έλεγχοι και Γυμνάσια (Steering gear: testing and drills), πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω βασικοί έλεγχοι και ενέργειες για τον μηχανισμό πηδαλίου από το πλήρωμα του πλοίου:

α) Εντός 12 ωρών πριν την αναχώρηση του πλοίου, ο μηχανισμός πηδαλίου θα ελέγχεται και θα πραγματοποιείται δοκιμή στρέψεως του πηδαλίου. Η δοκιμαστική κίνηση ελέγχου θα πραγματοποιείται μεταξύ άλλων και στα παρακάτω συστήματα:

- Στο κύριο σύστημα μηχανισμού πηδαλίου.
- Στο βοηθητικό σύστημα πηδαλίου.
- Στο σύστημα ελέγχου.



Σχ. 14.14β

Μηχανισμός επαναφοράς του πηδαλίου κινουμένων σημείων συνδέσεως.

- Στην σωστή ένδειξη της γωνίας στρέψεως σε σχέση με την πραγματική γωνία του πηδαλίου.
- Στα ηχητικά και οπτικά συστήματα, όταν το κύριο σύστημα τίθεται εκτός λειτουργίας.
- Στους διάφορους αυτοματισμούς του συστήματος πηδαλίου.

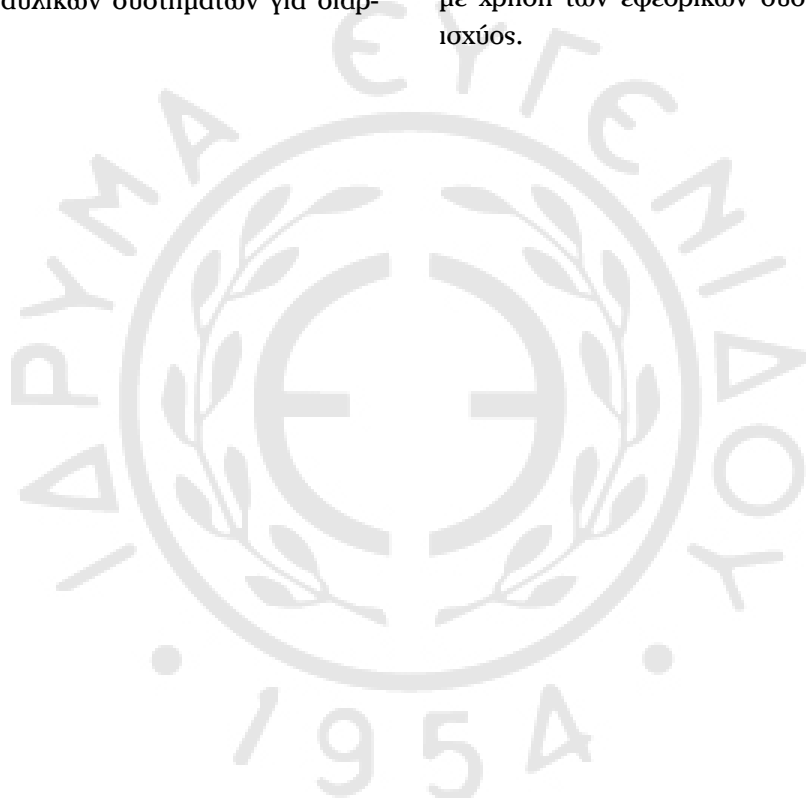
β) Οι περιοδικοί έλεγχοι και τα γυμνάσια που πραγματοποιούνται από το πλήρωμα του πλοίου πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες διαδικασίες:

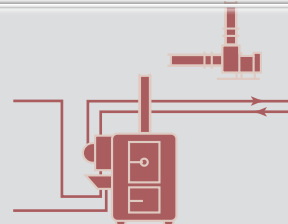
- Την πλήρη περιστροφή του πηδαλίου, σύμφωνα με τη διάταξη του συστήματος χειρισμού του πηδαλίου.
- Οπτικό έλεγχο του συστήματος στρέψεως και όλων των υδραυλικών συστημάτων για διαρροές ελαίου.

- Δοκιμή του συστήματος επικοινωνίας μεταξύ της γέφυρας του πλοίου και του διαμερίσματος του μηχανισμού πηδαλίου.

γ) Επιπρόσθετα με τους παραπάνω ελέγχους πρέπει να πραγματοποιούνται γυμνάσια, τουλάχιστον μία φορά κάθε τρεις μήνες, προκειμένου το πλήρωμα να εξασκείται στη χρήση και λειτουργία των βοηθητικών συστημάτων του μηχανισμού του πηδαλίου.

Τα γυμνάσια πρέπει να περιλαμβάνουν τη λειτουργία του πηδαλίου από το διαμέρισμα του μηχανισμού πηδαλίου με ταυτόχρονη χρήση των συστημάτων επικοινωνίας με τη γέφυρα και όπου είναι δυνατόν με χρήση των εφεδρικών συστημάτων παραγωγής ισχύος.





15.1 Εισαγωγή στη Σύμβαση MARPOL 73/78.

Μία από τις σημαντικότερες Διεθνείς Συμβάσεις (ΔΣ) για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι η MARPOL 73/78. Έχει συνταχθεί με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ρυπάνσεως των θαλασσών από την απόρριψη πετρελαιοειδών, υλικών συσκευασίας ή στοιβασίας, απορριμμάτων, και της ρυπάνσεως από καυσαέρια. Εκπονήθηκε στις 17 Φεβρουαρίου του 1973, τέθηκε όμως σε ισχύ από τις 2 Οκτωβρίου του 1983.

Ως σκοπό έχει τη διατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, με την εξάλειψη της ρυπάνσεως από πετρέλαιο και άλλες επιβλαβείς ουσίες, καθώς και την ελαχιστοποίηση της τυχαίας απορρίψεως αυτών των ουσιών που συνδέονται με τα ατυχήματα των πλοίων.

Η MARPOL 73/78 είναι μία σύμβαση-πλαίσιο, με έξι Παραρτήματα, που περιέχουν λεπτομερείς κανονισμούς σχετικά με τις επιτρεπόμενες απορρίψεις, τον εξοπλισμό των πλοίων κ.λπ.. Τα Παραρτήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

α) Το **Παράρτημα I** (ANNEX I), που περιλαμβάνει ρυθμίσεις για τον τρόπο που πρέπει να είναι κατασκευασμένα τα Δ/Ξ και άλλα πλοία, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ρυπάνσεως. Περιλαμβάνει επίσης τα κριτήρια και τα όρια των επιτρεπομένων απορρίψεων πετρελαίου και άλλων ελαιωδών καταλοίπων κάτω από ειδικές συνθήκες και τέθηκε σε ισχύ το 1983. Το Παράρτημα αυτό, για πρακτικούς λόγους, είναι δυνατόν να χωριστεί σε δύο ομάδες, που αφορούν:

- Στα ελαιώδη απόβλητα από χώρους των μηχανημάτων που ορίζονται ως **επιχειρησιακά απόβλητα** (operational waste). Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα νερά των **υδροσυλλεκτών στο κύτος του μηχανοστασίου** (κοινώς νερά σεντινών ή σεντίνες), που μπορεί να είναι μολυσμένα με πετρέλαιο και
- στο έρμα και στο νερό από τον καθαρισμό των δεξαμενών φορτίου, καθώς και στα **υγρά κατάλοιπα φορτίου** (cargo related waste) από το διαμέρισμα των αντλιών των Δ/Ξ.

β) Το **Παράρτημα II** (ANNEX II), που τέθηκε σε ισχύ το 1987, περιλαμβάνει τους κανονισμούς απορρίψεως και τα μέτρα για τη μείωση της απορρίψεως επιβλαβών υγρών ουσιών (χημικά), που μεταφέρονται χύδην. Σε αυτό έχουν αξιολογηθεί και περιλαμβάνονται περισσότερες από 250 χημικές ουσίες. Η διάθεση αυτών των ουσιών πρέπει να πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο μόνο σε εγκαταστάσεις υποδοχής στην ξηρά. Οι απορρίψεις καταλοίπων, όταν συμβαίνουν, περιέχουν υγρά από τον καθαρισμό των δεξαμενών και τα όρια συγκεντρώσεως των χημικών ουσιών σε αυτά και καθορίζονται έτσι, ώστε να πληρούν τις προϋποθέσεις απορρίψεως. Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται η απόρριψη κοντά στις ακτές σε απόσταση μικρότερη των 12 νμ σε βάθος μικρότερο των 25 m, ενώ τα όρια και οι απαιτήσεις διαφοροποιούνται στις χαρακτηρισμένες ως ειδικές περιοχές.

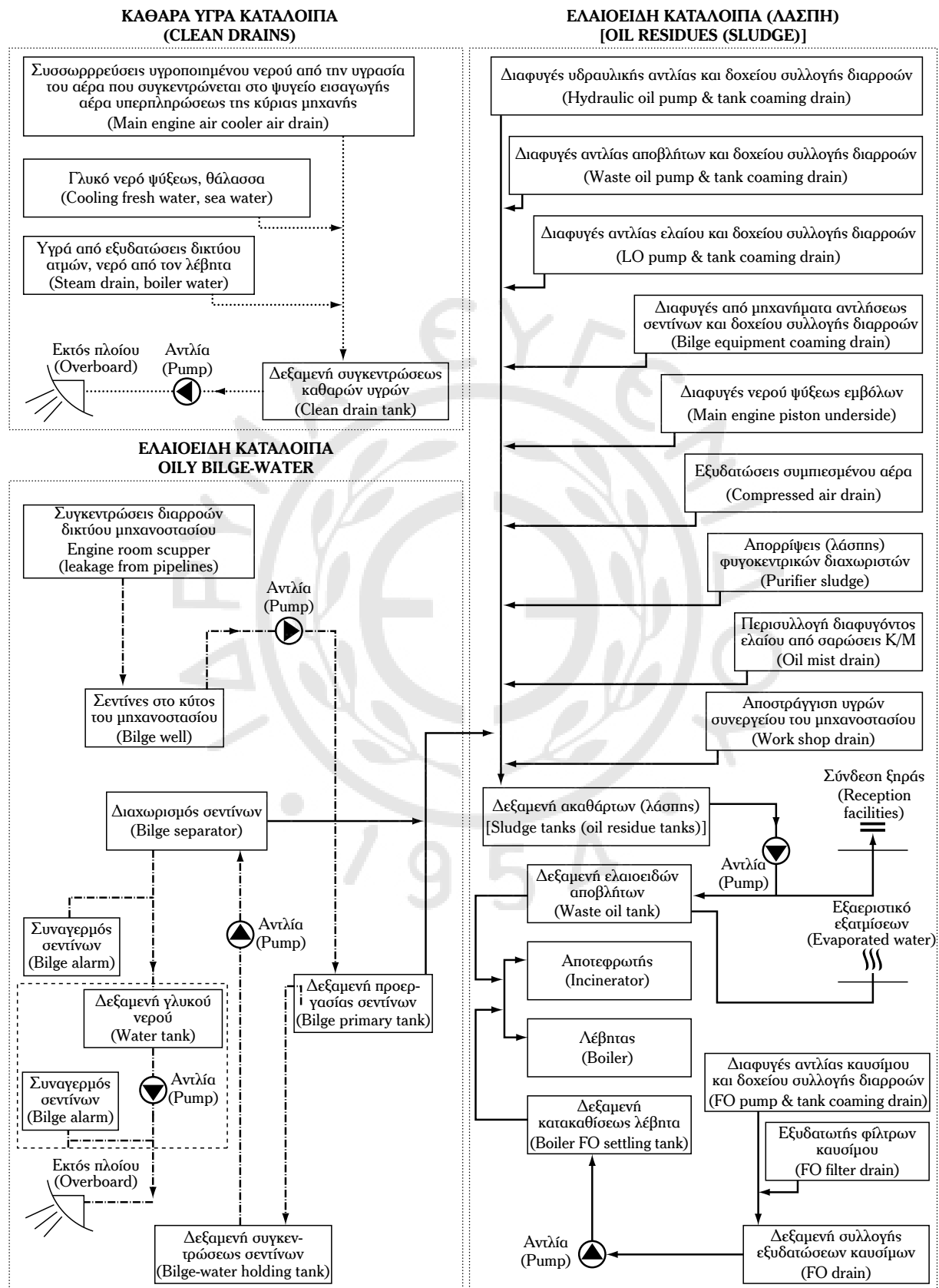
γ) Το **Παράρτημα III** (ANNEX III), που τέθηκε σε ισχύ το 1992, περιλαμβάνει διατάξεις με στόχο την πρόληψη της ρυπάνσεως από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται σε συσκευασμένη μορφή, όπως εμπορευματοκιβώτια, φορητές δεξαμενές κ.λπ.. Επίσης, περιλαμβάνει γενικές απαιτήσεις με την έκδοση λεπτομερών οδηγιών, που αφορούν στη συσκευασία, στη σήμανση, στην αποθήκευση, στα όρια για το μέγεθος κ.ά..

δ) Το **Παράρτημα IV**, (ANNEX IV), που περιλαμβάνει διατάξεις για την πρόληψη της ρυπάνσεως από την **απόρριψη λυμάτων από τα πλοία** (sewage) και τέθηκε σε ισχύ το 2003.

ε) Το **Παράρτημα V** (ANNEX V), που τέθηκε σε ισχύ το 1988, περιλαμβάνει διατάξεις για την πρόληψη της ρυπάνσεως από την απόρριψη λειτουργικών ή οικιακών αποβλήτων και άλλων στερεών. Σε αυτό ορίζονται τα διάφορα είδη αποβλήτων, που πρέπει να θεωρούνται ως σκουπίδια, ο τρόπος και η απόσταση απορρίψεως αυτών από την ξηρά.

στ) Το **Παράρτημα VI** (ANNEX VI), το οποίο εγκρίθηκε το Σεπτέμβριο του 1997 και αποσκοπεί στον περιορισμό της εκπομπής καυσαερίων (αερίων ρύπων) από τα πλοία. Καθορίζει τα όρια εκπομπής

Πίνακας 15.1
Διάγραμμα ροής Ολοκληρωμένου Συστήματος Επεξεργασίας Αποβλήτων
(Integrated Bilge Water Treatment System –IBTS).



τους, τη διαχείριση και την επεξεργασία τους. Τέθηκε σε ισχύ το 2005.

Εκτός από τις λεπτομερείς ρυθμίσεις των Παραρτημάτων, η MARPOL 73/78 περιλαμβάνει μία σειρά κανονισμών σχετικά με τις επιθεωρήσεις των πλοίων και τους κανονισμούς για την υποχρεωτική τήρηση ημερολογίων φορτίου και αποβλήτων. Ο στόχος είναι η διευκόλυνση των αρχών στον έλεγχο για τη συμμόρφωση κατά τη διαχείριση των πλοίων με τις απαιτήσεις της ΔΣ και παράλληλα ο έλεγχος για τυχόν παραβάσεις των κανονισμών απορρίψεως.

Για την εφαρμογή των κανονισμών, τα πλοία είναι εφοδιασμένα με συστήματα επεξεργασίας και ελέγχου των αναγκαστικά παραγομένων αποβλήτων που δημιουργούνται από τις διαφυγές των μηχανημάτων στο μηχανοστάσιο ή από τις εργασίες συντηρήσεως (επισκευές, αλλαγές λαδιών κ.λπ.), είτε ως κατάλοιπα από τη μεταφορά φορτίου και τον καθαρισμό των δεξαμενών στα Δ/Ξ, είτε ως βιολογικά λύματα από τη λειτουργία των πλοίων. Τα συστήματα επεξεργασίας και ελέγχου είναι οι διαχωριστές ελαίου σεντίνων, τα συστήματα ελέγχου απορρίψεως ελαίου, οι αποτεφρωτές και τα συστήματα επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων.

Η τυπική διάταξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Επεξεργασίας Αποβλήτων (Integrated Bilge Water Treatment System-IBTS) παριστάνεται στον πίνακα 15.1.

15.2 Διαχωριστές ελαίου νερού σεντίνων.

Διαχωριστές ελαίου νερού σεντίνων (bilge oil water separators) ονομάζονται τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των σεντίνων του πλοίου. Οι σεντίνες αποτελούν ένα σχεδόν αναπόφευκτο προϊόν από τη λειτουργία του πλοίου. Πρόκειται για ένα υγρό μείγμα που συλλέγεται στο κύτος του μηχανοστασίου και αποτελείται από θάλασσα, γλυκό νερό, πετρέλαιο, διάφορα λιπαντικά που διαφεύγουν από μικροδιαρροές των μηχανών, των βοηθητικών μηχανημάτων και των δικτύων. Το μείγμα των σεντίνων επίσης ενδέχεται να περιέχει μικρά οργανικά και ανόργανα σωματίδια, καθώς και διάφορα χημικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση των μηχανημάτων.

Ένα μέρος αυτού του νερού είναι αναγκαίο να απορριφθεί στη θάλασσα. Για την προστασία όμως του περιβάλλοντος και σύμφωνα με τους αυστηρούς κανόνες που έχουν θεσπίσει οι ΔΣ (conventions), απαγορεύεται η απόρριψή του στη θάλασσα πριν την επεξεργασία του. Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται

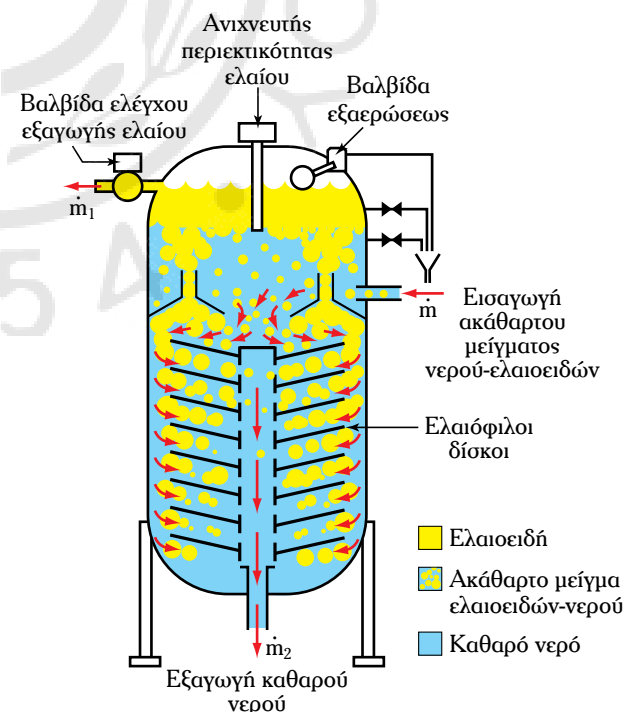
με διαχωρισμό του ελαίου από το νερό, ώστε η περιεκτικότητά του σε ρυπογόνα πετρελαιοειδή και έλαια να μην υπερβαίνει τα 15 ppm (parts per million) (δηλ. σε ένα εκατομμύριο λίτρα νερού μόνο 15 lt επιτρέπεται να είναι έλαιο).

Στα συστήματα διαχωρισμού με βαρύτητα, η περιεκτικότητα του εξερχόμενου νερού φτάνει μόνο τα 100 ppm, οπότε είναι απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία, που πραγματοποιείται μέσω φίλτρων. Έτσι σχεδιάστηκαν οι διαχωριστές ελαίου σεντίνων, χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους, όπως το φιλτράρισμα και τον φυγοκεντρικό διαχωρισμό. Αυτές οι μέθοδοι επιτυγχάνουν τον στόχο των 15 ppm πριν την απόρριψη οποιασδήποτε ποσότητας νερού σεντίνων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Οι διαχωριστές, ανάλογα με τη διεργασία που ακολουθείται, χαρακτηρίζονται ως μηχανικοί διαχωριστές, διαχωριστές με φίλτρα, διαχωριστές με μεμβράνη και διαχωριστές με φυγοκέντρωση.

15.2.1 Μηχανικοί διαχωριστές.

Οι μηχανικοί διαχωριστές υγρών των σεντίνων (mechanical bilgewater separators), αποτελούνται από σταθερούς ελαιόφιλους δίσκους (σχ. 15.2α), με μεγάλη επιφάνεια. Εκεί προσκολλώνται το έλαιο και το πετρέλαιο, τα οποία στη συνέχεια αφαιρούνται και



Σχ. 15.2α

Μηχανικός διαχωριστής υγρών σεντίνων με σταθερούς ελαιόφιλους δίσκους.

απομακρύνονται είτε με κάποιο μηχανισμό συλλογής, είτε με εξάρμωση και καθαρισμό των δίσκων.

Το μείγμα νερού των σεντίνων εισέρχεται στη μονάδα καθαρισμού με τη βοήθεια αντλίας πάνω από τους δίσκους. Το πετρέλαιο με το έλαιο, λόγω της διαφοράς ειδικού βάρους, συλλέγονται στο επάνω μέρος του θαλάμου, ενώ το νερό, διερχόμενο από τους δίσκους, διαχωρίζεται από το υπόλοιπο έλαιο και στη συνέχεια καταθλίβεται στη θάλασσα μέσω μονάδας ελέγχου της ποιότητας του νερού εξαγωγής. Όταν το μείγμα πετρελαίου και ελαίου αυξηθεί, στο επάνω μέρος του θαλάμου, καταθλίβεται μέσω ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας ελέγχου εξαγωγής ελαίου σε δεξαμενή παραμένοντας εκεί μέχρι την περαιτέρω επεξεργασία του, την καύση του στον **αποτεφρωτή** (incinerator) ή την παράδοσή του σε εγκαταστάσεις αποβλήτων στην ξηρά.

15.2.2 Διαχωριστές με φίλτρα.

Οι διαχωριστές υγρών των σεντίνων με φίλτρα (filter bilge water separators) αποτελούνται από ειδικά κατασκευασμένους κυλινδρικούς θαλάμους που περιέχουν ειδικά φίλτρα (σχ. 15.2β).

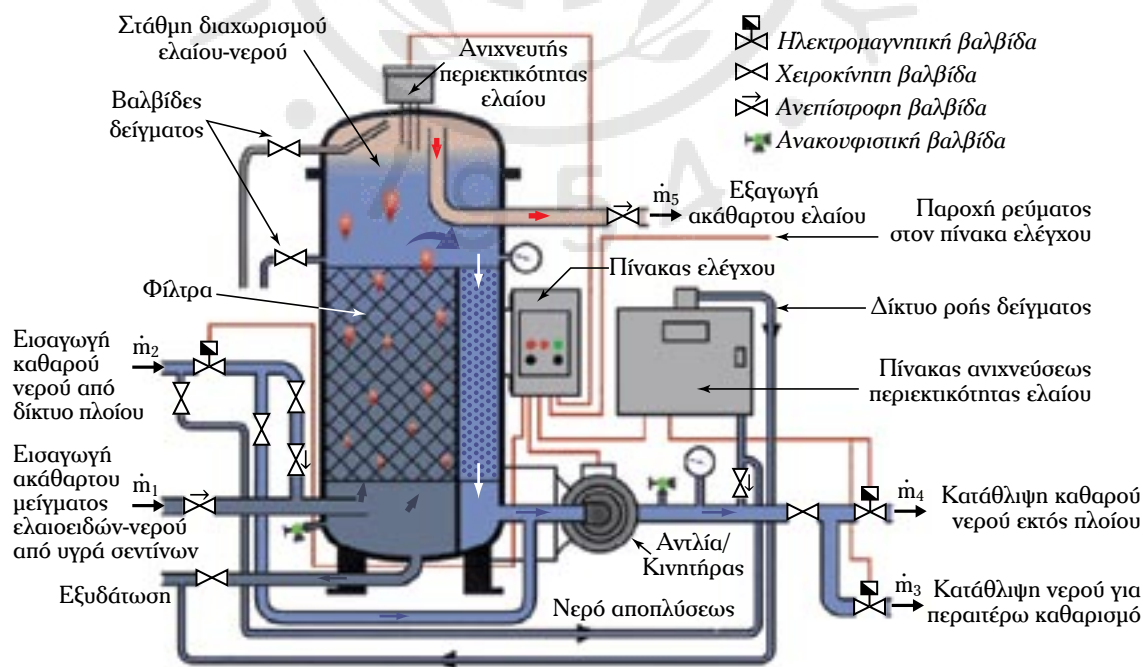
Τα φίλτρα αυτά συγκρατούν το έλαιο και το πετρέλαιο από το διερχόμενο νερό των σεντίνων, απομακρύνοντας τις ρυπογόνες προσμίξεις, ακόμη και αν το πετρέλαιο ή το έλαιο έχει γίνει γαλάκτωμα με το νερό.

Στις εγκαταστάσεις των πλοίων συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα διαχωρισμού ελαίου σεντί-

νων (σχ. 15.2γ), στα οποία ο καθαρισμός πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο αποτελείται από τον θάλαμο με ελαιόφιλους δίσκους, διαχωρίζοντας τη μεγάλη ποσότητα των πετρελαιοειδών και ελαίου. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται περαιτέρω διαχωρισμός, με το μείγμα να διέρχεται μέσω φίλτρων και στη συνέχεια να καταθλίβεται στη θάλασσα μέσω του ελεγκτή περιεκτικότητας ελαίου (Oil Content Discharge Monitor–OCDM).

Ο έλεγχος της ποιότητας του νερού στην κατάθλιψη επιτυγχάνεται με συνεχή δειγματοληψία από τον σωλήνα εξαγωγής. Το δείγμα διέρχεται από φωτοκύτταρο, ώστε αν η περιεκτικότητά του σε ελαιώδη κατάλοιπα υπερβεί τα 15 ppm, δίδεται εντολή να διακοπεί η κατάθλιψη προς τη θάλασσα μέσω του πίνακα ελέγχου του συστήματος σε τρίοδο βαλβίδα (three way valve) του δικτύου, στην εξαγωγή από τη μονάδα. Τότε, το νερό που εξέρχεται από τον διαχωριστή, είτε επιστρέφει ξανά στη μονάδα διαχωρισμού, είτε στη δεξαμενή αποθηκεύσεως. Η στάθμη του συγκεντρωμένου ελαίου στους θαλάμους των δύο σταδίων ελέγχεται από αυτοματισμό, που ανοίγει τη βαλβίδα εξαγωγής ελαίου απομακρύνοντας το έλαιο προς τη δεξαμενή συγκεντρώσεως ακαθάρτων ελαιοειδών (wastetank).

Με τη μέθοδο επεξεργασίας των δύο σταδίων, επιτυγχάνεται ο αποτελεσματικός καθαρισμός των υγρών που συλλέγονται από τις σεντίνες του πλοίου, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η διάρκεια χρήσεως των φίλτρων πριν αντικατασταθούν.



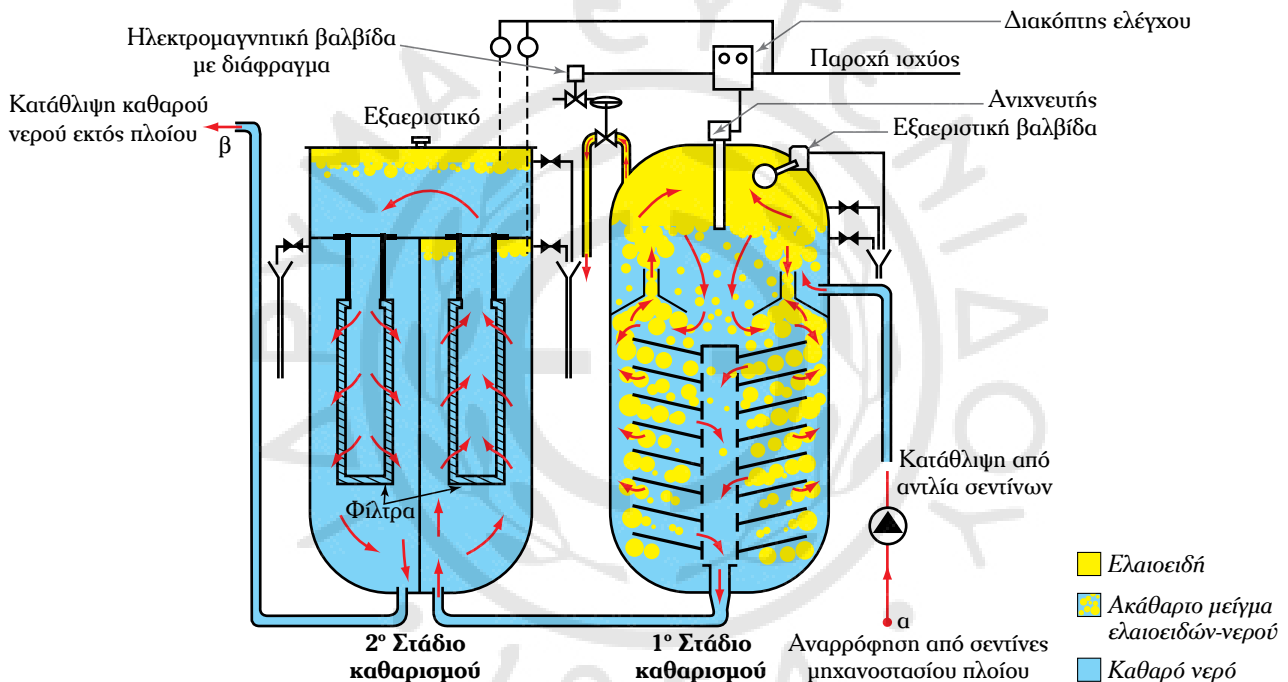
Σχ. 15.2β
Διαχωριστής με φίλτρα.

Για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της διεργασίας καθαρισμού σε μερικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται επί πλέον και μεμβράνες. Έτσι, μετά τη διέλευση από τα φίλτρα όπου περιορίζεται σημαντικά η περιεκτικότητα του ελαίου, το υγρό οδηγείται στις μεμβράνες. Αυτή η διαδικασία καθαρισμού έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται, εκτός από τη συχνότητα καθαρισμού των φίλτρων, και η συχνότητα καθαρισμού των μεμβρανών παρέχοντάς τους μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

15.2.3 Διαχωριστές με μεμβράνη.

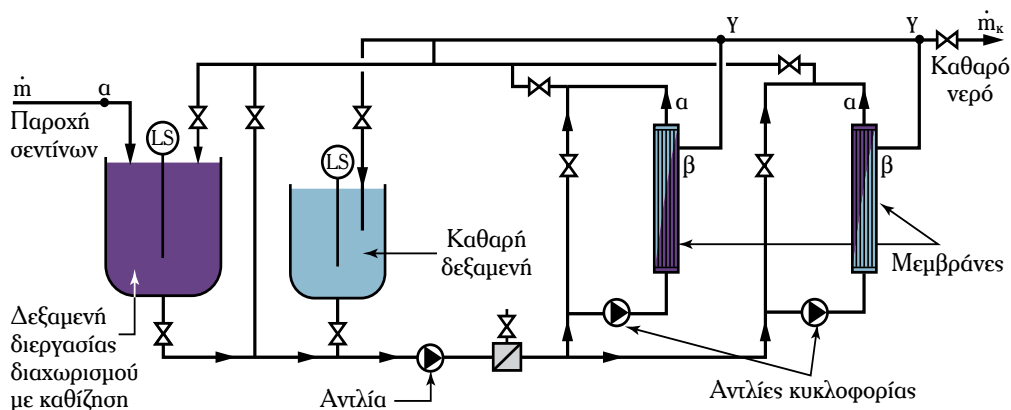
Στα συστήματα με διαχωριστές που αποτελούνται

μόνο από μεμβράνες (membrane oily bilge water separators) επιτυγχάνεται υψηλότερο επίπεδο καθαρισμού και διαχωρισμού του νερού από τα υγρά των σεντίνων. Αυτά τα συστήματα είναι σε θέση να αφαιρέσουν όλο το πετρέλαιο που είναι αναμεμιγμένο με το νερό, συμπεριλαμβανομένων μηχανικών ή χημικών γαλακτωμάτων. Το νερό που προκύπτει, έχει μηδενική περιεκτικότητα σε πετρελαιοειδή (0 ppm). Το μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η δαπανηρή κατασκευή και λειτουργία τους, πλεονεκτούν όμως στην ποιότητα του επεξεργασμένου νερού. Το διάγραμμα και η διάταξη επεξεργασίας ενός συστήματος με μεμβράνες εικονίζεται στα σχήματα 15.28 και 15.2ε.



Σχ. 15.2γ

Διαχωριστής ελαίου με δίσκους και φίλτρα.



Σχ. 15.26

Διάγραμμα επεξεργασίας διαχωριστή με μεμβράνες.

15.2.4 Διαχωριστές με φυγοκέντρωση.

Η επεξεργασία του νερού που συλλέγεται στις σεντίνες πραγματοποιείται από φυγοκεντρικούς διαχωριστές, που έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους διαχωριστές για τον καθαρισμό των καυσίμων και του ελαίου λιπάνσεως.

Με αυτήν τη μέθοδο (σχ. 15.2στ), στο σύστημα καθαρισμού των σεντίνων δεν απαιτούνται μεγάλες δεξαμενές για την αποθήκευσή τους πριν την επεξεργασία τους, αυξάνοντας μ' αυτόν τον τρόπο την ωφέλιμη μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Επίσης,

μειώνονται οι δαπάνες λειτουργίας από τους καθαρισμούς των φίλτρων με χημικά ή από την αντικατάσταση των φίλτρων, παρέχοντας υψηλή απόδοση σε μεγάλη παροχή υγρών. Η ποιότητα του υγρού που καταθλίβεται εκτός πλοίου κυμαίνεται κάτω από τα 5 ppm. Κατά την επεξεργασία, τα υγρά των σεντίνων με αντλία συλλέγονται σε κατάλληλη δεξαμενή, όπου συγκεντρώνονται και τα υγρά από τα **μπλοφάρια**¹ των φυγοκεντρικών καθαριστών και τα ακάθαρτα υγρά από τα μηχανήματα του μηχανοστασίου. Στη συνέχεια, από τη δεξαμενή συγκεντρώ-



Σχ. 15.2ε

Διάταξη επεξεργασίας σεντίνων με μεμβράνες.



Σχ. 15.2στ

Διαχωρισμός με φυγοκεντρική διεργασία.

¹ Μπλοφάρια είναι η διαδικασία αποπλύσεως με νερό του φυγοκεντρικού διαχωριστή για την απομάκρυνση των συγκεντρωμένων στις επιφάνειές του ακαθαρσιών που περιέχονται στο υπό επεξεργασία υγρό.

σεως διέρχονται από τον διαχωριστή και το καθαρό νερό απορρίπτεται στη θάλασσα.

15.3 Συστήματα ελέγχου απορρίψεως ελαίου (Oil Discharge Monitoring Systems-ODM).

Η ευστάθεια και η ασφαλής ναυσιπλοΐα των Δ/Ξ επιτυγχάνεται με την πλήρωση των δεξαμενών κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μειώνεται η κόπωση και οι τάσεις που δημιουργούνται από το βάρος του φορτίου στη μεταλλική κατασκευή του σκάφους. Όταν όμως το πλοίο βρίσκεται σε **άφορτη κατάσταση** (ballast) ή μεταβάλλεται η κατανομή φορτίου στις δεξαμενές λόγω των πολλών τύπων φορτίων, που μπορεί να μεταφέρονται στα διάφορα λιμάνια, η ευστάθεια επιτυγχάνεται πληρώνοντας μερικές από τις δεξαμενές με θαλασσινό νερό.

Ένας από τους στόχους των κανονισμών για την πρόληψη της ρυπάνσεως από πετρέλαιο, που τέθηκε σε ισχύ τον Οκτώβριο του 1983, είναι να μειωθεί η πρακτική της εναλλακτικής χρήσεως των δεξαμενών φορτίου ως δεξαμενές έρματος θαλασσινού νερού.

Γι' αυτό σε παλαιότερα πλοία, κυρίως στα μεγάλα Δ/Ξ, ως προσωρινό μέτρο έχει επιτραπεί να χρησιμοποιούνται ορισμένες δεξαμενές φορτίου μόνο για ερματισμό, οι οποίες ονομάζονται **δεξαμενές καθαρού έρματος** (clean ballast tanks). Όμως, το δίκτυο που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του έρματος είναι το ίδιο με το δίκτυο του φορτίου.

Στα νέα μεγάλα Δ/Ξ απαιτείται από την κατασκευή τους να διαθέτουν επαρκή αριθμό δεξαμενών, που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τον ερματισμό και ονομάζονται **διαχωριστικές δεξαμενές έρματος** (segregated ballast tanks). Έτσι, υπό κανονικές συνθήκες, το θαλασσινό νερό δεν πρέπει να μεταφέρεται σε δεξαμενές φορτίου. Η διαχείριση του έρματος και η κατάθλιψή του στη θάλασσα, πραγματοποιείται μέσω διαφορετικού δικτύου και αντλιών απ' αυτό του φορτίου, ώστε να αποκλείεται η πιθανότητα αναμείξεως και μόλυνσεως του έρματος με τα υπολείμματα φορτίου των δεξαμενών.

Οι νέες μέθοδοι λοιπόν και οι διαδικασίες που ακολουθούνται, έχουν μειώσει σημαντικά τις πιθανότητες ρυπάνσεως από την απόρριψη ακάθαρτου έρματος. Όμως, λόγω των εργασιών που πραγματοποιούνται στο πλοίο, όπως το πλύσιμο των δεξαμενών με θάλασσα ή σε περιπτώσεις κακοκαιρίας που αναπόφευκτα κάποιες δεξαμενές πληρώνονται από θάλασσα, μία ποσότητα θάλασσας συλλέγεται στο πλοίο και πρέπει να απορριφθεί ξανά στο περιβάλλον.

Για την απόρριψη αυτού του έρματος, όπως και του

νερού που βρίσκεται στις δεξαμενές καταλοίπων μετά το πλύσιμο των δεξαμενών φορτίου, τα πλοία εφοδιάζονται με μία συσκευή παρακολουθήσεως απορρίψεως ελαίου ελέγχοντας συνεχώς την ποιότητα του έρματος που απορρίπτεται.

Όπως αναφέρεται στο Παράρτημα Ι της MARPOL 73/78, όλα τα Δ/Ξ άνω των 150 GT είναι υποχρεωμένα να διαθέτουν εγκεκριμένο σύστημα ελέγχου απορρίψεως του ελαίου, που πρέπει να λειτουργεί αυτόματα, αλλά και με δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης. Η εγκατάσταση αυτή πρέπει να διαθέτει σύστημα καταγραφής συγκεκριμένων στοιχείων, που είναι:

- α) Ο ρυθμός απορρίψεως έρματος.
- β) Η θέση του πλοίου κατά την απόρριψη.
- γ) Η ημερομηνία και η χρονική διάρκεια της απορρίψεως.
- δ) Η ολική ποσότητα έρματος που απορρίφθηκε, και
- ε) η περιεκτικότητα σε πετρελαιοειδή, εκφρασμένη σε ppm.

Η απόρριψη μέσω του ODM πρέπει να πραγματοποιείται, ενώ το πλοίο ταξιδεύει μακριά από ειδικές περιοχές και σε απόσταση τουλάχιστον 50 νμ από τις ακτές. Η περιεκτικότητα του φορτίου από τις δεξαμενές στις οποίες περιέχεται στο έρμα που απορρίπτεται δεν πρέπει στιγμαία να υπερβαίνει τα 30 l/νμ. Η ολική ποσότητα καταθλίψεως είναι το 1/30.000 της συνολικής ποσότητας του συγκεκριμένου φορτίου απ' το οποίο σχηματίζονται τα κατάλοιπα. Τέλος πρέπει να αποκλείεται η πιθανότητα αναμείξεως και μόλυνσεως του έρματος με τα υπολείμματα φορτίου των δεξαμενών.

Η συνθήκη εγκατάστασης του συστήματος ελέγχου απορρίψεως ελαίου (σχ. 15.3α) αποτελείται από:

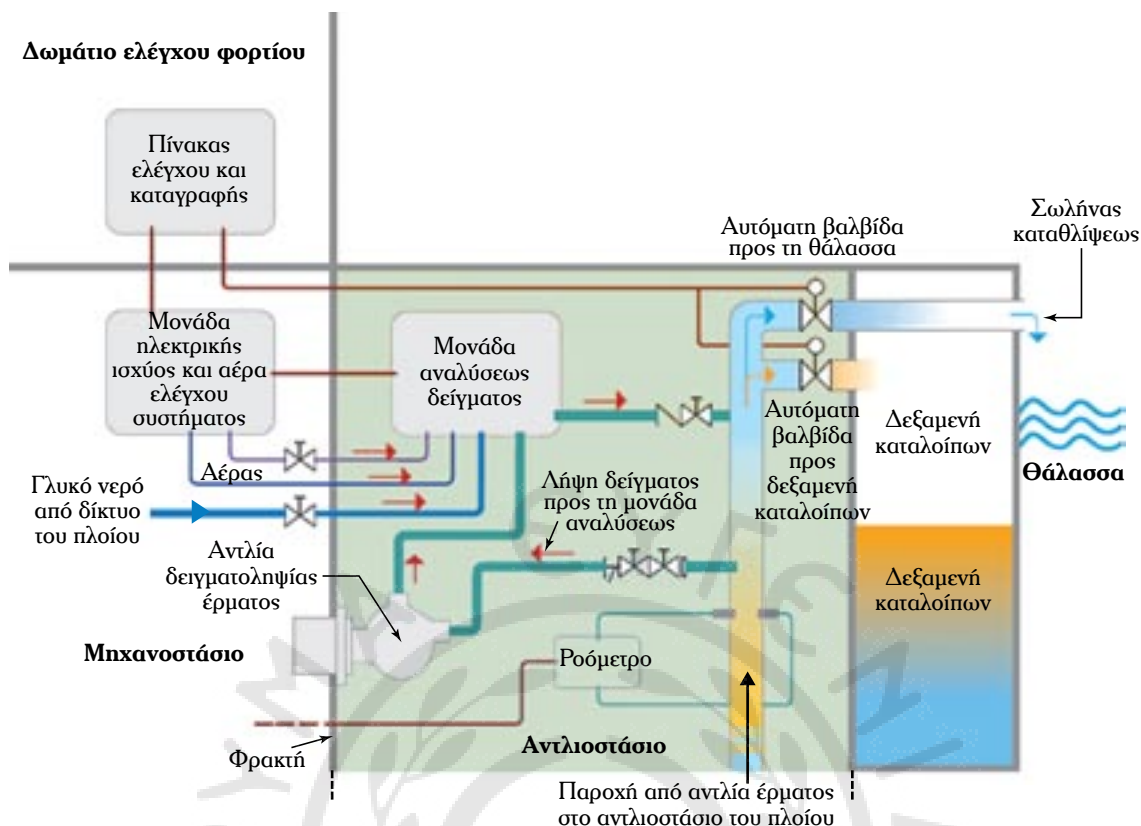
α) Τη **μονάδα υπολογιστή**, η οποία υπολογίζει την απόρριψη διαλυμένου φορτίου l/νμ καταγράφοντας την ολική ποσότητα που απορρίφθηκε μαζί με την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, εγκατεστημένη στο **δωμάτιο ελέγχου του φορτίου** (cargo control room).

β) Τη **μονάδα ηλεκτρικής ισχύος και παροχής αέρα ελέγχου** για τη λειτουργία του συστήματος εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο.

γ) Τη **μονάδα αναλύσεως δείγματος**, που τοποθετείται στο αντλιοστάσιο και αναλύει τη διαλυμένη ποσότητα του φορτίου στο έρμα.

δ) Την **αντλία δειγματοληψίας έρματος** εγκατεστημένη στο αντλιοστάσιο.

ε) Τον **μετρητή ροής του έρματος**, το ροόμετρο που απορρίπτεται πάνω στον σωλήνα εξαγωγής.



Σχ. 15.3α

Εγκατάσταση δικτύου συστήματος ελέγχου απορρίψεως ελαίου.

στ) Την **αυτόματη βαλβίδα** προς τη θάλασσα που τοποθετείται στην εξαγωγή του πλοίου και διακόπτει την απόρριψη του έρματος, όταν η περιεκτικότητα αυξηθεί πάνω από το επιτρεπόμενο όριο, στέλνοντας το έρμα στη δεξαμενή καταλοίπων μέσω αυτόματης βαλβίδας προς τη δεξαμενή.

Οι **μέθοδοι** που χρησιμοποιούνται στον μετρητή περιεκτικότητας στην ανάλυση της διαλυμένης ποσότητας του φορτίου στο έρμα που απορρίπτεται εκτός πλοίου είναι:

α) Με δειγματοληψία από τον σωλήνα εξαγωγής και ανάλυση με υπεριώδη ακτινοβολία.

β) Με αισθητήρες που βασίζονται στην τεχνολογία laser και υπεριώδους ακτινοβολίας (σχ. 15.3β).

Όλες οι καταγραφές από τις απορρίψεις έρματος είναι υποχρεωτικό να διατηρούνται στο πλοίο από την ημερομηνία απορρίψεως και για χρόνο που ορίζεται από τη ΔΣ MARPOL 73/78.

Ανάλογη συσκευή ελέγχου περιεκτικότητας ελαίου (σχ. 15.3γ), τοποθετείται και στους διαχωριστές ελαίου σεντίνων για τον έλεγχο του νερού που απορρίπτεται από το μηχανοστάσιο στη θάλασσα. Λαμβάνει δείγμα από την έξοδο του διαχωριστή, το οποίο



Σχ. 15.3β

Αισθητήρας που βασίζεται στην τεχνολογία laser.

ελέγχεται από **αισθητήρα ελαίου** (oil sensor), που λειτουργεί με λυχνία εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας.

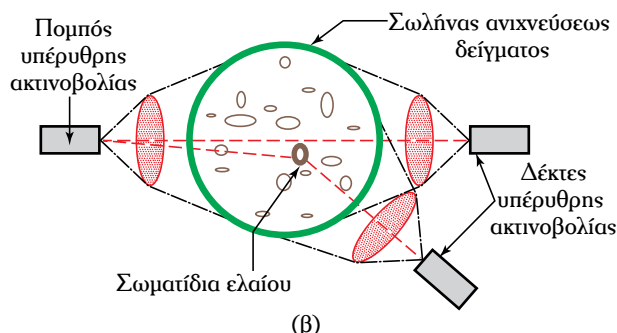
15.4 Αποτεφρωτές (incinerators).

Η αυστηρή νομοθεσία που αφορά στη ρύπανση της θάλασσας και στα όρια που έχουν θεσπισθεί απαγορεύει εντελώς την απόρριψη ανεπεξεργαστων λυμάτων, απορριμμάτων χρησιμοποιημένων



(α)

Αισθητήρας
ελαίου



(β)

Σχ. 15.3γ

(α) Συσκευή ελέγχου περιεκτικότητας ελαίου για διαχωριστές σεντίνων μηχανοστασίου και
(β) το σύστημα εκπομπής και δεκτών υπέρυθρης ακτινοβολίας του αισθητήρα του ελαίου.

ορυκτελαίων, λάσπης πετρελαίου και ελαίου από το μπλοφάρισμα των φυγοκεντρικών διαχωριστών και ακαθάρτων υπολειμμάτων των σεντίνων από τους διαχωριστές.

Η τελική απαλλαγή από αυτά επιτυγχάνεται με τη χρήση του αποτεφρωτή (σχ. 15.4α), ο οποίος, όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, αποτελεί ένα πλήρες σύστημα διαθέσεως αποβλήτων.

Ένας αποτεφρωτής αποτελείται από:

α) Τον θάλαμο καύσεως με επένδυση από πυρίμαχο υλικό.

β) Έναν βοηθητικό καυστήρα πετρελαίου ντίζελ, για την αρχική ανάφλεξη της λάσπης πετρελαίου και ελαίου, που είναι ρυθμισμένος να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση του καυσίμου.

γ) Έναν καυστήρα λάσπης πετρελαιοειδών, που ψεκάζει μέσα στον θάλαμο καύσεως τα κατάλοιπα, τα οποία συλλέγονται στις δεξαμενές και λειτουργεί σε συνδυασμό με τον βοηθητικό καυστήρα.

δ) Τον ανεμιστήρα, που παρέχει τον αέρα για την καύση στον θάλαμο με πίεση, μέσω ενός διασκορπιστή, ώστε ο εισερχόμενος αέρας να στροβιλίζεται με το καύσιμο επιτυγχάνοντας καλύτερη ανάμειξη στην καύση των πετρελαιοειδών ή καλύτερη καύση των στερεών υλικών.

ε) Την πόρτα εισαγωγής των στερεών υλικών στον θάλαμο καύσεως του αποτεφρωτή και την πόρτα για τον καθαρισμό της τέφρας που συλλέγεται. Η πόρτα εισαγωγής ασφαλίζεται παραμένοντας κλειστή κατά τη λειτουργία του αποτεφρωτή, ενώ τοποθετείται κατάλληλη διάταξη διακοπής της λειτουργίας του ανεμιστήρα όταν είναι ανοικτή.

στ) Τον πίνακα ελέγχου με τους διακόπτες επιλογής της λειτουργίας των καυστήρων, δηλαδή αν λειτουργεί ο βοηθητικός καυστήρας κατά την εκκίνηση,

**Σχ. 15.4α**

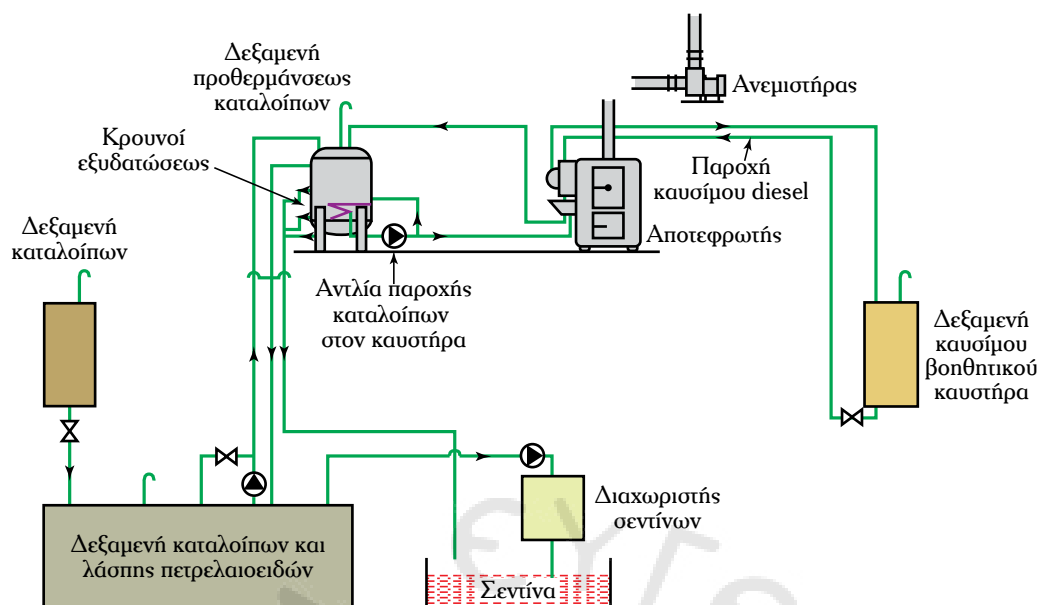
Σύστημα αποτεφρωτή πλοίου.

ή αν λειτουργούν παράλληλα οι δύο καυστήρες, ο βοηθητικός και ο καυστήρας λυμάτων ή μόνο ο καυστήρας λυμάτων.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η καύση των πετρελαιοειδών αποβλήτων, λόγω της λασπώδους υφής τους, προθερμαίνονται στην ιδιαίτερη δεξαμενή πριν την καύση τους στον αποτεφρωτή (σχ. 15.4β). Με τη θέρμανση στη δεξαμενή επιτυγχάνεται ο αρχικός διαχωρισμός από την υγρασία που περιέχουν και το νερό που συγκεντρώνεται στον πυθμένα της δεξαμενής απομακρύνεται με κατάλληλα τοποθετημένο κρουνό εξυδατώσεως.

Η παροχή του καυσίμου στον καυστήρα της λάσπης πραγματοποιείται από ξεχωριστή αντλία. Στο δίκτυο της αντλίας τοποθετούνται βαλβίδες επανασυκκοφορίας, για να μην παγώνει και εγκλωβίζεται το καύσιμο στο δίκτυο.

Εκτός των πετρελαιοειδών, από τους κανονισμούς ορίζεται ότι η καύση υλικών από πολυβινυλοχλωρί-



Σχ. 15.4β

Τυπική εγκατάσταση και δίκτυο αποτεφρωτή.

διο (PVC) επιτρέπεται μόνο όταν η θερμοκρασία καύσεως είναι πάνω από 750°C , ώστε να επιτυγχάνεται η ολική αποτέφρωση των υλικών.

Η τέφρα που απομένει στον θάλαμο καύσεως συλλέγεται στο πλοίο και απορρίπτεται στη θάλασσα μόνο όταν δεν έχουν αποτεφρωθεί συνθετικά υλικά. Διαφορετικά διατίθεται στην ξηρά μαζί με απορρίμματα που απαγορεύεται να απορριφθούν στη θάλασσα. Οι αποτεφρωτές απαγορεύεται να λειτουργούν κοντά στις ακτές, ενώ διατηρείται ημερολόγιο με τον χρόνο και τη θέση του πλοίου κατά τη λειτουργία τους.

15.5 Συστήματα επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων (sewage treatment system).

Η φυσική διάλυση των λυμάτων πραγματοποιείται με την απορρόφηση οξυγόνου σε ποσότητες που θα ήταν καταστρεπτικές για το θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης, τα βακτήρια που υπάρχουν σε αυτά δημιουργούν έντονη μυρωδιά και αναθυμιάσεις λόγω της παραγωγής υδρόθειου. Γι' αυτό, η απόρριψη ανεπεξεργάστων βιολογικών λυμάτων σε ειδικές περιοχές ή κοντά στις ακτές απαγορεύεται με νομοθεσία, ενώ τυχόν απόρριψη καλύπτεται σε καθορισμένη απόσταση από την ξηρά.

Προκειμένου να ανταποκρίνονται τα πλοία στα διεθνή πρότυπα, διαθέτουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη μέθοδο, χημική ή βιολογική. Το δίκτυο αποχετεύσεως στα πλοία μπορεί να λειτουργεί με αντλίες κενού και

τζιφάρια, ενώ πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο εγκαταστάσεώς του, ώστε να αποτρέπεται η δημιουργία περιοχών που εμποδίζουν τη ροή των λυμάτων.

15.5.1 Σύστημα χημικής επεξεργασίας.

Η χημική μέθοδος αποτελείται από ένα σύστημα που ελαχιστοποιεί τη συλλογή λυμάτων. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια δεξαμενή επεξεργασίας και αποθηκεύσεως των στερεών σωματιδίων λυμάτων, μέχρι τη στιγμή που είτε θα απορριφθούν σε περιοχές που επιτρέπεται, είτε θα παραδοθούν σε εγκαταστάσεις συλλογής στην ξηρά. Για τη μείωση της ποσότητας που συλλέγεται, τα υγρά από τους νιπτήρες και τα μπάνια απορρίπτονται απ' ευθείας στη θάλασσα, ενώ οποιαδήποτε άλλα λύματα (π.χ. τουαλέτες) απομονώνονται από το αποχετευτικό δίκτυο και συγκρατούνται.

Το σύστημα αποτελείται από τη δεξαμενή επεξεργασίας των λυμάτων και από δεξαμενές ιζήματος, των οποίων ο αριθμός ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή και το μέγεθος της εγκαταστάσεως. Η τυπική διάταξη ενός συστήματος χημικής επεξεργασίας παρουσιάζεται στο σχήμα 15.5α.

Τα ακατέργαστα λύματα από τις τουαλέτες με τη βαρύτητα ή με αντλία εισέρχονται στη δεξαμενή επεξεργασίας, όπου προστίθεται υλικό για τη χλωρίωσή τους και διαλύονται βοηθώντας τη χημική επεξεργασία.

Περαιτέρω διάσπαση των λυμάτων σε μικρά

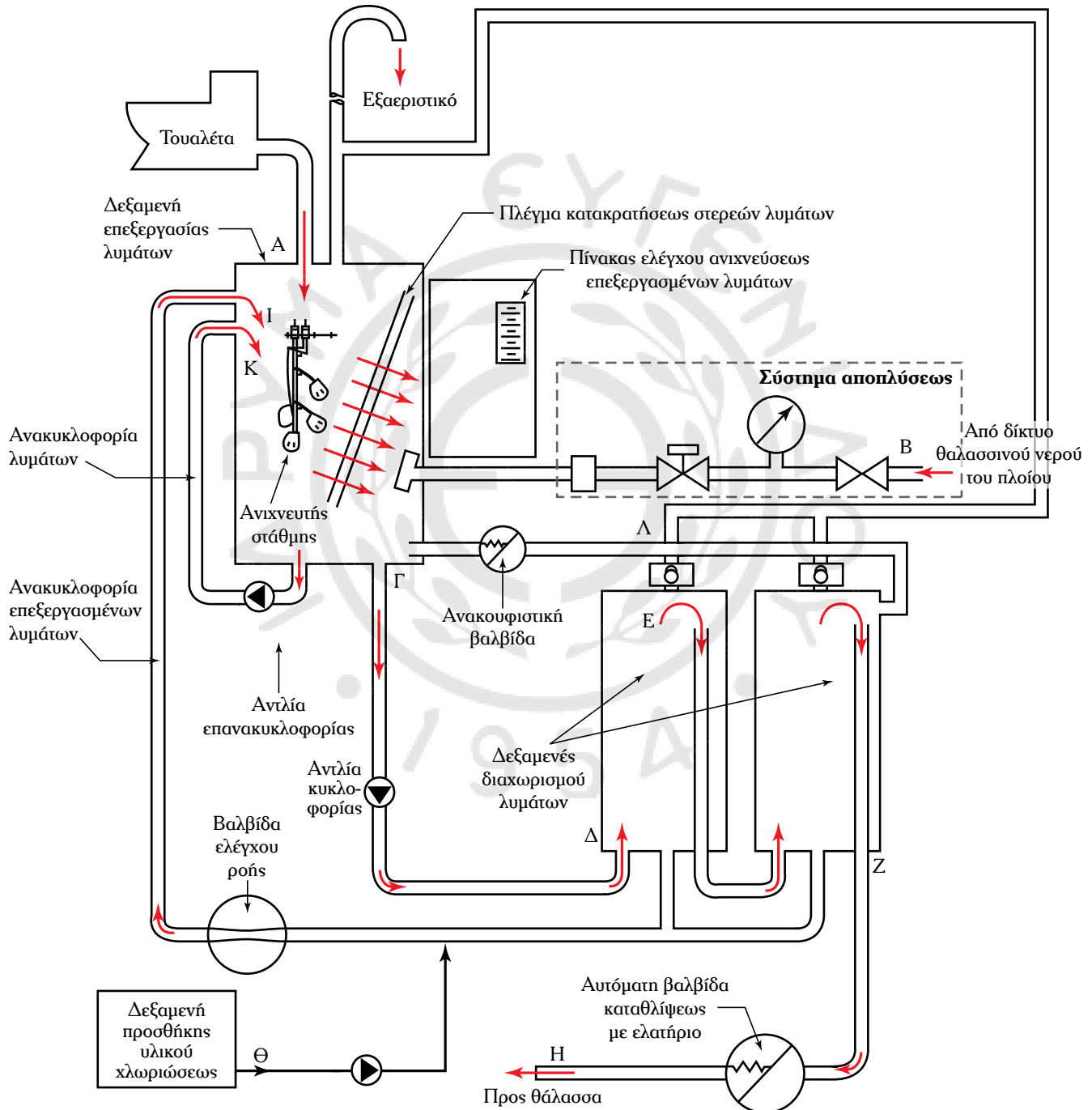
σωματίδια επιτυγχάνεται με την αντλία επανακυκλοφορίας, που βρίσκεται στη δεξαμενή. Στη συνέχεια, διέρχονται μέσω δικτυωτού πλέγματος στο επόμενο στάδιο των δεξαμενών ιζήματος και σταδιακά καταθλίβονται εκτός πλοίου.

Από τον πυθμένα κάθε δεξαμενής ιζήματος, τα μεγαλύτερα σωματίδια επιστρέφουν μέσω δικτύου

στη δεξαμενή επεξεργασίας για περαιτέρω διάλυση, ενώ στο δικτυωτό πλέγμα παρέχεται νερό **με αντίθετη ροή** (back wash), αποτρέποντας τη δημιουργία επικαθίσεων σε αυτό.

15.5.2 Σύστημα βιολογικής επεξεργασίας.

Με τη βιολογική μέθοδο, τα λύματα υφίστανται



Σχ. 15.5α

Διάταξη συστήματος χημικής επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων.

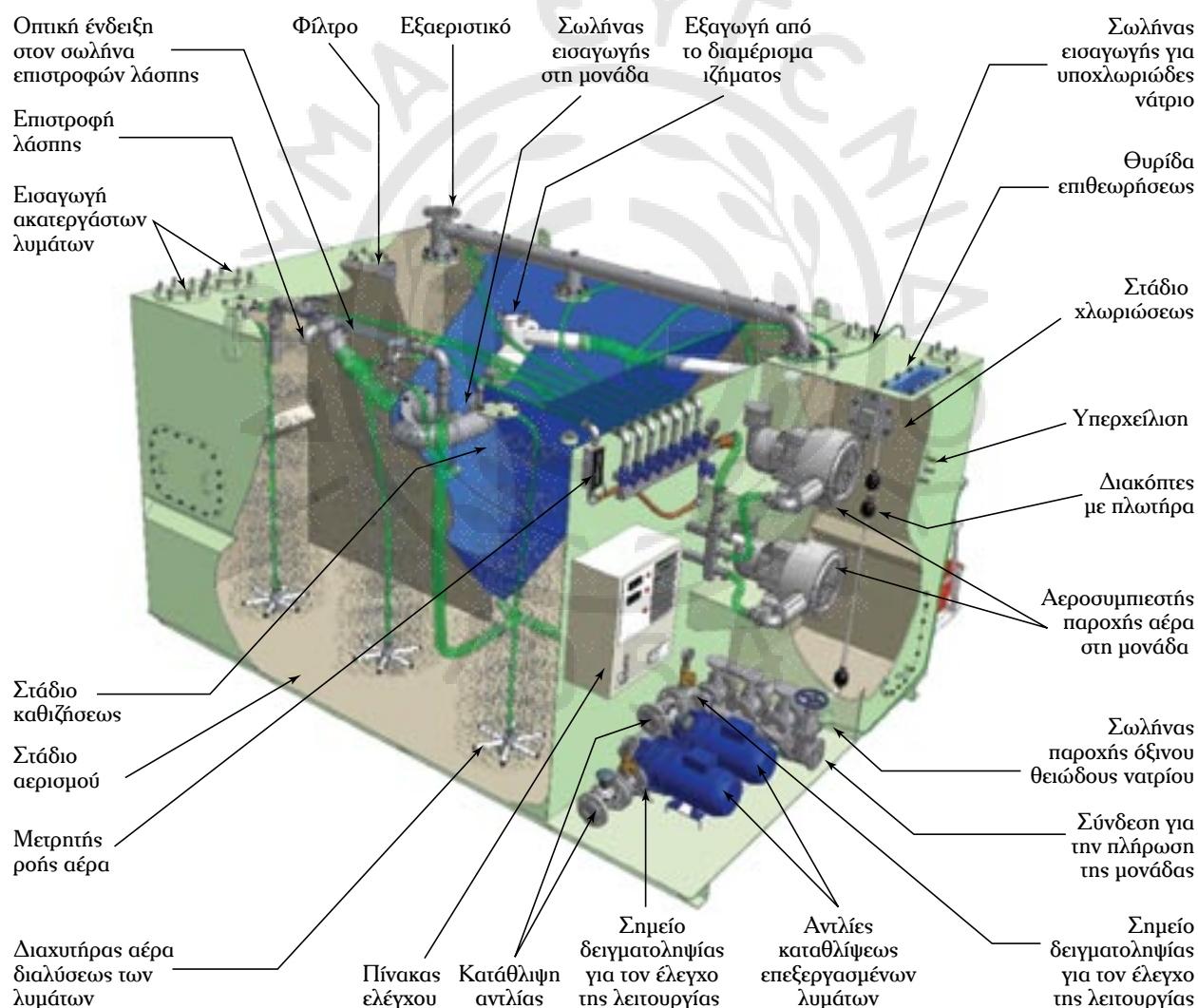
επεξεργασία με τέτοιον τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η απόρριψή τους ακόμα και στις παράκτιες περιοχές.

Με τη μέθοδο αυτή, μία δεξαμενή είναι χωρισμένη σε τρία διαδοχικά στάδια, το **στάδιο αερισμού**, το **στάδιο καθιζήσεως** και το **στάδιο χλωρίωσης** (σχ. 15.5β).

Στο πρώτο στάδιο με εκτεταμένη παροχή αέρα από τον αεροσυμπιεστή της μονάδας τα λύματα αναδεύονται, ενώ δημιουργείται κλίμα πλούσιο σε οξυγόνο, ώστε τα αερόβια βακτηρίδια και οι μικροοργανισμοί να αναπτύσσονται και να πολλαπλασιάζονται διαλύοντας τα λύματα που μετατρέπονται σε λάσπη. Στη συνέχεια, το ρευστό από τα διαλυμένα λύματα ρέει στο δεύτερο στάδιο καθιζήσεως, όπου

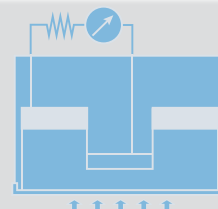
χωρίζεται το υγρό από τη λάσπη. Το υγρό ρέει προς το τρίτο στάδιο της χλωρίωσης, όπου εξοντώνονται τα βακτηρίδια που έχουν απομείνει, και τελικά μέσω αντλίας απορρίπτονται απ' το πλοίο. Το στάδιο της χλωρίωσης πραγματοποιείται με υγρό, μέσω δοσομετρικής αντλίας ή με ταμπλέτες σε κατάλληλη υποδοχή του συστήματος. Η λάσπη παραμένει στη μονάδα και ανακυκλώνεται συνεχώς, ενώ κάθε δύο-τρεις μήνες απορρίπτεται σε περιοχές, πάντα μακριά από τις ακτές, όπου επιτρέπεται η απόρριψη αυτών των λυμάτων.

Στο στάδιο της καταθλίψεως μπορεί να πραγματοποιείται και αποχλωρίωση του υγρού που απορρίπτεται.



Σχ. 15.5β

Σύστημα βιολογικού καθαρισμού λυμάτων.



16.1 Εισαγωγή.

Ο **Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ)**¹ παρέχει, μέσα από κύκλους συζητήσεων και συνεδριάσεων, το παγκόσμιο ρυθμιστικό πλαίσιο εντός του οποίου λειτουργούν οι θαλάσσιες μεταφορές. Στα χρόνια που ακολούθησαν μετά την υιοθέτηση από τον ΙΜΟ των ΔΣ SOLAS και MARPOL, η ασφάλεια και η επίδραση των Δ/Ξ στο περιβάλλον έχει βελτιωθεί σημαντικά. Όμως, η βελτίωση δεν είναι αποτέλεσμα που επήλθε μόνο από την επιβολή κανονισμών, αλλά και από την υιοθέτηση ορθών πρακτικών, από όσους απασχολούνται στη ναυτιλιακή βιομηχανία, και αφορούν στην ασφάλεια και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Στο έργο του ΙΜΟ συμβάλλουν σημαντικά, μέσω της ενεργούς συμμετοχής τους, οργανισμοί όπως το Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο (International Chamber of Shipping – ICS), οι πετρελαϊκές εταιρείες-μέλη του OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) και η Διεθνής Ένωση Λιμένων (International Association of Ports and Harbors – IAPH). Το κύριο μέλημα των οργανισμών, είναι η ύπαρξη ενός αντιπροσωπευτικού προτύπου, με ομοιόμορφους κανόνες ασφαλείας, ώστε να διευκολύνεται η επικοινωνία πλοίων και τερματικών σταθμών για το κοινό τους συμφέρον. Επίσης, το πρότυπο αυτό πρέπει να αποτελεί σημείο αναφοράς των συμφερόντων της ναυτιλιακής βιομηχανίας σε ρυθμιστικά όργανα, όπως ο ΙΜΟ.

Το πρότυπο αυτό παρέχεται μέσω του **Διεθνούς Οδηγού Ασφάλειας Δεξαμενοπλοίων και Εγκαταστάσεων Ξηράς** (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals – ISGOTT όπως είναι

ευρέως γνωστός), ο οποίος αρχικά δημοσιεύθηκε το 1978 και αποτελούσε τον συνδυασμό των περιεχομένων του **Οδηγού Ασφάλειας Πετρελαιοφόρων**, (Tanker Safety Guide Petroleum), που δημοσιεύθηκε από τον ICS και του **Διεθνούς Οδηγού Πετρελαιοφόρων και Εγκαταστάσεων Ξηράς** (International Oil Tanker and Terminal Safety Guide), που δημοσιεύθηκε για λογαριασμό του OCIMF.

Ο ISGOTT έχει αναγνωριστεί από τον ΙΜΟ ως ένα από τα κύρια εγχειρίδια αναφοράς του ναυτιλιακού κλάδου για την ασφαλή λειτουργία των πετρελαιοφόρων και των εγκαταστάσεων ξηράς που τα υπηρετούν, αναφέροντας σε πολλές οδηγίες του συστάσεις του ΙΜΟ. Όμως για να ανταποκρίνεται ο ναυτιλιακός κλάδος στη δέσμευση συνεχούς βελτιώσεως και να διατηρηθεί ο ISGOTT ενημερωμένος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αλλαγές στον σχεδιασμό των πλοίων, που αντανακλούν τις εξελίξεις της τεχνολογίας και τις πρακτικές λειτουργίας τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις και νέες εκδόσεις του ISGOTT. Σε αυτές δίνεται έμφαση στις τεχνολογικές εξελίξεις, αλλά και στις νέες λειτουργικές πρακτικές, όπως η φιλοσοφία που βασίζεται στον έλεγχο των κινδύνων λόγω του ανθρώπινου παράγοντα, ώστε για τον περιορισμό τους οι εντοπιζόμενοι κίνδυνοι να αντιμετωπίζονται με μέτρα που εφαρμόζονται για τον συγκεκριμένο σκοπό. Με αυτόν τον τρόπο, οι οδηγίες διαχειρίσεως των κινδύνων εστιάζουν στους ανθρώπους που εμπλέκονται στη λειτουργία των πλοίων και συνεπώς είναι απολύτως εναρμονισμένες με τον **Διεθνή Κώδικα Ασφαλούς Διαχειρίσεως** (International Safety Management – ISM) και τη στρατηγική του ΙΜΟ, που σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα.

¹ Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO) τελεί υπό την οργανωτική διοίκηση των Ηνωμένων Εθνών και είναι υπεύθυνος για το σύνολο των ναυτικών υποθέσεων. Ο ΙΜΟ αποτελείται από εκπροσώπους κάθε κράτους-μέλους και ασχολείται κυρίως με την εκπόνηση και επικύρωση συμβάσεων και αποφάσεων σχετικών με την ασφάλεια των πλοίων, τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και την ασφάλεια της ναυτιλίας. Αφού επικυρωθούν από τον ΙΜΟ, αυτές οι συμβάσεις και αποφάσεις τίθενται σε ισχύ από κάθε κράτος-μέλος, το οποίο ενσωματώνει τις συμβάσεις και τις αποφάσεις στην εθνική του νομοθεσία.

16.2 Περιεχόμενα του ISGOTT.

Σκοπός του ISGOTT είναι η παροχή συμβουλών, οι οποίες θα βοηθήσουν το προσωπικό που απασχολείται είτε άμεσα στα Δ/Ξ, είτε στις εγκαταστάσεις ξηράς που τα εξυπηρετούν. Μέσω του ISGOTT δεν παρέχεται μία οριστική περιγραφή του τρόπου διεξαγωγής των ενεργειών, αλλά με καθοδήγηση και παραδείγματα σε κύριους τομείς, δίδεται η δυνατότητα να ακολουθούνται και εναλλακτικοί τρόποι αντιμετώπισης διαφόρων λειτουργικών πτυχών, ώστε οι ενέργειες ελέγχων και εργασιών να πραγματοποιούνται με ασφάλεια. Έτσι οι οδηγίες για την αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων, που απαιτούνται στη διεξαγωγή των λειτουργικών ενεργειών και στους ελέγχους, μπορούν να προσαρμοστούν γρήγορα στις αλλαγές των κανονισμών και στις τεχνολογικές εξελίξεις. Ως εκ τούτου, οι κατευθύνσεις που δίδονται από τον ISGOTT είναι σε πολλές περιπτώσεις εκ προθέσεως μη δεσμευτικές, προδίδοντας τη δυνατότητα να εφαρμοστούν εναλλακτικές διαδικασίες στη διαχείριση των δραστηριοτήτων στο πλοίο και στις εγκαταστάσεις ξηράς, εφόσον ανταποκρίνονται στις ανάγκες που δημιουργούνται, αρκεί να έχουν την έγκριση ορισμένων φορέων (π.χ. νηογνώμονες, εθνικοί φορείς κ.λπ.).

Επίσης, οι εναλλακτικές διαδικασίες που εφαρμόζονται επί του πλοίου ή προτείνονται από το σύστημα λειτουργικής διαχείρισης της εταιρείας στην οποία ανήκει, μπορεί να υπερβαίνουν τις οδηγίες που περιέχονται στον ISGOTT. Σε αυτήν την περίπτωση, η διαδικασία που ακολουθείται πρέπει να βασίζεται στη διαχείριση των κινδύνων, η οποία θα πρέπει να ενσωματώνεται στο σύστημα εντοπισμού και αξιολογήσεως του κινδύνου και ταυτόχρονα να αποδεικνύεται ο τρόπος διαχειρίσεώς του. Μία ακόμα απαραίτητη προϋπόθεση κατά την εφαρμογή εναλλακτικών ενεργειών είναι να ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις του **ISM**. Επί πλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι παρεχόμενες οδηγίες από τον ISGOTT, σε όλες τις περιπτώσεις, εφαρμόζονται με την προϋπόθεση ότι δεν έρχονται σε αντίθεση με κάποιον κανονισμό, εθνικό ή τοπικό ή της τερματικής εγκαταστάσεως. Αρκεί βέβαια να εξασφαλιστεί ότι οι εμπλεκόμενοι γνωρίζουν το αντικείμενο αυτών των απαιτήσεων, ώστε οι ενέργειες της διαχείρισης των κινδύνων να είναι ολοκληρωμένες.

Γενικά, ο ISGOTT χωρίζεται σε **ενότητες** (parts), με περαιτέρω διαχωρισμό της κάθε ενότητας σε κεφάλαια, των οποίων το περιεχόμενο εξαρ-

τάται απ' το έτος εκδόσεως του κάθε οδηγού, τις αναθεωρήσεις και τις βελτιώσεις που έχουν υιοθετηθεί στο διάστημα αυτό. Ο διαχωρισμός αποσκοπεί στο να παρέχει στον αναγνώστη μία συγκεντρωμένη γενική εικόνα των κινδύνων που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη λειτουργία των συστημάτων ενός Δ/Ξ, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των φορτίων που μεταφέρονται, τη διασύνδεση του πλοίου με τις εγκαταστάσεις ξηράς και την οργάνωση της τερματικής εγκαταστάσεως.

Το περιεχόμενο των κεφαλαίων του ISGOTT αναφέρεται αρχικά στις βασικές ιδιότητες των πετρελαιοειδών και στους κινδύνους με βάση τη σύστασή τους, στους τρόπους ελέγχου και στα όργανα που χρησιμοποιούνται, καθώς και στις συνθήκες που εγκυμονούν κινδύνους για πλοία και τερματικούς σταθμούς. Στη συνέχεια, κάποια κεφάλαια αναφέρονται στην καταπολέμηση πυρκαγιάς και στην ασφάλεια, στις ευθύνες σύμφωνα με τον Διεθνή Κώδικα για την Ασφάλεια των Πλοίων και των Λιμενικών Εγκαταστάσεων (International Ship and Port Facility Security Code – ISPS), σε τεχνικές πληροφορίες για τα συστήματα ελέγχου του φορτίου και των αερίων αυτού, στα σχέδια ασφαλείας και στα συστήματα που διατίθενται στο πλοίο (π.χ. ο πυροσβεστικός εξοπλισμός). Οι οδηγίες που παρέχονται για την ασφάλεια ενισχύονται με αναφορές που σχετίζονται με τη διαχείριση της ασφαλείας και των περιστατικών εκτάκτου ανάγκης, τις προφυλάξεις και τους κινδύνους κατά την είσοδο σε κλειστούς χώρους, τις εργασίες που πραγματοποιούνται επί του πλοίου, όπως οι καθαρισμοί και η πλύση των δεξαμενών και οι ενέργειες για τη μεταφορά και την αποθήκευση επικινδύνων υλικών. Σε νεότερες εκδόσεις αναλύεται περαιτέρω η προσέγγιση των κινδύνων σε σχέση με τον ρόλο που διαδραματίζει ο άνθρωπος παράγοντας στη διαχείριση των κινδύνων, οι οδηγίες και οι πληροφορίες για τις ώρες αναπαύσεως των μελών του πληρώματος και οι πολιτικές σχετικά με τα ναρκωτικά και το αλκοόλ. Η ολοκλήρωση των περιεχομένων του οδηγού γίνεται με ενότητες που αφορούν στην οργάνωση και στις εργασίες της τερματικής εγκαταστάσεως, στα συστήματα και στον εξοπλισμό τους, στη διαχείριση του Δ/Ξ και στη συνεργασία του με την τερματική εγκατάσταση, καθώς και στις προφυλάξεις κατά τη διάρκεια χειρισμών του φορτίου και στις ενέργειες κατά την παραλαβή καυσίμων.

Ο ISGOTT αφορά σε φορτία αργού πετρελαίου και προϊόντων του που μεταφέρονται με Δ/Ξ και όχι με χημικά ή φορτία υγροποιημένων αερίων, τα

οποία αποτελούν θέμα άλλων εξειδικευμένων οδηγιών. Επίσης, δεν παρέχει οδηγίες σχετικά με τον σχεδιασμό ή την κατασκευή των Δ/Ξ , διότι οι σχετικές πληροφορίες παρέχονται από τις εθνικές αρχές και εξουσιοδοτημένους φορείς, όπως οι νπογνώμονες, ούτε παρέχει πληροφορίες που αφορούν στην ασφαλή ναυσιπλοΐα, στις λειτουργίες ελικοπτέρου και ναυπηγείων, αν και αναπόφευκτα σε ορισμένα κεφάλαια μπορεί να γίνεται αναφορά σ' αυτά.

Ένα αντίγραφο του ISGOTT συνιστάται να υπάρχει σε κάθε Δ/Ξ και τερματικό σταθμό, προκειμένου να παρέχει συμβουλές σχετικά με τις λειτουργικές διαδικασίες κατά την φορτοεκφόρτωση και την κοινή ευθύνη που έχουν το πλήρωμα του πλοίου και οι εργαζόμενοι στον τερματικό σταθμό από τις ενέργειες που διενεργούνται κατά τη διασύνδεση αυτή.

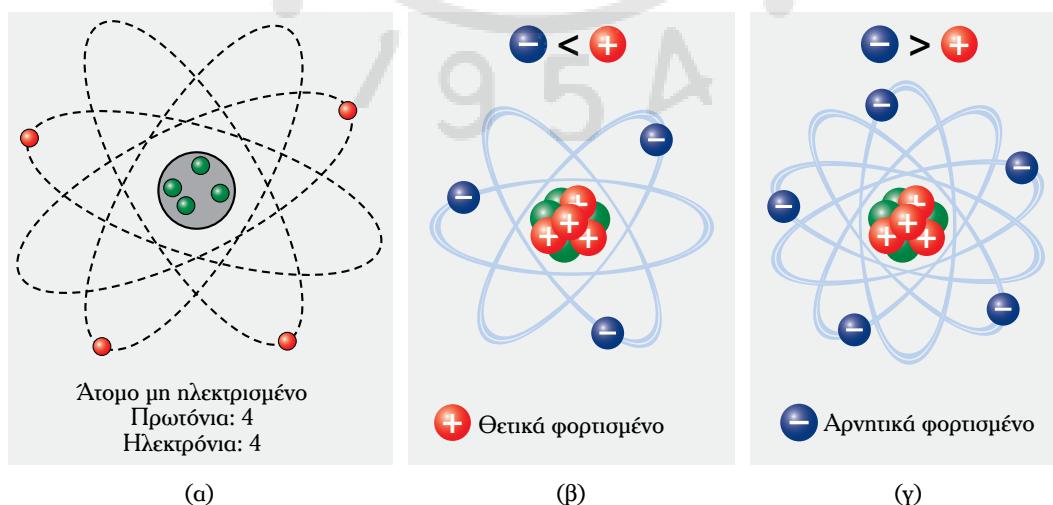
Στις επόμενες παραγράφους αναπτύσσονται, σύμφωνα με τα πρότυπα που περιέχει ο ISGOTT, οι θεμελιώδεις αρχές που δημιουργούν κινδύνους αναφλέξεως και οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα στα Δ/Ξ , στην πρόληψη και στον έλεγχο των αερίων μειγμάτων και του στατικού ηλεκτρισμού, με σκοπό την εξάλειψη των κινδύνων αναφλέξεως και πυρκαγιάς.

16.3 Στατικός ηλεκτρισμός.

Πολλές φορές ο **στατικός ηλεκτρισμός** μπορεί να γίνει αντιληπτός ως τίναγμα ή ως ήχος, για παράδειγμα όταν πλησιάζουμε στην πόρτα ενός αυτοκινήτου, όταν πέφτει ένας κεραυνός ή όταν βλέπουμε μια αστραπή.

Ο στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να θεωρηθεί ως μια ανισοκατανομή ηλεκτρικού φορτίου. Η ανισοκατανομή αυτή συμβαίνει όταν σ' ένα άτομο ή μόριο προστίθεται ή αφαιρείται ένα ηλεκτρόνιο (σχ. 16.3). Δημιουργείται κάθε φορά που δύο ανομοιογενή υλικά, στα οποία υπάρχουν σωματίδια, τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια, έρχονται σε επαφή και στη συνέχεια διαχωρίζονται. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και μπορούν να μετακινηθούν σχετικά εύκολα από ή προς το υλικό, όπως όταν τρίβουμε ένα υλικό με κάποιο άλλο. Λόγω της τριβής μεταξύ των υλικών, το υλικό που χάνει ηλεκτρόνια φορτίζεται θετικά, ενώ το άλλο φορτίζεται αρνητικά. Έτσι δημιουργούνται θετικά και αρνητικά φορτία, παρόλο που το συνολικό φορτίο δεν αλλάζει.

Εφόσον το υλικό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, τα φορτία που υπάρχουν σ' αυτό μετακινούνται. Αν όμως το υλικό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, τότε τα φορτία παραμένουν στο υλικό για μεγάλο χρονικό διάστημα ως **στατικός ηλεκτρισμός**. Τα υλικά στα οποία συσσωρεύονται φορτία στατικού ηλεκτρισμού ονομάζονται **στατικοί συσσωρευτές**. Όσο τα δύο ανόμοια υλικά είναι σε επαφή και ακίνητα το ένα προς το άλλο, τα φορτία είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και η διαφορά δυναμικού πολύ μικρή, ώστε να μην υπάρχει κανένας κίνδυνος. Όταν όμως τα ηλεκτρικά φορτισμένα υλικά απομακρύνονται ή κινούνται το ένα προς το άλλο, τα συσσωρευμένα φορτία που έχουν την τάση να ξαναενωθούν, εάν είναι πολύ ισχυρά, δημιουργούν ηλεκτροστατική εκκένωση (σπινθήρα) υπερπηδώντας τον αέρα που χωρίζει



Σχ. 16.3

(α) Άτομο μη ηλεκτρισμένο, (β) θετικά φορτισμένο όπου τα πρωτόνια είναι λιγότερα από τα ηλεκτρόνια και (γ) αρνητικά φορτισμένο, όπου τα ηλεκτρόνια είναι περισσότερα από τα πρωτόνια.

τα δύο υλικά. Η δημιουργία των εκκενώσεων αυτών οφείλεται στον στατικό ηλεκτρισμό.

Γι' αυτό τα πετρελαιοειδή, που γενικά έχουν χαμηλή αγωγιμότητα, έχουν την τάση να συσσωρεύουν εύκολα στατικά φορτία, με αποτέλεσμα να υπάρχει πάντα ο κίνδυνος αναφλέξεως από ηλεκτρικές εκκενώσεις.

16.4 Δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού στα Δ/Ξ .

Τα υγρά καύσιμα θεωρούνται συσσωρευτές στατικού ηλεκτρισμού, όταν ο ρυθμός με τον οποίο δημιουργείται η συσσώρευση του ηλεκτροστατικού φορτίου υπερβαίνει τον ρυθμό με τον οποίο διασκορπίζεται. Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υγρού, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός διασκορπισμού του ηλεκτρικού φορτίου. Όσον αφορά στα καύσιμα ισχύει ότι τα περισσότερα από τα διυλισμένα προϊόντα είναι συσσωρευτές στατικού ηλεκτρισμού, με εξαίρεση τα υπολείμματα πετρελαίου ή τις πίσσες.

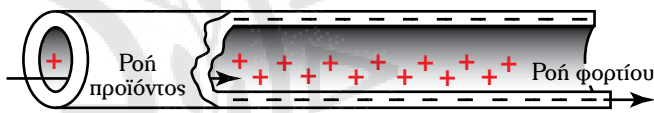
Γενικά, ο στατικός ηλεκτρισμός στα προϊόντα πετρελαίου παράγεται λόγω της ροής τους μέσα στις σωληνώσεις και στον υπόλοιπο εξοπλισμό. Λόγω της συνεχούς επαφής του προϊόντος με τα τοιχώματα του αγωγού, το προϊόν πετρελαίου φορτίζεται θετικά, ενώ ο αγωγός αρνητικά (σχ. 16.4α). Τα ηλεκτρικά φορτία που δημιουργούνται είναι τόσο μεγαλύτερα, όσο μεγαλύτερη είναι η τριβή. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει μεγαλύτερη παροχή, κατά τη διέλευση του ρευστού μέσα από στενές σωληνώσεις, από φίλτρα, μετρητές, αντλίες, κατά τον παφλασμό του ρευστού, κατά την τυρβώδη ροή και στην περίπτωση υπάρξεως ξένων σωμάτων στη μάζα του ρευστού, π.χ. σταγόνες νερού, σκουριά) (σχ. 16.4β).

Τα φορτία στατικού ηλεκτρισμού συσσωρεύονται τόσο στο καύσιμο όσο και στο περίβλημα (σωληνώσεις, δεξαμενές, βαρέλια). Όταν το υγρό ηρεμήσει, το ηλεκτρικό φορτίο του το διαρρέει με ρυθμό που εξαρτάται από τη φύση και την αγωγιμότητά του, έως ότου τελικώς τα φορτία ισορροπήσουν και το υγρό γίνει πάλι ουδέτερο. Ο χρόνος που χρειάζεται για να ξαναγίνει ουδέτερο, ονομάζεται **χρόνος ανακουφίσεως** ή **χρόνος αποφορτίσεως**. Οι ηλεκτροστατικοί σπινθήρες εκδηλώνονται όταν κατά τη ροή ο ρυθμός δημιουργίας στατικών φορτίων είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό διαρροής των φορτίων.

Οι κίνδυνοι που παρουσιάζει η δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού στα Δ/Ξ , οφείλονται στις εκκενώ-

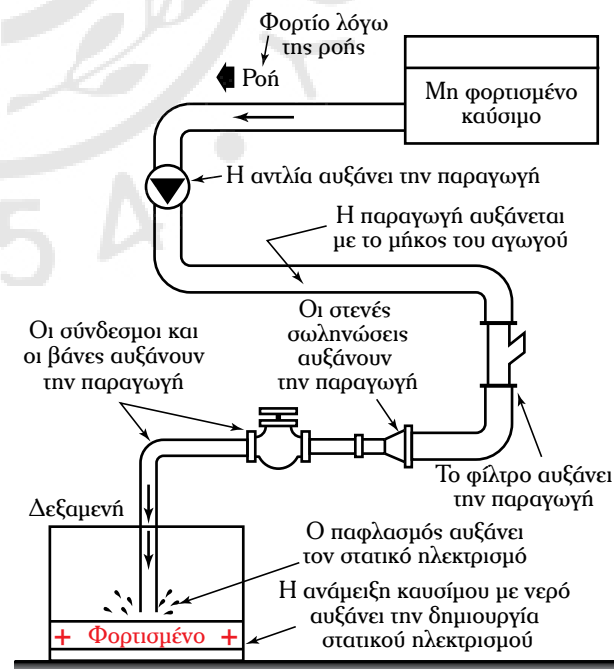
σεις που είναι πιθανόν να εμφανιστούν στο εύφλεκτο περιβάλλον τους. Γι' αυτό, ο στατικός ηλεκτρισμός αποτελεί την αιτία που μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά και εκρήξεις κατά τη διαχείριση του πετρελαίου και κατά τη διάρκεια άλλων εργασιών στα Δ/Ξ [καθαρισμός των δεξαμενών, εμβάπτιση ενός μετρητή στο φορτίο πετρελαίου (dipping), λήψη μετρήσεων του κενού χώρου από την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου της δεξαμενής (ullaging) και η δειγματοληψία)]. Έτσι, οι δραστηριότητες αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου, το οποίο είναι δυνατόν να κυκλοφορήσει ξαφνικά με ηλεκτροστατικές εκκενώσεις, που έχουν αρκετή ενέργεια, ώστε να οδηγήσουν στην ανάφλεξη του μείγματος ευφλέκτων αερίων υδρογονανθράκων και αέρα που υπάρχει μέσα στις δεξαμενές φορτίου.

Βέβαια, δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος αναφλέξεως όταν δεν υπάρχει εύφλεκτο μείγμα ή αν απουσιάζει κάποιο από τα στοιχεία που το αποτελούν (παράγρ. 9.5). Ως εκ τούτου, η κύρια προφύλαξη στα Δ/Ξ έναντι των ηλεκτροστατικών κινδύνων είναι να



Σχ. 16.4α

Δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού.



Σχ. 16.4β

Διακίνηση καυσίμων και παραγωγή στατικού ηλεκτρισμού.

προστατεύονται οι δεξαμενές φορτίου με αδρανές αέριο.

Τα τρία βασικά στάδια, που είναι πιθανό να οδηγήσουν στη δημιουργία ηλεκτροστατικού κινδύνου είναι: η φόρτιση με διαχωρισμό, η φόρτιση με συσσώρευση και η ηλεκτροστατική αποφόρτιση.

16.4.1 Φόρτιση με διαχωρισμό.

Η φόρτιση με διαχωρισμό συμβαίνει κάθε φορά που δύο ανόμοια υλικά έρχονται σε επαφή. Η επαφή μπορεί να είναι μεταξύ δύο στερεών, μεταξύ ενός στερεού και ενός υγρού ή μεταξύ δύο μη αναμειγμένων υγρών. Σ' αυτήν την περίπτωση στο σημείο επαφής ένα φορτίο (ας το ορίσουμε θετικό) κινείται από το υλικό Α προς το υλικό Β, έτσι ώστε τα υλικά Α και Β να αποκτούν αντίστοιχα αρνητικό και θετικό φορτίο. Εφόσον τα υλικά παραμένουν σε επαφή και ακίνητα το ένα προς το άλλο η απόσταση μεταξύ των φορτίων που αναπτύσσονται είναι μικρή, άρα και η διαφορά τάσεως μεταξύ των φορτίων με αντίθετο πρόσημο εξαιρετικά μικρή ώστε δεν υπάρχει κίνδυνος εκκένωσης και αναφλέξεως. Όταν όμως τα υλικά κινούνται το ένα ως προς το άλλο, τα φορτία είναι δυνατόν να διαχωριστούν και η διαφορά τάσεως να αυξηθεί. Τα στατικά φορτία όμως μπορεί να διαχωριστούν εξαιτίας πολλών ενεργειών, που πραγματοποιούνται στα Δ/Ξ. Τέτοιες ενέργειες είναι:

α) Η ροή του υγρού πετρελαίου μέσω αγωγών.

β) Η ροή μέσω λεπτών φίλτρων (με δυνατότητα φιλτράνσεως λιγότερη των 150 **microns**¹), που δημιουργούν υψηλό επίπεδο φορτίσεως του πετρελαίου, ως αποτέλεσμα της επαφής του καυσίμου με την επιφάνεια του φίλτρου.

γ) Η παρουσία ξένων προσμείξεων (π.χ. σταγονιδίων νερού, σκουριάς ή άλλων σωματιδίων).

δ) Η καθίζηση ενός στερεού ή ενός μη αναμειγμένου υγρού μέσω του πετρελαίου (π.χ. νερό, σκουριά ή άλλα σωματίδια που υπάρχουν στο πετρέλαιο). Η καθίζηση μπορεί να συνεχιστεί για 30 min μετά την ολοκλήρωση της φορτώσεως σε μία δεξαμενή.

ε) Οι φυσαλίδες που ανεβαίνουν μέσα σ' ένα υγρό και συνήθως περιέχουν αδρανές αέριο, ατμοσφαιρικό αέρα ή αέρια φορτίου, τα οποία εμφανίζονται στη δεξαμενή απ' το φύσημα (παροχή αέρα με πίεση στο δίκτυο που παρασύρει το φορτίο που έχει απομείνει στους σωλήνες του δικτύου) των γραμμών φορτίου ή από τους ατμούς αερίων του φορτίου που

απελευθερώνονται όταν πέσει η πίεση. Αυτή η διαδικασία μπορεί επίσης να συνεχιστεί έως και 30 min μετά την ολοκλήρωση της φορτώσεως.

στ) Οι αναταράξεις και η εκτίναξη σταγονιδίων του ρευστού στα πρώιμα στάδια της φορτώσεως πετρελαίου σε μια άδεια δεξαμενή.

ζ) Η εκτόξευση σωματιδίων ή σταγονιδίων από ένα ακροφύσιο (π.χ. κατά τη διάρκεια εργασιών με ατμό ή κατά την έγχυση του αδρανούς αερίου).

η) Η εκτίναξη ή η απομάκρυνση ενός υγρού σε μία στερεή επιφάνεια (π.χ. κατά τις εργασίες πλυσίματος των δεξαμενών με νερό ή στα αρχικά στάδια της πληρώσεως μίας δεξαμενής με πετρελαιοειδή).

θ) Η έντονη τριβή και ο μετέπειτα διαχωρισμός ορισμένων συνθετικών πολυμερών (π.χ. η ολίσθηση ενός σχοινιού πολυπροπυλενίου με γάντια στα χέρια).

Όταν παρουσιάζεται διαχωρισμός ηλεκτρικών φορτίων, μπορεί να αναπτυχθεί μεταξύ τους μεγάλη διαφορά τάσεως, ενώ μπορεί να δημιουργηθεί σε όλον το χώρο και στις γειτονικές περιοχές μία διαφορά δυναμικού, που δημιουργεί **ηλεκτροστατικό πεδίο**. Παραδείγματα αυτού είναι τα εξής:

α) Το ηλεκτρικό φορτίο σε μία δεξαμενή ενός φορτισμένου πετρελαίου, παράγει ηλεκτροστατικό πεδίο σε όλη τη δεξαμενή, τόσο στο υγρό που περιέχεται σ' αυτήν όσο και στον ελεύθερο χώρο πάνω από το φορτίο.

β) Το ηλεκτρικό φορτίο της ομίχλης νερού που σχηματίζεται από την πλύση των δεξαμενών παράγει ηλεκτροστατικό πεδίο, σε όλη τη δεξαμενή.

Εάν ένας μη φορτισμένος αγωγός υπάρχει σε ένα ηλεκτροστατικό πεδίο έχει περίπου την ίδια τάση με την περιοχή που καταλαμβάνει. Αν το πεδίο προκαλεί μια μετακίνηση του ηλεκτρικού φορτίου εντός του αγωγού, τότε το φορτίο που δημιουργείται από το πεδίο στο ένα άκρο του αγωγού είναι ίσο με το φορτίο που αναπτύσσεται στο αντίθετο άκρο. Τα φορτία που διαχωρίζονται με αυτόν τον τρόπο είναι γνωστά ως **επαγωγικά φορτία** και εφόσον διατηρούνται χωριστά λόγω της παρουσίας του ηλεκτροστατικού πεδίου, είναι σε θέση να συμβάλλουν στην ηλεκτροστατική αποφόρτιση.

16.4.2 Φόρτιση με συσσώρευση.

Η φόρτιση με συσσώρευση πραγματοποιείται όταν τα στατικά φορτία που έχουν διαχωριστεί, ανα-

¹ Microns ή micrometre: το εκατομμυριοστό του μέτρου, 10^{-6} m.

συνδυαστούν και εξουδετερώσουν το ένα το άλλο. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως **αποφόρτιση**. Εάν ένα ή και τα δύο σώματα από τα διαφορετικά υλικά που μεταφέρουν φορτίο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, τότε η αναδιάταξη του φορτίου παρεμποδίζεται, και το υλικό διατηρεί ή συσσωρεύει το φορτίο που αναπτύσσεται σ' αυτό. Η χρονική περίοδος, κατά την οποία το φορτίο συγκρατείται στο υλικό, χαρακτηρίζεται από τον χρόνο αποφορτίσεώς του, ο οποίος σχετίζεται με την αγωγιμότητά του. Άρα, όσο χαμηλότερη είναι η αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αποφορτίσεως.

Εάν ένα υλικό έχει υψηλή αγωγιμότητα, η αναδιάταξη του φορτίου είναι πολύ γρήγορη εξουδετερώνοντας τη διαδικασία διαχωρισμού και συνεπώς η συσσώρευση του στατικού ηλεκτρισμού στο υλικό είναι λίγη έως ανύπαρκτη.

Ένα τέτοιο εξαιρετικά αγωγίμο υλικό μπορεί να διατηρήσει ή να συσσωρεύει φορτίο, μόνο αν είναι μονωμένο μ' ένα υλικό, που είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, ώστε ο ρυθμός της αποφορτίσεως να εξαρτάται από τον χρόνο αποφορτίσεως του υλικού με τη μικρότερη αγωγιμότητα.

Ως εκ τούτου ο σημαντικότερος παράγοντας που διέπει την αποφόρτιση των υλικών είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα των διαχωρισμένων υλικών και των προσθέτων υλικών, τα οποία μπορούν να παρεμβληθούν μεταξύ τους μετά τον διαχωρισμό τους.

Διυλισμένα καθαρά πετρελαϊκά προϊόντα τείνουν να έχουν πολύ χαμηλή αγωγιμότητα. Έτσι, ο χρόνος αποφορτίσεως είναι περίπου μισό λεπτό. Αυτό δεν πρέπει να συγχέεται με τον **χρόνο διαχωρισμού**, που αφορά στα **πετρελαιοειδή στατικής συσσωρεύσεως**, τα οποία ορίζονται ως αυτά που έχουν αγωγιμότητα μικρότερη από 50 pS/m (**pico Siemens/meter**)¹, συσσωρεύουν εύκολα φορτίο και έχουν μεγάλο χρόνο ανακουφίσεως. Τα πετρελαιοειδή στατικής συσσωρεύσεως αποτελούν τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου, όπως οι βενζίνες, η κηροζίνη, το white spirit, τα αεροπορικά καύσιμα, η νάφθα, το ντήζελ, τα λιπαντικά, που έχουν μεγαλύτερη τάση να δημιουργούν στατικό ηλεκτρισμό σε σχέση με τα βαρύτερα πετρελαιοειδή, όπως το μαζούτ, η άσφαλτος, το αργό πετρέλαιο.

16.4.3 Ηλεκτροστατική αποφόρτιση.

Η ηλεκτροστατική αποφόρτιση συμβαίνει όταν το ηλεκτροστατικό πεδίο γίνεται πολύ ισχυρό και η ηλεκτρική αντίσταση ενός μονωτικού υλικού «σπάει» ξαφνικά δημιουργώντας ακαριαία αποφόρτιση του υλικού με τη μορφή ηλεκτρικής εκκενώσεως. Με την εμφάνιση της ακαριαίας ηλεκτρικής εκκενώσεως, η σταδιακή ροή που σχετίζεται με την αναδιάταξη του φορτίου αντικαθίσταται από ακαριαίο ανασυνδυασμό και αποφόρτιση του υλικού, δημιουργώντας τοπικά έντονη θέρμανση (π.χ. σπινθήρα), με συνέπεια να αποτελέσει πηγή αναφλέξεως, εάν αυτό συμβαίνει σε εύφλεκτο περιβάλλον. Αν και όλα τα μονωτικά μέσα μπορούν να επηρεαστούν απ' τους σπινθήρες και τις ηλεκτροστατικές εκκενώσεις, το κύριο μέλημα στη λειτουργία των Δ/Ξ είναι η πρόληψη των σπινθήρων στον αέρα ή των ατμών από την εξάτμιση του πετρελαίου μέσα στη δεξαμενή, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι πηγές αναφλέξεως.

Τα ηλεκτροστατικά πεδία που δημιουργούνται στις δεξαμενές ή στα διαμερίσματά τους δεν είναι ομοιόμορφα, λόγω του σχήματος των δεξαμενών και της παρουσίας αγωγίμων εσωτερικών προεξοχών (π.χ. οι ανιχνευτές, τα συστήματα ελέγχου και τα κατασκευαστικά στοιχεία ενισχύσεως των δεξαμενών). Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι ενισχυμένη γύρω από αυτές τις προεξοχές και κατά συνέπεια είναι τα σημεία όπου γενικά εμφανίζεται συχνά η πιθανότητα ηλεκτρικών εκκενώσεων. Έτσι, μία εκκένωση μπορεί να συμβεί μεταξύ μίας προεξοχής και ενός μονωμένου αγωγού ή μεταξύ μιας αγωγίμης προεξοχής στον χώρο της δεξαμενής χωρίς να φτάσει στην επιφάνεια ενός άλλου αντικειμένου. Αυτές οι ηλεκτρικές εκκενώσεις, αν υπάρξουν ποτέ, σπάνια μπορούν να προκαλέσουν ανάφλεξη, στα πλαίσια της κανονικής λειτουργίας του Δ/Ξ .

Οι ηλεκτροστατικές αποφορτίσεις έχουν:

α) Μορφή **κορώνας** ή **στεμματόμορφης αποφορτίσεως** (corona), που είναι η διάχυτη αποφόρτιση από έναν μόνο αιχμηρό αγωγό, που απελευθερώνει βραδέως μέρος της διαθέσιμης ενέργειας. Γενικά, η αποφόρτιση μορφής κορώνας δεν είναι ικανή από μόνη της να προκαλέσει την ανάφλεξη ενός αερίου, (π.χ. του προπανίου ή των ατμών από την εξάτμιση της βενζίνης).

¹ pico Siemens/meter: Το Siemens (S στο SI) είναι η μονάδα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η αγωγιμότητα είναι το αντίστροφο της αντιστάσεως και ως εκ τούτου ένα Siemens είναι ίσο με το αντίστροφο ενός Ohm.

β) **Μορφή αποφορτίσεως βούρτσα** (brush discharge), δηλαδή η διάχυτη αποφόρτιση από ένα ιδιαίτερα φορτισμένο μη αγωγίμο αντικείμενο σε έναν αμβλύ αγωγό. Είναι ταχύτερη απ' ό,τι η αποφόρτιση μορφής κορώνας και απελευθερώνει περισσότερη ενέργεια. Επίσης, είναι δυνατόν μία αποφόρτιση μορφής βούρτσας να προκαλέσει την ανάφλεξη σε αέρια και ατμούς από την εξάτμιση καυσίμων. Παραδείγματα αυτής της μορφής αποφορτίσεως είναι:

- Μεταξύ μίας αγωγίμης συσκευής δειγματοληψίας, που βυθίζεται σε μία δεξαμενή και της ηλεκτρικά φορτισμένης επιφάνειας του υγρού πετρελαίου που περιέχεται σε αυτή.
- Μεταξύ μίας αγωγίμης προεξοχής, όπως τα σταθερά ακροφύσια πλύσεως των δεξαμενών ή ενός κατασκευαστικού στοιχείου της δεξαμενής και ενός φορτισμένου υγρού πετρελαίου, το οποίο φορτώνεται με υψηλό ρυθμό.

γ) **Μορφή αποφορτίσεως με σπινθήρα** (spark), δηλαδή μίας σχεδόν στιγμιαίας αποφορτίσεως μεταξύ δύο αγωγών, όπου σχεδόν το σύνολο της ενέργειας του ηλεκτροστατικού πεδίου μετατρέπεται σε θερμότητα και είναι ικανή να προκαλέσει την ανάφλεξη σε εύφλεκτα ατμόσφαιρα. Παραδείγματα εμφανίσεως αυτής της μορφής αποφορτίσεως με σπινθήρα είναι:

- Μεταξύ ενός αγωγίμου αντικειμένου, το οποίο δεν είναι γειωμένο και επιπλέει στην επιφάνεια ενός φορτισμένου υγρού και παρακειμένων κατασκευαστικών στοιχείων της δεξαμενής, όπως τα τοιχώματα.
- Μεταξύ του μη γειωμένου αγωγίμου εξοπλισμού, που αιωρείται στη δεξαμενή και της παρακειμένης κατασκευής της δεξαμενής.
- Μεταξύ αγωγίμων εργαλείων ή υλικών που παρέμειναν μετά από εργασίες συντηρήσεως και ήταν μονωμένα με πανί ή άλλο μονωτικό υλικό.

Οι σπινθήρες μπορεί να προκλέσουν ανάφλεξη, εφόσον πληρούνται διάφορες προϋποθέσεις, όπως:

- Ένα κενό αρκετά μικρό για να επιτρέψει η αποφόρτιση να πραγματοποιηθεί υπό την παρούσα διαφορά τάσεως, αλλά το κενό αυτό να μην είναι τόσο μικρό ώστε να σβήσει η φλόγα.
- Επαρκές ηλεκτρικό φορτίο, ώστε να υποστηρίξει το ελάχιστο ποσό ενέργειας που απαιτείται για την έναρξη της καύσεως.

δ) **Μορφή πολλαπλασιαστικής εκκενώσεως βούρτσας** (propagating brush discharge), που είναι μία ταχεία, υψηλής ενέργειας μορφή αποφορτίσεως από ένα φύλλο υλικού υψηλής ειδικής αντιστάσεως

και υψηλής διηλεκτρικής αντοχής, του οποίου οι δύο επιφάνειες είναι έντονα φορτισμένες, αλλά με αντίθετη πολικότητα. Η αποφόρτιση ξεκινάει με το βραχυκύκλωμα (δηλ. την ηλεκτρική σύνδεση) μεταξύ των δύο επιφανειών. Το διπολικό φύλλο μπορεί να είναι σε «ελεύθερο χώρο» ή όπως είναι πιο φυσιολογικό, να έχει μία επιφάνεια σε στενή επαφή με ένα αγωγίμο υλικό (συνήθως γειωμένο).

Το βραχυκύκλωμα μπορεί να συμβεί:

- Από τη διάτρηση της επιφάνειας (μηχανικά ή με ένα ηλεκτρικό μέσο).
- Με την προσέγγιση και των δύο επιφανειών ταυτόχρονα με δύο ηλεκτρόδια, που συνδέονται ηλεκτρικά και
- όταν μία από τις επιφάνειες είναι γειωμένη και έρθει σε επαφή η άλλη επιφάνεια με έναν γειωμένο αγωγό.

Μία αποφόρτιση με μορφή πολλαπλασιαστικής εκκενώσεως βούρτσας μπορεί να είναι ιδιαίτερα ενεργητική (π.χ. 1 joule ή περισσότερο) και έτσι να προκαλέσει εύκολα την ανάφλεξη σε ένα εύφλεκτο μείγμα. Επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι εποχικές επιστρώσεις πάχους μεγαλύτερου των 2 mm σε δεξαμενές, σωλήνες φορτώσεως και εξαρτήματα μπορεί να οδηγήσουν σε συνθήκες όπου υπάρχει η δυνατότητα πολλαπλασιαστικής εκκενώσεως βούρτσας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι απαραίτητη η συμβουλή εμπειρογνομόνων σχετικά με τις απαιτήσεις γειώσεως του φορτίου. Ωστόσο, για τα περισσότερα πλοία, το πάχος εποχικών βαφών δεν είναι γενικά μεγαλύτερο από τα 2 mm.

16.5 Αγωγιμότητα στα φορτία των Δ/Ξ.

Τα φορτία που διακινούνται από τα Δ/Ξ και στις εγκαταστάσεις ξηράς, καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, ταξινομούνται ως μη-αγωγίμα, ημιαγωγίμα και αγωγίμα (πίν. 16.5). Αναλυτικότερα:

α) Τα **μη-αγωγίμα** (non-conductive materials or non-conductors) υλικά έχουν τόσο χαμηλή αγωγιμότητα, ώστε το ηλεκτρικό φορτίο που λαμβάνουν, θα το διατηρήσουν για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ μπορεί να αποτρέψουν την απώλεια του ηλεκτρικού φορτίου από τα αγωγίμα υλικά λειτουργώντας ως μονωτικά. Η φόρτισή τους πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή, διότι μπορεί να δημιουργήσουν εμπρηστικές αποφορτίσεις μορφής βούρτσας σε κοντινά γειωμένους αγωγούς. Επί πλέον, επειδή μεταφέρουν το ηλεκτρικό φορτίο, είναι δυνατόν να προκαλέσουν φόρτιση σε γειτονικά μονωμένα αγωγίμα υλικά, που πιθανόν εν συνεχεία να δημιουργήσουν σπινθήρες.

Μη-αγώγιμα υγρά θεωρούνται αυτά που έχουν αγωγιμότητα μικρότερη των 50 pS/m. Τέτοια υγρά συχνά αναφέρονται ως υγρά στατικής συσσωρεύσεως. Πετρελαϊκά προϊόντα, όπως τα καθαρά έλαια (αποστάγματα) συχνά εμπίπτουν σ' αυτήν την κατηγορία με αγωγιμότητα συνήθως κάτω των 10 pS/m. Χημικά διαλυτικά και ραφινάρισμα καύσιμα μπορεί να έχουν αγωγιμότητες λιγότερο από 1 pS/m. Τα στερεά μη-αγώγιμα υλικά περιλαμβάνουν τα πλαστικά, όπως το πολυπροπυλένιο, το PVC, το νάιλον και πολλά είδη από καουτσούκ, τα οποία είναι δυνατόν να γίνουν περισσότερο αγώγιμα εάν οι επιφάνειές τους έχουν μολυνθεί με ακαθαρσίες ή υγρασία.

β) Τα **ημιαγώγιμα υλικά** ή **υλικά ενδιάμεσης**

αγωγιμότητας (semi-conductive materials or intermediate conductors). Τα υγρά που ανήκουν σ' αυτήν την ενδιάμεση κατηγορία έχουν αγωγιμότητα άνω των 50 pS/m και μαζί με τα αγώγιμα υγρά, είναι συχνά γνωστά ως **υγρά μη-στατικής συσσωρεύσεως**. Παραδείγματα ημιαγωγίμων υγρών είναι τα βαριά πετρέλαια (που περιέχουν υπολειμματικά υλικά) και τα ακατέργαστα, τα οποία τυπικά έχουν αγωγιμότητες με εύρος αγωγιμότητας στην περιοχή των 10.000–100.000 pS/m. Τα στερεά σε αυτήν την ενδιάμεση κατηγορία γενικά περιλαμβάνουν υλικά όπως το ξύλο, ο φελλός και οι φυσικές οργανικές ουσίες. Η αγωγιμότητά τους οφείλεται στη δυνατότητα απορροφήσεως του νερού, ενώ αυξάνεται όταν

Πίνακας 16.5
Τυπική τιμή αγωγιμότητας και ταξινόμηση για μία σειρά πετρελαϊκών προϊόντων και του νερού.

Προϊόν	Τυπική αγωγιμότητα (pico Siemens/meter)	Ταξινόμηση/Κατάταξη
Μη αγώγιμα		
Ξυλένιο	0,1	Συσσώρευση ηλεκτροστατικού φορτίου
Βενζίνη	0,1 – 1	– » –
Ντίζελ πολύ χαμηλής περιεκτικότητας θείου	0,1 – 1,000	– » –
Λιπαντικό λάδι (βάση)	0,2 – 50	– » –
Καύσιμο αεροσκαφών	1	– » –
Τολουόλιο	1 – 50	– » –
Κηροζίνη	1 – 100	– » –
Ντίζελ	< 2	– » –
Κυκλοεξάνιο	10 – 300	– » –
Ημιαγώγιμα		
Καύσιμα με αντιστατικά βελτιωτικά	50 – 300	Αδυναμία συσσωρεύσεως ηλεκτροστατικού φορτίου
Βαριά καύσιμα	50 – 1.000	– » –
Αγώγιμα μαζούτ	> 1.000	– » –
Άσφαλτος	> 1.000	– » –
Αλκοόλες	100.000	– » –
Κετόνες	100.000	– » –
Αγώγιμα		
Αποσταγμένο νερό	1.000.000.000	Αδυναμία συσσωρεύσεως ηλεκτροστατικού φορτίου
Νερό	100.000.000.000	– » –

στις επιφάνειές τους υπάρχει υγρασία ή ακαθαρσίες. Εντούτοις, όταν είναι καινούργια ή καθαριστούν επιμελώς και απομακρυνθεί η υγρασία (ξηραθούν), η αγωγιμότητά τους μπορεί να είναι αρκετά χαμηλή και να καταταγούν στα υλικά μη αγωγίμης κλίμακας. Αν τα υλικά στην ενδιάμεση ομάδα αγωγιμότητας δεν είναι γειωμένα, η αγωγιμότητά τους είναι αρκετά υψηλή, ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση ηλεκτροστατικού φορτίου. Ωστόσο, η αγωγιμότητά τους είναι συνήθως αρκετά χαμηλή, ώστε να ανασταλεί η δημιουργία σπινθήρων.

Για τα ημιαγώγιμα υλικά, ο κίνδυνος ηλεκτροστατικής εκκενώσεως είναι μικρός, ιδιαίτερα όταν τηρούνται οι πρακτικές του ISGOTT, μειώνοντας ακόμη περισσότερο την πιθανότητα να προκαλέσουν ανάφλεξη. Ωστόσο, ο χειρισμός τους πρέπει να γίνεται με προσοχή, διότι η πραγματική αγωγιμότητά τους δεν είναι γνωστή και αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων.

γ) Τα **αγώγιμα υλικά** (conductive materials), που στην περίπτωση των υγρών είναι το σύνολο των υδατικών διαλυμάτων, συμπεριλαμβανομένου του θαλασσινού νερού, ενώ στην περίπτωση των στερεών είναι τα μέταλλα.

Η σημαντική ιδιότητα των αγωγίμων υλικών είναι ότι δεν έχουν την ικανότητα να κρατήσουν ένα ηλεκτρικό φορτίο, εκτός αν είναι μονωμένα, αλλά και πάλι το ηλεκτροστατικό φορτίο που διαθέτουν, αποφορτίζεται ακαριαία με την πρώτη ευκαιρία, δημιουργώντας ενδεχομένως εμπρηστικό σπινθήρα.

16.6 Ηλεκτροστατικές ιδιότητες των αερίων και των αιωρούμενων σταγονιδίων (ομίχλη).

Τα αέρια, υπό κανονικές συνθήκες, είναι ιδιαίτερα μονωτικά, όμως όταν υπάρχουν αιωρούμενα σταγονίδια από ένα υγρό στον ατμοσφαιρικό αέρα ή σε μείγμα αερίων, προκαλούνται σημαντικές μεταβολές στην αγωγιμότητα του χώρου που καταλαμβάνεται. Η ηλεκτρική φόρτιση στα αιωρούμενα σταγονίδια (ομίχλη) αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της εκτοξεύσεως ενός υγρού από ένα ακροφύσιο, όπως:

α) Τα πετρελαϊκά προϊόντα, καθώς εισέρχονται σε μια άδεια δεξαμενή με μεγάλη ταχύτητα.

β) Τα σταγονίδια από συμπυκνώσεις ατμού.

γ) Τα αιωρούμενα σταγονίδια νερού, που δημιουργούνται κατά την πλύση μιας δεξαμενής.

δ) Τα αιωρούμενα σταγονίδια αργού πετρελαίου κατά τη διάρκεια πλύσεως με αργό πετρέλαιο και

ε) Τα παγωμένα σωματίδια, που σχηματίζονται στο ακροφύσιο του συστήματος εκτονώσεως του

υγρού διοξειδίου του άνθρακα κατά την αντιμετώπιση μίας πυρκαγιάς, τα οποία πιθανόν να είναι ηλεκτρικά φορτισμένα.

Όμως, παρά το γεγονός ότι το υγρό, π.χ. το νερό, μπορεί να έχει πολύ υψηλή αγωγιμότητα, ο χρόνος ανακουφίσεως ή ο χρόνος αποφορτίσεως των σταγονιδίων του παρεμποδίζεται από τις μονωτικές ιδιότητες του αερίου που τα περιβάλλει. Έτσι, η σταδιακή αποφόρτιση, η οποία λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της καθιζήσεως των σωματιδίων ή των σταγονιδίων στο περιβάλλον μιας δεξαμενής, εάν η ισχύς του πεδίου μέσα στη δεξαμενή είναι υψηλή, δημιουργεί ηλεκτρική αποφόρτιση μορφής κορώνας σε αιχμηρές προεξοχές που μπορεί να υπάρχουν. Όταν κατά την αποφόρτιση υφίσταται επαρκής ενέργεια, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ανάφλεξη των αερίων υδρογονανθράκων με το μείγμα του αέρα.

16.7 Προφυλάξεις από τον κίνδυνο του στατικού ηλεκτρισμού.

Ο όρος **κίνδυνος στατικού ηλεκτρισμού** (electrostatic hazard) στα Δ/Ξ αναφέρεται στις συγκεκριμένες προϋποθέσεις και στα στοιχεία εκείνα που συμβάλλουν σε μία επικίνδυνη ηλεκτροστατική εκκένωση, η οποία δύναται να οδηγήσει σε ανάφλεξη κατά τη διάρκεια εργασιών, που συνήθως πραγματοποιούνται στις δεξαμενές φορτίου.

Η ανάπτυξη ηλεκτρικού φορτίου από στατικό ηλεκτρισμό μπορεί από μόνη της να μην αποτελεί την αιτία πιθανού κινδύνου πυρκαγιάς ή εκρήξεως. Θα πρέπει όμως να υπάρχει αποφόρτιση ή ένας ξαφνικός ανασυνδυασμός των χωρισμένων αρνητικών και θετικών φορτίων, που θα οδηγήσει στην δημιουργία σπινθήρα ικανού να προκαλέσει ανάφλεξη σε ένα εύφλεκτο περιβάλλον. Οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για μία εκρηκτική ανάφλεξη είναι: ένα αγωγή μέσο για τη δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού, η συσσώρευση του ηλεκτρικού φορτίου και η διατήρηση κατάλληλης διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού, η αποφόρτιση με την δημιουργία σπινθήρα και τέλος η πραγματοποίηση της αποφορτίσεως σε περιβάλλον που περιέχει εύφλεκτο μείγμα.

Σύμφωνα με τις προηγούμενες παραγράφους (παράγρ. 16.3 έως 16.4.1), η εμφάνιση στατικού ηλεκτρικού φορτίου οφείλεται στην τριβή των σημείων επαφής δύο διαφορετικών υλικών, που οδηγεί σε ένα ηλεκτρικό διπλό στρώμα κατά μήκος των παρακειμένων επιφανειών, ώστε όταν διαχωριστούν, να παραμείνουν ανόμοια φορτισμένα, διατηρώντας

ανάλογα την αγωγιμότητά τους το ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι, όπως ήδη αναφέραμε, παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου και διαχωρισμός λαμβάνει χώρα όταν τα υγρά κινούνται σε επαφή με άλλα, κατά τη διέλευση από φίλτρα, κατά την ανάμειξή τους με άλλα υγρά και κατά την ανατάραξή τους.

Κατ' επέκταση, οι παράγοντες που επιδεινώνουν τον στατικό διαχωρισμό σε εργασίες φορτώσεως ενός Δ/Ξ είναι οι αναταράξεις και η εκτίναξη σταγονιδίων (κοινώς πιτσιλισμα), κάθε μίξη ή διήθηση (φιλτράρισμα) του φορτίου, οι ακαθαρσίες που μπορεί να περιέχονται στο φορτίο, η διαταραχή και καθίζηση του νερού και η απαγωγή του εγκλωβισμένου αέρα ή άλλων αερίων. Επίσης, στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να εμφανιστεί σε αναταράξεις κατά την εκφόρτωση, κατά την απαλλαγή υγρών από τις δεξαμενές ακαθάρτων, κατά την αποστράγγιση του δικτύου φορτώσεως με παροχή αέρα, κατά το πλύσιμο των δεξαμενών με νερό ή αργό πετρέλαιο και κατά την πλήρωση των δεξαμενών με φορτίο κοντά στο ανώτερο σημείο της δεξαμενής.

Οι γνωστότερες αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν σπινθήρες στα Δ/Ξ είναι:

- α) Οι μονωμένοι αγωγοί.
- β) Οι συσκευές μετρήσεως φορτίου.
- γ) Η πώση των αιωρουμένων σταγονιδίων νερού.
- δ) Οι εύφλεκτες εξατμίσεις πετρελαιοειδών.
- ε) Οι καθαρισμοί με χρήση ατμού.
- στ) Η εναλλαγή φορτίων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, δηλαδή η φόρτωση ενός καυσίμου με χαμηλή πίεση ατμοποίησης (υψηλό σημείο αναφλέξεως), σε μία δεξαμενή στην οποία το προηγούμενο φορτίο είχε υψηλή πίεση ατμοποίησης (χαμηλό σημείο αναφλέξεως), και

ζ) οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του φορτίου.

Γι' αυτό, είναι απαραίτητο να ληφθούν τα ακόλουθα μέτρα προφυλάξεως, που θα μειώσουν δυνητικούς κινδύνους πυρκαγιάς και εκρήξεων από στατικό ηλεκτρισμό κάθε φορά που πραγματοποιούνται εργασίες στην εύφλεκτη ατμόσφαιρα μίας δεξαμενής:

α) Η **σύνδεση** (bonding) των μεταλλικών αντικειμένων με τη μεταλλική δομή του πλοίου (σχ. 16.7α), ώστε να εξαλειφθεί ο κίνδυνος αποφορτίσεώς τους με τη δημιουργία σπινθήρα μεταξύ αυτών και άλλων μεταλλικών αντικειμένων, που πιθανόν να είναι ηλεκτρικά μονωμένα. Στα αντικείμενα αυτά, ενδεικτικά, περιλαμβάνονται τα μεταλλικά εξαρτήματα του εξοπλισμού (σχ. 16.7β) που χρησιμοποιείται στη **βυθο-**

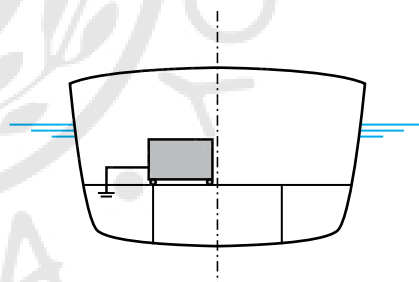
μέτρηση ή στη λήψη μετρήσεων από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού των δεξαμενών και τη δειγματοληψία, τα φορητά εξαρτήματα πλύσεως των δεξαμενών και ο πλωτήρας της μόνιμα εγκατεστημένης συσκευής μετρήσεως στάθμης της δεξαμενής, εάν από τον σχεδιασμό του δεν παρέχεται γείωση μέσω της μεταλλικής ταινίας που τον συγκρατεί.

β) Η **απομάκρυνση ελευθέρων** (κοινώς χύμα) **αντικειμένων** από τις δεξαμενές ή άλλες επικίνδυνες περιοχές, τα οποία δεν μπορούν να συνδεθούν με τη μεταλλική δομή.

γ) Ο **περιορισμός της γραμμικής ταχύτητας του φορτίου** στο αρχικό στάδιο της φορτώσεως, με μέγιστη το 1 m/s, έως ότου δηλαδή:

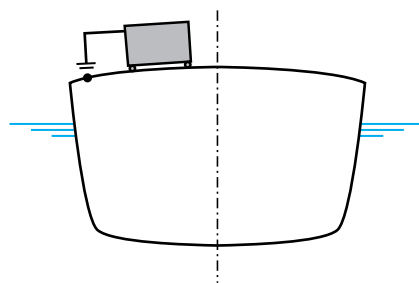
- Ο σωλήνας πληρώσεως της δεξαμενής και οποιοδήποτε άλλο δομικό στοιχείο στη βάση της δεξαμενής έχει βυθιστεί στο διπλάσιο της διαμέτρου του σωλήνα πληρώσεως, ώστε να αποφευχθεί η εκτίναξη σταγονιδίων και ο στροβιλισμός στην επιφάνεια του υγρού.
- Τυχόν νερό, το οποίο συλλέγεται στον σωλήνα να έχει απομακρυνθεί.

Μέχρι να επιτευχθούν οι δύο παραπάνω συνθήκες είναι απαραίτητο η περιορισμένη ταχύτητα του ρυθμού φορτώσεως να διατηρηθεί, είτε για 30 min περίπου, είτε μέχρι να έχει μεταφερθεί στη δεξαμενή



Σχ. 16.7α

Σύνδεση μεταλλικών αντικειμένων με τη μεταλλική δομή του πλοίου.



Σχ. 16.7β

Σύνδεση εξοπλισμού στη μεταλλική δομή του πλοίου.

ποσότητα ρευστού ίση με το διπλάσιο του όγκου του δικτύου φορτώσεως της δεξαμενής (π.χ. ο διπλάσιος όγκος του σωλήνα από τη δεξαμενή της ξηράς έως τη δεξαμενή του πλοίου). Η επιλογή ποιου από αυτά θα ισχύσει εξαρτάται από το ποιο είναι μικρότερο.

δ) Η **περιορισμένη ροή του υγρού** στην είσοδο της δεξαμενής, έως 1 m/s μέγιστη, θα πρέπει να διατηρηθεί σε ολόκληρη τη διάρκεια της φορτώσεως, εκτός εάν το φορτίο είναι «καθαρό». Ως καθαρό υγρό φορτίο ορίζεται αυτό που περιέχει λιγότερο από το 0,5% κατ' όγκο νερό ή άλλο μη αναμείξιμο υγρό και λιγότερο από 10 mg/l (milligram/liter) σε αιωρούμενα στερεά¹, και τέλος

ε) η **αποτροπή του παφλασμού**, με τη χρήση σωλήνα πληρώσεως της δεξαμενής, που καταθλίβει το υγρό κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής.

Επίσης, οι πρόσθετες προφυλάξεις που πρέπει να ληφθούν κατά του στατικού ηλεκτρισμού στη διάρκεια της βυθομετρήσεως, στη λήψη μετρήσεων από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού των δεξαμενών και στη δειγματοληψία από στατικής συσσωρεύσεως έλαια, είναι:

α) Η απαγόρευση της χρήσεως όλου του μεταλλικού εξοπλισμού για τις μετρήσεις της δεξαμενής και τη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της φορτώσεως και για περίοδο 30 min μετά την ολοκλήρωσή της. **Μετά την περίοδο αυτή, ο μεταλλικός εξοπλισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά θα πρέπει πριν την εισαγωγή του στη δεξαμενή, να είναι συνδεδεμένος με ασφάλεια και γειωμένος με τη μεταλλική δομή του πλοίου, ενώ θα πρέπει να παραμείνει γειωμένος μέχρι το τέλος των εργασιών (σχ. 16.7β).**

β) Η απαγόρευση της χρήσεως όλων των μη μεταλλικών δοχείων άνω του 1 lt χωρητικότητας, για τις μετρήσεις της δεξαμενής ή τη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της φορτώσεως και για 30 min μετά την ολοκλήρωσή της. Μη μεταλλικά δοχεία χωρητικότητας κάτω από 1 lt μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη δειγματοληψία σε δεξαμενές οποιαδήποτε στιγμή, με την προϋπόθεση ότι δεν υπόκεινται σε τριβή που τους δημιουργεί ηλεκτροστατική φόρτιση, πριν απ' την ενέργεια αυτή. Πρέπει να γίνεται καθαρισμός με υψηλής αγωγιμότητας κατάλληλο καθαριστικό, όπως

ένα μείγμα διαλυτή 70:30% ισοπροπυλική αλκοόλη (Isopropyl Alcohol – IPA): **τολουόλιο**² ή νερό και σαπουνί, τα οποία συνιστώνται για τη μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής φορτίσεως. Για να παρεμποδιστεί η φόρτιση, το δοχείο δεν θα πρέπει να τρίβεται όταν είναι στεγνό μετά το πλύσιμο.

16.8 Έλεγχος ποιότητας της ατμόσφαιρας στα Δ/Ξ.

Οι ενέργειες για τον έλεγχο της αναπτύξεως του στατικού ηλεκτρισμού, ώστε να αποτραπεί η εμφάνιση ηλεκτρικής εκκενώσεως (σπινθήρα), η οποία θα οδηγούσε σε έκρηξη και πυρκαγιά στο εύφλεκτο περιβάλλον της δεξαμενής, αποτελούν το ένα μέρος μόνο των προφυλάξεων που λαμβάνονται για να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία των Δ/Ξ.

Οι υπόλοιπες προφυλάξεις, επειδή δεν είναι πάντα εύκολο να ελεγχθεί το ηλεκτρικό φορτίο και η αγωγιμότητα των υλικών, αφορούν τις ενέργειες που πραγματοποιούνται για τον έλεγχο της ποιότητας του μείγματος αέρα και ατμών από την εξάτμιση του φορτίου που υπάρχει στη δεξαμενή. Με τις προληπτικές αυτές ενέργειες και τον έλεγχο της ποιότητας στην ατμόσφαιρα των δεξαμενών, μία πιθανή αποφόρτιση με την εμφάνιση σπινθήρα δεν θα αποβεί μοιραία για την ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος.

Το μείγμα στο περιβάλλον της δεξαμενής αποτελείται από ατμούς υδρογονάνθρακων, αδρανές αέριο και αέρα. Το αδρανές αέριο είναι αυτό που κυρίως χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ατμόσφαιρας των δεξαμενών φορτίου, αποτρέποντας έτσι τον σχηματισμό ευφλέκτων μειγμάτων. Η πρωταρχική απαίτηση για ένα αδρανές αέριο είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Αλλά λόγω του τρόπου παραγωγής του με καύση είτε σε λέβητα ατμού, είτε σε γεννήτρια αδρανούς αερίου, είναι επόμενο ότι θα περιέχει ίχνη ποσότητας διαφόρων τοξικών αερίων, που μπορεί να αυξήσει τους κινδύνους για το προσωπικό που εκτίθεται σ' αυτό. Γι' αυτό και το αποτελεσματικό πλύσιμο του αερίου είναι απαραίτητο, ιδιαίτερα για να μειωθεί η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του θείου, που σε υψηλά επίπεδα αυξάνει τα όξινα χαρακτηριστικά του αδρανούς αερίου, με

¹ European Committee for Electrotechnical Standardization CENELEC Τεχνική Έκθεση CLC / TR 50404, «Ηλεκτροστατική - Κώδικας ορθής πρακτικής για την αποφυγή των κινδύνων λόγω στατικού ηλεκτρισμού», Ιούνιος 2003.

² Το τολουόλιο είναι αρωματικός υδρογονάνθρακας, που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα ως διαλύτης και ως ενδιάμεση ύλη για άλλα προϊόντα της χημικής βιομηχανίας. Είναι διαυγές υγρό, δυσδιάλυτο στο νερό (στις συνθησμένες συνθήκες, T = 25°C και P = 1 atm), με έντονη οσμή διαλυτικού μογιάς.

αποτελεσμα να είναι επιβλαβές για το προσωπικό και πιθανόν να προκαλέσει την επιτάχυνση της διαβρώσεως των μεταλλικών επιφανειών, με τις οποίες έρχεται σε επαφή. Περαιτέρω έλεγχοι πρέπει να πραγματοποιούνται στην ποιότητα του μείγματος της ατμόσφαιρας της δεξαμενής και του δικτύου που τις εξυπηρετεί, πριν και μετά το πλύσιμο, καθώς και μετά τον εξαερισμό κατά την προετοιμασία για την είσοδο μελών του πληρώματος μέσα σ' αυτές για προγραμματισμένες εργασίες.

Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα του μείγματος της δεξαμενής αφορούν στη μέτρηση της συγκεντρώσεως υδρογονανθράκων και στη μέτρηση της εκατοστιαίας ποσότητας του οξυγόνου. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται κατάλληλες συσκευές, που μπορεί να είναι **φορητές** ή **μόνιμες**. Λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη χρήση κάθε συσκευής πρέπει πάντα να λαμβάνονται απ' τις οδηγίες του κάθε κατασκευαστή. Σημαντικό για οποιαδήποτε συσκευή που χρησιμοποιείται είναι να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις, όπως:

- α) Να είναι κατάλληλη για τη μέτρηση που πρόκειται να ληφθεί.
- β) Τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι ικανοποιητικώς ακριβή.
- γ) Να είναι εγκεκριμένου τύπου, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα απ' τους υπεύθυνους φορείς.
- δ) Να είναι επιμελώς συντηρημένη, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- ε) Να ελέγχεται συχνά σε σύγκριση με πρότυπα (τυποποιημένα) δείγματα.

16.9 Μέτρηση της συγκεντρώσεως υδρογονανθράκων.

Η μέτρηση της συγκεντρώσεως των ατμών υδρογονανθράκων σε Δ/Ξ και στους τερματικούς σταθμούς πραγματοποιείται ως εξής:

- α) Με τη μέτρηση των αερίων υδρογονανθράκων στον αέρα, σε συγκεντρώσεις κάτω από το **Κατώτερο Όριο Αναφλεξιμότητας**¹ (Lower Flammable Limit – LFL). Η μέτρηση ως σκοπό έχει να ανιχνευθεί η παρουσία ευφλέκτων (και δυνητικά

εκρηκτικών) ατμών, καθώς επίσης και η συγκέντρωση ατμών υδρογονανθράκων που μπορεί να είναι επιβλαβής για το πλήρωμα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράζονται ως ποσοστό του LFL και συνήθως καταγράφονται ως LFL%. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση LFL% είναι οι **καταλυτικοί ανιχνευτές πυρακτώσεως ευφλέκτων αερίων** (Catalytic Filament Combustible Gas Indicators – CF CG), συσκευές που συνήθως αναφέρονται ως **ανιχνευτές ευφλέκτων αερίων** (Flammable Gas Monitors – FGM) ή εκρηξίμετρα (explosimeters).

β) Με τη μέτρηση των αερίων υδρογονανθράκων ως ποσοστό κατ' όγκο του συνόλου της ατμόσφαιρας που μετρείται. Στα Δ/Ξ η μέτρηση γίνεται συνήθως για να μετρηθεί το ποσοστό των ατμών υδρογονανθράκων σε αδρανοποιημένη ατμόσφαιρα. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται εκφράζονται ως το ποσοστό των ατμών υδρογονανθράκων κατ' όγκο και καταγράφονται ως % του όγκου (Vol. %). Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι οι **μη-καταλυτικοί ανιχνευτές πυρακτώσεως ευφλέκτων αερίων** (Non-Catalytic Heated Filament Gas Indicators – NCF CG), που συνήθως αναφέρονται ως tanksopes και οι **μετρητές δείκτη διαθλάσεως** (refractive index meters). Οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία των ανιχνευτών αερίων έχουν ως αποτέλεσμα την εισαγωγή ηλεκτρονικών συσκευών, που χρησιμοποιούν **υπέρυθρους αισθητήρες** και μπορεί να εκτελούν την ίδια λειτουργία με τους μη καταλυτικούς ανιχνευτές πυρακτώσεως ευφλέκτων αερίων.

16.9.1 Ανιχνευτές ευφλέκτων αερίων με καταλυτικό βήμα ή εκρηξίμετρα.

Οι **ανιχνευτές ευφλέκτων αερίων** ή **εκρηξίμετρα** στηρίζουν τη λειτουργία τους σε ανθεκτικά στα τοξικά αέρια ηλεκτρικά αισθητήρια στοιχεία με νήμα πυρακτώσεως, που ονομάζονται **pellistors**². Ενδέχεται σε ορισμένους τύπους αντί για νήμα πυρακτώσεως να χρησιμοποιείται σφαιρίδιο ή κύλινδρος από κεραμικό υλικό, αλλά ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ο ίδιος. Κατά τη λειτουργία τους, το μείγμα αέρα και

¹ Όριο αναφλεξιμότητας ή όριο ευφλεκτικότητας ονομάζεται η αναλογία της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί ανάφλεξη σε δεδομένη ποσότητα καυσίμου και πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ κάποιων ορίων. Τα όρια της απαιτούμενης αναλογίας καυσίμου/αέρα για να πραγματοποιηθεί ανάφλεξη διαφέρουν από καύσιμο σε καύσιμο.

² Pellistor ονομάζεται ένας ηλεκτρικός αισθητήρας, που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση αερίων, τα οποία είτε είναι εύφλεκτα, είτε έχουν σημαντική διαφορά σε θερμική αγωγιμότητα μ' εκείνη του αέρα. Ο αισθητήρας τοποθετείται στον ανιχνευτή ευφλέκτων αερίων και από τη μέτρηση του μείγματος ατμών υδρογονανθράκων και αέρα καθορίζεται εάν το μείγμα είναι εντός του φάσματος αναφλέξεως. Η λέξη **pellistor** αποτελεί συνδυασμό των όρων σφαιρίδιο (pellet) και αντίσταση (resistor).

υδρογονανθράκων από την εύφλεκτη ατμόσφαιρα του χώρου που ελέγχεται **οξειδώνεται καταλυτικά**¹ στην επιφάνεια του νήματος πυρακτώσεως, ώστε να πραγματοποιηθεί η μέτρηση συγκεντρώσεως υδρογονανθράκων. Η οξείδωση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εάν υπάρχει επαρκής ποσότητα οξυγόνου. Ως εκ τούτου, η αποδοτική λειτουργία του pellistor βασίζεται στην παρουσία του αέρα, ο οποίος πρέπει να καταλαμβάνει 11% κατ' όγκο περιεκτικότητας στο δείγμα που λαμβάνεται.

Το δείγμα αερίου για τη μέτρηση μπορεί να ληφθεί με διάφορους τρόπους:

α) Με **διάχυση** ή **παθητική μεταφορά**, που χαρακτηρίζει την τάση των μορίων μίας ουσίας να διασπείρονται από περιοχές υψηλότερης συγκεντρώσεως προς τις περιοχές μικρότερης συγκεντρώσεως.

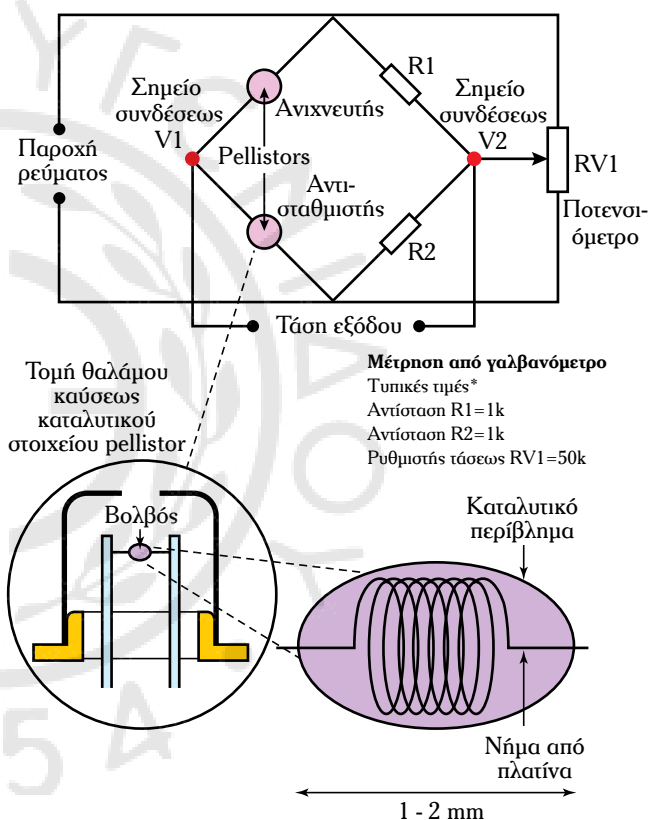
β) Με **ελαστικό σωλήνα** και **ελαστικό βολβό** (φούσκα) αναρροφήσεως δείγματος (όπου μια συμπίεση του βολβού ισοδυναμεί με αναρρόφηση όγκου αερίου που περιέχεται σ' έναν σωλήνα μήκους 1 m).

γ) Με **μηχανοκίνητη αντλία** (εσωτερική ή εξωτερική), με την οποία εξασφαλίζεται θετική ροή του μείγματος αερίου στο αισθητήριο στοιχείο.

Οι εύφλεκτες αναθυμιάσεις του μείγματος που αντλούνται, διοχετεύονται μέσω πορώδους φίλτρου, κοινώς **φλογοπαγίδα** (flash back arrestor), στον θάλαμο καύσεως του pellistor. Εντός του ανιχνευτή υπάρχουν δύο στοιχεία, το στοιχείο ανιχνεύσεως και το στοιχείο αντισταθμίσεως. Τα δύο αυτά στοιχεία, που είναι από μεταλλικό νήμα (πλατίνα), αποτελούν μέρος του ηλεκτρικού κυκλώματος του μετρητή ευφλέκτων αερίων με καταλυτικό νήμα, το οποίο είναι μια γέφυρα Wheatstone (σχ. 16.9α). Τον έναν κλάδο της γέφυρας αποτελεί το αισθητήριο νήμα, ενώ τον άλλο κλάδο της αποτελεί το αντισταθμιστικό νήμα, πανομοιότυπο με το αισθητήριο νήμα. Το ζεύγος στοιχείων, κατά τη λειτουργία του οργάνου μετρήσεως, θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεταξύ 400 και 600 °C.

Τα νήματα πυρακτώσεως είναι τοποθετημένα το ένα κοντά στο άλλο, όμως το δεύτερο νήμα παραμένει μόνιμα σε επαφή με καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτή η διάταξη παρέχει αυτόματη αντιστάθ-

μιση μεταξύ της εξόδου των δύο νημάτων και της επιδράσεως των μεταβολών της θερμοκρασίας στις αναγνώσεις του οργάνου. Όταν δεν υπάρχει αέριο, αλλά μόνο ατμοσφαιρικός αέρας, οι αντιστάσεις των δύο στοιχείων βρίσκονται σε ισορροπία και η γέφυρα δίδει στην έξοδο της ένα σταθερό σήμα βάσεως. Όταν όμως μείγμα υδρογονανθράκων και ατμοσφαιρικού αέρα περνάει από το νήμα της αντιστάσεως του στοιχείου ανιχνεύσεως, τα αέρια οξειδώνονται καταλυτικά στο ζεστό νήμα του ανιχνευτή αυξάνοντας περισσότερο τη θερμοκρασία του. Η αύξηση της θερμοκρασίας, που προκαλείται από την οξείδωση του δείγματος από το μείγμα, αυξάνει την



* Ενδεικτική τιμή k, όπου k είναι συντελεστής που εξαρτάται από την αγωγιμότητα του υλικού απ' το οποίο είναι κατασκευασμένη η αντίσταση

Σχ. 16.9α

Απλοποιημένο διάγραμμα του ηλεκτρικού κυκλώματος ενός μετρητή ευφλέκτων αερίων με καταλυτικό νήμα και γέφυρα Wheatstone.

¹ Οξείδωση ονομάζεται η χημική διαδικασία, όπου τα επιφανειακά άτομα του μετάλλου ενώνονται με άλλα άτομα που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα και δημιουργούν νέες ενώσεις. Καταλυτική οξείδωση είναι η διεργασία κατά την οποία οξειδώνονται ενώσεις με τη χρήση καταλυτών. Τέτοιες διεργασίες πραγματοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα για την αποκατάσταση των ρύπων, την παραγωγή των πολυτίμων χημικών ουσιών και την παραγωγή ενέργειας. Στους καταλυτικούς ανιχνευτές η καταλυτική οξείδωση των υδρογονανθράκων πραγματοποιείται στο νήμα πλατίνας αυξάνοντας την θερμοκρασία του πυρακτωμένου νήματος.

ηλεκτρική αντίσταση του αισθητηρίου νήματος. Η μεταβολή της αντιστάσεως διαταράσσει την ισορροπία της γέφυρας και παρέχει ένα μέτρο της περιεκτικότητας του μείγματος σε αέρια υδρογονανθράκων, άρα και την περιεκτικότητα του μείγματος σε εύφλεκτο αέριο. Η διαταραχή της ισορροπίας λαμβάνεται ως εκτροπή στον δείκτη του οργάνου που μετρείται σε βαθμονομημένη κλίμακα από 0–100% του κατώτερου ορίου αναφλεξιμότητας ή σε μερικά όργανα με πρόσθετα κυκλώματα δίνεται η δυνατότητα να παρέχεται μέτρηση σε πιο διευρυμένη κλίμακα από 0–10%. Οι αντιστάσεις των άλλων κλάδων της γέφυρας είναι κατασκευασμένες από κράμα, του οποίου η αντίσταση είναι πρακτικά ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία.

Η τάση ανάμεσα στους ακροδέκτες του ενδείκτη (*γαλβανόμετρου*¹), η οποία οφείλεται στη διατάραξη της ισορροπίας της γέφυρας (σχ. 16.9α), είναι ανάλογη προς την περιεκτικότητα σε αέρια υδρογονανθράκων για ποσοστά μέχρι 2–3 φορές απ' το LFL, αν και στην κλίμακα δεν παρέχονται ενδείξεις μεγαλύτερες από 100%. Όταν η περιεκτικότητα είναι μεγαλύτερη κατά 2 φορές περίπου από το κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας, τότε το μείγμα δεν περιέχει αρκετό οξυγόνο για να καούν εντελώς οι υδρογονάνθρακες και να υπάρξει κάποια ένδειξη στον μετρητή. Στην περίπτωση αυτή, η αντίδραση που εμφανίζεται στο όργανο είναι η βελόνα ενδείξεως να εκτραπεί αρχικά μέχρι τη μέγιστη ένδειξη της κλίμακας και μετά να επανέλθει σε μία ένδειξη κοντά στο μηδέν. Για να μην μπορεί μια τέτοια αντίδραση του οργάνου να περάσει απαρατήρητη, είναι απαραίτητο να παρατηρείται η βελόνα συνεχώς. Η παρατεταμένη λειτουργία με τέτοια μείγματα αερίων προκαλεί την επικάλυψη ανθρακικών υλών στο αισθητήριο νήμα, η οποία μπορεί να μεταβάλει την αντίδραση του αισθητηρίου νήματος, άρα και την απόδοση του μετρητή. Για τον ίδιο λόγο ο καταλυτικός μετρητής δεν παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις όταν η ατμόσφαιρα απ' την οποία λαμβάνεται το δείγμα δεν έχει αρκετό οξυγόνο, όπως συμβαίνει στις αδρανοποιημένες δεξαμενές. Σ' αυτήν την περίπτωση δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αερίων υδρογονανθράκων σε αδρανείς ατμόσφαιρες. Η αντίδραση του αισθητηρίου νήματος του μετρητή μπορεί να

επηρεαστεί και από άλλα αέρια, τα οποία δεν είναι υδρογονάνθρακες και είναι δυνατόν να περιέχονται στο μείγμα αερίων της ατμόσφαιρας μίας δεξαμενής, όπως το υδρόθειο, το μονοξείδιο του άνθρακα ή αέρια από ενώσεις του μολύβδου, αλλά μόνο όταν η περιεκτικότητα σε τέτοια αέρια είναι πολύ υψηλή. Οι μετρητές με αισθητήρες τύπου pellistor δεν θα πρέπει να υποβάλλονται σε μετρήσεις αερίων με πίεση ή υψηλή ταχύτητα, όπως σε μείγματα γραμμών ή σε δεξαμενές με υψηλή ταχύτητα αερισμού, διότι η πίεση θα τους καταστρέψει. Τα πλεονεκτήματα των καταλυτικών ανιχνευτών ευφλέκτων αερίων είναι:

α) Οι συνθήκες του χώρου όπως η θερμοκρασία και η υγρασία επηρεάζουν και τα δύο αισθητήρια στοιχεία, οπότε δεν υπάρχει μεταβολή της ισορροπίας απ' αυτούς τους παράγοντες, ώστε να οδηγήσουν σε λανθασμένες μετρήσεις.

β) Η εύκολη συντήρηση.

γ) Η εύκολη βαθμονόμηση (ρύθμιση).

δ) Η μεγάλη διάρκεια ζωής (2–4 χρόνια).

ε) Η επαναληψιμότητα, δηλαδή οι μετρήσεις που θα ληφθούν υπό την ίδια συγκέντρωση αερίου θα έχουν πάντα την ίδια τιμή.

στ) Η αποφυγή αποκλίσεων από αισθητήρα σε αισθητήρα, διότι όλοι έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά.

Σε αντίθεση με τα πρώτα εκρηξιμέτρα, οι αισθητήρες με pellistor εξισορροπούν την τάση και μηδενίζεται αυτόματα η ένδειξη στην οθόνη, με την οποία είναι εφοδιασμένος ο ανιχνευτής, όταν το όργανο είναι ενεργοποιημένο στον καθαρό αέρα.

Σε γενικές γραμμές, το pellistor χρειάζεται περίπου 30 s, ώστε να φτάσει στη θερμοκρασία λειτουργίας του, όμως ο χειριστής θα πρέπει πάντα να ανατρέχει στις οδηγίες του κατασκευαστή για την εκκίνηση της διαδικασίας.

16.9.2 Ανιχνευτές ευφλέκτων αερίων με μη καταλυτικό νήμα.

Το αισθητήριο στοιχείο σ' αυτόν τον τύπο ανιχνευτή ευφλέκτων αερίων είναι ένα μη καταλυτικό θερμό νήμα. Η σύνθεση του αερίου που περιβάλλει το νήμα προσδιορίζει τον ρυθμό απώλειας της θερμότητας από το θερμό νήμα και επομένως τη θερμοκρασία και την αντίστασή του. Όπως και στους ανιχνευτές ευφλέκτων αερίων με καταλυτικό νήμα,

¹ Το γαλβανόμετρο είναι όργανο, με το οποίο μπορεί να διαπιστωθεί η ύπαρξη ή να μετρηθεί η ένταση ηλεκτρικού ρεύματος σ' ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Πρόκειται για όργανο μέτρήσεως χαμηλών ηλεκτρικών τάσεων.

τα στοιχεία μετρήσεως του οργάνου αποτελούν τους κλάδους μίας γέφυρας Wheatstone. Το αισθητήριο νήμα (που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ευφλέκτων αερίων) αποτελεί τον έναν κλάδο, ενώ στον άλλο κλάδο της γέφυρας υπάρχει ένα πανομοιότυπο νήμα, το οποίο διατηρείται μόνιμα σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και επιδρά σαν αντισταθμιστικό νήμα στις μεταβολές που παρουσιάζονται μεταξύ των δύο νημάτων. Οι αρχικές ενέργειες για τη λειτουργία του οργάνου περιλαμβάνουν τον μηδενισμό των ενδείξεων, ώστε η γέφυρα να βρίσκεται σε ισορροπία και να εφαρμόζεται η σωστή τάση στις άκρες του νήματος, εξασφαλίζοντας έτσι τη θερμοκρασία λειτουργίας, που πρέπει να έχει ο ανιχνευτής. Κατά τη διάρκεια του μηδενισμού, από την επιφάνεια του αισθητήριου νήματος διέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας ή αδρανές αέριο απαλλαγμένο από υδρογονάνθρακες.

Κατά τη διέλευση του δείγματος από το μείγμα του αερίου που ελέγχεται στον ανιχνευτή, η παρουσία των υδρογονανθράκων μεταβάλλει την ηλεκτρική αντίσταση του αισθητήριου νήματος και αυτό παρουσιάζεται ως εκτροπή της βελόνας στον μετρητή της γέφυρας. Ο ρυθμός απώλειας της θερμότητας από το νήμα δεν εκφράζεται ως γραμμική συνάρτηση της συγκεντρώσεως των υδρογονανθράκων και αυτό απεικονίζεται στην κλίμακα του μετρητή. Ο μετρητής παρέχει ενδείξεις περιεκτικότητας υδρογονανθράκων κατευθείαν επί τοις εκατό (%).

Όταν πραγματοποιούνται μετρήσεις, είναι απαραίτητο να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή. **Γενικά, το όργανο ρυθμίζεται αρχικά στο μηδέν, με το αισθητήριο νήμα σε επαφή με τον καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα.** Στη συνέχεια παρέχεται το δείγμα για τον έλεγχο με αναρρόφηση με τη βοήθεια της ελαστικής αναρροφητικής φούσκας. Η αναρρόφηση για την παροχή δείγματος μέσω της φούσκας πρέπει να συνεχίζεται έως ότου σταματήσει η κίνηση της ενδεικτικής βελόνας του μετρητή. Συνήθως για τη λήψη δείγματος επαρκούν 15–20 συμπίεσεις της φούσκας, οπότε πρέπει να διακοπεί η αναρρόφηση και να ληφθεί η τελική ένδειξη. Η ένδειξη θα πρέπει να λαμβάνεται όταν δεν υπάρχει ροή αερίου στο όργανο και το αέριο βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Το μη-καταλυτικό νήμα δεν επηρεάζεται από συγκεντρώσεις αερίων που υπερ-

βαίνουν τα όρια μετρήσεως του οργάνου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο δείκτης του μετρητή υπερβαίνει τα όρια της κλίμακας και παραμένει σε αυτήν τη θέση όσο το νήμα παραμένει εκτεθειμένο σε πλούσιο μείγμα αερίων.

16.9.3 Μετρητής δείκτη διαθλάσεως.

Ο **μετρητής δείκτη διαθλάσεως** είναι μία οπτική συσκευή που αξιοποιεί τη διαφορά μεταξύ των δεικτών διαθλάσεως του δείγματος αερίου και αέρα. Σε αυτόν τον τύπο μετρητή, μία δέσμη φωτός διαιρείται σε δύο και αυτές στη συνέχεια ανασυνδυάζονται στον **προσοφθάλμιο φακό**¹. Οι ανασυνδυασμένες δέσμες παρουσιάζουν μία διάταξη συμβόλων, που εμφανίζεται στον παρατηρητή σαν μια σειρά από σκοτεινές (μαύρες) γραμμές στον προσοφθάλμιο φακό.

Με τη λειτουργία του μετρητή, η μία δέσμη φωτός διέρχεται από θαλάμους γεμάτους με ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ η άλλη διέρχεται από θαλάμους όπου διοχετεύεται δείγμα αερίου. Αρχικά, οι δεύτεροι θάλαμοι είναι γεμάτοι με ατμοσφαιρικό αέρα και το όργανο ρυθμίζεται έτσι, ώστε μία από τις σκοτεινές γραμμές να συμπίπτει με τη γραμμή μηδέν στην κλίμακα του οργάνου. Εάν στη συνέχεια δείγμα από το αέριο μείγμα διοχετευθεί μέσα στους θαλάμους, οι σκοτεινές γραμμές μετατοπίζονται κατά μήκος της κλίμακας κατά ένα ποσό ανάλογο προς τη μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως. Η μετατόπιση μετρείται παρατηρώντας επάνω στην κλίμακα τη νέα θέση της σκοτεινής γραμμής, που είχε χρησιμοποιηθεί αρχικά για τον μηδενισμό του μετρητή. Η κλίμακα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε μονάδες περιεκτικότητας ή μπορεί να είναι μία αυθαίρετη κλίμακα, της οποίας οι ενδείξεις μετατρέπονται στις απαιτούμενες μονάδες με τη χρήση ειδικού πίνακα ή διαγράμματος. Η απόκριση του μετρητή είναι γραμμική και αρκεί να ελεγχθεί μία μόνο ένδειξη μ' ένα πρότυπο μείγμα με γνωστή συγκέντρωση αερίων. Ο μετρητής συνήθως ρυθμίζεται για ένα συγκεκριμένο μείγμα αερίων υδρογονανθράκων, γι' αυτό όσο η χρήση του περιορίζεται στο μείγμα αερίου, για το οποίο έχει ρυθμιστεί, παρέχει ακριβείς μετρήσεις των συγκεντρώσεων αερίου.

Η μέτρηση της περιεκτικότητας σε αέρια υδρογονανθράκων επηρεάζεται από την παρουσία του

¹ Προσοφθάλμιος είναι ένα είδος φακού που είναι συνδεδεμένος με ποικιλία οπτικών συσκευών, όπως τα τηλεσκόπια και τα μικροσκόπια. Ονομάστηκε έτσι επειδή ο φακός αυτός βρίσκεται πιο κοντά στο μάτι, όταν κάποιος κοιτάζει μέσα από τη συσκευή.

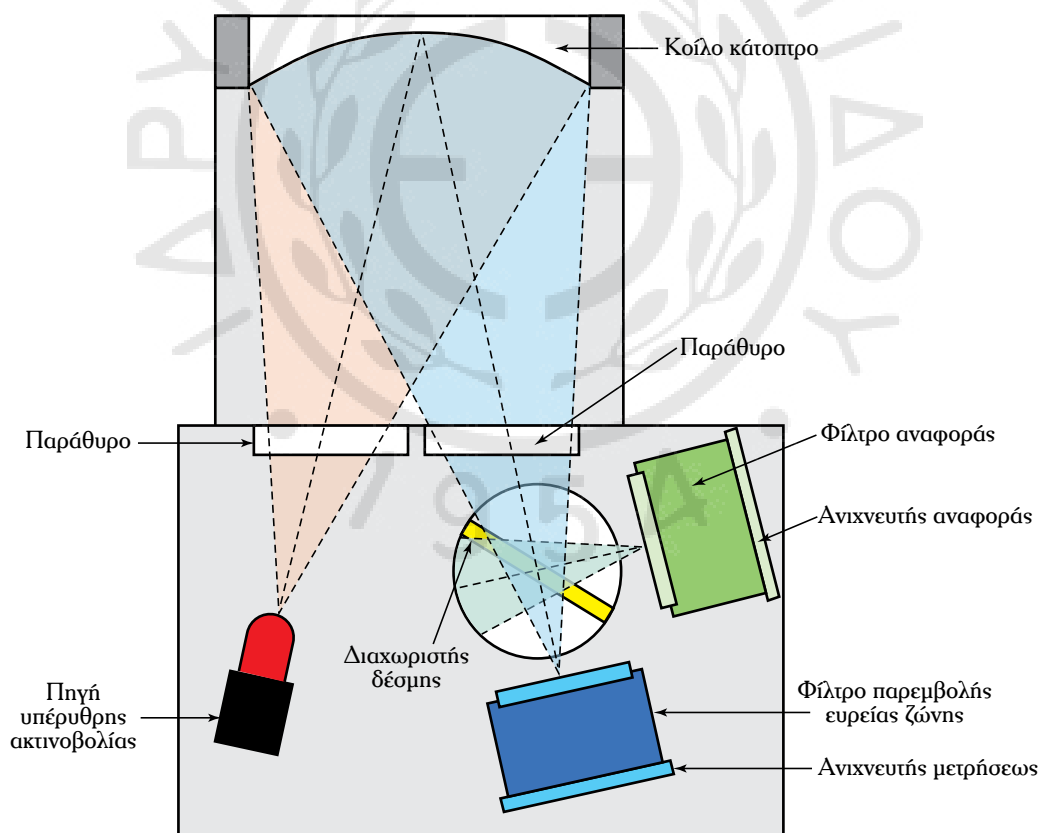
διοξειδίου του άνθρακα. Γι' αυτό, όταν ο μετρητής χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αδρανοποιημένης ατμόσφαιρας, για παράδειγμα μίας δεξαμενής, όπου χρησιμοποιούνται καυσαέρια, συστήνεται η χρήση **νατράσβεστου**¹ (soda lime) για την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα, με την προϋπόθεση ότι γίνεται κατάλληλη διόρθωση της ενδείξεως.

Οι μετρητές δείκτη διαθλάσεως δεν επηρεάζονται από συγκεντρώσεις αερίων, που υπερβαίνουν τα όρια της κλίμακας μετρήσεως, διότι η ένδειξη υπερβαίνει τα όρια της κλίμακας και παραμένει σε αυτήν τη θέση, όσο χρόνο οι θάλαμοι παραμένουν γεμάτοι με πλούσιο μείγμα αερίων. Για τον έλεγχο και τη ρύθμιση (καλιμπράρισμα) του μετρητή χρησιμοποιείται μείγμα με γνωστή περιεκτικότητα υδρογονανθράκων. Εάν το μείγμα είναι διαφορετικό από το αέριο που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τη ρύθμιση του μετρητή και πριν εξαχθούν συμπεράσματα για την ακρίβεια και τη σταθερότητα του μετρητή, η ένδειξη

του θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με κατάλληλο συντελεστή διορθώσεως της μετρούμενης τιμής.

16.9.4 Μετρητές υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Ο **ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας** (Infra-Red Sensor-IR sensor), μετράει τη συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, με την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (σχ. 16.9β). Το δείγμα των αερίων που ελέγχεται, διέρχεται στον θάλαμο μετρήσεως μέσω διαχύσεως ή μέσω αντλίας. Η υπέρυθρη ακτινοβολία από την **πηγή παραγωγής** της φωτίζει μέσω κατάλληλου **παραθύρου** τον θάλαμο. Ανακλάται και εστιάζεται από το **κοίλο κάτοπτρο**, ενώ στη συνέχεια περνά μέσα από ένα άλλο **παραθύρο του θαλάμου** και πέφτει επάνω στον **διαχωριστή δέσμης**. Το τμήμα της ακτινοβολίας που διέρχεται από τον διαχωριστή δέσμης, διέρχεται και μέσα από ένα **φίλτρο παρεμβολής ευρείας ζώνης** (ή φίλτρο μετρήσεως) και



Σχ. 16.9β

Ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας.

¹ Νατράσβεστος είναι μείγμα χημικών ουσιών, που υπό μορφή κόκκων χρησιμοποιείται σε κλειστά περιβάλλοντα π.χ. υποβρύχια, θαλάμους αποσυμπίεσεως κ.ά. για την κατακράτηση του CO₂.

φτάνει στο περίβλημα του **ανιχνευτή μετρήσεως**, όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα. Το τμήμα της ακτινοβολίας που αντανακλάται από τον **διαχωριστή δέσμης** περνά μέσα από το **φίλτρο αναφοράς** για να φτάσει στον **ανιχνευτή αναφοράς**.

Όταν το αέριο μείγμα στον θάλαμο περιέχει υδρογονάνθρακες, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται στο εύρος μήκους κύματος του φίλτρου μέτρησης, με αποτέλεσμα να δίδεται από τον ανιχνευτή μετρήσεως μειωμένο ηλεκτρικό σήμα. Παράλληλα, το σήμα στον ανιχνευτή αναφοράς παραμένει αμετάβλητο. Έτσι, η συγκέντρωση του αερίου προσδιορίζεται συγκρίνοντας τις σχετικές τιμές του ανιχνευτή αναφοράς και του ανιχνευτή μετρήσεως. Οι διαφορές στην έξοδο της πηγής υπέρυθρης ακτινοβολίας, οι ακαθαρσίες σε καθρέπτες και παράθυρα, καθώς και η σκόνη των αερολυμάτων που περιέχονται στον αέρα έχουν την ίδια επίδραση και στους δύο ανιχνευτές και συνεπώς οι ενδείξεις αντισταθμίζονται.

Οι μετρητές αυτοί ελέγχονται με τη χρήση αερίου με γνωστό μείγμα υδρογονανθράκων. Ο αισθητήρας υπέρυθρων δεν απαιτεί την παρουσία αέρα ή αδρανούς αερίου για να μετρήσει τη συγκέντρωση αερίου, καθώς η λειτουργία του βασίζεται αποκλειστικά στα μόρια υδρογονανθράκων. Σε γενικές γραμμές είναι ανιχνευτές πολύ σταθεροί, δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση, ενώ η ρύθμισή τους (καλιμπράρισμα) πρέπει να ελέγχεται συχνά, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και του ISM.

16.10 Μέτρηση χαμηλών συγκεντρώσεων τοξικών αερίων.

Η μέτρηση της συγκεντρώσεως μικρής ποσότητας τοξικών αερίων μπορεί να πραγματοποιείται με τη χρήση μετρητών ικανών να παρέχουν αξιόπιστες και ακριβείς μετρήσεις. Οι μετρητές αυτοί είναι οι ανιχνευτές αερίων και οι ηλεκτροχημικοί ανιχνευτές αερίων.

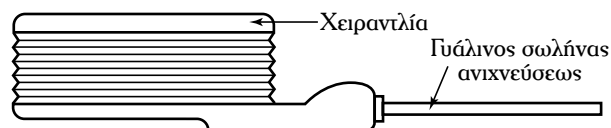
16.10.1 Ανιχνευτές αερίων που λειτουργούν με χημική απορρόφηση.

Οι **σωλήνες χημικού ενδείκτη** (chemical indicator tubes) ή **ανιχνευτές τοξικών αερίων με χημική απορρόφηση** (chemical absorption indicators) είναι φορητές συσκευές ανιχνεύσεως, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στα Δ/Ξ για τη μέτρηση τοξικών αερίων σε πολύ μικρά ποσοστά. Άλλες ονομασίες που μπορεί να έχουν ανάλογα με τον

κατασκευαστή είναι **χημικοί ανιχνευτές σωλήνα ανίλίας** (chemical detector tube pumps), **ανιχνευτές ελέγχου ατμόσφαιρας** (atmosphere testing indicators) και **τοξίμετρα** (toximeters).

Οι ανιχνευτές αποτελούνται από σφραγισμένο γυάλινο σωλήνα, ο οποίος περιέχει χημικό σκεύασμα σχεδιασμένο να αντιδρά με συγκεκριμένο αέριο, παρέχοντας έτσι ορατή ένδειξη του ποσοστού αυτού του αερίου στο δείγμα που λαμβάνεται. Για να χρησιμοποιηθεί η συσκευή, πρέπει να σπάσουν τα σφραγίσματα που υπάρχουν σε κάθε άκρη του γυάλινου σωλήνα. Ο σωλήνας στη συνέχεια εισάγεται σε μια χειροκίνητη αντλία, που εκτοπίζει σταθερό όγκο αέρα σε κάθε συμπίεση. Το μείγμα αερίου που αντλείται μέσα απ' τον σωλήνα έχει καθορισμένο όγκο με ρυθμό που ορίζεται από τον ρυθμό που ανοίγει η χειροκίνητη αντλία (χειραντλία) (σχ. 16.10α). Με τη διέλευση του δείγματος αερίου επέρχεται αλλαγή του χρώματος κατά μήκος του σωλήνα, με το μήκος του αποχρωματισμού να αποτελεί το μέτρο περιεκτικότητας του μείγματος σε αέριο. Η μέτρηση της περιεκτικότητας διαβάζεται σε κλίμακα ενσωματωμένη στον γυάλινο σωλήνα σε εκατοστιαία κατ' όγκο περιεκτικότητα ποσοστού αερίων (Vol. %) ή σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Δεδομένου ότι η μέτρηση εξαρτάται απ' την διέλευση ορισμένου όγκου αερίου από τον γυάλινο σωλήνα, οποιαδήποτε χρήση σωλήνων επιμηκύνσεως θα πρέπει να γίνεται αυστηρά, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, και ο σωλήνας επιμηκύνσεως πρέπει να τοποθετείται μεταξύ του γυάλινου σωλήνα και της χειραντλίας, η οποία είναι ένας ελαστικός βολβός σε μορφή φυσαρμόνικας. Σε ορισμένους τύπους αυτών των ανιχνευτών, αντί για αντλία με φυσερό, χρησιμοποιείται χειροκίνητη σύριγγα εγχύσεως (σχ. 16.10β).

Ο σωλήνας που θα χρησιμοποιηθεί στην ανίχνευση της συγκεντρώσεως αερίων, περιέχει την αντίστοιχη χημική ουσία, που έχει σχεδιαστεί για να αντιδράσει με το αέριο που ελέγχεται. Επομένως, κάθε σωλήνας αναγράφει πάνω στο γυαλί το αέριο που ελέγχει, όπως το βενζόλιο, το υδρόθειο, η



Σχ. 16.10α

Φορητή συσκευή ανιχνεύσεως τοξικών αερίων με φυσερό και γυάλινο σωλήνα ανιχνεύσεως.



Σχ. 16.10β

Συσκευή ανιχνεύσεως τοξικών αερίων με σύριγγα.

φωσφίνη, το οξυγόνο κ.λπ.. Γι' αυτό οι ανιχνευτές αυτοί δεν είναι κατάλληλοι όταν στην ατμόσφαιρα που ελέγχεται υπάρχουν περισσότερα από ένα αέρια μαζί, διότι το ένα αέριο παρεμβάλλεται επηρεάζοντας τη μέτρηση του άλλου.

Οι κατασκευαστές, για κάθε είδος σωλήνα, πρέπει να διασφαλίζουν τον βαθμό ακριβείας που προβλέπεται από τα εθνικά πρότυπα. Αντίστοιχα, οι εταιρείες που διαχειρίζονται Δ/Ξ πρέπει να συμβουλευούνται την αρμόδια αρχή ανάλογα με τη σημαία του πλοίου τους, η οποία θα τους καθοδηγήσει σχετικά με τον αποδεκτό εξοπλισμό που πρέπει να διαθέτουν.

16.10.2 Ηλεκτροχημικοί ανιχνευτές αερίων.

Οι **ηλεκτροχημικοί αισθητήρες** (electrochemical sensors) είναι ανιχνευτές αερίων, που βασίζουν τη λειτουργία τους στο γεγονός ότι οι αισθητήρες που κατασκευάζονται μπορούν και αντιδρούν με το μετρούμενο αέριο δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το ρεύμα μπορεί να μετρηθεί καθορίζοντας το ποσοστό της συγκεντρώσεως του αερίου. Οι αισθητήρες αυτοί είναι χαμηλού κόστους και αρκετά μικροί, δίνοντας τη δυνατότητα να ενσωματωθούν αρκετοί στον ίδιο μετρητή, καθιστώντας τον κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί στην ανίχνευση πολλών αερίων.

Υπάρχουν διαθέσιμοι πολυάριθμοι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες, οι οποίοι καλύπτουν μεγάλο αριθμό αερίων, που υπάρχουν στο περιβάλλον των Δ/Ξ, όπως η αμμωνία, το υδρόθειο, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα και του θείου.

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες μπορεί να είναι φορητές συσκευές, αλλά και εγκατεστημένες σε μόνιμη βάση. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομοι μετρητές, ικανοί να παρέχουν προειδοποίηση σε μία προκαθορισμένη συγκέντρωση αερίων ή μπορούν να τοποθετηθούν σε έναν πολυ-αισθητήριο

μετρητή για την παροχή της ενδείξεως συγκεντρώσεως των αερίων, συνήθως σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm).

Η πιθανότητα λανθασμένης ενδείξεως από τους αισθητήρες οφείλεται σε διασταυρούμενη ευαισθησία, όπου ο αισθητήρας κατά τη μέτρηση ενός αερίου επηρεάζεται από ένα άλλο. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, κατά τη μέτρηση τοξικών αερίων με παρουσία αερίων υδρογονανθράκων, όπως το υδρόθειο με την παρουσία μονοξειδίου του αζώτου και διοξειδίου του θείου.

16.11 Μόνιμες εγκαταστάσεις ανιχνεύσεως ευφλέκτων αερίων.

Οι μόνιμες εγκαταστάσεις για την παρακολούθηση της αναφλεξιμότητας της ατμόσφαιρας, έχουν χρησιμοποιηθεί περιορισμένα σε λίγα Δ/Ξ, σε χώρους όπως **σήραγγες σωληνώσεων** (pipe tunnels) μέσα σε διπύθμενα. Για τις μόνιμες εγκαταστάσεις ελέγχου ευφλέκτων αερίων, έχουν αναπτυχθεί οι εξής τρεις διαρρυθμίσεις (διατάξεις):

α) Στην **πρώτη διαρρύθμιση**, ένα πλήθος αισθητήρων συσκευών έχει κατανεμηθεί σε όλους τους χώρους που ελέγχονται και τα σήματα απ' αυτές λαμβάνονται διαδοχικά σ' ένα κεντρικό σημείο ελέγχου.

β) Στη **δεύτερη διαρρύθμιση**, το σύστημα μετρήσεως των αερίων είναι ενσωματωμένο σε κεντρικό σημείο ελέγχου και δείγματα από τα αέρια που πρόκειται να ελεγχθούν αντλούνται διαδοχικά προς το κεντρικό σύστημα μετρήσεως αερίων μέσω δειγματοληπτικών σωληνώσεων. Συνήθως η άντληση του δείγματος μέσω των δειγματοληπτικών σωληνώσεων επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλίας κενού. Απαραίτητο είναι να εξασφαλιστεί ότι στο σύστημα δεν υπάρχει καμία είσοδος ατμοσφαιρικού αέρα, που θα διέλυε το δείγμα και θα προκαλούσε λανθασμένες ενδείξεις.

γ) Στην **τρίτη διαρρύθμιση** υπάρχουν υπέρυθροι ανιχνευτές αερίων στον χώρο που ελέγχεται, ενώ τα ηλεκτρονικά συστήματα που είναι απαραίτητα για την προώθηση των σημάτων βρίσκονται εγκατεστημένα σε ασφαλή θέση, συνήθως στο κεντρικό δωμάτιο ελέγχου.

Οι μόνιμες εγκαταστάσεις ανιχνεύσεως αερίων συνήθως τοποθετούνται ως μέσο ανιχνεύσεως της διαρροής και όχι για τον έλεγχο της συγκεντρώσεως αερίων πριν από την είσοδο σε έναν χώρο. Για την είσοδο σε χώρους, ο έλεγχος της ατμόσφαιρας θα

πρέπει να πραγματοποιείται μόνο με εξοπλισμό που έχει ρυθμιστεί, ελεγχθεί και διαθέτει τις κατάλληλες κλίμακες ανιχνεύσεως. Ορισμένες μόνιμες εγκαταστάσεις ανιχνεύσεως αερίων πληρούν τα κριτήρια αυτά.

16.12 Μέτρηση περιεκτικότητας σε οξυγόνο.

Οι μετρητές οξυγόνου χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί αν η ατμόσφαιρα στο εσωτερικό μίας δεξαμενής φορτίου είναι πλήρως αδρανοποιημένη ή το ποσοστό του οξυγόνου ανταποκρίνεται στο όριο που θα επιτρέψει την ασφαλή είσοδο μελών του πληρώματος σε αυτήν. **Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο της ατμόσφαιρας στη δεξαμενή, για να θεωρηθεί ότι είναι αδρανοποιημένη, πρέπει να είναι 8% κατ' όγκο σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς ή μικρότερη ανάλογα με τους κανονισμούς του λιμένα, ενώ για την είσοδο σε αυτήν το όριο είναι 21% κατ' όγκο** (για την ακρίβεια 20,9%). Στον πίνακα 16.12 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις στον άνθρωπο ανάλογα με την εκατοστιαία περιεκτικότητα του οξυγόνου στον αέρα που εισπνέεται.

Για τη λήψη αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιούνται **φορητοί μετρητές οξυγόνου** (portable oxygen monitors ή portable oxygen analysers ή portable oxygen indicators). Για τον έλεγχο της περιεκτικότητας σε οξυγόνο στους καπναγωγούς των λεβήτων (uptakes) και στον κύριο σωλήνα του δικτύου παροχής αδρανούς αερίου στις δεξαμενές χρησιμοποιούνται **μόνιμοι τύποι μετρητών οξυγόνου** (oxygen analysers).

Οι πιο κοινοί τύποι μετρητών οξυγόνου που χρησιμοποιούνται στα Δ/Ξ είναι είτε με **παραμαγνητικούς αισθητήρες** (paramagnetic sensors), είτε με **ηλεκτροχημικούς αισθητήρες** (electrochemical sensors).

16.12.1 Μετρητές οξυγόνου με παραμαγνητικούς αισθητήρες.

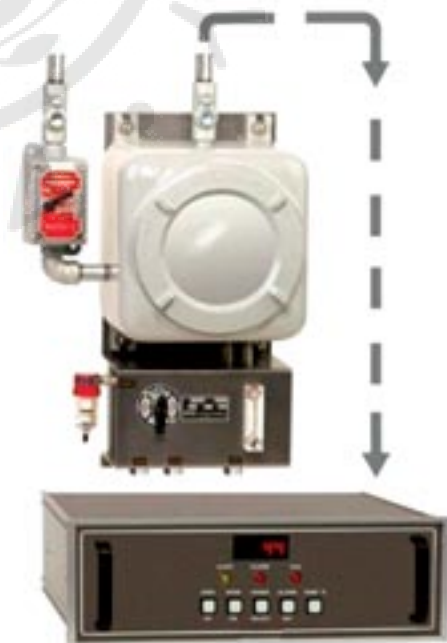
Το οξυγόνο είναι έντονα παραμαγνητικό (δηλ. έλκεται από τους πόλους ενός μαγνήτη, αλλά δεν διατηρεί μόνιμο μαγνητισμό), ενώ τα περισσότερα κοινά αέρια δεν έχουν αυτήν την ιδιότητα. Αυτή η ιδιότητά του μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το ποσοστό οξυγόνου σε πολύ μεγάλο αριθμό μειγμάτων αερίων.

Ένας τύπος μετρητή οξυγόνου με παραμαγνητικό αισθητήρα (σχ. 16.12α), που χρησιμοποιείται ευρέως, αποτελείται από έναν μικρό θάλαμο δείγματος (sample cell), μέσα στον οποίο υπάρχει μαγνητικό πεδίο και αιωρείται ένα σώμα μικρού βάρους περιελιγμένο από ένα πηνίο. Όταν το δείγμα του αερίου διέρχεται μέσα από τον θάλαμο, στο αιωρούμενο σώμα ασκείται

Πίνακας 16.12

Επιπτώσεις στον άνθρωπο ανάλογα με την περιεκτικότητα του οξυγόνου στον αέρα.

Περιεκτικότητα σε οξυγόνο % κατ' όγκο	Επιπτώσεις
Εμπλουτισμένη ατμόσφαιρα σε οξυγόνο 23,5%.	Αποπροσανατολισμός, αναπνευστικά προβλήματα, παραισθήσεις.
19,5%	Ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο σε οξυγόνο.
15 – 19%	Μείωση του συντονισμού. Μειωμένη ικανότητα να εργαστούν εντατικά.
12 – 14%	Αύξηση της ταχύτητας αναπνοής. Πτωχή κριτική ικανότητα.
10 – 12%	Αύξηση στην αναπνοή. Τα χείλη γίνονται μπλε.
8 – 10%	Διανοητική βλάβη. Λιποθυμία, ναυτία, απώλεια των αισθήσεων, έμετος.
6 – 8%	Η έκθεση για 8 min είναι θανατηφόρος, στα 6 min είναι 50% θανατηφόρος, ενώ στα 4 – 5 min υπάρχει πιθανότητα ανακάμψεως.
4 – 6%	Κώμα σε 40 s. Θάνατος σε 3 min.



Σχ. 16.12α

Μετρητής οξυγόνου με παραμαγνητικούς αισθητήρες.

μία ροπή στρέψεως ανάλογη με τη **μαγνητική επιδεκτικότητα**¹ του αερίου. Το πνίο που είναι περιεργμένο γύρω από το αιωρούμενο σώμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο επιφέρει μία ίση και αντίθετη ροπή στρέψεως από αυτήν που ασκείται από το μαγνητικό πεδίο. Το ιόποσο ρεύμα που εξισώνει τις ροπές δείχνει τη μέτρηση της μαγνητικής δυνάμεως και επομένως αποτελεί το μέτρο της μαγνητικής επιδεκτικότητας του δείγματος, το οποίο έχει σχέση με την περιεκτικότητα του δείγματος σε οξυγόνο.

Πριν χρησιμοποιηθεί ο μετρητής οξυγόνου, θα πρέπει να ελεγχθεί αρχικά σε καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα, ενέργεια που ονομάζεται καλιμπράρισμα (ή σε καλά αερισμένο χώρο), ώστε να δείξει περίπου 21% περιεκτικότητα σε οξυγόνο και στη συνέχεια να ελεγχθεί σε περιβάλλον με άζωτο ή με διοξείδιο του άνθρακα, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν θα δείξει 0% κατ' όγκο, ώστε να εξακριβωθεί η καλή λειτουργία του μετρητή και η ορθή έκταση της κλίμακάς του.

Οι ενδείξεις του μετρητή είναι ανάλογες με την πίεση στον θάλαμο μετρήσεως του δείγματος. Γι' αυτό η συσκευή που ρυθμίζεται για ορισμένη ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζει μικρό σφάλμα, που οφείλεται στη διακύμανση της ατμοσφαιρικής πίεσεως, το οποίο μπορεί να διορθωθεί εάν απαιτείται. Επειδή τα σφάλματα των ρυθμίσεων μπορεί να είναι πιο μεγάλα, κατά τη διάρκεια των μεταβολών στην πίεση όταν χρησιμοποιούνται ορισμένες διαρρυθμίσεις δειγματοληψίας του αερίου, μπορούν να αποφεύγονται με μείωση της πίεσεως δειγματοληψίας, ώστε κατά τη διάρκεια της αναγνώσεως των ενδείξεων η πίεση να είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Στον μετρητή το δείγμα πρέπει να παρέχεται συνεχώς και με θετική πίεση, διότι όταν γίνεται με αναρρόφηση, δηλαδή με αρνητική πίεση, η μέτρηση πραγματοποιείται σε αβέβαιη πίεση, που θα οδηγήσει σε λανθασμένες μετρήσεις θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια αυτού που κάνει τη μέτρηση.

Το φίλτρο που χρησιμοποιείται στο μετρητή, πρέπει να καθαρίζεται τακτικά ή να αντικαθίσταται, ώστε να διατηρείται η σωστή ροή του δείγματος. Η ροή γίνεται ανυληπή απ' την απαίτηση αυξήσεως της πίεσεως στο δείγμα του αερίου που παρέχεται κατά την δειγματοληψία. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται όταν το φίλτρο υγρανθεί εξαιτίας ανεπαρκούς ξηράνσεως του δείγματος αερίου, που παρέχεται στον μετρητή.

16.12.2 Μετρητές οξυγόνου με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες.

Οι μετρητές με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες (σχ. 16.12β) λειτουργούν προσδιορίζοντας την συγκέντρωση οξυγόνου ενός μείγματος αερίων, μετρώντας την έξοδο της ηλεκτρικής τάσεως ενός **ηλεκτροχημικού στοιχείου** (electrochemical cell), που περιέχει ο αισθητήρας. Το ηλεκτροχημικό στοιχείο αποτελείται από μία μεμβράνη (π.χ. από τεφλόν), μέσω της οποίας διαχέεται το οξυγόνο και από δύο ειδικά σχεδιασμένα ηλεκτρόδια, τα οποία χωρίζονται από υγρό ή ζελέ ηλεκτρολύτη. Η μεμβράνη έχει ως σκοπό να συγκρατεί τον ηλεκτρολύτη, που είναι τοποθετημένος σε μία εσοχή μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και ταυτόχρονα έχει την ιδιότητα να την διαπερνούν τα ελεύθερα μόρια του οξυγόνου φέροντας το ηλεκτρόδιο σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα. Κατά τη λειτουργία ενός τύπου μετρητή, που συνήθως χρησιμοποιείται στα πλοία, το οξυγόνο διαχέεται μέσω της μεμβράνης που υπάρχει στο στοιχείο (σχ. 16.12γ). Στα άκρα των ειδικά σχεδιασμένων ηλεκτροδίων επικρατεί μία ηλεκτρική τάση εξόδου. Τα ηλεκτρόδια αυτά είναι το ηλεκτρόδιο καθόδου κατασκευασμένο από ευγενές μέταλλο και το ηλεκτρόδιο ανόδου από κοινό μέταλλο. Όμως, η παρουσία του οξυγόνου και η επαφή του με τα ηλεκτρόδια, που είναι εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα που πρόκειται να ελεγχθεί, προκαλεί την ηλεκτροχημική διαδικασία και τη ροή ρεύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή στην ηλεκτρική τάση εξόδου που μετρείται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Οι μεταβολές της συγκέντρωσεως του οξυγόνου στο ένα ηλεκτρόδιο παράγουν ανάλογες μεταβολές στην ηλεκτρική τάση εξόδου της μονάδας. Ως εκ τούτου, η αυξημένη συγκέντρωση οξυγόνου θα επιταχύνει την ηλεκτροχημική διαδικασία, παράγοντας υψηλότερη ηλεκτρική τάση στην έξοδο. Αντίστοιχα, η μείωση στη συγκέντρωση του οξυγόνου θα έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ηλεκτροχημικής διεργασίας, μειώνοντας την ηλεκτρική τάση στην έξοδο των ηλεκτροδίων. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται, αντιστοιχούν σε ποσοστιαία περιεκτικότητα οξυγόνου στο δείγμα της ατμόσφαιρας που ελέγχεται, οι οποίες μπορούν άμεσα να αναγνωσθούν στην οθόνη ενδείξεων του μετρητή.

Η λειτουργία του μετρητή οξυγόνου βασίζεται στην μερική πίεση του οξυγόνου. Γι' αυτό οι ρυθμί-

¹ Η μαγνητική επιδεκτικότητα εκφράζει τον βαθμό ικανότητας ενός υλικού να μαγνητισθεί (δλ. την ευκολία ή τη δυσκολία μαγνητισεώς τους).

σεις του θα πρέπει να γίνονται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Επίσης, οι ενδείξεις του είναι ευθέως ανάλογες με την πίεση στο στοιχείο μετρήσεως, αλλά οι συνηθισμένες διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσεως δημιουργούν μόνο μικρά σφάλματα.

Ορισμένα αέρια που υπάρχουν στο μείγμα του δείγματος που ελέγχεται μπορεί να επηρεάσουν τον αισθητήρα και να προκαλέσουν λανθασμένες ενδείξεις. Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου παρεμβάλλονται σ' αυτά τα αέρια, εφόσον η συγκέντρωσή τους είναι μεγαλύτερη του 0,25% κατ' όγκο. Οι **μερκαπτάνες**¹ και το υδρόθειο μπορούν να αλλοιώσουν τον αισθητήρα, εάν τα επίπεδα συγκεντρώσεώς τους είναι μεγαλύτερα από 1% κατ' όγκο. Αυτή η αλλοίωση δεν παρουσιάζεται αμέσως, αλλά βαθμιαία, καθώς η έκθεση του αισθητήρα σε αυτές τις χημικές ενώσεις του θείου, θα πρέπει να διαρκεί για κάποιο χρονικό διάστημα. Το καλιμπράρισμα ενός αλλοιωμένου αισθητήρα δεν μπορεί να γίνει στον ατμοσφαιρικό αέρα και σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή.

16.12.3 Συντήρηση, ρυθμίσεις και έλεγχος μετρητών οξυγόνου.

Δεδομένου ότι οι μετρητές οξυγόνου είναι όργανα ζωτικής σημασίας, θα πρέπει να έχουν έγκυρο πιστοποιητικό ρυθμίσεως και καλής λειτουργίας, ενώ θα πρέπει να ελέγχονται αυστηρά σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή πριν από τη χρήση.

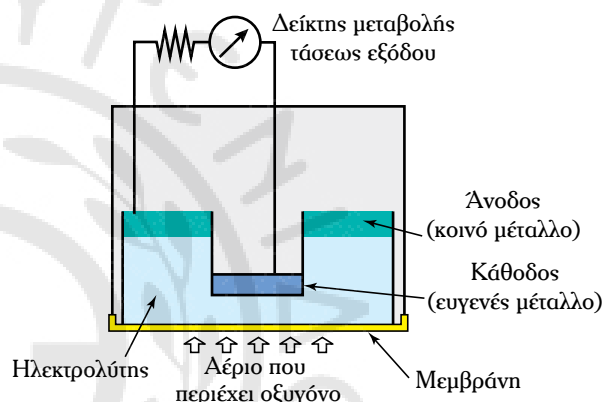
Σημαντικό είναι κάθε φορά που ένας μετρητής πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, να ελέγχονται οι μπαταρίες του (εάν απαιτούνται για τη συγκεκριμένη συσκευή) και η ρύθμισή του να ανταποκρίνεται στο 21%. Κατά τη διάρκεια της χρήσεώς του θα πρέπει να γίνονται συχνά έλεγχοι, ώστε να εξασφαλιστεί ότι λαμβάνονται ανά πάσα στιγμή οι ακριβείς μετρήσεις.

Η διαδικασία του ελέγχου είναι απλή σε όλους τους μετρητές και πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά γίνεται με την έκθεση του αισθητήρα σε ατμοσφαιρικό αέρα, οπότε θα πρέπει να εμφανιστεί η ένδειξη 21% οξυγόνο (για την ακρίβεια 20,9%) (σχ. 16.12δ). Στη συνέχεια, με την παροχή ενός αδρανούς αερίου (άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα) θα πρέπει η ένδειξη στον μετρητή να μηδενιστεί εμφανίζοντας 0%.



Σχ. 16.12β

Ηλεκτροχημικός μετρητής οξυγόνου.



Σχ. 16.12γ

Τυπική διάταξη ηλεκτροχημικού αισθητήρα.



Σχ. 16.12δ

Φορητός μετρητής οξυγόνου.

¹ Οι μερκαπτάνες (mercaptans) είναι οργανικές ενώσεις που περιέχουν θείο. Μπορούν να θεωρηθούν ως παράγωγα των αλκοολών, τα οποία προκύπτουν με αντικατάσταση της υδροξυλικής ρίζας (–OH) με σουλφυδρική ρίζα (–SH) και γι' αυτό ονομάζονται και **θειαλκοόλες**. Ο όρος **μερκαπτάνες** αποτελεί σύντμηση των λέξεων «mercurium captans», που σημαίνει «συλλαμβάνοντας υδράργυρο» και χαρακτηρίζει την ευκολία σχηματισμού των αλάτων του υδραργύρου, ενώ πλέον έχει αντικατασταθεί από τον όρο **θειόλες**.

16.13 Κίνδυνοι για την υγεία από τις τοξικές επιδράσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά υδρόθειου και βενζολίου.

Ο χαρακτηρισμός **τοξικό** έχει την ίδια σημασία με την έννοια **δηλητηριώδες**. Ο όρος **τοξικότητα** χαρακτηρίζει τη διαβάθμιση της δυνατότητας μίας ουσίας ή ενός μείγματος ουσιών να προκαλέσουν βλάβες σ' έναν οργανισμό. Οι τοξικές ουσίες μπορούν να βλάψουν τον ανθρώπινο οργανισμό όταν εισέλθουν σ' αυτόν. Μία τοξική ουσία μπορεί να εισέλθει στον οργανισμό με τρεις τρόπους:

- α) Με κατάποση (ingestion).
- β) Με την απορρόφηση όταν έρθει σε επαφή με το δέρμα (absorption).
- γ) Με την εισπνοή (inhalation).

Οι τοξικές ουσίες μπορεί να έχουν τοπικές επιπτώσεις, όπως στο δέρμα ή στα μάτια προκαλώντας ερεθισμό, αλλά μπορεί να επηρεάσουν και άλλα εσωτερικά μέρη του σώματος (συστημικές επιπτώσεις) προκαλώντας ασφυξία, καρκινογένεση, κληρονομικές αλλοιώσεις κ.λπ..

Ο σκοπός αυτής της ενότητας είναι να περιγραφούν οι αρνητικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις τοξικές ουσίες, να αναφερθούν οι συγκεντρώσεις, στις οποίες οι αρνητικές επιπτώσεις που αναμένεται να παρατηρηθούν, επηρεάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό και να περιγραφούν οι προφυλάξεις και τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται, προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι από μία τέτοια έκθεση.

Τις μεγαλύτερες πιθανότητες να έλθουν σε επαφή με τοξικά υγρά ή αέρια και μάλιστα με πολλούς τρόπους (μέσα ή έξω απ' τις δεξαμενές), έχουν τα μέλη του πληρώματος των Δ/Ξ μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου, χημικών και υγραερίων. Γι' αυτό, είναι απαραίτητο να γνωρίζουν τις ανεπιθύμητες καταστάσεις που μπορεί να προκύψουν από τις ιδιότητες των τοξικών ουσιών και την έκθεσή τους σ' αυτές, προκειμένου να εκτιμήσουν τους λόγους των πρακτικών που χρησιμοποιούνται, ώστε να εξασφαλίσουν την ασφάλειά τους.

Η τοξικότητα των αερίων των πετρελαιοειδών

μπορεί να διαφέρει πάρα πολύ από προϊόν σε προϊόν, διότι εξαρτάται από την ποσότητα των κυριοτέρων συστατικών των υδρογονανθράκων που εξαιμίζονται στην ατμόσφαιρα. Επίσης, η τοξικότητα μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από την παρουσία ορισμένων δευτερευόντων συστατικών όπως οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες [π.χ. το βενζόλιο (C_6H_6) και το υδρόθειο (H_2S)]. Για τις αναθυμιάσεις της βενζίνης έχει προσδιοριστεί ότι η **Οριακή Τιμή** (Threshold Limit Value–TLV¹) είναι τα 300 ppm, που αντιστοιχεί σε 2% περίπου του κατώτερου ορίου ευφλεκτότητας (LFL). Η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γενικός οδηγός για τα αέρια πετρελαιοειδών, αλλά δεν πρέπει να εφαρμόζεται στα μείγματα αερίων που περιέχουν βενζόλιο ή υδρόθειο, διότι λόγω της μεγάλης τοξικότητάς τους τα επιτρεπόμενα όρια εκθέσεως σε αυτά τα αέρια είναι διαφορετικά.

16.13.1 Τοξικές επιδράσεις του υδρόθειου.

Το **υδρόθειο** (H_2S) είναι ένα πολύ τοξικό, διαβρωτικό και εύφλεκτο αέριο. Ο εντοπισμός του με την όσφρηση είναι οριακός και έχει τη χαρακτηριστική οσμή των χαλασμένων αυγών. Είναι άχρωμο, βαρύτερο από τον αέρα, με πυκνότητα ατμών² 1,363 kg και είναι διαλυτό στο νερό.

Περιέχεται σε υψηλό ποσοστό στο αργό πετρέλαιο, που αντλείται από πολλές πετρελαιοπηγές, αλλά αυτό το ποσοστό μειώνεται με τη διαδικασία σταθεροποίησης του φορτίου πριν παραδοθεί στο Δ/Ξ. Όμως, το ποσοστό της σταθεροποίησης μπορεί να μειώσει προσωρινά το υδρόθειο που περιέχεται στο φορτίο και το Δ/Ξ να παραλάβει φορτίο με υψηλότερο ποσοστό σε υδρόθειο από το συνηθισμένο ή το αναμενόμενο. Επί πλέον, ορισμένα φορτία αργού πετρελαίου δεν σταθεροποιούνται ποτέ, με αποτέλεσμα να περιέχουν πάντα υψηλά επίπεδα υδρόθειου. Τα αέρια του υδρόθειου μπορεί να προκύψουν σε διυλισμένα προϊόντα, όπως η νάφθα, το μαζούτ, η άσφαλτος και τα πετρέλαια για ΜΕΚ. Γι' αυτό το φορτίο των καυσίμων του Δ/Ξ, μέχρι να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχ-

¹ Η Οριακή Τιμή (Threshold Limit Value – TLV), είναι η μέγιστη μέση ατμοσφαιρική συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας, στην οποία οι υγιείς ενήλικες εργαζόμενοι μπορούν να εκτεθούν κατά τη διάρκεια μίας εργάσιμης ημέρας 8 h (40 h εβδομαδιαίας εργασίας) στη διάρκεια τη εργασιακής ζωής τους, χωρίς να προκύψουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία τους. Η εκτίμηση της τιμής TLV έχει γίνει με βάση τα γνωστά από πειράματα όρια τοξικότητας που επηρεάζουν ανθρώπους ή ζώα και την αξιοπιστία και την ακρίβεια των τελευταίων μεθόδων δειγματοληψίας και αναλύσεως. Δεν αποτελεί ένα οριστικό δεδομένο, διότι νέες έρευνες και μέθοδοι αναλύσεως μπορεί να τροποποιήσουν την εκτίμηση του κινδύνου των ουσιών και τα όρια εκθέσεως σε χημικές ουσίες.

² Η πυκνότητα ρ ενός αερίου είναι το πηλίκο της μάζας m προς τον όγκο V στην πίεση p και τη θερμοκρασία T . Μονάδα μετρήσεως είναι το kg/m^3 . Στα αέρια χρησιμοποιείται συχνότερα η σχετική πυκνότητα. Η σχετική πυκνότητα d ενός αερίου είναι ο λόγος της πυκνότητάς του ρ_g προς εκείνη του ξηρού αέρα ρ_a και δίδεται από τον τύπο $d = \rho_g/\rho_a$.

κων και των σχετικών πληροφοριών των **Δελτίων Δεδομένων Ασφαλείας Υλικού** (Material Safety Data Sheet – MSDS)¹, δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απαλλαγμένο από υδρόθειο.

Οι βλάβες στον οργανισμό από την έκθεση σε υδρόθειο είναι οξείες και χρόνιες (πίν. 16.13). Ως εκ τούτου η Οριακή Τιμή (TLV) και η **Χρονικά Σταθμισμένη Μέση Τιμή** (Time Weighted Average – TWA²) για την έκθεση σε υδρόθειο είναι 5 ppm για διάστημα 8 ωρών. Όμως, παρά το γεγονός του ορισμού των επιτρεπομένων ορίων συγκεντρώσεως υδρόθειου σε ένα περιβάλλον, ο στόχος των ενεργειών που διενεργούνται κατά την εργασία σε αυτό είναι η συγκέντρωση υδρόθειου να διατηρείται στα χαμηλότερα δυνατά όρια.

16.13.2 Τοξικές επιδράσεις του βενζολίου.

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες περιλαμβάνουν

το βενζόλιο (C_6H_6), το τολουόλιο ($C_6H_5CH_3$) και το ξυλένιο [$C_6H_4(CH_3)_2$]. Οι ουσίες αυτές είναι συστατικά που περιέχονται σε διάφορες ποσότητες σε πολλά φορτία πετρελαιοειδών, όπως οι βενζίνες, τα συστατικά αναμειγξέως βενζινών, τα αναμορφωμένα προϊόντα πετρελαίου, οι νάφθες, οι ειδικού σπείνου ζέσεως διαλύτες, τα λευκά οινόπνευματώδη φορτία και το αργό πετρέλαιο.

Με εξαίρεση το βενζόλιο, οι κίνδυνοι για την υγεία από τους υπόλοιπους αρωματικούς υδρογονάνθρακες δεν έχουν πλήρως καθοριστεί. Παρ' όλα αυτά, συνιστάται το προσωπικό των Δ/Ξ, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η έκθεση που οφείλεται σε επιχειρήσεις διακινήσεως φορτίου αρωματικών υδρογονανθράκων, να ακολουθεί τις προφυλάξεις και τις διαδικασίες που περιγράφονται στα κεφάλαια του ISGOTT και αφορούν στην **κλειστή φορτοεκ-**

Πίνακας 16.13
Τυπικά συμπτώματα της εκθέσεως σε υδρόθειο.

Συγκέντρωση υδρόθειου (H_2S)(ppm περιεκτικότητας κατ' όγκο στον αέρα)	Συμπτώματα και αποτελέσματα στον ανθρώπινο οργανισμό
0,1 – 0,5 ppm	Εντοπίζεται με την οσμή.
10 ppm	Μπορεί να προκαλέσει ναυτία, ελάχιστο ερεθισμό των ματιών.
25 ppm	Ερεθισμός των ματιών και της αναπνευστικής οδού. Έντονη οσμή.
50 – 100 ppm	Απώλεια οσφρήσεως. Η παρατεταμένη έκθεση σε συγκεντρώσεις στα 100 ppm αυξάνει σταδιακά τη βαρύτητα των συμπτωμάτων και ο θάνατος μπορεί να επέλθει μετά από 4 – 48 h εκθέσεως.
150 ppm	Η απώλεια στην αίσθηση της οσφρήσεως σε 2 – 5 min.
350 ppm	Η εισπνοή μετά από 30 min μπορεί να είναι μοιραία.
700 ppm	Σε χρονικό διάστημα λίγων λεπτών προκαλείται απώλεια των αισθήσεων και θάνατος. Προκαλούνται σπασμοί, απώλεια του ελέγχου της ουροδόχου κύστης και του εντέρου. Η αναπνοή θα σταματήσει και ο θάνατος θα επέλθει, αν δεν δοθεί άμεσα ιατρική βοήθεια.
700 – 1000 ppm	Αιφνίδια απώλεια των αισθήσεων και κόμα.
1000 <	Αιφνίδια απώλεια των αισθήσεων, άμεσα θανατηφόρο.

Σημείωση: Τα άτομα που εκτίθενται σε αέρια υδρόθειου θα πρέπει να μεταφερθούν στον καθαρό αέρα το συντομότερο δυνατό. Οι δυσμενείς επιπτώσεις του υδρόθειου μπορεί να ανατραπούν και να αυξηθεί η πιθανότητα διασώσεως της ζωής του ατόμου εάν ληφθούν άμεσα μέτρα.

¹ Το MSDS είναι ένα έγγραφο που αναφέρεται στις ιδιότητες ενός υλικού παρέχοντας δεδομένα για τη διαχείρισή του με ασφάλεια. Εκδίδεται από εθνικούς φορείς ή από την κοινότητα στην οποία ανήκει ένας κράτος.

² Η Χρονικά Σταθμισμένη Μέση Τιμή (Time Weighted Average – TWA) είναι η τιμή που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η καθημερινή έκθεση των εργαζομένων σε επικίνδυνες ουσίες, όπως οι χημικές ουσίες, η σκόνη, οι αναθυμιάσεις, τα αέρια ή οι ατμοί, η οποία κατά μέσο όρο σε μία εργάσιμη ημέρα διαρκεί 8 h.

φόρτωση (closed loading¹) και στη **μέτρηση και δειγματοληψία φορτίων, που περιέχουν τοξικές ουσίες** (measuring and sampling cargoes containing toxic substances²). Η TLV των αερίων ενός αρωματικού υδρογονάνθρακα γενικά είναι μικρότερη από εκείνη των υπολοίπων υδρογονανθράκων.

Το βενζόλιο είναι ένας ιδιαίτερα τοξικός, αρωματικός υδρογονάνθρακας με μοριακό τύπο C_6H_6 . Έχει ιδιόζουσα γλυκιά μυρωδιά, είναι πολύ εύφλεκτο και πηπτικό, διαλύεται ελάχιστα στο νερό και καίγεται με ζωηρή φλόγα και καπνό. Στις συνηθισμένες συνθήκες (θερμοκρασία $25^\circ C$ και πίεση 1 atm), το βενζόλιο είναι ένα άχρωμο και πολύ εύφλεκτο υγρό. Αποτελεί σε μικρό ποσοστό το συστατικό πολλών πετρελαιοειδών και έχει υψηλό βαθμό οκτανίου (το καθαρό βενζόλιο αντιστοιχεί σε 150 βαθμούς οκτανίου), ώστε να αποτελεί σημαντικό συστατικό σε καύσιμα MEK. Το βενζόλιο βρίσκεται στην κοινή βενζίνη, στις οποίας τη μάζα η περιεκτικότητα δεν μπορεί να υπερβαίνει το 1,5% κατ' όγκο, στο αργό πετρέλαιο στο οποίο περιέχεται έως 1% κατ' όγκο, στις νάφθες, στους αιθέρες κ.ά.. Οι μη βιομηχανικές εφαρμογές του βενζολίου είναι περιορισμένες, διότι είναι γνωστή καρκινογόνος ουσία.

Τα κοινά Δ/Ξ μπορούν να μεταφέρουν φορτία που περιέχουν βενζόλιο, μόνο εάν η περιεκτικότητά του κατ' όγκο είναι έως 10%, διαφορετικά εάν η περιεκτικότητά του υπερβαίνει το 10%, τα φορτία συμπεριλαμβάνονται στον χημικό κώδικα του IMO.

Οι τρόποι που το βενζόλιο μπορεί να εισέλθει στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η **εισπνοή** και η **επαφή** με το δέρμα. Όταν εισπνέεται, μπορεί να προκαλέσει ζάλη, ταχυκαρδία, πονοκεφάλους, σύγχυση, αναισθησία, ακόμα και θάνατο. Επίσης, όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα τρόφιμα μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό, ζάλη, ταχυκαρδία, τάση για εμετό, σπασμούς και θάνατο. Μακροχρόνια έκθεση σε βενζόλιο προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και κυρίως στο αίμα, προκαλώντας διάφορους τύπους λευχαιμίας, κυτταροπε-

νίες, λεμφώματα, μυελώματα κ.ά., καταστροφή του μυελού των οστών και αναιμίας. Επίσης, μπορεί να προκαλέσει υπερβολική αιμορραγία και να μειώσει την αντοχή του ανοσοποιητικού συστήματος.

Ο IMO έχει θεσπίσει τις ελάχιστες προφυλάξεις για τα πλοία που μεταφέρουν χύδην υγρά φορτία που περιέχουν βενζόλιο σε ποσοστό 0,5% ή και περισσότερο. Αυτές καλύπτουν πληροφορίες για το φορτίο και τη μεταφορά του από το MSDS, τα όρια της εκθέσεως των εργαζομένων, την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, τα μέσα ατομικής προστασίας και τη συντήρησή του, την ιατρική παρακολούθηση και τις προφυλάξεις κατά τη διάρκεια της φορτοεκφορτώσεως. Ο IMO αναφέρει ότι η TLV-TWA για το βενζόλιο είναι 1 ppm σε διάστημα 8 ωρών, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα με σκοπό την ελαχιστοποίηση του ποσοστού της συγκεντρώσεως αερίων στους χώρους εργασίας.

Επίσης, αναφέρεται η αναγκαιότητα και η υποχρέωση του προσωπικού να χρησιμοποιεί αναπνευστικό προστατευτικό εξοπλισμό όταν:

- α) Διατρέχει τον κίνδυνο να εκτεθεί σε ατμούς βενζολίου που υπερβαίνουν την TLV-TWA.
- β) Τα όρια TLV-TWAs, που ορίζονται από τις αρχές, είναι πιθανό να είναι μεγαλύτερα.
- γ) Δεν υπάρχουν τα μέσα ελέγχου των ατμών.
- δ) Για οποιονδήποτε λόγο οι εργασίες πραγματοποιούνται χωρίς να είναι κλειστά τα ανοίγματα των δεξαμενών.

Στο πλαίσιο της προστασίας από την έκθεση σε ατμούς βενζολίου η είσοδος σε μία δεξαμενή, στην οποία πρόσφατα είχε μεταφερθεί φορτίο που περιείχε βενζόλιο δεν επιτρέπεται εάν η δεξαμενή δεν έχει αρχικά εξαεριστεί, ώστε ο μετρητής ευφλέκτων αερίων να έχει ένδειξη όχι περισσότερο του 1%. Στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνει έλεγχος με τη χρήση του μετρητή τοξικότητας, ώστε να επιβεβαιώνεται ότι η συγκέντρωση των ατμών βενζολίου δεν υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια εκθέσεως.

¹ Η κλειστή φορτοεκφόρτωση (closed loading) αφορά στις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται, στα δίκτυα, στις προϋποθέσεις και στις συσκευές που πρέπει να έχει ένα Δ/Ξ, ώστε κατά την φορτοεκφόρτωση των φορτίων που περιέχουν τοξικές ουσίες το πλήρωμα να εκτεθεί το λιγότερο δυνατόν σε αυτές π.χ. η εκτόνωση των αερίων της ατμόσφαιρας των δεξαμενών να πραγματοποιείται από υψηλής ταχύτητας εξαεριστικό, η δειγματοληψία και οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται μέσω διατάξεων που δεν απαιτούν να ανοίξουν οι μετρητές των δεξαμενών κ.ά.).

² Η μέτρηση και δειγματοληψία φορτίων που περιέχουν τοξικές ουσίες αφορά σε διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται από τον Πλοίαρχο, το πλήρωμα και τις εγκαταστάσεις ξηράς, που εξυπηρετούν τα Δ/Ξ μεταφοράς τοξικών φορτίων και περιλαμβάνουν τους τρόπους μετρήσεως των δεξαμενών, τη δειγματοληψία, την ενημέρωση των επιθεωρητών και την ενημέρωση και από τις δύο πλευρές για την ποιότητα του φορτίου.



17.1 Υγροποιημένα φορτία.

Υγροποιημένο (liquefied) αέριο ονομάζεται η υγρή μορφή μίας ουσίας, η οποία σε συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσεως περιβάλλοντος είναι αέριο. Τα περισσότερα υγροποιημένα αέρια είναι υδρογονάνθρακες και ως γνωστό η βασική ιδιότητα των υδρογονανθράκων είναι ότι αποτελούν κύρια πηγή ενέργειας ανά τον κόσμο, ενώ ταυτόχρονα λόγω της ευφλεκτότητάς τους καθίστανται επικίνδυνοι. Γι' αυτό, για τα υγροποιημένα αέρια, επειδή διακινούνται σε μεγάλες ποσότητες, είναι επιτακτική ανάγκη να λαμβάνονται όλα τα πρακτικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των διαρροών. Επί πλέον θα πρέπει επιμελώς να πραγματοποιούνται οι απαιτούμενες ενέργειες, που ως σκοπό έχουν τον περιορισμό όλων των πηγών αναφλέξεως.

Η πιο σημαντική ιδιότητα ενός υγροποιημένου αερίου, σε σχέση με την άντληση και την αποθήκευσή του, είναι η πίεση των κορεσμένων ατμών του. Αυτή είναι η απόλυτη πίεση (P_a) που ασκείται όταν το υγρό είναι σε ισορροπία με τους δικούς του ατμούς σε μία δεδομένη θερμοκρασία. Ο IMO, στο πλαίσιο του Κώδικα Μεταφοράς Αερίων από πλοία, αναφορικά με την πίεση κορεσμένων ατμών σε δεδομένη θερμοκρασία έχει υιοθετήσει τον ακόλουθο ορισμό για τα κύδην υγροποιημένα αέρια, που μεταφέρονται από τα πλοία:

«Υγροποιημένα αέρια είναι τα υγρά με απόλυτη πίεση¹ ατμών μεγαλύτερη από 2,8 bar σε θερμοκρασία 37,8°C».

Τα υγροποιημένα αέρια χωρίζονται σε διάφορες ομάδες με βάση το σημείο βρασμού τους, τους χημικούς δεσμούς τους, την τοξικότητα και την ευφλεκτότητά τους. Αντίστοιχα, οι διάφορες ομάδες των αερίων έχουν οδηγήσει στην ανάγκη δημιουργίας διαφορετικών τύπων δεξαμενών, ικανών να αποθηκεύσουν το φορτίο για τη μεταφορά, και κατά συνέπεια τη δημιουργία διαφορετικών τύπων πλοίων.

Η μεταφορά των κύδην υγροποιημένων αερίων ξεκίνησε στα τέλη του 1920, με τη μεταφορά του προπανίου και του βουτανίου που πραγματοποιούνταν σε **δεξαμενές υπό πλήρη πίεση** (fully pressurised tanks). Το 1959 (περίπου) εισήλθαν στον κλάδο των θαλασσιών μεταφορών τα **πλοία με μέση πίεση** (semi-pressurized ships), επιτρέποντας τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου σε χαμηλότερη πίεση, η οποία κατέστη δυνατή με τη μείωση της θερμοκρασίας. Το 1963 ξεκίνησε η δημιουργία **πλοίων με πλήρη ψύξη** (fully refrigerated ships), τα οποία είχαν την δυνατότητα μεταφοράς φορτίων σε ατμοσφαιρική πίεση και προορίζονταν για τη μεταφορά φορτίων Liquefied Petroleum Gas – LPG, Liquefied Natural Gas – LNG και ορισμένων χημικών αερίων. Σήμερα, τα υγροποιημένα αέρια μεταφέρονται με πλοία είτε με ατμοσφαιρική πίεση λιγότερη από 0,7 bars (σε πλήρη ψύξη), είτε σε ενδιάμεση πίεση από 0,5 bars έως 11 bars (με ελεγχόμενη θερμοκρασία), είτε με πλήρη πίεση μεγαλύτερη από 11 bars (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος), κάτι που εξαρτάται απ' την κατασκευή και την αντοχή σε πίεση των δεξαμενών και των εγκαταστάσεων που διαθέτει το πλοίο, το οποίο θα μεταφέρει το φορτίο.

Το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει διεθνώς τις θαλάσσιες μεταφορές κύδην υγροποιημένων αερίων όσον αφορά στην ασφάλεια και στις προδιαγραφές των πλοίων καθορίζεται από τον IMO, με πρότυπα που καθορίζονται μέσα από τους κώδικες του IMO για τα Πλοία Μεταφοράς Αερίων καλύπτοντας τον σχεδιασμό, την κατασκευή και άλλα μέτρα ασφαλείας. Περαιτέρω ο IMO, με σκοπό να οριοθετήσει τις απαιτήσεις κατά τη μεταφορά των υγροποιημένων αερίων που προκύπτουν από τις ιδιότητές τους, τα χωρίζει στις ακόλουθες ομάδες:

α) Το **υγροποιημένο αέριο πετρελαίου** (Liquefied Petroleum Gas – LPG), που παράγεται από ατμούς υγρών πετρελαϊκών προϊόντων, από πετρε-

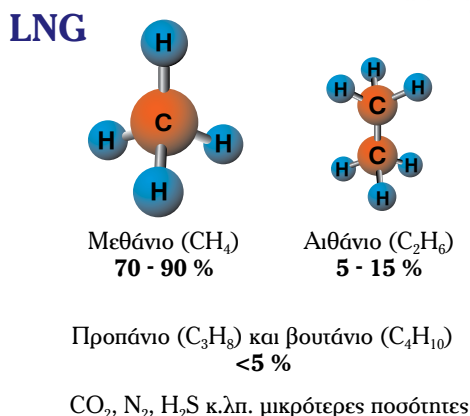
¹ Απόλυτη πίεση χαρακτηρίζεται εκείνη που ως αρχή μετρήσεως έχει το τέλειο ή απόλυτο κενό και δίνεται ως $P_{\text{absolute}} = P_{\text{gage}} + P_{\text{ατμοσφαιρική}}$.

λαϊκά υγρά αέρια ή από το ακατέργαστο πετρέλαιο, το οποίο λαμβάνεται είτε κατά τη διάρκεια της διύλισης ως παράγωγο του πετρελαίου, είτε απ' ευθείας από φυσικές πηγές αερίων. Ως LPG ορίζεται το προπάνιο (C_3H_8), το βουτάνιο (C_4H_{10}) ή ένα μείγμα τους. Οι θαλάσσιες μεταφορές των μεγαλύτερων ποσοτήτων LPG πραγματοποιούνται από υγραεριοφόρα πλοία με υψηλής πίεσης δεξαμενές, τα οποία δραστηριοποιούνται κυρίως σε παράκτιες περιοχές. Ορισμένα LPG μπορεί να μεταφέρονται και από μέσης πίεσης υγραεριοφόρα. Το φορτίο LPG δύναται να ψύχεται με νερό, που στα περισσότερα υγραεριοφόρα πραγματοποιείται από τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις άμεσης ψύξεως, στις οποίες επιτυγχάνεται η συμπύκνωση του αερίου από το νερό. Τα LPG χρησιμοποιούνται κυρίως με σκοπό την παραγωγή ενέργειας σε εργοστάσια και στη βιομηχανία πετροχημικών, ενώ οι μεταφορές των φορτίων πραγματοποιούνται κυρίως από τον Περσικό Κόλπο προς την Ιαπωνία και την Κορέα, από τη βορειοδυτική Ευρώπη προς τις ΗΠΑ και από τη δυτική Μεσόγειο προς τις ΗΠΑ και τη Βορειοδυτική Ευρώπη.

β) Το **υγροποιημένο φυσικό αέριο** (Liquefied Natural Gas – LNG), που αποτελείται από μεθάνιο, με χαμηλές συγκεντρώσεις νερού, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου, ορισμένων ενώσεων του θείου και υδρογονανθράκων όπως αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο (σχ. 17.1). Το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου του LNG μεταφέρεται από αγωγούς αερίου, π.χ. από τα κοιτάσματα στη Βόρεια Θάλασσα, στην Ιταλία και την Ισπανία, ενώ η μεταφορά του με πλοία αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό. Η μεταφορά του γίνεται σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασία κάτω απ' το σημείο

βρασμού του στους -161°C . Έτσι, απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος των άλλων ενώσεων, ώστε κατά κύριο λόγο μένει το μεθάνιο με μικρές ποσότητες των υδρογονανθράκων. Όταν ψύχεται για τη μεταφορά του στους -161°C έως -163°C , γίνεται ένα διαυγές, μη τοξικό, άχρωμο και άοσμο υγρό. Το ειδικό βάρος του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), είναι σχεδόν το μισό από το ειδικό βάρος του νερού, έτσι ώστε να επιπλέει σε περίπτωση απορρίψεώς του στη θάλασσα. Λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που απαιτούνται για τη μεταφορά του LNG, χρησιμοποιούνται ειδικά πλοία τα **LNGCs** (Liquefied Natural Gas Carriers), τα οποία ονομάζονται και **πλοία μεταφοράς μεθανίου** (methane ships) ή λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών **κρυογενικά Δ/Ε** (cryogenic tankers), που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των χαμηλών θερμοκρασιών του φορτίου. Διαθέτουν 4 ή 5 δεξαμενές, συμπιεστές, θερμαντήρες και εξατμιστές. Σκοπός των εγκαταστάσεων και των κατασκευαστικών ιδιοτεροτήτων των πλοίων αυτών είναι, κατά τη μεταφορά του LNG, να περιορίζεται η ποσότητα του φορτίου που θα φτάσει στο σημείο βρασμού (Boil Off Gas – BOG) και θα εξατμιστεί. Όμως, παρά τις λειτουργικές διαδικασίες που ακολουθούνται, ώστε να διατηρηθεί η χαμηλή θερμοκρασία του φορτίου, η εξατμηση είναι αναπόφευκτη. Προκειμένου να ελεγχθεί η αύξηση της πίεσης στις δεξαμενές από την εξατμηση του φορτίου, ένα μέρος της ποσότητας του αερίου που φτάνει στο σημείο βρασμού επανυγροποιείται σε εγκαταστάσεις επανυγροποίησης (re-liquefaction plant), ενώ ένα μέρος καίγεται στον λέβητα παραγωγής ατμού για τους στροβίλους του πλοίου ή σε μηχανές **διπλού καυσίμου** (dual fuel), συμπληρώνοντας την ποσότητα καυσίμου του πλοίου.

γ) Το **φυσικό υγρό αέριο** ή **υγρό αέριο** (Natural Gas Liquid ή wet gas – NGL), που είναι το διαλυμένο αέριο, το οποίο υπάρχει στο ακατέργαστο πετρέλαιο και διαχωρίζεται κατά τη διύλιση του ακατέργαστου πετρελαίου. Η σύνθεση του υγρού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή του ακατέργαστου πετρελαίου και αποτελείται από αιθάνιο, πεντάνιο και βαρύτερα κλάσματα υδρογονανθράκων ή μείγμα αυτών. Η μεταφορά του γίνεται κυρίως από **πλοία με υψηλή πίεση** (pressure gas carriers) και **μέσης πίεσης** (semi-pressurised gas carriers). Για τη μεταφορά ειδικά του αιθανίου χρησιμοποιούνται πλοία μέσης πίεσης, τα οποία έχουν μονάδες άμεσης ψύξεως με σύστημα ψύξεως σταδιακής (διαδοχικής) μείωσης της θερμοκρασίας (cascade cooling plants) επιτρέπο-



Σχ. 17.1

Σύσταση κατ' όγκο του LNG.

ντας τη μεταφορά φορτίου στη χαμηλή θερμοκρασία των -104°C . Αυτό συμβαίνει επειδή από τις ιδιότητές του το αιθάνιο έχει σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση -89°C και δημιουργεί πολύ υψηλή πίεση κατά τη συμπύκνωση αν χρησιμοποιηθεί νερό ως ψυκτικό μέσο. Ως εκ τούτου το φορτίο συμπυκνώνεται με τη χρήση ψυκτικού μέσου με σημείο ζέσεως σε ατμοσφαιρική πίεση χαμηλότερη των -20°C .

δ) Το **υγροποιημένο αέριο αιθυλένιο** [Liquefied Ethylene (C_2H_4) Gas – LEG], που δεν είναι ένα φυσικό προϊόν, αλλά παράγεται από υγρά αερίων, όπως το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο ή και από τη νάφθα. Το αιθυλένιο έχει σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση $-103,8^{\circ}\text{C}$. Ως εκ τούτου μεταφέρεται από πλοία εξοπλισμένα με δεξαμενές, που μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτήν τη χαμηλή θερμοκρασία και διαθέτουν πολύ ισχυρές ψυκτικές εγκαταστάσεις επανυγροποιήσεως. Αυτές μπορούν να συμπυκνώσουν το αιθυλένιο, διότι η **κρίσιμη θερμοκρασία**¹ του είναι $9,7^{\circ}\text{C}$, και δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το νερό για να συμπυκνωθεί. Τα Δ/Ξ που μεταφέρουν το αιθυλένιο, έχουν συνήθως ανεξάρτητες σφαιρικές δεξαμενές τύπου Moss [Independent self-supporting spherical tanks (τύπου B) βλ. κεφ. 10 Αεριοφόρα πλοία)] ή δεξαμενές μεμβράνης (Technigaz membrane type, non-self supporting tanks) και ορίζονται ως LPG/LEG υγραεριοφόρα. Το αιθυλένιο είναι πολύ εύφλεκτο με όριο ευφλεκτότητας από 2,5% έως 34% κατ' όγκο όταν αναμειγνύεται με τον αέρα, γι' αυτό και υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά στην περιεκτικότητα οξυγόνου στο αιθυλένιο. Ο όγκος του αιθυλενίου, για να διατηρηθεί το μείγμα κάτω από το κατώτερο όριο εκρήξεως (Lower Explosion Limit – LEL), πρέπει να είναι μικρότερος από το 2% στο μείγμα του αερίου. Συνήθως, υπάρχουν απαιτήσεις που ορίζουν ότι το ποσοστό οξυγόνου στο αέριο μείγμα πρέπει να είναι μικρότερο από 0,2%, με σκοπό την πρόληψη της ρυπάνσεως του φορτίου.

ε) Η **αμμωνία** (NH_3), που παράγεται απ' την καύση του υδρογόνου και του αζώτου υπό μεγάλη πίεση. Η αμμωνία είναι τοξικό και ερεθιστικό αέ-

ριο, έχει κατώτατη οριακή τιμή (Threshold Limit Value – TLV) τα 25 ppm και το κατώτατο όριο οσμής είναι στο 20 ppm. Αντιδρά στο νερό και υπάρχουν ειδικοί κανόνες για τα πλοία που μεταφέρουν αμμωνία στον Κώδικα Αερίων του IMO. Το φορτίο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, διότι όταν το αέριο αμμωνίας αναμειγνύεται με το νερό, δημιουργείται μείωση στην πίεση. Αυτό συμβαίνει διότι από 1 μέρος όγκου νερού απορροφώνται 200 μέρη όγκου ατμών αμμωνίας, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μείωση στην πίεση της δεξαμενής, εάν υπάρχει νερό μέσα σ' αυτήν και είναι κλειστά τα καλύμματα κυτών κατά τη φόρτωση.

Η αμμωνία δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με κράματα χαλκού, αλουμινίου, ψευδαργύρου και με γαλβανισμένες επιφάνειες. Επίσης, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται αδρανές αέριο κατά τον εξαερισμό των δεξαμενών που περιέχουν αμμωνία, διότι λόγω του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχει, σχηματίζεται καρβαμικό αμμώνιο ($\text{NH}_2\text{CO}_2\text{NH}_4$), το οποίο είναι μία σκόνη που μπορεί να φράξει γραμμές, βαλβίδες (επιστόμια) και άλλα μέρη του εξοπλισμού του πλοίου. Το σημείο βρασμού της αμμωνίας σε ατμοσφαιρική πίεση είναι -33°C και τα φορτία θα πρέπει να μεταφέρονται σε θερμοκρασία μικρότερη από -20°C . Αυτό παρέχει τη δυνατότητα να μπορεί η αμμωνία να ψυχθεί σε όλα τα είδη των εγκαταστάσεων ψύξεως φορτίου. Μεταφέρεται από Δ/Ξ ατμοσφαιρικής πίεσεως ή μέσης πίεσεως, που κατασκευάζονται και πιστοποιούνται σύμφωνα με τον Κώδικα για τη Μεταφορά Υγροποιημένων Αερίων IGC (The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) του IMO και ορίζονται ως Δ/Ξ υγροποιημένου αερίου αμμωνίας LPG/NH.

στ) Το **χλώριο** (Cl_2), που είναι πολύ τοξικό αέριο και μπορεί να παραχθεί από διάλυση χλωριούχου νατρίου με ηλεκτρόλυση. Λόγω της τοξικότητάς του μεταφέρεται σε μικρές ποσότητες που δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 1200 m^3 . Τα υγραεριοφόρα που μεταφέρουν χλώριο πρέπει να είναι τύπου 1G² με ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου C. Αυτό σημαίνει ότι η δεξαμενή φορτίου πρέπει να βρίσκεται σε από-

¹ Κρίσιμη θερμοκρασία (critical temperature) μίας ουσίας είναι η θερμοκρασία πάνω από την οποία δεν μπορεί να μετατραπεί ένα αέριο σε υγρό όσο και αν αυξάνεται η πίεση που της ασκείται, ενώ **κρίσιμη πίεση** (critical pressure) είναι η πίεση που ασκείται για να υγροποιηθεί ένα αέριο στην κρίσιμη θερμοκρασία.

² Τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες με βάση τους ενδεχόμενους κινδύνους που εξαρτώνται από το είδος του φορτίου που μεταφέρουν. Ως εκ τούτου, διακρίνονται σε:

α) Τύπου 1G, σχεδιασμένα να μεταφέρουν τα πιο επικίνδυνα φορτία.

β) Τύπου 2G, σχεδιασμένα για μεταφορά φορτίων σε μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας, και

γ) τύπου 3G, για τη μεταφορά φορτίων με τον μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας.

σταση από την πλευρά του πλοίου B/5 (Πλάτος/5, Breadth/5) με ελάχιστο όριο τα 11,5 m. Η ψύξη του χλώριου απαιτεί έμμεσες εγκαταστάσεις ψύξεως φορτίου και η διαφορά του με τα άλλα αέρια που μεταφέρονται με υγραεριοφόρα πλοία είναι ότι το χλώριο δεν είναι εύφλεκτο.

Ζ) Τα **χημικά αέρια** (chemical gases), που αναφέρονται εδώ είναι τα αέρια που παράγονται με χημικές μεθόδους και ορίζονται στους κανόνες του IMO ως συμπυκνωμένα αέρια. Λόγω του σημείου βρασμού των αερίων σε ατμοσφαιρική πίεση και των ειδικών απαιτήσεων για τον έλεγχο της θερμοκρασίας τους, τα αέρια αυτά θα πρέπει να μεταφέρονται με υγραεριοφόρα πλοία, όπως ορίζεται από τον Κώδικα Αερίων του IMO. Συνοπτικά, αυτά τα αέρια σε πιέσεις ατμών άνω των 2,8 bar και θερμοκρασία 37,8°C είναι υγροποιημένα. Ως επί το πλείστον σε αυτά τα χημικά αέρια περιλαμβάνονται το οξείδιο του αιθυλενίου, το προπυλένιο, το βουταδένιο και το VCM (vinyl chloride monomer).

Γ' αυτά ισχύουν οι αυστηρές απαιτήσεις για χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο στην ατμόσφαιρα της δεξαμενής φορτίου, που συχνά πρέπει να είναι κάτω από 0,2% κατ' όγκο. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί άζωτο κατά την προετοιμασία των δεξαμενών φορτίου, πριν απ' τη φόρτωση των εν λόγω προϊόντων. Τα υγραεριοφόρα που επιτρέπεται να μεταφέρουν οξείδιο του αιθυλενίου ή οξείδιο του προπυλενίου πρέπει να είναι πιστοποιημένα και ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτόν. Τα φορτία οξειδίου του αιθυλενίου και οξειδίου του προπυλενίου έχουν σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση 11°C και 34°C αντίστοιχα. Συνεπώς, είναι δύσκολο να μεταφερθούν σε Δ/Ξ χωρίς έμμεσες εγκαταστάσεις ψύξεως φορτίου, ενώ μπορεί να εκτεθούν σε υψηλή θερμοκρασία (πάνω από την κρίσιμη) και ως εκ τούτου δεν είναι δυνατόν να συμπίεστούν σε εγκατάσταση άμεσης ψύξεως του φορτίου. Ειδικά το οξείδιο του αιθυλενίου πρέπει να μεταφέρεται από υγραεριοφόρα Δ/Ξ τύπου 1G. Τα χημικά αέρια, όπως το προπυλένιο, το βουταδιένιο και το VCM, μεταφέρονται από Δ/Ξ μεσαίου μεγέθους ατμοσφαιρικής πίεσεως σε ποσότητες από 12.000 m³ έως 56.000 m³, ενώ μπορεί για μικρότερες ποσότητες που κυμαίνονται από 2500 m³ έως 15.000 m³ να χρησιμοποιούνται πλοία μέσης πίεσεως.

17.2 Μέθοδοι μεταφοράς.

Οι μέθοδοι μεταφοράς που ακολουθούνται για τα υγροποιημένα φορτία, εξαρτώνται απ' τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του φορτίου που δεν επιτρέπουν τη μεταφορά του σε αέρια μορφή, αλλά σε υγρή. Η μεταφορά πραγματοποιείται είτε διατηρώντας την πίεση του φορτίου μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, είτε διατηρώντας τη θερμοκρασία του φορτίου κάτω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Μερικές φορές οι δύο αυτές μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό, εξυπηρετώντας τις ανάγκες που απαιτούνται απ' το είδος του φορτίου που μεταφέρεται. Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω μεθόδους, τα υγραεριοφόρα πλοία ταξινομούνται σε έξι κατηγορίες ανάλογα με το φορτίο, τις συνθήκες και τη μέθοδο μεταφοράς σε:

- α) Πλήρους πίεσεως (fully pressurised ships).
- β) Μέσης ψύξεως – μέσης πίεσεως (semi-refrigerated/semi-pressurised ships).
- γ) Μέσης πίεσεως – πλήρους ψύξεως (semi-pressurised/fully refrigerated ships).
- δ) Πλήρους ψύξεως υγροποιημένου αερίου πετρελαίου (fully refrigerated LPG ships).
- ε) Πλοία αιθυλενίου (ethylene ships).
- στ) Πλοία υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG ships).

Οι τρεις πρώτοι τύποι πλοίων είναι οι πλέον κατάλληλοι για τη μεταφορά μικρής ποσότητας φορτίων υγραερίου και χημικών αερίων στη **Ναυτιλία μικρών αποστάσεων**¹ και σε μεταφορές κοντά σε θαλάσσιες ακτές. Αντίθετα ο τύπος πλοίου (δ) χρησιμοποιείται ευρέως για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φορτίων υγραερίου και αμμωνίας στις υπεράκτιες διαδρομές.

Αναλυτικότερα:

α) **Πλοία πλήρους πίεσεως** (fully pressurised ships). Στα πλοία αυτά ακολουθείται η απλούστερη απ' όλες τις μεθόδους μεταφοράς υγραερίων, όσον αφορά στα συστήματα συγκρατήσεως του αερίου και τον εξοπλισμό μεταφοράς του φορτίου, το οποίο μεταφέρεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (βλ. σχ. 10.1α, σελ. 248). Οι δεξαμενές που διαθέτουν είναι κατάλληλες για υψηλές πιέσεις τύπου C, κατασκευασμένες από χάλυβα με τυπική πίεση σχεδιασμού 17,5 barg, η οποία αντιστοιχεί στην πίεση ατμών του προπανίου στους 45°C (συνθήκες κατάλληλες για τη

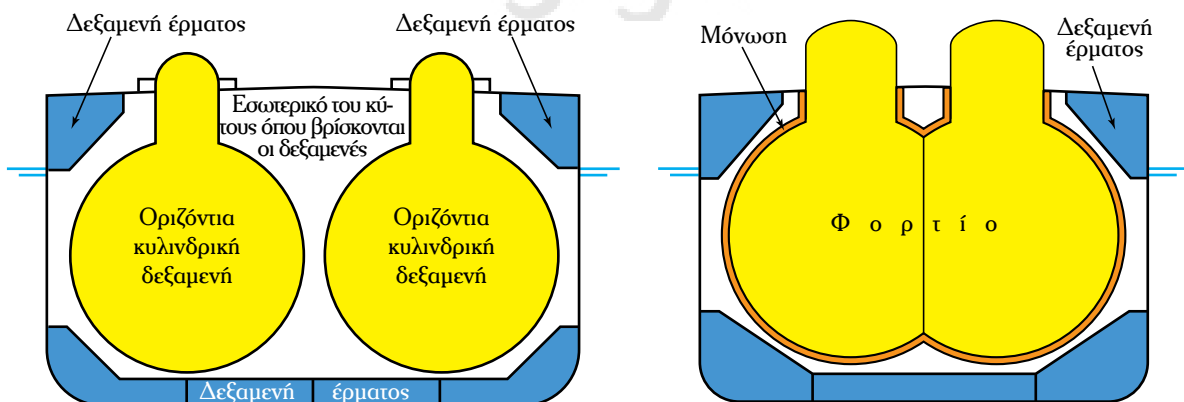
¹ Η Ναυτιλία μικρών αποστάσεων περιλαμβάνει τις θαλάσσιες μεταφορές, κατά την εκτέλεση των οποίων τα πλοία δεν διασχίζουν ωκεανούς.

διαχείριση του προπανίου). Πλοία που κατασκευάζονται για να αντέχουν σε υψηλότερες πιέσεις συναντώνται συχνά με πίεση σχεδιασμού στα 18 barg, ενώ λιγότερα είναι κατασκευασμένα για πιέσεις λειτουργίας στα 20 barg. Για τη μεταφορά του φορτίου δεν απαιτείται θερμομόνωση ή σύστημα επανυγροποιήσεως και η εκφόρτωση πραγματοποιείται με αντλίες ή με συμπιεστές. Λόγω του σχεδιασμού τους για αντοχή σε υψηλές πιέσεις, τα πλοία πλήρους πίεσεως έχουν εξαιρετικά μεγάλο βάρος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η μέγιστη χωρητικότητά τους, η οποία κυμαίνεται από 500 έως 6000 m³. Τα τελευταία χρόνια (στην Ιαπωνία μεταξύ 2003 και 2013) έχει κατασκευαστεί μια σειρά από μεγαλύτερης χωρητικότητας πλοία πλήρους πίεσεως, τα οποία φτάνουν έως τα 10.800 m³. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μεταφορά LPG και αμμωνίας, ενώ για τον ερματισμό τους χρησιμοποιούνται οι δεξαμενές στο διπλό πυθμένα και οι πλευρικές δεξαμενές κάτω απ' το κατάστρωμα (top wing tanks). Επειδή οι δεξαμενές που διαθέτουν τα πλοία είναι τύπου C (βλ. παράγρ. 10.3.1, σελ. 249), δεν υπάρχουν διαφράγματα και δευτερεύοντα συστήματα συγκρατήσεως, με αποτέλεσμα ο χώρος του κύτους (hold space) να μπορεί να αερίζεται με ατμοσφαιρικό αέρα. Το σχήμα 17.2α παρουσιάζει την τομή ενός τυπικού πλοίου με πλήρη πίεση.

β) **Πλοία μέσης ψύξεως – μέσης πίεσεως** (semi-refrigerated/semi-pressurised ships). Τα πλοία αυτά είναι παρόμοια με τα πλοία πλήρους πίεσεως, διότι ενσωματώνουν δεξαμενές τύπου C. Σ' αυτήν την περίπτωση όμως είναι σχεδιασμένες για μέγιστη πίεση λειτουργίας από 5 έως 7 barg. Τα μέγεθός τους φτάνει τα 7.500 m³ και κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά LPG. Σε σύγκριση με τα πλοία πλήρους πίεσεως έχουν μειωμένο πάχος

στα τοιχώματα των δεξαμενών, η οποία είναι δυνατή λόγω της μειωμένης πίεσεως κατά τη μεταφορά του φορτίου. Όμως συγκριτικά με το κόστος η διαφοροποίηση είναι μικρή λόγω της προσθήκης των ψυκτικών εγκαταστάσεων και της μονώσεως των δεξαμενών που απαιτείται. Οι κυλινδρικού, κωνικού ή σφαιρικού σχήματος δεξαμενές κατασκευάζονται από χάλυβα που αντέχει σε θερμοκρασία που φθάνει μέχρι τους -10°C.

γ) **Πλοία μέσης πίεσεως – πλήρους ψύξεως** (semi-pressurised/fully refrigerated ships). Η κατασκευαστική κλίμακα μεγέθους αυτών των πλοίων κυμαίνεται για μεταφορά φορτίων από 1.500 έως 30.000 m³ καθιστώντας αυτού του τύπου τα πλοία ως το βέλτιστο μέσο μεταφοράς, που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα από LPG και VCM μέχρι προπυλένιο και βουταδιένιο, φορτία που μεταφέρονται συχνά στην περιοχή της Μεσογείου και της Βόρειας Ευρώπης. Οι δεξαμενές στα πλοία μέσης πίεσεως – πλήρους ψύξεως τύπου C είναι ανθεκτικές σε πίεση (σχ. 17.2β) και ως εκ τούτου δεν απαιτούνται δευτερεύοντα διαφράγματα (barriers). Το υλικό κατασκευής των δεξαμενών είναι είτε χάλυβας ανθεκτικός στη χαμηλή θερμοκρασία μεταφοράς του φορτίου (στους -48°C), δίνοντας τη δυνατότητα τα πλοία αυτά να είναι κατάλληλα για τα περισσότερα φορτία LPG και τα χημικά αέρια, είτε ειδικά κράματα χάλυβα ή αλουμινίου, που επιτρέπουν τη μεταφορά του αιθυλενίου στους -104°C (βλ. επίσης τα πλοία αιθυλενίου). Το ευέλικτο σύστημα των πλοίων μέσης πίεσεως – πλήρους ψύξεως έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να επιτρέπεται η φόρτωση ή η εκφόρτωση σε εγκαταστάσεις όπου το φορτίο αποθηκεύεται είτε υπό πίεση είτε υπό ψύξη.



Σχ. 17.2α

Τομή πλοίου με δεξαμενές τύπου C, μεταφοράς υγροποιημένου αερίου με πλήρη πίεση.

δ) **Πλοία πλήρους ψύξεως υγροποιημένου αερίου πετρελαίου** (fully refrigerated LPG ships). Στα πλοία αυτά η μεταφορά του φορτίου πραγματοποιείται περίπου σε ατμοσφαιρική πίεση και συνήθως είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες αμμωνίας και βουτανίου.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση κατά τη μεταφορά του φορτίου στα πλοία αυτά είναι με:

- Ανεξάρτητες δεξαμενές σε πλοία διπλού τοιχώματος.
- Ανεξάρτητες δεξαμενές σε πλοία μονού τοιχώματος, αλλά διπλού πυθμένα και δεξαμενές σε σχήμα κοάνης (hopper tanks).
- Ενιαίες δεξαμενές σε πλοία, που έχουν διπλό κύτος, και
- δεξαμενές τύπου ημιμεμβράνης (semi-membrane tanks), τα οποία επίσης έχουν διπλό τοίχωμα.

Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη διάταξη είναι σε πλοία μονού κύτους με ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου Α (βλ. παράγρ. 10.3.1) σε πρισματικό σχήμα και ικανότητα να αντέχει σε μέγιστη πίεση λειτουργίας τα 0,7 barg (σχ. 17.2γ). Οι δεξαμενές κατασκευάζονται από χάλυβα με 3,5% nickel steel, που τους παρέχει την δυνατότητα να αντεπεξέλθουν στις χαμηλές θερμοκρασίες των -45°C του φορτίου, ενώ η μεταφορική τους ικανότητα είναι από 10.000 έως 100.000 m^3 . Ένα τυπικό πλοίο έχει μέχρι έξι δεξαμενές φορτίου, με κάθε δεξαμενή εφοδιασμένη με εγκάρσιες φρακτές και ένα διάμηκες διάφραγμα (φρακτή) στο κέντρο, που βελτιώνει την ευστάθεια του πλοίου (λόγω της επιδράσεως των μικροτέρων ελευθέρων επιφανειών). Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας μεταφοράς του φορτίου, τα πλοία είναι εφοδιασμένα με σύστημα επανυγροποιήσεως και στις δεξαμενές υπάρχει θερμομόνωση.

ε) **Πλοία αιθυλενίου** (ethylene ships). Τα πλοία αυτά κατασκευάζονται για τη μεταφορά συγκεκριμένου φορτίου και με μεταφορική ικανότητα που κυμαίνεται από 1.000 έως 30.000 m^3 . Το φορτίο μεταφέρεται σε πλήρη ψύξη, σε θερμοκρασία του σημείου ζέσεως -104°C . Οι δεξαμενές συνήθως είναι τύπου C χωρίς ενδιάμεσα διαφράγματα, τα οποία απαιτούνται σε περίπτωση που οι δεξαμενές είναι τύπου B (βλ. παράγρ. 10.3.1). Τα πλοία είναι εφοδιασμένα με εγκαταστάσεις επανυγροποιήσεως και οι δεξαμενές έχουν θερμομόνωση. Πολλά πλοία μεταφοράς αιθυλενίου μπορεί να μεταφέρουν

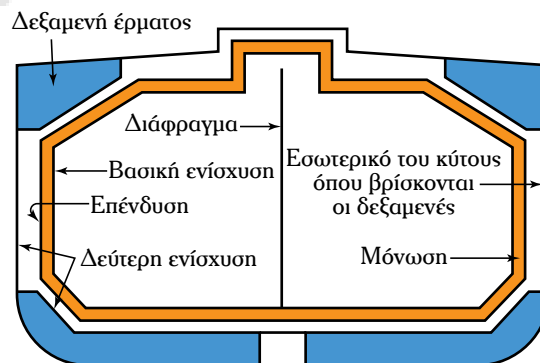
και LPG φορτία αυξάνοντας έτσι την ευελιξία στη χρήση τους. Ο ερματισμός των πλοίων γίνεται στις δεξαμενές διπυθμένων και στις δεξαμενές έρματος κάτω από το κατάστρωμα στις πλευρές του πλοίου (wing ballast tanks), ενώ αν οι δεξαμενές είναι τύπου Α, Β ή C και το φορτίο μεταφέρεται σε θερμοκρασία κάτω των -55°C , απαιτείται τα πλοία να είναι διπλού τοιχώματος.

στ) **Πλοία υγροποιημένου φυσικού αερίου** (LNG ships). Τα πλοία αυτά έχουν ναυπηγηθεί ειδικά για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας φυσικού αερίου σε υγρή μορφή υπό ψύξη, κάτω από τη θερμοκρασία ζέσεώς του. Δηλαδή η θερμοκρασία μεταφοράς του φυσικού αερίου κυμαίνεται στους -163°C , ενώ η θερμοκρασία ζέσεως του φυσικού αε-



Σχ. 17.2β

Τυπική τομή πλοίου μέσης πίεσεως-πλήρους ψύξεως με δεξαμενές τύπου C.



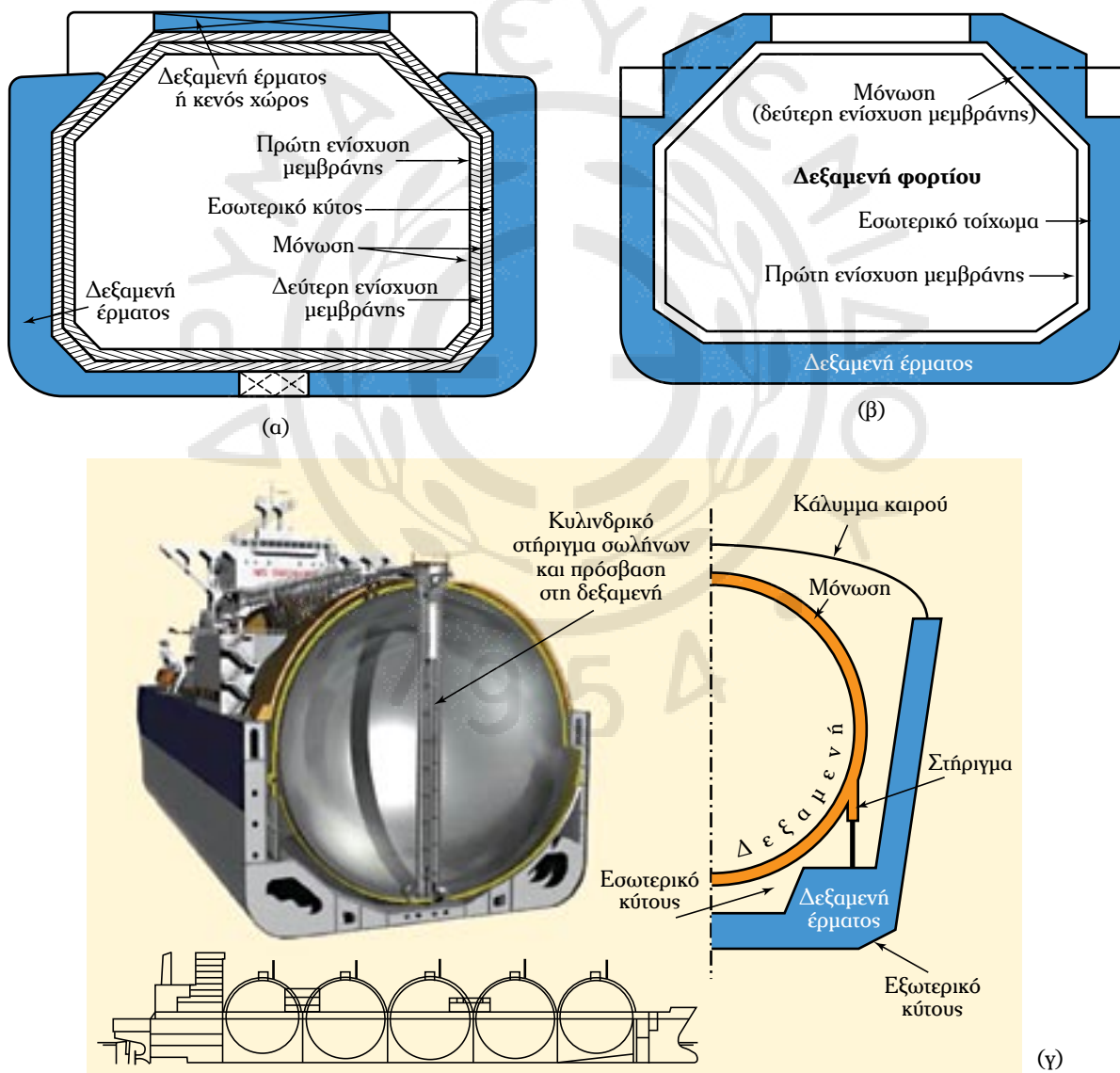
Σχ. 17.2γ

Τομή δεξαμενής πρισματικού τύπου A σε πλοίο πλήρους ψύξεως LPG.

ρίου είναι $-161,6^{\circ}\text{C}$. Οι δεξαμενές είναι μονωμένες, ώστε να ελαχιστοποιούν την εξατμισμό. Εντούτοις, το ποσοστό εξατμίσεως είναι μεταξύ 0,2 και 0,25% του φορτίου ανά ημέρα. Τα πλοία μεταφοράς LNG έχουν μεταφορική ικανότητα από 30.000 m^3 έως 200.000 m^3 . Συνήθως αυτού του είδους τα πλοία κατασκευάζονται για ναύλωση για συγκεκριμένα ταξίδια, όπου είναι πιθανό να παραμείνει για όλη την διάρκεια της λειτουργικής «ζωής» τους, που κυμαίνεται από 20–25 έτη. Εκτός από μερικές αξιοσημείωτες εξαιρέσεις που ναυπηγήθηκαν τα πρώτα χρόνια της μεταφοράς υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), τα πλοία σύμφωνα με τον τύπο των δεξαμενών τους

είναι τριών τύπων: τα Gaz Transport GTT 96 τύπου μεμβράνης [σχ. 17.28(α)], τα Technigaz Mark III τύπου μεμβράνης [σχ. 17.28(β)] και τα Kvaerner Moss με σφαιρικού σχήματος ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου B [σχ. 17.28(γ)].

Όλα τα πλοία LNG έχουν διπλό τοίχωμα σε όλο το μήκος τους, το οποίο παρέχει επαρκή χώρο για το έρμα. Άλλο ένα κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι κατά τη μεταφορά του φορτίου ένα μέρος του εξατμίζεται και χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε λέβητες ή μηχανές διπλού καυσίμου. Ο κενός χώρος του κύτους γύρω από τις δεξαμενές φορτίου είναι συνεχώς αδρανοποιημένος, με εξαίρεση την περίπτωση των



Σχ. 17.26

Τομή πλοίου με δεξαμενή (α) Gaz Transport GTT 96 τύπου μεμβράνης, (β) Technigaz Mark III τύπου μεμβράνης, (γ) Kvaerner Moss με σφαιρικού σχήματος ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου B.

σφαιρικών δεξαμενών τύπου Β. Σε αυτές, ο κενός χώρος μπορεί να γεμίσει με ξηρό αέρα υπό την υπόθεση ότι υπάρχουν επαρκή μέσα για την αδρανοποίησή του σε περίπτωση που ανιχνευθεί διαρροή φορτίου. Γι' αυτό απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της ατμόσφαιρας στον περιβάλλοντα χώρο των δεξαμενών.

Οι εγκαταστάσεις επανυγροποιήσεως του φορτίου, που εξυπηρετούσαν τις ανάγκες ψύξεώς του, λόγω του μεγάλου κόστους τους δεν αποτελούσαν κατά το παρελθόν βιώσιμη λύση. Η αύξηση όμως στην τιμή των καυσίμων και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών έχουν οδηγήσει τη ναυπηγική βιομηχανία στον σχεδιασμό και στην ναυπήγηση πλοίων με μεγαλύτερη μόνωση δεξαμενών [με σκοπό τον περιορισμό της εξατμίσεως του φορτίου (boil-off)], και στην εγκατάσταση συστημάτων επανυγροποιήσεως και μηχανών προώσεως εσωτερικής καύσεως με χρήση υγροποιημένου αερίου.

17.3 Κίνδυνοι μεταφοράς υγροποιημένων αερίων και φορτίων πετρελαιοειδών.

Τα υγραεριοφόρα μεταφέρουν το φορτίο στο σημείο ζέσεώς τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούν εύκολα ατμούς. Επί πλέον τα περισσότερα από αυτά τα φορτία έχουν παρόμοιες ιδιότητες. Κατά συνέπεια οι πιθανοί κίνδυνοι κατά τη μεταφορά τους είναι κοινοί. Σύμφωνα με τις ιδιότητες των υγροποιημένων αερίων, οι κίνδυνοι που προκύπτουν κατά τη μεταφορά τους είναι οι ακόλουθοι:

1) Κίνδυνοι από την ευφλεκτότητα του φορτίου.

Σχεδόν όλοι οι ατμοί των φορτίων είναι εύφλεκτοι, κατά συνέπεια όταν υπάρχει ανάφλεξη του φορτίου δεν είναι το υγρό που καίγεται, αλλά οι ατμοί του. Διαφορετικά φορτία εκλύουν διαφορετικές ποσότητες ατμών, που εξαρτώνται από τη σύνθεση και τη θερμοκρασία τους, ενώ το μείγμα για να αναφλεγεί και να καεί πρέπει να έχει ορισμένες αναλογίες σε σχέση με τον αέρα. Στα φορτία των υγραεριοφόρων πλοίων ο κίνδυνος της εκρήξεως και πυρκαγιάς λόγω της ευφλεκτότητας του μείγματος ατμών αερίου και αέρα περιορίζεται σημαντικά στο να υποστηρίξει μια πυρκαγιά, διότι το μείγμα είναι πολύ πλούσιο

σε εύφλεκτους ατμούς. Η μεταφορά των φορτίων στα υγραεριοφόρα πραγματοποιείται κοντά στο σημείο βρασμού, επομένως ο κίνδυνος που υπάρχει οφείλεται στην δυνατότητα να δημιουργηθούν ατμοί από διαρροή. Οι περισσότεροι είναι εύφλεκτοι και ορισμένοι από αυτούς έχουν την ιδιότητα αναφλέξεως, χωρίς να απαιτείται να αναμειχθούν με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Γι' αυτό στα υγραεριοφόρα, παρά την μικρή πιθανότητα διαρροής, που προλαμβάνεται από τον βέλτιστο σχεδιασμό και την κατασκευή τους, λαμβάνονται περαιτέρω αυστηρά προληπτικά μέτρα ασφαλείας. Αυτά τα μέτρα περιέχονται στον Κώδικα IGC (βλ. παράγρ. 10.7) και περιλαμβάνουν δημιουργία προθαλάμου για την είσοδο από το κατάρωμα σε χώρους, όπου είναι εγκατεστημένοι ηλεκτροκινητήρες, αεροσυμπιεστές, αντλίες κ.ά.. Ο προθάλαμος αυτός βρίσκεται συνεχώς υπό θετική πίεση¹, δημιουργώντας ένα φράγμα μεταξύ των εξωτερικών χώρων και του χώρου όπου υπάρχουν ηλεκτρικά μηχανήματα. Επίσης, η καύση ατμών φορτίου και αέρα έχει ως αποτέλεσμα την πολύ σημαντική αύξηση των αερίων, τα οποία εάν είναι εγκλωβισμένα στον κλειστό χώρο της δεξαμενής, μπορεί γρήγορα να οδηγήσουν σε αύξηση της πίεσεως στο σημείο της εκρηκτικής θραύσεως (διάρρηξη των τοιχωμάτων της δεξαμενής από την έκρηξη). Γι' αυτό, οι προφυλάξεις θα πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με τα κατώτερα και τα ανώτερα όρια ευφλεκτότητας, που είναι διαφορετικά για κάθε φορτίο.

2) Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία.

Οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία είναι οι εξής:

α) Κίνδυνος από την τοξικότητα του φορτίου:

Ορισμένα φορτία, όπως η αμμωνία, το VCM, τα οξείδια του αιθυλενίου και του προπυλενίου, αλλά και το χλώριο, είναι τοξικά, με αποτέλεσμα να μπορούν να προκαλέσουν προσωρινές ή μόνιμες βλάβες στην υγεία, όπως ερεθισμό, βλάβη των ιστών ή δυσλειτουργία του οργανισμού. Αυτοί οι κίνδυνοι ενδέχεται να προκύψουν λόγω της επαφής του υγρού ή των ατμών του φορτίου με το δέρμα, λόγω μιας ανοικτής πληγής, εισπνοής ή καταπόσεως. Γι' αυτό, θα πρέπει να αποφεύγεται η επαφή με οποιαδήποτε μορφή του φορτίου είτε είναι υγρό είτε αέριο. Η προστατευτική ενδυμασία πρέπει να χρησιμοποιείται υποχρεωτικά,

¹ Δηλ. σε υπερπίεση σε σχέση με τους περιβάλλοντες χώρους. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγεται η είσοδος αερίων από χώρους ατμοσφαιρικής πίεσεως.

όπως και οι αναπνευστικές συσκευές, εάν υπάρχει κίνδυνος εισπνοής τοξικών ατμών. Επί πλέον, ο εξοπλισμός ανιχνεύσεως τοξικών αερίων πρέπει να είναι ο ενδεικνυόμενος από τους κανονισμούς και να συντηρείται επιμελώς.

β) **Κίνδυνος ασφυξίας:** Ασφυξία, όπως γνωρίζουμε, υφίσταται όταν το αίμα δεν μπορεί να παρέχει επαρκή ποσότητα οξυγόνου στον εγκέφαλο. Τα υγροποιημένα αέρια, που είναι ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας, είναι εύφλεκτα και μπορεί να δημιουργήσουν νέφη ατμών αρκετά πυκνά, ώστε να προκαλέσουν ασφυξία. Ένα άτομο που έχει εκτεθεί σε ασφυκτικό περιβάλλον με ατμούς που προέρχονται από το φορτίο μπορεί να νιώσει πονοκέφαλο, ζάλη και αδυναμία συγκεντρώσεως, με επακόλουθο την απώλεια των αισθήσεων. Σε επαρκείς συγκεντρώσεις οποιαδήποτε ποσότητα ατμών μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, είτε αυτοί είναι τοξικοί είτε όχι. Η ασφυξία προλαμβάνεται με τη χρήση εξοπλισμού ανιχνεύσεως των ατμών φορτίου και του οξυγόνου και αναπνευστικών συσκευών.

γ) **Κίνδυνος αναισθησίας:** Η εισπνοή ορισμένων ατμών φορτίου (π.χ. οξείδιο του αιθυλενίου) μπορεί να προκαλέσει απώλεια των αισθήσεων. Ένα αναισθητικό άτομο ενδέχεται να αντιδράσει σε αισθητήρια ερεθίσματα, αλλά πιθανόν να επανέλθει με μεγάλη δυσκολία. Ο κίνδυνος αναισθησίας δύναται να αποφευχθεί, όπου είναι απαραίτητο, με τη χρήση ανιχνευτών της ποιότητας του αέρα της ατμόσφαιρας και με τη χρήση αναπνευστικών συσκευών.

δ) **Κίνδυνος για εγκαύματα από ψύχος (κρυοπαγήματα):** Πολλά φορτία είτε μεταφέρονται σε χαμηλή θερμοκρασία, είτε φτάνουν σε χαμηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια κάποιου σταδίου των εργασιών φορτοεκφορτώσεως. Η άμεση επαφή με το υγρό χαμηλής θερμοκρασίας και τους ατμούς του φορτίου ή η επαφή με εξοπλισμό και με σωλήνες χωρίς μόνωση, μπορεί να προκαλέσουν εγκαύματα λόγω ψύχους ή κρυοπαγήματα, ενώ η εισπνοή του ψυχρού ατμού μπορεί να βλάψει μόνιμα ορισμένα όργανα (π.χ. πνεύμονες). Έτσι, ο πάγος που μπορεί να αναπτυχθεί πάνω στις επιφάνειες του εξοπλισμού ή των σωλήνων χωρίς μόνωση υπό ορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος (που για το δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει ως μόνωση) είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για το άτομο που θα έρθει σε επαφή μ' αυτόν. Ο κατάλληλος προστατευτικός εξοπλισμός είναι το απαραίτητο μέσο για την πρόληψη των ανεπιθυμητών κινδύνων, λαμβάνοντας παράλληλα ιδιαίτερη μέρι-

μνα για τους δίσκους συλλογής συμπυκνωμάτων νερού στο κατάστρωμα, οι οποίοι μπορεί να περιέχουν υγρό φορτίο, με αποτέλεσμα να προκληθούν βλάβες από την επαφή κάποιου ατόμου με αυτό.

3) Κίνδυνοι για το περιβάλλον.

Τα υγροποιημένα φορτία σπάνια προκαλούν ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε περίπτωση ατυχήματος ή διαρροής. Αυτό οφείλεται στην άμεση εξάτμιση του φορτίου στην ατμόσφαιρα χωρίς να διαλύεται στο θαλάσσιο περιβάλλον, ενώ σε περίπτωση εκρήξεως, δεν μένουν υπολείμματα καύσεως. Ειδικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καύση φυσικού αερίου, σε σύγκριση με τα πετρελαιοειδή καύσιμα, που καίγονται στα υβριδικά μοντέλα μηχανών προώσεως διπλών καυσίμων (Dual Fuel Engines), μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) κατά 25–30% περίπου, τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) σχεδόν στο μηδέν και τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) περισσότερο από 80%. Σύμφωνα με αυτό είναι φανερό ότι εμφανίζει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με οποιοδήποτε ορυκτό καύσιμο. Περαιτέρω στα υγροαεριοφόρα δεν απαιτείται ο καθαρισμός των δεξαμενών φορτίου που αφήνει ακάθαρτα υγρά, όπως τα υπολείμματα πλύσεως στα συμβατικά Δ/Ξ πετρελαιοειδών (slops), τα οποία εγκυμονούν κινδύνους ρυπάνσεως κατά τη διαφυγή τους στη θάλασσα.

4) Κίνδυνοι για τις εγκαταστάσεις του πλοίου.

Οι πιθανοί κίνδυνοι που παρουσιάζουν τα υγροποιημένα φορτία για τις εγκαταστάσεις του πλοίου οφείλονται: πρώτον στις **μεγάλες πιέσεις**, δεύτερον στις **χαμηλές θερμοκρασίες** κατά τη μεταφορά και τη φορτοεκφόρτωσή τους και τρίτον στην **δραστηριότητα** τους. Οι δύο πρώτοι κίνδυνοι αντιμετωπίζονται με την κατασκευή ειδικών προδιαγραφών ποιοτικών πλοίων, τα οποία ανταποκρίνονται στις ανάγκες που δημιουργούνται από τις συνθήκες μεταφοράς του φορτίου και τις προληπτικές ενέργειες προετοιμασίας του δικτύου και των δεξαμενών, όπως ορίζονται από τον Διεθνή Κώδικα για τη Μεταφορά και τον Εξοπλισμό των πλοίων μεταφοράς χύδην υγροποιημένων αερίων (IGC Code). Παράδειγμα πρόληψης αυτών των κινδύνων αποτελούν οι ενέργειες που πραγματοποιούνται για τη σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας του δικτύου και του εξοπλισμού κατά τη φορτοεκφόρτωση ή οι δοκιμές των διατάξεων ασφαλείας και χειρισμών για τον έλεγχο της καλής τους λειτουργίας.

Η **δραστικότητα** (tractivity)¹ αφορά στην ιδιότητα των φορτίων να αντιδρούν με τον εαυτό τους, με τον αέρα, το νερό, με κάποιο άλλο φορτίο, με το αδρανές αέριο, με τα λιπαντικά των συμπιεστών φορτίου, με τα παρεμβύσματα στα επιστόμια (βαλβίδες), με τα υλικά της κατασκευής των δεξαμενών και των σωλήνων του δικτύου. Οι ενέργειες προλήψεως αυτών των κινδύνων περιλαμβάνουν τον ποιοτικό έλεγχο συμβατότητας του φορτίου με τις εγκαταστάσεις του πλοίου, την αντικατάσταση του εξοπλισμού, που παρουσιάζει βλάβη και τη συντήρηση, αλλά και την επισκευή του εξοπλισμού σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή χρησιμοποιώντας γνήσια πιστοποιημένα ανταλλακτικά.

17.4 Σύγκριση των κινδύνων στη μεταφορά υγροποιημένων αερίων και στη μεταφορά υγρών πετρελαϊκών προϊόντων.

Μολονότι η μεταφορά υγροποιημένων αερίων εμπεριέχει ιδιαίτερους κινδύνους, μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι λιγότερο επικίνδυνα από εκείνα του βαρύτερου πετρελαίου. Συνοπτικά, οι **κίνδυνοι κατά τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων**, που δεν υφίστανται στα πλοία μεταφοράς υγρών πετρελαϊκών προϊόντων, είναι:

α) Η **ψύξη από διαρροές**, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή και γενικά τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα κατασκευής του σκάφους.

β) Η **επαφή μελών του πληρώματος με τα υγρά** ή τα αέρια από διαρροή και τους παγωμένους σωλήνες του δικτύου που προκαλούν εγκαύματα από ψύχος (κρυοπαγήματα), και

γ) η **θραύση του συστήματος πίεσεως**, που περιέχει υγραέριο, η οποία θα μπορούσε να απελευθερώσει μία τεράστια ποσότητα ατμών του φορτίου.

Τα **χαρακτηριστικά της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου**, που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου σε σχέση με τα Δ/Ξ μεταφοράς υγρών πετρελαϊκών προϊόντων είναι τα εξής:

α) **Κατά τη φόρτωση ή τον ερματισμό** δεν απελευθερώνονται αέρια στην ατμόσφαιρα στην περιοχή των καταστρωμάτων και στις υπερκατασκευές.

β) Η **απελευθέρωση αερίων εκτελείται σπάγια**, ώστε να μην υπάρχουν επικίνδυνα αέρια στο κατάστρωμα.

γ) Η **ατμόσφαιρα των δεξαμενών του υγρο-**

ποιημένου αερίου λόγω του πλούσιου μείγματος από τους εύφλεκτους ατμούς του φορτίου δεν είναι εύφλεκτη καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου μεταφοράς του φορτίου, με αποτέλεσμα ο στατικός ηλεκτρισμός να μην αποτελεί πηγή αναφλέξεως.

δ) **Δεν υπάρχει απαίτηση πλύσεως των δεξαμενών**, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι κίνδυνοι από τη διαχείριση ακαθάρτων υπολειμμάτων πλύσεως (slops).

17.5 Προφυλάξεις κατά τη μεταφορά – Διατάξεις ασφαλείας.

Υψιστη προτεραιότητα της ναυτιλιακής βιομηχανίας υγροποιημένου αερίου αποτελεί η ασφάλεια. Η υψηλή ποιότητα και οι προδιαγραφές ναυπηγήσεως των υγραεριοφόρων πλοίων, λόγω της υψηλής πίεσεως και της χαμηλής θερμοκρασίας που εξαρτώνται από το είδος κάθε φορτίου, μαζί με τους αυστηρούς κανονισμούς και την εμπειρία που πρέπει να διαθέτει το πλήρωμα, οδηγούν στην ασφαλή μεταφορά και διαχείριση του φορτίου, τόσο για το πλήρωμα, όσο και για το περιβάλλον.

Καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού θα πρέπει να διενεργούνται τακτικοί έλεγχοι, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν ανωμαλίες στον εξοπλισμό και τυχόν διαρροές, ενισχύοντας την ασφάλεια που παρέχεται απ' τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και τις διατάξεις ασφαλείας, και παρέχοντας τις συνθήκες πραγματοποιήσεως ενός ασφαλούς ταξιδιού.

Στα **κατασκευαστικά χαρακτηριστικά**, που σκοπό έχουν την ασφαλή λειτουργία των υγραεριοφόρων, ανήκουν:

α) Τα υψηλής τεχνολογίας και ειδικής κατασκευής συστήματα συγκρατήσεως του φορτίου από χάλυβα ειδικού κράματος, που παρέχουν αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες απομακρύνοντας τον κίνδυνο δημιουργίας ρωγμών.

β) Η ειδική μόνωση των δεξαμενών για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του φορτίου.

γ) Ο πρωτοποριακός σχεδιασμός των δεξαμενών, που αποτρέπει στρεβλώσεις λόγω των ιδιοτήτων του φορτίου.

δ) Οι διπλού τοιχώματος δεξαμενές καυσίμων, που εξασφαλίζουν την προστασία από πιθανή διαρροή.

ε) Η μόνωση των σωλήνων, οι ολισθαίνουσες

¹ Δραστικότητα ονομάζεται ο ρυθμός με τον οποίο μία χημική ουσία τείνει να πραγματοποιήσει μία χημική αντίδραση.

συνδέσεις φορτίου και οι καμπύλες διαστολής, που τοποθετούνται στο δίκτυο προλαμβάνοντας στρεβλώσεις λόγω συστολών και διαστολών απ' τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

στ) Ο προθάλαμος με υπερπίεση, που υπάρχει στο κατάστρωμα, πριν την είσοδο στους χώρους εγκαταστάσεως των μηχανημάτων δημιουργώντας ένα φράγμα ασφαλείας.

Για τον έλεγχο και την ασφαλή διαχείριση του φορτίου, οι **διατάξεις** περιλαμβάνουν:

α) Τα **ανακουφιστικά συστήματα** (relief systems) των δεξαμενών, που επιτρέπουν να διαρρεύσει το αέριο προς την ατμόσφαιρα, προλαμβάνοντας έτσι την αύξηση της πίεσεως ή τη δημιουργία κενού (υποπίεση) πέραν των ορίων που τίθενται από τον κατασκευαστή και θα προκαλούσαν βλάβες στις δεξαμενές, όπως παραμόρφωση ή θραύση.

β) Το **σύστημα ελέγχου στάθμης των δεξαμενών** (cargo tank gauging system). Όλα τα συστήματα μετρήσεως που χρησιμοποιούνται έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τις ανάγκες που δημιουργούνται σε κάθε είδος πλοίου, το οποίο υποστηρίζει και το ανάλογο φορτίο, και είναι μεγάλης ακρίβειας, πιστοποιημένα από ανεξάρτητο οργανισμό. Στα πλοία υγροποιημένου φυσικού αερίου, για παράδειγμα, τοποθετούνται δύο ανεξάρτητα συστήματα μετρήσεως σε κάθε δεξαμενή, επί πλέον του συστήματος προειδοποίησης χαμηλής, υψηλής και πολύ υψηλής στάθμης (low, high και high-high level alarms), ενώ επαναλήπτες υπάρχουν εγκατεστημένοι στον θάλαμο ελέγχου του φορτίου και στη γέφυρα.

γ) Το **μόνιμο σύστημα ελέγχου διαρροής αερίων** (fixed gas detection system), το οποίο λαμβάνει δείγμα από κάθε χώρο όπου υπάρχει πιθανότητα συγκεντρώσεως αερίων, π.χ. τα στεγανά φρεάτια, τους κενούς χώρους, τον χώρο εγκαταστάσεως μηχανημάτων κ.ά. και το αναλύει σε κεντρικό αναλυτή, που είναι εγκατεστημένος σε μια ασφαλή περιοχή.

δ) Τους **φορητούς μετρητές αερίων** (portable gas detectors), όπως οι μετρητές ευφλέκτων αερίων, οι μετρητές τοξικών αερίων και οι μετρητές περιεκτικότητας σε οξυγόνο.

ε) Το **σύστημα παραγωγής αδρανούς αερίου, αφυγράνσεως του αδρανούς αερίου και το σύστημα παραγωγής αζώτου** (inert gas, dry air και nitrogen generator). Η αρχή λειτουργίας του συστήματος παραγωγής αδρανούς αερίου βασίζεται στην καύση ενός καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και στον καθαρισμό και στην ξήρανση των

καυσαερίων. Το σύστημα αφυγράνσεως αφαιρεί την υγρασία που υπάρχει υπό μορφή υδρατμών ως προϊόντων καυσίμων στο αδρανές αέριο (βλ. παράγρ. 9.15.1 και 9.15.2) πριν την κατάθλιψή του στις δεξαμενές φορτίου και το σύστημα παραγωγής αζώτου, βασίζεται στις ειδικά σχεδιασμένες μεμβράνες, μέσω των οποίων ο πεπιεσμένος αέρας ρέει και διαχωρίζεται σε οξυγόνο και αζώτο (βλ. παράγρ. 9.15.3).

στ) Τους **εναλλάκτες θερμότητας** (cargo heaters), που χρησιμοποιούνται ως συμπυκνωτές και ως παγίδες σταγονιδίων υγρού. Είναι εναλλάκτες θερμότητας του τύπου κελύφους και αυλών.

ζ) Τους **αεροσυμπιεστές υψηλού και χαμηλού φορτίου** (high και low duty compressors) στα πλοία μεταφοράς αερίων. Οι αεροσυμπιεστές υψηλού φορτίου (High Duty – HD) εγκαθίστανται στον χώρο των συμπιεστών στο κατάστρωμα και χρησιμοποιούνται για την επανυγροποίηση των ατμών του φορτίου κατά τη φόρτωση. Οι αεροσυμπιεστές χαμηλού φορτίου (Low Duty – LD), που είναι επίσης εγκατεστημένοι στον χώρο των συμπιεστών στο κατάστρωμα, χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση των ατμών φορτίου, που παράγεται με τη φυσική εξάτμιση σε μία επαρκή πίεση, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους λέβητες και στις μηχανές ως καύσιμο. Και οι δύο λειτουργούν από ηλεκτρικούς κινητήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε χωριστό θάλαμο, το ηλεκτροστάσιο, μεταδίδοντας την κίνηση μέσω άξονα αεροστεγώς μονωμένου, που διέρχεται από διαχωριστικό διάφραγμα.

η) Το **σύστημα διακοπής λειτουργίας εκτάκτου ανάγκης** (Emergency Shutdown System – ESD), που απαιτείται από τον κώδικα IGC του IMO και συστήνεται στις οδηγίες διαχείρισεως υγραεριοφόρων της Διεθνούς Κοινότητας Λειτουργών Πλοίων Υγροποιημένου Αερίου και Τερματικών Σταθμών (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators – SIGTTO) για τη μεταφορά κύδην υγροποιημένων αερίων. Το σύστημα αυτό αφορά στην προστασία τόσο του πλοίου όσο και του τερματικού σταθμού σε περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας στα μηχανήματα του φορτίου, γενικής απώλειας παροχής της ισχύος σε όλο το σύστημα ή σε περίπτωση κινδύνου. Το σύστημα εκτάκτης ανάγκης διακόπτει τη ροή του υγρού φορτίου και αερίων με το κλείσιμο των αντλιών και των συμπιεστών του φορτίου, καθώς και των επιστομίων στην πολλαπλή σύνδεση με την ξηρά, που βρίσκεται στο κατάστρωμα του πλοίου, με την ενεργοποίηση ενός

ενιαίου μηχανισμού ελέγχου φέροντας το σύστημα χειρισμού του φορτίου σε μια ασφαλή στατική κατάσταση. Μετά τη διακοπή λειτουργίας εκτάκτου ανάγκης οι λειτουργίες μπορούν να ξεκινήσουν χειροκίνητα ή αυτόματα.

θ) Τους **αισθητήρες θερμοκρασίας** (temperature sensors), που κάθε δεξαμενή φορτίου θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με τουλάχιστον δύο. Η μία συσκευή τοποθετείται στο κάτω μέρος της δεξαμενής και η δεύτερη κοντά στην κορυφή της κάτω από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο στάθμης της. Η θερμοκρασία που δείχνει η συσκευή πρέπει να φέρει την ένδειξη της χαμηλότερης θερμοκρασίας, για την οποία η δεξαμενή φορτίου έχει πιστοποιηθεί, με επαναλήπτες στη γέφυρα και στον θάλαμο ελέγχου του φορτίου.

ι) Τους **μετρητές πίεσεως** (pressure gauges), οι οποίοι τοποθετούνται στον θόλο κάθε δεξαμενής και στους σωλήνες του φορτίου, με επαναλήπτες στη γέφυρα και στον θάλαμο ελέγχου του φορτίου.

Όταν η πίεση αυξηθεί ή μειωθεί σε σχέση με τα όρια του συστήματος ελέγχου της πίεσεως, ενεργοποιείται ηχητικός συναγερμός προειδοποιώντας για την υπέρβαση αυτών των ορίων.

ια) Την **φλογοπαγίδα** (flame trap equipment), η οποία τοποθετείται στην κορυφή του ιστού εξαγωγής των αερίων στο κατάστρωμα, προσφέροντας προστασία από τις φλόγες, που μπορεί να προκληθούν λόγω της ηλεκτρικά φορτισμένης ατμόσφαιρας ή από κάποια άλλη αιτία.

ιβ) Τον **ανασχετήρα φλόγας** (flame retainer), ο οποίος ελέγχει την εξαγωγή των ατμών φορτίου, που εξέρχονται από την κορυφή των ιστών και σε περίπτωση φωτιάς δίνει εντολή ώστε να διακοπούν οι λειτουργίες διαχείρισεως του φορτίου.

ιγ) Τις **παγίδες υγρών** (mist separators), που είναι εγκατεστημένες μεταξύ των συμπιεστών και των δεξαμενών φορτίου προστατεύοντας τους συμπιεστές από αναρροφήσεις υγρού φορτίου, που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο.

TABLE 6A. GENERALIZED CRUDE OILS
VOLUME CORRECTION TO 60 °F

API GRAVITY AT 60 °F				
31.5	32.0	32.5	33.0	33.5
FACTOR FOR CORRECTING VOLUME TO 60 °F				
0.9863	0.9863	0.9862	0.9861	0.986
0.9861	0.9860	0.9859	0.9859	0.985
0.9859	0.9858	0.9857	0.9856	0.985

18.1 Πυκνότητα – API βάρος.

Το API προέρχεται από τα αρχικά του Αμερικανικού Ινστιτούτου Πετρελαιοειδών (American Petroleum Institute), που ιδρύθηκε το 1919. Αποτελεί τη μεγαλύτερη εμπορική ένωση στις ΗΠΑ για τη βιομηχανία πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου και βοηθά να τεθούν τα πρότυπα για την παραγωγή, τη διύλιση και τη διανομή των προϊόντων πετρελαίου. Ένα από τα πιο σημαντικά πρότυπα είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πυκνότητας του πετρελαίου. Το πρότυπο αυτό ονομάζεται **βαρύτητα API** (API gravity) ή **API-ειδικό βάρος**.

Πριν την εφαρμογή της κλίμακας βαρύτητας API, το Εθνικό Γραφείο Προτύπων (National Bureau of Standards) των ΗΠΑ, το 1916, είχε αποδεχθεί την **Κλίμακα Baumé** (Baumé scale¹) ως πρότυπη κλίμακα για τη μέτρηση του ειδικού βάρους των υγρών με μικρότερη πυκνότητα απ' το νερό. Όμως, σε έρευνες που διεξήχθησαν από την Εθνική Ακαδημία Επιστημών των ΗΠΑ (U.S. National Academy of Sciences), διαπιστώθηκαν διαφορές στον έλεγχο της αλατότητας και της θερμοκρασίας, που προκαλούσαν διακυμάνσεις στις δημοσιευμένες τιμές βαθμονόμησης της κλίμακας του υδρομέτρου. Λόγω των διακυμάνσεων αυτών, τα υδρόμετρα στις ΗΠΑ άρχισαν να διανέμονται βαθμονομημένα με συντελεστή 141,5 αντί του συντελεστή 140, που χρησιμοποιείται από την κλίμακα Baumé². Η σταθερότητα που διαπιστώθηκε κατά την εφαρμογή της κλίμακας API με συντελεστή 141,5 οδήγησε στην αναγνώρισή της απ' το 1921 ως επίσημη κλίμακα για τους υπολογισμούς κύδην πετρελαιοειδών.

Το **Σχετικό Ειδικό Βάρος** [ή Ειδικό Βάρος όπως συνήθως αναφέρεται (Specific Gravity – SG, ή SG_{οxel})] είναι ο λόγος της πυκνότητας μίας ουσίας προς την πυκνότητα μίας άλλης ουσίας, η οποία λαμβάνεται ως ουσία αναφοράς. Συνήθως, ως ουσία

αναφοράς χρησιμοποιείται το νερό για τα υγρά και ο αέρας για τα αέρια:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{\text{ουσίας}} &= m_{\text{ουσίας}} \cdot g \Rightarrow \epsilon_{\text{ουσίας}} = \rho_{\text{ουσίας}} \cdot V \cdot g \\ \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} &= m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \Rightarrow \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V \cdot g \end{aligned} \right\} \text{για}$$

$$SG = \frac{\epsilon_{\text{ουσίας}}}{\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\rho_{\text{ουσίας}} \cdot g \cdot V}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot V} \Rightarrow SG = \frac{\rho_o}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \rho_{\text{oxel}}$$

όπου: ϵ το βάρος της ουσίας και του νερού σε ίσο όγκο V , g η επιτάχυνση της βαρύτητας και ρ η πυκνότητα.

Το API-ειδικό βάρος ή βαρύτητα API, εκφράζει τη σχετική πυκνότητα του αργού πετρελαίου ή και των προϊόντων του και αποτελεί το πρότυπο (ή τυποποιημένο) ειδικό βάρος, που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία πετρελαίου. Το API παίρνει τιμές συγκρίνοντας την πυκνότητα του πετρελαίου με εκείνη του νερού. Υπολογίζεται από μία εξίσωση, στην οποία χρησιμοποιούνται το ειδικό βάρος (SG) του ελαίου, δηλαδή η αναλογία της πυκνότητας του ελαίου με την πυκνότητα του νερού και οι συντελεστές 141,5 και 131,5, δίνοντας αποτελέσματα που εξασφαλίζουν τη σταθερότητα (συνέπεια) κατά τη μέτρηση. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$^{\circ}API = \left(\frac{141,5}{\gamma_o} \right) - 131,5 \quad (1)$$

όπου: γ_o , το ειδικό βάρος του ελαίου, ώστε με $\gamma_o = \frac{\rho_o}{\rho_w}$ τότε:

$$^{\circ}API = \left(\frac{141,5}{\frac{\rho_o}{\rho_w}} \right) - 131,5 \quad (2)$$

όπου: ρ_o η πυκνότητα του ελαίου ή των πετρελαιοειδών, ενώ ρ_w η πυκνότητα του νερού.

Το $^{\circ}API$ -ειδικό βάρος, ως μονάδα μετρήσεως έχει τον βαθμό (degree $^{\circ}API$ ή $^{\circ}API$). Το (σχετικό) ειδικό βάρος (SG) αναφέρεται στο βάρος της μονάδας όγκου του υγρού στους 60 °F (15,6 °C) προς το αντί-

¹ Η κλίμακα Baumé είναι μία κλίμακα του υδρομέτρου, η οποία αναπτύχθηκε από τον Γάλλο φαρμακοποιό Antoine Baumé το 1768 για τη μέτρηση της πυκνότητας των διαφόρων υγρών.

² Η εξίσωση που δίνει τις τιμές στην κλίμακα Baumé είναι: Baumé = (140/SG) – 131.

στοιχο του νερού στους 60 °F (15,6 °C), ώστε και το °API-ειδικό βάρος αναφέρεται πάντοτε σε δείγμα υγρού στους 60 °F (15,6 °C)¹. Το °API του αργού πετρελαίου μπορεί να κυμαίνεται κάτω από 10 °API έως πάνω από 50 °API, αλλά τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου βρίσκονται στην περιοχή 20 έως 45 °API.

Οι τιμές του °API από τη μετατροπή των διαφόρων τιμών ειδικού βάρους (SG), που μπορεί να έχει ένα πετρέλαιο, με βάση την εξίσωση (1) είναι:

α) Σε εξαιρετικά βαρύ πετρέλαιο με SG 1,000 το °API=(141,5/1)–131,5=10,00.

β) Σε πετρέλαιο (π.χ. Crude oil, Mexican) με SG 0,976 το °API=(141,5/0,976)–131,5=13,48.

γ) Σε πετρέλαιο (π.χ. Crude oil, California) με SG 0,918 το °API=(141,5/0,918)–131,5=22,64.

δ) Σε ελαφρύ πετρελαϊκό προϊόν (π.χ. kerosene) με SG 0,820 το °API=(141,5/0,820)–131,5=41,06.

ε) Σε ελαφρύ πετρελαϊκό προϊόν (π.χ. gasoline, natural) με SG 0,713 το °API=(141,5/0,713)–131,5=66,95.

στ) Σε εξαιρετικά ελαφρύ πετρελαϊκό προϊόν (naphtha, petroleum naphtha) με SG 0,667 το °API=(141,5/0,667)–131,5=42,12.

Οι τιμές που λαμβάνει το ειδικό βάρος-API (API-gravity) ή °API, κινούνται αντιστρόφως προς την πυκνότητα. Αυτό σημαίνει ότι όσο μειώνεται η πυκνότητα, άρα και η τιμή του ειδικού βάρους (SG) ενός πετρελαίου, επειδή το ειδικό βάρος SG βρίσκεται στον παρονομαστή της εξίσωσης, τόσο θα αυξάνεται η τιμή του °API και το πετρέλαιο θα είναι πιο ελαφρύ (πίν. 18.1). Για παράδειγμα:

$$API = \left[\frac{141,5}{\frac{\rho_o}{\rho_w}} \right] - 131,5 \quad \Rightarrow \quad \begin{matrix} \rho_o = 1 \\ \rho_w = 1 \end{matrix}$$

$$API = \left[\frac{141,5}{\frac{1}{1}} \right] - 131,5 = 141,5 - 131,5 = 10$$

Πίνακας 18.1

Πετρελαιοειδή με μικρότερο ειδικό βάρος SG έχουν τον υψηλότερο API-ειδικό βάρος.

API gravity	10,00	13,48	22,64	41,06	66,95	80,64
Specific Gravity	1,000	0,976	0,918	0,820	0,713	0,667

η τιμή 10 °API ισοδυναμεί με το νερό, που σημαίνει ότι οποιοδήποτε πετρέλαιο με °API άνω των 10 θα επιπλέει στο νερό, ενώ κάποιο με °API κάτω από 10 θα βυθιστεί. Επίσης, πετρέλαιο με μικρότερη πυκνότητα ή «ελαφρύ πετρέλαιο» είναι προτιμότερο από ένα με μεγαλύτερη πυκνότητα, διότι περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες υδρογονανθράκων. Το API-ειδικό βάρος προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM² D287, ενώ η πυκνότητα και το ειδικό βάρος για το Διεθνές Σύστημα SI, με τη μέθοδο ASTM D 1298.

Το API-ειδικό βάρος χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τα πετρελαιοειδή ως ελαφρά, μεσαία, βαριά ή εξαιρετικά βαριά. Δεδομένου ότι το ειδικό βάρος του πετρελαίου είναι ο βασικότερος παράγοντας που καθορίζει την ποσότητα του πετρελαίου άρα και την ποσότητα που θα τιμολογηθεί, το °API είναι εξαιρετικά σημαντικό. Οι τιμές για κάθε API-ειδικό βάρος είναι οι εξής:

α) Ελαφρύ (light) – °API > 31,1.

β) Μεσαίο (medium) – °API μεταξύ 22,3 και 31,1.

γ) Βαρύ (heavy) – °API < 22,3.

δ) Εξαιρετικά βαρύ (extra heavy) – °API < 10,0.

Αυτή είναι μια πολύ γενική εκτίμηση για την οριοθέτηση του API-ειδικού βάρους μεταξύ ελαφρών και βαρέων. Η ακριβής οριοθέτηση γίνεται ανάλογα με την περιοχή απ' την οποία προήλθε το πετρέλαιο. Η διακύμανση ως προς το τι αποτελεί το ελαφρύ αργό πετρέλαιο σε μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι αποτέλεσμα της διαπραγματεύσεως της τιμής και της διαθεσιμότητας των βασικών προϊόντων του.

Επειδή στην πετρελαϊκή βιομηχανία οι ποσότητες αργού πετρελαίου συχνά υπολογίζονται σε μετρικούς τόνους και η πυκνότητα (ρ) [βάρους (m) ανά όγκο (V)], δίνεται από τον τύπο $\rho = m / V$, το °API μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορισθεί κατά προ-

¹ Το ειδικό βάρος και η πυκνότητα μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, οπότε είναι απαραίτητο κατά τη μέτρησή τους να λαμβάνεται μέτρηση και της θερμοκρασίας, στην οποία αντιστοιχούν, ώστε να μην γίνονται λάθη κατά τους υπολογισμούς. Για τη διόρθωση του ειδικού βάρους ή της πυκνότητας απ' τη μετρούμενη θερμοκρασία στην τυποποιημένη θερμοκρασία π.χ. των 60 °F ή των 15,6 °C, υπάρχουν πίνακες που ορίζουν την αντιστοιχία.

² Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and Material – ASTM International) είναι ένας διεθνής οργανισμός τυποποιήσεως, που καθιερώνει πρότυπα-προδιαγραφές γενικής αποδοχής σε ένα ευρύ φάσμα τεχνικών προϊόντων – υλικών, συστημάτων και υπηρεσιών.

σέγγιση ο αριθμός των βαρελιών (42 γαλόνια το κάθε ένα) ανά μετρικό τόνο για μία δεδομένη ποιότητα αργού πετρελαίου. Ο υπολογισμός σε βαρέλια αργού πετρελαίου (**Bbls**)¹ ανά μετρικό τόνο (MT) δίνεται απ' την εξίσωση (2), όπου οι συντελεστές 141,4, 131,5 και 0,159 είναι σταθεροί.

$$\frac{Bbls}{MT} = \frac{1}{\left(\frac{141,5}{API \text{ gravity} + 131,5} \right)} \cdot 0,159$$

Παράδειγμα: Αν MT = 1 και °API = 32, τότε με εφαρμογή στην εξίσωση (2) προκύπτει ότι:

$$\frac{Bbls}{1} = \frac{1}{\left(\frac{141,5}{32 + 131,5} \right)} \cdot 0,159 = 7,28 \text{ Bbls}$$

δηλαδή όταν ένας μετρικός τόνος αργού πετρελαίου έχει 32 °API, τότε θα αντιστοιχεί σε 7,28 Bbls.

18.2 Υπολογισμός ποσότητας φορτίου σε βάρος όταν πρόκειται για ολική φόρτωση.

Με τον όρο **ολική φόρτωση** (ή πλήρες φορτίο) χαρακτηρίζεται η ποσότητα που μπορεί να φορτώσει ένα πλοίο σύμφωνα με τη μέγιστη χωρητικότητα των δεξαμενών του. Όμως, κάθε φορτίο έχει διαφορετικό ειδικό βάρος και κατά συνέπεια ο όγκος που καταλαμβάνει σε μια δεξαμενή είναι διαφορετικός. Από την άλλη πλευρά, κάθε πλοίο έχει συγκεκριμένη μεταφορική ικανότητα βάρους, που του επιτρέπει να πλέει με ασφάλεια και αντίστοιχα περιορισμένη χωρητικότητα όγκου, που εξαρτάται από το μέγεθος των δεξαμενών. Έτσι, σε ένα πλοίο, για να μεταφερθεί με ασφάλεια φορτίο με μεγάλο ειδικό βάρος, δεν θα πρέπει να καταλάβει τον μέγιστο όγκο μιας δεξαμενής και αντίστοιχα, στο ίδιο πλοίο, ένα φορτίο με μικρό ειδικό βάρος μπορεί να καταλάβει ολόκληρο τον όγκο μίας δεξαμενής χωρίς να υφίσταται κίνδυνος πλευστότητας (βλ. τα όρια πληρώσεως των δεξαμενών στην παράγρ. 18.6).

Συνεπώς κατά τον σχεδιασμό ενός ταξιδιού, είναι

απαραίτητο να γίνουν υπολογισμοί, ώστε να εκτιμηθεί η ποσότητα του φορτίου που μπορεί να μεταφερθεί από το πλοίο. Στους υπολογισμούς αυτούς θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα στοιχεία, όπως οι μονάδες μετρήσεως της ποσότητας και το είδος του φορτίου, που αναφέρονται στο ναυλοσύμφωνο, καθώς και οι διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του πλοίου, όπως ο περιορισμός βυθίσματος και η χωρητικότητα των δεξαμενών σε σχέση με τη ζώνη φωτώσεως, καθώς επίσης οι καταναλώσεις και το γλυκό νερό που υπάρχει στις δεξαμενές. Η αλληλεπίδραση αυτών των παραγόντων, μαζί με την ευστάθεια και την αντοχή του πλοίου, την προετοιμασία του για τη φόρτωση και το ταξίδι, την ικανότητα του πληρώματος και την εμπειρία του για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου κατά την STCW 1978 (όπως τροποποιήθηκε), θα εξασφαλίσει, ώστε η φόρτωση και η μεταφορά του φορτίου να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια.

Με τον όρο **ναυλοσύμφωνο** ορίζεται η ποσότητα του φορτίου που θα μεταφερθεί, η οποία μπορεί να αναφέρεται σε βαρέλια ή σε m³, ή σε **μετρικούς τόνους**². Όταν η ποσότητα δίνεται σε μετρικούς τόνους, τότε μπορεί να ορίζεται ακριβώς ή να αναφέρεται ότι η φόρτωση μπορεί να γίνει με 5% ή 10% *moloo* (more or less at owner option – περισσότερο ή λιγότερο σύμφωνα με τον πλοιοκτήτη), που σημαίνει ότι η τελική ποσότητα φορτώσεως εξαρτάται από τον πλοιοκτήτη. Όταν η ποσότητα δίνεται σε βαρέλια, που είναι μονάδα όγκου π.χ. U.S. Bbls Net (στους 60°F), η ποσότητα του φορτίου μπορεί να μετατραπεί σε μετρικούς τόνους. Έτσι τα βαρέλια, αν και μονάδα όγκου, αναφέρονται ουσιαστικά στο «βάρος» του φορτίου. Για παράδειγμα, η ποσότητα του φορτίου αργού πετρελαίου που δίνεται σε βαρέλια, για να μετατραπεί σε μετρικούς τόνους, πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή³ 0,13642. Αντίστοιχα για πετρελαϊκά προϊόντα από διύλιση, όπως η βενζίνη, τα βαρέλια για να μετατραπούν σε μετρικούς τόνους πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή μετατροπής 0,118.

Το **είδος του φορτίου** αφορά στο βαθμό °API ή

¹ Bbls: Ο όγκος του αργού πετρελαίου και των πετρελαϊκών προϊόντων συμβολίζεται ως Bbls. Υιοθετήθηκε ως πρότυπο στο εμπόριο των πετρελαϊκών προϊόντων από το 1870 με Bbls = Blue Barrels = 42 gallons.

² Ο μετρικός τόνος είναι μία μονάδα μάζας και ισούται με 1000 kg. Ένας μετρικός τόνος είναι ίσος με 2.204,6 pounds. Το κυβικό μέτρο (m³) είναι μονάδα όγκου και ένα κυβικό μέτρο νερού ζυγίζει 1000 kg ή 1 μετρικό τόνο (μάζας).

³ Συντελεστές μετατροπής που καλύπτουν τον υπολογισμό μεταξύ βάρους και όγκου απ' τον πίνακα της εταιρείας πετρελαϊκών προϊόντων BP.

στην πυκνότητά του, ώστε ανάλογα να γίνουν οι υπολογισμοί, που θα δώσουν το πραγματικό βάρος σε σχέση με το περιεχόμενο που θα έχουν οι δεξαμενές. Μαζί μ' αυτό δίνεται και η θερμοκρασία, στην οποία θα παραδοθεί το φορτίο, που επηρεάζει τον όγκο του, ώστε σε περίπτωση πλήρους φορτίου να υπολογιστεί ο μέγιστος δυνατός όγκος της χωρητικότητάς των.

Ο **περιορισμός βυθίσματος** αποτελεί άλλον έναν σημαντικό παράγοντα στον υπολογισμό της ποσότητας σε ολική φόρτωση. Αυτό συμβαίνει διότι πρέπει για την ποσότητα φορτίου που θα παραλάβει το πλοίο να ληφθεί υπόψη το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα που μπορεί να έχει το πλοίο στο λιμάνι φορτώσεως ή εκφορτώσεως. Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη εάν κατά την πραγματοποίηση του ταξιδιού υπάρχουν διελεύσεις από ποτάμια και διώρυγες, στα οποία το βάθος μπορεί να είναι μικρό σε σύγκριση με τη διαμόρφωση του βυθίσματος του πλοίου. Στους περιορισμούς που σχετίζονται με το βύθισμα ανήκουν και οι οδηγίες απ' τους ναυλωτές, όπως ότι το πλοίο θα πρέπει να φορτώσει μέχρι τη **γραμμή φορτώσεως**¹. Σ' αυτήν την περίπτωση οι υπολογισμοί για την ποσότητα που πρόκειται να φορτωθεί, θα πρέπει γίνουν σύμφωνα με τις ζώνες φορτώσεως που ισχύουν στη θαλάσσια περιοχή, όπου θα πραγματοποιηθεί το ταξίδι, ώστε αυτό να γίνει με ασφάλεια.

Η **χωρητικότητα των δεξαμενών σε σχέση με τη ζώνη φορτώσεως** αναφέρεται στον προσδιορισμό του φορτίου που θα περιέχεται στις δεξαμενές και εάν το βύθισμα σε πλήρη φόρτωση θα είναι σύμφωνο με τη ζώνη φορτώσεως [μέγιστο επιτρεπόμενο πλήρες φορτίο (maximum permissible full load)]. Η επιτρεπόμενη ποσότητα του φορτίου στις δεξαμενές μετά την ολοκλήρωση της φορτώσεως μπορεί να κυμαίνεται σ' ένα περιθώριο 5% **moloo**².

Τα **καύσιμα και οι καταναλώσεις** επηρεάζουν την ποσότητα του φορτίου που θα παραληφθεί, διότι ως βάρος εμπίπτουν στους περιορισμούς βυθίσματος. Γι' αυτό, στην πρόβλεψη του βυθίσματος που απαιτείται στον λιμένα αναχωρήσεως και αφίξεως, όπως και στους υπολογισμούς ποσότητας φορτίου,

θα πρέπει να συμπεριληφθούν και τα καύσιμα. Την ευθύνη της ποσότητας καυσίμων που απαιτούνται για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού έχει ο Α' Μηχανικός, ο οποίος ενημερώνει τον Πλοίαρχο και σε συνεννόηση μαζί του βρίσκουν την ποσότητα καυσίμων που πρέπει να έχει το πλοίο κατά την άφιξη στο λιμάνι φορτώσεως ή εκφορτώσεως. Αυτό επιτρέπει στον Πλοίαρχο να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του βυθίσματος του πλοίου σε κάθε θαλάσσια περιοχή (ζώνη) απ' όπου διέρχεται το πλοίο, αλλά και στον τελικό προορισμό, ώστε να μην υπερβαίνει το όριο της γραμμής φορτώσεως. Έτσι, αρχικά πρέπει να βρεθεί το σύνολο των καταναλώσεων για τη διάρκεια του ταξιδιού. Στη συνέχεια ανάλογα με τη ζώνη όπου πρόκειται να ταξιδέψει το πλοίο και το επιτρεπόμενο βύθισμα στον λιμένα προορισμού, πρέπει να υπολογιστεί από τον Πλοίαρχο ή τον υπεύθυνο αξιωματικό η ποσότητα του φορτίου που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο. Για να υπολογιστεί η ποσότητα των καυσίμων που απαιτείται για το ταξίδι, διαιρείται η απόσταση από το λιμάνι απόπλου έως το λιμάνι προορισμού με τη μέση ταχύτητα που εκτιμάται ότι θα έχει το πλοίο, προκειμένου να βρεθεί η διάρκεια του ταξιδιού σε ώρες. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η διάρκεια του ταξιδιού σε ημέρες, διαιρώντας τις ώρες του ταξιδιού με το 24. Οι ημέρες πολλαπλασιάζονται με το σύνολο των ημερησίων καταναλώσεων και σ' αυτές προστίθεται και η ποσότητα γλυκού νερού που μεταφέρεται στις αντίστοιχες δεξαμενές. Το άθροισμα αυτό αποτελεί τις συνολικές ημερήσιες καταναλώσεις (HFO+MDO+FW). Η ποσότητα του νερού που προστίθεται, εξαρτάται από το εάν υπάρχει βραστήρας παραγωγής νερού και πόση είναι η κατανάλωση. Οι παραπάνω υπολογισμοί δίνουν το Επί Πλέον Φορτίο που επιτρέπεται από τη ζώνη φορτώσεως (Zone Allowance), το οποίο θα πρέπει να προστεθεί στο **Εκτόπισμα** (D)³ ή **Νεκρό Βάρος** (DW)⁴ της αντίστοιχης ζώνης, ώστε να βρεθεί το Νέο Εκτόπισμα ή το Νέο Νεκρό Βάρος, σύμφωνα με το οποίο μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα φορτίου που μπορεί να φορτωθεί.

¹ Οι γραμμές φόρτωσης είναι σύμβολα είτε χαραγμένα μόνιμα είτε οξυγονοκολλημένα στις πλευρές ενός πλοίου, στη μέση του μήκους του, και υποδεικνύουν το ελάχιστο ύψος εξάλων ή το αντίστοιχο μέγιστο βύθισμα μέχρι το οποίο πρέπει να φορτώσει το πλοίο στην αντίστοιχη περιοχή και εποχή. Οι γραμμές φορτώσεως είναι: η **γραμμή φορτώσεως θέρος** (Summer Load Line), η **γραμμή φορτώσεως χειμώνα** (Winter Load Line), η **γραμμή φορτώσεως χειμώνα Βόρειου Ατλαντικού** (Winter North Atlantic Load Line), η **τροπική γραμμή φορτώσεως** (Tropical Load Line), η **γραμμή φορτώσεως σε γλυκό νερό κατά το θέρος** (Fresh Water Load Line), και η **τροπική γραμμή φορτώσεως σε γλυκό νερό** (Tropical Fresh Water Load Line).

² Moloo: [More or less owner's option (περισσότερο ή λιγότερο με επιλογή του πλοιοκτήτη)]. Είναι όρος που σχετίζεται με την ποσότητα του φορτίου, το οποίο το πλοίο είναι ναυλωμένο να μεταφέρει σε ένα ταξίδι, και δίνει στον πλοιοκτήτη την επιλογή να αυξήσει ή να μειώσει την οριοθεσία ποσότητας φορτίου.

³ Εκτόπισμα (Βάρος εκτοπίσματος, weight of displacement, D) ενός πλοίου ονομάζεται το βάρος του νερού που εκτοπίζει με τον όγκο

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για τους παραπάνω υπολογισμούς είναι:

Για το Επί Πλέον Φορτίο που επιτρέπεται σύμφωνα με τη ζώνη φορτώσεως ισχύει:

$$Z_a = \left(\frac{L}{24} \right) \cdot K_s \quad (3)$$

όπου:

Z_a , Zone allowance σε MT (metric tones, μετρικοί τόνοι),

L , η απόσταση των λιμένων σε ν.μ.,

u_s , η ταχύτητα ταξιδιού του πλοίου σε knots = ν.μ. / ημέρα,

24 είναι οι ώρες ταξιδιού την ημέρα,

K_s , η κατανάλωση καυσίμων του πλοίου την ημέρα σε MT / ημέρα,

Για το Νέο Εκτόπισμα (D_n) και το Νέο Νεκρό Βάρος (DWT_n) ισχύουν:

$$D_n = D_z + Z_a \quad (4)$$

και

$$DWT_n = DWT_z + Z_a \quad (5)$$

με D_z το εκτόπισμα (βάρος εκτοπίσματος) για την αντίστοιχη ζώνη, και

DWT_z το νεκρό βάρος για την αντίστοιχη ζώνη.

Οι υπολογισμοί αυτοί για τη φόρτωση του πλοίου με Επί Πλέον Φορτίο που αντιστοιχεί στις καταναλώσεις (εντός των ορίων ασφάλειας για κάθε ζώνη), ως σκοπό έχουν την εκμετάλλευση όλης της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου. Διαφορετικά το πλοίο κατά την άφιξη στο λιμάνι προορισμού, θα έχει μικρότερο βύθισμα απ' αυτό που θα μπορούσε να έχει και άρα λιγότερο μεταφερόμενο φορτίο, που είναι ασύμφορο στην οικονομική εκμετάλλευση ενός πλοίου.

Στους υπολογισμούς για το βάρος φορτίου που σχεδιάζεται να φορτώσει ένα πλοίο σε ολική φόρτωση (ή πλήρη φόρτωση), θα πρέπει να είναι γνωστά τα εξής στοιχεία:

α) Οι ζώνες φορτώσεως, όπου πρόκειται να πραγματοποιηθεί το ταξίδι.

β) Το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα.

γ) Η χωρητικότητα των δεξαμενών του πλοίου.

δ) Το °API ή η πυκνότητα και η θερμοκρασία φορτώσεως του φορτίου.

ε) Οι περιορισμοί βυθισμάτων των λιμένων αναχωρήσεως-άφιξεως και της διώρυγας, αν πρόκειται το πλοίο να περάσει κατά την πραγματοποίηση του ταξιδιού.

στ) Οι καταναλώσεις των καυσίμων για την πραγματοποίηση του ταξιδιού.

ζ) Το γλυκό νερό που υπάρχει στις δεξαμενές λάτρων και πόσιμου.

18.3 Υπολογισμός φορτίου πριν την παραλαβή.

Η μέτρηση πριν την παραλαβή του φορτίου στα Δ/Ξ ως σκοπό έχει να διερευνηθεί ο τρόπος, με τον οποίο η ποσότητα φορτίου που πρόκειται να παραληφθεί θα κατανεμηθεί στις δεξαμενές, λαμβάνοντας υπόψη τις κοπώσεις που προκαλούνται στο σκάφος απ' το φορτίο. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται διάφορες μονάδες μετρήσεως, όπως βαρέλια, μετρικοί τόνοι και κυβικά, οι οποίες ανάλογα με τις απαιτήσεις μπορούν να μετατραπούν σε άλλες μονάδες με τη χρήση καταλλήλων πινάκων και εξισώσεων.

18.3.1 Υπολογισμός όγκου φορτίου που θα παραληφθεί.

Κάθε δεξαμενή έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα και είναι έτσι βαθμονομημένη, ώστε κάθε ύψος που μετρείται, είτε από την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου έως το στόμιο του μετρητή στο κατάρωμα, είτε από τον πυθμένα της δεξαμενής έως την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου μέσα στη δεξαμενή, να αντιπροσωπεύει τον όγκο του φορτίου που περιέχεται σ' αυτήν. Ο όγκος του φορτίου που πρόκειται να φορτώσει το πλοίο είναι αναγκαίο να υπολογιστεί και να κατανεμηθεί ανάλογα στις δεξαμενές λαμβάνοντας υπόψη την ευστάθεια, τη διαγωγή και τις κοπώσεις. Ο όγκος φορτίου από τον φορτωτή δίνεται συνήθως σε αμερικάνικα βαρέλια [καθαρό όγκο (Net Bbls)] στους 60 °F, όμως η θερμοκρασία παραδόσεως μπορεί να είναι διαφορετική. Ως γνωστό, η θερμοκρασία επηρεάζει τον όγκο στα πετρελαιοειδή προϊόντα, με αποτέλεσμα, για να υπολογιστεί ο όγκος της ποσότητας που θα περιέχει κάθε δεξαμενή μετά τη φόρτωση, είναι απαραίτητο να μετατραπεί σε ολικό όγκο σε βαρέλια φορτίου (Gross Bbls). Ο υπολογισμός αυτός

του (weight of displacement) και ισούται με το βάρος του πλοίου μετρούμενο σε τόνους (displacement tons). Ο όγκος του νερού που εκτοπίζεται, ονομάζεται όγκος εκτοπίσματος (volume of displacement). Το βάρος εκτοπίσματος μπορεί να αναφέρεται σε:

α) **Πλήρες εκτόπισμα** (full displacement).

β) **Εμφορτο εκτόπισμα** (load displacement).

γ) **Άφορτο εκτόπισμα** (light displacement ή light ship).

⁴ Νεκρό Βάρος (Dead Weight – DW). Ο όρος αυτός αντιπροσωπεύει το βάρος που ένα πλοίο μπορεί να μεταφέρει DW.

πραγματοποιείται εάν διαιρεθεί ο όγκος που δίνεται απ' τον φορτωτή σε Net Bbls με τον συντελεστή διορθώσεως όγκου (Volume Correction Factor –VCF) στους 60°F και αντιστοιχεί στη θερμοκρασία παραδόσεως του φορτίου. Ο συντελεστής διορθώσεως όγκου ή συντελεστής θερμικής διαστολής βρίσκεται απ' τους πίνακες ASTM 6A ή σε CD-ROM όταν χρησιμοποιείται Η/Υ. Αν για παράδειγμα η θερμοκρασία παραδόσεως του φορτίου είναι 85 °F και η ποσότητα φορτίου που θα παραληφθεί είναι 100.000 Net Bbls στους 60 °F, η μέθοδος με τον συντελεστή διορθώσεως όγκου στους 60 °F που ακολουθείται είναι η εξής:

α) Αρχικά από τους πίνακες ASTM 6A βρίσκεται ο συντελεστής διορθώσεως που αντιστοιχεί στο °API που δίδεται για το φορτίο και στη θερμοκρασία κατά τη φόρτωση (βλ. Παράρτημα Δ, πίν. Π.Δ.12). Για παράδειγμα, σε φορτίο με °API 31,0 και θερμοκρασία 85 °F ο συντελεστής διορθώσεως VCF είναι 0,9887.

β) Η ποσότητα του φορτίου που θα παραληφθεί και δίνεται σε Net Bbls στους 60 °F (ή Gross Standard Volume –GSV) διαιρείται με τον συντελεστή VCF στη θερμοκρασία παραλαβής των 85 °F, ώστε να είναι ο πραγματικός όγκος σε βαρέλια (Gross Bbls ή Gross Observed Volume, Μικτός Παρατηρούμενος Όγκος – GSV), που θα καταλάβει το φορτίο στις δεξαμενές φορτίου. Δηλαδή $100.000,00/0,9887 = 101.142,91$ Gross Bbls στους 85 °F.

γ) Με γνωστό τον όγκο που θα καταλάβει το φορτίο στη θερμοκρασία φορτώσεως, γίνεται η κατανομή στις δεξαμενές κατά **Ullage** ή **Souding**, δηλαδή σύμφωνα με τους πίνακες που διατίθενται στο Souding-Ullage table book του πλοίου, όπου αναφέρεται ο όγκος στις δεξαμενές μετρούμενες από την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου.

δ) Επειδή ο όγκος του φορτίου αντιστοιχεί και σε βάρος, με την κατανομή του φορτίου στις δεξαμενές είναι γνωστό και το βάρος που έχει το φορτίο μέσα σε αυτές, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί και η διαγωγή του πλοίου. Αν κρίνεται αναγκαίο, για την εξασφάλιση της ευστάθειας, γίνεται και ανάλογη μεταφορά του βάρους.

Όταν η ποσότητα φορτίου που πρόκειται να παραληφθεί δίνεται σε μετρικούς τόνους (MT), τότε από τους πίνακες μετατροπής σε βαρέλια στους 60 °F (βλ. Παράρτημα Δ, πίν. Π.Δ.11), λαμβάνεται ο συντελεστής για να μετατραπούν οι MT σε Net Bbls στους 60 °F και στη συνέχεια να υπολογιστεί ο όγκος σε κάθε δεξαμε-

νή. Π.χ., οι 30.000 MT φορτίο με °API 31,0 και θερμοκρασία φορτώσεως 85 °F, για να μετατραπούν σε Net Bbls στους 60 °F σύμφωνα με τον πίνακα 13 (βλ. Παράρτημα Δ, πίν. Π.Δ.11), διαιρούνται με το 0,13813, που είναι το βάρος ανά βαρέλι στους 60 °F. Δηλαδή $30.000 (MT)/0,13813 (MT/Bbl) = 217.186,70$ Net Bbls στους 60 °F ή $30.000 \cdot 7,239556 = 217.186,70$ Net Bbls στους 60 °F. Για να μετατραπεί η ποσότητα των βαρελιών σε όγκο του φορτίου στη θερμοκρασία παραδόσεως ακολουθούνται τα ίδια βήματα που περιγράφηκαν παραπάνω.

18.3.2 Υπολογισμός φορτίου που θα παραληφθεί με τη μέθοδο μετατροπής όγκου.

Ο υπολογισμός του φορτίου που θα παραληφθεί με τη μέθοδο μετατροπής όγκου πραγματοποιείται σε:

α) **Κυβικά πόδια** (cubic feet – ft³). Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ο κυβικός συντελεστής και ο **συντελεστής θερμικής διαστολής** (expansion coefficient). Οι δύο αυτοί συντελεστές βρίσκονται από κατάλληλους πίνακες και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας τους τόνους του φορτίου με τον κυβικό συντελεστή λαμβάνεται ο όγκος που θα καταλάβει το φορτίο σε κυβικά πόδια. Στη συνέχεια, αν τα κυβικά πόδια που βρέθηκαν πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή θερμικής διαστολής, θα βρεθεί ο όγκος που θα καταλάβει το φορτίο στη θερμοκρασία φορτώσεως σε ft³.

β) **Κυβικά μέτρα** (cubic meters – m³), όπου χρησιμοποιείται ο συντελεστής όγκου (Volume Coefficient – VC). Για να γίνει ο υπολογισμός, χρησιμοποιείται ο συντελεστής όγκου που αντιστοιχεί στο API του φορτίου και δίνεται από σχετικούς πίνακες. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή όγκου με τη διαφορά θερμοκρασιών¹, βρίσκεται ένας νέος συντελεστής. Ο συντελεστής αυτός, εάν πολλαπλασιαστεί με τον όγκο του φορτίου στους 60 °F, θα βρεθεί ο όγκος που αντιπροσωπεύει τη διαστολή του φορτίου. Αν τα συνολικά κυβικά διαστολής του όγκου που βρέθηκαν, προστεθούν στον όγκο του φορτίου στους 60 °F, θα βρεθεί ο όγκος σε κυβικά, που θα καταλάβει το φορτίο στη θερμοκρασία φορτώσεως.

18.3.3 Υπολογισμός φορτίου που θα παραληφθεί με τη μέθοδο μετατροπής ειδικού βάρους.

Ο υπολογισμός του φορτίου που θα φορτωθεί στο πλοίο πραγματοποιείται με τον **συντελεστή μετατρο-**

¹ Η διαφορά θερμοκρασιών είναι η θερμοκρασία που λαμβάνεται όταν από τους 60°F αφαιρεθεί η θερμοκρασία παραλαβής του φορτίου.

πής ειδικού βάρους (Specific Gravity Coefficient).

Με το API που δίνεται για το φορτίο, βρίσκονται από τους κατάλληλους πίνακες το ειδικό βάρος που αντιστοιχεί στους 60°F και ο συντελεστής ειδικού βάρους. Γνωρίζοντας τη θερμοκρασία του φορτίου, η οποία μπορεί να μετρηθεί, το ειδικό βάρος για 60°F, που βρίσκεται από τους πίνακες, και τη διαφορά θερμοκρασιών, που μπορεί να υπολογιστεί, εάν πολλαπλασιαστεί η διαφορά θερμοκρασιών με τον συντελεστή ειδικού βάρους, που δίνεται από τους πίνακες, θα προκύψει ένα ειδικό βάρος. Το ειδικό βάρος, εάν αφαιρεθεί από το ειδικό βάρος στους 60°F, θα βρεθεί ένα νέο διορθωμένο ειδικό βάρος, που θα αντιστοιχεί στη θερμοκρασία, την οποία έχει το φορτίο κατά τη φόρτωση. Με το νέο ειδικό βάρος βρίσκεται από τους πίνακες ο κυβικός συντελεστής, με τον οποίο αν πολλαπλασιαστεί το βάρος του φορτίου, θα βρεθεί το βάρος που θα καταλάβει το φορτίο σε ft³ στη θερμοκρασία που θα έχει το φορτίο κατά τη φόρτωση.

18.4 Μετατροπές μονάδων όγκου.

Το σχήμα του πλοίου και τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά καθορίζουν το σχήμα και το μέγεθος των δεξαμενών του. Γι' αυτό, λόγω του σχήματος κάθε δεξαμενής απαιτείται ιδιαίτερη αντιμετώπιση προκειμένου να προσδιοριστεί ο όγκος της. Αυτό συμβαίνει διότι το υγρό που υπάρχει σε μια δεξαμενή ακολουθεί το σχήμα της. Επειδή όμως οι δεξαμενές των πλοίων δεν είναι τυποποιημένα δοχεία, ο όγκος υγρού που περιέχεται σε κάθε ύψος στάθμης του υγρού μέσα σε μια δεξαμενή είναι διαφορετικός. Γι' αυτό, κάθε δεξαμενή είναι ογκομετρημένη σε m³ ή ft³, ώστε ανάλογα με το ύψος της στάθμης του υγρού να μπορεί να προσδιοριστεί ο όγκος του φορτίου που περιέχει. Οι πληροφορίες αυτές δίνονται από τους πίνακες του βιβλίου βυθομετρήσεως των δεξαμενών, που είναι διαθέσιμοι σε κάθε πλοίο. Ο όγκος φορτίου που περιέχεται σε μια δεξαμενή, είναι απαραίτητος για τον προσδιορισμό του βάρους του φορτίου. Ειδικά στα πετρελαιοειδή η πυκνότητα και το ειδικό βάρος επηρεάζονται από τη θερμοκρασία¹, με αποτέλεσμα με την αύξηση της θερμοκρασίας το βάρος σε κάθε μονάδα όγκου να μειώνεται και αντίστοιχα το ειδικό βάρος να μειώνεται όσο ο όγκος αυξάνεται.

Ο προσδιορισμός του βάρους φορτίου όπου χρησιμοποιείται ο όγκος δίνεται από τον τύπο:

$$W = V \cdot \rho \quad (6)$$

όπου: W το βάρος (Weight), V ο όγκος (Volume) και ρ η πυκνότητα του υγρού.

Όμως, για να προσδιοριστεί η πυκνότητα είναι απαραίτητο να είναι γνωστή και η θερμοκρασία του φορτίου τη στιγμή της μετρήσεως, η οποία λαμβάνεται απ' τις ενδείξεις των θερμομέτρων.

Έτσι, με γνωστά τη θερμοκρασία φορτώσεως του φορτίου, το API-ειδικό βάρος και το ύψος της στάθμης του φορτίου μέσα στη δεξαμενή, μέσω σχετικών πινάκων και υπολογισμών², μετατρέπεται ο όγκος από τη θερμοκρασία φορτώσεως στον όγκο που θα καταλάμβανε σε US Bbls, αν ήταν σε θερμοκρασία 60°F, και σε κυβικά μέτρα στους 15°C.

Οι μονάδες όγκου, ανάλογα με το σύστημα που χρησιμοποιείται, ορίζονται με:

α) Το κυβικό μέτρο (m³), το οποίο αναφέρεται στον όγκο του κύβου που έχει πλευρές μήκους ενός μέτρου (στο SI).

β) Το κυβικό πόδι (ft³), που αναφέρεται στον όγκο του κύβου ο οποίος έχει πλευρές μήκους ενός ποδιού (Αγγλοσαξονικό σύστημα).

γ) Το λίτρο (l), που αποτελεί τη μονάδα όγκου του μετρικού συστήματος και είναι ίσο με 0,001 m³, δηλαδή αναφέρεται σ' έναν κύβο του οποίου οι ακμές είναι 10 cm (1l = 10⁻³ m³, 1 m³ = 1.000 l).

δ) Το UK Gallon, το οποίο ορίζεται ως 4,54609 λίτρα και βασίζεται στον όγκο που καταλαμβάνουν 10 rounds-βάρους νερού στους 62°F (17°C) και

ε) το US Gallon [imperial (UK) gallon], το οποίο είναι ίσο με 3,785411784 λίτρα και ορίζεται ότι καταλαμβάνει όγκο 231 κυβικές ίντσες.

Οι συντελεστές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν με σκοπό τη μετατροπή από μία μονάδα όγκου σε μία άλλη παρουσιάζονται στον πίνακα 18.4. Στον πίνακα ο συντελεστής της μονάδας μετρήσεως της πρώτης γραμμής (μετατροπή από), διαιρούμενος με την δεδομένη ποσότητα που θέλουμε να μετατρέψουμε δίνει την ποσότητα σε μονάδες της πρώτης στήλης. Για παράδειγμα οι 300.000 in³ για να μετατραπούν σε m³ διαιρούνται με τον συντελεστή μετατροπής 6,1·10⁴ και δίνεται ως:

$$300.000 \text{ in}^3 = \frac{300.000 \text{ in}^3}{6,1 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{in}^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 300.000 \text{ in}^3 = 4,916 \text{ m}^3$$

¹ Ανά βαθμό θερμοκρασίας ο συντελεστής ειδικού βάρους που χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό του βάρους ενός συγκεκριμένου όγκου φορτίου είναι διαφορετικός για την κλίμακα °C και για την κλίμακα °F.

² Από το βιβλίο Βυθομετρήσεως των Δεξαμενών και τους Πίνακες του Συντελεστή Διορθώσεως του Όγκου.

Πίνακας 18.4
Συντελεστές πολλαπλασιασμού μετατροπής μονάδων όγκου (Multiply by).

Μετατροπή από Μετατροπή σε	Κυβικές ίντσες (in ³)	Κυβικά πόδια (ft ³)	Γαλόνια Αμερικής (USG)	Γαλόνια Ηνωμένου Βασιλείου (UKG)	Βαρέλια Αμερικής (Bbls)
Κυβικά μέτρα (m ³)	6,1 10 ⁴	35,3	264,2	220	6,29
Λίτρα (l)	61	3,5 10 ⁻²	0,26	0,22	6,3 10 ⁻³
Κυβικές ίντσες (in ³)	1	5,79 10 ⁻⁴	4,3 10 ⁻³	3.6 10 ⁻³	10 ⁻⁴
Κυβικά πόδια (ft ³)	1728	1	7,48	6,23	0,18
Γαλόνια Αμερικής (USG)	231	0.134	1	0,83	0,024
Γαλόνια Ηνωμένου Βασιλείου (UKG)	277,4	0.16	1.2	1	0,029
Βαρέλια Αμερικής (Bbls)	9702	5.61	42	35	1

Ενώ για 10.000 US Gall για να μετατραπούν σε ft³ διαιρούνται με τον συντελεστή 7,48, τότε:

$$100.000 \text{ Us Gall} = \frac{10.000 \text{ USG}}{7,48 \text{ USG/ft}^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10.000 \text{ Us Gall} = 1336,89 \text{ ft}^3$$

Αντίστροφα αν η δεδομένη ποσότητα είναι σε μονάδες της πρώτης στήλης, όταν πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή μετατροπής, το αποτέλεσμα είναι σε μονάδες της πρώτης γραμμής.

Σε πλοία όπου χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί υπολογιστές η μετατροπή σε άλλες μονάδες και οι υπολογισμοί μπορούν να γίνονται με τη χρήση διαφόρων προγραμμάτων.

18.5 Υπολογισμός ποσότητας φορτίου που παραλήφθηκε.

Ο υπολογισμός της ποσότητας φορτίου που παραλήφθηκε από το πλοίο έχει μεγάλη σημασία, διότι αποτελεί οικονομικό στοιχείο μεγάλης αξίας, που πρέπει να μεταφερθεί και να παραδοθεί με ασφάλεια. Από τη στιγμή που το φορτίο περάσει από τις γραμμές λήψεως του πλοίου μέχρι τη στιγμή που θα παραδοθεί, το πλήρωμα, οι διαχειριστές και κυρίως ο Πλοίαρχος έχουν την ευθύνη αυτού. Γι' αυτό οι υπολογισμοί της ποσότητας που παραλήφθηκε θα πρέπει να γίνουν με μεγάλη προσοχή και ακρίβεια. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται λαμβάνοντας υπόψη τους βαθμονομημένους πίνακες που αφορούν στις δεξαμενές του πλοίου και στους πίνακες ειδικού βάρους και θερμοκρασίας που αφορούν στο φορτίο και στη διαγωγή του πλοίου. Τέλος, η ποσότητα που

παραλήφθηκε απ' το πλοίο θα πρέπει να διασταυρωθεί με την ποσότητα που αναφέρεται ότι παραδόθηκε από τους φορτωτές και να επιλυθεί οποιαδήποτε διαφορά πριν υπογραφεί η φορτωτική, που αποτελεί το μοναδικό επίσημο έγγραφο της ποσότητας και της ποιότητας του φορτίου.

Οι μετρήσεις των δεξαμενών, στις οποίες θα στηριχθούν οι υπολογισμοί πρέπει να γίνονται μετά την ολοκλήρωση της φορτώσεως. Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων δεν πρέπει να εκτελούνται ενέργειες που επηρεάζουν τη διαγωγή του πλοίου, π.χ. ο ερματισμός, ο αφερματισμός, η πετρέλωση, η μεταφορά φορτίου από δεξαμενή σε δεξαμενή. Κατόπιν της διασφάλισης αυτών των συνθηκών, οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται ως εξής:

α) Η μέτρηση του φορτίου που περιέχει κάθε δεξαμενή λαμβάνεται μετρώντας το ύψος απ' την ελεύθερη επιφάνεια του φορτίου μέσα σ' αυτή μέχρι το στόμιο του μετρητή στο κατάστρωμα (observed ullage), σύμφωνα με το οποίο είναι βαθμονομημένοι οι πίνακες των δεξαμενών. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις διορθώνονται σύμφωνα με τους πίνακες **corrective ullage**, που δίνουν τις διορθώσεις των μετρήσεων, όπου και εάν απαιτείται.

β) Μετρείται η θερμοκρασία, που έχει το φορτίο σε κάθε δεξαμενή, ώστε μαζί με τα ullages και τη βοήθεια των πινάκων να λαμβάνεται ο όγκος που καταλαμβάνει το φορτίο σε κάθε δεξαμενή [ολικός όγκος που παρατηρήθηκε (Total Observed Volume – TOV)], ο οποίος είναι σε κυβικά μέτρα (m³) ή βαρέλια (Gross Bbls).

γ) Από τον όγκο TOV που υπολογίστηκε, αφαιρείται το νερό που τυχόν βρέθηκε σε κάθε δεξαμε-

νή δίνοντας τον μικτό ή ακαθάριστο όγκο φορτίου (Gross Observed Volume – GOV), στον οποίο περιλαμβάνεται εάν υπάρχει και ποσότητα από υπολείμματα προηγούμενου φορτίου (On Board Quantity Sentiments – OBQ).

δ) Με τους πίνακες θερμικής διαστολής του πλοίου, πίνακας ASTM¹ 6A (βλ. Παράρτημα Δ, πίν. Π.Δ.12), τη θερμοκρασία του φορτίου στις δεξαμενές και τον βαθμό °API, βρίσκεται ο συντελεστής θερμικής διαστολής του φορτίου, ο οποίος πολλαπλασιάζεται με το GOV και βρίσκεται η ποσότητα του καθαρού όγκου φορτίου Net Bbls [ή σε μικτό όγκο φορτίου (Gross Standard Volume – GSV)] στους 60°F (GSV = GOV · VCF) ή και τα κυβικά μέτρα στους 15°C, που υπάρχει μέσα στις δεξαμενές.

ε) Στο σύνολο του μικτού όγκου φορτίου (GSV) προστίθεται πάλι το σύνολο του ελεύθερου νερού σε βαρέλια, δίνοντας τον Συνολικό Υπολογιζόμενο Όγκο (Total Calculated Volume – TCV) φορτίου στις δεξαμενές. Στο TCV συμπεριλαμβάνεται και η ποσότητα από υπολείμματα προηγούμενου φορτίου, εάν υπήρχε.

στ) Τέλος από το TCV αφαιρείται το σύνολο των υπολειμμάτων-ιζημάτων (εάν υπήρχαν) σε βαρέλια, που είχαν υπολογιστεί πριν τη φόρτωση με τη Wedge Formula² και έτσι βρίσκεται το σύνολο του όγκου που φορτώθηκε (Total Received Volume – TRV) σε Net Bbls στους 60°F ή και σε κυβικά μέτρα στους 15°C.

ζ) Ο ολικός όγκος που παραλήφθηκε, μετατρέπεται σε Μετρικούς Τόνους ή σε Long Tons³ στο πε-

ριβάλλον (in air), με τη βοήθεια ειδικών πινάκων (Παράρτημα Δ, πίν. Π.Δ.10 και Π.Δ.11). Αυτός ο όγκος αποτελεί το βάρος του φορτίου και πρέπει να κατανεμηθεί στις δεξαμενές του πλοίου, ώστε να ρυθμιστεί η κατανομή των κοπώσεων στο σκάφος και η ευστάθειά του.

Ο συνολικός όγκος φορτίου που παραλήφθηκε (Vessel Gross Volume Loaded), πρέπει να συγκριθεί με τον συνολικό όγκο που δίνεται απ' τον φορτωτή (Supplier Gross Volume Loaded), ώστε να συμφωνηθεί η ποσότητα που θα γραφεί στη φορτωτική. Γι' αυτό πριν γίνει η σύγκριση, ο συνολικός όγκος που παραλήφθηκε, πολλαπλασιάζεται με τον εμπειρικό συντελεστή φορτώσεως του πλοίου (Vessel Experience Factor – VEF⁴). Η ποσότητα που θα προκύψει από το γινόμενο αυτό είναι ο τελικός διορθωμένος όγκος σε βαρέλια ή μετρικούς τόνους που παραλήφθηκε από το πλοίο.

Στους υπολογισμούς της ποσότητας ενός φορτίου μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλοί τρόποι και διαφορετικές μονάδες μετρήσεως από το πλήρωμα του πλοίου, από τον φορτωτή ή από κάποιον επιθεωρητή του φορτίου. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στους συντελεστές από τους πίνακες που χρησιμοποιούνται για τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες. Το ιδανικό θα ήταν όλοι να χρησιμοποιούσαν τον ίδιο τρόπο, αλλά αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό. Γι' αυτό, προκειμένου να περιοριστούν στο ελάχιστο οι διαφορές και να αποφεύγονται λάθη στους υπολογισμούς της ποσότητας, καλό θα ήταν κατά τη μέτρηση

¹ Οι πίνακες ASTM αναφέρονται στους:

α) Πίνακες ASTM 5A, 6A, 23A, 24A, 53A και 54A, οι οποίοι είναι για το αργό πετρέλαιο.

β) Πίνακες ASTM 5B, 6B, 23B, 24B, 53B και 54B, οι οποίοι είναι για τα πετρελαϊκά προϊόντα.

γ) Πίνακες ASTM 5C, 24C και 54C που χρησιμοποιούν τους Συντελεστές θερμικής διαστολής.

δ) Πίνακες ASTM 5D, 6D, 53D και 54D, οι οποίοι είναι για τα έλαια λιπάνσεως.

ε) Πίνακες ASTM ODD, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν τους βαθμούς °API, τη σχετική πυκνότητα (Relative Density) ή την πυκνότητα (Density) σε API 60, RD 60 ή DENS.

² Η **Wedge Formula** χρησιμοποιείται για να βρεθούν τα υπολείμματα από προηγούμενη φόρτωση (On Board Quantity Sentiments – OBQ) σε δεξαμενές φορτίου στα Δ/Ξ. Στα εμπορικά πλοία τα σύμβολα OBQ σημαίνουν το υγρό φορτίο, που παρέμεινε στο πλοίο και υπολογίζεται πριν από την έναρξη της φορτώσεως. Η ποσότητα συνήθως υπολογίζεται σε κυβικά μέτρα ως εκ τούτου θα πρέπει να αφαιρείται από τη συνολική ποσότητα φορτίου, που υπολογίζεται στο πλοίο. Ο λανθασμένος υπολογισμός της OBQ είναι ο λόγος που πολλές φορές παρατηρείται διαφορά στα αποτελέσματα των υπολογισμών της ποσότητας που φορτώθηκε στο πλοίο μεταξύ του Πλοιάρχου/ιδιοκτήτη και του εκπροσώπου του διυλιστηρίου που ενεργεί για λογαριασμό των φορτωτών.

³ Long Tons είναι το όνομα για τη μονάδα που ονομάζεται “τόνος” στο σύστημα των μετρήσεων, η οποία χρησιμοποιείται στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ένας Long Ton είναι ίσος με 2.240 pounds.

⁴ Ο **εμπειρικός συντελεστής του πλοίου** (Vessel Experience Factor – VEF) χρησιμοποιείται για να μειωθεί η διαφορά που μπορεί να υπάρχει μεταξύ του όγκου που υπολογίζεται από το πλοίο και από την ξηρά (δηλ. τον φορτωτή). Είναι διαθέσιμος χωριστά για κάθε δεξαμενή ή και στο σύνολο των δεξαμενών. Ο υπολογισμός αυτού του εμπειρικού συντελεστή βασίζεται στα 20 τελευταία ταξίδια και φορτία που μεταφέρθηκαν απ' το πλοίο εκτός των μεταφορτώσεων. Εάν δεν υπάρχουν 20 ταξίδια, υπολογίζεται με βάση 5 ταξίδια ικανοποιητικής φορτώσεως (qualified voyages), δηλαδή φορτώσεις του πλοίου, στις οποίες η διαφορά που υπήρχε με την ποσότητα που δόθηκε απ' τους φορτωτές ήταν έως 0,3%.

να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε παράγοντες όπως:

α) Η μέτρηση των ullages των δεξαμενών, η οποία πρέπει να γίνεται μετά το πέρας της φορτώσεως.

β) Η μέτρηση της θερμοκρασίας του φορτίου, η οποία λαμβάνεται είτε από ειδικά ραντάρ, είτε με ειδική ταινία μετρήσεως.

γ) Ο τρόπος υπολογισμού και οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται, ώστε να λαμβάνεται ο κατάλληλος συντελεστής απ' τον ανάλογο πίνακα.

δ) Τυχόν αριθμητικό λάθος, που θα οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

18.6 Όρια πληρώσεως δεξαμενών με υγροποιημένο φορτίο.

Ο μέγιστος όγκος πληρώσεως των δεξαμενών φορτίου στα πλοία που μεταφέρουν υγρά φορτία είναι 98% έως 98,5%. Το ποσοστό τεκμαίρεται από την ιδιότητα του φορτίου, μία εκ των οποίων είναι να διαστέλλεται όταν αυξηθεί η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ανάλογα και ο όγκος του. Έτσι, μία πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας σε μια δεξαμενή με αργό πετρέλαιο που περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό των παραπάνω ορίων, θα οδηγήσει σε αύξηση του όγκου του φορτίου και υπερχειλίση των δεξαμενών από τα ασφαλιστικά. Αυτό θα προκαλούσε ρύπανση του περιβάλλοντος και κίνδυνο προκλήσεως ζημιών στην ίδια τη δεξαμενή, μια και η αύξηση του όγκου θα είχε ως επακόλουθο τεράστιες πιέσεις στα τοιχώματα της δεξαμενής. Ο υπολογισμός της ποσότητας του υγρού που θα φορτωθεί σε μία δεξαμενή, ώστε να είναι σύμφωνη με τα όρια πληρώσεως, γίνεται με βάση την υψηλότερη θερμοκρασία απ' τις οδηγίες θερμάνσεως, που θα έχει το φορτίο κατά τη μεταφορά.

Ανάλογα ορίζεται και το μέγεθος που μπορεί να έχει η ελεύθερη επιφάνεια που δημιουργείται απ' τη στάθμη του φορτίου μέσα στη δεξαμενή. Η πολύ μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια που δημιουργείται σε μια μισογεμάτη δεξαμενή, εξαιτίας του μεγάλου της πλάτους, θα επιτρέπει μεγάλη μετακίνηση του υγρού, που μπορεί να καταλήξει σε απώλεια της ευστάθειας λόγω της αναταραχής του υγρού κατά τους διατοιχισμούς (σκαμπανέβασμα ή μπότζι) του πλοίου στη διάρκεια ενός ταξιδιού. Η επίδραση των ελευθέρων

επιφανειών, όταν οι δεξαμενές περιέχουν φορτίο 98% είναι αμελητέα. Εάν όμως το πλάτος της δεξαμενής είναι μεγαλύτερο του 60% του μέγιστου πλάτους του πλοίου, τότε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Για πλοία που μεταφέρουν υγροποιημένα φορτία, ο όγκος του φορτίου είναι το 98%, του γεωμετρικού όγκου της δεξαμενής και αποτελεί το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο που θα μπορεί να φορτωθεί, λαμβάνοντας υπόψη την πίεση, στην οποία έχει ρυθμιστεί η ασφαλιστική της βαλβίδα. Το όριο αυτό ισχύει για τα πλοία υγροποιημένου φορτίου που διαθέτουν εγκατάσταση επανυγροποιήσεως των ατμών του φορτίου, ενώ σ' αυτά που δεν υπάρχει τέτοια εγκατάσταση ή δεν λειτουργεί το όριο φορτώσεως, μειώνεται στο 85–95% του όγκου της δεξαμενής. Τα όρια πληρώσεως των δεξαμενών που αφορούν σε πλοία υγροποιημένων φορτίων παρέχονται από διαγράμματα που διατίθενται στα πλοία.

Ο IMO καθορίζει τον μέγιστο όγκο πληρώσεως των δεξαμενών με υγροποιημένο φορτίο σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

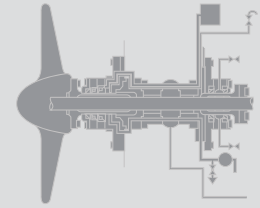
$$V_L = 0,98 \cdot V \cdot \frac{\rho_r}{\rho_t}$$

όπου: V_L είναι ο μέγιστος όγκος στον οποίο η δεξαμενή μπορεί να φορτωθεί, V είναι ο συνολικός όγκος της δεξαμενής, ρ_r είναι η σχετική πυκνότητα (relative density) του φορτίου στη **θερμοκρασία αναφοράς**¹, και ρ_t είναι η σχετική πυκνότητα του φορτίου στη θερμοκρασία φορτώσεως (δίνεται από τους φορτωτές).

Εάν ο μέγιστος όγκος (V_L) σε m^3 διαιρεθεί με τον συνολικό όγκο της δεξαμενής (V) και πολλαπλασιαστεί με 100, δίνεται το όριο πληρώσεως της δεξαμενής σε ποσοστό επί τοις (%). Επίσης, τα υγροποιημένα αέρια πάντοτε μεταφέρονται σε θερμοκρασία βρασμού ή θερμοκρασία ζέσεως (boiling temperature). Σε αυτήν τη θερμοκρασία το υγρό και το αέριο βρίσκονται σε ισορροπία. Η θερμοκρασία βρασμού προσδιορίζεται απ' την πίεση μέσα στη δεξαμενή.

Η θερμοκρασία βρασμού αυξάνεται με την πίεση και η πίεση που λαμβάνεται ποτέ δεν θα πρέπει να είναι υψηλότερη απ' τη ρύθμιση της πίεσεως στη βαλβίδα ανακουφίσεως.

¹ Η θερμοκρασία αναφοράς ισούται με τη θερμοκρασία βρασμού, σε πίεση στην οποία είναι ρυθμισμένη η βαλβίδα εκτονώσεως (η υψηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια του ταξιδιού· υψηλότερη θερμοκρασία ισοδυναμεί με μικρότερη πυκνότητα).



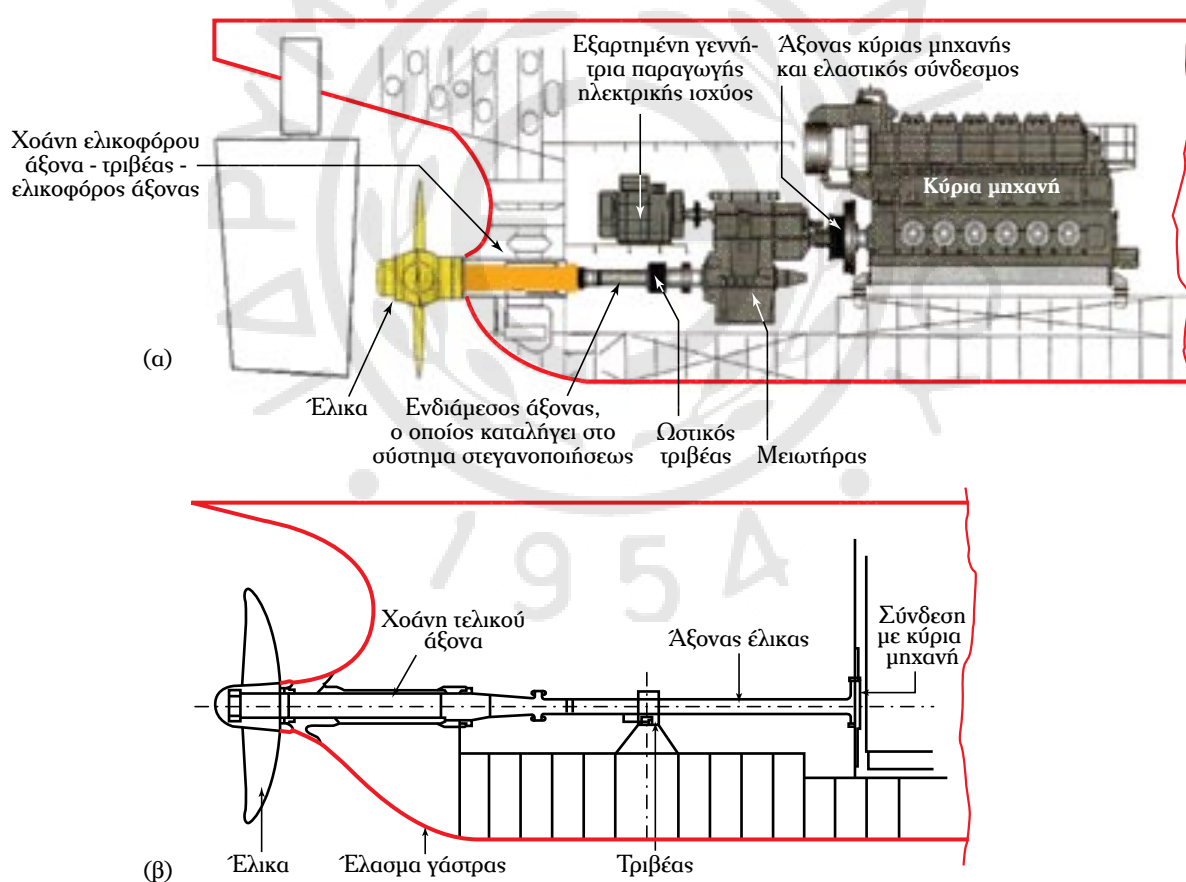
19.1 Γενικά.

Η κίνηση του πλοίου στο νερό επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος προώσεως, το οποίο είναι συνδεδεμένο είτε με την κύρια μηχανή του πλοίου, είτε με ηλεκτρικό κινητήρα, όταν πρόκειται για πλοίο με ηλεκτροπρόωση (βλ. παράγρ. 19.10). Η δύναμη που απαιτείται για την κίνηση του πλοίου εξαρτάται από τη **συνολική αντίσταση**¹ του πλοίου στο νερό, και τα υδροδυναμικά του χαρακτηριστικά.

Η εγκατάσταση του συστήματος προώσεως εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου και τα ειδικά του χαρακτηριστικά (π.χ. φορτίο). Ο τύπος, το μέγεθος και κατά συνέπεια το βάρος της έλικας είναι επίσης παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Το σύστημα προώσεως μεταδίδει ισχύ από την κύρια μηχανή στην έλικα, η οποία μεταφέρει την ώση στο πλοίο μέσω του ίδιου συστήματος (σχ. 19.1α).

Στην περίπτωση που η διαμόρφωση της γάστρας



Σχ. 19.1α

Τυπική διάταξη συστήματος προώσεως σε πλοίο σε διαμήκη τομή (α) με μειωτήρα και (β) με άμεση σύνδεση της κύριας μηχανής με τον ελικοφόρο άξονα.

¹ Η συνολική αντίσταση αποτελείται από την **αντίσταση τριβής** (R_f) (Friction Resistance), την **αντίσταση κύματος** (R_w) (Wave Resistance) και την **υπόλοιπη αντίσταση** (R_r) (Residual Resistance) ($R_t = R_f + R_w + R_r$).

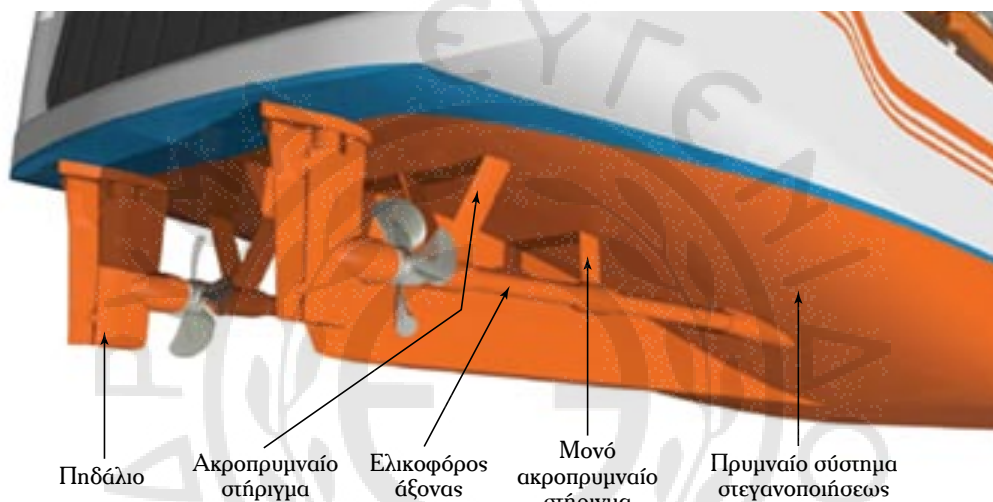
στο πρυμναίο τμήμα του πλοίου δεν επιτρέπει την τοποθέτηση της έλικας μετά το σύστημα στεγανοποίησης του άξονα με τη γάστρα, τότε ο ελικοφόρος άξονας εκτείνεται πρύμνηθεν (σχ. 19.1β). Η στήριξη και η ευθυγράμμιση του άξονα επιτυγχάνονται με ένα ή περισσότερα ακροπρυμναία στηρίγματα (μπρακέτα, A-Brackets).

19.2 Ωστικοί τριβείς.

Ο ωστικός τριβέας μεταφέρει την ώση από την έλικα μέσω του ελικοφόρου άξονα στη γάστρα του πλοίου, χωρίς να επιτρέπει την αξονική μετατόπιση

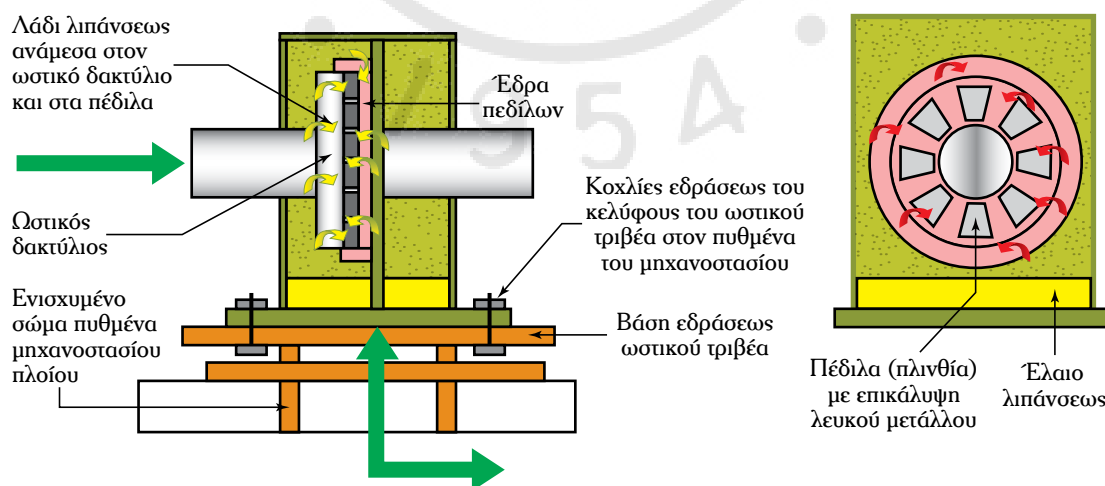
του. Είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικά υλικά, προκειμένου να αντέχει το ωστικό φορτίο και να το μεταφέρει στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Τοποθετείται κυρίως πρύμνηθεν της κύριας μηχανής του πλοίου, ούτως ώστε να μην μεταφέρονται ωστικά φορτία από τον ελικοφόρο άξονα στον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής ή σε εγκατεστημένο μειωτήρα στροφών, ο οποίος ενδέχεται να παρεμβάλλεται.

Ο τελειότερος τύπος ωστικού τριβέα είναι αυτός των Michell-Kingsbury. Έλαβε το όνομά του από τους πρώτους κατασκευαστές του, τον Αυστραλό μηχανικό Anthony George Maldon Michell το έτος 1905¹ και τον Αμερικανό μηχανολόγο Albert Kings-



Σχ. 19.1β

Διάταξη ουστήματος προώσεως με μπρακέτα σε πλοίο.



Σχ. 19.2α

Διάταξη ουστήματος ωστικού τριβέα.

¹ Michell, Anthony George Maldon in Venn, J. & J. A., Alumni Cantabrigienses, Cambridge University Press, 10 vols, 1922–1958.

bury το 1911. Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι οι δύο μηχανικοί σχεδόν ταυτόχρονα αλλά ανεξάρτητα σχεδίασαν τον ωστικό τριβέα χωρίς να γνωρίζει ο ένας τη σχεδίαση του άλλου.

Η αρχή λειτουργίας του ωστικού τριβέα βασίζεται στα λεγόμενα πεδίλα (πλινθία) (σχ. 19.2α).

Η ωστική δύναμη από τον ελικοφόρο άξονα καταλήγει στον ωστικό δακτύλιο του άξονα, εντός του ωστικού τριβέα. Στη συνέχεια, ανάμεσα στον ωστικό δακτύλιο και στα πεδίλα (πλινθία) παρεμβάλλεται έλαιο λιπάνσεως (σχ. 19.2β). Τα πεδίλα στηρίζονται έκκεντρα στην έδρα πεδίων, έτσι ώστε κατά την περιστροφή του ωστικού δακτύλιου, το έλαιο λιπάνσεως να παρασύρεται και κατά συνέπεια να δίνει κλίση στα πεδίλα. Έτσι, σχηματίζεται η σφήνα λιπάνσεως, μέσω της οποίας η αξονική ώση μεταφέρεται στα πεδίλα και κατά συνέπεια μέσω της εδράσεώς τους, στο σώμα του ωστικού τριβέα.

Αυτή η διάταξη ωστικού τριβέα έχει πολύ μεγάλη χρησιμότητα σε συστήματα που παράγουν μεγάλη ώση με περιστρεφόμενο άξονα. Αντίστοιχα είναι σχεδιασμένοι οι ωστικοί τριβείς στους κινητήρες των αεροπλάνων και των ελικοπτέρων.

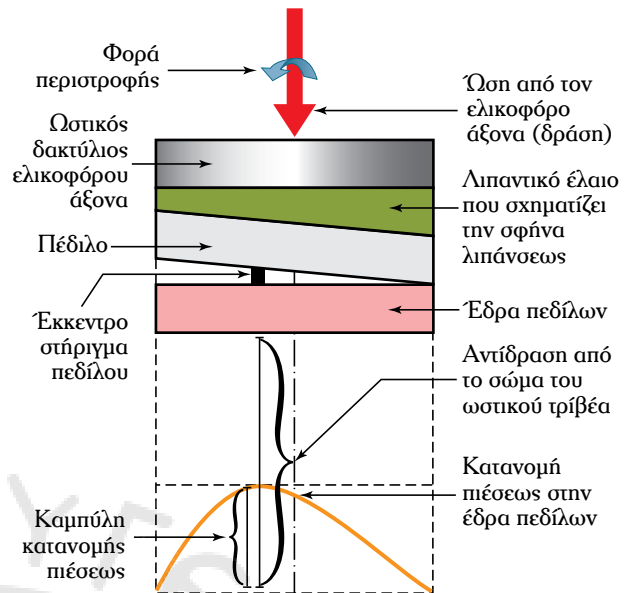
Το βασικό πλεονέκτημα του ωστικού τριβέα τύπου Michell-Kingsbury είναι ότι η παρεμβολή του λιπαντικού ελαίου ανάμεσα στα πλινθία και στον ωστικό δακτύλιο με τη μορφή σφήνας δεν επιτρέπει τη μεταλλική επαφή των επιφανειών και ελαχιστοποιεί τις φθορές. Σε μεγάλες κατασκευές και πλοία, όπου έχουν τοποθετηθεί ωστικοί τριβείς, δεν έχει δημιουργηθεί ανάγκη για αλλαγή ή συντήρηση λόγω φθοράς.

Η φθορά των ωστικών τριβέων είναι παρουσιάζεται στην περίπτωση που μειωθεί η ποσότητα του λιπαντικού ελαίου εντός του κελύφους του τριβέα.

Στο σχήμα 19.2γ φαίνεται η σχηματική διάταξη πεδίων (πλινθίων), όπως επίσης και η έδρα στην οποία στηρίζονται.

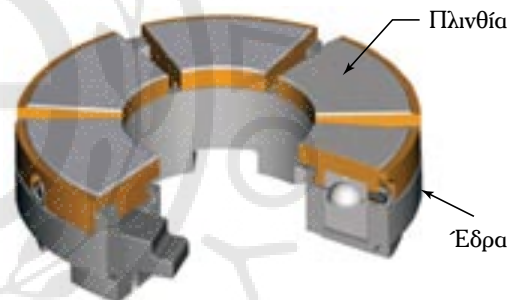
Η δύναμη που ασκεί ο ελικοφόρος άξονας δεν είναι μόνο με κατεύθυνση «πρόσω», αλλά και με κατεύθυνση «ανάποδα». Επομένως, για τον λόγο αυτό η εγκατάσταση του ωστικού τριβέα περιλαμβάνει δύο έδρες πεδίων, έτσι ώστε να είναι σε θέση να δέχεται φορτία και προς τις δύο κατευθύνσεις. Μία τέτοια διάταξη ωστικού τριβέα φαίνεται στο σχήμα 19.2δ.

Για την κίνηση «πρόσω» υπάρχουν δύο διατάξεις πεδίων, γιατί η ώση εδώ είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ώση που αναπτύσσεται στην αντίστροφη κίνηση. Ο αριθμός και το μέγεθος των πεδίων εξαρτάται από το μέγεθος της ώσεως από τον ελικοφόρο άξονα. Η εγκατάσταση ενός ωστικού τριβέα στο μηχανοστά-



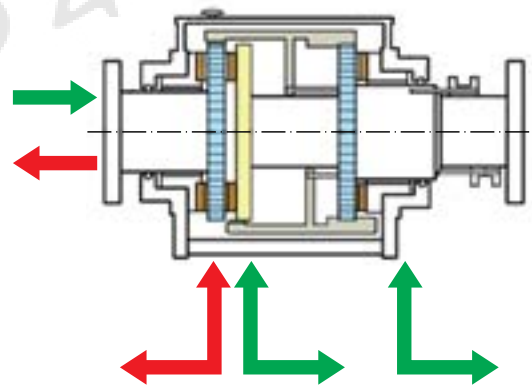
Σχ. 19.2β

Περιγραφή της λειτουργίας των σφηνών λιπάνσεως (πεδίων) εντός του ωστικού τριβέα.



Σχ. 19.2γ

Εδρασμένα πλινθία.



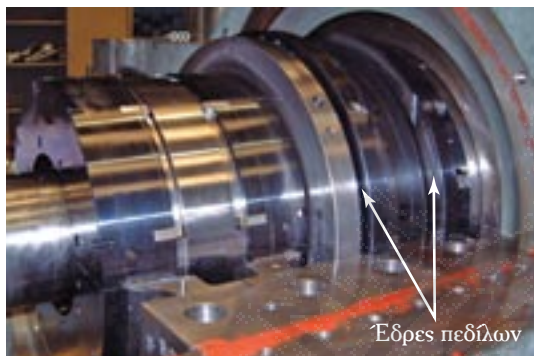
Σχ. 19.2δ

Ωστικός τριβέας με δύο έδρες πεδίων. Τα βέλη δείχνουν την μεταφορά της ώσεως στην κίνηση με κατεύθυνση «πρόσω» (πράσινο) και «ανάποδα» (κόκκινο) αντίστοιχα.

σιο του πλοίου με δύο έδρες πεδίων παρουσιάζεται στο σχήμα 19.2ε.

– Μέσα παρακολουθήσεως λειτουργίας ωστικών τριβέων.

Οι ωστικοί τριβείς τύπου Michell/Kingsbury είναι ανθεκτικοί και η απαιτούμενη συντήρηση είναι ελάχιστη, λόγω των μικρών τριβών. Η καλή λειτουργία τους εξαρτάται από την ποιότητα του ελαίου λιπάνσεως, το οποίο παρακολουθείται συνέχεια μέσω της



Σχ. 19.2ε

Ωστικός τριβέας με δύο έδρες πεδίων.



Σχ. 19.2στ

Συστήματα παρακολουθήσεως καλής λειτουργίας του ωστικού τριβέα.



Σχ. 19.2ζ

Φθαρμένο πέδιλο (πλινθίο).

θερμοκρασίας του. Στο σχήμα 19.2στ(α) φαίνεται το εγκατεστημένο θερμόμετρο για τον σκοπό αυτό, ενώ στο σχήμα 19.2στ(β) ο αυτοματισμός, ο οποίος ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του ελαίου υπερβεί τους 85°C, οπότε αυτόματα διακόπτεται η λειτουργία της κύριας μηχανής. Αυξημένη θερμοκρασία παρουσιάζεται στην περίπτωση αλλοιώσεως του ελαίου λιπάνσεως ή φθοράς των πλινθίων (σχ. 19.2ζ).

19.3 Ενδιάμεσοι τριβείς.

Οι **ενδιάμεσοι τριβείς** (σχ. 19.3α) είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται προκειμένου να στηρίζουν το βάρος του ενδιάμεσου ελικοφόρου άξονα και να μειώνουν τις στρεπτικές ταλαντώσεις του, που δημιουργούνται κατά την περιστροφή. Ο αριθμός των ενδιάμεσων εγκατεστημένων τριβέων εξαρτάται από το μήκος του ενδιάμεσου ελικοφόρου άξονα.

Οι ενδιάμεσοι τριβείς φέρουν εσωτερικά λευκό μέταλλο, στο σημείο όπου εδράζεται ο άξονας. Για τη λίπανση χρησιμοποιείται λιπαντικό έλαιο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα προστατευτικό στρώμα ελαίου ανάμεσα στο λευκό μέταλλο και στον ενδιάμεσο άξονα. Η θερμοκρασία του λιπαντικού κυμαίνεται από 45°–52°C και παρακολουθείται συνέχεια με εγκατεστημένο αυτοματισμό, ο οποίος ενεργοποιείται εάν αυξηθεί η θερμοκρασία λόγω φθοράς και αυξημένης τριβής. Γενικά, η στάθμη και η ποιότητα του ελαίου πρέπει να ελέγχεται από το πλήρωμα της μηχανής έτσι, ώστε να αποφευχθούν διαρροές ελαίου απ' το σώμα του τριβέα.

Η έδραση του τριβέα στηρίξεως (σχ. 19.3β) πραγματοποιείται σε αποκλίνουσα πυραμιδοειδή βάση έτσι, ώστε να μεταφέρεται μικρότερη πίεση από το βάρος του άξονα στον πυθμένα του μηχανοστασίου.

19.4 Συστήματα στεγανοποιήσεως άξονα-χοάνης.

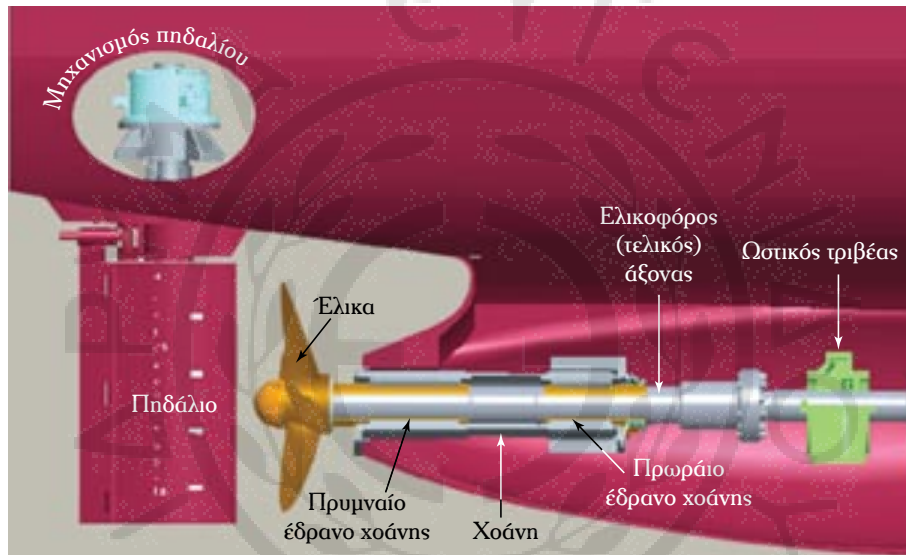
Ο τελικός άξονας που συνδέει την έλικα με την κύρια μηχανή διέρχεται μέσα από τη **χοάνη**. Η χοάνη είναι η διάταξη που βρίσκεται ανάμεσα στην πρυμναία φρακτή στεγανοποιήσεως και στο ποδόστημα, απ' όπου εξέρχεται ο ελικοφόρος άξονας. Η χοάνη επενδύεται εσωτερικά με λευκό μέταλλο [τελικός τριβέας του αξονικού συστήματος – (stern tube bearing)], προκειμένου να εδράζεται ο ελικοφόρος άξονας μεταφέροντας επίσης το βάρος της έλικας του πλοίου. Παλαιότερα, χρησιμοποιούσαν το αγιόξυλο (lignum vitae), ενώ σε μικρά σκάφη χρησιμοποιείται συνθετικό ελαστικό (ερταλόν – ερτασετάλ). Η λίπαν-

**Σχ. 19.3α**

Ενδιάμεσος τριβέας στηρίξεως άξονα (πλάγια όψη).

**Σχ. 19.3β**

Ενδιάμεσος τριβέας στηρίξεως άξονα (προοπτική).

**Σχ. 19.4α**

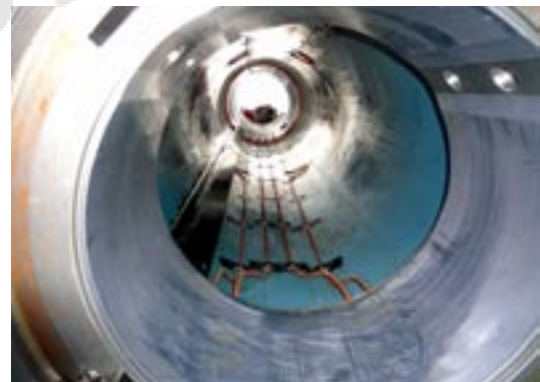
Σχηματική αναπαράσταση κοάνης τελικού άξονα.

ση της επενδύσεως της κοάνης πραγματοποιείται με θαλασσινό νερό.

Ο θάλαμος της κοάνης περιλαμβάνει λιπαντικό έλαιο (stern tube oil), το οποίο λιπαίνει τον άξονα κατά την περιστροφή.

Στα σημεία εισαγωγής και εξαγωγής του άξονα στη κοάνη τοποθετείται στυπαιοθλίπτis ή σύστημα στεγανοποίησης με λάστιχα, προκειμένου να στεγανοποιείται ο χώρος θαλάμου έτσι, ώστε από την πλευρά της θάλασσας να μην εισέρχεται νερό στο λιπαντικό έλαιο, ενώ από την πλευρά του μηχανοστασίου να μην εξέρχεται το λιπαντικό. Στο σχήμα 19.4α εικονίζεται μία σχηματική διάταξη κοάνης τελικού άξονα σε μονέλικο πλοίο.

Στο σχήμα 19.4β εικονίζεται ο θάλαμος της κο-

**Σχ. 19.4β**

Θάλαμος κοάνης τελικού άξονα.

άνης. Ο τελικός ελικοφόρος άξονας έχει αφαιρεθεί, προκειμένου να επιθεωρηθεί η κοάνη και να καθαριστεί ο θάλαμος. Στη συγκεκριμένη κοάνη υπάρχουν δύο έδρανα λευκού μετάλλου, στο πρωραίο και πρυμναίο τμήμα της κοάνης αντίστοιχα. Διακρίνονται επίσης οι σωληνώσεις επιστροφής του ελαίου λιπάνσεως από το πρυμναίο σύστημα εδράνου στηρίξεως.

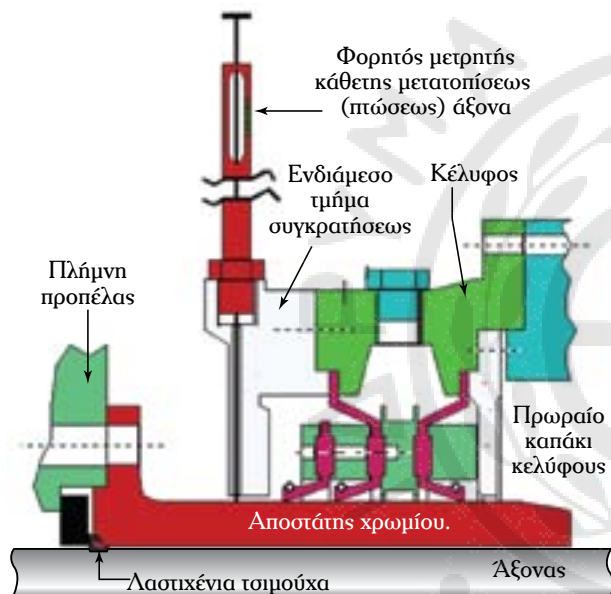
– Στεγανοποίηση κοάνης.

Το πιο διαδεδομένο σύστημα στεγανοποίησης είναι με τη χρήση δακτυλίων με λάστιχα στεγανότητας (σύστημα simplex). Το σύστημα αυτό φέρει μεταλλικό δακτύλιο με εγκατεστημένα λάστιχα (σχ. 19.4γ). Τα λάστιχα είναι διαμορφωμένα έτσι, ώστε να έρχονται σε επαφή με τον δακτύλιο, ο οποίος είναι

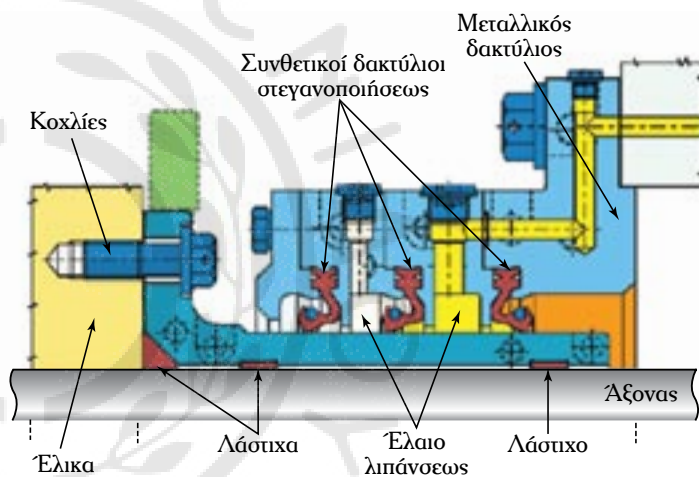
προσαρμοσμένος με κοχλίες στην έλικα. Εσωτερικά τα λάστιχα φέρουν ελατήριο, το οποίο δημιουργεί ένταση, προκειμένου να πραγματοποιείται καλύτερη επαφή.

Η φθορά του λευκού μετάλλου της κοάνης του ελικοφόρου άξονα υπολογίζεται από την κάθετη μετατόπιση του πρυμναίου τμήματος του ελικοφόρου άξονα. Το σώμα του συστήματος στεγανοποίησης φέρει κατάλληλη οπή στο άνω μέρος, η οποία σφραγίζει με κοχλία. Με την αφαίρεση του κοχλία τοποθετείται σύστημα μετρήσεως αποστάσεως με αντίστοιχη βαθμονόμηση, έτσι ώστε να λαμβάνονται μετρήσεις για την κάθετη μετατόπιση (πώση) του τελικού άξονα, απ' όπου εξάγεται και το συμπέρασμα για την αλλοίωση του λευκού μετάλλου εντός της κοάνης.

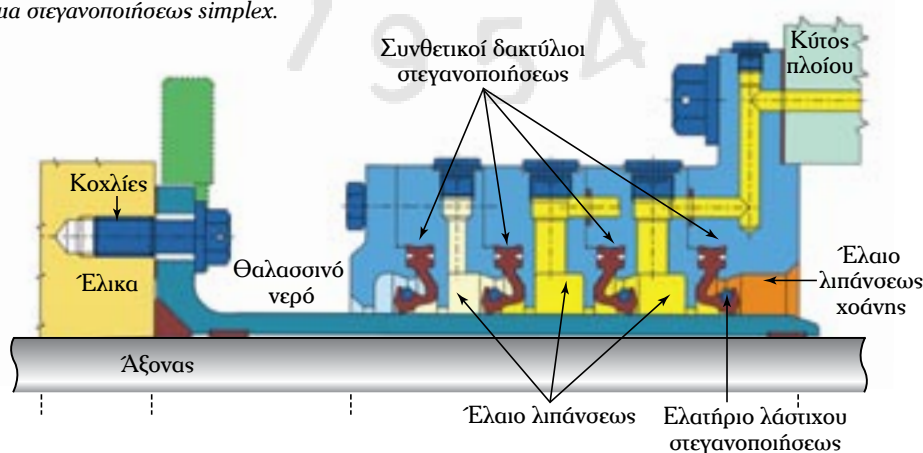
Το εξωτερικό σύστημα στεγανοποίησης της κοάνης, από την πλευρά της θάλασσας είναι ασφα-



(α) Σύστημα στεγανοποίησης simplex.



(β) Διαρρέσιμο σύστημα στεγανοποίησης.



(γ) Μη διαρρέσιμο σύστημα στεγανοποίησης.

Σχ. 19.4γ

Το σύστημα στεγανοποίησης τύπου Simplex.

λισμένο με κοχλίες επάνω στο πίσω μέρος της προπέλας και περιστρέφεται κατά την λειτουργία, ενώ το εσωτερικό σύστημα στεγανοποίησης είναι σταθερό, τοποθετημένο επάνω στην πρυμναία φρακτή, καθώς ο άξονας περιστρέφεται. Στο σχήμα 19.4δ εικονίζεται το εσωτερικό σύστημα στεγανοποίησης στην πλευρά του μηχανοστασίου

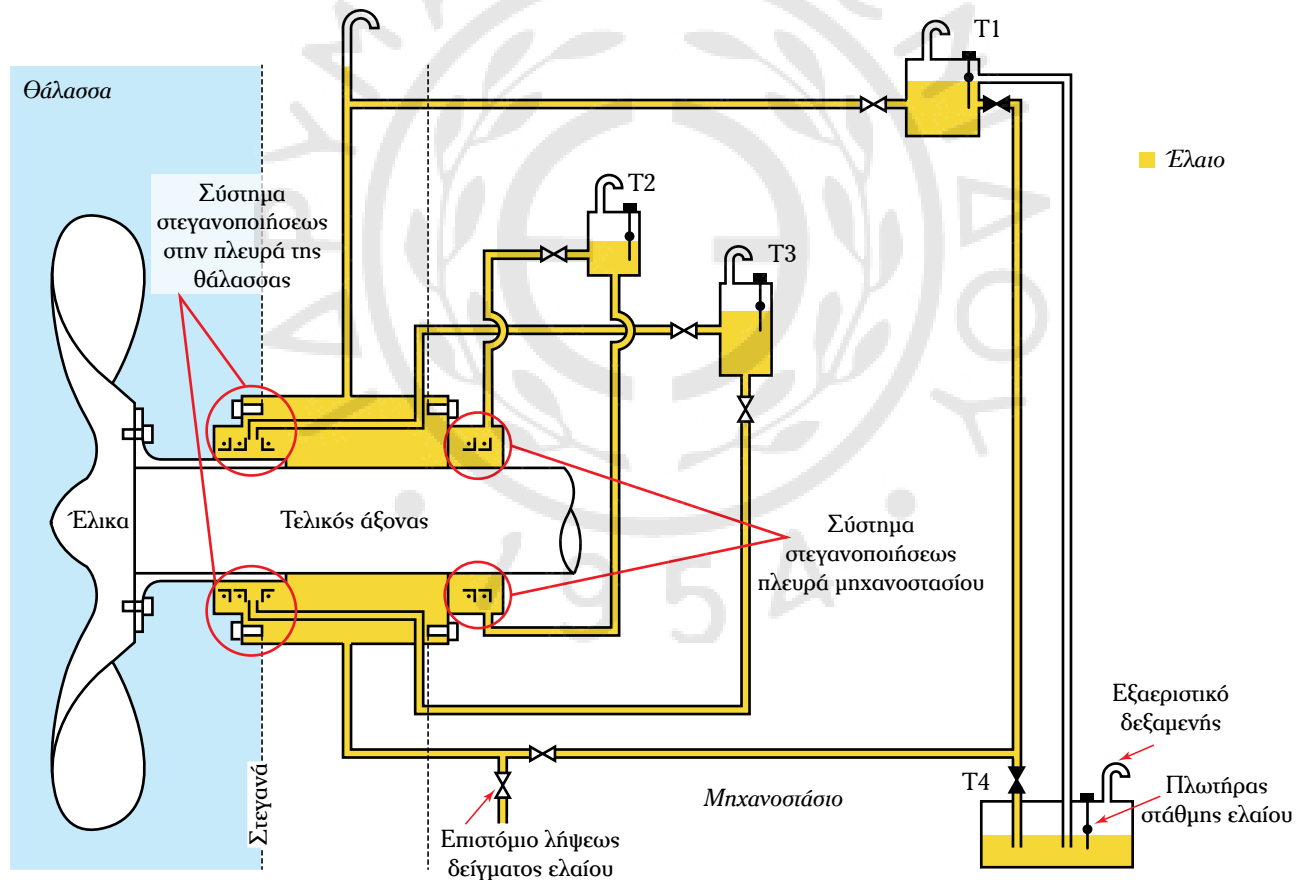
Τα συστήματα στεγανοποίησης δύνανται να είναι διαιρούμενα ή όχι. Στην περίπτωση που δεν είναι διαιρούμενο το σύστημα, τότε για να πραγματοποιηθεί εξάρμωση για αντικατάσταση των λαστίχων, πρέπει να αφαιρεθεί η έλικα του πλοίου. Αντίθετα, εάν το σύστημα είναι διαιρούμενο, τότε δεν χρειάζεται αφαίρεση της έλικας.

Το σύστημα λιπάνσεως του συστήματος στεγανοποίησης και λιπάνσεως της χοάνης του τελικού άξονα (σχ. 19.4ε και 19.4στ) είναι κλειστό και τρο-



Σχ. 19.4δ

Το σύστημα στεγανοποίησης Simplex.



T1: Δεξαμενή βαρύτητας του ελαίου λιπάνσεως της χοάνης του τελικού άξονα.

T2: Δεξαμενή ελαίου προωραίου συστήματος στεγανοποίησης (πλευρά μηχανοστασίου).

T3: Δεξαμενή ελαίου πρυμναίου συστήματος στεγανοποίησης (πλευρά της θάλασσας).

T4: Δεξαμενή υπερχείλισης και συμπληρώσεως του ελαίου στεγανοποίησης και λιπάνσεως των εδρών της χοάνης του τελικού άξονα.

Σχ. 19.4ε

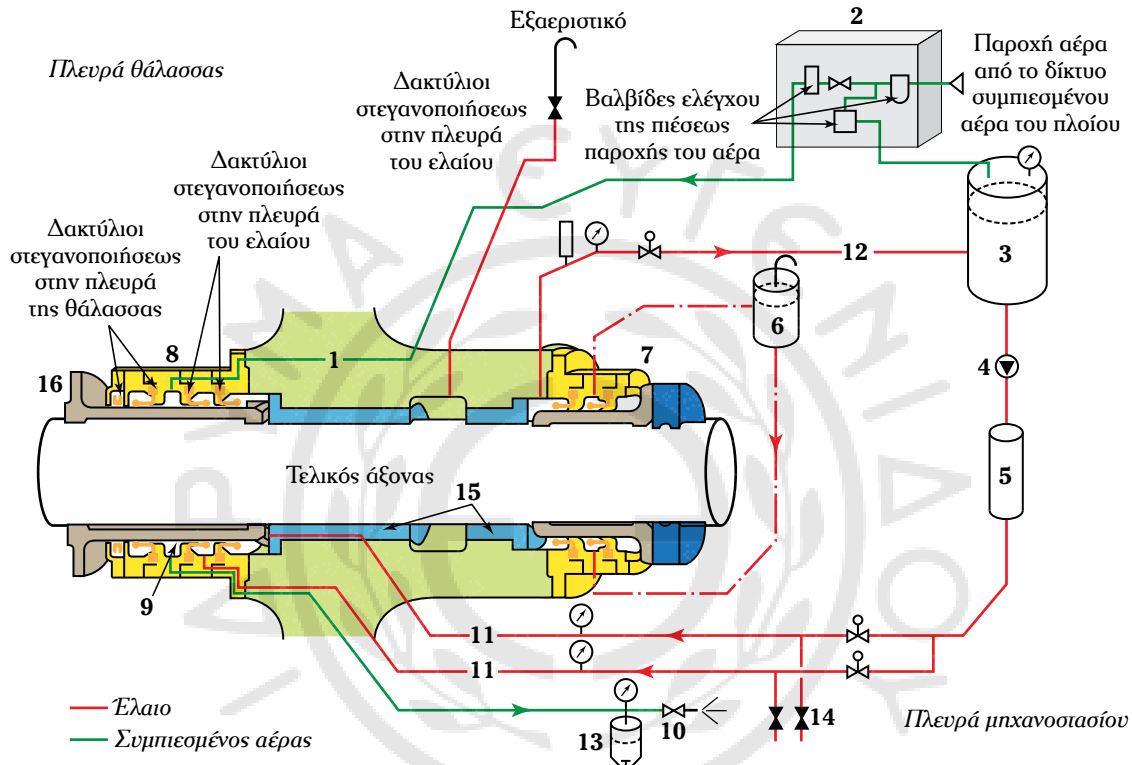
Τυπική διάταξη ουστήματος στεγανοποίησης και λιπάνσεως χοάνης τελικού άξονα με δεξαμενή βαρύτητας (σε παλιό πλοίο).

φοδοτείται από μία δεξαμενή ελαίου, η οποία είναι τοποθετημένη σε υψομετρική απόσταση απ' το σύστημα στεγανοποιήσεως, έτσι ώστε το λιπαντικό να έχει αυξημένη υδροστατική πίεση.

Σε νεότερα συστήματα στεγανοποιήσεως και λιπάνσεως του τελικού άξονα των πλοίων χρησιμοποιείται δίκτυο λιπάνσεως σε συνδυασμό με αέρα υπό πίεση από το δίκτυο του πλοίου. Η στεγανοποίηση με αυτήν την μέθοδο ως σκοπό έχει να ελαχιστοποιή-

ήσει τον κίνδυνο διαρροής του ελαίου προλαμβάνοντας τη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ο αέρας παρέχεται σε κατάλληλα διαμορφωμένο θάλαμο στο σύστημα στεγανοποιήσεως στην πλευρά της θάλασσας μεταξύ των δακτυλίων στεγανοποιήσεως. Η ρύθμιση της πίεσης του αέρα επιτυγχάνεται από μονάδα ελέγχου που περιλαμβάνει τις βαλβίδες ρυθμίσεως της παροχής του αέρα.

Για τον έλεγχο πιθανής διαρροής στο πρυμναίο



1. Δίκτυο παροχής αέρα για την στεγανοποίηση της κοάνης στην πλευρά της θάλασσας.
2. Μονάδα ελέγχου της παροχής αέρα με πίεση για τη στεγανοποίηση της κοάνης του τελικού άξονα.
3. Δεξαμενή ελαίου λιπάνσεως των εδράνων της κοάνης του τελικού άξονα.
4. Αντλία κυκλοφορίας ελαίου λιπάνσεως.
5. Ψυγείο ελαίου λιπάνσεως
6. Δεξαμενή ελαίου στεγανοποιήσεως της κοάνης στην πλευρά του μηχανοστασίου (forward seal tank).
7. Σύστημα με δακτύλιους στεγανοποιήσεως της κοάνης στην πλευρά του μηχανοστασίου (forward seal).
8. Σύστημα με δακτύλιους στεγανοποιήσεως της κοάνης στην πλευρά της θάλασσας (after seal).
9. Θάλαμος αέρα μεταξύ των δακτυλίων στεγανοποίησης της κοάνης στην πλευρά της θάλασσας.
10. Επιστόμιο στο μηχανοστάσιο που συγκοινωνεί με

11. Δίκτυο παροχής ελαίου στους δακτυλίους στεγανοποιήσεως και στα έδρανα του τελικού άξονα.
12. Επιστροφές ελαίου από τη λίπανση των εδράνων της κοάνης του τελικού άξονα.
13. Δοχείο συγκεντρώσεως μικροδιαρροών για τον έλεγχο της στεγανοποιήσεως.
14. Επιστόμια λήψεως δειγμάτων ελαίου για τον εργαστηριακό έλεγχο της ποιότητάς του.
15. Έδρανα τελικού άξονα μέσα στη κοάνη.
16. Δακτύλιος συνδέσεως της έλικας με τον τελικό άξονα.

Σχ. 19.4στυ

Τυπική διάταξη συστήματος στεγανοποιήσεως και λιπάνσεως κοάνης τελικού άξονα με πίεση αέρα (σε νέο πλοίο).

σύστημα στεγανοποίησης (είτε από την πλευρά του ελαίου, είτε από την πλευρά της θάλασσας), υπάρχουν στο μηχανοστάσιο επιστόμια από τα οποία γίνεται δειγματοληψία. Από τό δείγμα που λαμβάνεται και την περιεκτικότητά του σε θαλασσινό νερό ή έλαιο λιπάνσεως ελέγχεται η φθορά των δακτυλίων στεγανοποίησης που αποτελείται το σύστημα. Στην πλευρά του μηχανοστασίου η αντίστοιχη στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με παροχή ελαίου μέσω ενός μικρότερου δικτύου, στο οποίο κυκλοφορεί το έλαιο ανάμεσα στους δακτυλίους στεγανοποίησης.

19.5 Μειωτήρες.

Οι μειωτήρες είναι μηχανικά συστήματα, που παρεμβάλλονται ανάμεσα στον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής και στον ελικοφόρο άξονα, προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των στροφών του ελικοφόρου άξονα με ταυτόχρονη αύξηση της ροπής στρέψεως.

Στα πλοία που έχουν αργόστροφες δίχρονες ΜΕΚ ως μηχανές προώσεως, η σύνδεση του ελικοφόρου άξονα γίνεται απ' ευθείας στον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής. Έτσι, ο αριθμός στροφών περιστροφής της έλικας είναι ίσος με τον αριθμό στροφών περιστροφής της κύριας μηχανής.

Στα πλοία που έχουν εγκατεστημένη μεσόστροφη 120-250 rpm ή ταχύστροφη μηχανή προώσεως >250 rpm είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μειωτήρα στρο-

φών (reduction gear ή gear box), προκειμένου ο βαθμός αποδόσεως της έλικας να είναι βέλτιστος.

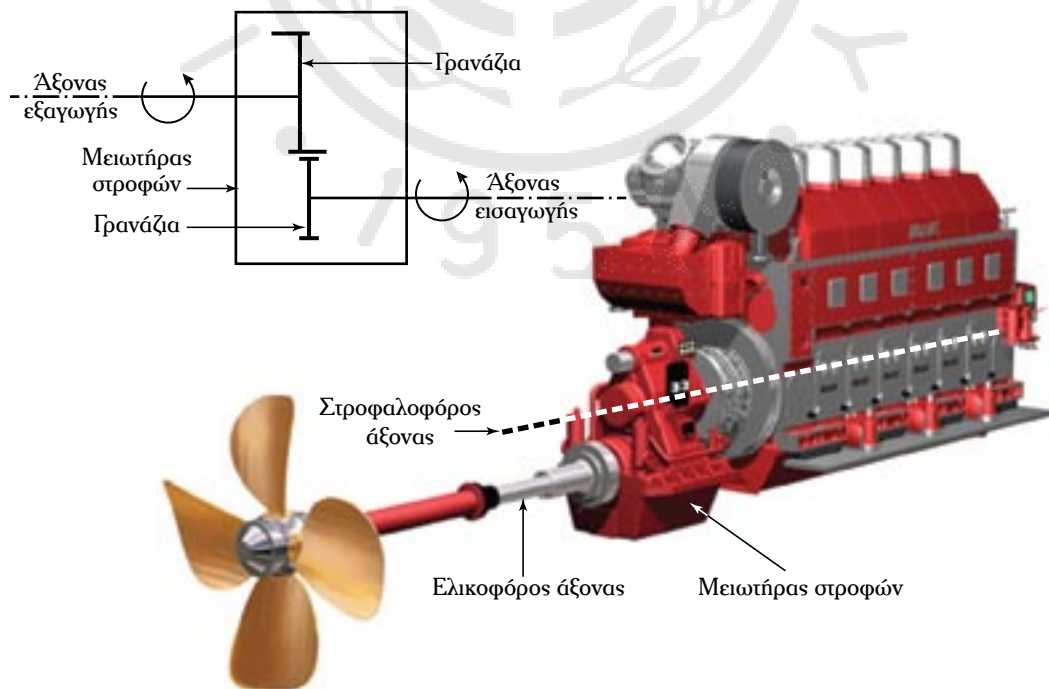
Μία διάταξη μειωτήρα στροφών εικονίζεται στο σχήμα 19.5α.

Βασικά χαρακτηριστικά του μειωτήρα στροφών είναι:

- Η ροπή στον άξονα εισαγωγής.
- Ο αριθμός στροφών στον άξονα εισαγωγής.
- Η ροπή στον άξονα εξαγωγής.
- Ο αριθμός στροφών στον άξονα εξαγωγής.
- Οι βαθμίδες μείωσης στροφών.

Η ροπή στον άξονα εξαγωγής, όπως και ο αριθμός των στροφών, εξαρτώνται από το μέγεθος και τον αριθμό των γραναζιών του μειωτήρα. Από την επιθυμητή μείωση στροφών και τη ροπή στον άξονα εξαγωγής, εξαρτάται το βάρος και ο όγκος του μειωτήρα. Όταν η επιθυμητή μείωση δεν μπορεί να γίνει με τη χρήση μίας βαθμίδας γραναζιών [σχ. 19.5β(α)], τότε χρησιμοποιούνται μειωτήρες με πολλαπλές βαθμίδες μείωσης στροφών [σχ. 19.5β(β)].

Βασικό στοιχείο για την καλή λειτουργία των μειωτήρων στροφών είναι η σωστή λίπανση του θαλάμου των γραναζιών. Σύγχρονα συστήματα μειωτήρων στροφών συνδυάζονται με αυτοματισμούς και αντίστοιχες ενδείξεις για την πίεση και θερμοκρασία του ελαίου λιπάνσεως στο διαμέρισμα ελέγχου του μηχανοστασίου.



Σχ. 19.5α

Σύστημα προωστήριας εγκαταστάσεως με μειωτήρα στροφών.



(α)



(β)

Σχ. 19.5β

(α) Μονοβάθμιος και (β) πολυβάθμιος μειωτήρας στροφών.

19.6 Μέσα μείωσης του διατοιχισμού των πλοίων.

Η πρόληψη ή η μείωση των διατοιχισμών (anti-rolling devices) των πλοίων και ιδίως των επιβατηγών υπήρξε αντικείμενο εκτενούς έρευνας και ιδιομόρφων εφευρέσεων.

Κατά την τελευταία εκατονταετία αναπτύχθηκαν επιτυχή μέσα μείωσης και αποσβέσεως του διατοιχισμού των πλοίων, τα οποία διακρίνονται:

α) Σε **παθητικά συστήματα** (passive anti-rolling devices), που περιλαμβάνουν: τα παρατροπίδια, τις αντιδιατοιχιστικές δεξαμενές, τα κινούμενα βάρη, και τα σταθερά περύγια.

β) Σε **ενεργητικά συστήματα**, που περιλαμβάνουν: τα αντιδιατοιχιστικά περύγια, τις αντιδιατοιχιστικές δεξαμενές, την γυροσκοπική σταθεροποίηση (gyroscope stabilizer), και τα κινούμενα βάρη.

Ακολούθως αναλύονται τα συστήματα που συνήθως συναντώνται στα εμπορικά πλοία.

19.6.1 Παρατροπίδια.

Τα **παρατροπίδια** (bilge keels ή side keels) είναι περύγια, τα οποία εξέχουν από τις εγκάρσιες τομές του πλοίου και από τα δύο μέρη κοντά στο κυρτό τμήμα της γάστρας και καταλαμβάνουν έκταση ίση με το $1/2$ ως τα $2/3$ του μήκους του πλοίου. Στο σχήμα 19.6α εικονίζεται το παρατροπίδιο από τα ύφαλα ενός Δ/Ξ.

Τα παρατροπίδια αυξάνουν τη μάζα του νερού που κινείται (παρασύρεται) με το πλοίο και επομένως αυξάνουν την ακτίνα αδράνειας και τη φυσική περίοδο διατοιχισμού. Επί πλέον, δημιουργούν αντιστάσεις στην περιστροφή του πλοίου γύρω από τον διαμήκη άξονα. Το τελικό αποτέλεσμα της λειτουργί-

ας των παρατροπίδων είναι η μείωση του εύρους και της περιόδου του διατοιχισμού.

19.6.2 Αντιδιατοιχιστικά περύγια.

Τα **αντιδιατοιχιστικά περύγια** (stabilizers) εφευρέθηκαν το 1890 από τον Άγγλο John Thornycroft, αλλά εφαρμόστηκαν 25 χρόνια αργότερα. Μετά από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο τοποθετήθηκαν σε σημαντικό αριθμό πλοίων, ύστερα από τις τελειοποιήσεις που έκαναν διάφοροι κατασκευαστές.

Το σύστημα που εικονίζεται στο σχήμα 19.6β αποτελείται κατά βάση από ένα ζεύγος περυγίων, τα οποία τοποθετούνται στην πλευρά, περίπου στο μέσο του πλοίου και κοντά στο κυρτό τμήμα της γάστρας.

Το φαινόμενο του διατοιχισμού στα πλοία μπορεί να μειωθεί έως και 90% με τη χρήση των αντιδιατοιχιστικών περυγίων. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου και την ταχύτητα πλεύσεως.

**Σχ. 19.6α**

Παρατροπίδιο σε δεξαμενόπλοιο.

19.6.3 Αρχή λειτουργίας των παρατροπιδίων και των αντιδιατοιχιστικών περυγίων.

Η ταχύτητα του ρευστού στη γάστρα του πλοίου αξιοποιείται με την χρήση περυγίων αντιστοίχων του σχήματος 19.6β, σε κατάλληλη κλίση, προκειμένου να δημιουργηθεί υδροδυναμική δύναμη που θα αποτρέψει τον διατοχισμό του πλοίου. Η μέγιστη γωνία περιστροφής των περυγίων είναι της τάξεως των 25° ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Η περιστροφή των περυγίων γίνεται με τη βοήθεια υδραυλικής αντλίας και αντίστοιχου κινητήρα. Το σύστημα ελέγχου των διατοχισμών βρίσκεται στη γέφυρα του πλοίου και ενεργοποιείται ανά πάσα στιγμή αντιστρόφως ανάλογα με την εγκάρσια επιτάχυνση του πλοίου, έτσι ώστε η υδροδυναμική δύναμη που δημιουργείται από τα υπό γωνία περύγια να αποτρέψει τον διατοχισμό.

Το περύγιο περιστρέφεται (ή ταλαντώνεται) μέσω της ενέργειας υδραυλικού βραχίονα ή υδραυλικής αντλίας τύπου VANE-TYPE.

Η γωνία προσπτώσεως του ρευστού στο περύγιο, όπως επίσης και η ταχύτητα περιστροφής του περυγίου καθορίζεται από υπολογιστή, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται πάντα η μέγιστη δυνατή δύναμη από το περύγιο, χωρίς να δημιουργείται το φαινόμενο της **σπηλαιώσεως** (παράγρ. 19.9).

Τα αντιδιατοιχιστικά περύγια χρησιμοποιούνται κυρίως σε επιβατηγά και κρουαζιερόπλοια. Ανάλογα

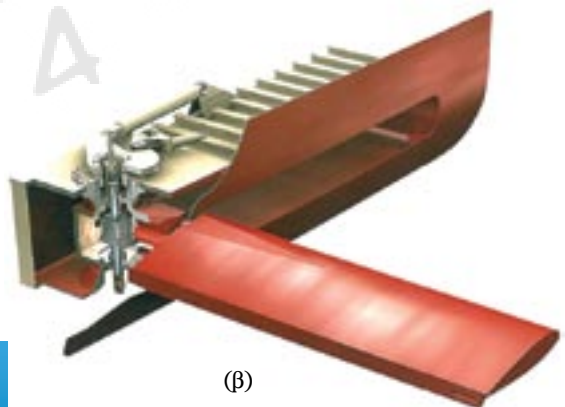
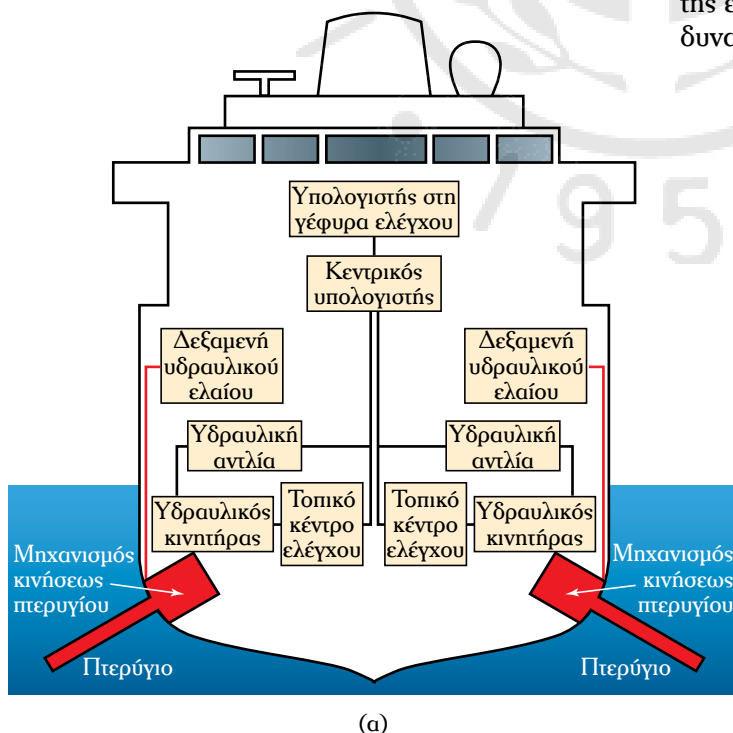
με το μέγεθος του πλοίου μπορεί να εγκατασταθούν από 2 έως 4 περύγια, τα οποία επίσης μπορούν να αναδιπλώνονται σε κατάλληλα διαμορφωμένη εσοχή εντός της γάστρας του πλοίου.

19.7 Η έλικα.

Η έλικα είναι ένα βασικό τμήμα της προωστήριας εγκαταστάσεως του πλοίου, γιατί αυτή αποδίδει την απαιτούμενη ισχύ που λαμβάνει από την κύρια μηχανή, προκειμένου να πετύχει την επιθυμητή ταχύτητα σχεδιάσεως με την προβλεπόμενη κατανάλωση καυσίμου. Η έλικα δημιουργεί ώση του νερού (ρευστού), δηλαδή μία δύναμη, η οποία κινεί το πλοίο.

Η απόδοση της έλικας εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της γάστρας του πλοίου.
 - Τη διαμόρφωση της γάστρας του πλοίου στο πρυμναίο τμήμα μπροστά από την έλικα.
 - Την αποδιδόμενη ισχύ στην έλικα από την κύρια μηχανή.
 - Τον αριθμό των περυγίων.
 - Τον αριθμό στροφών της έλικας ανά λεπτό.
 - Τη μέγιστη διάμετρο της έλικας.
 - Την επιφάνεια και την κυρτότητα των περυγίων.
 - Την επιθυμητή ταχύτητα του πλοίου.
- Μία γενική αρχή είναι ότι η μέγιστη απόδοση της έλικας επιτυγχάνεται όταν μετατοπίζει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα νερού με τη μικρότερη δυνατή επι-



Σχ. 19.6β

Αντιδιατοιχιστικά περύγια. (α) Θέση των αντιδιατοιχιστικών περυγίων και (β) μηχανισμός αντιδιατοιχιστικού περυγίου.

τάχυνση. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει ότι η σχεδίαση της έλικας πρέπει να γίνεται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε η ταχύτητα ομόρρου¹ (wake speed) να είναι η μικρότερη δυνατή.

Για δεδομένο πλοίο και με δεδομένη ταχύτητα και ισχύ κύριας μηχανής, εάν αυξηθεί η διάμετρος της έλικας, τότε θα πρέπει να μειωθεί ο αριθμός των στροφών, προκειμένου να βελτιωθεί ο βαθμός αποδόσεως της.

Όταν η έλικα κινεί το πλοίο προς τα εμπρός και στρέφεται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, για παρατηρητή που παρακολουθεί την περιστροφή πρύμνηθεν της έλικας, τότε ονομάζεται **δεξιόστροφη έλικα**.

Όταν η έλικα κινεί το πλοίο προς τα εμπρός και στρέφεται αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού, για παρατηρητή που παρακολουθεί την περιστροφή πρύμνηθεν της έλικας, τότε ονομάζεται **αριστερόστροφη έλικα**.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά στοιχεία της έλικας είναι τα εξής (σχ. 19.7α):

α) Η **επιφάνεια ώσεως** (pressure face), δηλαδή η πρυμναία επιφάνεια των περυγίων, η οποία δέχεται και δημιουργεί τις δυνάμεις ώσεως, όταν το πλοίο κινείται προς τα εμπρός.

β) Η **ακμή εισόδου** (οδηγός ακμή) (leading edge), δηλ. η ακμή του περυγίου, που τέμνει πρώτη το νερό, όταν η έλικα κινεί το πλοίο προς τα εμπρός.

γ) Η **ακμή εξόδου** (ακολουθούσα ακμή) (following edge), η οποία είναι η ακμή που ακολουθεί την οδηγό ακμή του περυγίου.

δ) Η **διάμετρος έλικας**, που είναι η διάμετρος του κύκλου, τον οποίο διαγράφει το πιο απομακρυσμένο από τον άξονα περιστροφής σημείο των άκρων του περυγίου.

ε) Η **πλήμνη**, που είναι το κεντρικό σώμα της έλικας, το οποίο φέρει κωνικό άνοιγμα στο κέντρο, προκειμένου να προσαρμόζεται στον ελικοφόρο άξονα και στηρίζει σε ακτινική διάταξη τα περύγια.

στ) Η **ρίζα**, που είναι το ίχνος συνδέσεως του περυγίου με την πλήμνη σε έλικα ενιαίου σώματος.

Γενικά, οι διαδικασίες βελτιστοποίησης του βαθμού αποδόσεως της έλικας απαιτούν χρόνο, πειράματα και επένδυση κεφαλαίων.

Άλλο σημείο που μας ενδιαφέρει στην έλικα είναι το **βήμα** (pitch), δηλαδή η απόσταση που διανύει η

έλικα σε στέρεο έδαφος, διαγράφοντας μία πλήρη περιστροφή (σχ. 19.7β).

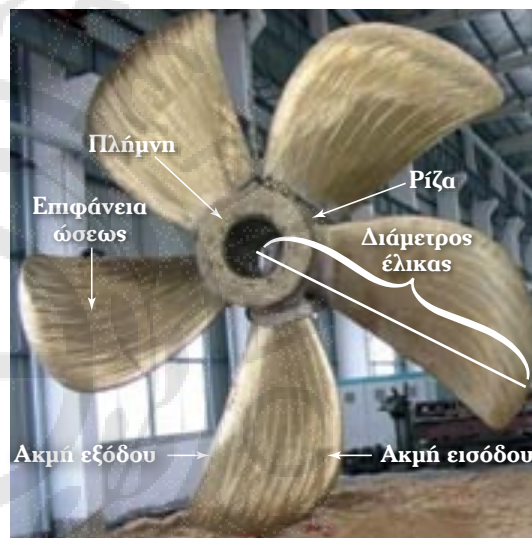
Η ονομαστική γραμμική ταχύτητα της έλικας κατά τον άξονα της u_E είναι ίση με το γινόμενο του βήματος P επί τον αριθμό στροφών της rpm.

$$u_E = P \cdot \text{rpm} \quad (1)$$

Επειδή η ταχύτητα του πλοίου u_S είναι μικρότερη της ταχύτητας της έλικας u_E , το πηλίκο

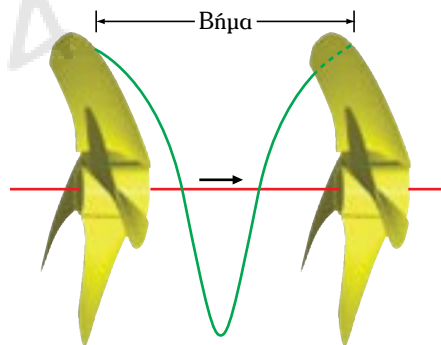
$$S = \frac{u_E - u_S}{u_E} \quad (2)$$

ονομάζεται **φαινόμενη ολίσθηση** ή απλά **ολίσθηση του πλοίου** (slip). Γενικά ισχύει ότι όσο μικρότε-



Σχ. 19.7α

Έλικα με πέντε περύγια.



Σχ. 19.7β

Το βήμα της έλικας.

¹ Ταχύτητα ομόρρου ονομάζεται η διαφορά της ταχύτητας του νερού της θάλασσας λόγω της γεωμετρίας της γάστρας στην πρύμνη ($T.O. = V_1 - V$).

ρη είναι η ολίσθηση, τόσο καλύτερος είναι ο βαθμός αποδόσεως της έλικας και τόσο μικρότερη είναι η κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής.

Ο αριθμός των πτερυγίων εξαρτάται από τον αριθμό στροφών, τη διαμόρφωση της γάστρας και την εγκατεστημένη ισχύ της κύριας μηχανής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πτερυγίων, τόσο μικρότεροι είναι οι **κραδασμοί** (vibrations) που προκαλούνται από την έλικα.

Ως υλικό κατασκευής των ελίκων χρησιμοποιείται κυρίως ο μαγγανιούχος ορείχαλκος, ο χυτοχάλυβας και ο νικελοχάλυβας. Από τα υλικά αυτά, παρά το αυξημένο κόστος, υπερέχει ο μαγγανιούχος ορείχαλκος, ο οποίος έχει καλές μηχανικές ιδιότητες, άριστη αντοχή στις διαβρώσεις, επιδέχεται καλή λείανση επιφάνειας και χρησιμοποιείται για άριστη απόδοση.

– Τύποι ελίκων.

Κάθε έλικα είναι σχεδιασμένη για να εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο σκοπό και συνήθως η επιλογή της αποτελεί έναν συμβιβασμό ανάμεσα στον βαθμό αποδόσεως, τα επίπεδα θορύβου και το κόστος. Βασικές κατηγορίες ελίκων είναι οι ακόλουθες:

1) Οι έλικες σταθερού βήματος (fixed blade propeller or fixed propeller).

Οι έλικες αυτές έχουν πτερύγια άρρηκτα συνδεδεμένα με την πλήμνη (σχ. 19.7γ). Ως αποτέλεσμα, η φορά στροφής τους πρέπει να αντιστραφεί, προκειμένου το πλοίο να κάνει κίνηση «**ανάποδα**» (astern), και αυτό επιτυγχάνεται είτε με αναστροφή της κύριας μηχανής, είτε με χρήση κιβωτίου **αναστροφής** (reversing clutch). Τα κιβώτια αναστροφής είναι γενικά ακριβά συστήματα και η τοποθέτησή τους γίνεται σε πλοία με ισχύ κύριας μηχανής μέχρι 1250 kW.

Η διάμετρος της έλικας σταθερού βήματος μπορεί να είναι από 25 cm μέχρι και 12 m.

Σε προωστήριες εγκαταστάσεις, όπου υπάρχει δυσχέρεια αναστροφής του ελικοφόρου άξονα (όπως σε εγκαταστάσεις αεροστροβίλων) και οι μηχανισμοί αναστροφής είναι δαπανηροί και αργής αντιδράσεως, χρησιμοποιείται έλικα **μεταβλητού βήματος** (Controllable Pitch Propeller – CPP) (σχ. 19.7δ).

Τα **πλεονεκτήματα** της έλικας σταθερού βήματος είναι τα εξής:

α) Είναι λιγότερο ευάλωτες σε φθορές και μηχανικές αστοχίες.

β) Η έλικα σταθερού βήματος περιστρέφεται λιγότερο όταν το πλοίο κάνει μανούβρες σε λιμένες και έτσι υπάρχει μικρότερη πιθανότητα να μπλεχτεί κάποιο σχοινί ή κάβος.

Τα **μειονεκτήματα** της έλικας σταθερού βήματος είναι τα εξής:

α) Σε κακές **καιρικές συνθήκες**¹ η έλικα ενδέ-



Σχ. 19.7γ

Έλικα σταθερού βήματος.



Σχ. 19.7δ

Έλικα μεταβλητού βήματος.

¹ Δηλαδή συνθήκες κατά τις οποίες λόγω της θαλασσοταραχής και των κυματισμών αυξομειώνονται οι περιστροφές της έλικας λόγω της μεταβαλλόμενης αντιστάσεως του πλοίου. Επίσης λόγω αυτών των συνθηκών η έλικα δύναται να «ξεπιάνει», ειδικά όταν η διαγωγή του πλοίου είναι έντονη.

χεται να έχει περισσότερες στροφές από τις επιθυμητές με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στο σύστημα προώσεως και στην ίδια την έλικα.

β) Η απόδοσή τους περιορίζεται σε συγκεκριμένο εύρος στροφών και το πλοίο έχει περιορισμένες δυνατότητες σε ελιγμούς.

2) Οι έλικες μεταβλητού βήματος (CPP).

Οι έλικες αυτού του τύπου είναι εφοδιασμένες συνήθως με τέσσερα ή πέντε περύγια, τα οποία μπορούν να περιστρέφονται συγχρόνως, έτσι ώστε να μεταβάλλεται το βήμα. Το εύρος μεταβολής του βήματος επηρεάζει την δυνατότητα κινήσεως του πλοίου από πρόσω ολοταχώς ως ανάποδα ολοταχώς, ενώ ο ελικοφόρος άξονας εξακολουθεί να στρέφεται πάντοτε κατά την ίδια φορά.

Η ύπαρξη έλικας μεταβλητού βήματος σε ένα πλοίο καθιστά προαιρετική την εγκατάσταση μηχανισμού αναστροφής της φοράς περιστροφής του άξονα, όπως επίσης και την εγκατάσταση κύριας μηχανής με δυνατότητα αναστροφής.

Ο μηχανισμός μεταβολής βήματος μεταδίδει τη σχετική κίνηση υδραυλικά από τη γέφυρα ή μέσω αρθρωτών συνδέσεων μέσα στο κοίλο του ελικοφόρου άξονα και με σύστημα οδοντωτών τροχών μέσα στην πλήμνη, στα περύγια.

Σε αντίθεση με την έλικα σταθερού βήματος, η έλικα μεταβλητού βήματος αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα προώσεως με ενεργή συνεισφορά στο μέγεθος της απαιτούμενης ώσεως από την έλικα,

και αυτό επιτυγχάνεται μόνο με την περιστροφή της γωνίας των περυγίων με κατάλληλη εντολή απ' τη γέφυρα ελέγχου.

Ο μηχανισμός αναστροφής εικονίζεται στο σχήμα 19.7ε.

Το πρυμναίο βάκτρο με σταυρό εντός της πλήμνης ολισθαίνει μετά από εντολή του υπεύθυνου αξιωματικού γέφυρας επάνω στο πρυμναίο έμβολο. Κατά την ολίσθηση του βάκτρου παρασύρεται το πέδιλο με υποδοχή πείρου και περιστρέφει το περύγιο.

Τα **πλεονεκτήματα** της έλικας μεταβλητού βήματος είναι ότι:

α) Παρέχει ώση στο πλοίο σε όλες τις δυνατές ταχύτητες, χωρίς να χρειάζεται να σταματήσει η κύρια μηχανή προώσεως.

β) Μεταβάλλει την ώση με τη μεταβολή της γωνίας των περυγίων έτσι, ώστε το πλοίο να κινηθεί άμεσα «πρόσω» ή «ανάποδα».

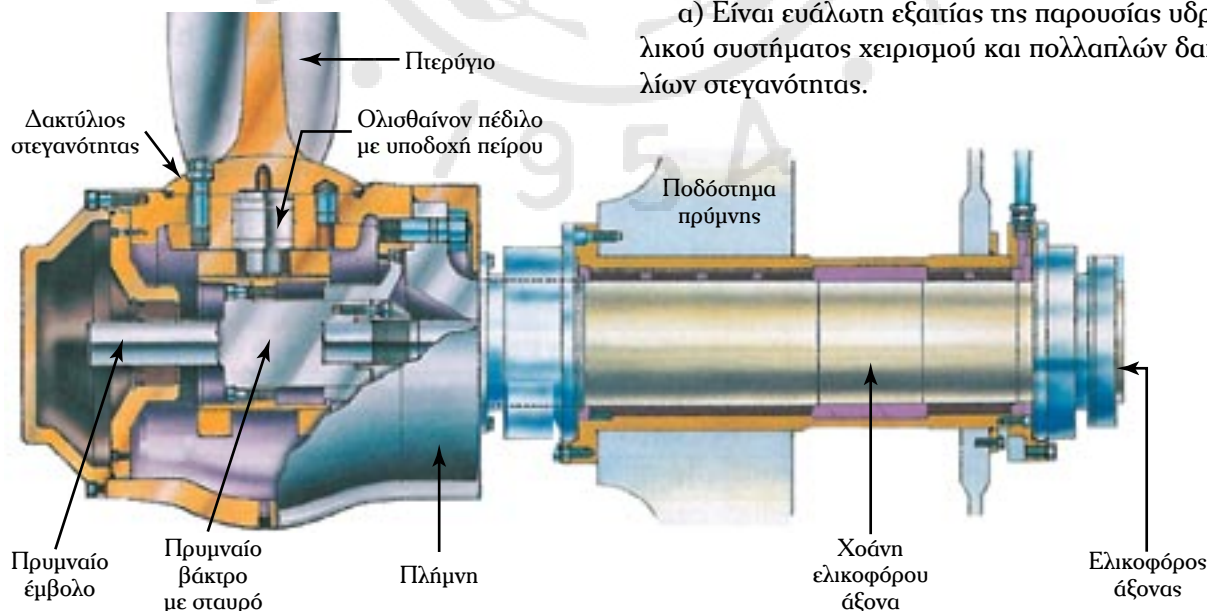
γ) Αυξάνει τις ελκτικές ικανότητες σε πλοία, όπως ρυμουλκά ή αλιευτικά και τον συνολικό βαθμό αποδόσεως της προωστήριας εγκαταστάσεως.

δ) Μπορεί να συνδυασθεί με την εγκατάσταση γεννήτριας στον ελικοφόρο άξονα, και

ε) σε περίπτωση μηχανικής βλάβης ενός εκ των περυγίων, είναι δυνατή η αντικατάστασή τους ενώ το πλοίο είναι εν πλω· εξαρτάται όμως και απ' τον τύπο του πλοίου και τη δυνατότητα για μέγιστη έμπωρη διαγωγή.

Τα **μειονεκτήματα** της έλικας μεταβλητού βήματος είναι τα ακόλουθα:

α) Είναι ευάλωτη εξαιτίας της παρουσίας υδραυλικού συστήματος χειρισμού και πολλαπλών δακτυλίων στεγανότητας.



Σχ. 19.7ε

Μηχανισμός αναστροφής έλικας μεταβλητού βήματος.

β) Στην περίπτωση που αστοχήσει κάποιος από τους δακτυλίους στεγανότητας ενδέχεται να παρουσιαστεί στη θάλασσα ρύπανση και

γ) το κόστος αγοράς και τοποθετήσεως είναι αυξημένο.

3) Οι έλικες με ακροπερύγια (*end finned propeller blades*).

Ένας άλλος τύπος έλικας είναι αυτός με **ακροπερύγια** (σχ. 19.7στ). Τα ακροπερύγια αποτρέπουν τη διαφυγή του νερού από την επιφάνεια πίεσεως των πτερυγίων προς την επιφάνεια υποπίεσεως, με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται δίνες κι έτσι να αυξάνεται ο βαθμός αποδόσεως της έλικας.

Η ροή του νερού γύρω από την έλικα με ακροπερύγια μειώνει επίσης τον θόρυβο και τους κραδασμούς που δημιουργεί.

4) Οι διπλές έλικες σταθερού βήματος ανάστροφης φοράς (*reversible twin screw propellers*).

Ένα άλλο σύστημα έλικας είναι ο **συνδυασμός** δύο συνευθειακών ελίκων με διαφορετική διάμετρο, με αντίθετη φορά περιστροφής, οι λεγόμενες **διπλές έλικες σταθερού βήματος ανάστροφης φοράς** (σχ. 19.7ζ). Σ' αυτήν την περίπτωση οι προπέλες τοποθετούνται η μία πίσω από την άλλη και περιστρέφονται από ομόκεντρους, ξεχωριστούς άξονες με αντίθετη φορά.

Ο συνδυασμός δύο ελίκων με την διάταξη αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι εξομαλύνει τη ροή του νερού πίσω από την έλικα έτσι, ώστε να παρατηρούνται μικρότερες απώλειες ενέργειας. Σε πλοία που έχουν εγκαταστήσει αυτό το σύστημα έχει παρατηρηθεί μείωση στην κατανάλωση καυσίμου της τάξεως του 15%.

19.8 Έλικες με δακτυλίους (*Kort nozzled propellers*).

Ο Luigi Stipa¹ και αργότερα ο Ludwig Kort² υποστήριξαν ότι είναι εφικτή η αύξηση της ώσεως από την έλικα εάν προσαρμοστεί ένας δακτύλιος περιφερειακά. Οι δακτύλιοι αυτοί είναι μεταλλικές υδρودυναμικές κατασκευές, που προσαρμόζονται γύρω από την έλικα και αποτελούν πρόσθετη κατασκευή στη γάστρα του πλοίου (σχ. 19.8α και 19.8β).

Αυτό επιτυγχάνεται από το γεγονός ότι η προπέ-



Σχ. 19.7στ

Έλικα με ακροπερύγια.



Σχ. 19.7ζ

Διπλές έλικες σταθερού βήματος ανάστροφης φοράς.



Σχ. 19.8α

Δακτύλιος Kort.

¹ Luigi Stipa (1900 – 1992), Ιταλός αεροναυπηγός, μηχανολόγος.

² Ludwig Kort (1888 – 1958), Γερμανός μηχανολόγος.

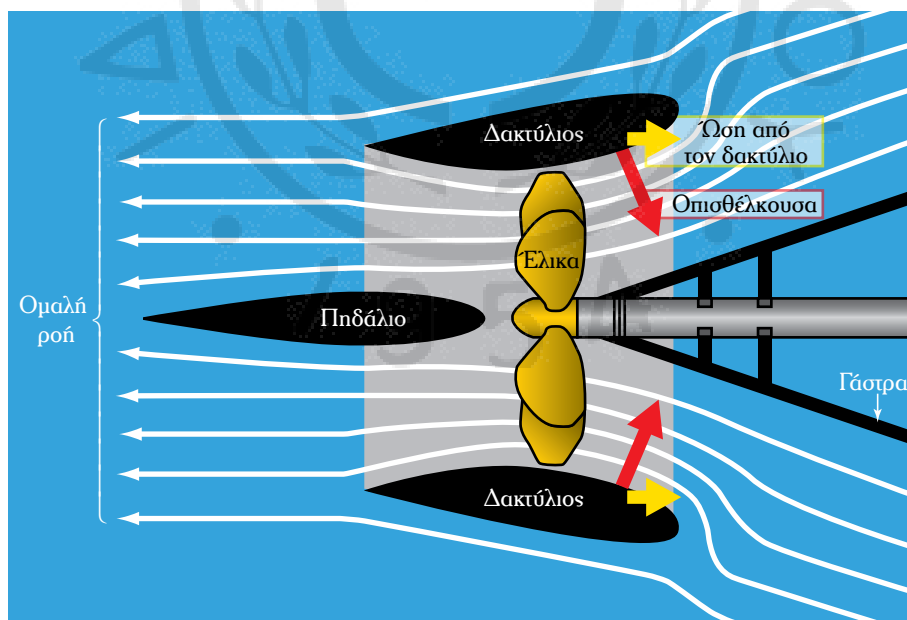
λα ωθεί το νερό μέσα από τον δακτύλιο. Η ροή του νερού μέσα στον δακτύλιο έχει μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με τη ροή του νερού εκτός δακτυλίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται διαφορά πίεσης, η οποία δημιουργεί μία επί πλέον ώση προς όφελος της προωθήσεως του πλοίου (σχ. 19.8β).

Έχει παρατηρηθεί ότι οι δακτύλιοι όχι μόνο αυξάνουν την ώση, αλλά ταυτόχρονα μειώνουν τον θόρυβο και τους κραδασμούς από την περιστροφή της έλικας. Οι δακτύλιοι, εκτός από σταθερές αναπόσπαστες κατασκευές της γάστρας του πλοίου, ενδέχεται να συνδυάζονται σε ολοκληρωμένα συστήματα μαζί με έλικες (σχ. 19.8γ), τα οποία έχουν τη δυνατότητα να περιστρέφονται 360° (αζιμουθιακή πρόωση¹) έτσι, ώστε να δρουν και σαν πηδάλια (rudder propellers).

Το βασικό πλεονέκτημα της αζιμουθιακής προώσεως είναι η δυνατότητα που παρέχει για βέλτιστη ώση στην επιθυμητή γωνία και με αυτόν τον τρόπο προσδίδει πολύ καλές ελκτικές ικανότητες στο πλοίο. Στο σύστημα αζιμουθιακής προώσεως η έλικα τοποθετείται σε έναν λοβό με περίβλημα ή απλώς μόνο στον λοβό. Με αυτόν τον τρόπο στήριξης της έλικας, δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος λοβός, ο οποίος ουσιαστικά είναι και ο κι-

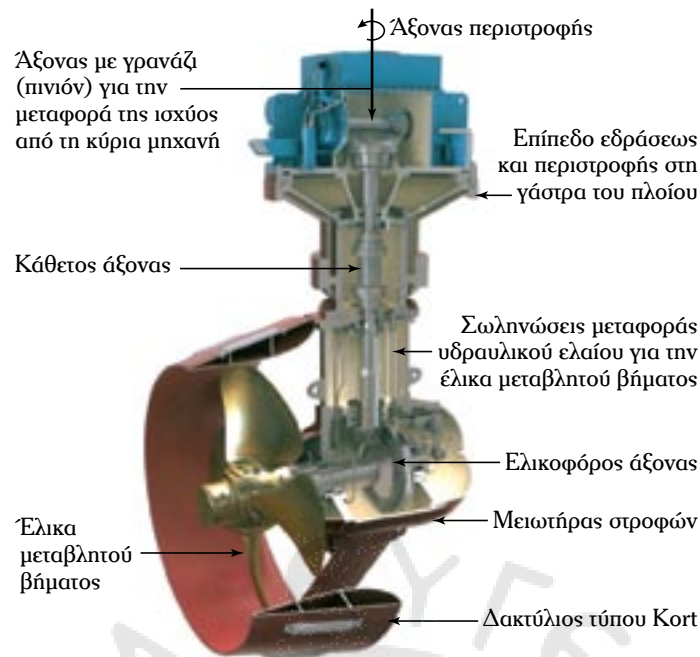
νητήρας που περιστρέφει την έλικα. Το μέγεθος που έχουν οι τυπικές μονάδες ισχύος είναι 5-8 MW, αλλά σε μεγάλα πλοία και κρουαζιερόπλοια έχουν τοποθετηθεί μονάδες που φτάνουν τα 20 MW. Σε έναν λοβό είναι δυνατόν να εγκαθίστανται δύο έλικες, μία εμπρός και μία μετά από τον λοβό (σχ. 19.8δ). Με την ανάπτυξη των συστημάτων αυτού του τύπου επιτρέπεται η ανάπτυξη των περυγίων της έλικας να γίνεται σε ευρύτερη περιοχή, και αυτό σχετίζεται με την αύξηση της αποδόσεως. Υποστηρίζεται ότι τα πλοία με αζιμουθιακή πρόωση είναι πιο οικονομικά κατά την εκτέλεση των ταξιδιών, μιας και μπορεί να είναι και μικρότερα συγκριτικά με άλλα στη μεταφορά μιας δεδομένης ποσότητας φορτίου.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα ναυσιπλοΐας που είναι διαθέσιμα, όπως το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System – GPS), είναι δυνατόν να συνδέονται με τα συστήματα ελέγχου της αζιμουθιακής προώσεως έτσι, ώστε να ελέγχονται οι κινήσεις των πλοίων με ακρίβεια ή τουλάχιστον με την ακρίβεια που διαθέτει το GPS. Αυτή η διάταξη ονομάζεται **δυναμική πλοήγηση** (dynamic positioning) και εφαρμόζεται κυρίως σε ερευνητικά πλοία, τα οποία απαιτούν μεγάλη ακρίβεια χειρισμών κατά την διεξαγωγή θαλασσιών ερευνών.



Σχ. 19.8β
Δακτύλιος.

¹ Το σύστημα της αζιμουθιακής προώσεως φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται κατά 360° κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση (απ' όπου προέρχεται το όνομα του συστήματος) δηλαδή στο οριζόντιο επίπεδο, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου, έτσι ώστε να μην υπάρχει η ανάγκη να υφίσταται μηχανισμός πηδαλίων.



Σχ. 19.8γ

Αζιμουθιακός προωθητήρας με έλικα μεταβλητού βήματος.

Επίσης, είναι δυνατό να τα συναντήσουμε σε πλωτούς γερανούς, βυθοκόρους και επιβατηγά πλοία.

Τα συστήματα δυναμικής πλοηγώσεως πλοίων έχουν την δυνατότητα να κατευθύνουν το πλοίο σε προδιαγεγραμμένη τροχιά, με την επιθυμητή ταχύτητα, ανεξαρτήτως κυματισμών, εντάσεως ανέμου ή θαλασσίων ρευμάτων.

19.9 Σηπλαιώση.

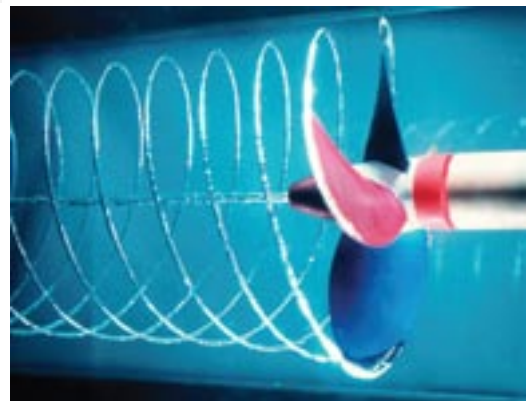
Το φαινόμενο της **σηπλαιώσεως**¹ (cavitation) παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1894 από μηχανικούς κατά τις δοκιμές ταχύτητας μιας αγγλικής τορπιλάκατου. Συνήθως στις περιπτώσεις σηπλαιώσεως, διαπιστώνεται κατά τις δοκιμές ότι δεν δημιουργείται ανάλογη αύξηση ώσεως σε σημαντική αύξηση του αριθμού στροφών της έλικας ανά λεπτό και συγχρόνως παρατηρείται μείωση στην απόδοση.

Η ερμηνεία που δόθηκε αρχικά για το φαινόμενο αυτό, το απέδωσε στη μείωση της πίεσεως επάνω στην επιφάνεια αναρροφήσεως του πτερυγίου και στην αδυναμία του νερού να αναπληρώσει το κενό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται από το κενό φυσαλίδες ατμού (cavities) (σχ. 19.9α). Η θραύση των φυσαλίδων στην επιφάνεια των πτερυγίων



Σχ. 19.8δ

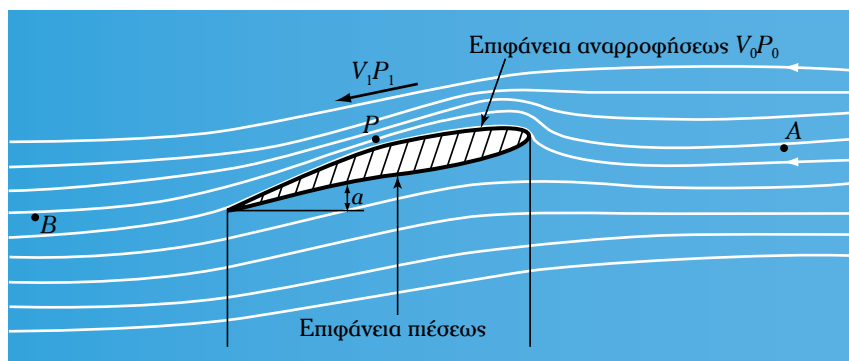
Αζιμουθιακός προωθητήρας με δύο έλικες.



Σχ. 19.9α

Φυσαλίδες αέρα κατά την περιστροφή της έλικας.

¹ Σηπλαιώση χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο σχηματίζονται κενοί χώροι κοντά στα πτερύγια της έλικας, διακόπτοντας τη συνεχή ροή του νερού σ' αυτήν.



Σχ. 19.9β

Διατομή πτερυγίου έλικας.

προκαλεί μηχανική φθορά, η οποία σε πολύστροφες έλικες μπορεί να είναι τόσο σοβαρή, ώστε να απαιτείται αντικατάστασή τους μετά από λίγες ώρες λειτουργίας.

Στο σχήμα 19.9β παριστάνεται η διατομή πτερυγίου που κινείται μέσα σε νερό. Αν η πίεση και η ταχύτητα του υγρού μακριά από τη διατομή είναι αντίστοιχα V_0 και P_0 , στο σημείο P_1 θα είναι V_1 , και P_1 . Σύμφωνα με το θεώρημα Bernoulli:

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = L, \text{ σταθερό}$$

όπου γ το ειδικό βάρος του υγρού.

Όταν αυξάνει η ταχύτητα, όπως συμβαίνει λόγω του σχήματος στην επιφάνεια της αναρροφήσεως, μειώνεται αντίστοιχα η πίεση. Επομένως, στο σημείο P της διατομής του πτερυγίου έχουμε λόγω αυξημένης ταχύτητας ($V_1 > V_0$), μικρότερη πίεση.

Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας είναι δυνατόν η πίεση να μειωθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να επέλθει «ατμοποίηση» του νερού και να διακοπεί η συνέχεια της ροής του. Σ' αυτήν την περίπτωση σχηματίζονται φυσαλίδες στο υγρό και κοντά στη ράχη του πτερυγίου.

Αποτέλεσμα αυτής της καταστάσεως είναι η μείωση της αποδόσεως της έλικας ή, κατά την αύξηση των στροφών, η μη αντίστοιχη αύξηση της ώσεως και η εμφάνιση μερικές φορές συριγμών ή κραδασμών.

Η σπηλαίωση επηρεάζεται από:

α) Το **σχήμα διατομής πτερυγίου**, το οποίο επηρεάζει την κατανομή ταχύτητας και πίεσεως γύρω από αυτό.

β) Το **βάθος νερού που λειτουργεί η έλικα**. Η αύξηση του βάθους, στο οποίο λειτουργεί η έλικα, επιφέρει αύξηση της πίεσεως του περιβάλλοντος

(υπερκείμενη στήλη), επομένως μειώνει τις συνθήκες εμφανίσεως σπηλαιώσεως.

γ) Την **ταχύτητα πτερυγίου**. Η υψηλή ταχύτητα, η οποία προκαλείται από τον μεγάλο αριθμό στροφών σε συνδυασμό με την ακτίνα περιφοράς, ευνοεί τη σπηλαίωση.

δ) Την **επιφάνεια του πτερυγίου**. Συνήθως, η σπηλαίωση παρατηρείται στα άκρα των πτερυγίων, κοντά στην οδηγό ακμή και στην όψη αναρροφήσεως. Μερικές φορές έχουμε σπηλαίωση κοντά στη ρίζα των πτερυγίων (σχ. 19.9γ), φαινόμενο που ονομάζεται **αποχωρισμός**.

19.10 Ηλεκτροπρόωση.

Στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης (σχ. 19.10) ο κινητήρας τοποθετείται εντός αζιμουθιακού συστήματος πρόωσης, στο οποίο συνδέεται εξωτερικά η έλικα. Η διαφορά του συστήματος της ηλεκτροπρο-



Σχ. 19.9γ

Πτερύγια έλικας με εμφανή αποτελέσματα της σπηλαιώσεως.

ώσεως από το αζιμουθιακό είναι ότι η μηχανή παραγωγής ισχύος είναι ανεξάρτητη του συστήματος προώσεως.

Οι κινητήρες ηλεκτροπροώσεως δεν φέρουν μειωτήρα στροφών και συμπλέκτες. Στην πλειονότητά τους είναι σύγχρονοι, και έχουν βαθμό αποδόσεως 96–98%, υψηλότερο κατά 3–4% από τον βαθμό αποδόσεως κινητήρων επαγωγής (**ασύγχρονοι κινητήρες**)¹. Η ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος είναι 3,3–6,6 kV. Στους σύγχρονους κινητήρες έρχεται να προστεθεί μία νέα κατηγορία, αυτή των κινητήρων με **μόνιμους μαγνήτες**², των οποίων η απόδοση σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους υπερβαίνει το 98%!

Οι ηλεκτρογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο του πλοίου, αφού δεν υπάρχει ουσιαστικά ελικοφόρος άξονας παρά μόνο ηλεκτρική συνδεσμολογία.

Τα συστήματα ηλεκτροπροώσεως σε σχέση με

τα συστήματα ΜΕΚ έχουν το πλεονέκτημα της συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο το διάστημα 0–100%. Επί πλέον, το 100% της ροπής μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε όλο το πεδίο λειτουργίας στροφών. Για λόγους ασφαλείας, η έλικα μπορεί να κινείται από δύο (ή και περισσότερους) ηλεκτροκινητήρες ίσης ισχύος.

Τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** της ηλεκτροπροώσεως είναι τα ακόλουθα:

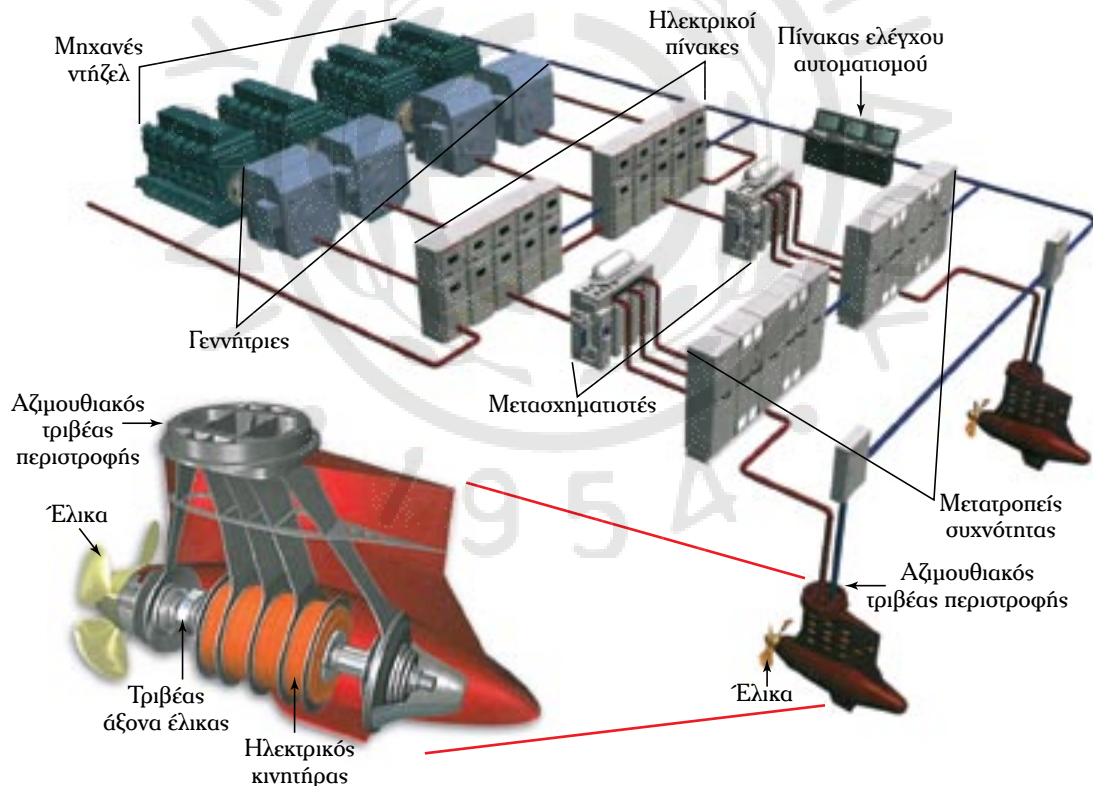
α) Η συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0–100%.

β) Η γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και η δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

γ) Η χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

δ) Η οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών, που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μία να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.

ε) Η ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους



Σχ. 19.10

Διάταξη συστήματος ηλεκτροπροώσεως.

¹ Σύγχρονοι κινητήρες είναι οι κινητήρες στους οποίους η μέση ταχύτητα περιστροφής (rpm) είναι ευθέως ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης τάσεως (Herz) $h_s = 60 \cdot f/p$ (rpm), όπου h_s η ταχύτητα περιστροφών, και f η συχνότητα.

² Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες είναι διατάξεις που περιλαμβάνουν πολλαπλά πηνία, τα οποία χρησιμοποιούνται εναλλακτικά ως ηλεκτρομαγνήτες ή γεννήτριες.

μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.

στ) Η πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.

ζ) Η ευκολία αυτοματισμού.

η) Η αυξημένη αξιοπιστία και ασφάλεια.

Τα **μειονεκτήματα** της ηλεκτροπρώσεως είναι τα εξής:

α) Το υψηλό κόστος επενδύσεως.

β) Οι υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κινήσεως, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Για παράδειγμα, σε συμβατικό σύστημα κινητήρα ντήζελ με έλικα ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4% : 2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση ντήζελ-ηλεκτρικής προώσεως, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7–8% : 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2–3% στους πρωωτήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός αποδόσεως είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής προώσεως μόνο όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

γ) Τα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας (συχνότητας ρεύματος, τάσεως) που προκύπτουν από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικής ισχύος.

19.11 Πρόωση Azipod.

Το σύστημα Azipod αποτελεί σύστημα προώσεως, που συνδυάζει την πρόωση του πλοίου και του συστήματος διεύθυνσεως σε μία ενιαία μονάδα (σχ. 19.11). Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '80 για να καλυφθούν οι απαιτήσεις πλοίων που ταξίδευαν σε περιοχές με πάγους. Το Azipod αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας και την έλικα, που είναι εγκατεστημένη απευθείας στον άξονα του κινητήρα. Το Azipod, τοποθετείται ως μια ενιαία μονάδα με το σύστημα διεύθυνσεως και η τροφοδότηση της ισχύος πραγματοποιείται μέσω ολισθαίνοντος δακτυλίου, δίνοντάς του δυνατότητα περιστροφής 360°. Εναλλακτικά μπορεί να τοποθετηθεί ως μια **σταθερή συσκευή προώσεως** (fixipod)

χωρίς τη μονάδα διεύθυνσεως. Οι ηλεκτροκινητήρες των Azipod ελέγχονται από μετατροπέα συχνότητας, παρέχοντας πλήρη ονομαστική ροπή, με ομαλή και συνεχή ικανότητα μεταβολής της ταχύτητας προς οποιαδήποτε κατεύθυνση σε όλο το φάσμα στροφών. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σύστημα οδοντωτών τροχών ή απώλειες από μηχανική μετάδοση της ισχύος, η αποδοτικότητα του Azipod είναι υψηλότερη από άλλα συστήματα προώσεως.

Η ηλεκτρική ενέργεια και η μονάδα διανομής της αποτελείται από περισσότερους του ενός κινητήρες μεσαίας ή υψηλής ταχύτητας, ντήζελ ή φυσικού αερίου. Οι κινητήρες λειτουργούν στις ηλεκτρογεννήτριες που συνδέονται με τον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα. Η μετάδοση της ηλεκτρικής ισχύος από τον πίνακα στον ηλεκτροκινητήρα της έλικας πραγματοποιείται μέσω μετασχηματιστών και μετατροπών συχνότητας. Όλη η ηλεκτρική ισχύς του πλοίου προέρχεται από αυτήν τη μονάδα παραγωγής ενέργειας και μοιράζεται μεταξύ των ηλεκτρογεννητριών, οι οποίες επιλέγονται αυτόματα για να καλύψουν το σύνολο της απαιτούμενης ενέργειας. Η τροφοδότηση του Azipod γίνεται μέσω μετασχηματιστών και μετατροπών (σχ. 19.10).

19.12 Υδροπρόωση.

Η αρχή λειτουργίας της **υδροπρώσεως** (water jet propulsion) βασίζεται στην ώση του νερού με μεγάλη ταχύτητα προς αντίστροφη κατεύθυνση από την κίνηση του πλοίου, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το φαινόμενο της δράσεως – αντιδράσεως.

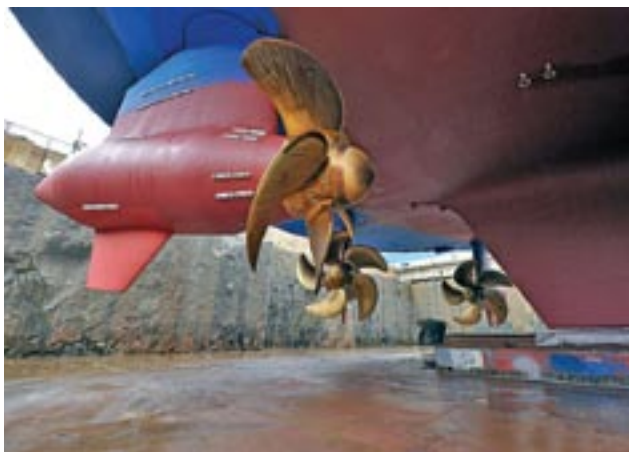
Το σύστημα αυτό αποτελείται από τον οχετό εισαγωγής, το στροφέιο (impeller) το οποίο αυξάνει την ταχύτητα του νερού και το στόμιο εξαγωγής (σχ. 19.12α). Στο σχήμα 19.12β φαίνονται οι δυνατές κινήσεις του στομίου εξαγωγής.

Το στροφέιο αναρροφά νερό μέσω του οχετού, η εισαγωγή του οποίου βρίσκεται συνήθως στον πυθμένα του πλοίου και προστατεύεται από μεταλλικά φίλτρα. Το στροφέιο συμπιέζει το νερό και αυξάνει την πίεση, η οποία μετατρέπεται σε δέσμη νερού υψηλής ταχύτητας μέσω του δακτυλίου.

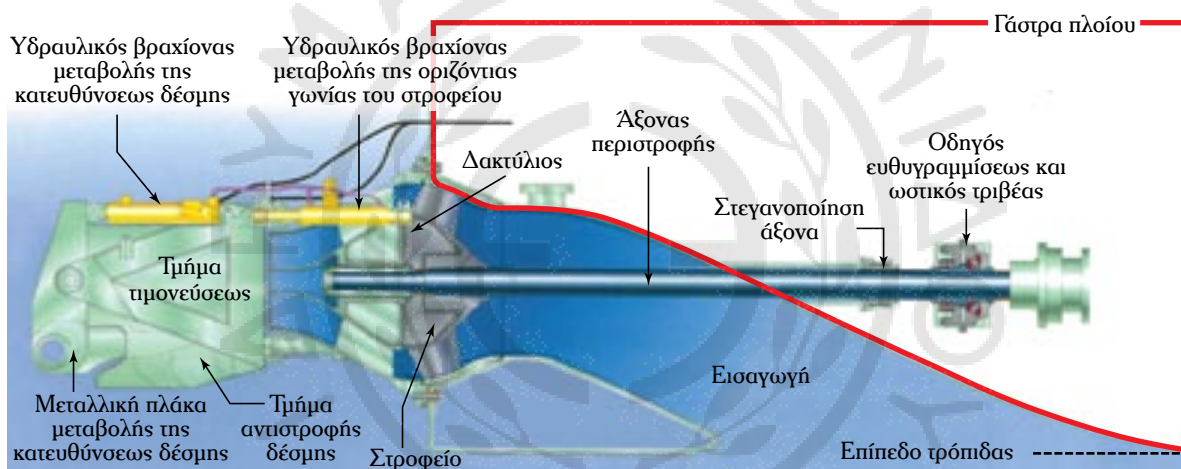
Η επιτάχυνση του νερού δημιουργεί κατά συνέπεια την απαιτούμενη ώση, η οποία παραλαμβάνεται από τον ωστικό τριβέα.

Το σύστημα της υδροπρώσεως τοποθετείται σε πλοία με μικρό συντελεστή γάστρας και κυρίως σε σκάφη, τα οποία μπορούν να «πλανάρουν»¹ κατά

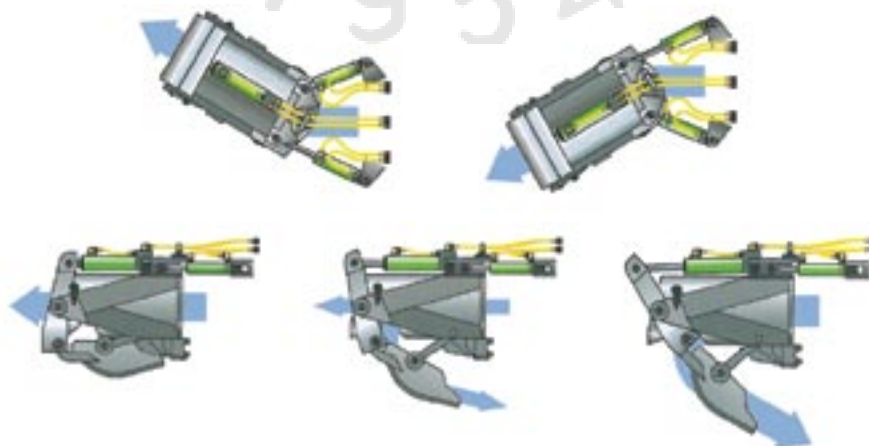
¹ Δηλαδή μειώνεται το βύθισμά τους και κατά συνέπεια η αντίστασή τους στο νερό σε συνάρτηση με την αύξηση της ταχύτητάς τους.



Σχ. 19.11
Σύστημα προώσεως Azipod.



Σχ. 19.12α
Διάταξη ουστήματος υδροπροώσεως.



Σχ. 19.12β
Διάταξη και κινήσεις του στομίου εξαγωγής (νερού σε σύστημα υδροπροώσεως).

την κίνησή τους. Η μέγιστη ταχύτητα που έχει καταγραφεί σε ταχύπλοο σκάφος αναψυχής είναι οι 75 knots, ενώ σε καταμαράν ή επιβατηγά οι 50 knots.

Τα **πλεονεκτήματα** του συστήματος της υδροπροώσεως είναι ότι:

α) Δεν υπάρχουν περιστρεφόμενα μηχανικά μέρη κάτω από το επίπεδο της τρόπιδας του πλοίου, οπότε το γεγονός αυτό διευκολύνει την πρόσβαση σε λιμένες με μικρό βύθισμα.

β) Επειδή τα πλοία με υδροπρόωση δεν διαθέτουν πηδάλιο, η αντίσταση του πλοίου είναι μικρότερη σε σχέση με άλλα πλοία με συμβατικά συστήματα προώσεως.

γ) Είναι λιγότερο ευάλωτα σε σπηλαίωση σε

σχέση με τα συμβατικά συστήματα προώσεως σε συμβατικά ταχύπλοα.

δ) Τα πλοία με υδροπρόωση έχουν πολύ καλές ελκτικές ικανότητες.

ε) Ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος υδροπροώσεως είναι σχετικά μεγάλος, της τάξεως του 72%.

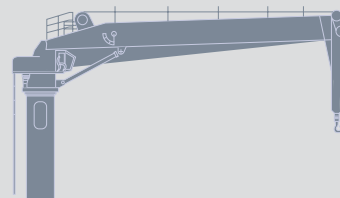
Τα **μειονεκτήματα** του συστήματος υδροπροώσεως είναι τα παρακάτω:

α) Έχει μικρότερο βαθμό αποδόσεως από την έλικα σε μικρές ταχύτητες.

β) Η εγκατάστασή του είναι ακριβή και

γ) οι θυρίδες εισαγωγής νερού μπορεί να φράξουν και να μειωθεί η απόδοση.





20.1 Μηχανισμοί φορτοεκφορτώσεως.

Η φόρτωση και η εκφόρτωση χύδην φορτίου ή εμπορευματοκιβωτίων στα πλοία πραγματοποιείται με τη χρήση **γερανών** (cranes), που βρίσκονται εγκατεστημένοι στο κατάστρωμα. Στις εργασίες για τη σύνδεση των αγωγών φορτοεκφορτώσεως στις **πολλαπλές συνδέσεις** του φορτίου (manifold) των Δ/Ξ, όπως και στην ανύψωση ή στη μεταφορά μεγάλων φορτίων, χρησιμοποιούνται γερανοί εγκατεστημένοι στη μέση και στην πρύμνη του πλοίου. Μερικοί τύποι πλοίων επίσης, διαθέτουν γερανογέφυρες, που διατρέχουν το κατάστρωμα πάνω από τα αμπάρια στηριζόμενες σε ράγες στις πλευρές του πλοίου. Έτσι, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, το φορτίο που μεταφέρει και τον τρόπο σχεδιασμού του, εγκαθίσταται διάφοροι τύποι γερανών.

Η εγκατάσταση ενός γερανού επηρεάζει την ευστάθεια και τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου, ενώ παράλληλα προσθέτει ένα επί πλέον κόστος στην κατασκευή και στις απαιτήσεις συντηρήσεως. Για παράδειγμα, σε πλοία γενικού φορτίου δύο γερανοί μαζί με την εγκατάσταση φτάνουν μέχρι και το 10% του συνολικού κόστους κατασκευής ή σε πλοία με 7 **γερανούς ελαφρύτερης κατασκευής** (light cranes) μπορεί να φτάσει το 20% του συνολικού κόστους.

Η πρακτική που ακολουθείται για πλοία τα οποία μεταφέρουν φορτία και που η διαχείρισή τους πραγματοποιείται από γεραμούς, είναι να κατασκευάζονται χωρίς να τοποθετούνται οι γερανοί. Προβλέπεται όμως κατά την κατασκευή τους να υποστηρίζεται η εγκατάστασή τους μετά την ολοκλήρωση της ναυπήγσεως, όποτε αυτό είναι απαραίτητο.

Για τη φορτοεκφόρτωση και τη μετακίνηση μεγάλων φορτίων, τα μέσα που χρησιμοποιούνται στα πλοία είναι οι ιστοί και οι φορτωτήρες, οι γερανοί και οι γερανογέφυρες.

20.1.1 Ιστοί και φορτωτήρες (derrick cranes).

Οι ιστοί χρησιμοποιούνται σε παλαιότερα πλοία και αποτελούνται από το κατάρτι (ιστό) και τον βρα-

χίονα διαχείρισεως του φορτίου ή φορτωτήρα (μπίγα) συνδεδεμένο με κατάλληλη άρθρωση στη βάση, ώστε να είναι δυνατή η ανύψωση και η περιστροφή του. Ο μηχανισμός κινήσεως των φορτωτήρων πραγματοποιείται με βαρούλκα, ανυψώνοντας και περιστρέφοντας τον φορτωτήρα κατά τη μεταφορά των φορτίων.

Οι φορτωτήρες λόγω του τρόπου εγκαταστάσεώς τους στον ιστό έχουν περιορισμένο εύρος κινήσεως γύρω από αυτόν, που δεν τους επιτρέπει να καλύψουν την πρόσβαση σε όλη την επιφάνεια του καταστρώματος. Γι' αυτό ένας γερανός μπορεί να κατασκευάζεται με δύο φορτωτήρες (σχ. 20.1α), όπου δύο βραχίονες τοποθετούνται στον ίδιο ιστό, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την πρόσβαση και την συνεργασία στην ανύψωση και τη μεταφορά του φορτίου, με χειρισμούς ταχύτερους και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ο χειρισμός του φορτωτήρα επιτυγχάνεται με συρματόσχοινα και τροχαλίες (μπαστέκες). Το κάθε συρματόσχοινο ανάλογα με τον ρόλο του στην ανύψωση και στη μεταφορά του φορτίου έχει ένα χαρακτηριστικό όνομα, όπως ο **ορθωτήρας** που χρησιμοποιείται στην ανύψωση του φορτωτήρα, ο **ολκός** για τον χειρισμό και τη στρέψη του φορτωτήρα, ο **επάρτης** για την ανύψωση του φορτίου, και ο **πρό- τονος** για τη στήριξη του ιστού (σχ. 20.1α).

20.1.2 Γερανοί καταστρώματος (deck cranes).

Η χρήση και ο μεγάλος αριθμός των γερανών που εγκαθίστανται στα πλοία οφείλεται στον μικρό χρόνο που απαιτείται στην προετοιμασία τους για τη διαδικασία εκφορτώσεως, και στο πλεονέκτημα που διαθέτουν να τοποθετούν με ευκολία και ακρίβεια (ή σε συγκεκριμένο σημείο) το φορτίο που πρόκειται να μεταφερθεί.

Τα πλεονεκτήματα αυτά των γερανών έναντι των φορτωτήρων είναι σημαντικά, ιδιαίτερα για **πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων** (container ships), που προσεγγίζουν λιμάνια, τα οποία δεν διαθέτουν εγκαταστάσεις διαχείρισεως φορτίου.

Οι γερανοί συνήθως είναι τοποθετημένοι σε

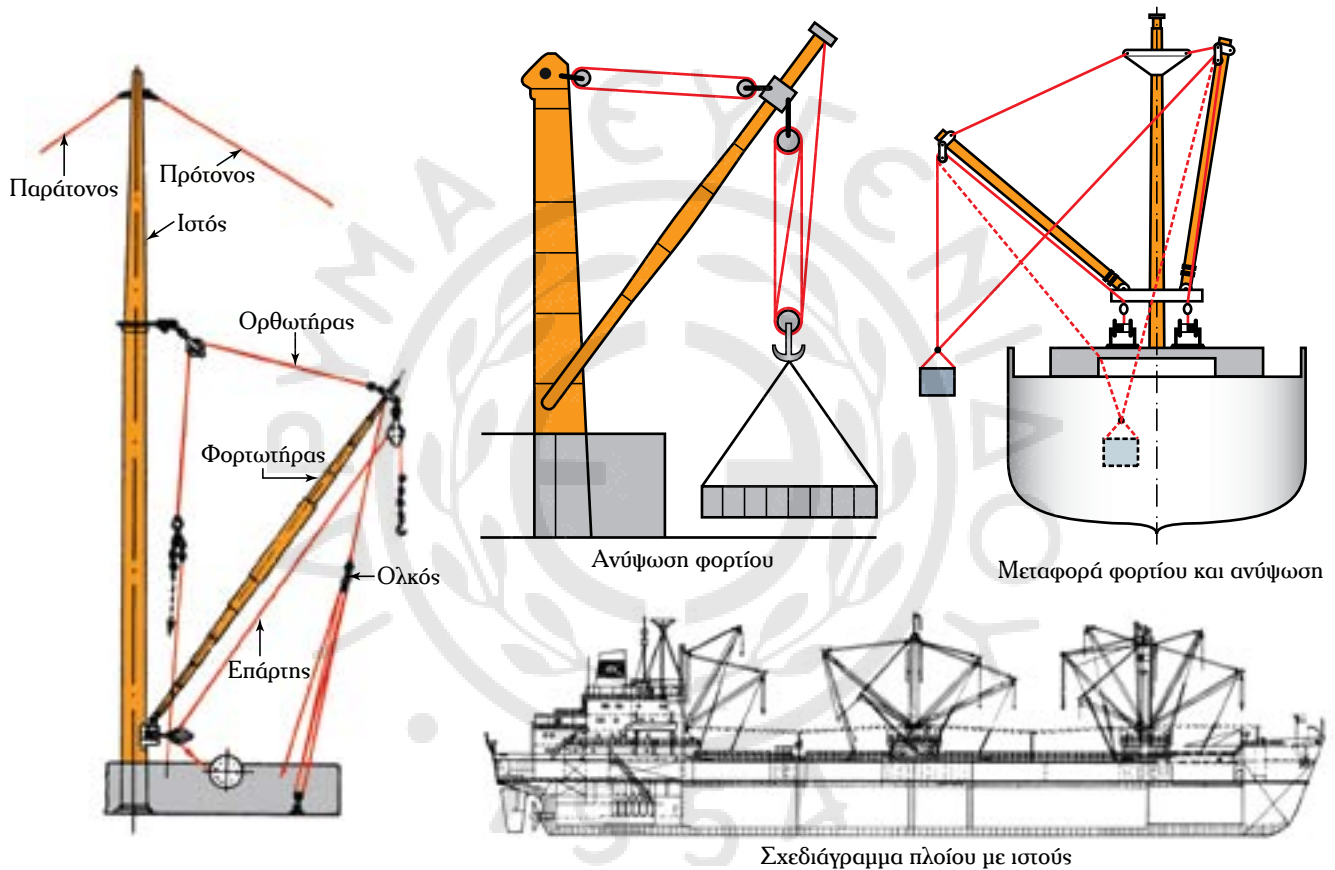
περιστρεφόμενη βάση και σπάνια σε σταθερή, παρέχοντας στον **βραχίονα του γερανού** (jib) ευρύ πεδίο προσβάσεως (σχ. 20.1β). Η στήριξη και η περιστροφή του βραχίονα πραγματοποιείται σε κατάλληλη διάταξη οδοντωτής στεφάνης γύρω από τον ιστό, της οποίας η διαδρομή διατρέχεται με γρανάζι. Το γρανάζι εφαρμόζεται σε άξονα που κινείται από υδραυλικό ή ηλεκτρικό κινητήρα, ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Οι βραχίονες είναι σταθερού ή μεταβλητού τύπου (σχ. 20.1γ) και κινούνται με συρματόσχοινα ή με κυ-

λίνδρους υδραυλικών εμβόλων που συνδέονται στον βραχίονα. Η ανύψωση ή η κατάβαση του φορτίου επιτυγχάνεται από διάταξη τροχαλιών και **γάντζου** ή αλλιώς από **σύστημα διαχείρισεως του φορτίου** (pulley block) και συρματόσχοινα. Τα τύμπανα περιλίξεως του συρματόσχοινου είναι εγκατεστημένα είτε πάνω στον βραχίονα, είτε κοντά στη βάση του γερανού.

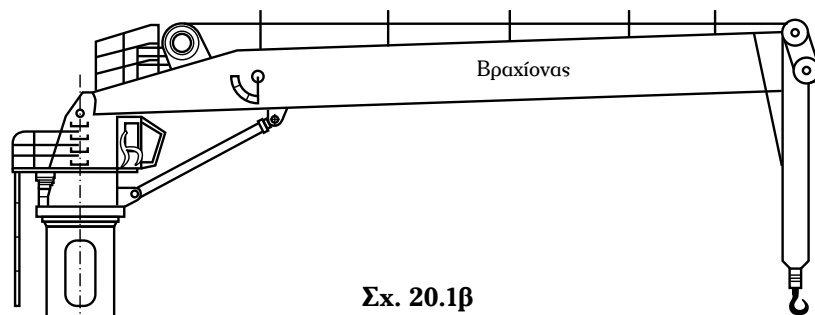
Οι γερανοί, ανάλογα με το κινητήριο μηχανήμα, διακρίνονται σε:

α) **Ηλεκτρικούς**, που κινούνται με ηλεκτροκι-



Σχ. 20.1α

Ιστοί και φορτωτήρες.



Σχ. 20.1β

Γερανός πλοίου.

νητήρες τριφασικού ρεύματος μέσω ρυθμιζόμενου μετατροπέα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο μοχλός χειρισμού για τις κινήσεις του γερανού ενεργεί στον μετατροπέα, στέλνοντας ρεύμα στον ηλεκτροκινητήρα, ενώ ταυτόχρονα ελευθερώνει το φρένο επιτρέποντας τη λειτουργία του.

β) **Ηλεκτροϋδραυλικούς**, με πίεση ελαίου από αντλίες κινούμενες με ηλεκτροκινητήρα, που παρέχουν το έλαιο με υψηλή πίεση στους υδραυλικούς κινητήρες κίνησης του γερανού.

γ) **Υδραυλικούς**, όταν κινούνται από υδραυλικούς κινητήρες και κυλίνδρους υδραυλικών εμβόλων, που εξυπηρετούνται από τοπική ή κεντρική μονάδα υδραυλικής ισχύος.

δ) **Μηχανοκίνητους**, με πετρελαιοκινητήρα ή βενζινοκινητήρα, με άμεση μετάδοση στα τύμπανα των συρματοσχοίων. Οι γερανοί αυτοί συναντώνται συνήθως σε μικρές ή παλαιότερες εγκαταστάσεις.

Για την εξυπηρέτηση μικρών φορτίων, στην πρύμνη των πλοίων εγκαθίστανται γερανοί που εξυπηρετούν αντίστοιχα μικρά φορτία και η κίνησή τους πραγματοποιείται είτε από κινητήρες με στροφείο κατασκευασμένο με περύγια, που λειτουργούν με συμπιεσμένο



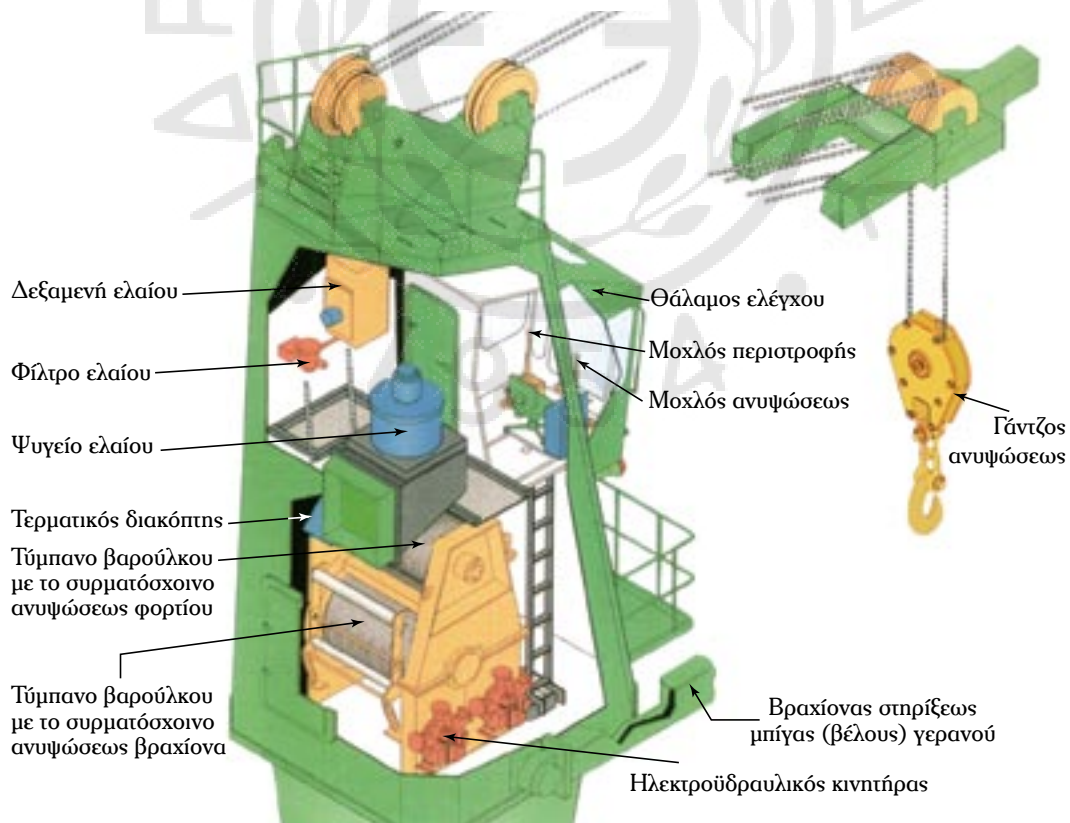
Σχ. 20.1γ

Γερανός με μεταβλητό βραχίονα.

αέρα, είτε από έμβολα υδραυλικού ελαίου.

Ο έλεγχος κάθε γερανού πραγματοποιείται τοπικά με χειριστήρια στο κατάστρωμα, ενώ σε μεγάλες εγκαταστάσεις τοποθετείται πάνω στον γερανό καμπίνα ελέγχου με χειριστήρια και πολλές φορές σε αυτή υπάρχει και η μονάδα ισχύος λειτουργίας του.

Στο σχήμα 20.1δ παρουσιάζεται η διάταξη του μηχανισμού κίνησης ενός γερανού που κινείται από ηλεκτροϋδραυλικό κινητήρα και ο θάλαμος (καμπίνα) χειρισμού. Με τη λειτουργία του γερανού, ο



Σχ. 20.16

Γερανός με ηλεκτροϋδραυλικό μηχανισμό κίνησης.

ηλεκτροκινητήρας μεταδίδει την κίνηση στην υδραυλική αντλία, που περιστρέφεται παρέχοντας το έλαιο με πίεση στον υδραυλικό μηχανισμό ανυψώσεως (π.χ. τον γάντζο). Το υδραυλικό έλαιο που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία απορροφά ταυτόχρονα τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα εξαρτήματα του μηχανήματος και στη συνέχεια ψύχεται σε ψυγείο πριν επιστρέψει στη δεξαμενή τροφοδοσίας υδραυλικού ελαίου του συστήματος.

Στους υδραυλικούς μηχανισμούς κινήσεως των γερανών, στους οποίους η παροχή της πίεσης του ελαίου γίνεται από κεντρική μονάδα ισχύος, που συνήθως είναι εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο, η διανομή του ελαίου πραγματοποιείται μέσω κατάλληλου δικτύου, ενώ σε κάθε γερανό είναι εγκατεστημένα τα κιβώτια με τις βαλβίδες παροχής του ελαίου για τον χειρισμό του (σχ. 20.1ε).

Η περιστροφή και οι χειρισμοί του βραχίονα του γερανού πραγματοποιούνται με υδραυλικούς κινητήρες τύπου περυγίων (vane) (σχ. 20.1στ). Σ' αυτούς τους κινητήρες το έλαιο παρέχεται μέσω των βαλβίδων. Οι κινητήρες έχουν την δυνατότητα να περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ο κινητήρας αποτελείται από το στροφέιο με τις εσοχές για τα περύγια που κινούνται ελεύθερα ακτινικά κατά την περιστροφή του από το κέντρο προς την περιφέρεια. Καθώς ολισθαίνουν εσωτερικά στην επιφάνεια του κελύφους δημιουργούν τους θαλάμους, όπου εισέρχεται το υδραυλικό έλαιο με πίεση. Στην περιφέρεια του κελύφους υπάρχουν οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής του ελαίου, που εναλλάσσονται ανάλογα με την παροχή από τις βαλβίδες χειρισμού. Έτσι, στρέφουν τον άξονα που συνδέεται με το στροφέιο μεταφέροντας την κίνηση στο τύμπανο περιελίξεως του συρματόσχοινου του γερανού ή στα γρανάζια για την περιστροφή του.

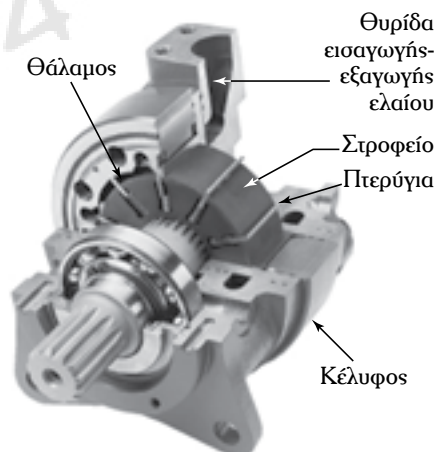
Οι τύποι των περιστρεφόμενων γερανών ταξινομούνται στις εξής τρεις κατηγορίες:

α) Στους **γερανούς συμβατικού τύπου** (conventional type cranes) (σχ. 20.1ζ). Ο βραχίονας των γερανών αυτού του τύπου τοποθετείται 8–15 m πάνω από τον τριβέα στηρίξεως και περιστροφής. Οι γερανοί αυτοί μπορεί να διαφέρουν στον τρόπο ανυψώσεως ή καταβάσεως του βραχίονα, που πραγματοποιείται είτε με **συρματόσχοινα** (topping lift wires), είτε με δύο συνήθως υδραυλικά έμβολα. Η ικανότητα ανυψώσεως φορτίου κυμαίνεται από 16–60 τόνους και το εύρος οριζόντιας μετατοπίσεως του φορτίου φτάνει τα 22–34 m.



Σχ. 20.1ε

Κιβώτιο διανομής ελαίου για την παροχή ελαίου στους κινητήρες του γερανού.



Σχ. 20.1στ

Υδραυλικός κινητήρας τύπου περυγίων.

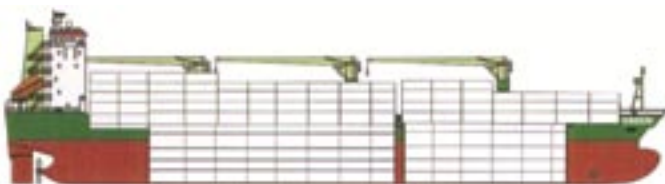


Σχ. 20.1ζ

Γερανός συμβατικού τύπου.



(α)



(β)

Σχ. 20.1n

(α) Χαμηλού τύπου περιστρεφόμενος γερανός και
(β) σχέδιο πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με
χαμηλού τύπου περιστρεφόμενους γερανούς.

β) Στους **χαμηλού τύπου περιστρεφόμενους γερανούς** (slewing low type cranes) (σχ. 20.1n). Ο βραχίονας του γερανού αυτού τοποθετείται σε ύψος περίπου 5 m από το σημείο στηρίξεως και περιστροφής του. Η ικανότητα ανυψώσεως κυμαίνεται από 10 έως 150 τόνους και το εύρος οριζόντιας μετατοπίσεως του φορτίου κυμαίνεται από 12 έως 35 m.

γ) Στους **γερανούς ανυψώσεως βαρέος τύπου** (heavy lift cranes) (σχ. 20.1θ). Η συνεχής αύξηση του βάρους των φορτίων που απαιτείται να ανυψωθεί, οδήγησε στην κατασκευή γερανών αυτού του τύπου. Είναι σχεδιασμένοι να εγκαθίστανται σε ειδικά πλοία και παρέχουν τη δυνατότητα ανυψώσεως φορτίων πάνω από 150 τόνους που φτάνουν έως τους 1.200 τόνους. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι γερανών αυτής της κατηγορίας, οι εξής:

- Οι **συμβατικοί γερανοί ανυψώσεως βαρέος τύπου** (conventional type) με βραχίονα εγκατεστημένο πάνω στην περιστρεφόμενη σε ένσφαιρους τριβείς βάση, όμοιας κατασκευής με τους απλούς συμβατικού τύπου γερανούς, αλλά με ιδιαίτερη ενίσχυση που να ανταποκρίνεται στις αυξημένες απαιτήσεις των φορτίων.
- Οι **γερανοί με ιστό βαρέος τύπου** (mast) (σχ. 20.1θ). Η στήριξη του βραχίονα πραγματοποιείται πάνω στην περιστρεφόμενη στεφάνη γύρω από τη βάση του ιστού του γερανού. Τα συρματόσχοινα για τον χειρισμό του βραχίονα αναρτώνται σε κατάλληλη μονάδα, που περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από την κορυφή του ιστού, επιτυγχάνοντας την εύκολη πρόσβαση περιφερειακά του ιστού και μεγάλο εύρος οριζόντιας μετατοπίσεως.

20.1.3 Γερανογέφυρες.

Οι **γερανογέφυρες** (gantry cranes) είναι τύποι



Σχ. 20.1θ

Γερανοί με ιστό βαρέος τύπου.

γερανών που κατασκευάζονται με δύο μεταλλικά σκέλη, ένα για κάθε πλευρά του πλοίου και συνδέονται εγκάρσια από μία γέφυρα (σχ. 20.1). Τη γέφυρα διατρέχει **φορείο** ή **δρομέας** σε κατάλληλες οδοντωτές ράγες. Επάνω στο φορείο εφαρμόζεται η ανυψωτική συσκευή, που αποτελείται από το τύμπανο περιελίξεως και τον ηλεκτροκινητήρα κίνησης του τυμπάνου για την ανύψωση ή την κατάβαση των φορτίων. Η μετακίνηση του φορείου επάνω στις ράγες επιτυγχάνεται με οδοντωτούς τροχούς που κινούνται από ηλεκτροκινητήρα.

Τα δύο σκέλη της γερανογέφυρας εδράζονται σε ράγες που διατρέχουν τις πλευρές του πλοίου. Με τις κινήσεις του ανυψωτικού μηχανήματος που βρίσκεται πάνω στο φορείο και την εγκάρσια γέφυρα που συνδέει τα δύο σκέλη του γερανού επιτυγχάνεται η πρόσβαση σε όλη την επιφάνεια του καταστρώματος.

Το πλάτος της γέφυρας είναι περίπου ίσο με το πλάτος του πλοίου. Όταν απαιτείται πρόσβαση έξω από τις πλευρές του, οι γερανογέφυρες εφοδιάζονται με πρόσθετους αρθρωτούς βραχίονες ή βραχίονες παράλληλης προεκτάσεως με τη γέφυρα, με οδοντώσεις που επεκτείνονται έξω από το πλοίο. Για παράδειγμα, στη φορτοεκφόρτωση εμπορευματοκιβωτίων από την προβλήτα του λιμανιού με τη γερανογέφυρα του πλοίου, συνήθως η επέκταση του βραχίονα της γερανογέφυρας είναι ίση με το μισό της πλάτος.

20.2 Καλύμματα στομίων κυτών.

Η πρόληψη και η προστασία από οποιαδήποτε μόλυνση του φορτίου, κατά τη μεταφορά του στα αμπάρια του πλοίου, επιτυγχάνεται με τα **καλύμματα στομίων του κύτους** (hatch covers). Τα αμπάρια επίσης πρέπει να κλείνουν στεγανά, αποκλείοντας την πιθανότητα να εισέλθει θάλασσα ή υγρασία θέτοντας σε κίνδυνο την ακεραιότητα του φορτίου και την ασφάλεια του πλοίου.

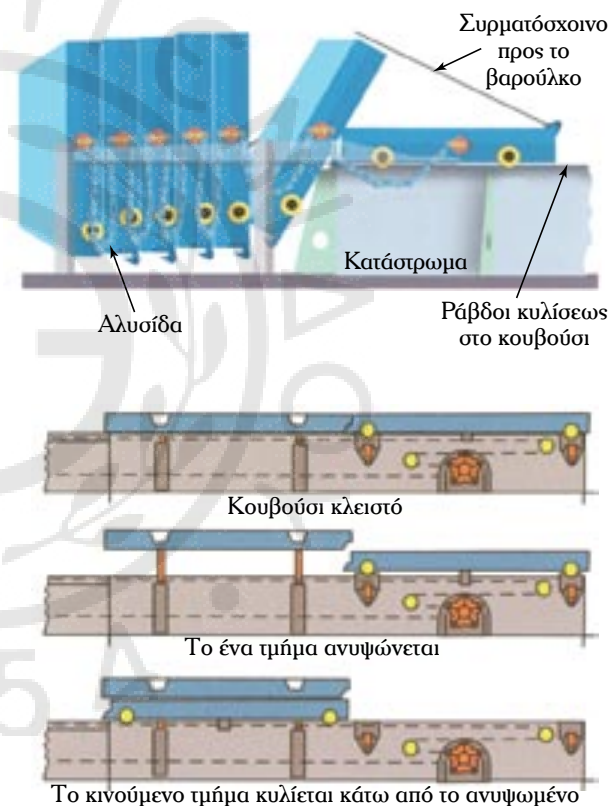
Τα καλύμματα στομίων κυτών είναι μεταλλικές κατασκευές και συνήθως αποτελούνται από δύο ή περισσότερα μικρότερα μεταλλικά καλύμματα, πτυσσόμενα ή συρταρωτά, που καλύπτουν το στόμιο του αμπαριού (σχ. 20.2α).

Η απαιτούμενη στεγανοποίηση του διάκενου στα σημεία επαφής των καλυμμάτων με το στόμιο των αμπαριών και μεταξύ των καλυμμάτων όταν είναι πτυσσόμενα επιτυγχάνεται με συνθετικά παρεμβύσματα, που σφίγγονται με κατάλληλες βίδες και παξιμάδια σφραγίζοντας το αμπάρι.

Ο χειρισμός των καλυμμάτων επιτυγχάνεται:



Σχ. 20.1
Γερανογέφυρα πλοίου.



Σχ. 20.2α

Χειρισμός καλυμμάτων με αλυσίδες και συρματόσχοινα.

α) Με **αλυσίδες** ή **συρματόσχοινα**, σύροντας τα καλύμματα πάνω σε τροχούς που εφαρμόζονται στις πλευρές τους και τα οποία κινούνται σε κατάλληλες ράγες (σχ. 20.2α).

β) Με **οδοντωτούς τροχούς**, που εμπλέκονται σε οδοντωτές ράγες στις πλευρές των αμπαριών (σχ. 20.2β).

γ) Με **υδραυλικά έμβολα** (γρύλων), που εφαρ-

μόζονται κατάλληλα στις πλευρές κάθε καλύμματος. Η πίεση ελαίου λειτουργίας των εμβόλων παρέχεται από κεντρική μονάδα υδραυλικής ισχύος (σχ. 20.2γ).

Οι μηχανισμοί των χειρισμών, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και τον τρόπο κατασκευής των καλυμμάτων, κινούνται από ηλεκτροκινητήρες ή υδραυλικούς κινητήρες.

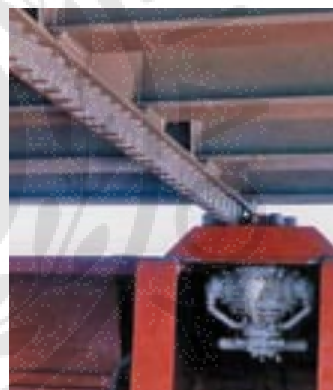
Για το άνοιγμα των αμπαριών πρέπει πρώτα να ελευθερωθούν τα εξωτερικά στηρίγματα των καλυμμάτων. Κάθε ένα κάλυμμα ανυψώνεται με τη βοήθεια υδραυλικών εμβόλων από το σημείο επαφής με το στόμιο του αμπαριού, ώστε να κινείται ελεύθερα.

Όταν σύρονται με οδοντωτούς τροχούς πάνω σε ράγες, οι τροχοί μπορούν και περιστρέφονται έως 180° , ώστε να εφάπτονται στις ράγες και να κλειδώνονται στην κατάλληλη θέση. Οι γρύλοι αφαιρούνται ελευθερώνοντας το κάλυμμα, που μπορεί να συρθεί προς το άνοιγμα ή το κλείσιμο του στομίου. Τα

πυρσοδόμενα καλύμματα ρυθμίζονται έτσι, ώστε στο τέρμα της διαδρομής στις πλευρές των αμπαριών, με το πλήρες άνοιγμά τους, να συσσωρεύονται κατακόρυφα παρέχοντας τον ελεύθερο χώρο προσβάσεως στο αμπάρι.

Για το άνοιγμα ενός συρταρωτού καλύμματος ακολουθούνται οι ανάλογες ενέργειες και το κάλυμμα σύρεται κατά μήκος ή προς τις πλευρές του πλοίου ανοίγοντας ή κλείνοντας το αμπάρι.

Στα Δ/Ξ τα καλύμματα των στομίων κυτών είναι πολύ μικρότερα (σχ. 20.2δ), διότι το φορτίο που μεταφέρουν είναι σε υγρή μορφή. Επίσης, στα Δ/Ξ είναι αναγκαίο να διατηρείται συνεχώς η στεγανότητα, είτε στο λιμάνι είτε σε θαλασσοταραχή, στα υγρά όσο και στα αέρια που δημιουργούνται από την εξάτμιση του φορτίου. Τα καλύμματα στομίων κυτών χρησιμοποιούνται για τον εξαερισμό, την πρόσβαση στη δεξαμενή σε επιθεωρήσεις ή σε καθαρισμούς, ενώ η στεγανοποίησή τους επιτυγχάνεται με συνθετικά ελα-



Οδοντωτός τροχός (λεπτομέρεια)

Σχ. 20.2β

Χειρισμός καλυμμάτων με οδοντωτούς τροχούς.



Υδραυλικό έμβολο (λεπτομέρεια)

Σχ. 20.2γ

Χειρισμός καλυμμάτων με υδραυλικά έμβολα.

στικά παρεμβύσματα. Η εφαρμογή και η σύσφιγξή τους στα στόμια της δεξαμενής επιτυγχάνεται **πρώτον** με γέφυρα και ατέρμονα κοχλία που σφίγγει τη θυρίδα [σχ. 20.2δ(α)], **δεύτερον** με πεταλούδες που συσφίγγουν τους κοχλίες που τοποθετούνται περιφερειακά [σχ. 20.2δ(β)] και **τρίτον** με βίδες και παξιμάδια που εφαρμόζονται περιφερειακά (σχ. 20.2ε), ώστε κατά την εφαρμογή τους να κλείνουν αεροστεγώς. Στα πλοία που διαθέτουν σύστημα παραγωγής αδρανούς αερίου, δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της στεγανοποίησης με αύξηση της πίεσης μέσα στη δεξαμενή. Μια πρακτική που ακολουθείται στον έλεγχο διαρροής αερίου από τη δεξαμενή, είναι με την αύξηση της πίεσης μέσα σε αυτή. Στη συνέχεια, με την εφαρμογή σαπουνώδους διαλύματος στα ση-

μεία επαφής του καλύμματος με το στόμιο, δίνεται η δυνατότητα να διαπιστωθεί η πιθανότητα διαρροής με οπτικό έλεγχο.

Το κλείσιμο και η σύσφιγξη των καλυμμάτων κυτών πρέπει να γίνεται με προσοχή, κατεβάζοντας ομαλά και προοδευτικά το κάλυμμα. Επίσης, η σύσφιγξη του συστήματος ασφαλίσεως πρέπει να γίνεται ομοιόμορφα, ακολουθώντας τη σωστή σειρά που ορίζεται από τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ο έλεγχος της καλής στεγανοποίησης πρέπει να πραγματοποιείται τακτικά δίνοντας προσοχή στα συστήματα ασφαλίσεως (κλεισίματος) των στομιών και ελέγχοντας την ομοιόμορφη σύσφιγξη και την ικανοποιητική λίπανση του σπειρώματος στις βίδες, ώστε να διατηρούνται σε καλή κατάσταση.



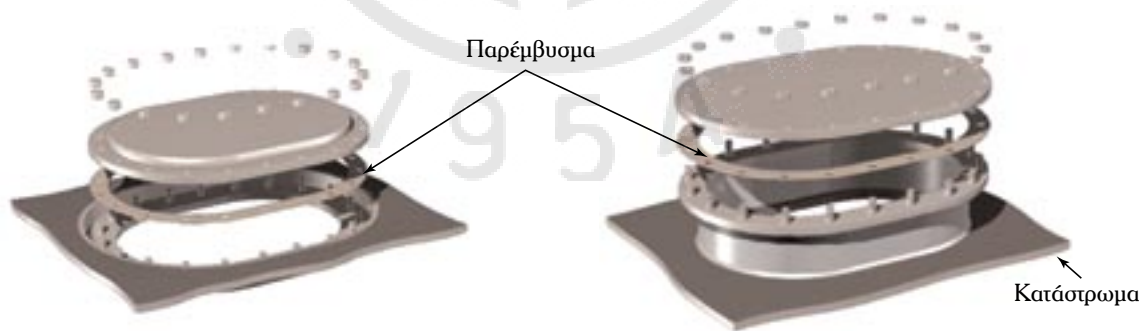
(α)



(β)

Σχ. 20.26

Κάλυμμα στομίου Δ/Ξ (α) με γέφυρα και ατέρμονα κοχλία και (β) με πεταλούδες.



Σχ. 20.2ε

Καλύμματα στομιών κυτών Δ/Ξ με βίδες παξιμάδια και το ελαστικό παρέμβυσμα στεγανοποίησης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α

Επιθεωρήσεις από τις λιμενικές αρχές

482

Παράρτημα Β

Καθοδική προστασία πλοίων

489

Παράρτημα Γ

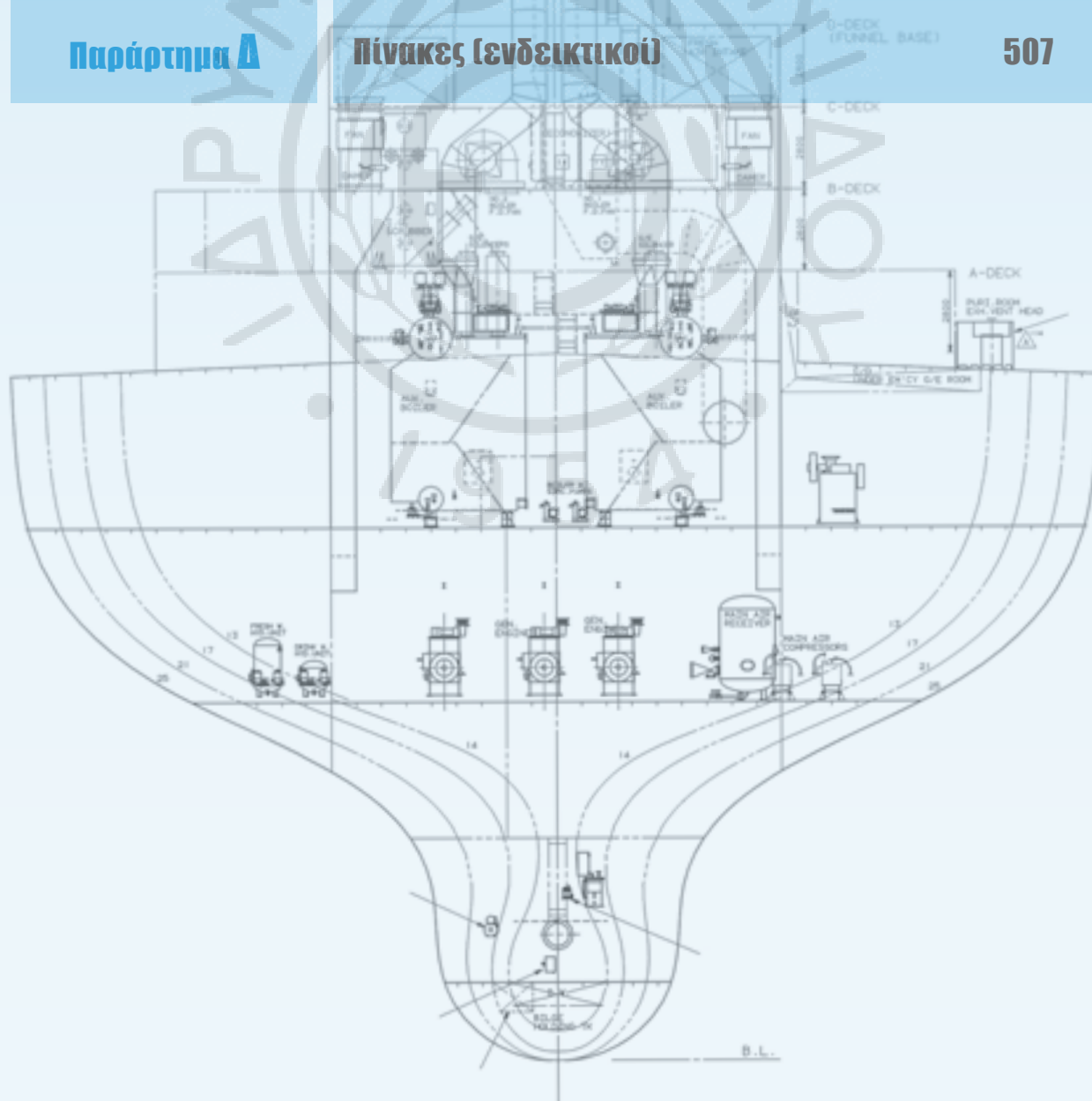
Σχεδιαγράμματα μηχανοστασίου
δεξαμενοπλοίου

502

Παράρτημα Δ

Πίνακες (ενδεικτικοί)

507



Παράρτημα Α

Επιθεωρήσεις από τις Λιμενικές αρχές



Π.Α.1 Εισαγωγή.

Οι Διεθνείς Συμβάσεις (ΔΣ) για τη θάλασσα είναι συνθήκες που αφορούν σε θέματα σχεδιασμού και ασφάλειας της ναυσιπλοΐας. Εκπονούνται από διεθνείς οργανισμούς, όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO), ο Διεθνής Οργανισμός Εργασίας (International Labor Organization – ILO), ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) κ.λπ. και τα μέλη των οργανισμών αυτών δεσμεύονται με την τήρηση των συμβάσεων αυτών.

Π.Α.2 Λιμενικές αρχές.

Οι λιμενικές αρχές ενός κράτους εδώ και πολλές δεκαετίες έχουν το δικαίωμα να ελέγχουν αν τα ξένα σκάφη, ανεξαρτήτως σημαίας ή Νπογνώμονα, εφαρμόζουν τις συμβάσεις που έχουν υιοθετηθεί στον IMO σχετικά με την ασφάλεια και τη συντήρηση των πλοίων. Ο Κρατικός Έλεγχος Λιμένων (Port State Control) είναι το θεσμικό όργανο του κράτους για την επιθεώρηση των ξένων σκαφών που καταπλέουν στους εθνικούς λιμένες. Έχει ως σκοπό την επιβεβαίωση ότι η ασφάλεια, η κατασκευή, η διαχείριση και ο εξοπλισμός του σκάφους συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των ΔΣ και ότι το σκάφος είναι επανδρωμένο σύμφωνα με τις κείμενες διεθνείς και εθνικές νομοθεσίες.

Τα τελευταία χρόνια, η σημασία του Κρατικού Ελέγχου Λιμένων έχει αναγνωρισθεί ευρέως και έχει υπάρξει σημαντική κινητοποίηση στις ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές προς την καθιέρωση μιας εναρμονισμένης προσεγγίσεως στην αποτελεσματική εφαρμογή των παροχών ελέγχου. Οι έλεγχοι αυτοί πρέπει να είναι αποτελεσματικοί, συντεταγμένοι και επίσης να μην επιφέρουν προβλήματα και καθυστερήσεις στην εμπορική διαχείριση των πλοίων.

Αν και γίνεται κατανοητό ότι η τελευταία ευθύνη για την εφαρμογή των ΔΣ ανήκει στα κράτη της σημαίας που φέρουν τα πλοία, οι λιμενικές αρχές έχουν το δικαίωμα να επιθεωρήσουν τα ξένα σκάφη που καταπλέουν στους λιμένες τους, προκειμένου να εξασφαλίσουν ότι οποιοσδήποτε ανεπάρκειες που παρατηρούνται, αποκαθίστανται πριν επιτραπεί ο απόπλους. Ο Κρατικός Έλεγχος Λιμένων θεωρείται συμπληρωματικός και κάποιες φορές επικουρικός στις επιθεωρήσεις του κράτους της σημαίας.

Π.Α.3 Επιθεωρήσεις στους χώρους μηχανολογικού εξοπλισμού.

Ο εκάστοτε **Επιθεωρητής της Λιμενικής Αρχής** (Port State Control Officer) πρέπει να έχει πρόσβαση στους χώρους όπου υπάρχει μηχανολογικός εξοπλισμός και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, προκειμένου να διεξαγάγει την επιθεώρηση και να αξιολογήσει την κατάσταση τους με γνώμονα πάντα την ασφάλεια του πληρώματος και την αποτροπή μόλυνσεως του περιβάλλοντος.

Κατά τη διάρκεια της επιθεωρήσεως θα καταλήξει σε συμπεράσματα **για τις διαδικασίες της συντηρήσεως που εφαρμόζονται από το πλήρωμα** και τον βαθμό ανταποκρίσεώς του στις διαδικασίες που έχουν υιοθετηθεί από το σύστημα ασφαλούς διαχειρίσεως (safety management system) της **διαχειρίστριας εταιρείας** (management company).

Ο Επιθεωρητής της Λιμενικής Αρχής στο μηχανοστάσιο δίνει μεγάλη προσοχή στα ακόλουθα:

- α) Στην καθαριότητα των δαπέδων του μηχανοστασίου.
- β) Στην ορθή σήμανση των χώρων και των μηχανημάτων.
- γ) Στην καθαριότητα των μηχανημάτων από πετρελαιοειδή για αποφυγή φωτιάς.
- δ) Στην καθαριότητα των κυτών του μηχανοστασίου από πετρελαιοειδή.
- ε) Στην ακεραιότητα των μονώσεων των σωληνώσεων υψηλής θερμοκρασίας.
- στ) Στη σωστή λειτουργία του πίνακα ελέγχου και εκτάκτων σημάτων.
- ζ) Στην ορθή σήμανση και στις οδηγίες χρήσεως του διαχωριστή πετρελαιοειδών–νερού.
- η) Στην ορθή χρήση του Βιβλίου Πετρελαίου (Oil Record Book).
- θ) Στις διαρροές από κρουνοί και σωληνώσεις.
- ι) Στις διαρροές από αντλίες.
- ια) Στην επιθεώρηση του Ημερολογίου του Μηχανοστασίου.
- ιβ) Στην γεννήτρια έκτακτης ανάγκης.
- ιγ) Στην αντλία πυροσβέσεως έκτακτης ανάγκης.
- ιδ) Στα απροστάτευτα καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος και
- ιε) στις μονώσεις δαπέδων πλησίον ηλεκτρικών πινάκων.

Είναι πιθανό να απαιτήσει να τεθούν κάποια μηχανήματα σε λειτουργία, εάν παρατηρηθούν στοιχεία που θα δημιουργήσουν αμφιβολίες για την ορθή κατάστασή τους.

Εάν ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος είναι εκτός λειτουργίας, ο Επιθεωρητής της Λιμενικής Αρχής θα πρέπει να ερευνήσει εάν η εναπομείνασα ηλεκτρική ισχύς επαρκεί να τροφοδοτήσει τις λειτουργικές ανάγκες και τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και είναι πιθανό να διεξαχθεί κατάλληλες δοκιμές.

Εάν παρατηρηθούν εμφανή στοιχεία παραμελήσεως, ο Επιθεωρητής της Λιμενικής Αρχής θα διεξαγάγει πιο λεπτομερή έρευνα στα βοηθητικά συστήματα έτσι, ώστε να πειστεί ότι δεν υπάρχει κίνδυνος ασφάλειας για το πλήρωμα, το πλοίο και το περιβάλλον.

Στην περίπτωση που ο Επιθεωρητής της Λιμενικής Αρχής διαπιστώσει παραβάσεις, ανεπάρκεια συντηρήσεως ή ανεπάρκεια διαδικασιών συντηρήσεως, τότε είναι πολύ πιθανόν να προβεί σε απαγόρευση του απόπλου του πλοίου μέχρι να αποκατασταθούν οι ελλείψεις σύμφωνα με τα πρότυπα των συνθηκών που ισχύουν και είναι σχετικές με την ασφάλεια του πλοίου και την αποφυγή μόλυνσεως του περιβάλλοντος.

Π.Α.4 Ο ρόλος του καλού μηχανικού.

Είναι σίγουρο ότι τυχόν παρατηρήσεις ή υποδείξεις από τον Επιθεωρητή της Λιμενικής Αρχής, όταν πραγματοποιεί την επιθεώρηση στο μηχανοστάσιο, φέρνουν σε δύσκολη θέση τον Α' Μηχανικό, γιατί είναι έμπρακτη απόδειξη ότι δεν «*γίνεται σωστά η δουλειά*». Το γεγονός αυτό έχει αντίκτυπο τόσο στις διαδικασίες που εφαρμόζει η ναυτιλιακή εταιρεία σχετικά με τη συντήρηση των μηχανημάτων του μηχανοστασίου, όσο και στην καριέρα του ναυτικού.

Ποιος είναι επομένως ο ρόλος του «καλού μηχανικού»; Η απάντηση είναι εύκολη: ***να γίνεται σωστά η συντήρηση των μηχανημάτων και ταυτόχρονα να καταγράφονται οι εργασίες, ο χρόνος διεξαγωγής και τα ανταλλακτικά που χρησιμοποιήθηκαν.*** Ο ρόλος του ***συστήματος διαδικασιών συντηρήσεως*** (planned maintenance system) προβλέπει τον χρόνο και τα υλικά που απαιτούνται, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα στον προγραμματισμένο χρόνο της επισκευής.

Ακόμα και αν επισημανθούν παρατηρήσεις από τον Επιθεωρητή της Λιμενικής Αρχής ο Α' Μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να ***αποδείξει*** ότι είναι ενήμερος και ότι έχουν προβλεφθεί τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας και ο αναμενόμενος χρόνος αποπερατώσεως, σύμφωνα με τις διαδικασίες συντηρήσεως.

Όταν όμως παρατηρείται άγνοια, αμέλεια, παραβάσεις κανονισμών και προχειρότητα μέτρων, τότε ο Επιθεωρητής της Λιμενικής Αρχής οφείλει να προβεί σε απαγόρευση του απόπλου του πλοίου (detention). Επί πλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να ζητήσει την αρωγή και επιθεώρηση από τον νπογνώμονα ή τις αρχές της σημαίας που φέρει το πλοίο.

Π.Α.5 Σχετικές οδηγίες από ενδιαφερόμενους φορείς για την αποφυγή παρατηρήσεων από τις λιμενικές αρχές.

Η κατάρτιση των μηχανικών του Εμπορικού Ναυτικού σχετικά με τις επιθεωρήσεις των πλοίων, αλλά και των τεχνολογικών εξελίξεων, ξεκινάει από τις Ακαδημίες και συνεχίζεται με ενημερώσεις και σεμινάρια που οργανώνονται είτε από τις ναυτιλιακές εταιρείες, είτε από φορείς που δραστηριοποιούνται στη ναυτιλία.

Έχει αποδειχθεί ότι η καλύτερη μέθοδος προλήψεως ενός ατυχήματος στο μηχανοστάσιο είναι η ορθή και συνεχής ενημέρωση, όπως επίσης και η τήρηση του συστήματος διαδικασιών συντηρήσεως σύμφωνα με το σχέδιο που έχει υιοθετήσει η εκάστοτε ναυτιλιακή εταιρεία. Το σχέδιο αυτό πρέπει να είναι σύμφωνο με τις οδηγίες των κατασκευαστών.

Σ' αυτήν την κατεύθυνση, οι οργανισμοί ασφαλίσεως της ευθύνης «*προς τρίτους*», γνωστοί και ως Protection and Indemnity Clubs εκδίδουν οδηγίες σχετικά με την ορθή συντήρηση των μηχανημάτων εντός του μηχανοστασίου. Αυτές οι οδηγίες πρέπει να είναι ανηρτημένες σε εμφανή σημεία εντός του μηχανοστασίου, έτσι ώστε να κρατούν το πλήρωμα σε επαγρύπνηση σχετικά με τις διαδικασίες συντηρήσεως. Αποτελούν επίσης, καλό «*δείγμα*» για το γεγονός ότι η ναυτιλιακή εταιρεία επιδεικνύει το αναμενόμενο ενδιαφέρον για την ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος (σχ. Π.Α.5α – Π.Α.5ε).

UK P&I CLUB 

Good practice Engine room workshop fittings and practices

NUMBER 131

GOOD PRACTICE

- ✓ Emergency eyewash ready
- ✓ Emergency stops highlighted
- ✓ Safe working environment

Ensuring safety equipment is in good working order may prevent very painful accidents.



BAD PRACTICE

- ✗ Eyewash bottle taped in place
- ✗ Stop/Start control box tampered with
- ✗ Poorly fitted socket



It's your ship and equipment
– look after them and they will look after you

UK P&I CLUB
IS MANAGED
BY THOMAS
MILLER

For further information please contact:

Loss Prevention Department, Thomas Miller P&I Ltd. Tel: +44 20 7204 2307

Fax: +44 20 7283 6517. Email: lossprevention.ukclub@thomasmiller.com

Σχ. Π.Α.5α

Οδηγίες ορθής συντηρήσεως συστημάτων εντός του διαμερίσματος επισκευών του μηχανοστασίου.

UK P&I CLUB 

Good practice **Lagging on purifiers**

NUMBER 139

GOOD PRACTICE

- ✓ Purifiers clean
- ✓ Well maintained
- ✓ Oil-free lagging

*It is important
that hot pipe lagging
remains oil free as it
is a recipe for fire.*



BAD PRACTICE

- ✗ Oil leaking from purifiers
- ✗ Pipe lagging soaked
- ✗ Major fire risk



It's your ship and equipment
– look after them and they will look after you

UK P&I CLUB
IS MANAGED
BY THOMAS
MILLER

For further information please contact:
Loss Prevention Department, Thomas Miller P&I Ltd. Tel: +44 20 7204 2307
Fax: +44 20 7283 6517. Email: lossprevention.ukclub@thomasmiller.com

Σχ. Π.Α.5β

Οδηγίες ορθής συντηρήσεως των διαχωριστών πετρελαίου και ελαίων.

UK P&I CLUB



Good practice **Main engine**

NUMBER 18

GOOD PRACTICE

- ✓ Clean engine and bottom plates
- ✓ No loose plates, no trip hazards
- ✓ Good housekeeping leads to a safe environment

Engine rooms are potentially dangerous places – keeping them clean and tidy reduces the risk of fire and personal injury.



BAD PRACTICE

- ✗ Engine casing very oily
- ✗ Loose oily plates – trip/slip hazards
- ✗ Hose/rags lying around – trip hazards
- ✗ Bad housekeeping leads to increased risk of fire/accidents



It's your ship and equipment
– look after them and they will look after you

UK P&I CLUB
IS MANAGED
BY THOMAS
MILLER

For further information please contact:
Loss Prevention Department, Thomas Miller P&I Ltd. Tel: +44 20 7204 2307
Fax: +44 20 7283 6517. Email: lossprevention.ukclub@thomasmiller.com

Σχ. Π.Α.5γ

Οδηγίες ορθής συντηρήσεως των τοιχωμάτων και των δαπέδων της κύριας μηχανής.

UK P&I CLUB 

Good practice **Steering gear**

NUMBER 19

GOOD PRACTICE

- ✓ Steering flat clean and tidy
- ✓ Handrails and duckboards for safety

In bad weather, the steering flat is a 'lively' place to be. Covered in hydraulic oil, it is just dangerous – stop leaks and keep it clean!



It's your ship and equipment
– look after them and they will look after you

BAD PRACTICE

- ✗ In need of cleaning
- ✗ Evidence of poor maintenance
- ✗ Finding source of oil leaks difficult



UK P&I CLUB
IS MANAGED
BY THOMAS
MILLER

For further information please contact:
Loss Prevention Department, Thomas Miller P&I Ltd. Tel: +44 20 7204 2307
Fax: +44 20 7283 6517. Email: lossprevention.ukclub@thomasmiller.com

Σχ. Π.Α.56

Οδηγίες ορθής συντηρήσεως του διαμερίσματος πηδαλίου.

UK P&I CLUB



Good practice Main switchboard

NUMBER 63

GOOD PRACTICE

- ✓ All units closed
- ✓ Required non-conducting mat in place
- ✓ No trip hazards

Decks which are not of a rubberised composition, should have non-conductive matting in front/behind the MSB.



It's your ship and equipment
– look after them and they will look after you

BAD PRACTICE

- ✗ Switchboard door open
- ✗ Required matting/grating missing
- ✗ Potential safety/trip hazard



UK P&I CLUB
IS MANAGED
BY THOMAS
MILLER

For further information please contact:

Loss Prevention Department, Thomas Miller P&I Ltd. Tel: +44 20 7204 2307

Fax: +44 20 7283 6517, Email: lossprevention.ukclub@thomasmiller.com

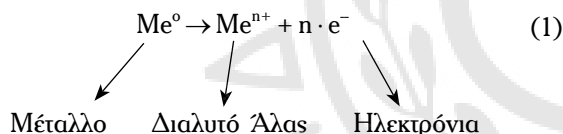
Σχ. Π.Α.5ε

Οδηγίες ορθής διεύθυνσης του κεντρικού πίνακα ηλεκτροδοτήσεως.

Π.Β.1 Εισαγωγή.

Τα περισσότερα μέταλλα δεν βρίσκονται στη φύση ως στοιχεία, αλλά ως ενώσεις όπως οξείδια, θειούχες ενώσεις, ανθρακικά άλατα. Από τις ενώσεις αυτές με κατάλληλες μεταλλουργικές μεθόδους και με μεγάλη κατανάλωση ενέργειας παράγονται τα μέταλλα, των οποίων όμως η μεταλλική κατάσταση είναι μετασταθής. Για τον λόγο αυτόν τα μεταλλικά υλικά έχουν την τάση, όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα ή το νερό, να επιστρέφουν στην αρχική σταθερή τους κατάσταση απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια. Το αποτέλεσμα, λοιπόν, είναι να οξειδώνονται, να υποβαθμίζονται ενεργειακά και να φθείρονται. Η τάση, με την οποία τα μέταλλα οξειδώνονται, εξαρτάται απ' τη θέση τους στην γαλβανική σειρά¹.

Η αλλαγή από τη μεταλλική κατάσταση στην αρχική κατάσταση πραγματοποιείται με τη δράση μίας ανοδικής αντιδράσεως της μορφής:



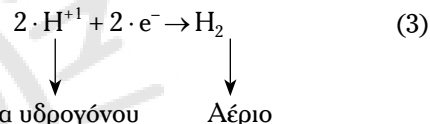
Στην περίπτωση του χάλυβα αυτή η αντίδραση παίρνει τη μορφή:



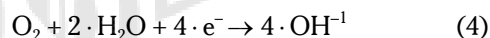
Το σημείο της μεταλλικής επιφάνειας όπου πραγματοποιείται η αντίδραση αυτή ονομάζεται **άνοδος**. Τα προϊόντα της αντιδράσεως είναι τα ιόντα του μετάλλου και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα μεταλλικά ιόντα κινούνται εντός του ηλεκτρολύτη, αντιδρούν με αρνητικά ιόντα και σχηματίζουν προϊόντα διαβρώσεως. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια διαπερνούν το μέταλλο (χάλυβα) και πηγαίνουν προς ένα άλλο σημείο της μεταλλικής επιφάνειας, την **κάθοδο**. Έτσι η διάβρωση συνοδεύεται από τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος από το μέταλλο προς τον ηλεκτρολύτη λόγω της κινήσεως θετικών ιόντων στον **ηλεκτρολύτη**²

και ηλεκτρονίων στο μέταλλο. Στην κάθοδο τα ηλεκτρόνια απορροφώνται από την καθοδική αναγωγική αντίδραση³. Σημειώνεται πως πρέπει να επικρατεί ηλεκτρική ουδετερότητα, δηλαδή τα ηλεκτρόνια που παράγονται στην άνοδο πρέπει να καταναλώνονται στην κάθοδο. Τότε θεωρείται πως η ανοδική και η καθοδική δράση βρίσκονται σε ισορροπία. Το ρεύμα στο σημείο ισορροπίας ονομάζεται **ρεύμα διαβρώσεως**.

Σε όξινα διαλύματα, όπου υπάρχει περίσσεια ιόντων υδρογόνου, η καθοδική αντίδραση είναι της μορφής:

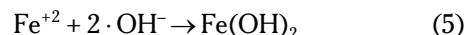


ενώ σε ουδέτερα διαλύματα αφορά στην κατανάλωση οξυγόνου:



με αποτέλεσμα την παραγωγή αλκαλικού υλικού⁴. Σε αντίθεση με την ανοδική αντίδραση, η καθοδική αντίδραση δεν αφορά στη διάλυση του μετάλλου. Έτσι, δεν υφίσταται διάβρωση οι κάθοδοι αλλά οι άνοδοι. Η ανοδική και η καθοδική δράση της διαβρώσεως μπορεί να λαμβάνει χώρα είτε στις επιφάνειες δύο διαφορετικών μετάλλων (διμεταλλική διάβρωση) είτε στην μεταλλική επιφάνεια του ίδιου μετάλλου. Σχηματικά οι δύο αυτές αντιδράσεις στην περίπτωση διμεταλλικής διαβρώσεως φαίνονται στο σχήμα Π.Β.1.

Σε ουδέτερο περιβάλλον παρουσία αέρα τα ιόντα σιδήρου που παράγονται στην άνοδο (σχέση 2) αντιδρούν με τα ιόντα υδροξυλίου, που παράγονται στη γειτονική κάθοδο (σχέση 4), με αποτέλεσμα την παραγωγή υδροξειδίου του σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_2$):



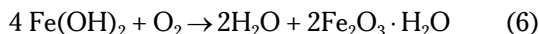
Το υδροξείδιο του σιδήρου παρουσία οξυγόνου μετατρέπεται σε σκουριά ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$):

¹ Οξείδωση είναι η ένωση ενός στοιχείου με το οξυγόνο ή η αφαίρεση υδρογόνου από μία ένωση, ενώ **αναγωγή** η ένωση ενός στοιχείου με το υδρογόνο ή η αφαίρεση οξυγόνου από μία ένωση.

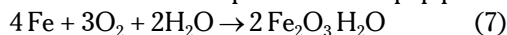
² Ηλεκτρολύτης είναι κάθε ουσία που σε υδατικό διάλυμα παρέχει ελεύθερα κινούμενα ιόντα και έτσι καθίσταται ηλεκτρικά αγωγίμο.

³ Δηλαδή κατά την αντίδραση προσθήκης ηλεκτρονίων σε ιόντα μετάλλων.

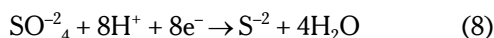
⁴ Δηλαδή υλικού με μεγαλύτερη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου.



και επομένως η συνολική αντίδραση είναι της μορφής:



Σε ουδέτερα περιβάλλοντα απουσία αέρα (απουσία οξυγόνου) βακτήρια που τρέφονται από θειούχες ενώσεις (sulphate reducing bacteria) συμβάλλουν σε επί πλέον καθοδικές αντιδράσεις σε ό,τι αφορά στη διάβρωση του σιδήρου ή του χάλυβα:



με αποτέλεσμα την παρουσία θείου στα προϊόντα διαβρώσεως.

Σημειώνεται πως η διαδικασία της διαβρώσεως αρχικά κινητοποιείται εξαιτίας των παρακάτω παραγόντων:

α) Διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα μέταλλο κατά τη διμεταλλική διάβρωση.

β) Μεταλλουργικές διαφορές στην κατάσταση του μετάλλου σε διαφορετικά σημεία αυτού.

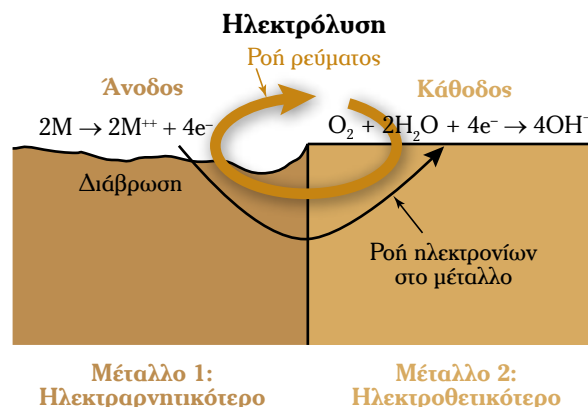
γ) Τις τοπικές διαφορές στο περιβάλλον, όπως είναι οι μεταβολές στην παροχή οξυγόνου.

Π.Β.2 Βασικές αρχές καθοδικής προστασίας.

Ο ρυθμός της ανοδικής και της καθοδικής δράσεως μπορεί να μεταβληθεί παρέχοντας ή αφαιρώντας ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του μετάλλου. Ως γνωστόν, αν μεταβληθούν οι παράγοντες με τους οποίους ένα σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία, το σύστημα θα τείνει να επαναφέρει την αρχική του ισορροπία. Επομένως, αν μία μεταλλική επιφάνεια δεχτεί ηλεκτρόνια από μία εξωτερική πηγή, τότε η δράση της ανοδικής, οξειδωτικής αντιδράσεως (σχέση 1 μέρος β αντιδράσεως), που έχει ως προϊόντα τα ηλεκτρόνια στην επιφάνεια του μετάλλου θα μειωθεί, ενώ η δράση της καθοδικής δράσεως θα αυξηθεί. Το αποτέλεσμα θα είναι η μείωση της διαβρώσεως. Ακριβώς σ' αυτήν την παρατήρηση στηρίζεται η εφαρμογή της καθοδικής προστασίας.

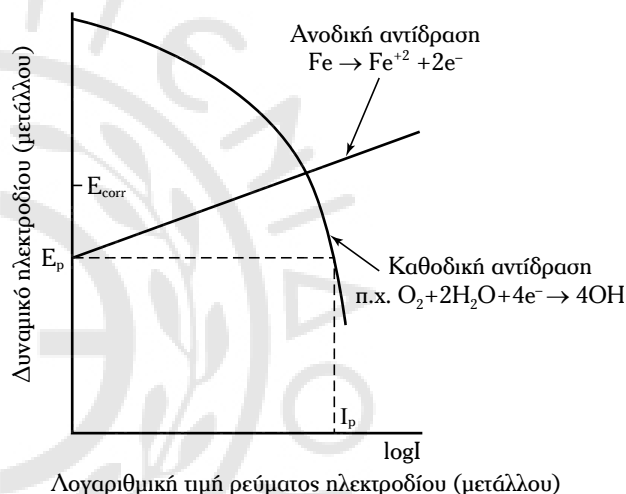
Ειδικότερα η καθοδική προστασία αποσκοπεί στην αρνητική φόρτιση της επιφάνειας που πρόκειται να προστατευτεί, με αποτέλεσμα αυτή να έχει προδιάθεση να υποστεί αναγωγή και όχι οξείδωση. Η βασική αυτή αρχή της καθοδικής προστασίας είναι δυνατόν να παρασταθεί γραφικά χρησιμοποιώντας τις καμπύλες πολώσεως (σχ. Π.Β.2). **Πόλωση** ονομάζεται η μεταβολή του δυναμικού ενός ηλεκτροδίου ως αποτέλεσμα της ροής ρεύματος. Οι άξονες x και y του διαγράμματος παριστάνουν τον λογάριθμο του ρεύματος και το δυναμικό του ηλεκτροδίου αντίστοιχα.

Αρχικά, όταν η καθοδική και η ανοδική δράση βρίσκονται σε ισορροπία, το δυναμικό και το ρεύμα έχουν τις τιμές E_{corr} και I_{corr} και ονομάζονται **δυναμικό** και **ρεύμα διαβρώσεως** αντίστοιχα. Αν το δυναμικό του μετάλλου μειωθεί από E_{corr} σε E_p , τότε η λογαριθμική τιμή του ρεύματος της ανοδικής δράσεως θα είναι μηδέν, η ανοδική



Σχ. Π.Β.1

Ανοδική και καθοδική δράση στην περίπτωση διμεταλλικής διαβρώσεως.



Σχ. Π.Β.2

Καμπύλες πολώσεως.

δράση θα σταματήσει να πραγματοποιείται και επομένως θα έχει επιτευχθεί καθοδική προστασία. Το δυναμικό E_p καλείται **δυναμικό προστασίας** και το ρεύμα I_p που αντιστοιχεί σε αυτό **δυναμικό ρεύμα προστασίας**.

Η αρνητική φόρτιση της επιφάνειας με το κατάλληλο ρεύμα προστασίας γίνεται με δύο τρόπους. Ένας τρόπος είναι η χρήση μιας γαλβανικής ανόδου που συνδέεται με την κατασκευή, οπότε η αρνητική φόρτιση της κατασκευής είναι το αποτέλεσμα της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στο μέταλλο της κατασκευής και στο μέταλλο της ανόδου (γαλβανικό στοιχείο). Ο άλλος τρόπος είναι η εφαρμογή εξωτερικής ηλεκτρικής τάσεως από πηγή συνεχούς ρεύματος. Από ηλεκτροχημική σκοπιά, το ηλεκτρικό δυναμικό ανάμεσα στο μέταλλο και στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα γίνεται πιο αρνητικό μέσω της παροχής ηλεκτρονίων και σε τέτοιο βαθμό, ώστε οι διαβρωτικές ανοδικές δράσεις να παρεμποδιστούν και να λάβουν χώρα μόνο οι καθοδικές δράσεις.

Απ' όλες τις μεθόδους προστασίας από τη διάβρωση η

τρέπεται σε κάθοδο. Σημειώνεται πως δεν μετατρέπεται όλο το υλικό των ανόδων σε ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή οι άνοδοι δεν είναι 100% αποδοτικές, καθώς μέρος του υλικού τους χάνεται λόγω αυτοδιαβρώσεως.

Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δύο μέταλλα που ενεργοποιεί τη δημιουργία του γαλβανικού στοιχείου καθορίζεται από την ηλεκτροχημική σειρά, που στην περίπτωση του θαλασσινού νερού παριστάνεται στο σχήμα Π.Β.3β. Πιο ηλεκτραρνητικά από τον χάλυβα είναι ο ψευδάργυρος, το αλουμίνιο και το μαγνήσιο και για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιούνται ως υλικά για τις θυσιαζόμενες ανόδους. Το μαγνήσιο έχει το αρνητικότερο δυναμικό (παρέχει το υψηλότερο ρεύμα) και επομένως χρησιμοποιείται κυρίως σε υψηλές αντιστάσεις ηλεκτρολύτες, όπως είναι το έδαφος. Οι άνοδοι ψευδαργύρου, καθώς και οι άνοδοι αλουμινίου χρησιμοποιούνται ευρέως στις θαλάσσιες κατασκευές.

Π.Β.3.2 Καθοδική προστασία από εξωτερική ηλεκτρική τάση.

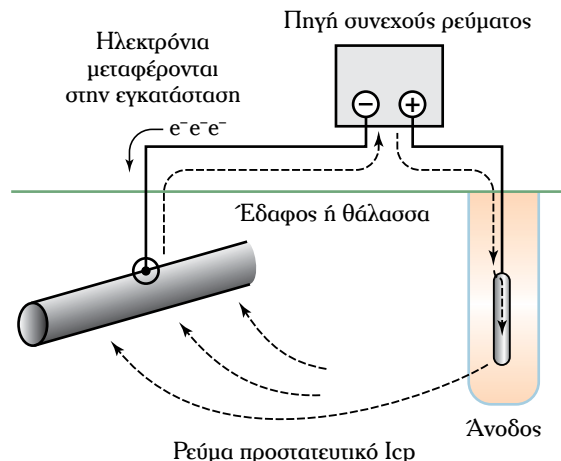
Κατά την εφαρμογή της καθοδικής προστασίας με εξωτερική ηλεκτρική τάση η προς προστασία εγκατάσταση φορτίζεται αρνητικά μέσω εξωτερικής ηλεκτρικής πηγής. Ο αρνητικός πόλος πηγής συνεχούς ρεύματος συνδέεται εξωτερικά με τη βοήθεια, παραλλήλων αγωγών, με την εγκατάσταση και ο θετικός πόλος με αδρανή ανόδια (ηλεκτρόδια), που τοποθετούνται εντός του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Από τον αρνητικό πόλο της πηγής μεταφέρονται ηλεκτρόνια προς την εγκατάσταση μετατρέποντάς την σε αρνητικό πόλο ηλεκτρολύσεως. Τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν στον θετικό πόλο της πηγής απ' τις βοηθητικές ανόδους. Η διάταξη της μεθόδου στην περίπτωση ενός αγωγού φαίνεται στο σχήμα Π.Β.3β.

Οι άνοδοι που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται συνήθως από γραφίτη ή από επιλεκτοχρωσμένο τιτάνιο.

Π.Β.3.3 Επιλογή του συστήματος καθοδικής προστασίας.

Κατά τον σχεδιασμό της καθοδικής προστασίας σημαντική είναι η απόφαση της επιλογής του συστήματος καθοδικής προστασίας που θα εφαρμοστεί. Μπορεί να επιλεγεί είτε η μέθοδος θυσιαζομένων ανόδων, είτε η μέθοδος εφαρμογής εξωτερικής τάσεως ή συνδυασμός και των δύο.

Η μέθοδος των θυσιαζομένων ανόδων παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα ότι είναι εύκολη στην εφαρμογή της, ανεξάρτητη από οποιαδήποτε πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, κατάλληλη για την προστασία τοπικά της κατασκευής και ότι είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσει αλληλεπίδραση με γειτονικές κατασκευές. Ωστόσο παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι για μεγάλες κατασκευές απαιτείται μεγάλος αριθμός ανόδων και συνδέσεων, που καθιστούν δύσκολη την εγκατάστασή της.



Σχ. Π.Β.3β

Διάταξη καθοδικής προστασίας από εξωτερική ηλεκτρική τάση.

Η μέθοδος της εφαρμογής εξωτερικής ηλεκτρικής τάσεως παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλες κατασκευές όπου υπάρχει απαίτηση για υψηλές τιμές ηλεκτρικού ρεύματος, απαιτεί μικρότερο αριθμό και μέγεθος ανόδων συγκριτικά με τη μέθοδο θυσιαζομένων ανόδων και ότι το δυναμικό μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος και του επιστρώματος. Ωστόσο σ' αυτήν τη μέθοδο είναι απαραίτητη η προσεκτική εκτίμηση της επιδράσεώς της στα προστατευτικά επιστρώματα της κατασκευής, για να μην υπάρξουν καταστροφικά αποτελέσματα για αυτές.

Η συνδυασμένη εφαρμογή και των δύο μεθόδων καθοδικής προστασίας μπορεί να ενδείκνυται αναλόγως με τις συνθήκες. Ωστόσο, κατά την εφαρμογή τους θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο μεθόδων.

Γενικά η μέθοδος θυσιαζομένων ανόδων εφαρμόζεται ευρύτατα σε μικρές επιστρωμένες κατασκευές, που έχουν μικρή απαίτηση για ηλεκτρικό ρεύμα ή για τοπική προστασία. Η μέθοδος εφαρμογής εξωτερικής τάσεως χρησιμοποιείται για μεγάλες πολύπλοκες κατασκευές, που είτε δεν διαθέτουν καθόλου επικάλυψη, είτε διαθέτουν μικρή επικάλυψη με επιστρώματα. Συνοπτικά μία συγκριτική ανάλυση ανάμεσα στις δύο μεθόδους προστασίας αναγράφεται στον πίνακα Π.Β.3.

Π.Β.3.4 Προβλήματα από την εφαρμογή καθοδικής προστασίας.

Η καθοδική προστασία παρουσιάζει προβλήματα εξαιτίας της επιβολής ηλεκτρικού ρεύματος σε κατασκευές, που βρίσκονται σε ευμετάβλητο περιβάλλον.

Ένα πρόβλημα που παρατηρείται στην καθοδική προστασία είναι η **αλληλεπίδραση** (interaction). Μια δευτερεύουσα κατασκευή που βρίσκεται στον ίδιο ηλεκτρολύτη με την προς προστασία κατασκευή μπορεί να αποτελέσει

Πίνακας Β.3
Συγκριτική ανάλυση της μεθόδου καθοδικής προστασίας
με θυσιαζόμενες ανόδους και με επιβαλλόμενο ρεύμα.

	Θυσιαζόμενες άνοδοι	Επιβαλλόμενο ρεύμα
Περιβάλλον	Η χρήση των θυσιαζόμενων ανόδων μπορεί να είναι μη πρακτική, εκτός από την περίπτωση περιβαλλόντων χαμηλής αντιστάσεως.	Η χρήση τους δεν επηρεάζεται τόσο από την ειδική αντίσταση του περιβάλλοντος. Σε θαλάσσιο περιβάλλον οι ανοδικές αντιδράσεις συντελούν στην παραγωγή Cl_2 , που είναι επιβλαβές για το προσωπικό επιθεωρήσεως και συντηρήσεως του συστήματος.
Εγκατάσταση	Απλή εγκατάσταση.	Απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό.
Πηγή ρεύματος	Ανεξάρτητη από πηγή ρεύματος. Δεν μπορεί να συνδεθεί λανθασμένα ηλεκτρικά.	Είναι απαραίτητη η ύπαρξη εξωτερικής πηγής ρεύματος. Απαιτείται προσοχή για την αποφυγή λανθασμένων συνδέσεων.
Χρησιμότητα	Η χρήση τους συνήθως περιορίζεται σε ήδη καλά προστατευμένες με επικαλυπτικά επιστρώματα κατασκευές ή για τοπική προστασία λόγω του περιορισμένου ρεύματος προστασίας, που είναι από οικονομικής απόψεως εφικτό.	Εφαρμόζεται σε μεγάλο εύρος κατασκευών ακόμα και σε μεγάλες κατασκευές χωρίς προστατευτικό επίστρωμα αν απαιτηθεί.
Ανόδια	Απαιτείται μεγάλος αριθμός ανοδίων, που είναι δυνατόν να προσδώσουν μεγάλη αντίσταση και να συμβάλουν στη δημιουργία τύρβης. Η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από τις συνθήκες και επομένως σε διαφορετικά σημεία της κατασκευής μπορεί να απαιτείται αντικατάσταση σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.	Απαιτείται μικρότερος αριθμός ανοδίων και επομένως και μικρότερου συνολικού βάρους. Τα ανόδια μπορούν να σχεδιαστούν, ώστε να επιδρούν ελάχιστα στην αντίσταση.
Έλεγχος	Το ρεύμα προστασίας ρυθμίζεται αυτόματα, καθώς, αν λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών το δυναμικό της προς προστασία κατασκευής γίνει αρνητικότερο, η διαφορά δυναμικού αυξάνει και επομένως και το ρεύμα προστασίας. Με την επιλογή του κατάλληλου υλικού είναι δυνατή η εξασφάλιση ότι το μέταλλο δεν θα αποκτήσει τέτοιο δυναμικό, ώστε να καταστρέψει το προστατευτικό επίστρωμα.	Απαιτεί απλούς συνεχείς ελέγχους, οι οποίοι μπορούν να γίνουν αυτόματα, ώστε να εξασφαλιστεί η διατήρηση του δυναμικού προστασίας εντός ορίων παρόλη τη μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών. Καθώς το αποδιδόμενο ρεύμα προστασίας είναι υψηλότερο από ό,τι στην περίπτωση των θυσιαζόμενων ανόδων, μη αποτελεσματικός έλεγχος μπορεί να συντελέσει σε μεγαλύτερη φθορά των προστατευτικών επιστρωμάτων.
Αλληλεπίδραση	Είναι λιγότερο πιθανό να επηρεαστούν γειτονικές κατασκευές.	Πρέπει να ληφθούν υπόψη προβλήματα αλληλεπιδράσεως σε γειτονικές κατασκευές.
Συντήρηση	Γενικά δεν απαιτείται. Απαιτείται μόνο αντικατάσταση.	Η εγκατάσταση σχεδιάζεται για μεγάλη διάρκεια ζωής. Απαιτείται τακτικός έλεγχος των εξαρτημάτων και συνεχής παροχή ρεύματος.
Φθορά	Τα ανόδια, συνήθως, δεν υφίστανται μηχανική φθορά. Αν ένα σύστημα αποτελείται από πολλά ανόδια, η απώλεια μερικών ανόδων το επηρεάζει ελάχιστα. Οι συνδέσεις θα πρέπει να είναι ανθεκτικές.	Τα ανόδια είναι ελαφρύτερα σε κατασκευή και επομένως περισσότερο επιρρεπή σε μηχανική φθορά. Η απώλεια των ανοδίων είναι περισσότερο καθοριστική στην αποτελεσματικότητα του συστήματος.

εναλλακτική πορεία χαμηλής αντιστάσεως για το ηλεκτρικό ρεύμα της καθοδικής προστασίας. Το αποτέλεσμα θα είναι η ταχεία διάβρωση της δευτερεύουσας κατασκευής σε σημεία από όπου το ρεύμα καταφεύγει στον ηλεκτρολύτη. Το φαινόμενο της αλληλεπιδράσεως μπορεί να αντιμετωπιστεί με σωστό σχεδιασμό του συστήματος καθοδικής προστασίας και συγκεκριμένα με την κατασκευή ενός συστήματος καθοδικής προστασίας, το οποίο απαιτεί όσο το δυνατόν μικρότερη πυκνότητα ρεύματος και στο οποίο υπάρχει σημαντικός διαχωρισμός ανάμεσα στην προς προστασία κατασκευή και στη δευτερεύουσα κατασκευή, αλλά και ανάμεσα στις ανόδους και τη δευτερεύουσα κατασκευή.

Άλλα προβλήματα που προκύπτουν, οφείλονται στις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την εφαρμογή της καθοδικής προστασίας. Οι συνθήκες που δημιουργούνται από την επιβολή καθοδικής προστασίας προκαλούν την έκλυση υδροξυλιόντων και υδρογόνου στην επιφάνεια της προστατευόμενης κατασκευής. Η δράση αυτή, σε περίπτωση υπερπροστασίας, έχει ως συνέπεια την προσβολή των οργανικών επικαλύψεων και τη **σαπωνοποίηση**¹ των πολυμερών τους. Η δράση αυτή καλείται **αλκαλικοποίηση**. Συνήθως οι επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται για την προστασία των κατασκευών σε θαλάσσιο περιβάλλον δεν προσβάλλονται για αρνητικά δυναμικά μέχρι $-1,1$ V ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς Ag/AgCl. Το φαινόμενο αυτό αφορά κυρίως στα συστήματα καθοδικής προστασίας με εξωτερικά επιβαλλόμενη τάση, στα οποία είναι δυνατόν να παρουσιαστούν υψηλές αρνητικές τιμές δυναμικού.

Στα συστήματα καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους παρατηρείται το φαινόμενο της **παθητικοποίησης**, δηλαδή της δημιουργίας δυσδιαλύτων οξειδίων και αλάτων, στην εκτεθειμένη στο διαβρωτικό περιβάλλον επιφάνεια της ανόδου, είτε απ' τη διαλυτοποίηση της ίδιας της ανόδου είτε εξαιτίας του ηλεκτρολύτη. Το αποτέλεσμα είναι η άνοδος να καθίσταται ανενεργή μερικώς ή ολικώς. Ιδιαίτεροι προβληματισμοί δημιουργούνται στην περίπτωση των ανόδων αλουμινίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο βαθμός παθητικοποίησης μιας ανόδου έχει άμεση σχέση με τη σύσταση του κράματός της.

Επί πλέον κατά την εφαρμογή ενός συστήματος καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα σε θαλάσσιο περιβάλλον οι ανοδικές αντιδράσεις μπορεί να συντελέσουν στην παραγωγή χλωρίου. Καθώς το θαλασσινό νερό είναι λίγο αλκαλικό, το χλώριο σχηματίζει υποχλωρικό νάτριο και υποχλωρικό οξύ. Σημειώνεται πως το υποχλωρικό νάτριο αυξάνει τον ρυθμό διαβρώσεως πολλών μετάλλων και κραμάτων και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό. Σε στάσιμα νερά το χλώριο μπορεί να αναπτυχθεί ως αέριο, γεγονός που θα είναι επιβλαβές για το προσωπικό επιθεωρήσεως και συντηρήσεως του συστήματος.

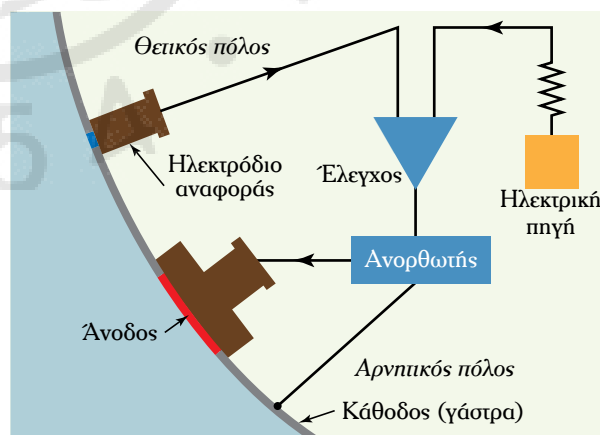
Π.Β.4 Καθοδική προστασία μεταλλικής κατασκευής πλοίου με τη μέθοδο επιβαλλόμενης εξωτερικής τάσεως – Γενικά.

Η μέθοδος των θυσιαζόμενων ανόδων κρίνεται συχνά αντιοικονομική λόγω του μεγάλου απαιτούμενου αριθμού ανοδίων ή της αυξημένης αντιστάσεως που τα ανόδια αυτά προκαλούν. Αυτό παρατηρείται συνήθως σε μεγάλα πλοία, καθώς ο αριθμός των απαιτούμενων γαλβανικών ανόδων, λόγω του περιορισμένου ρεύματος και του πεδίου δράσεώς τους, είναι ανάλογος του εμβαδού της επιφάνειας της γάστρας. Στις περιπτώσεις αυτές προτιμάται η εφαρμογή ενός συστήματος επιβαλλόμενου ρεύματος, το κόστος του οποίου δεν αυξάνεται ανάλογα με το εμβαδόν της γάστρας του πλοίου αλλά με χαμηλότερο ρυθμό.

Κατά την εφαρμογή της καθοδικής προστασίας με εξωτερική ηλεκτρική τάση η προς προστασία εγκατάσταση φορτίζεται αρνητικά μέσω εξωτερικής ηλεκτρικής πηγής. Ο αρνητικός πόλος πηγής συνεχούς ρεύματος συνδέεται με την εγκατάσταση και ο θετικός πόλος με ηλεκτρόδια αναφοράς που τοποθετούνται εντός του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Η διάταξη της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα Π.Β.4.

Με τη βοήθεια των ηλεκτροδίων αναφοράς μετρείται η διαφορά δυναμικού γάστρας και ηλεκτρολύτη. Η τιμή της μετρήσεως συγκρίνεται με την προκαθορισμένη επιθυμητή τιμή. Οποιαδήποτε απόκλιση ανάμεσα στην πραγματική (μετρούμενη) τιμή απ' την επιθυμητή (τιμή προστασίας) ενεργοποιεί τη συσκευή παροχής ρεύματος για την παροχή της κατάλληλης τιμής ρεύματος.

Το βασικό πλεονέκτημα του συστήματος καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα είναι η χρήση ανόδων με μεγάλη διάρκεια ζωής, αλλά και ότι υπάρχει αυτή η δυνατότητα μεταβολής του παρεχομένου ρεύματος ανά-



Σχ. Π.Β.4

Διάταξη μεθόδου καθοδικής προστασίας με εξωτερική ηλεκτρική τάση.

¹ Σαπωνοποίηση ονομάζεται η διαδικασία της διασπάσεως ενός εστέρα, (οργανική χημική ένωση) με αλκαλική βάση, NaOH ή KOH με την χρήση νερού, για να σχηματίσει μία αλκοόλη και το άλας ενός οξέος.

λογα με τις ενδείξεις δυναμικού του ηλεκτροδίου αναφοράς. Ένα σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα αποτελείται από:

- α) Συσκευή παροχής ρεύματος και ανορθωτές.
- β) Ανόδια επιβαλλόμενης εξωτερικά τάσεως.
- γ) Ηλεκτρόδια αναφοράς.
- δ) Ηλεκτρική σύνδεση της έλικας.
- ε) Ηλεκτρική σύνδεση του πηδαλίου.

Στη συνέχεια θα γίνει εκτεταμένη περιγραφή των βασικών αυτών μερών του συστήματος προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα.

Π.Β.5 Παροχή ρεύματος και ανορθωτές.

Στο σύστημα προστασίας με επιβαλλόμενη εξωτερική τάση παρέχεται ρεύμα στην προς προστασία κατασκευή μέσω μιας συσκευής παροχής συνεχούς ρεύματος. Όταν απαιτείται μεγάλη πυκνότητα ρεύματος (σε μεγάλα πλοία) χρησιμοποιούνται δύο συσκευές παροχής ρεύματος, που η κάθε μία συνδέεται με διαφορετικές ανόδους. Το ρεύμα παρέχεται απ' τον αρνητικό πόλο της συσκευής προς την γάστρα και από τον θετικό πόλο μέσω μονωμένων αγωγών σε κάθε άνοδο.

Η συσκευή παροχής ρεύματος πρέπει να είναι ανθεκτική, να μην επηρεάζεται απ' τους κραδασμούς και να περιέχει όργανα μετρήσεως ρεύματος και τάσεως για κάθε άνοδο και ηλεκτρόδιο αναφοράς. Στο πλοίο, σε αντίθεση με άλλες σταθερές κατασκευές, απαιτείται και η ύπαρξη δυνατότητας ρυθμίσεως της επιβαλλόμενης τάσεως, καθώς οι απαιτήσεις σε ρεύμα προστασίας μεταβάλλονται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές και λειτουργικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, εκτός από τη μεταβολή του απαιτούμενου ρεύματος προστασίας, εξαιτίας της βαθμιαίας αλλοιώσεως του προστατευτικού επιστρώματος της γάστρας παρατηρείται μεταβολή, νοποία μπορεί να είναι και:

α) **Μεταβολή στην βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας.**

β) **Μεταβολή στη ταχύτητα του πλοίου.**

γ) **Μεταβολή στις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος.**

Στις συσκευές παροχής ρεύματος χρησιμοποιούνται κατά κανόνα **ανορθωτές**¹ πυριτίου λόγω της συγκριτικά υψηλότερης ισχύος τους. Θα πρέπει να παρέχεται επίσης ρυθμιστής ελέγχου υπερφορτώσεως όταν το πλοίο βρίσκεται σε περιοχές, όπου το θαλασσινό νερό έχει χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση (λιμάνια). Θα πρέπει να δίνεται ειδοποίηση, οπτική ή ακουστική, σε περίπτωση που προκύψει διακοπή στο σύστημα προστασίας της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου με επιβαλλόμενο ρεύμα.

Η παροχή ρεύματος στα πλοία μέσου μεγέθους γίνεται μέσω συσκευής τοποθετημένης στο μηχανοστάσιο ή στο κέντρο ελέγχου της κύριας μηχανής. Στα μεγάλα πλοία ο ανορθωτής πρέπει να εγκαθίσταται κοντά στις ανόδους, έτσι ώστε να μην απαιτούνται αγωγοί μεγάλης διαμέτρου.

Π.Β.6 Άνοδοι σε σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος.

Π.Β.6.1 Υλικά ανόδων σε σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος.

Βασικά χαρακτηριστικά των υλικών των ανόδων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του σωστού υλικού σε ένα σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος είναι ο ρυθμός καταναλώσεώς του και η αποδιδόμενη πυκνότητα ρεύματος. Για συγκριτικούς σκοπούς τα βασικά χαρακτηριστικά ανόδων επιβαλλόμενου ρεύματος διαφόρων υλικών αναγράφονται στον πίνακα Π.Β.6.

Τα ανόδια που χρησιμοποιούνται στα συστήματα επιβαλλόμενου ρεύματος γενικά κατασκευάζονται από χάλυ-

Πίνακας Π.Β.6
Βασικά χαρακτηριστικά των ανόδων επιβαλλόμενου ρεύματος.

Υλικό ανόδου	Πυκνότητα (g/cm ³)	Μέγιστη πυκνότητα ρεύματος (A/m ²)	Ρυθμός καταναλώσεως (μάζα/A·year)	Μέγιστη τάση (V)	Συντελεστής καταναλώσεως (%)
Χάλυβας	7,85	5	9 kg	50	30-50
Εμποτισμένος γραφίτης	1,1	10	0,5 kg	50	50
Χυτοσίδηρος με πυρίτιο	7,0	50	0,2–1,0 kg	50	50-90
Μαγνητίτης	5,8	100	<5 kg	50	60
Κράμα μολύβδου	11,3	300	25 kg	25	80
Επιπλατινόμενο τιτάνιο, ταντάλιο και νιόβιο	21,5	1000	10mg/l	81 402	90

¹ Οι ανορθωτές επιτρέπουν τη διέλευση του ρεύματος προς μία κατεύθυνση, έτσι ώστε να μην έχουμε επιστροφή ρεύματος στη μονάδα ελέγχου.

βα, γραφίτη, κυτοσίδηρο με πυρίτιο, μαγνητίτη (Fe_3O_4), κράματα μολύβδου, πλάτινα και κράματα από πλάτινα.

Π.Β.6.2 Γεωμετρία ανοδίων σε σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος.

Οι άνοδοι που χρησιμοποιούνται στα συστήματα επιβαλλόμενου ρεύματος για την προστασία της γάστρας πρέπει να σχεδιάζονται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να προσαρτώνται πάνω στη γάστρα, να μην εξέχουν πολύ από αυτήν, να είναι μονωμένες από το μέταλλο της γάστρας και να τροφοδοτούνται με ρεύμα από το εσωτερικό της γάστρας. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ανοδίων:

α) Οι **γραμμικές άνοδοι**, που κατασκευάζονται από κράμα μολύβδου και αργύρου και προτιμώνται κυρίως για την περιοχή της πρύμνης. Υπάρχουν δύο μορφές γραμμικών ανόδων, που χρησιμοποιούνται για τη γάστρα των πλοίων και είναι αυτές που απεικονίζονται στο σχήμα Π.Β.6.2α.

β) Οι **σημειακές άνοδοι** κατασκευάζονται από κράμα τιτανίου με επίστρωση πλάτινας και προτιμώνται κυρίως για την περιοχή της πλώρας. Υπάρχουν δύο μορφές σημειακών ανόδων, οι κυκλικού και οι ελλειπτικού σχήματος (σχ. Π.Β.6.2β).

Σημειώνεται πως για λόγους ασφάλειας απαγορεύεται στα Δ/Ξ τα καλώδια των ανοδίων να διαπερνούν μέσα από τις δεξαμενές φορτίου. Ωστόσο επιτρέπεται να διαπερνούν υδατοστεγή τμήματα και δεξαμενές έρματος (μόνο για έρμα) με την προϋπόθεση ότι τοποθετούνται σε σωληνώσεις χάλυβα και ότι είναι σωστά συνδεδεμένα.

Π.Β.6.3 Δημιουργία διηλεκτρικών ασπίδων γύρω από τα ανόδια.

Οι απαιτούμενες υψηλές τιμές πυκνότητας ρεύματος λειτουργίας των ανόδων σ' ένα σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενη εξωτερικά τάση έχουν αναμφευκτα ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων αρνητικών δυναμικών κοντά στην περιοχή των ανόδων. Καθώς οι μεγάλες αρνητικές τιμές δυναμικού μπορεί να συντελέσουν στην καταστροφή του προστατευτικού επιστρώματος της γάστρας, είναι απαραίτητη η μόνωση της γάστρας στις περιοχές κοντά στις ανόδους. Η μονωτική αυτή ασπίδα ονομάζεται **διηλεκτρική ασπίδα**. Το μέγεθος και η μορφή της διηλεκτρικής ασπίδας εξαρτάται από τη μορφή της ανόδου, το μέγιστο αποδιδόμενο ρεύμα και την ειδική αντίσταση του νερού.

Η ακτίνα της διηλεκτρικής ασπίδας στην περίπτωση ενός ανοδίου κυκλικού σχήματος δίνεται από τη σχέση:

$$r = \frac{P \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot (E_o - E)}$$

όπου: E_o το δυναμικό της γάστρας όταν προστατεύεται (V), E το πιο αρνητικό δυναμικό, για το οποίο το προστατευτικό επίστρωμα δεν καταστρέφεται (V), P η ειδική



(α) Γραμμική άνοδος



(β) Γραμμική παραλληλόγραμμη άνοδος

Σχ. Π.Β.6.2α

Γραμμικές άνοδοι για την καθοδική προστασία της γάστρας.



Σχ. Π.Β.6.2β

Σημειακές άνοδοι για την καθοδική προστασία της γάστρας.

αντίσταση του νερού ($\text{Ohm}\cdot\text{m}$) και I το ρεύμα (A).

Το ισοδυναμικό πεδίο γύρω από μία γραμμική άνοδο έχει ελλειψοειδή μορφή, που είναι και η θεωρητική μορφή της μονωτικής ασπίδας. Παρόλ' αυτά όμως η μονωτική ασπίδα στην περίπτωση γραμμικής ανόδου δημιουργείται στη μορφή τετραγώνου. Η μονωτική ασπίδα εκτείνεται σε απόσταση b και από τις δύο πλευρές της γραμμικής ανόδου, αλλά και από τα δυο άκρα αυτής. Η απόσταση b υπολογίζεται από τη σχέση:

$$b = \frac{L \cdot a^{1/2}}{a-1}$$

όπου: L το μήκος της γραμμικής ανόδου

$$a = \exp \left\{ \frac{2\pi L \cdot (E_o - E)}{\rho \cdot I} \right\}$$

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της διηλεκτρικής ασπίδας πρέπει να έχει καλές μονωτικές ιδιότητες και να είναι ανθεκτικό στο αλκαλικό περιβάλλον που δημιουργείται λόγω της δράσεως της καθοδικής προστασίας. Οι διηλεκτρικές ασπίδες, που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη, είναι υψηλής αποδόσεως επιστρώματα ή προπαρασκευαστικές ασπίδες.

Τα υψηλής αποδόσεως επιστρώματα τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια της γάστρας ύστερα από καθαρισμό με ψηγματοβολή (αμμοβολή) και είναι στρώματα στόκου ή πολυουρεθάνης. Ο τρόπος καθαρισμού της επιφάνειας, το πάχος του επιστρώματος και το μέγεθος της ασπίδας είναι καθοριστικά στοιχεία για την επιτυχημένη λειτουργία της ασπίδας. Αν και οι προτάσεις των κατασκευαστών ποικίλλουν, συνθηότερες είναι ο καθαρισμός της επιφάνειας κατά SA 2,5 (ISO 8501-1) και η χρήση επιστρώματος πάχους 5 mm. Το πάχος του επιστρώματος μπορεί να μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση απ' το ανόδιο και το δυναμικό μειώνεται.

Οι προπαρασκευασμένες ασπίδες κατασκευάζονται από υαλοβάμβακα (glass fiber), ενισχυμένη πολυεστερική/εποξειδική ρητίνη (polyester/epoxy resin) ή διαμορφωμένο πλαστικό (thermoset plastic), είτε με τη μορφή λεπτών φύλλων που τοποθετούνται σε καλύβδινη πλάκα είτε για απευθείας τοποθέτηση στη γάστρα του πλοίου. Ο τελευταίος τύπος δεν χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη σε εμπορικά πλοία, καθώς τα κόστη εγκαταστάσεως είναι σημαντικά αυξημένα.

Π.Β.7 Ηλεκτρόδια αναφοράς σε σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος.

Τα ηλεκτρόδια αναφοράς αποσκοπούν στη συνεχή μέτρηση του δυναμικού της γάστρας, προκειμένου να καθορίζεται το δυναμικό προστασίας που πρέπει να επιβάλλεται από τη συσκευή παροχής ρεύματος. Για τον λόγο αυτόν τα ηλεκτρόδια αναφοράς συνδέονται με τη συσκευή παροχής ρεύματος, ώστε το αποδιδόμενο στη γάστρα ρεύμα να προ-

σαρμόζεται ανάλογα με τις ενδείξεις τους.

Τα ηλεκτρόδια αναφοράς, που χρησιμοποιούνται σ' ένα σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος, πρέπει να είναι ανθεκτικά, καθώς παραμένουν συνεχώς εκτεθειμένα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα ηλεκτρόδια Ag/AgCl χρησιμοποιούνται μόνο για έλεγχο. Ως ηλεκτρόδια αναφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τα μεταλλικά ηλεκτρόδια που διαθέτουν σταθερή τάση. Στον πίνακα Π.Β.7 παρέχονται κάποιες χρήσιμες πληροφορίες για τα ηλεκτρόδια αναφοράς.

Πίνακας Π.Β.7
Ηλεκτρόδια αναφοράς για χρήση σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Τύπος ηλεκτροδίου	Ηλεκτρολύτης	Δυναμικό (σε Volt) στους 25°C	Επίδραση θερμοκρασίας
Ag/AgCl	KCl	+0,20	1,0
H ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	+0,71	—
Ag	—	+0,25	—
Zn	—	+0,79	—

Το δυναμικό του ηλεκτροδίου Ag/AgCl εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε χλώριο του ηλεκτρολύτη, η οποία όμως είναι αποδεκτή για τις περισσότερες χρήσεις. Τα πιο αξιόπιστα ηλεκτρόδια αναφοράς είναι τα ηλεκτρόδια καθαρού ψευδαργύρου Zn, που διαθέτουν σταθερό δυναμικό σε ήρεμη κατάσταση. Η διάρκεια χρήσεώς τους φτάνει τα 5 έτη.

Τα ηλεκτρόδια αναφοράς (σχ. Π.Β.7) εγκαθίστανται στη γάστρα μέσα σε υποδοχές σε υδατοστεγές περίβλημα. Τα καλώδια για τα ηλεκτρόδια μετρήσεως, όπως και στην περίπτωση των ανόδων, πρέπει να τοποθετούνται στο εσωτερικό σωλήνων και να έχουν χαμηλή αντίσταση.

Π.Β.8 Ηλεκτρική σύνδεση της έλικας.

Για την πετυχημένη καθοδική προστασία της γάστρας



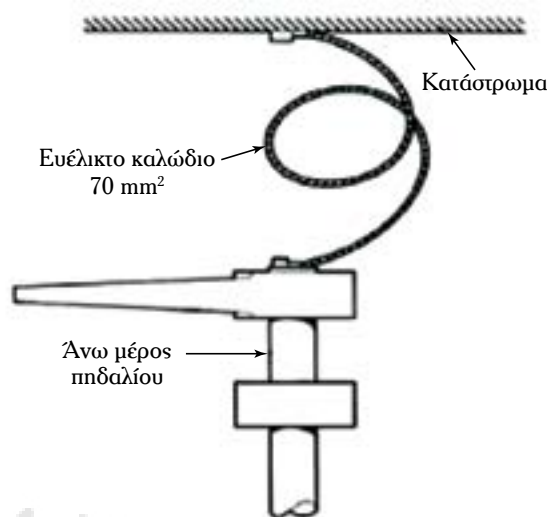
Σχ. Π.Β.7

Ηλεκτρόδια αναφοράς για σύστημα καθοδικής προστασίας επιβαλλόμενου ρεύματος.

του πλοίου από διάβρωση, απαιτείται σωστή ηλεκτρική σύνδεση του ελικοφόρου άξονα με τη γάστρα του πλοίου (σχ. Π.Β.8). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση δακτυλίου από άργυρο και **ψηκτρών**¹ από άργυρο και άνθρακα. Σκοπός είναι η διατήρηση της διαφοράς δυναμικού γάστρας-έλικας, εντός ορισμένων ορίων, για την αποφυγή της διαβρώσεως λόγω της αλληλεπιδράσεως της χαλύβδινης γάστρας με τη μπρούντζινη έλικα. Εμπειρικά έχει αποδειχτεί ότι αν η διαφορά δυναμικού είναι μικρότερη από 100 mV, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται.

Π.Β.9 Ηλεκτρική σύνδεση του πηδαλίου.

Στα συστήματα επιβολής εξωτερικής τάσεως για την επαρκή καθοδική προστασία του πηδαλίου απαιτείται η ηλεκτρική σύνδεση του πηδαλίου με τη γάστρα με τη χρήση ενός ευέλικτου καλωδίου διαμέτρου 70 mm². Το καλώδιο, όπως φαίνεται και στο σχήμα Π.Β.9, συνδέει το κατάστρωμα με το άνω μέρος του πηδαλίου.



Σχ. Π.Β.9

Ηλεκτρική σύνδεση πηδαλίου με τη γάστρα.

Π.Β.10 Διάταξη ανόδων και ηλεκτροδίων αναφοράς επιβαλλόμενου ρεύματος στη γάστρα του πλοίου.

Μία σημαντική διαφορά στη διάταξη των ανόδων του επιβαλλόμενου ρεύματος σε σχέση με τις θυσιαζόμενες ανόδους έγκειται στον μικρότερο αριθμό των ανόδων επιβαλλόμενου ρεύματος αλλά και στη δυσκολία συνδέσεώς τους. Σε ό,τι αφορά στη διάταξη αυτών παρατηρούνται τα εξής:

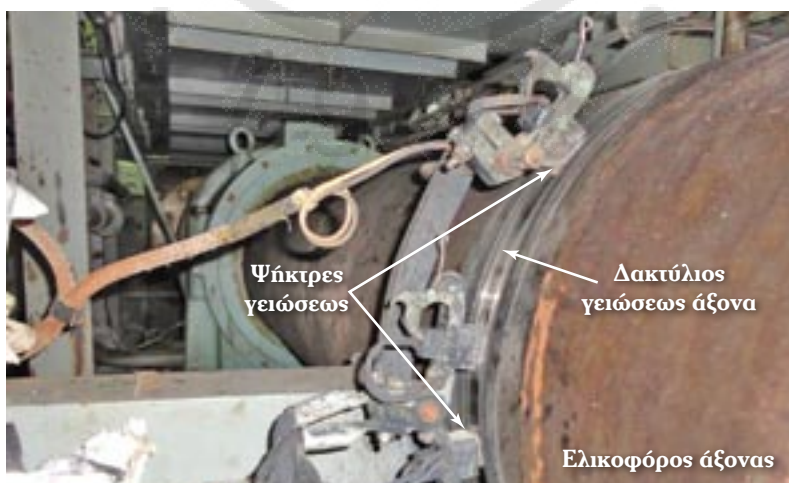
α) Ένα τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία μήκους άνω των 200 m αποτελείται από 2 σημειακά ανόδια, ένα για κάθε πλευρά του πλοίου, κυκλικού συνήθως σχήματος (σχ. Π.Β.10α) στο προωραίο τμήμα, 2 γραμμικά ανόδια τύπου

linear loop στο πρυμναίο τμήμα, 4 ηλεκτρόδια αναφοράς (δύο στο προωραίο τμήμα και 2 στο πρυμναίο τμήμα), 2 συσκευές παροχής ρεύματος (μία για κάθε τμήμα, προωραίο και πρυμναίο) και ηλεκτρική σύνδεση πηδαλίου και έλικας.

β) Στις ανόδους επιβαλλόμενου ρεύματος, σε αντίθεση με τις θυσιαζόμενες ανόδους, δεν απαιτείται η τήρηση ελάχιστης αποστάσεως μεταξύ των ανόδων, καθώς η τιμή και το πεδίο λειτουργίας του ρεύματος προστασίας είναι ρυθμιζόμενα.

γ) Σε μεγάλα πλοία με μήκος που υπερβαίνει τα 150 m, η απόσταση των πρυμναίων ανόδων απ' την έλικα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 m. Σε μικρότερα πλοία η απόσταση αυτή μπορεί να μειωθεί στα 5 m.

δ) Στην περιοχή κοντά στις ανόδους θα πρέπει να δη-



Σχ. Π.Β.8

Ψήκτρες γειώσεως.

¹ Οι ψήκτρες είναι συστήματα που επιτυγχάνουν τη γείωση του ελικοφόρου άξονα με τη γάστρα του πλοίου.

μιουργείται μια διηλεκτρική ασπίδα για την προστασία του προστατευτικού επιστρώματος της γάστρας στην περιοχή αυτή (βλ. παράγρ. Π.Β.6).

ε) Τα ηλεκτρόδια αναφοράς τοποθετούνται σε σημεία της κατασκευής, όπου αναμένεται να προκύψει η χαμηλότερη πτώση δυναμικού. Σε μεγάλα πλοία τα ηλεκτρόδια αναφοράς θα πρέπει να είναι σε απόσταση τουλάχιστον 15–20 m από τις ανόδους προστασίας, ενώ σε μικρότερα πλοία η ελάχιστη απόσταση είναι αντίστοιχα μικρότερη.

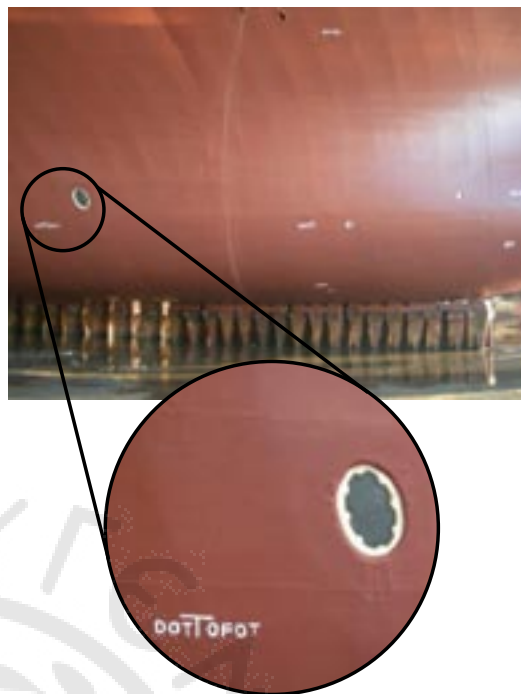
στ) Το πηδάλιο, τα κιβώτια και ωστικοί τριβείς της πλώρας έχουν σύστημα προστασίας με γαλβανικές ανόδους.

ζ) Για την επιτυχία του συστήματος προστασίας τόσο ο άξονας της έλικας όσο και το πηδάλιο θα πρέπει να συνδέονται ηλεκτρικά με τη γάστρα (βλ. παράγρ. Π.Β.8).

η) Οι άνοδοι επιβαλλόμενου ρεύματος θα πρέπει να εγκαθίστανται με πολλή προσοχή. Οι ζημιές που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα μονώσεως πρέπει να αποκαθίστανται άμεσα.

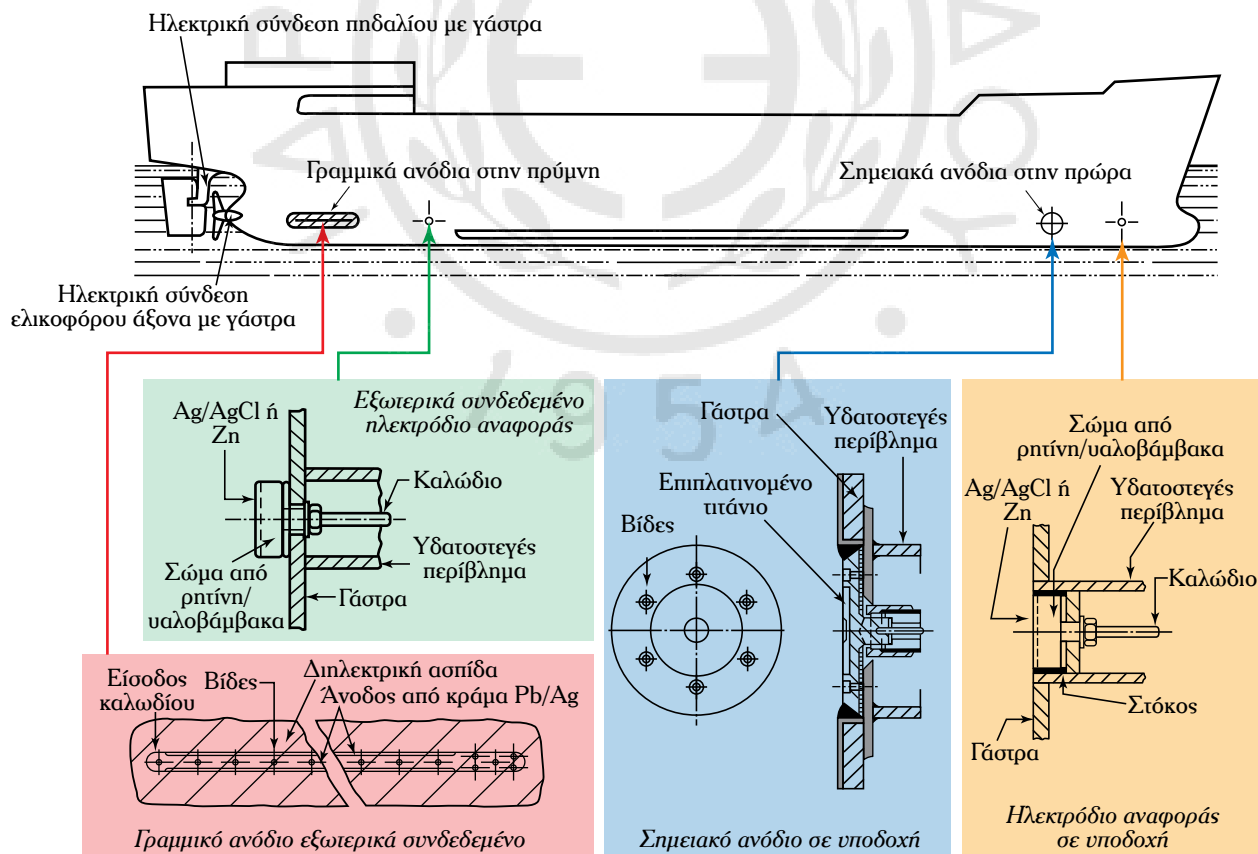
θ) Στα Δ/Ξ απαγορεύεται η εγκατάσταση ακόμα και θωρακισμένων καλωδίων στην περιοχή των δεξαμενών φορτίου.

Σχηματικά, μια τυπική διάταξη ανόδων επιβαλλόμενου ρεύματος παρουσιάζεται στο σχήμα Π.Β.10β.



Σχ. Π.Β.10α

Ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετημένο στην γάστρα του πλοίου.



Σχ. Π.Β.10β

Τυπική διάταξη καθοδικής προστασίας γάστρας πλοίου με σύστημα επιβαλλόμενου ρεύματος.

Π.Β.11 Σχεδιασμός του συστήματος καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα.

Για τον σχεδιασμό του συστήματος καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα ακολουθείται η ίδια διαδικασία που ακολουθείται και στην περίπτωση της καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους, όπως περιγράφηκε στις παραγράφους Π.1.3 και Π.1.4. Συγκεκριμένα η διαδικασία σχεδιασμού περιλαμβάνει:

- α) **Τον υπολογισμό της προστατευόμενης επιφάνειας** με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια της δεξαμενής.
- β) **Τον υπολογισμό του συνολικού απαιτούμενου ρεύματος.**

Π.Β.12 Τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία μήκους άνω των 200 m.

Ένα τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία μήκους άνω των 200 m σύμφωνα με την εταιρεία καθοδικής προστασίας Cathelco, είναι αυτό που απεικονίζεται στο σχήμα Π.Β.12α.

Παρατηρούμε ότι αποτελείται από σύστημα καθοδικής προστασίας τόσο στο πρωαίο τμήμα όσο και στο πρυμναίο. Αποτελείται από δύο συσκευές παροχής ρεύματος (μία για κάθε τμήμα, πρωαίο και πρυμναίο), 2 σημειακά ανόδια στο πρωαίο τμήμα, ένα για κάθε πλευρά του πλοίου,

ου, κυκλικού σχήματος αποδιδόμενου ρεύματος περίπου 100 A το ένα, 2 γραμμικά ανόδια στο πρυμναίο τμήμα τύπου linear loop αποδιδόμενου ρεύματος περίπου 300 A το ένα και ηλεκτρική σύνδεση πηδαλίου και έλικας. Τα ανόδια κυκλικού σχήματος του πρωαίου τμήματος τοποθετούνται σε υποδοχή, ενώ τα γραμμικά ανόδια είναι συνήθως εξωτερικά συνδεδεμένα (σχ. Π.Β.12β).

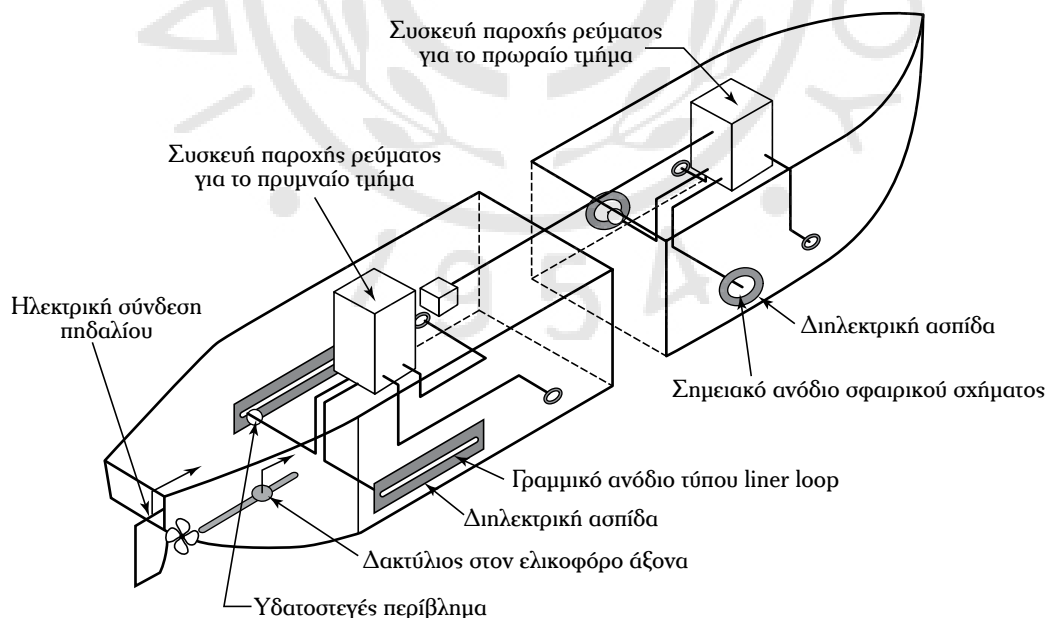
Το σύστημα αυτό έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο εύρος εμπορικών πλοίων άνω των 200 m, όπως πλοία εμπορευματοκιβωτίων, Δ/Ξ VLCC και φορτηγά φορτίου χύδην.

Π.Β.13 Τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία μήκους έως 200 m.

Ένα τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία μήκους έως 200 m σύμφωνα με την εταιρεία καθοδικής προστασίας Cathelco, είναι αυτό που απεικονίζεται στο σχήμα Π.Β.13α.

Παρατηρούμε ότι αποτελείται από σύστημα καθοδικής προστασίας μόνο στο πρυμναίο τμήμα. Αυτό αποτελείται από δύο σημειακά ανόδια στο πρυμναίο τμήμα, ένα για κάθε πλευρά του πλοίου, κυκλικού σχήματος ή ελλειπτικού σχήματος και 2 ηλεκτρόδια αναφοράς. Τα ανόδια εγκαθίστανται στη γάστρα μέσα σε υποδοχές.

Στα σχήματα Π.Β.13β και Π.Β.13γ εικονίζονται οι εγκατεστημένες μονάδες επιβολής ρεύματος.



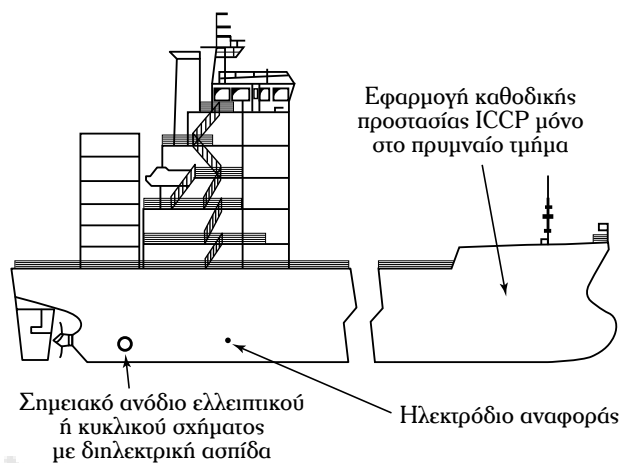
Σχ. Π.Β.12α

Τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία μήκους άνω των 200 m.



Σχ. Π.Β.12β

Γραμμικό ανόδιο τοποθετημένο
στη γάστρα του πλοίου.



Σχ. Π.Β.13α

Τυπικό σύστημα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα για εμπορικά πλοία έως 200 m.



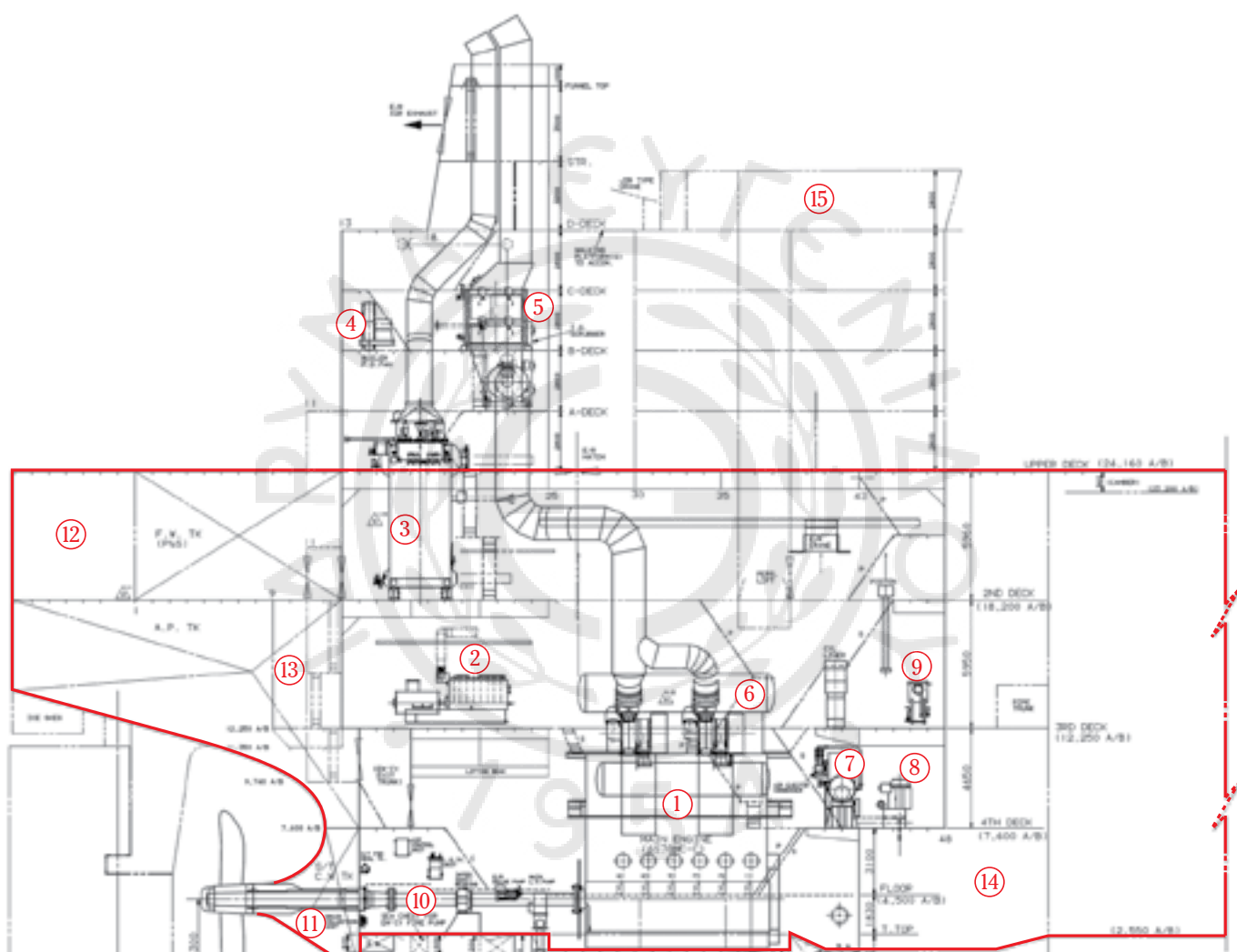
Σχ. Π.Β.13β

Μονάδα επιβολής ρεύματος – Εσωτερική διάταξη.



Σχ. Π.Β.13γ

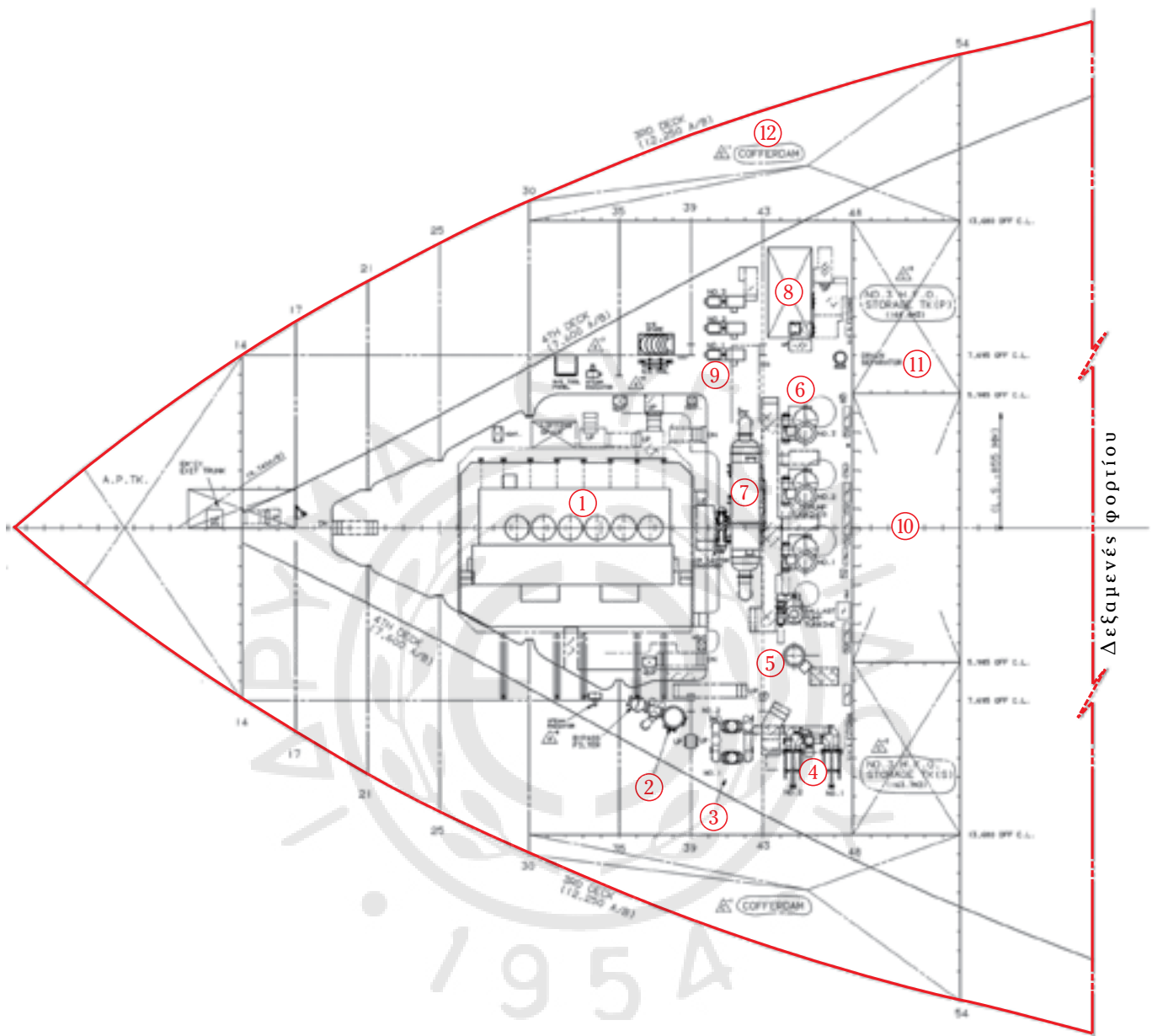
Μονάδα επιβολής ρεύματος – Εξωτερική διάταξη.



- | | |
|--|---|
| 1. Κύρια μηχανή (Main engine). | 9. Βραστήρας (F.W. generator). |
| 2. Ηλεκτρομηχανή (Gen engine). | 10. Άξονας έλικας (Propeller shaft). |
| 3. Λέβητας (Aux. boiler). | 11. Χοάνη τελικού άξονα (Stern tube). |
| 4. Ανεμιστήρας λέβητα (Boiler force draft fan). | 12. Δωμάτιο μηχανισμού πηδαλίου (Steering gear room). |
| 5. Λέβητας καυσαερίων (Gas boiler-Economizer). | 13. Χώρος εγκαταστάσεως αντλίας κατασβέσεως πυρκαγιάς έκτακτης ανάγκης (Emergency fire pump space). |
| 6. Οχετός καυσαερίων (Exhaust gas manifold). | 14. Αντλιοστάσιο (Cargo pump room). |
| 7. Ψυγείο κενού συμπυκνώσεως (Vac. condenser). | 15. Γέφυρα πλοίου (Wheelhouse). |
| 8. Αντλία με ατμοστρόβιλο φορτίου (Steam turbine). | |

Σχ. Π.Γ.1

Τυπική πλάγια όψη διατάξεως μηχανημάτων μηχανοστασίου (Δ/Ξ).

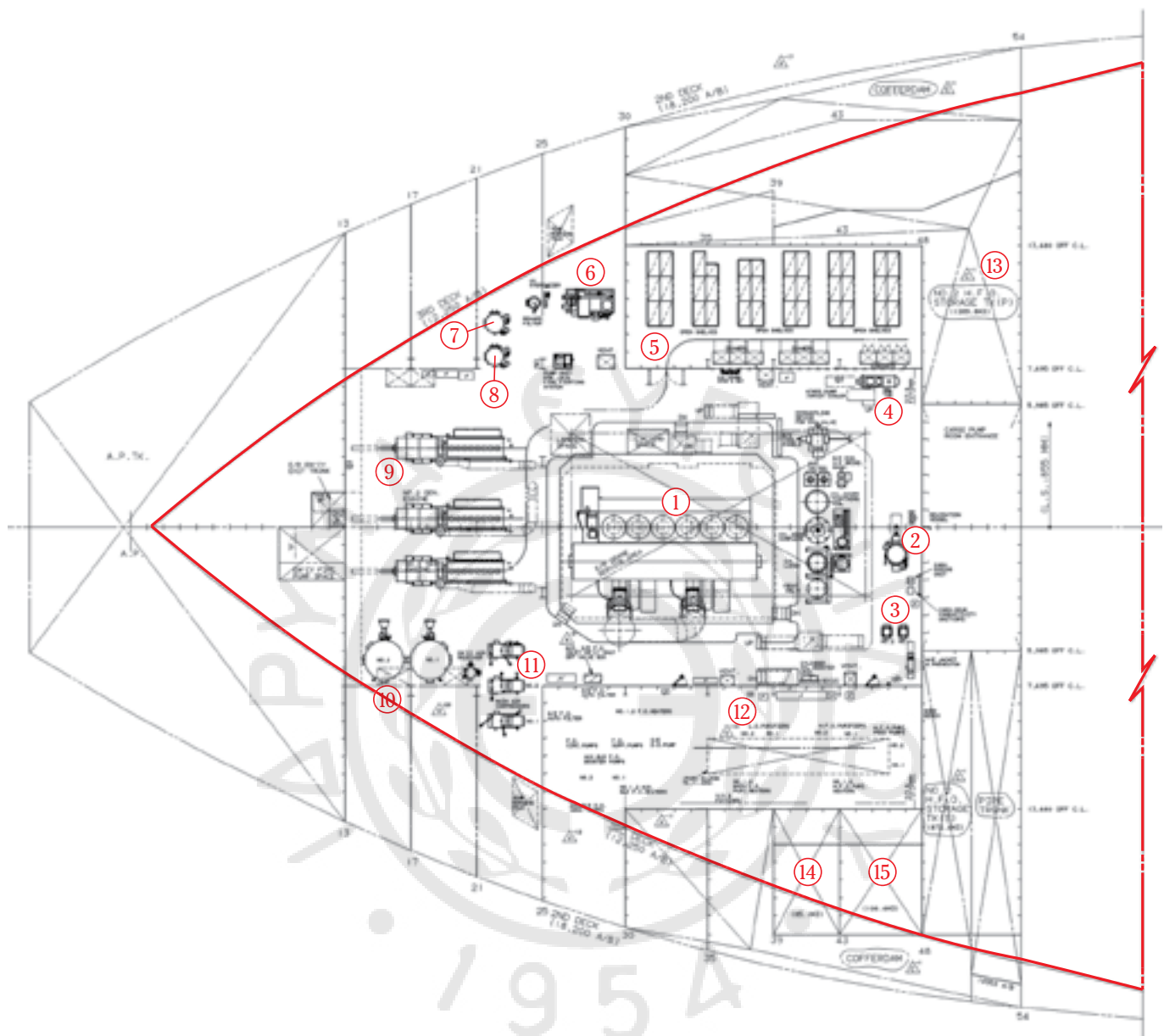


1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Αυτόματο φίλτρο ελαίου κύριας μηχανής (M/E lube oil auto filter).
3. Αντλία κυκλοφορίας γλυκού νερού κεντρικής ψύξεως (Low temp. C.F.W. pump).
4. Ψυγεία κεντρικής ψύξεως (Central coolers).
5. Ηλεκτροκινητήρας αντλίας έρματος (Ballast pump motor).

6. Ατμοστρόβιλοι αντλιών φορτίου (Cargo pump turbines)
7. Κύριο ψυγείο κενού συμπυκνώσεως (Vac. condenser).
8. Τροφοδοτική δεξαμενή νερού λέβητα (θερμοδοχείο) (Cascade TK).
9. Τροφοδοτικές αντλίες λέβητα (Aux. boiler feed pumps)
10. Αντλιοστάσιο (Pump room).
11. Δεξαμενή αποθηκεύσεως καυσίμων (HFO Storage TK).
12. Στεγανός χώρος ασφαλείας (Cofferdam).

Σχ. Π.Γ.2

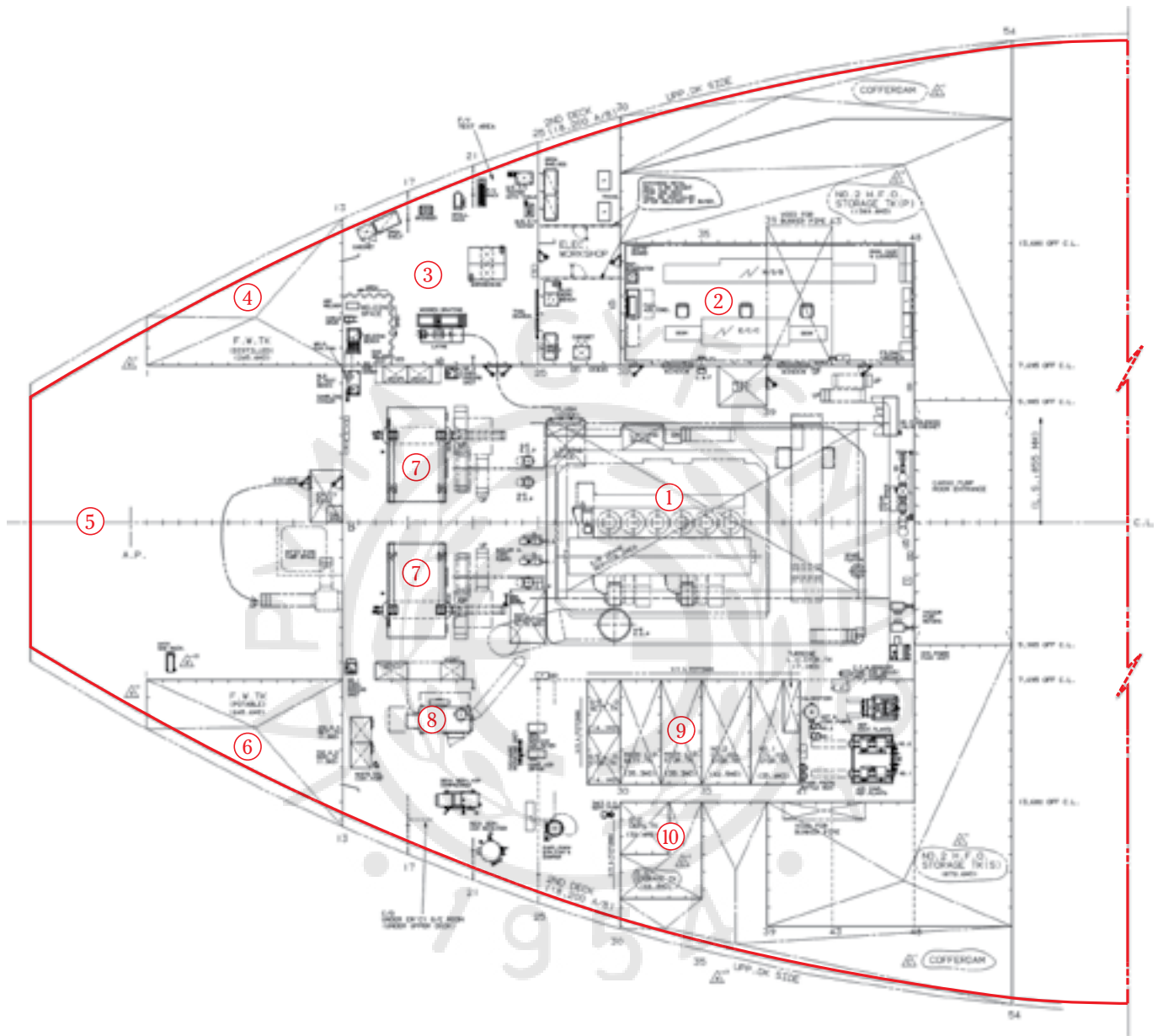
Τυπική κάτοψη και διάταξη 4^{ου} ορόφου μηχανοστασίου (Δ/Ξ).



- | | |
|--|--|
| 1. Κύρια μηχανή (Main engine). | 9. Ηλεκτρομηχανές (Gen. engines). |
| 2. Βραστήρας (Fresh water generator). | 10. Αεροφιάλες συμπιεσμένου αέρα (Main air receiver). |
| 3. Αντλίες ψύξεως χιτωνίων (Jacket cool. pumps). | 11. Αεροσυμπιεστές (Air compressors). |
| 4. Ψυγείο επιστροφών ατμού (Drain cooler). | 12. Δωμάτιο φυγοκεντρικών καθαριστών (Purifier room). |
| 5. Αποθήκη μηχανοστασίου (Engine store). | 13. Δεξαμενές αποθηκεύσεως καυσίμων (HFO storage TK). |
| 6. Μονάδα επεξεργασίας βιολογικών λυμάτων (Sewage treat. plant). | 14. Δεξαμενή καυσίμων ημερήσιας καταναλώσεως (HFO service TK). |
| 7. Μονάδα νερού λάτρης (Fresh water hyd. unit). | 15. Δεξαμενή κατακαθίσεως καυσίμων (HFO settling TK). |
| 8. Μονάδα πόσιμου νερού (Drink water hyd. unit). | |

Σχ. Π.Γ.3

Τυπική κάτοψη και διάταξη 3^{ου} ορόφου μηχανοστασίου (Δ/Ξ).

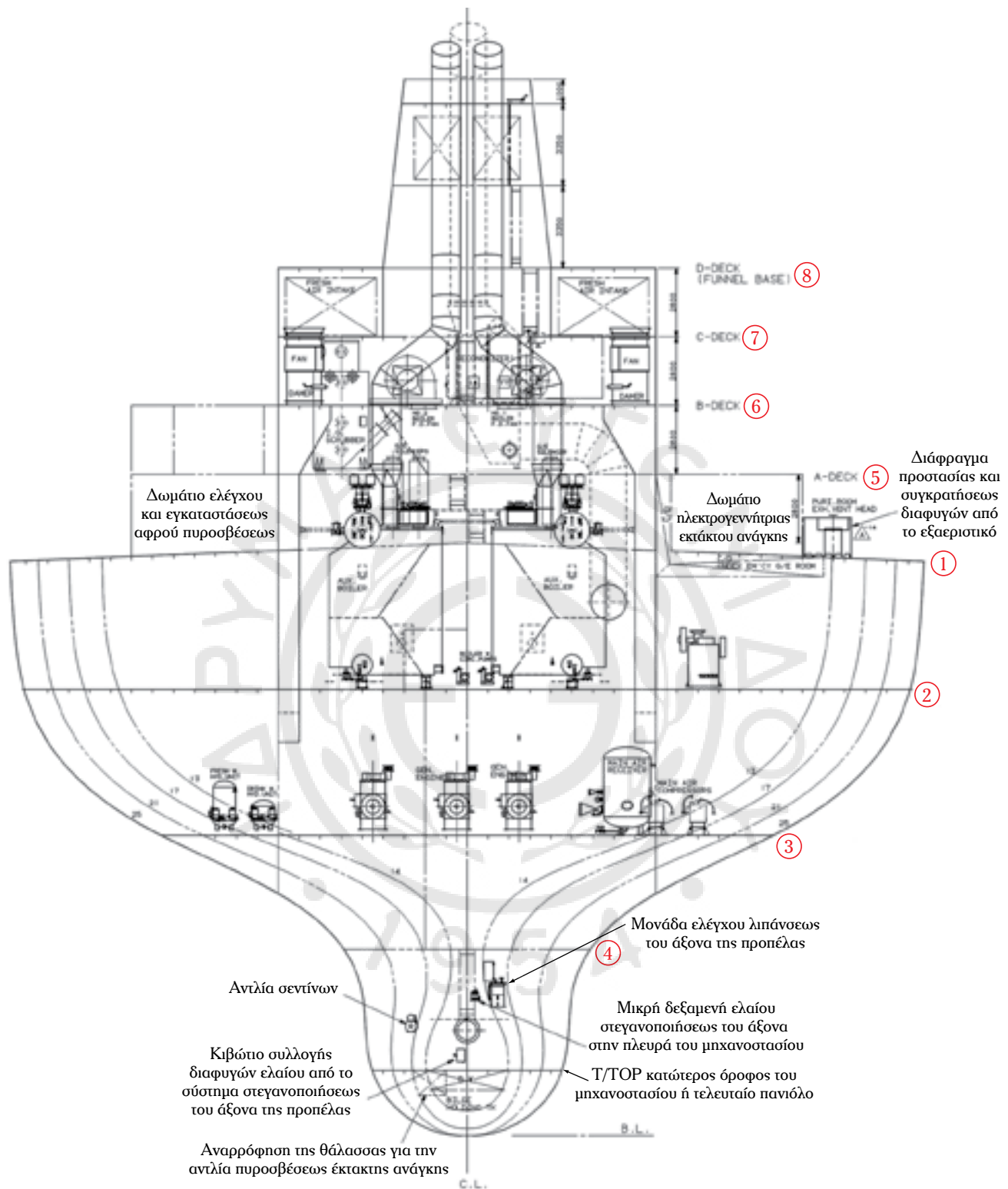


1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Δωμάτιο ελέγχου μηχανοστασίου (Engine control room).
3. Συνεργείο (Engine workshop).
4. Αριστερή δεξαμενή αποθηκείσεως αποσταγμένου-γλυκού νερού (Port fresh water TK).
5. Δωμάτιο πηδαλίου (Steering gear room).

6. Δεξιά δεξαμενή αποθηκείσεως αποσταγμένου-γλυκού νερού (STBD fresh water TK).
7. Λέβητες (Aux. boilers).
8. Αποτεφρωτής (Incinerator).
9. Δεξαμενές καυσίμου HFO (Heavy fuel oil TKs).
10. Δεξαμενές καυσίμου DO (Diesel oil TKs).

Σχ. Π.Γ.4

Τυπική κάτοψη και διάταξη 2^{ου} ορόφου μηχανοστασίου (Δ/Ξ).



1. Κατάστρωμα (Upper deck).
2. Δεύτερος όροφος μηχανοστασίου (2nd Deck).
3. Τρίτος όροφος μηχανοστασίου (3rd Deck).
4. Τέταρτος όροφος μηχανοστασίου (4th Deck).

5. Α κατάστρωμα [καταλυμάτων πλοίου (accommodation)].
6. Β κατάστρωμα [καταλυμάτων πλοίου (accommodation)].
7. C κατάστρωμα [καταλυμάτων πλοίου (accommodation)].
8. D κατάστρωμα [καταλυμάτων πλοίου (accommodation)].

Σχ. Π.Γ.5

Τυπική διάταξη ορόφων (όψη από την πρύμνη προς την πλώρη).

Πίνακας Π.Δ.1
Τυποποιημένες διαστάσεις για κάθε τύπο προτύπου.

<i>Size</i>	<i>Standard</i>	<i>Class</i>	<i>Outside diameter (OD)</i>	<i>Pitch circle diameter (pcd)</i>	<i>Bolt hole diameter A</i>	<i>Number of bolt holes</i>
1/2" (DN15)	ASME B16.5	150	90	60.3	15.9	4
		300	95	66.7	15.9	4
	BS EN 1092 Part 1	PN 10	95	65	14	4
		PN16				
	BS10	Table D	95.3	66.7	14.3	4
		Table E				
3/4" (DN20)	ASME B16.5	150	100	69.9	15.9	4
		300	115	82.6	19.1	4
	BS EN 1092 Part 1	PN10	105	75	14	4
		PN16				
	BS10	Table D	101.6	73.0	14.3	4
		Table E				
3/4" (DN25)	ASME B16.5	150	110	79.4	15.9	4
		300	125	88.9	19.1	4
	BS EN 1092 Part 1	PN10	115	85	14	4
		PN16				
	BS10	Table D	114.3	82.6	14.3	4
		Table E				
1.1/2" (DN40)	ASME B16.5	150	125	98.4	15.9	4
		w300	155	114.3	22.2	4
	BS EN 1092 Part 1	PN10	150	110	18	4
		PN16				
	BS10	Table D	133.4	98.4	14.3	4
		Table E				
2" (DN50)	ASME B16.5	150	150	120.7	19.1	4
		300	165	127.0	19.1	8
	BS EN 1092 Part 1	PN10	165	125	18	4
		PN16				
	BS10	Table D	152.4	114.3	17.5	4
		Table E				
3" (DN80)	ASME B16.5	150	190	152.4	19.1	4
		300	210	168.3	22.2	8
	BS EN 1092 Part 1	PN10	200	160	18	8
		PN16				
	BS10	Table D	184.2	146.1	17.5	4
		Table E				

Size	Standard	Class	Outside diameter (OD)	Pitch circle diameter (pcd)	Bolt hole diameter A	Number of bolt holes
4" (DN100)	ASME B16.5	150	230	109.5	19.1	8
		300	255	200.0	22.2	8
	BS EN 1092 Part 1	PN10	220	180	18	8
		PN16				
	BS10	Table D	215.9	177.8	17.5	8
		Table E				
	ASME B16.5	150	280	241.3	22.2	8
		300	320	269.9	22.2	12

Πίνακας Π.Α.2

Οι προδιαγραφές των καυσίμων πλοίων, σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 8217.

MARINE DISTILLATE FUELS

Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosity at 40°C	mm ² /s	Max	5.500	6.000	6.000	11.00
Viscosity at 40°C	mm ² /s	Min	1.400	2.000	3.000	2.000
Micro Carbon Residue at 10% Residue	mass %	Max	0.30	0.30	0.30	-
Density at 15°C	kg/m ³	Max	-	890.0	890.0	900.0
Micro Carbon Residue	mass %	Max	-	-	-	0.30
Sulphur ^a	mass %	Max	1.00	1.50	1.50	2.00
Water	volume %	Max	-	-	-	0.30 ^b
Total sediment by hot filtration	mass %	Max	-	-	-	0.10 ^b
Ash	mass %	Max	0.010	0.010	0.010	0.010
Flash point	°C	Min	43.0	60.0	60.0	60.0
Pour point, Summer	°C	Max	-	0	0	6
Pour point, Winter	°C	Max	-	-6	-6	0
Cloud point	°C	Max	-16	-	-	-
Calculated Cetane Index		Min	45	40	40	35
Acid Number	mgKOH/g	Max	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxidation stability	g/m ³	Max	25	25	25	25 ^c
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4 at 60°C ^d)	µm	Max	520	520	520	520 ^c
Hydrogen sulphide ^e	mg/kg	Max	2.00	2.00	2.00	2.00
Appearance			Clear & Bright ^f			b, c

^a A sulphur limit of 1.00% m/m applies in the Emission Control Areas designated by the International Maritime Organization. As there may be local variations, the purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements, notwithstanding the limits given in this table.

^b If the sample is not clear and bright, total sediment by hot filtration and water test shall be required.

^c Oxidation stability and lubricity tests are not applicable if the sample is not clear and bright.

^d Applicable if sulphur is less than 0.050% m/m.

^e Effective only from 1 July 2012.

^f If the sample is dyed and not transparent, water test shall be required. The water content shall not exceed 200 mg/kg (0.02% m/m).

Πίνακας Π.Δ.3

Οι προδιαγραφές των καυσίμων πλοίων, σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 8217.

MARINE RESIDUAL FUELS

Parameter	Unit	Limit	RMA ^a	RMB	RMD	RME	RMG				RMK		
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Viscosity at 50°C	mm ² /s	Max	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0
Density at 15°C	kg/m ³	Max	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0		
Micro Carbon Residue	% mass	Max	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00		
Aluminium + Silicon	mg/kg	Max	25	40		50	60						
Sodium	mg/kg	Max	50	100		50	100						
Ash	% mass	Max	0.040	0.070			0.100				0.150		
Vanadium	mg/kg	Max	50	150			350				450		
CCAI	-	Max	850	860			870						
Water	% V/V	Max	0.30	0.50									
Pour point (upper) ^b , Summer	°C	Max	6		30								
Pour point (upper) ^b , Winter	°C	Max	0		30								
Flash point	°C	Min	60.0										
Sulphur ^c	% mass	Max	Statutory requirements										
Total Sediment, aged	% mass	Max	0.10										
Acid Number ^e	mgKOH/g	Max	2.5										
Used lubricating oils (ULO): Calcium and Zinc; or Calcium and Phosphorus	mg/kg	-	The fuel shall be free from ULO, and shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met: Calcium > 30 and zinc >15; or Calcium > 30 and phosphorus > 15.										
Hydrogen sulphide ^d	mg/kg	Max	2.00										

^a This residual marine fuel grade is formerly DMC distillate under ISO 8217:2005.

^b Purchasers shall ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially in cold climates.

^c The purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements.

^d Effective only from 1 July 2012.

^e Strong acids are not acceptable, even at levels not detectable by the standard test methods for SAN.

As acid numbers below the values stated in the table do not guarantee that the fuels are free from problems associated with the presence of acidic compounds, it is the responsibility of the supplier and the purchaser to agree upon an acceptable acid number.

Πίνακας Π.Δ.4
Φόρμα (έντυπο) σχεδιασμού ανεφοδιασμού και μετρήσεων δεξαμενών.

"Company Name" MANAGEMENT INC.	Safety Management System "CHAPTER"
BUNKERING PLAN	

Vessel name:	Person-in-charge: C/E	Port	Date:
Fuel Delivery Rate	Requested (m ³ /h):	Maximum (m ³ /h):	Topping off (m ³ /h):
Total bunkers to be taken in MT:			Supplier/Barge:
Planned/estimates density:		Planned/estimated temp.:	

Fill Sequence 1,2... for tanks to be loaded	Tank		Product	Tank level/quantity							
N/A for tanks that will not take bunkers	Name	Total Capacity m ³ @ 95% full		Starting				Planned final			
				Ullage (cm)	Observed volume (m ³)	% Fill (v/v)	MT (in air)	Ullage (cm)	Observed volume (m ³)	% Fill (v/v)	MT (in air)
Total:								Total:			

Notes and Special Instructions (crew assignments, monitoring, procedures valve alignments, etc):

Bunkering operation safety precautions/actions as per check list form E009.

- 1) **C/E:** Responsible for the safe and efficient execution of the bunkering operation, supervising all related activities.
- 2) **2/E:** Checking the level of the receiving bunker tanks, in direct contact with bunker barge/station.
- 3) **3/E E.O.W.:** in E.C.R. in direct contact with 2/E and C/E.
- 4) **Wipers:** Assists the 3/E.
- 5) **APPR./E:** With the 2/E.
- 6) **C/O:** in C.C.R.. In charge of Ballasting/Deballasting trim/stability and operational matters in direct with C/E.
- 7) **O.O.W:** In charge of Safety and Security, assists C/O.
- 8) **A.B1:** Always St-by at gangway, as per Security duties.
- 9) **A.B2:** At the manifolds attending the mooring ready to fight oil pollution as instructed by O.O.W.
- 10) **A.B3:** Monitoring during bulk load at least every ½ hour, during topping up at least every 2 min.
- 11) **BOSUN:** As instructed assisting C/O and O.O.W..
- 12) **Valves Alignment:** Before bunkering commencement valve to be fully open manifolds to be the last valve to be opened-confirm valves to be in open position on deck.

2ND ENG.: Name & Signature 3RD ENG.: Name & Signature WIPERS: Name & Signature RAGMATE: Name & Signature
C/ENG.: Name & Signature

Issue No./Date	Revision No. / Date	Page 1 of 1
----------------	---------------------	-------------

Πίνακας Π.Δ.5

Καύσιμα που θα μεταφερθούν κατά τον ανεφοδιασμό (Bunkers to be transferred).

Είδος (ποιότητα) καυσίμου (grade)	Τόνοι ή κυβικά μέτρα (Tonnes/m ³)	Όγκος καυσίμου στη θερμοκρασία που παραδίδεται στο πλοίο (Volume at Loading Temp.)	Θερμοκρασία καυσίμου κατά τον ανεφοδιασμό (Loading Temperature)	Μέγιστος ρυθμός πα- ραδόσεως καυσίμου κατά την πλήρωση των δεξαμενών (Maximum Topping off Rate)	Μέγιστη επιτρε- πόμενη πίεση στο δίκτυο ανε- φοδιασμού (Maximum Line Pressure)
Fuel Oil					
Gas Oil/Diesel					
Lub. Oil in Bulk					

Πίνακας Π.Δ.6

Δεξαμενές που θα ανεφοδιαστούν με καύσιμα (Bunker tanks to be loaded).

Αριθμός δεξαμενής (Tank No.)	Είδος καυσίμου (grade)	Όγκος χωρητι- κότητας δεξαμε- νής στο 98% (Volume of Tank at 98 %)	Όγκος καυσίμου στη δεξαμενή πριν τον ανεφοδιασμό (Vol. of Oil in Tank before Loading)	Διαθέσιμος όγκος στη δεξαμενή (Available Volume)	Όγκος καυσί- μου που θα ληφθεί στη δεξαμενή (Volume to be Loaded)	Ολικός όγκος ανα είδος καυσίμου (Total Vol- umes by Grade)

Πίνακας Π.Δ.7

Έλεγχοι στη φορτηγίδα πριν προσδέσει στο πλοίο.

Πετρέλωση-ανεφοδιασμός (bunkering)	Πλοίο	Φορτηγίδα	Κωδικός	Παρατηρήσεις
1. Η φορτηγίδα πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις για να προσδέσει στο πλοίο παραλαβής των καυσίμων.				
2. Τα παραβλήματα ¹ προστασίας έχουν ελεγχθεί, είναι σε καλή κατάσταση και δεν υπάρχει δυνατότητα επαφής μετάλλου με μέταλλο (μεταξύ των πλοίων).				
3. Έχει τοποθετηθεί επαρκές ηλεκτρομονωτικό υλικό στη σύνδεση φορτηγίδας-πλοίου.				
4. Όλοι οι σωλήνες παραλαβής καυσίμων είναι σε καλή κατάσταση και είναι κατάλληλοι για την προβλεπόμενη χρήση.				

¹ Παράβλημα είναι ο επίσημος όρος του κοινώς λεγόμενου στη ναυτική γλώσσα μπαλόνιου ή στρωμάτσου. Αποτελεί κατασκευάσμα που ανακρεμάται στα πλευρά των πλοίων ή λέμβων για την προφύλαξη τους από πρόσκρουση ή τριβή κατά την παραβολή τους σε άλλο πλωτό ή σε προβλήματα.

Πίνακας Π.Δ.8
Πίνακας 54B συντελεστών διορθώσεως του ειδικού βάρους (specific gravity) του κανιόνι στους 15 °C.

Temp °C	990.0	992.0	994.0	996.0	998.0	1000.0	1002.0	1004.0	1006.0	1008.0	1010.0	Temp °C
32.50	0.9880	0.9881	0.9881	0.9881	0.9881	0.9882	0.9882	0.9882	0.9883	0.9883	0.9883	32.50
32.75	0.9879	0.9879	0.9879	0.9879	0.9880	0.9880	0.9880	0.9881	0.9881	0.9881	0.9882	32.75
33.00	0.9877	0.9877	0.9877	0.9878	0.9878	0.9878	0.9879	0.9879	0.9879	0.9880	0.9880	33.00
33.25	0.9875	0.9875	0.9876	0.9876	0.9876	0.9877	0.9877	0.9877	0.9878	0.9878	0.9878	33.25
33.50	0.9873	0.9874	0.9874	0.9874	0.9875	0.9875	0.9875	0.9876	0.9876	0.9876	0.9877	33.25
33.75	0.9872	0.9872	0.9872	0.9873	0.9873	0.9873	0.9874	0.9875	0.9874	0.9875	0.9875	33.75
34.00	0.9870	0.9870	0.9871	0.9871	0.9871	0.9872	0.9872	0.9873	0.9873	0.9873	0.9873	34.00
34.25	0.9868	0.9869	0.9869	0.9869	0.9870	0.9870	0.9870	0.9871	0.9871	0.9871	0.9872	34.25
34.50	0.9867	0.9867	0.9867	0.9868	0.9868	0.9868	0.9869	0.9870	0.9869	0.9870	0.9870	34.50
34.75	0.9865	0.9865	0.9865	0.9866	0.9866	0.9867	0.9867	0.9868	0.9868	0.9868	0.9868	34.75
35.00	0.9863	0.9863	0.9864	0.9864	0.9864	0.9865	0.9866	0.9868	0.9866	0.9866	0.9867	35.00
35.25	0.9861	0.9862	0.9862	0.9862	0.9863	0.9863	0.9864	0.9865	0.9864	0.9865	0.9865	35.25
35.50	0.9860	0.9860	0.9860	0.9861	0.9861	0.9861	0.9862	0.9863	0.9863	0.9863	0.9863	35.50
35.75	0.9858	0.9858	0.9859	0.9859	0.9859	0.9860	0.9860	0.9861	0.9861	0.9861	0.9862	35.75
36.00	0.9856	0.9857	0.9857	0.9857	0.9857	0.9858	0.9859	0.9859	0.9859	0.9859	0.9860	36.00
39.25	0.9854	0.9855	0.9855	0.9856	0.9856	0.9856	0.9857	0.9858	0.9857	0.9858	0.9858	39.25
36.50	0.9853	0.9853	0.9854	0.9854	0.9854	0.9855	0.9855	0.9856	0.9856	0.9856	0.9856	36.50
36.75	0.9851	0.9851	0.9852	0.9852	0.9853	0.9853	0.9854	0.9854	0.9854	0.9854	0.9855	36.75
37.00	0.9849	0.9850	0.9850	0.9851	0.9851	0.9851	0.9852	0.9853	0.9852	0.9852	0.9853	37.00
37.25	0.9848	0.9848	0.9848	0.9849	0.9849	0.9850	0.9850	0.9851	0.9851	0.9851	0.9851	37.25
37.50	0.9846	0.9846	0.9847	0.9847	0.9847	0.9847	0.9848	0.9849	0.9849	0.9849	0.9850	37.50
37.75	0.9844	0.9845	0.9845	0.9845	0.9846	0.9846	0.9847	0.9847	0.9847	0.9848	0.9848	37.75
38.00	0.9842	0.9843	0.9843	0.9844	0.9844	0.9844	0.9845	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846	38.00
38.25	0.9841	0.9841	0.9842	0.9842	0.9842	0.9843	0.9844	0.9844	0.9844	0.9844	0.9845	38.25
38.50	0.9839	0.9839	0.9840	0.9840	0.9841	0.9841	0.9842	0.9842	0.9842	0.9843	0.9843	38.50
38.75	0.9837	0.9836	0.9838	0.9839	0.9839	0.9839	0.9840	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841	38.75
39.00	0.9836	0.9836	0.9836	0.9837	0.9837	0.9838	0.9839	0.9839	0.9839	0.9839	0.9840	39.00
39.25	0.9834	0.9834	0.9835	0.9835	0.9836	0.9836	0.9837	0.9837	0.9837	0.9838	0.9838	39.25
39.50	0.9832	0.9833	0.9833	0.9833	0.9834	0.9835	0.9836	0.9835	0.9836	0.9836	0.9836	39.50
39.75	0.9830	0.9831	0.9831	0.9832	0.9832	0.9833	0.9834	0.9833	0.9834	0.9834	0.9835	39.75
40.00	0.9829	0.9829	0.9830	0.9830	0.9830	0.9831	0.9831	0.9832	0.9832	0.9833	0.9833	40.00

Πίνακας Π.Δ.9
Φυγοκεντρικοί διαχωριστές.

Media	Fuel oil and tube oils for diesel engines
Feed density max.	1010 kg/m ³ at 15°C
Viscosity max.	55 cST at 100°C (700 cST at 50°C)
Pressure: oil inlet oil outlet sludge outlet from separator	Max. 200 kPa (2 bar) at separator inlet Max. delivery head 250 kPa (2,5 bar) open outlet
Feed temperature max.	98°C ± 2°C
Ambient temperature	Min. +5°C, max +55°C
Discharge volume	15.4 litre/discharge
Operating water pressure	Min 200 kPa (2 bar), max 600 kPa (6 bar)
Operating water temp	Min. +5°C, max +55°C (unheated water)
Operating water consumption	17 litre/discharge
Operating water flow	from SV 10: 11.0 l/min from SV 15: 11.0 l/min from SV 16: 2.8 l/min
Air quality	Instrument air
Air pressure	Min 500 kPa (5 bar), max 700 kPa (7 bar)
Drain connection size	2 x 1" (Internally threaded)
Mains supply voltage	3 x 230 V / 110 V / 115 V / ± 10 %, max.Fuse 10 A
EFC supply voltage	230 V / 110 V / 115 V ± 10 %, max.Fuse 10 A
Control voltage, operating	24 V AC
Power consumption startup	29 kW
Power consumption kW (idling) / max capacity	6.5 kW/23.5 kW
Frequency	50 or 60 Hz max 5%
Enclosure class	Min IP 54
Storage time before use (with bowl removed)	max. 6 months
Storage temp	Min. +0°C, max. +70°C
Storage humidity	Relative humidity (RH) 10% – 95% Non condensing
Service intervals	Note Regularly check connections. Tighten if necessary
Separator	Inspection every 4000 hours or 6 months operation Overhaul every 12000 hours or 18 months operation
Note: Cleaning in Place (CIP) is recommended to avoid manual interval cleaning of the bowl. The following intervals are recommended.	Prior to inspection and overhaul HFO 1-2 months depending on oil quality LO (Cross-head engines) 1-2 months depending on oil quality and engine condition LO (Trunk engines) 1 month

(συνεχίζεται)

Subject	Value	Unit
General technical data:		
Motor power	12,5	kW
Gear ratio	233,5/96	50 Hz
Gear ratio	211/96	60 Hz
Alarm levels for vibration monitor, connection 752, 1st/2nd	0,3/0,45	mm/s
Bowl max. inner diameter	332	mm
Discharge interval, min/max	2/120	minutes
Max. density of operating liquid, max.	1000	kg/m ³
Max. density of feed/sediment	1100/2019	kg/m ³
Feed temperature, min/max	0/100	°C
Max. running time without flow		
– empty bowl	60	minutes
– filled bowl	60	minutes
Bowl body material	AL 111 2377-02	
Operating data:		
Bowl speed, synchronous	7922/7913	r/min 50 Hz/60 Hz
Motor speed, synchronous	3000/3600	r/min 50 Hz/60 Hz
Max. power consumption	19	kW (at starting up) (50 Hz/60 Hz)
Power consumption	3,8/12,5	kW (idling/at max. capacity)
Starting time, min/max	2/2,2	minutes
Stopping time min/max	35/40	minutes
Stopping time without brake, average	38	minutes
Sound power	9,1	Bel(A)
Sound pressure	76	dB(A)
Vibration level, max.	4/7,2	mm/sec (new sep./sep. in use)

Subject	Value	Unit
Volume and capacity data:		
Max. hydraulic capacity, bowl	18,5	m ³ /h
Bowl liquid volume	7,9	litres
Fixed discharge volume	7,1	litres
Sludge volume, efficient/total	1,13/3,1	litres
Lubrication oil volume	4,3	litres
Weight information:		
Motor drive	115	kg
Bowl	109	kg
Separator total	623	kg

Πίνακας Π.Δ.10
Πίνακας μετατροπής τόνων (Long Tons) σε βαρέλια στους 60°F.

API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F
0.0	4.0011	0.16804	5.0	3.8543	0.16188	10.0	3.7180	0.15616
0.1	3.9980	0.16792	5.1	3.8515	0.16176	10.1	3.7154	0.15604
0.2	3.9950	0.16779	5.2	3.8487	0.16164	10.2	3.7127	0.15593
0.3	3.9919	0.16766	5.3	3.8459	0.16153	10.3	3.7101	0.15582
0.4	3.9889	0.16753	5.4	3.8431	0.16141	10.4	3.7075	0.15571
0.5	3.9859	0.16741	5.5	3.8403	0.16129	10.5	3.7049	0.15560
0.6	3.9829	0.16728	5.6	3.8374	0.16117	10.6	3.7023	0.15549
0.7	3.9799	0.16715	5.7	3.8347	0.16106	10.7	3.6997	0.15539
0.8	3.9768	0.16703	5.8	3.8319	0.16094	10.8	3.6971	0.15528
0.9	3.9738	0.16690	5.9	3.8291	0.16082	10.9	3.6945	0.15517
1.0	3.9708	0.16677	6.0	3.8263	0.16070	11.0	3.6919	0.15506
1.1	3.9678	0.16665	6.1	3.8235	0.16059	11.1	3.6893	0.15495
1.2	3.9648	0.16652	6.2	3.8207	0.16047	11.2	3.6867	0.15484
1.3	3.9619	0.16640	6.3	3.8179	0.16035	11.3	3.6841	0.15473
1.4	3.9589	0.16627	6.4	3.8152	0.16024	11.4	3.6815	0.15462
1.5	3.9559	0.16615	6.5	3.8124	0.16012	11.5	3.6789	0.15452
1.6	3.9529	0.16602	6.6	3.8096	0.16000	11.6	3.6764	0.15441
1.7	3.9499	0.16590	6.7	3.8069	0.15989	11.7	3.6738	0.15430
1.8	3.9470	0.16577	6.8	3.8041	0.15977	11.8	3.6712	0.15419
1.9	3.9440	0.16565	6.9	3.8014	0.15966	11.9	3.6687	0.15408
2.0	3.9411	0.16552	7.0	3.7986	0.15954	12.0	3.6661	0.15398
2.1	3.9381	0.16540	7.1	3.7959	0.15943	12.1	3.6635	0.15387
2.2	3.9352	0.16528	7.2	3.7931	0.15931	12.2	3.6610	0.15376
2.3	3.9322	0.16515	7.3	3.7904	0.15920	12.3	3.6584	0.15365
2.4	3.9293	0.16503	7.4	3.7877	0.15908	12.4	3.6559	0.15355
2.5	3.9263	0.16491	7.5	3.7849	0.15897	12.5	3.6534	0.15344
2.6	3.9234	0.16478	7.6	3.7822	0.15885	12.6	3.6508	0.15333
2.7	3.9205	0.16466	7.7	3.7795	0.15874	12.7	3.6483	0.15323
2.8	3.9176	0.16454	7.8	3.7768	0.15862	12.8	3.6458	0.15312
2.9	3.9146	0.16441	7.9	3.7741	0.15851	12.9	3.6432	0.15302
3.0	3.9117	0.16429	8.0	3.7714	0.15840	13.0	3.6407	0.15291
3.1	3.9088	0.16417	8.1	3.7686	0.15828	13.1	3.6382	0.15280
3.2	3.9059	0.16405	8.2	3.7659	0.15817	13.2	3.6357	0.15270
3.3	3.9030	0.16393	8.3	3.7632	0.15806	13.3	3.6331	0.15259
3.4	3.9001	0.16380	8.4	3.7606	0.15794	13.4	3.6306	0.15249
3.5	3.8972	0.16368	8.5	3.7579	0.15783	13.5	3.6281	0.15238
3.6	3.8943	0.16356	8.6	3.7552	0.15772	13.6	3.6256	0.15228
3.7	3.8914	0.16344	8.7	3.7525	0.15760	13.7	3.6231	0.15217
3.8	3.8886	0.16332	8.8	3.7498	0.15749	13.8	3.6206	0.15207
3.9	3.8857	0.16320	8.9	3.7471	0.15738	13.9	3.6181	0.15196
4.0	3.8828	0.16308	9.0	3.7445	0.15727	14.0	3.6156	0.15186
4.1	3.8800	0.16296	9.1	3.7418	0.15716	14.1	3.6132	0.15175
4.2	3.8771	0.16284	9.2	3.7391	0.15704	14.2	3.6107	0.15165
4.3	3.8742	0.16272	9.3	3.7365	0.15693	14.3	3.6082	0.15154
4.4	3.8714	0.16260	9.4	3.7338	0.15682	14.4	3.6057	0.15144
4.5	3.8685	0.16248	9.5	3.7312	0.15671	14.5	3.6032	0.15134
4.6	3.8657	0.16236	9.6	3.7285	0.15660	14.6	3.6008	0.15123
4.7	3.8628	0.16224	9.7	3.7259	0.15649	14.7	3.5983	0.15113
4.8	3.8600	0.16212	9.8	3.7233	0.15638	14.8	3.5958	0.15103
4.9	3.8572	0.16200	9.9	3.7206	0.15627	14.9	3.5934	0.15092
5.0	3.8543	0.16188	10.0	3.7180	0.15616	15.0	3.5909	0.15082

(συνεχίζεται)

API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F
15.0	3.5909	0.15082	20.0	3.4723	0.14584	25.0	3.3612	0.14117
15.1	3.5885	0.15072	20.1	3.4700	0.14574	25.1	3.3590	0.14108
15.2	3.5860	0.15061	20.2	3.4677	0.14564	25.2	3.3569	0.14099
15.3	3.5836	0.15051	20.3	3.4654	0.14555	25.3	3.3548	0.14090
15.4	3.5811	0.15041	20.4	3.4631	0.14545	25.4	3.3526	0.14081
15.5	3.5787	0.15031	20.5	3.4608	0.14535	25.5	3.3505	0.14072
15.6	3.5763	0.15020	20.6	3.4586	0.14526	25.6	3.3483	0.14063
15.7	3.5738	0.15010	20.7	3.4563	0.14516	25.7	3.3462	0.14054
15.8	3.5714	0.15000	20.8	3.4540	0.14507	25.8	3.3441	0.14045
15.9	3.5690	0.14990	20.9	3.4517	0.14497	25.9	3.3419	0.14036
16.0	3.5666	0.14980	21.0	3.4495	0.14488	26.0	3.3398	0.14027
16.1	3.5641	0.14969	21.1	3.4472	0.14478	26.1	3.3377	0.14018
16.2	3.5617	0.14959	21.2	3.4449	0.14469	26.2	3.3356	0.14009
16.3	3.5593	0.14949	21.3	3.4427	0.14459	26.3	3.3335	0.14001
16.4	3.5569	0.14939	21.4	3.4404	0.14450	26.4	3.3313	0.13992
16.5	3.5545	0.14929	21.5	3.4382	0.14440	26.5	3.3292	0.13983
16.6	3.5521	0.14919	21.6	3.4359	0.14431	26.6	3.3271	0.13974
16.7	3.5497	0.14909	21.7	3.4337	0.14421	26.7	3.3250	0.13965
16.8	3.5473	0.14899	21.8	3.4314	0.14412	26.8	3.3229	0.13956
16.9	3.5449	0.14889	21.9	3.4292	0.14403	26.9	3.3208	0.13947
17.0	3.5425	0.14879	22.0	3.4270	0.14393	27.0	3.3187	0.13939
17.1	3.5401	0.14869	22.1	3.4247	0.14384	27.1	3.3166	0.13930
17.2	3.5377	0.14858	22.2	3.4225	0.14375	27.2	3.3145	0.13921
17.3	3.5354	0.14848	22.3	3.4203	0.14365	27.3	3.3124	0.13912
17.4	3.5330	0.14839	22.4	3.4181	0.14356	27.4	3.3104	0.13903
17.5	3.5306	0.14829	22.5	3.4158	0.14346	27.5	3.3083	0.13895
17.6	3.5282	0.14819	22.6	3.4136	0.14337	27.6	3.3062	0.13886
17.7	3.5259	0.14809	22.7	3.4114	0.14328	27.7	3.3041	0.13877
17.8	3.5235	0.14799	22.8	3.4092	0.14319	27.8	3.3020	0.13869
17.9	3.5211	0.14789	22.9	3.4070	0.14309	27.9	3.3000	0.13860
18.0	3.5188	0.14779	23.0	3.4048	0.14300	28.0	3.2979	0.13851
18.1	3.5164	0.14769	23.1	3.4026	0.14291	28.1	3.2958	0.13842
18.2	3.5141	0.14759	23.2	3.4004	0.14281	28.2	3.2938	0.13834
18.3	3.5117	0.14749	23.3	3.3982	0.14272	28.3	3.2917	0.13825
18.4	3.5094	0.14739	23.4	3.3960	0.14263	28.4	3.2896	0.13816
18.5	3.5070	0.14730	23.5	3.3938	0.14254	28.5	3.2876	0.13808
18.6	3.5047	0.14720	23.6	3.3916	0.14245	28.6	3.2855	0.13799
18.7	3.5024	0.14710	23.7	3.3894	0.14235	28.7	3.2835	0.13791
18.8	3.5000	0.14700	23.8	3.3872	0.14226	28.8	3.2814	0.13782
18.9	3.4977	0.14690	23.9	3.3850	0.14217	28.9	3.2794	0.13773
19.0	3.4954	0.14681	24.0	3.3828	0.14208	29.0	3.2773	0.13765
19.1	3.4930	0.14671	24.1	3.3807	0.14199	29.1	3.2753	0.13756
19.2	3.4907	0.14661	24.2	3.3785	0.14190	29.2	3.2732	0.13748
19.3	3.4884	0.14651	24.3	3.3763	0.14180	29.3	3.2712	0.13739
19.4	3.4861	0.14642	24.4	3.3741	0.14171	29.4	3.2692	0.13730
19.5	3.4838	0.14632	24.5	3.3720	0.14162	29.5	3.2671	0.13722
19.6	3.4815	0.14622	24.6	3.3698	0.14153	29.6	3.2651	0.13713
19.7	3.4792	0.14613	24.7	3.3677	0.14144	29.7	3.2631	0.13705
19.8	3.4769	0.14603	24.8	3.3655	0.14135	29.8	3.2610	0.13696
19.9	3.4746	0.14593	24.9	3.3633	0.14126	29.9	3.2590	0.13688
20.0	3.4723	0.14584	25.0	3.3612	0.14117	30.0	3.2570	0.13679

(συνεχίζεται)

API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F
30.0	3.2570	0.13679	35.0	3.1590	0.13268	40.0	3.0668	0.12881
30.1	3.2550	0.13671	35.1	3.1571	0.13260	40.1	3.0650	0.12873
30.2	3.2530	0.13662	35.2	3.1552	0.13252	40.2	3.0632	0.12866
30.3	3.2509	0.13654	35.3	3.1534	0.13244	40.3	3.0615	0.12858
30.4	3.2489	0.13645	35.4	3.1515	0.13236	40.4	3.0597	0.12851
30.5	3.2469	0.13637	35.5	3.1496	0.13228	40.5	3.0579	0.12843
30.6	3.2449	0.13629	35.6	3.1477	0.13220	40.6	3.0561	0.12836
30.7	3.2429	0.13620	35.7	3.1458	0.13212	40.7	3.0543	0.12828
30.8	3.2409	0.13612	35.8	3.1439	0.13204	40.8	3.0526	0.12821
30.9	3.2389	0.13603	35.9	3.1420	0.13197	40.9	3.0508	0.12813
31.0	3.2369	0.13595	36.0	3.1402	0.13189	41.0	3.0490	0.12806
31.1	3.2349	0.13587	36.1	3.1383	0.13181	41.1	3.0472	0.12798
31.2	3.2329	0.13578	36.2	3.1364	0.13173	41.2	3.0455	0.12791
31.3	3.2309	0.13570	36.3	3.1345	0.13165	41.3	3.0437	0.12784
31.4	3.2290	0.13562	36.4	3.1327	0.13157	41.4	3.0419	0.12776
31.5	3.2270	0.13553	36.5	3.1308	0.13149	41.5	3.0402	0.12769
31.6	3.2250	0.13545	36.6	3.1289	0.13142	41.6	3.0384	0.12761
31.7	3.2230	0.13537	36.7	3.1271	0.13134	41.7	3.0367	0.12754
31.8	3.2210	0.13528	36.8	3.1252	0.13126	41.8	3.0349	0.12747
31.9	3.2191	0.13520	36.9	3.1234	0.13118	41.9	3.0332	0.12739
32.0	3.2171	0.13512	37.0	3.1215	0.13110	42.0	3.0314	0.12732
32.1	3.2151	0.13503	37.1	3.1196	0.13102	42.1	3.0297	0.12725
32.2	3.2132	0.13495	37.2	3.1178	0.13095	42.2	3.0279	0.12717
32.3	3.2112	0.13487	37.3	3.1159	0.13087	42.3	3.0262	0.12710
32.4	3.2092	0.13479	37.4	3.1141	0.13079	42.4	3.0244	0.12703
32.5	3.2073	0.13471	37.5	3.1122	0.13071	42.5	3.0227	0.12695
32.6	3.2053	0.13462	37.6	3.1104	0.13064	42.6	3.0209	0.12688
32.7	3.2034	0.13454	37.7	3.1086	0.13056	42.7	3.0192	0.12681
32.8	3.2014	0.13446	37.8	3.1067	0.13048	42.8	3.0175	0.12673
32.9	3.1995	0.13438	37.9	3.1049	0.13041	42.9	3.0157	0.12666
33.0	3.1975	0.13430	38.0	3.1031	0.13033	43.0	3.0140	0.12659
33.1	3.1956	0.13421	38.1	3.1012	0.13025	43.1	3.0123	0.12652
33.2	3.1936	0.13413	38.2	3.0994	0.13017	43.2	3.0106	0.12644
33.3	3.1917	0.13405	38.3	3.0976	0.13010	43.3	3.0088	0.12637
33.4	3.1897	0.13397	38.4	3.0957	0.13002	43.4	3.0071	0.12630
33.5	3.1878	0.13389	38.5	3.0939	0.12994	43.5	3.0054	0.12623
33.6	3.1859	0.13381	38.6	3.0921	0.12987	43.6	3.0037	0.12615
33.7	3.1839	0.13373	38.7	3.0903	0.12979	43.7	3.0020	0.12608
33.8	3.1820	0.13364	38.8	3.0885	0.12971	43.8	3.0002	0.12601
33.9	3.1801	0.13356	38.9	3.0866	0.12964	43.9	2.9985	0.12594
34.0	3.1782	0.13348	39.0	3.0848	0.12956	44.0	2.9968	0.12587
34.1	3.1762	0.13340	39.1	3.0830	0.12949	44.1	2.9951	0.12579
34.2	3.1743	0.13332	39.2	3.0812	0.12941	44.2	2.9934	0.12572
34.3	3.1724	0.13324	39.3	3.0794	0.12933	44.3	2.9917	0.12565
34.4	3.1705	0.13316	39.4	3.0776	0.12926	44.4	2.9900	0.12557
34.5	3.1686	0.13308	39.5	3.0758	0.12918	44.5	2.9883	0.12551
34.6	3.1667	0.13300	39.6	3.0740	0.12911	44.6	2.9866	0.12544
34.7	3.1648	0.13292	39.7	3.0722	0.12903	44.7	2.9849	0.12537
34.8	3.1628	0.13284	39.8	3.0704	0.12896	44.8	2.9832	0.12529
34.9	3.1609	0.13276	39.9	3.0686	0.12888	44.9	2.9815	0.12522
35.0	3.1590	0.13268	40.0	3.0668	0.12881	45.0	2.9798	0.12515

API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Long Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Long Tons per Barrel at 60°F
45.0	2.9798	0.12515	50.0	2.8976	0.12170	55.0	2.8198	0.11843
45.1	2.9781	0.12508	50.1	2.8960	0.12163	55.1	2.8183	0.11837
45.2	2.9764	0.12501	50.2	2.8944	0.12156	55.2	2.8168	0.11830
45.3	2.9747	0.12494	50.3	2.8928	0.12150	55.3	2.8153	0.11824
45.4	2.9731	0.12487	50.4	2.8912	0.12143	55.4	2.8137	0.11818
45.5	2.9714	0.12480	50.5	2.8896	0.12136	55.5	2.8122	0.11811
45.6	2.9697	0.12473	50.6	2.8880	0.12130	55.6	2.8107	0.11805
45.7	2.9680	0.12466	50.7	2.8864	0.12123	55.7	2.8092	0.11799
45.8	2.9663	0.12459	50.8	2.8849	0.12116	55.8	2.8077	0.11792
45.9	2.9647	0.12452	50.9	2.8833	0.12110	55.9	2.8062	0.11786
46.0	2.9630	0.12445	51.0	2.8817	0.12103	56.0	2.8047	0.11780
46.1	2.9613	0.12438	51.1	2.8801	0.12096	56.1	2.8032	0.11774
46.2	2.9597	0.12431	51.2	2.8785	0.12090	56.2	2.8017	0.11767
46.3	2.9580	0.12424	51.3	2.8770	0.12083	56.3	2.8002	0.11761
46.4	2.9563	0.12417	51.4	2.8754	0.12077	56.4	2.7987	0.11755
46.5	2.9547	0.12410	51.5	2.8738	0.12070	56.5	2.7973	0.11748
46.6	2.9530	0.12403	51.6	2.8722	0.12063	56.6	2.7958	0.11742
46.7	2.9513	0.12396	51.7	2.8707	0.12057	56.7	2.7943	0.11736
46.8	2.9497	0.12389	51.8	2.8691	0.12050	56.8	2.7928	0.11730
46.9	2.9480	0.12382	51.9	2.8675	0.12044	56.9	2.7913	0.11723
47.0	2.9464	0.12375	52.0	2.8660	0.12037	57.0	2.7898	0.11717
47.1	2.9447	0.12368	52.1	2.8644	0.12030	57.1	2.7883	0.11711
47.2	2.9431	0.12361	52.2	2.8628	0.12024	57.2	2.7869	0.11705
47.3	2.9414	0.12354	52.3	2.8613	0.12017	57.3	2.7854	0.11699
47.4	2.9398	0.12347	52.4	2.8597	0.12011	57.4	2.7839	0.11692
47.5	2.9381	0.12340	52.5	2.8582	0.12004	57.5	2.7824	0.11686
47.6	2.9365	0.12333	52.6	2.8566	0.11998	57.6	2.7810	0.11680
47.7	2.9348	0.12326	52.7	2.8551	0.11991	57.7	2.7795	0.11674
47.8	2.9332	0.12319	52.8	2.8535	0.11985	57.8	2.7780	0.11668
47.9	2.9316	0.12313	52.9	2.8520	0.11978	57.9	2.7765	0.11661
48.0	2.9299	0.12306	53.0	2.8504	0.11972	58.0	2.7751	0.11655
48.1	2.9283	0.12299	53.1	2.8489	0.11965	58.1	2.7736	0.11649
48.2	2.9267	0.12292	53.2	2.8473	0.11959	58.2	2.7721	0.11643
48.3	2.9250	0.12285	53.3	2.8458	0.11952	58.3	2.7707	0.11637
48.4	2.9234	0.12278	53.4	2.8442	0.11946	58.4	2.7692	0.11631
48.5	2.9218	0.12271	53.5	2.8427	0.11939	58.5	2.7678	0.11625
48.6	2.9202	0.12265	53.6	2.8412	0.11933	58.6	2.7663	0.11618
48.7	2.9185	0.12258	53.7	2.8396	0.11926	58.7	2.7648	0.11612
48.8	2.9169	0.12251	53.8	2.8381	0.11920	58.8	2.7634	0.11606
48.9	2.9153	0.12244	53.9	2.8365	0.11913	58.9	2.7619	0.11600
49.0	2.9137	0.12237	54.0	2.8350	0.11907	59.0	2.7605	0.11594
49.1	2.9121	0.12231	54.1	2.8335	0.11901	59.1	2.7590	0.11588
49.2	2.9104	0.12224	54.2	2.8320	0.11894	59.2	2.7576	0.11582
49.3	2.9088	0.12217	54.3	2.8304	0.11888	59.3	2.7561	0.11576
49.4	2.9072	0.12210	54.4	2.8289	0.11881	59.4	2.7547	0.11570
49.5	2.9056	0.12204	54.5	2.8274	0.11875	59.5	2.7532	0.11564
49.6	2.9040	0.12197	54.6	2.8259	0.11869	59.6	2.7518	0.11558
49.7	2.9024	0.12190	54.7	2.8243	0.11862	59.7	2.7504	0.11552
49.8	2.9008	0.12183	54.8	2.8228	0.11856	59.8	2.7489	0.11545
49.9	2.8992	0.12177	54.9	2.8213	0.11849	59.9	2.7475	0.11539
50.0	2.8976	0.12170	55.0	2.8198	0.11843	60.0	2.7460	0.11533

Πίνακας Π.Δ.11
Πίνακας μετατροπής μετρικών τόνων (Metric Tons) σε βαρέλια στους 60°F.

API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F
0.0	4.0653	0.17074	5.0	3.9162	0.16448	10.0	3.7777	0.15866
0.1	4.0622	0.17061	5.1	3.9133	0.16436	10.1	3.7750	0.15855
0.2	4.0591	0.17048	5.2	3.9105	0.16424	10.2	3.7723	0.15844
0.3	4.0560	0.17035	5.3	3.9076	0.16412	10.3	3.7696	0.15833
0.4	4.0529	0.17022	5.4	3.9047	0.16400	10.4	3.7670	0.15821
0.5	4.0499	0.17009	5.5	3.9019	0.16388	10.5	3.7643	0.15810
0.6	4.0468	0.16997	5.6	3.8990	0.16376	10.6	3.7617	0.15799
0.7	4.0437	0.16984	5.7	3.8962	0.16364	10.7	3.7590	0.15788
0.8	4.0407	0.16971	5.8	3.8933	0.16352	10.8	3.7564	0.15777
0.9	4.0376	0.16958	5.9	3.8905	0.16340	10.9	3.7537	0.15766
1.0	4.0346	0.16945	6.0	3.8877	0.16328	11.0	3.7511	0.15755
1.1	4.0315	0.16932	6.1	3.8849	0.16316	11.1	3.7485	0.15744
1.2	4.0285	0.16920	6.2	3.8820	0.16305	11.2	3.7458	0.15733
1.3	4.0254	0.16907	6.3	3.8792	0.16293	11.3	3.7432	0.15722
1.4	4.0224	0.16894	6.4	3.8764	0.16281	11.4	3.7406	0.15710
1.5	4.0194	0.16881	6.5	3.8736	0.16269	11.5	3.7380	0.15699
1.6	4.0164	0.16869	6.6	3.8708	0.16257	11.6	3.7354	0.15689
1.7	4.0133	0.16856	6.7	3.8680	0.16245	11.7	3.7327	0.15678
1.8	4.0103	0.16843	6.8	3.8652	0.16234	11.8	3.7301	0.15667
1.9	4.0073	0.16831	6.9	3.8624	0.16222	11.9	3.7275	0.15656
2.0	4.0043	0.16818	7.0	3.8596	0.16210	12.0	3.7249	0.15645
2.1	4.0013	0.16805	7.1	3.8568	0.16199	12.1	3.7223	0.15634
2.2	3.9983	0.16793	7.2	3.8540	0.16187	12.2	3.7197	0.15623
2.3	3.9953	0.16780	7.3	3.8512	0.16175	12.3	3.7172	0.15612
2.4	3.9923	0.16768	7.4	3.8484	0.16163	12.4	3.7146	0.15601
2.5	3.9893	0.16755	7.5	3.8457	0.16152	12.5	3.7120	0.15590
2.6	3.9864	0.16743	7.6	3.8429	0.16140	12.6	3.7094	0.15580
2.7	3.9834	0.16730	7.7	3.8401	0.16129	12.7	3.7068	0.15569
2.8	3.9804	0.16718	7.8	3.8374	0.16117	12.8	3.7043	0.15558
2.9	3.9775	0.16705	7.9	3.8346	0.16105	12.9	3.7017	0.15547
3.0	3.9745	0.16693	8.0	3.8319	0.16094	13.0	3.6991	0.15536
3.1	3.9715	0.16680	8.1	3.8291	0.16082	13.1	3.6966	0.15526
3.2	3.9686	0.16668	8.2	3.8264	0.16071	13.2	3.6940	0.15515
3.3	3.9656	0.16656	8.3	3.8236	0.16059	13.3	3.6915	0.15504
3.4	3.9627	0.16643	8.4	3.8209	0.16048	13.4	3.6889	0.15493
3.5	3.9598	0.16631	8.5	3.8182	0.16036	13.5	3.6864	0.15483
3.6	3.9568	0.16619	8.6	3.8154	0.16025	13.6	3.6838	0.15472
3.7	3.9539	0.16606	8.7	3.8127	0.16013	13.7	3.6813	0.15461
3.8	3.9510	0.16594	8.8	3.8100	0.16002	13.8	3.6787	0.15451
3.9	3.9480	0.16582	8.9	3.8073	0.15991	13.9	3.6762	0.15440
4.0	3.9451	0.16570	9.0	3.8046	0.15979	14.0	3.6737	0.15429
4.1	3.9422	0.16557	9.1	3.8019	0.15968	14.1	3.6711	0.15419
4.2	3.9393	0.16545	9.2	3.7992	0.15956	14.2	3.6686	0.15408
4.3	3.9364	0.16533	9.3	3.7965	0.15945	14.3	3.6661	0.15398
4.4	3.9335	0.16521	9.4	3.7938	0.15934	14.4	3.6636	0.15387
4.5	3.9306	0.16509	9.5	3.7911	0.15922	14.5	3.6611	0.15377
4.6	3.9277	0.16496	9.6	3.7884	0.15911	14.6	3.6586	0.15366
4.7	3.9248	0.16484	9.7	3.7857	0.15900	14.7	3.6561	0.15355
4.8	3.9219	0.16472	9.8	3.7830	0.15889	14.8	3.6536	0.15345
4.9	3.9191	0.16460	9.9	3.7803	0.15877	14.9	3.6511	0.15334
5.0	3.9162	0.16448	10.0	3.7777	0.15866	15.0	3.6486	0.15324

(συνεχίζεται)

API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F
15.0	3.6486	0.15324	20.0	3.5280	0.14818	25.0	3.4151	0.14344
15.1	3.6461	0.15313	20.1	3.5257	0.14808	25.1	3.4129	0.14334
15.2	3.6436	0.15303	20.2	3.5233	0.14798	25.2	3.4108	0.14325
15.3	3.6411	0.15293	20.3	3.5210	0.14788	25.3	3.4086	0.14316
15.4	3.6386	0.15282	20.4	3.5187	0.14779	25.4	3.4064	0.14307
15.5	3.6361	0.15272	20.5	3.5164	0.14769	25.5	3.4042	0.14298
15.6	3.6337	0.15261	20.6	3.5141	0.14759	25.6	3.4021	0.14289
15.7	3.6312	0.15251	20.7	3.5117	0.14749	25.7	3.3999	0.14280
15.8	3.6287	0.15241	20.8	3.5094	0.14740	25.8	3.3977	0.14271
15.9	3.6263	0.15230	20.9	3.5071	0.14730	25.9	3.3956	0.14261
16.0	3.6238	0.15220	21.0	3.5048	0.14720	26.0	3.3934	0.14252
16.1	3.6213	0.15210	21.1	3.5025	0.14711	26.1	3.3913	0.14243
16.2	3.6189	0.15199	21.2	3.5002	0.14701	26.2	3.3891	0.14234
16.3	3.6164	0.15189	21.3	3.4979	0.14691	26.3	3.3870	0.14225
16.4	3.6140	0.15179	21.4	3.4957	0.14682	26.4	3.3848	0.14216
16.5	3.6115	0.15168	21.5	3.4934	0.14672	26.5	3.3827	0.14207
16.6	3.6091	0.15158	21.6	3.4911	0.14663	26.6	3.3805	0.14198
16.7	3.6067	0.15148	21.7	3.4888	0.14653	26.7	3.3784	0.14189
16.8	3.6042	0.15138	21.8	3.4865	0.14643	26.8	3.3762	0.14180
16.9	3.6018	0.15128	21.9	3.4842	0.14634	26.9	3.3741	0.14171
17.0	3.5994	0.15117	22.0	3.4820	0.14624	27.0	3.3720	0.14162
17.1	3.5969	0.15107	22.1	3.4797	0.14615	27.1	3.3699	0.14153
17.2	3.5945	0.15097	22.2	3.4774	0.14605	27.2	3.3677	0.14144
17.3	3.5921	0.15087	22.3	3.4752	0.14596	27.3	3.3656	0.14136
17.4	3.5897	0.15077	22.4	3.4729	0.14586	27.4	3.3635	0.14127
17.5	3.5873	0.15067	22.5	3.4706	0.14577	27.5	3.3614	0.14118
17.6	3.5825	0.15056	22.6	3.4684	0.14567	27.6	3.3592	0.14109
17.7	3.5825	0.15046	22.7	3.4661	0.14558	27.7	3.3571	0.14100
17.8	3.5801	0.15036	22.8	3.4639	0.14548	27.8	3.3550	0.14091
17.9	3.5777	0.15026	22.9	3.4616	0.14539	27.9	3.3529	0.14082
18.0	3.5753	0.15016	23.0	3.4594	0.14529	28.0	3.3508	0.14073
18.1	3.5729	0.15006	23.1	3.4572	0.14520	28.1	3.3487	0.14065
18.2	3.5705	0.14996	23.2	3.4549	0.14511	28.2	3.3466	0.14056
18.3	3.5681	0.14986	23.3	3.4527	0.14501	28.3	3.3445	0.14047
18.4	3.5657	0.14976	23.4	3.4505	0.14492	28.4	3.3424	0.14038
18.5	3.5633	0.14966	23.5	3.4482	0.14483	28.5	3.3403	0.14029
18.6	3.5609	0.14956	23.6	3.4460	0.14473	28.6	3.3382	0.14021
18.7	3.5586	0.14946	23.7	3.4438	0.14464	28.7	3.3361	0.14012
18.8	3.5562	0.14936	23.8	3.4416	0.14455	28.8	3.3341	0.14003
18.9	3.5538	0.14926	23.9	3.4393	0.14445	28.9	3.3320	0.13994
19.0	3.5515	0.14916	24.0	3.4371	0.14436	29.0	3.3299	0.13986
19.1	3.5491	0.14906	24.1	3.4349	0.14427	29.1	3.3278	0.13977
19.2	3.5467	0.14896	24.2	3.4327	0.14417	29.2	3.3258	0.13968
19.3	3.5444	0.14886	24.3	3.4305	0.14408	29.3	3.3237	0.13959
19.4	3.5420	0.14877	24.4	3.4283	0.14399	29.4	3.3216	0.13951
19.5	3.5397	0.14867	24.5	3.4261	0.14390	29.5	3.3195	0.13942
19.6	3.5373	0.14857	24.6	3.4239	0.14380	29.6	3.3175	0.13933
19.7	3.5350	0.14847	24.7	3.4217	0.14371	29.7	3.3154	0.13925
19.8	3.5327	0.14837	24.8	3.4195	0.14362	29.8	3.3134	0.13916
19.9	3.5303	0.14827	24.9	3.4173	0.14353	29.9	3.3113	0.13908
20.0	3.5280	0.14818	25.0	3.4151	0.14344	30.0	3.3093	0.13899

API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F	API Gravity 60°F	Metric Tons per 1000 U.S. Gallons at 60°F	Metric Tons per Barrel at 60°F
30.0	3.3093	0.13899	35.0	3.2097	0.13481	40.0	3.1160	0.13087
30.1	3.3072	0.13890	35.1	3.2078	0.13473	40.1	3.1142	0.13080
30.2	3.3052	0.13882	35.2	3.2059	0.13465	40.2	3.1124	0.13072
30.3	3.3031	0.13873	35.3	3.2040	0.13457	40.3	3.1106	0.13064
30.4	3.3011	0.13864	35.4	3.2020	0.13449	40.4	3.1088	0.13057
30.5	3.2990	0.13856	35.5	3.2001	0.13440	40.5	3.1070	0.13049
30.6	3.2970	0.13847	35.6	3.1982	0.13432	40.6	3.1051	0.13042
30.7	3.2950	0.13839	35.7	3.1963	0.13424	40.7	3.1033	0.13034
30.8	3.2929	0.13830	35.8	3.1944	0.13416	40.8	3.1015	0.13026
30.9	3.2909	0.13822	35.9	3.1925	0.13408	40.9	3.0997	0.13019
31.0	3.2889	0.13813	36.0	3.1906	0.13400	41.0	3.0979	0.13011
31.1	3.2868	0.13805	36.1	3.1886	0.13392	41.1	3.0961	0.13004
31.2	3.2848	0.13796	36.2	3.1867	0.13384	41.2	3.0943	0.12996
31.3	3.2828	0.13788	36.3	3.1848	0.13376	41.3	3.0926	0.12989
31.4	3.2808	0.13779	36.4	3.1829	0.13368	41.4	3.0908	0.12981
31.5	3.2788	0.13771	36.5	3.1810	0.13360	41.5	3.0890	0.12974
31.6	3.2767	0.13762	36.6	3.1791	0.13352	41.6	3.0872	0.12966
31.7	3.2747	0.13754	36.7	3.1773	0.13344	41.7	3.0854	0.12959
31.8	3.2727	0.13745	36.8	3.1754	0.13337	41.8	3.0836	0.12951
31.9	3.2707	0.13737	36.9	3.1735	0.13329	41.9	3.0818	0.12944
32.0	3.2687	0.13729	37.0	3.1716	0.13321	42.0	3.0801	0.12936
32.1	3.2667	0.13720	37.1	3.1697	0.13313	42.1	3.0783	0.12929
32.2	3.2647	0.13712	37.2	3.1678	0.13305	42.2	3.0765	0.12921
32.3	3.2627	0.13703	37.3	3.1659	0.13297	42.3	3.0747	0.12914
32.4	3.2607	0.13695	37.4	3.1641	0.13289	42.4	3.0730	0.12906
32.5	3.2587	0.13687	37.5	3.1622	0.13281	42.5	3.0712	0.12899
32.6	3.2568	0.13678	37.6	3.1603	0.13273	42.6	3.0694	0.12892
32.7	3.2548	0.13670	37.7	3.1584	0.13265	42.7	3.0677	0.12884
32.8	3.2528	0.13662	37.8	3.1566	0.13258	42.8	3.0659	0.12877
32.9	3.2508	0.13653	37.9	3.1547	0.13250	42.9	3.0641	0.12869
33.0	3.2488	0.13645	38.0	3.1529	0.13242	43.0	3.0624	0.12862
33.1	3.2468	0.13637	38.1	3.1510	0.13234	43.1	3.0606	0.12855
33.2	3.2449	0.13628	38.2	3.1491	0.13226	43.2	3.0589	0.12847
33.3	3.2429	0.13620	38.3	3.1473	0.13219	43.3	3.0571	0.12840
33.4	3.2409	0.13612	38.4	3.1454	0.13211	43.4	3.0554	0.12833
33.5	3.2390	0.13604	38.5	3.1436	0.13203	43.5	3.0536	0.12825
33.6	3.2370	0.13595	38.6	3.1417	0.13195	43.6	3.0519	0.12818
33.7	3.2350	0.13587	38.7	3.1399	0.13187	43.7	3.0501	0.12811
33.8	3.2331	0.13579	38.8	3.1380	0.13180	43.8	3.0484	0.12803
33.9	3.2311	0.13571	38.9	3.1362	0.13172	43.9	3.0466	0.12796
34.0	3.2292	0.13562	39.0	3.1343	0.13164	44.0	3.0449	0.12789
34.1	3.2272	0.13554	39.1	3.1325	0.13156	44.1	3.0432	0.12781
34.2	3.2253	0.13546	39.2	3.1307	0.13149	44.2	3.0414	0.12774
34.3	3.2233	0.13538	39.3	3.1288	0.13141	44.3	3.0397	0.12767
34.4	3.2214	0.13530	39.4	3.1270	0.13133	44.4	3.0380	0.12759
34.5	3.2194	0.13522	39.5	3.1252	0.13126	44.5	3.0362	0.12752
34.6	3.2175	0.13513	39.6	3.1233	0.13118	44.6	3.0345	0.12745
34.7	3.2155	0.13505	39.7	3.1215	0.13110	44.7	3.0328	0.12738
34.8	3.2136	0.13497	39.8	3.1197	0.13103	44.8	3.0311	0.12730
34.9	3.2117	0.13489	39.9	3.1178	0.13095	44.9	3.0293	0.12723
35.0	3.2097	0.13481	40.0	3.1160	0.13087	45.0	3.0276	0.12716

Πίνακας Π.Δ.12

Πίνακας 6A (Table 6A) συντελεστών θερμικής διαστολής όγκου του καυσίμου (Volume Correction Factor – VCF).

API GRAVITY AT 60°F												
TEMP F	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	TEMP F
FACTOR FOR CORRECTING VOLUME TO 60°F												
75.0	0.9933	0.9933	0.9932	0.9932	0.9931	0.9931	0.9931	0.9930	0.9930	0.9929	0.9929	75.0
75.5	0.9931	0.9930	0.9930	0.9930	0.9929	0.9929	0.9928	0.9928	0.9927	0.9927	0.9926	75.5
76.0	0.9929	0.9928	0.9928	0.9927	0.9927	0.9926	0.9926	0.9925	0.9925	0.9925	0.9924	76.0
76.5	0.9926	0.9926	0.9925	0.9925	0.9925	0.9924	0.9924	0.9923	0.9923	0.9922	0.9922	76.5
77.0	0.9924	0.9924	0.9923	0.9923	0.9922	0.9922	0.9921	0.9921	0.9920	0.9920	0.9919	77.0
77.5	0.9922	0.9921	0.9921	0.9920	0.9920	0.9919	0.9919	0.9918	0.9918	0.9917	0.9917	77.5
78.0	0.9920	0.9919	0.9919	0.9918	0.9918	0.9917	0.9917	0.9916	0.9916	0.9915	0.9915	78.0
78.5	0.9917	0.9917	0.9916	0.9916	0.9915	0.9915	0.9914	0.9914	0.9913	0.9913	0.9912	78.5
79.0	0.9915	0.9915	0.9914	0.9914	0.9913	0.9913	0.9912	0.9911	0.9911	0.9910	0.9910	79.0
79.5	0.9913	0.9912	0.9912	0.9911	0.9911	0.9910	0.9910	0.9909	0.9909	0.9908	0.9907	79.5
80.0	0.9911	0.9910	0.9910	0.9909	0.9908	0.9908	0.9907	0.9907	0.9906	0.9906	0.9905	80.0
80.5	0.9908	0.9908	0.9907	0.9907	0.9906	0.9906	0.9905	0.9904	0.9904	0.9903	0.9903	80.5
81.0	0.9906	0.9906	0.9905	0.9904	0.9904	0.9903	0.9903	0.9902	0.9902	0.9901	0.9900	81.0
81.5	0.9904	0.9903	0.9903	0.9902	0.9902	0.9901	0.9900	0.9900	0.9899	0.9899	0.9898	81.5
82.0	0.9902	0.9901	0.9901	0.9900	0.9899	0.9899	0.9898	0.9897	0.9897	0.9896	0.9896	82.0
82.5	0.9900	0.9899	0.9898	0.9898	0.9897	0.9896	0.9896	0.9895	0.9894	0.9894	0.9893	82.5
83.0	0.9897	0.9897	0.9896	0.9895	0.9895	0.9894	0.9893	0.9893	0.9892	0.9891	0.9891	83.0
83.5	0.9895	0.9894	0.9894	0.9893	0.9892	0.9892	0.9891	0.9890	0.9890	0.9889	0.9888	83.5
84.0	0.9893	0.9892	0.9891	0.9891	0.9890	0.9889	0.9889	0.9888	0.9887	0.9887	0.9886	84.0
84.5	0.9891	0.9890	0.9889	0.9889	0.9888	0.9887	0.9886	0.9886	0.9885	0.9884	0.9884	84.5
85.0	0.9888	0.9888	0.9887	0.9886	0.9886	0.9885	0.9884	0.9883	0.9883	0.9882	0.9881	85.0
85.5	0.9886	0.9885	0.9885	0.9884	0.9883	0.9883	0.9882	0.9881	0.9880	0.9880	0.9879	85.5
86.0	0.9884	0.9883	0.9882	0.9882	0.9881	0.9880	0.9879	0.9879	0.9878	0.9877	0.9877	86.0
86.5	0.9882	0.9881	0.9880	0.9879	0.9879	0.9878	0.9877	0.9876	0.9876	0.9875	0.9874	86.5
87.0	0.9879	0.9879	0.9878	0.9877	0.9876	0.9876	0.9875	0.9874	0.9873	0.9873	0.9872	87.0
87.5	0.9877	0.9876	0.9876	0.9875	0.9874	0.9873	0.9873	0.9872	0.9871	0.9870	0.9869	87.5
88.0	0.9875	0.9874	0.9873	0.9873	0.9872	0.9871	0.9870	0.9869	0.9869	0.9868	0.9867	88.0
88.5	0.9873	0.9872	0.9871	0.9870	0.9869	0.9869	0.9868	0.9867	0.9866	0.9865	0.9865	88.5
89.0	0.9870	0.9870	0.9869	0.9868	0.9867	0.9866	0.9866	0.9865	0.9864	0.9863	0.9862	89.0
89.5	0.9868	0.9867	0.9867	0.9866	0.9865	0.9864	0.9863	0.9862	0.9862	0.9861	0.9860	89.5
90.0	0.9866	0.9865	0.9864	0.9863	0.9863	0.9862	0.9861	0.9860	0.9859	0.9858	0.9857	90.0
90.5	0.9864	0.9863	0.9862	0.9861	0.9860	0.9859	0.9859	0.9858	0.9857	0.9856	0.9855	90.5
91.0	0.9861	0.9861	0.9860	0.9859	0.9858	0.9857	0.9856	0.9855	0.9854	0.9854	0.9853	91.0
91.5	0.9859	0.9858	0.9857	0.9857	0.9856	0.9855	0.9854	0.9853	0.9852	0.9851	0.9850	91.5
92.0	0.9857	0.9856	0.9855	0.9854	0.9853	0.9852	0.9852	0.9851	0.9850	0.9849	0.9848	92.0
92.5	0.9855	0.9854	0.9853	0.9852	0.9851	0.9850	0.9849	0.9848	0.9847	0.9846	0.9846	92.5
93.0	0.9852	0.9852	0.9851	0.9850	0.9849	0.9848	0.9847	0.9846	0.9845	0.9844	0.9843	93.0
93.5	0.9850	0.9849	0.9848	0.9847	0.9846	0.9846	0.9845	0.9844	0.9843	0.9842	0.9841	93.5
94.0	0.9848	0.9847	0.9846	0.9845	0.9844	0.9843	0.9842	0.9841	0.9840	0.9839	0.9838	94.0
94.5	0.9846	0.9845	0.9844	0.9843	0.9842	0.9841	0.9840	0.9839	0.9838	0.9837	0.9836	94.5
95.0	0.9843	0.9842	0.9842	0.9841	0.9840	0.9839	0.9838	0.9837	0.9836	0.9835	0.9834	95.0
95.5	0.9841	0.9840	0.9839	0.9838	0.9837	0.9836	0.9835	0.9834	0.9833	0.9832	0.9831	95.5
96.0	0.9839	0.9838	0.9837	0.9836	0.9835	0.9834	0.9833	0.9832	0.9831	0.9830	0.9829	96.0
96.5	0.9837	0.9836	0.9835	0.9834	0.9833	0.9832	0.9831	0.9830	0.9829	0.9827	0.9826	96.5
97.0	0.9834	0.9833	0.9832	0.9831	0.9830	0.9829	0.9828	0.9827	0.9826	0.9825	0.9824	97.0
DENOTES EXTRAPOLATED VALUE						API GRAVITY = 30.0 TO 35.0						

(συνεχίζεται)

API GRAVITY AT 60°F												
TEMP F	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	TEMP F
FACTOR FOR CORRECTING VOLUME TO 60°F												
97.5	0.9832	0.9831	0.9830	0.9829	0.9828	0.9827	0.9826	0.9825	0.9824	0.9823	0.9822	97.5
98.0	0.9830	0.9829	0.9828	0.9827	0.9826	0.9825	0.9824	0.9823	0.9821	0.9820	0.9819	98.0
98.5	0.9828	0.9827	0.9826	0.9825	0.9823	0.9822	0.9821	0.9820	0.9819	0.9818	0.9817	98.5
99.0	0.9826	0.9824	0.9823	0.9822	0.9821	0.9820	0.9819	0.9818	0.9817	0.9816	0.9814	99.0
99.5	0.9823	0.9822	0.9821	0.9820	0.9819	0.9818	0.9817	0.9815	0.9814	0.9813	0.9812	99.5
100.0	0.9821	0.9820	0.9819	0.9818	0.9817	0.9815	0.9814	0.9813	0.9812	0.9811	0.9810	100.0
100.5	0.9819	0.9818	0.9817	0.9815	0.9814	0.9813	0.9812	0.9811	0.9810	0.9808	0.9807	100.5
101.0	0.9817	0.9815	0.9814	0.9813	0.9812	0.9811	0.9810	0.9808	0.9807	0.9806	0.9805	101.0
101.5	0.9814	0.9813	0.9812	0.9811	0.9810	0.9808	0.9807	0.9806	0.9805	0.9804	0.9803	101.5
102.0	0.9812	0.9811	0.9810	0.9808	0.9807	0.9806	0.9805	0.9804	0.9803	0.9801	0.9800	102.0
102.5	0.9810	0.9809	0.9807	0.9806	0.9805	0.9804	0.9803	0.9801	0.9800	0.9799	0.9798	102.5
103.0	0.9808	0.9806	0.9805	0.9804	0.9803	0.9801	0.9800	0.9799	0.9798	0.9797	0.9795	103.0
103.5	0.9805	0.9804	0.9803	0.9802	0.9800	0.9799	0.9798	0.9797	0.9795	0.9794	0.9793	103.5
104.0	0.9803	0.9802	0.9801	0.9799	0.9798	0.9797	0.9796	0.9794	0.9793	0.9792	0.9791	104.0
104.5	0.9801	0.9799	0.9798	0.9797	0.9796	0.9795	0.9793	0.9792	0.9791	0.9789	0.9788	104.5
105.0	0.9799	0.9797	0.9796	0.9795	0.9793	0.9792	0.9791	0.9790	0.9788	0.9787	0.9786	105.0

DENOTES EXTRAPOLATED VALUE
API GRAVITY = 30.0 TO 35.0

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

Αμπάρι: ναυτικός όρος για τον χαρακτηρισμό των κυτών των πλοίων στα οποία φορτώνονται κύδην φορτία.

Ανθρωποθυρίδα: μικρό άνοιγμα στα τοιχώματα δεξαμενής ή στο κατάστρωμα του πλοίου για τον έλεγχο ή την είσοδο σε αυτή.

Αναρρόφηση: ονομάζεται η εισαγωγή ενός ρευστού σε έναν χώρο, ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από έναν άλλο χώρο.

Άξονας αντλίας: ο άξονας πάνω στον οποίο συνδέεται η περωτή και περιστρέφεται από τον άξονα του κινητήρα με κατάλληλη σύνδεση.

Άξονας κινητήρα: ο άξονας του κινητήριου μηχανήματος που στέφει τον άξονα της αντλίας.

Αποστάτης: στοιχείο μηχανής από μέταλλο ή συνθετικό υλικό που βοηθάει στην διατήρηση των αξονικών αποστάσεων.

Αυλοφόρες πλάκες: οι πλάκες όπου εφαρμόζονται οι αυλοί ενός εναλλακτήρα και παράλληλα που διαχωρίζουν το ψυκτικό από το ψυχόμενο ρευστό.

Βάκτρο επιστομίου: ο μεταλλικός άξονας που συνδέει τον χειροσφόνδυλο ενός επιστομίου με τη βαλβίδα που βρίσκεται στο εσωτερικό του, μεταδίδοντας την κίνηση από τον χειροσφόνδυλο στον έλεγχο της ροής.

Βαλβίδα επιστομίου ή δίσκος διακοπής ροής ή γλώσσα επιστομίου: μεταλλικός δίσκος ή άλλης μορφής στοιχείο (μπάλα, κώνος κ.λπ.) το οποίο κινούμενο, προς ή απομακρυνόμενο από την οπή που υπάρχει στο εσωτερικό ενός επιστομίου επιτρέπει ή διακόπτει αντίστοιχα τη ροή ενός ρευστού.

Βίντζι: το μηχανήμα για την ανέλκυση ή την καθέλκυση βάρους.

Βραστήρας: ο αποστακτήρας.

Δεξαμενή κατακαθίσεως ή διαχωρισμού: η δεξαμενή στην οποία πραγματοποιείται διαχωρισμός υγρών με την επίδραση της βαρύτητας.

Διαυγαστήρας: ο περαιτέρω καθαρισμός ενός ρευστού από πετρελαιοειδή, με τον οποίο απομακρύνονται ακαθαρσίες, όπως εξανθρακώματα και μικρά σωματίδια που αιωρούνται στο ρευστό.

Εγχυτήρας (μπεκ): τα συστήματα εγχύσεως καυσίμου (fuel injection), μέσω των οποίων το καύσιμο διασκορπίζεται στον θάλαμο καύσεως των πετρελαιοκινητήρων.

Έδρα βαλβίδας: η κατάλληλα διαμορφωμένη οπή στο εσω-

τερικό του επιστομίου, πάνω στο οποίο εφαρμόζει η βαλβίδα του επιστομίου, επιτυγχάνοντας τη στεγανοποίηση κατά τον έλεγχο της ροής.

Εκκαθάριση ή εξαέρωση: η αντικατάσταση των αερίων που υπάρχουν στο περιβάλλον μιας κλειστής δεξαμενής με ατμοσφαιρικό αέρα, π.χ. σε μία δεξαμενή μεταφοράς πετρελαίου, ή η απομάκρυνση του αέρα από έναν κλειστό θάλαμο π.χ. ο χώρος όπου κυκλοφορούν τα ρευστά σε έναν εναλλακτήρα θερμότητας.

Εκτόνωση: γενικά στη Φυσική ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η αποδέσμευση των τάσεων, οι οποίες είναι συσσωρευμένες σε ένα σύστημα που μπορεί να αποτελείται από στερεά, υγρά, αέρια ή και άλλους συνδυασμούς. Επίσης, ο όρος μπορεί να χρησιμοποιείται για την μηχανική επεξεργασία ενός υλικού με την άσκηση πίεσεως από εξωτερική πηγή π.χ. την διεύρυνση ενός ελαστικού (ή από άλλο υλικό) παρεμβύσματος υπό την άσκηση πίεσεως.

Εκχυτήρας: η αντλία που εκβάλλει, εκκύνει με ορμή ένα ρευστό με την βοήθεια της κινητικής ενέργειας ενός άλλου ρευστού. Ο εκχυτήρας αποτελεί ένα σύστημα εκτινάξεως. Όταν το ρευστό που διαρρέει τον εκχυτήρα είναι νερό, μπορεί να συναντηθεί και ως educator.

Εναλλάκτης ή εναλλακτήρας θερμότητας: συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών. Αποτελείται από μεταλλικές επιφάνειες λεπτού πάχους, οι οποίες διαχωρίζουν τα ρευστά και μπορεί να έχουν τη μορφή αυλών ή πλακών (φύλλων). Ο εναλλακτήρας θερμότητας που χρησιμοποιείται για τη μείωση ενός ρευστού από ένα άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία ονομάζεται ψυγείο.

Εξαεριστικό: η βαλβίδα που τοποθετείται στην κορυφή μιας κλειστής δεξαμενής, ενός θαλάμου ή ενός κυλίνδρου μηχανής για την απομάκρυνση του αέρα από το εσωτερικό τους. Ο έλεγχος για το άνοιγμα ή το κλείσιμο επιτυγχάνεται είτε χειροκίνητα είτε με την ένταση ενός ελατηρίου, που είναι κατάλληλα εγκατεστημένο πάνω στο εξαεριστικό.

Εξέλαση: η κατεργασία ενός φύλλου μετάλλου, το οποίο περνιέται ανάμεσα στα ράουλα ενός ηλεκτροκίνητου κυλίνδρου, δηλαδή ανάμεσα σε δύο περιστρεφόμενους ατσάλινους κυλίνδρους, ώστε να λεπτύνει και συγχρόνως να αποκτήσει μεγαλύτερο μήκος. Η ιδιότητα αυτή των μετάλλων ονομάζεται **ελατότητα**.

Εξυδάτωση: η διεργασία κατά την απομάκρυνση των υγρών που συγκεντρώνονται από τον πυθμένα δεξαμενής ή θαλά-

μου. Η εξυδάτωση επιτυγχάνεται με την χρήση εξυδατικού κρουνού (ή επιστόμιο εξυδατώσεως).

Επιστόμιο ή βαλβίδα: το στοιχείο που εγκαθίσταται σε δίκτυο για τον έλεγχο της ροής ρευστού.

Εργάτης άγκυρας: το μηχανήμα που χρησιμοποιείται για την ανέλκυση ή την πόντιση άγκυρας, στο οποίο ο άξονας του μηχανισμού έλξεως είναι κάθετος στο κατάστρωμα.

Ιστός: ναυτικός όρος που περιγράφει το κατάρτι ή εναλλακτικά κάποιοι σωλήνα κάθετο στο κατάστρωμα, πάνω στον οποίο τοποθετούνται διάφορες συσκευές, π.χ. εξαεριστικό.

Κάβος: χονδρό σχοινί από ελικοειδώς περιελιγμένα νήματα, που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στο δέσιμο του πλοίου στην προβλήτα.

Καπάκι ή πώμα: τμήμα της μηχανής που τοποθετείται πάνω από τον κύλινδρο, ώστε να δημιουργηθεί ένας κλειστός χώρος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η καύση στις μηχανές ντίζελ ή η συμπίεση του αέρα στους αεροσυμπιεστές.

Κατάθλιψη: η εξαγωγή ενός ρευστού από έναν θάλαμο από αντλία, υπό την εφαρμογή πιέσεως.

Κενό: οποιαδήποτε περιοχή εντός της οποίας η πίεση σε κλειστό θάλαμο είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Κλειδί αλυσίδας ή άμμα: η αλυσίδα (καδένα) της άγκυρας πλοίου δεν είναι ενιαία από την αρχή μέχρι το τέλος της, αλλά χωρίζεται σε τμήματα μήκους 27,45 m (ή 15 οργιές), για λόγους ασφαλείας και κατασκευαστικούς κ.ά.

Κοχλίας (κοινώς βίδα): το συνδετικό στοιχείο των μηχανών που παρέχει τη δυνατότητα λύσεως και επανασυνδέσεως, καθώς και ως μέσο για τη σύνδεση μηχανικών συστημάτων, που εξυπηρεούν διάφορους σκοπούς (π.χ. στεγανοποίηση φλαντζών στην ένωση σωλήνων κ.τ.λ.).

Λαβύρινθος: η διάταξη μεταλλικών δακτύλιων, που εφαρμόζονται περιφερειακά στο σημείο διελεύσεως ενός άξονα από το σώμα ενός μηχανήματος, επιτυγχάνοντας την στεγανοποίησή του από το εξωτερικό περιβάλλον ή μεταξύ των σταδίων ή των θαλάμων ενός μηχανήματος. Η στεγανοποίηση πραγματοποιείται με την εκμετάλλευση της δίνης του ίδιου ρευστού, η οποία δημιουργείται μεταξύ των δακτύλιων, που είναι εγκατεστημένοι εναλλάξ στο σταθερό και στο κινητό μέρος του μηχανήματος.

Λέβητας: κάθε κλειστή μεταλλική συσκευή, μέσα στην οποία νερό ή άλλο υγρό θερμαίνεται και μετατρέπεται σε ατμό.

Μανόμετρο (κενού): βαθμονομημένος μετρητής, που χρησιμοποιείται για την μέτρηση πιέσεων χαμηλότερων της ατμοσφαιρικής σε κλειστό θάλαμο, δίκτυο, στην αναρρόφηση μίας αντλίας κ.ά..

Μετάκαυση: η διεργασία κατά την οποία μέσω ενός επί πλέον εξαρτήματος που υπάρχει σε μερικούς κινητήρες αεριωθουμένων αεροσκαφών, ως επί το πλείστον στρατιωτικών

και υπερηχητικών αεροσκαφών, επιτυγχάνεται η αύξηση της ώσεως. Επειδή επιτυγχάνεται με την παροχή επί πλέον ποσότητας καυσίμου ο όρος χρησιμοποιείται και όταν μετά την καύση σε έναν κινητήρα με παροχή περισσότερου καυσίμου μέσω ειδικής διατάξεως επιτυγχάνεται αύξηση της αποδόσεως.

Μπαστέκα: η τροχαλία.

Πανιόλο: η επίπεδη μεταλλική επιφάνεια στον πυθμένα ενός αμπαριού ή η επίπεδη μεταλλική επιφάνεια που χρησιμοποιείται στους ορόφους του μηχανοστασίου για την διέλευση του πληρώματος.

Περιοχθένιο ή φλάντζα: δακτύλιος με τρύπες από μεταλλικό, συνήθως, υλικό, ο οποίος συγκολλούμενος περιφερειακά στο άκρο ενός σωλήνα επιτρέπει την σύνδεσή του με άλλο σωλήνα με αντίστοιχα περιοχθένια, διευκολύνοντας την ανάπτυξη των δικτύων.

Περικόχλιο (κοινώς παξιμάδι): στοιχείο με οπή και εσωτερικό σπείρωμα που εφαρμόζεται στο αντίστοιχο σπείρωμα του κοχλίου για την σύνδεση διατρήτων μηχανικών στοιχείων.

Περιοχθένιος χώρος: ο χώρος που δημιουργείται μεταξύ του χιτωνίου και του σώματος (σκελετού) μιας μηχανής, μέσα στον οποίο διέρχεται το νερό ψύξεως.

Περμανίτης: το υλικό που χρησιμοποιείται για τη στατική στεγανοποίηση σε συστήματα νερού, τροφίμων, λιπαντικών, καυσίμων, χημικών, αερίου, ατμού και σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών. Κατασκευάζεται σε φύλλα ή σε τυποποιημένα μεγέθη για την εκάστοτε εφαρμογή από διάφορα υλικά, όπως γραφίτης, τεφλόν κ.ά. και έχει πάχος μερικών χιλιοστών.

Πιεσόμετρο, θλιβόμετρο ή γράδο: ο βαθμονομημένος μετρητής της πίεσεως σε κλειστό θάλαμο σε ένα δίκτυο, στην κατάθλιψη αντλίας κ.ά..

Πλήμνη: το τμήμα του στροφέιου ή της προπέλας, πάνω στο οποίο υπάρχουν τα πτερύγια και συνδέεται στον άξονα περιστροφής.

Πόντιση άγκυρας (κοινώς φουντάρισμα): η διαδικασία της αγκυροβολίας.

Προθερμαντήρας: ο εναλλακτήρας θερμότητας για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός ρευστού από ένα άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία.

Προσθήκη: στοιχείο από μέταλλο, ξύλο ή άλλο υλικό που χρησιμοποιείται για μικρή σημειακή ανύψωση ή αύξηση κάποιας αποστάσεως (π.χ. προσθήκες στη βάση ενός μηχανήματος για την ευθυγράμμιση ή την ανύψωσή του).

Ροδέλα: μεταλλικό κυκλικό στοιχείο με τρύπα στη μέση που εφαρμόζεται σε βίδες και μπορεί να χρησιμοποιείται και ως δακτύλιος στεγανοποίησης όταν αποτελείται από μαλακό μέταλλο (π.χ. ροδέλες από χαλκό).

Ροόμετρο: συσκευή που τοποθετείται σε σειρά με τους σωλήνες ενός δίκτυου και μετράει την ποσότητα του ρευστού που διέρχεται από το δίκτυο.

Σαλαμάρτες: παρεμβύσματα από διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται στη στεγανοποίηση του βάκτρου ενός επιστομίου, του άξονα στο σημείο εισόδου του σε μια αντλία ή τον άξονα της προπέλας σε μικρά σκάφη.

Σεντίνα: αναφέρεται στον υδροσυλλέκτη του πλοίου και στο κατώτατο εσωτερικό τμήμα των υφάλων ενός πλοίου (π.χ. σεντίνα μηχανοστασίου). Ο όρος χρησιμοποιείται και για να χαρακτηριστούν τα υγρά που συλλέγονται στο κύτος του πλοίου.

Στρόφαλος: ο άξονας, στον οποίο συνδέονται τα έμβολα μέσω διωστήρα και στον οποίο μετατρέπεται η παλινδρομική κίνηση σε περιστροφική.

Στροφείο (περωτή): το κινητό μέρος της αντλίας που περιστρέφεται και αποδίδει την κινητική ενέργεια σε ένα ρευστό.

Στυπείο: ονομάζεται το υλικό που χρησιμοποιείται για τη στεγανοποίηση του σημείου εξαγωγής του βάκτρου ενός επιστομίου ή του άξονα που συνδέει τον μηχανισμό κινήσεως με το στροφείο μιας αντλίας. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά, όπως νήμα, τεφλόν κ.ά..

Συμπίεση: με τον όρο συμπίεση στη Φυσική χαρακτηρίζεται η ελάττωση του όγκου ενός σώματος ή μίας ουσίας στον χώρο, μετά την επίδραση κάποιας μηχανικής τάσεως (π.χ. η συμπίεση του αέρα από τον αεροσυμπιεστή).

Συμπυκνωτής: εναλλάκτης που με τη βοήθεια ενός ρευστού, με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (ψυκτικό μέσο), χρησιμοποιείται για την απαγωγή της θερμοκρασίας από αέριο ή από τον ατμό και τη μετατροπή του σε υγρό.

Συρματόσχοινο: είδος σχοινιού κατασκευασμένο από περιελιγμένα γαλβανισμένα χαλύβδινα σύρματα μεγάλης αντοχής. Τα σύρματα αυτά αφού τυλιχθούν ελικοειδώς γύρω από κεντρικό πυρήνα, τη λεγόμενη **μήτρα**, που κατασκευάζεται

από κεδρωτό καννάβινο σχοινί, σχηματίζουν δέσμες που ονομάζονται **έμβολα** ή **κλώνοι**.

Σώμα κυλίνδρου: το κύριο δομικό στοιχείο των κινητήρων. Το σώμα αποτελεί τον σκελετό και ταυτόχρονα φέρει την πλάκα, με την οποία στηρίζεται ο κινητήρας.

Τιμόνι: στα πλοία γενικά εννοείται ο μηχανισμός πηδαλιουχίας, ενώ μπορεί να χαρακτηρίζει και τον χώρο εγκατάστασής του μηχανισμού πηδαλιουχίας.

Υαλοδείκτης ή υδροδείκτης: ο γυάλινος σωλήνας, τα άκρα του οποίου συνδέονται με κατάλληλο τρόπο σε δεξαμενή δίνοντας τη δυνατότητα ελέγχου της στάθμης μέσα σ' αυτή. Ο υαλοδείκτης μπορεί να είναι κατασκευασμένος και από διάφανο συνθετικό υλικό.

Φρακτή: διάφραγμα ή μπουλμές: κάθε κατακόρυφο χώρισμα είτε στο σκάφος είτε σε επιμέρους διαμερίσματα στο εσωτερικό του σκάφους.

Φυγόκεντρικός διαχωριστής: το μηχανήμα που με την βοήθεια της φυγόκεντρης δυνάμεως επιταχύνει την απομάκρυνση ακαθαρσιών και νερού από πετρελαιοειδή. Ο διαχωρισμός αυτός μπορεί και πραγματοποιείται μόνο σε μη αναμειγμένο υγρό, όπως πετρέλαιο και νερό.

Φύλλα βραστήρα: οι λεπτές μεταλλικές επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας, που παρεμβάλλονται μεταξύ δύο ρευστών.

Χειροσφόνδυλος: ο τροχός που τοποθετείται στο επάνω άκρο ενός βάκτρου και περιστρέφοντάς τον μέσω της βαλβίδας του επιστομίου ελέγχεται η ροή.

Χιτώνιο: χιτώνιο κυλίνδρου είναι ένα κυλινδρικό τμήμα που τοποθετείται στο σώμα ενός εμβολοφόρου μηχανήματος για να σχηματίσει έναν κύλινδρο. Εξωτερικά του χιτωνίου κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο, ενώ εσωτερικά πραγματοποιείται η καύση και παλινδρομεί το έμβολο.

Ωστικός τριβέας: η διάταξη που αποτελείται από δίσκους ή πλινθία για την απόσβεση αξονικών ώσεων ενός άξονα.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A

- αδιαβατική συμπίεση 144
αεροκώδωνες 15, 29
αεροσυμπίεστες 5, 8, 140
 ακτινικής ροής 141
 αξονικής ροής 141
 απλής ενέργειας 141
 εκτοπίσεως, περιστροφικοί 141, 151
 με λοβούς, περιστροφικοί 151
 μονοσταδιακοί ή μονοβάθμιοι 141, 146
 παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι 140, 142
 πολυσταδιακοί ή πολυβάθμιοι 141, 146
 ροής, περιστροφικοί 141, 153
αεροφιάλες πεπιεσμένου αέρα 8
αεροφυλάκια ή αεροφιάλες 140
αισθητήρας ελαίου 400
ακμή εισόδου (οδηγός ακμή) 462
ακμή εξόδου (ακολουθούσα ακμή) 462
ακαριαία εξάτμιση 255, 301
άμεσο σύστημα (σύστημα αγωγών διαχειρίσεως φορτίου) 217
αναθέρμανση 101
αναθερμαντήρας ατμού 4, 6
ανακουφιστικά επιστόμια-βαλβίδες 174
ανακουφιστικά συστήματα δεξαμενών 439
αναρρόφηση της αντλίας 9, 21
αναστολέας 29, 262
ανασχετήρας φλόγας 440
αναφλεξιμότητα και εκρηκτικότητα 262
ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού 4, 6
ανεξάρτητες δεξαμενές 249
ανεξάρτητες ή αυτοτελείς εγκαταστάσεις 2
ανεφοδιασμός ή πετρέλωση 193
ανιχνευτές ελέγχου ατμόσφαιρας 421
ανιχνευτές ευφλέκτων αερίων 416
ανιχνευτές τοξικών αερίων με χημική απορρόφηση 421
αντιδιατοιχιστικά περύγια 460
αντίστροφη απόπλυση 90
άντληση φορτίου στα υγραεριοφόρα 279
αντλίες 9
 άμεσης μεταδόσεως 25
 αναρροφητικές 25
 ανυψωτικές 25
 αξονικής ροής 53
 απλής διατάξεως 25
 απλής ενέργειας 25
 βαθέος φρέατος 233
 γενικής χρήσεως 5, 7
 γλυκού νερού 122
 γρاناζωτές ή οδοντωτές 45
 διπλής ενέργειας 25
 δυναμικής μεταβολής 10
 ειδικής επιδράσεως 10, 11
 έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου 44
 εκκενώσεως 218
 ελαίου λιπάνσεως 5, 6
 εμβολοφόρες 10, 11, 24, 33
 εμβολοφόρες άμεσης μεταδόσεως 33
 εξαρτημένες 2, 299
 έρματος 5, 7, 122
 θετικής εκτοπίσεως 10, 11
 καταδυόμενες 233
 καταθλιπτικές 26
 κινδύνου εξαντλήσεως κυτών 5, 7
 κυκλοφορίας γλυκού νερού 120
 κυκλοφορίας θαλάσσης 5, 6
 κύριες, θαλάσσης 120
 κύτους 121
 με διαφράγματα 41
 με εκκυτήρα Weir-Paragon 40
 με έμβολα μεταβλητής διαδρομής 48
 με θυρίδες τύπου Edwards 38
 με κοιλίες 47
 με λοβούς 47
 μεικτής ροής 54
 μεταγγίσεως πετρελαίου 5, 6, 120
 μεταφοράς 291
 μονοβάθμιες ή μονοσταδιακές 60, 62
 ογκομετρικού τύπου 41
 παλινδρομικές 10, 11
 παροχής ή τροφοδοτήσεως πετρελαίου 5, 6
 περισταλτικές 50
 περιστροφικές 10, 11, 41
 περιστροφικές εκτοπίσεως 41
 πολυβάθμιες ή πολυσταδιακές 61, 63
 πόσιμου νερού 5, 7, 122
 πτερυγοφόρες 43
 πυροσβέσεως (πυρκαγιάς) 5, 7
 πυροσβέσεως (πυρκαγιάς) εκτάκτου ανάγκης 5, 7, 113
 πυροσβέσεως και γενικής χρήσεως 113, 121
 ραντισμού νερού κατασβέσεως 5, 7
 σεντίνων 121
 συζευγμένης διατάξεως 25, 31
 συμπυκνώματος 5, 6
 τροφοδοτήσεως ενισχυτική 5, 6
 τροφοδοτική νερού στον ατμολέβητα 5, 6
 υγιεινής 5, 7
 υγρών εμβόλων 44
 υγρών φορτίων 6, 8
 φυγοκεντρικές 10, 51
 ψύξεως εμβόλων κύριας μηχανής 5, 7
 ψύξεως χιτωνίων και πωμάτων κύριας μηχανής 5, 7
αντλιοστάσιο Δ/Ξ 216
άνωτερο Όριο Εκρηκτικότητας 215
άνωτερο Όριο Ευφλεκτικότητας 215
απόρριψη των ακαθαρσιών ή μπλοφάρισμα 295
αποστακτήρες ή βραστήρες 301
 υψηλής πίεσεως 305
 χαμηλής πίεσεως 305
αποτεφρωτής 5, 7, 400
αποφόρτιση 410
αποχωριστές ατμού 188
αργό ή ακατέργαστο ή ακάθαρτο πετρέλαιο 209
αργό πετρέλαιο 210, 282
Αρχή του Bernoulli 13, 125
Αρχή του Αρχιμήδη 12
Αρχή του Πασκάλ 12
Αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων 12
ατμοπαγίδες 161, 186
ατμοϋδροθάλαμος 107
ατελής καύση 213
ατέρμονας κοιλίας του Αρχιμήδη 9
ατμοσφαιρική πίεση 11
αυλωτοί εναλλακτικές θερμότητας 85
αυτοφερόμενες δεξαμενές 249
άφορτη κατάσταση 399
αφρισμός 305

αφυπερθερμαντήρας ατμού 4, 6
αφυπερθέρμανση 3

B

βαλβίδες

αντλιών 28
απλής εξαερώσεως 228
βαλβίδα τύπου γιώτα 228
βραχυκυκλώσεως ή επιστροφών 174
ελέγχου ροής 2
με αιωρούμενο δίσκο ή κλαπέ 168
πίεσεως κενού 228
προστασίας από την αύξηση της πίεσεως 264
υψηλής ταχύτητας 229

βαλβιδοκιβώτια 176

βαρέα ή υπολειμματικά καύσιμα 193

βαρούλκα 343

άγκυρας 343

προσδέσεως 344

φορτωτήρων 344

βαρύ πετρέλαιο 193, 266, 291

βαρύτητα API ή API-ειδικό βάρος 441

βασικό διάφραγμα της δεξαμενής 249

βιβλίο Πινάκων Βυθομετρήσεως των Δεξαμενών 204

βίντζα 355

βοηθητικά μηχανήματα 2

βοηθητικές εγκαταστάσεις 2

βοηθητικές συσκευές 3

βοηθητικοί γερανοί 6, 8

βραστήρες 301, 314

βραχίονας του γερανού 477

βυθομέτρηση 204

Γ

γαλβανόμετρο 418

γραμμές φορτώσεως 444

Δ

Δελτίο Δεδομένων Ασφαλείας Υλικού 427

δεξαμενές

μεμβράνης 252

δευτερεύον διάφραγμα 249

ημερήσια καταναλώσεως 6, 291

καθαρού έρματος 399

καθιζήσεως ή κατακαθίσεως 7, 208

καταλοίπων 219

υπό πλήρη πίεση 429

φορτίου 249

διάδοση της θερμότητας 302

με αγωγή 302

με ακτινοβολία 302

με συναγωγή 302

διαδοχικός κύκλος επανυγροποιή-

σεως 256

διαύγαση 108

διαυγαστήρες 282

διαφράγματα εναλλακτών 84

διαχυτήρας 127

διαχωριστές-καθαριστές 282

σωληνοειδείς 288

τύπου λεκάνης με δίσκους 289

διαχωριστικές δεξαμενές έρματος 216

διβάθμιο σύστημα άμεσου κύκλου 256

Διεθνής Κώδικας Ασφαλούς Διαχειρίσεως 391, 405

Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) 405

Διεθνής Οδηγός Ασφάλειας Δεξαμενοπλοίων και Εγκαταστάσεων Ξηράς 405

δίκτυα 2

δίκτυα πετρελαίου 120

δίκτυα πυροσβέσεως (πυρκαγιάς) 112

δίκτυο ψύξεως χιτωνίων της κύριας μηχανής 309

δίσκος βαρύτητας 287

δίκρονες μηχανές (διπλού καυσίμου) 270

δοσομετρική διάταξη 305

δύναμη στρέψεως πηδαλίου 363

δυναμική πλοήγηση 466

δωμάτιο ελέγχου φορτίου 201, 232, 399

δωμάτιο ελέγχου μηχανοστασίου 201

Ε

εμπειρικός συντελεστής του πλοίου 449

εγκαταστάσεις

ασφαλείας 3

βοηθητικών υπηρεσιών 3

επανυγροποιήσεως 258

προώσεως 3

φορτίου 3

χειρισμών 3

ειδικό βάρος 210, 282

εκκαπνισμός 121

εκτόπισμα 444

εκτόπισμα αεροσυμπιεστή 146

εκτόπισμα αντλίας 42

εκχυτήρες 124

ακαθαρσιών ή αποχετεύσεως 131

άλμης 132

αντλήσεως κυτών ή εκχυτήρες

κύτους 130

ατμού 132

εξαερισμού 132

κενού 132

μονίμων δεξαμενών έρματος Δ/Ξ ή εκχυτήρες σε σειρά 130

μονοσταδιακοί 129

πολυσταδιακοί 130

προπληρώσεως αντλιών 131

σε σειρά 130

φορητοί 131

ελαφρύ πετρέλαιο 442

ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου μέσα στη δεξαμενή 204

έλικες 461

βήμα 462

διάμετρος 462

με δακτυλίου 465

μεταβλητού βήματος 463

πλήμνη 462

ρίζα 462

σταθερού βήματος 463

έμβολα αντλιών 27

έμβολο διπλής ενέργειας 31

εναλλακτήρες 82

αναμείξεως ή εξ' επαφής 82

αντίθετης ροής ή αντιρροής 83

επιφανείας 84

θερμότητας 82

με επίπεδες πλάκες ή φύλλα 84

παράλληλης ροής ή ομορροής 82

πολλαπλής διαδρομής 85

πολλαπλής ροής 84

σταυρωτής ή κάθετης ροής 83

ενδιάμεσοι κενοί χώροι δεξαμενών 249

ενεργή επιφάνεια βαλβίδας 176

ένσφαιροι τριβείς 52

ενώσεις εκτονώσεως από ελαστομερές 165

εξαεριστής 4, 6

εξαρτήματα χειρισμού 2

εξαρτημένες εγκαταστάσεις 2

εξατμιστές 83, 279

εξατμιστές φορτίου 279

εξέλαση 162

εξυδατωτικός κρουνός 110

εξωτερική λίπανση αεροσυμπιεστών 155

επαγωγικά φορτία 409

επενεργοποιητές 178

επιστόμια

με σύρτες 168

επιστόμια άμεσης διακοπής ροής 176

επιστόμια διακοπής 172

επιστόμια ρυθμίσεως της πίεσεως 173

επιστόμια τύπου πεταλούδας 168

επιστόμιο παρακάμψεως 309

επιστόμια ανεπίστροφα 172

επιστόμια αυτόματα ή επιστόμια

διακοπής και μη επιστροφής 172

επιστόμια με σφαιρική βαλβίδα 221

επιστόμια μεταβλητού ή ελεγχόμενου ανοίγματος 172

επιστόμια χειροκίνητα 172

επιφάνεια ώσεως 462
 επιχειρησιακά απόβλητα 393
 εργάτες και βαρούλκα προσδέσεως 5, 8, 343
 εργάτης άγκυρας 343
 εσωτερική λίπανση αεροσυμπιεστών 155
 εύφλεκτο εύρος 262

Η

ηλεκτροστατικές αποφορτίσεις 410
 ηλεκτροστατική εκκένωση 407, 413
 ηλεκτροστατικό πεδίο 409
 ηλεκτροχημικό στοιχείο 424
 ηλεκτροχημικοί αισθητήρες 422

Θ

θάλαμος στεγανότητας 42
 θάλαμος αναζωογονήσεως 157
 θεμελιώδης Νόμος της υδροστατικής 12
 θερμαντήρες 83
 θερμαντήρες φορτίου υγραεριοφόρων 278
 θερμιδική δύναμη 283
 θερμοδοχείο 134
 θερμοκρασία αναφοράς 450
 θεωρητική παροχή αντλίας
 θυρίστορ 345

Ι

ιδανικά ή τέλεια ρευστά 11
 ιξώδες ρευστού 11
 ιππάριο τύπου Weir 36
 ιπποδύναμη του αεροσυμπιεστή 146
 ιπποδύναμη αντλιών 19
 ισόθερμη συμπίεση 144
 ισχύς ή ιπποδύναμη αντλιών 19
 ισχύς του αεροσυμπιεστή 146

Κ

καμπύλες διαστολής 164
 καθαρά υγρά κατάλοιπα 394
 καλωδιώσεις 2
 κανονάκια 112
 κατάθλιψη της αντλίας 9, 24
 καταλυτική οξείδωση 417
 καταλυτικοί ανιχνευτές πυρακτώσεως ευφλέκτων αερίων 416
 Κατώτερο Όριο Εκρηκτικότητας 215
 Κατώτερο Όριο Ευφλεκτότητας 215
 καύση 213
 καύσιμα από απόσταξη 193
 κέντρο εγκάρσιας αντιστάσεως 359
 κιβώτια δοκιμής 200
 κιβώτιο αναστροφής 463
 κινηματικό ιξώδες 210, 283
 κλειστή φορτοεκφόρτωση 427
 κρίσιμη θερμοκρασία 431

κρίσιμη πίεση 431
 κρουνοί ή βάνες 167
 κρουγενικά Δ/Ξ 430
 κρουγονικός εναλλακτήρας θερμότητας 260

Κύλινδρος

με χιτώνιο αντλίας 27
 υψηλής πιέσεως 147
 χαμηλής πιέσεως 147
 κύριο ψυγείο 4, 6, 95
 κυψελωτοί εναλλακτήρες 87

Λ

λαγουδέρα 369
 λέβητας διπλού καυσίμου 266
 λέβητας καυσαερίων 107
 λήψεις νερού 112
 λοβοί 141
 λόγος συμπίεσεως αεροσυμπιεστή 146
 λουμπρικές 155

Μ

μεμβράνη αντίστροφης ωσμώσεως 340
 μετρητές δείκτη διαθλάσεως 416
 μετρικός τόνος 443
 μηχανικός στυπιοθλίπτης 79
 μικτός όγκος 205
 μικτός παρατηρούμενος όγκος 205
 μονάδα βαλβίδων παροχής του αερίου 268
 μονάδα καύσεως του αερίου 268
 μόνιμο σύστημα καταιονισμού 117
 μαγνητική επιδεκτικότητα αερίου 424
 μανομετρικό ύψος της αντλίας 18
 μειωτήρες 5, 7, 459
 μειωτήρες πιέσεως 161, 173
 μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά (ΔΤ) 84
 μεταλλικά ή ημιμεταλλικά παρεμβύσματα 181
 μέταλλο muntz 96
 μη-καταλυτικοί ανιχνευτές πυρακτώσεως ευφλέκτων αερίων 416
 μηχανήματα διακινήσεως πετρελαίου 4, 6
 μηχανήματα πηδαλιουχέσεως 5, 8, 357
 μηχανήματα χειρισμού καλυμμάτων στομίων κοιτών 6, 8, 478
 μηχανικοί στυπιοθλίπτες 79
 μόνιμοι τύποι μετρητών οξυγόνου 423
 μονοβάθμιο σύστημα άμεσου κύκλου 256

Ν

ναυλοσύμφωνο 443
 νεκρό βάρος 444
 νήμα πυρακτώσεως 416
 νοπή διαχωριστική γραμμή του νερού

με το πετρέλαιο ή έλαιο λιπάνσεως 299

Νόμος Hagen-Poiseuille 14

Νόμος της συνέχειας της ροής 12
 ντήζελ πλοίων 193

Ο

ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως 146
 οδηγός ακμή 462
 οικονομητήρας 83, 107
 ολική φόρτωση 443
 ολισθαίνουσες ενώσεις σωλήνων 165
 οξειδίο του πυριτίου 157
 οπισθέλκουσα δύναμη 363
 όργανα μετρήσεως στάθμης του υγρού στις δεξαμενές 265
 οριζόντιος τριβέας πηδαλίου 374

Π

παρατροπίδια 5, 8, 460
 παρεμβύσματα 180
 παροχή της αντλίας 18
 παροχικοί σίφωνες ή τζιφάρια 124
 περιαυχένια 162
 περιορισμός βυθίσματος 444
 πετρελαιοειδή σταυκής συσσωρεύσεως 410
 πιεστικός πνεύμονας 122
 πίνακες σημάτων και δυσλειτουργιών 5, 7
 πλοία
 με μέση πίεση 429
 με πλήρη ψύξη 429
 μεταφοράς χύδην υδροποιημένων αερίων 249
 με υψηλή πίεση 430
 μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων 473
 μεταφοράς μεθανίου 430
 πλύσιμο με νερό 297
 ποδοβαλβίδες 168
 ποιότητα αναφλέξεως 283
 πολλαπλές συνδέσεις του φορτίου 473
 πολυμερισμός 262
 πολυβάθμια συμπίεση 147
 πολυσταδιακοί αποστακτήρες 308
 πολυτροπική διεργασία 144
 πραγματική παροχή αντλίας 19
 προθερμαντήρες 106
 προθερμαντήρας αέρα 4, 6
 προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού 5, 6, 107
 προσοφθάλμιος φακός 419
 πρωτεύον διάφραγμα δεξαμενής 250
 πτερυγιόφορο πηδάλιο 385
 πτερυγιόφορος περιστροφικός

αεροσυμπιεστής 151
 πυραμίδα της φωτιάς 214

P

ραφινარიσμένα αποστάγματα 291

Σ

σαλαμάστρες 42, 170
 σερπαντίνες 229
 σημειακή διάβρωση 325
 σημείο αναφλέξεως 212
 σημείο ροής 283
 σημείο βρασμού φυσικού αερίου 258
 σήραγγες σωληνώσεων 422
 σπηλαίωση 467
 σπηλαίωση αντλιών 76
 στατικό ή υδροστατικό ή θλιπτικό ύψος 11
 στατικοί συσσωρευτές 407
 στατικός ηλεκτρισμός 407
 στεγανοί χώροι ασφαλείας 216
 στεγανοποίηση αντλιών 78
 στοιχεία εξατμίσεως 304
 στοιχειομετρική καύση 213
 στραγγιστήρια 190
 στροβιλαντίες 65
 στροφέα-περωτές 52
 ανοικτά 59
 ημίκλειστα 58
 κλειστού τύπου 58
 στροφέο επαγωγής 234
 στυπεία 169
 συμβατότητα καυσίμων 283
 συμπίεστές για LNG Δ/Ξ 276
 συμπίεστές για LPG Δ/Ξ 273
 συμπυκνωτές 94
 σύνδεσμος τύπου ερμέτο 164
 συνδέσεις σωλήνων με την ξηρά στο κατάστρωμα του πλοίου 206
 σύνδεση σωλήνων 162
 σύνδεσμος ή ρακόρ 164
 συνολικός αριθμός βάσεως 283
 συνολικός βαθμός αποδόσεως αεροσυμπιεστή 146
 συνολικός όγκος φορτίου 449
 συντελεστής μετατροπής ειδικού βάρους 446
 συντελεστής αγωγιμότητας 93
 συντελεστής Διορθώσεως Βάρους 205
 συντελεστής Διορθώσεως του Όγκου 205
 συστήματα

Primavac 224
 Vac Strip 225
 αδρανούς αερίου 6, 8, 236
 αυτοματισμών 5, 7
 δακτυλίου 217
 διαχειρίσεως του φορτίου 474
 διαχωρισμού ALCAP 296
 έκτακτης διακοπής των λειτουργιών 264
 ελεύθερης ροής 217
 επανυγροποιήσεως άμεσου κύκλου 256
 επανυγροποίησης έμμεσου κύκλου 257
 διακοπής λειτουργίας εκτάκτου ανάγκης 439
 ελέγχου στάθμης των δεξαμενών 439
 ελεύθερης ροής (σύστημα αγωγών διαχειρίσεως φορτίου) 217
 συναγερμού και διακοπή των λειτουργιών 265
 σφαιρικές βαλβίδες 41
 σχηματισμός ένυδρου άλατος 263
 σχισμές ροής ή διάκενα ροής 88
 σωλήνα Venturi 13, 124
 σωλήνα ψεκασμού υγροποιημένου αερίου 268
 σωλήνας χημικού ενδείκτη 421
 σωληνοειδής διαχωριστής 289
 σωσίβιος κρουνός 122

T

τιμήματα ψύξεως του αέρα 96
 ταινία βυθομετρήσεως 204
 τάση ατμών 210, 260
 ταχύτητα ομόρρου 462
 τέλεια ή πλήρης καύση 213
 τετράχρονοι μηχανές διπλού καυσίμου 267
 τοξίμετρα 421
 τοξικότητα 426
 τραβηκτοί αυλοί 96
 τραβηκτοί σωλήνες 162
 τριβέας στηρίξεως πηδαλίου 372
 τρίγωνο της φωτιάς 214
 τριχοειδής συγκόλληση ή ασημοκόλληση 164
 τροχαλίες 343, 473

Y

υγραεριοφόρα 211, 248
 υγροποιημένο αέριο πετρελαίου 429

υγροποιημένο φυσικό αέριο 430
 υδραυλική δοκιμή 115
 υδραυλικό κύττημα ή πλήγμα 14
 υδροδείκτης ή υαλοδείκτης 2, 30
 υδροστατική πίεση 11
 υπέρυθροι αισθητήρες 416
 υπολείμματα από πετρελαιοειδή 211
 υπόψηξη 101
 ύψη των αντλιών 16

Φ

φαινόμενη ολίσθηση ή ολίσθηση του πλοίου 462
 φλογοπαγίδες 265
 φόρμα ανεφοδιασμού καυσίμων ή φόρμα πετρελεύσεως 195
 φορέας στηρίξεως πηδαλίου 374
 φορητοί μετρητές οξυγόνου 423
 φορτοεκφορτωτικά μέσα 6, 8, 473
 φυγοκεντρικοί διαχωριστές 282
 φυγοκεντρικός καθαριστής-διαχωριστής ελαίου 5, 7
 φυγοκεντρικός καθαριστής-διαχωριστής πετρελαίου 5, 7
 φυσικά ρευστά 11
 φυσικό υγρό αέριο ή υγρό αέριο 430

X

χημικοί ανιχνευτές σωλήνα αντλίας 421
 xoάνη καταθλίψεως 96
 Χρονικά Σταθμισμένη Μέση Τιμή 427
 χρόνος ανακουφίσεως ή χρόνος αποφορτίσεως 408

Ψ

ψεκαστήρες καταιονισμού 118
 ψυγεία ή ψυκτικές 83, 94
 αναθερμάνσεως 97
 αντιστρεφόμενης ροής ατμού 97
 απλής ροής 97
 διπλής ροής 97
 κυλινδρικά και ελλειπτικά 97
 συμπυκνώσεως ή συμπυκνωτές 94

Ω

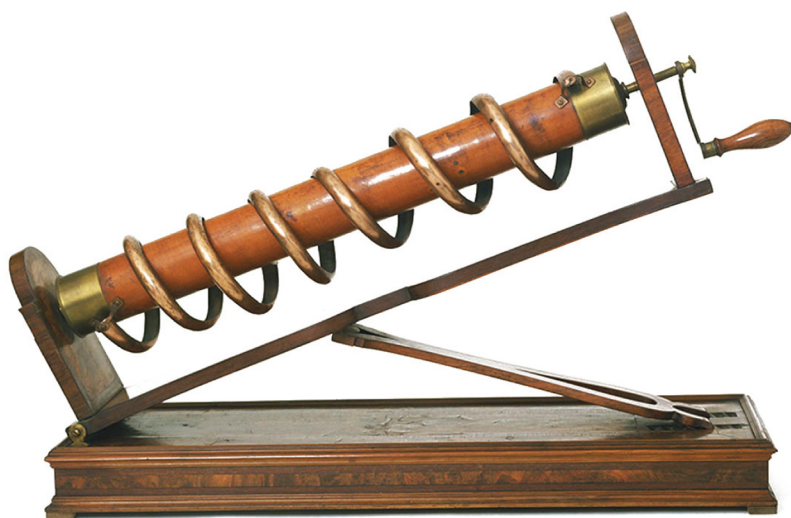
ώσωση 337
 ώσωση αντίστροφη 301, 338
 ωσμωτική πίεση 338
 ωστικός τριβέας 452

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A Heat Transfer Textbook 3rd ed. J. Lienhard, J. Lienhard, 2003.
- A Practical Guide to Compressor Technology by Heinz P. Bloch, 2006, John Wiley & Sons, INC.
- AQUAMAR Fresh Water Generators
- Basic ship theory/K.J. Rawson, E.C. Tupper, 2001, Butterworth-Heinemann.
- Boiler Operator's Handbook Kenneth E. Heselton, PE, CEM, 2005, The Fairmont Press, Inc.
- Cameron Hydraulic Data Book, 19th edition, Pump Technical Books, FLOWSERVE
- Centrifugal Compressors: A Basic Guide, Meherwan P. Boyce, 2003, Penn Well Corporation.
- Centrifugal Pump Handbook, Third Edition, Sulzer Pumps, 2010, Elsevier, Inc.
- Compressed Air Operations Manual, Brian S. Elliott, 2006, McGraw-Hill.
- Compressors, Third Edition: Selection and Sizing by Royce N. Brown, 2005, Elsevier, Inc.
- Control Valve Handbook Fourth Edition, Emerson Process Management, Fisher Controls International LLC 2005
- Distillation Theory and Its Application to Optimal Design of Separation Units, F. B. Petlyuk 2004, Cambridge University Press.
- Distillation Theory, Ivar J. Halvorsen and Sigurd Skogestad Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering, Norway
- Documentation from International Association of Classification Societies, 2009
- ELLEHAMMER A/S Denmark
- Forsthoffer's Rotating Equipment Handbooks Compressors 2005 Elsevier Science & Technology Books
- Fundamentals of Heat Exchanger Design by Ramesh K. Shah and Dusan P. Sekulic, 2002, John Wiley & Sons, INC.
- Handbook of Evaporation Technology, Paul E. Minton Union Carbide Corporation South Charleston, West Virginia, 1986 Noyes Publications.
- Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design, Second Edition, Sadik Kakac, Anchasa Pramuanjaroenkij, Hongtan Liu, 2002, Taylor & Francis Group, LLC.
- Introduction to Marine Engineering Second Edition, D. A. Taylor, 1996, Elsevier.
- Know and Understand Centrifugal Pumps, Larry Bachus, Angel Custodio, 2003 Bachus Company Inc, Elsevier Ltd.
- Marine Auxiliary Machinery and Systems M. Khetagurov – 2004
- Marine Auxiliary Machinery H. D. McGeorge – 1999, Elsevier, Inc.
- Marine propulsion & auxiliary machinery: the journal of ships, 2005.
- Marine Rudders and control Surfaces, Anthony F. Molland, Stephen R. Turnock, 2008, Butterworth Heinemann.
- McGuire, G., and White, B. (1986). Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals. SIGTTO.
- Modern Marine Engineering, Harry George Cisin, BiblioLife, 2008
- Paris MoU, Annual Report, 2009
- Pipe Drafting and Design, Second Edition, Roy A. Parisher and Robert A. Rhea, 2001, Gulf Professional Publishing, Elsevier.
- Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines, Ninth Edition by Doug Woodyard, 2009, Elsevier, Inc.
- Practical Centrifugal Pumps Design, Operation and Maintenance, Paresh Girdhar, Octo Moniz, 2005, IDC Technologies.
- Principals of Naval Architecture, SNAME 1988.
- 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 Third Edition 2001, McGraw-Hill Companies, Inc.
- SOLAS 2002, Consolidated edition of IMO, 2002
- Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals 3rd Ed, McGuire, Graham and White, Barry, Seamanship International, United Kingdom, 2000
- LNG Shipping Knowledge 2nd Edition, Witherby Publishing Group, 2011
- International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), IMO Publications.

Safety Guide Liquefied, International Chamber of Shipping, Second edition 1995, Edward Mortimer Ltd, London
ISGOTT, International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals, Fifth Edition 2006, WITHERBY & CO. LTD
SPERRE Industry AS Instruction Manual Air Compressor HV2/200
TeamTec stripping ejectors
Valve Selection Handbook Fifth edition Peter Smith, R.W. Zappe 2004, Elsevier, Inc.
Βοηθητικά μηχανήματα πλοίων, Γ. Δανιήλ, Κ. Μιμηκόπουλου, 2006, Ίδρυμα Ευγενίδου.





*Αντίγραφο του κοχλία του σπουδαίου Έλληνα
μαθηματικού, φυσικού και μηχανικού της
αρχαιότητας Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.).
Μουσείο του Γαλιλαίου, Ιταλία.*