



ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ Γ. ΚΑΝΑΚΑΚΗ



ΑΘΗΝΑ 2011

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Α΄ ΕΚΔΟΣΗ 2011
ISBN: 978-960-337-100-7

Copyright © 2011 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

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», προείδε ενωρίτατα και οχημάτισε τη βαθιά πεποίθηση ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο του έθνους αποτελεί η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας σε συνδυασμό προς την ηθική τους αγωγή.

Την πεποίθησή του αυτή την μετέτρεψε σε γενναία πράξη ευεργεσίας, όταν κληροδότησε σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, τον Φεβρουάριο του 1956 συνεστήθη το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου την διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Από τη στιγμή εκείνη άρχισαν πραγματοποιούμενοι οι σκοποί που οραματίστηκε ο Ευγένιος Ευγενίδης και συγχρόνως η εκπλήρωση μιας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου. Το έργο του Ιδρύματος συνέχισε από το 1981 μέχρι το 2000 ο Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης· έκτοτε συνεχίζει αυτό ο κ. Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης.

Κατά την κλιμάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα προέταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διεπιστώθη πράγματι ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν ορθά θεμέλια στην παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε τότε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές. Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61228/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του ΥΕΝ, οπότε και συνεκροτήθη και η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων.

Αποτέλεσμα της συνεργασίας αυτής ήταν η έκδοση της Σειράς Βιβλιοθήκη του Ναυτικού, όπου εξεδόθησαν: α) Για τους μαθητές των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού 30 τόμοι βιβλίων (1967 – 1979). β) Για τις ΑΔΣΕΝ (Ανώτερες Δημόσιες Σχολές Εμπορικού Ναυτικού) 54 τόμοι (1979 – 2001).

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι σύμφωνα με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του ΥΕΝ, ήταν η παροχή προς τους σπουδαστές των Ναυτικών Σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων τότε εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

Επίσης ελήφθη ιδιαίτερη πρόνοια, ώστε τα βιβλία αυτά να είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία του κλάδου τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επέρχεται μεταβολή στη σάθμη του περιεχομένου τους.

Με την υπ. αρ. Μ 2111. 1/2/99/28-05-1999 (ΦΕΚ 1168Β/14-6-99) υπουργική απόφαση, όπως τροποποιήθηκε με την Κ.Υ.Α. των υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών και Εμπορικής Ναυτιλίας αρ. Μ 3611.2/05/05/16-12-2005 (ΦΕΚ 1942 Β/30-12-2005 και ΦΕΚ 169 Β/13-02-2006), το ΥΕΝ ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή και έκδοση των διδακτικών εγχειριδίων των Ναυτικών Ακαδημιών· ήδη το ΥΠ.ΟΙ.Α.Ν.

προεκήρυξε την συγγραφή 27 βιβλίων προς κάλυψη των αναγκών των σπουδαστών βάσει των ισχυόντων αναλυτικών προγραμμάτων.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος καταβάλλουν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των σπουδαστών. Γι' αυτό έχουν προσεγμένη γλωσσική διατύπωση των κειμένων τους και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαιδεύσεως, για την οποία προορίζονται.

Με την προσφορά στους καθηγητές, στους σπουδαστές των ΑΕΝ και σε όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού των εκδόσεών του, το Ίδρυμα συμβάλλει στην πραγματοποίηση του σκοπού του ιδρυτή του Ευγενίου Ευγενίδου.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Εμμανουήλ Δρns, καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ.

Ιωάννης Τζαβάρας, αντιναύαρχος Λ.Σ. (Ε.Α.).

Ιάκωβος Σέργης, πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. Υ.Θ.Υ.Ν.Α.Α.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Αγγ. Μανάφης**, ομότιμος καθηγ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών.

Ειδικός Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο «Ψυκτικές και Κλιματιστικές Εγκαταστάσεις» ο κ. **Δημήτριος Κουρεμένος**, ομότιμος καθηγ. ΕΜΠ.

Διατελέσαντα μέλη της Επιτροπής

Γ. Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Καλογεράς* (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, *Α. Παππάς* (1955-1983) καθηγητής ΕΜΠ, *Χ. Καβοννίδης* (1955-1984) Μπχ. Ηλ. ΕΜΠ, *Μ. Αγγελόπουλος* (1970-2003) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, *Σπ. Γουλιέλμος* (1958) Αντ/ρχος, *Ξ. Αντωνιάδης* (1959-1966) Αντ/ρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Γ. Τσακίρης* (1967-1969) Πλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ελλ. Σίδερης* (1967-1969) Υποναύαρχος, *Π. Φουσιέρης* (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. Σπαρτιάτης* (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 Πειραιώς (-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. Κοκορέσιος* (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. Καλαράνης* (1996-1998) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Θ. Ρενιζεπέρης* (1998-2000) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ι. Στεφανάκης* (2000-2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μαρίνος* (2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Εξαρχόπουλος* (2001-2003) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Κ. Μπριλάκης* (2003-2004) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Ν. Θεμέλαρος* (2003-2004) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Κουβέλης* (2004-2005) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Δ. Βασιλάκης* (2005-2008) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Π. Πειρόπουλος* (2008-2009) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ., *Α. Μαισάγγος* (2009-2011) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαιδ..

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ Γ. ΚΑΝΑΚΑΚΗ

Δρ. Πολυτεχνείου Κρήτης
Ναυπηγού Μηχανολόγου Μηχανικού Ε.Μ.Π.
Επίκουρου Καθηγητή Α.Ε.Ν. Κρήτης

ΑΘΗΝΑ
2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Το βιβλίο «Ψυκτικές και Κλιματιστικές Εγκαταστάσεις» απευθύνεται στους σπουδαστές των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού και είναι γραμμένο σύμφωνα με την αναλυτική ύλη του σχετικού μαθήματος. Λόγω της ευρύτητας, με την οποία παρουσιάζονται τα θέματα παραγωγής ψύχους, το βιβλίο αυτό μπορεί να φανεί χρήσιμο και σε φοιτητές Πολυτεχνικών Σχολών και Τεχνολογικών Ιδρυμάτων, καθώς και σε τεχνικούς ψύξεως και κλιματισμού. Με δεδομένη την πληθώρα των συγχρόνων εφαρμογών της ψύξεως, κατά τη διάρκεια της συγγραφής κατεβλήθη προσπάθεια αφενός να καλυφθεί η ύλη του μαθήματος και αφετέρου να παρουσιαστούν τα περισσότερα από τα τεχνικά θέματα της ψύξεως που ενδέχεται να συναντήσει ο σπουδαστής των ΑΕΝ κατά τη διάρκεια της σταδιοδρομίας του.

Η ψύξη και ο κλιματισμός αν και ήταν ζιτούμενο από πολύ παλιά, αποτελούν σχετικά πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα. Αυτό οφείλεται στο ότι για την υλοποίηση των θερμοδυναμικών ψυκτικών κύκλων και την παραγωγή ψύχους απαιτούνται σύνθετα μηχανολογικά εξαρτήματα, όπως επίσης απαιτείται να χρησιμοποιούνται σύνθετες μέθοδοι και εξαρτήματα ρυθμίσεως. Έτσι, για την κατανόηση της λειτουργίας των ψυκτικών μηχανών και των τμημάτων τους χρειάζονται αφενός θεωρητικές γνώσεις και αφετέρου γνώσεις της κατασκευής και της λειτουργίας του κάθε επιμέρους εξαρτήματος.

Η τεχνική παραγωγής ψύχους, αποτελεί ένα δύσκολο τμήμα της εργασίας του Μηχανικού Εμπορικού Ναυτικού. Αυτό προκύπτει από την πληθώρα των εφαρμογών ψύξεως στα πλοία και από την ουσιαστική συμβολή που αυτές έχουν, τόσο στη μεταφορά διαφόρων φορτίων, όσο και στην άνετη διαβίωση του πληρώματος.

Η επιλογή της ύλης και η βαρύτητα που δόθηκε κατά την ανάπτυξη των επιμέρους τμημάτων του βιβλίου, έγινε με κριτήριο την κατανόηση της λειτουργίας των ψυκτικών εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται σήμερα κατά κόρον στα εμπορικά πλοία. Επί πλέον έγινε προσπάθεια η περιγραφή των θεμάτων που αναπτύσσονται να είναι πλήρης. Για αυτόν το λόγο περιλαμβάνονται οι βασικές γνώσεις θερμοδυναμικής και οι χρησιμοποιούμενες μονάδες μετρήσεως έτσι ώστε το βιβλίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τεχνικό εγχειρίδιο για μελλοντική αναφορά σε θέματα ψύξεως και κλιματισμού. Τα τμήματα του βιβλίου, τα οποία αποτελούν τμήμα της τεχνικής της ψύξεως και των εφαρμογών της, αλλά δεν συναντώνται συχνά στα πλοία, προκειμένου να διευκολυνθεί η διδασκαλία του μαθήματος στις ΑΕΝ, περιελήφθησαν σε Παραρτήματα στο τέλος του βιβλίου.

Τα κεφάλαια που περιέχονται στο παρόν βιβλίο χωρίζονται σε τρία μέρη. Στο **πρώτο μέρος** δίνονται οι θεωρητικές γνώσεις που απαιτούνται για την κατανόηση της λειτουργίας των ψυκτικών μηχανών και γίνεται μια πρώτη γενική περιγραφή των μεθόδων παραγωγής ψύχους που υπάρχουν σήμερα και οι εφαρμογές τους. Επίσης, γίνεται ανάλυση του ψυκτικού κύκλου και περιγράφονται τα ψυκτικά μέσα και οι ιδιότητές τους. Στο **δεύτερο μέρος** περιγράφονται τα κύρια μέρη και τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια ψυκτική εγκατάσταση, όπως ο συμπιεστής, ο αιμοποιητής, ο συμπυκνωτής, η εκτονωτική διάταξη, καθώς και όλες οι βαλβίδες και τα εξαρτήματα που συναντώνται. Επίσης, περιγράφονται οι διαδικασίες συντηρήσεως και επισκευής των ψυκτικών εγκαταστάσεων. Τέλος, στο **τρίτο μέρος** περιγράφονται οι συνθήσεις εγκαταστάσεις που υπάρχουν στα πλοία και το βιβλίο ολοκληρώνεται με τις θεωρητικές γνώσεις και την περιγραφή μιας ειδικής κατηγορίας των ψυκτικών εγκαταστάσεων, τις κλιματιστικές εγκαταστάσεις.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνεργάτες του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τις προσπάθειες που κατέβαλαν για τη διόρθωση των κειμένων και για την άρτια παρουσίαση των εικόνων του βιβλίου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το φίλο και συνάδελφο κ. Γ. Καπουρε-

λάκο Α' Μηχανικό Ε.Ν., τόσο για τις παρατηρήσεις του που συνέβαλαν στην πληρότητα των θεμάτων που αναπτύσσονται και αφορούν στις εφαρμογές ψύξεως στα πλοία, όσο και για τα ενθαρρυντικά του σχόλια κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Ζητώ την κατανόηση των αναγνωστών για την ύπαρξη τυχόν λαθών στο κείμενο και τους προτρέπω να συνεισφέρουν στην ορθότητα του βιβλίου με την επισήμανσή τους και τη διόρθωσή τους σε επόμενη έκδοση.

Το βιβλίο αυτό αφιερώνεται στις κόρες μου Γεωργία και Μικαέλα-Φανή.

Ο συγγραφέας

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ**

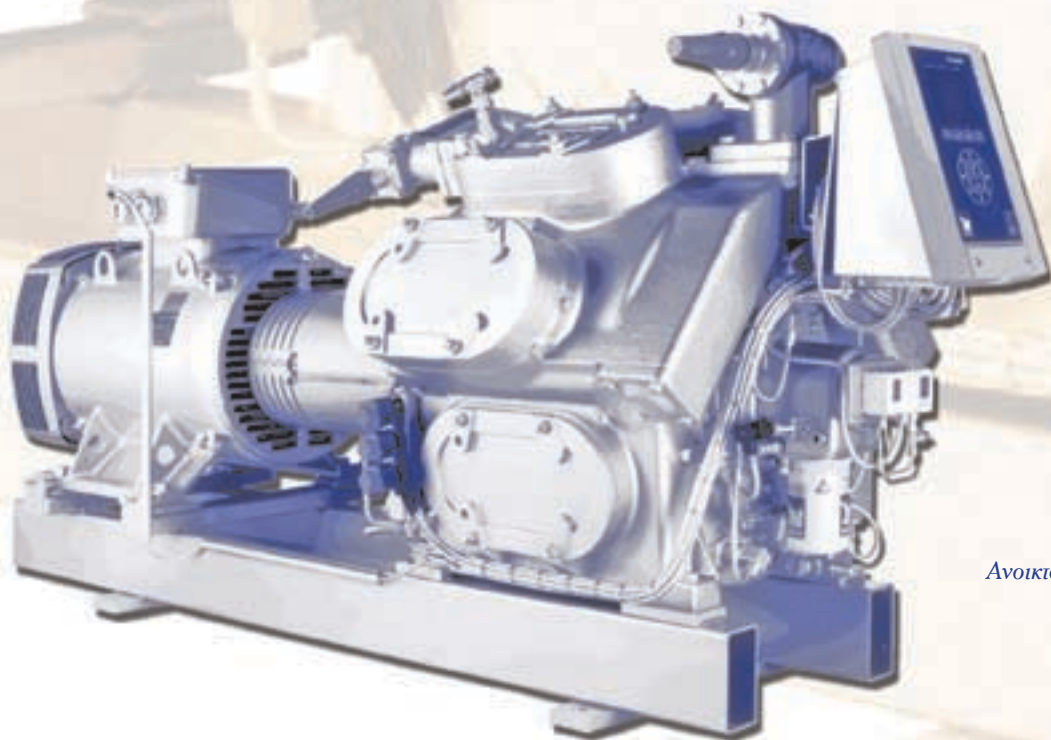
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγικές γνώσεις θερμοδυναμικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βασικές αρχές ψύξεως

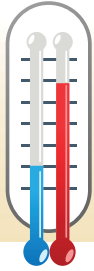
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Ψυκτικοί κύκλοι με μηχανική συμπίεση ατμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Ψυκτικά μέσα και ψυκτικά διαλύματα

Στο πρώτο μέρος του παρόντος βιβλίου εξετάζονται τα κεφάλαια που αφορούν στις θεωρητικές γνώσεις πάνω στις οποίες βασίζεται η λειτουργία των ψυκτικών μηχανών. Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στοιχεία από τη θεωρία της θερμοδυναμικής που χρησιμοποιούνται στην ψύξη. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην τεχνολογία της ψύξεως και δίνονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των διαφόρων ψυκτικών μηχανών και τα πεδία εφαρμογής που αυτές βρίσκουν. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται θερμοδυναμικά ο κύκλος μηχανικής συμπίεσεως ατμών, ο οποίος είναι αυτός με την ευρύτερη εφαρμογή στα πλοία και στις συνήθεις ψυκτικές εγκαταστάσεις ξηράς. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται οι ιδιότητες των ψυκτικών μέσων και γίνεται αναφορά στις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.



Ανοκτός εμβολοφόρος συμπιεστής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγικές γνώσεις θερμοδυναμικής

1.1 Γενικά.

Η τεχνολογία παραγωγής ψύξεως βασίζεται στη γνώση των ιδιοτήτων της ύλης, όπως αυτή περιγράφεται από την επιστήμη της θερμοδυναμικής. Η εξοικείωση με τις έννοιες της θερμοδυναμικής είναι αναγκαίο εφόδιο για τον τεχνικό που ασχολείται με τις ψυκτικές εγκαταστάσεις, προκειμένου να είναι σε θέση να γνωρίζει τη λειτουργία μιας εγκαταστάσεως, να αναγνωρίζει τυχόν δυσλειτουργίες και βλάβες και να βρίσκει τις αιτίες που τις προκαλούν.

Στο παρόν κεφάλαιο ορίζονται οι μονάδες μετρήσεως των διαφόρων μεγεθών στο Μετρικό και στο Αγγλοσαξονικό σύστημα και δίνονται οι μεταξύ τους σχέσεις. Επίσης γίνεται αναφορά σε θεμελιώδη μεγέθη της θερμοδυναμικής και δίνονται οι βασικοί ορισμοί και οι αρχές της.

1.2 Πίεση.

Η πίεση είναι η δύναμη, η οποία ασκείται σε μία μονάδα επιφανείας και ορίζεται ως εξής:

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

όπου με p συμβολίζεται η πίεση, F , η δύναμη και A η επιφάνεια.

Οι μονάδες μετρήσεως της πίεσεως και οι μεταξύ τους σχέσεις αναφέρονται στο Παράρτημα 7.

Η μέτρηση της πίεσεως, γίνεται με μανόμετρα, η κατασκευή των οποίων περιγράφεται παρακάτω. Η ένδειξη των μανομέτρων είναι η υπερπίεση έναντι της ατμόσφαιρας και ισούται με τη διαφορά της μετρούμενης πίεσεως από την ατμοσφαιρική πίεση, η οποία επικρατεί στο χώρο που βρίσκεται το μανόμετρο. Γι' αυτόν το λόγο η ένδειξη του μανομέτρου δεν ταυτίζεται με την πίεση του χώρου που μετράται, η οποία ονομάζεται **απόλυτη πίεση** (absolute pressure) και συμβολίζεται με a (πχ. psia). Η ένδειξη του μανομέτρου ονομάζεται **μανομετρική πίεση** (gauge pressure) και συμβολίζεται με g (πχ. psig).

Στο σχήμα 1.2α φαίνεται η μέτρηση της πίεσεως ενός αερίου μ' ένα μανόμετρο υδραργυρικής στήλης. Η ένδειξη του μανομέτρου, η οποία είναι η διαφορά ύψους της στήλης h , εκφράζει τη διαφορά της πίεσεως του αερίου μείον την ατμοσφαιρική και ισούται με:

$$P_a - 1Atm = h \cdot \epsilon_{Hg}$$

Κατά συνέπεια, η απόλυτη πίεση ισούται με την μανομετρική συν μια ατμόσφαιρα:

$$(\text{απόλυτη πίεση}) = (\text{μανομετρική πίεση}) + (\text{ατμοσφαιρική πίεση})$$

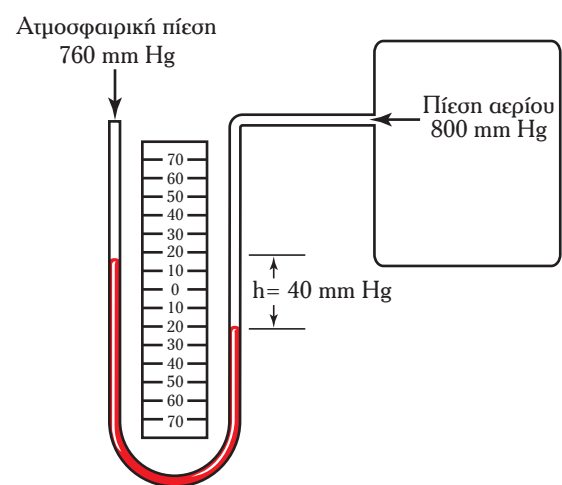
η αλλιώς:

$$P_a = P_g + 1Atm.$$

Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.2α, αν ο χώρος που μετρείται έχει απόλυτη πίεση 800 mm Hg και η ατμοσφαιρική πίεση είναι 760 mm Hg, η ένδειξη του μανομέτρου, δηλαδή το ύψος της υδραργυρικής στήλης θα είναι:

$$h = 800 \text{ mm Hg} - 760 \text{ mm Hg} = 40 \text{ mm Hg}.$$

Λαμβάνοντας υπόψη την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσεως σε kg/cm^2 και σε psi , η απόλυτη πίεση υπο-



Σχ. 1.2α.

Μέτρηση πίεσεως με μανόμετρο στήλης υδραργύρου.

λογίζεται από τη μανομετρική ως εξής:

$$P_a \left(\frac{kp}{cm^2} \right) = P_g \left(\frac{kp}{cm^2} \right) + 1,03323 \text{ και}$$

$$psia = psig + 14,69595$$

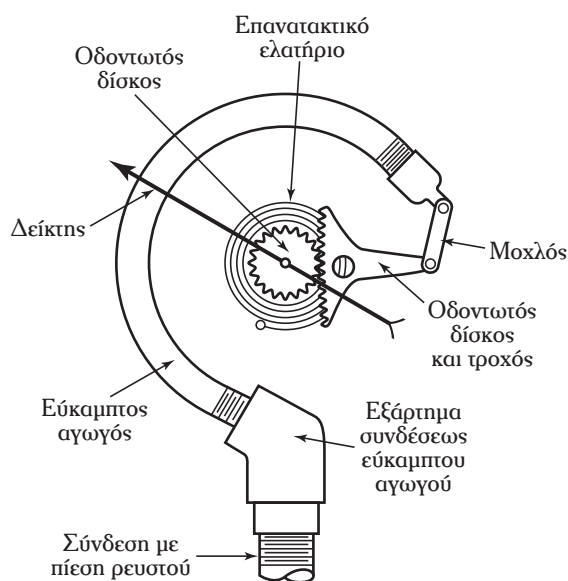
όπου: $1 \text{ Atm} = 1,03323 \text{ kp/cm}^2 = 14,69695 \text{ psi}$.

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται στην τεχνική της ψύξεως, διότι ανάγουν την ένδειξη των μανομέτρων σε απόλυτη πίεση. Αυτό έχει σημασία διότι οι ιδιότητες των ψυκτικών μέσων περιγράφονται σε διαγράμματα και πίνακες, με την απόλυτη πίεση, ενώ οι ενδείξεις των οργάνων είναι η μανομετρική πίεση.

- Όργανα μετρήσεως πιέσεως - Μανόμετρα.

Η μέτρηση της πιέσεως γίνεται με ειδικά όργανα τα οποία ονομάζονται **μανόμετρα**. Τα μανόμετρα ύψους στήλης υδραργύρου ή νερού, στην πράξη χρησιμοποιούνται μόνο για τη μέτρηση της πιέσεως του αέρα που ρέει σε αεραγωγούς, η οποία δεν είναι πολύ μεγαλύτερη απ' την ατμοσφαιρική. Για τη μέτρηση μεγάλων πιέσεων τα μανόμετρα στήλης δεν χρησιμοποιούνται λόγω του μεγάλου ύψους της στήλης και του μεγάλου μήκους που πρέπει να έχει η σωλήνα της στήλης. Για τέτοιες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί τα μανόμετρα ελικοειδούς σωλήνα ή τύπου Bourdon.

Ένα τέτοιο μανόμετρο τύπου Bourdon φαίνεται



στο σχήμα 1.2β και αποτελείται από ένα εύκαμπτο ελικοειδή αγωγό μέσα σ' ένα κέλυφος. Ο εύκαμπτος αγωγός τείνει να αλλάξει σχήμα και να ευθυγραμμιστεί, όταν η μια του άκρη συνδεθεί με την πίεση του ρευστού. Η άκρη του αγωγού είναι συνδεδεμένη με ένα οδοντωτό δίσκο μέσω ενός μοχλού. Ο οδοντωτός δίσκος βρίσκεται σε ζεύξη με ένα οδοντωτό τροχό, στον οποίο στηρίζεται η ενδεικτική βελόνα. Ο δείκτης της βελόνας μετακινείται πάνω στο κέλυφος, όπου υπάρχει η κλίμακα της πιέσεως.

Ανάλογα με το μέγεθος και το εύρος της μετρούμενης πιέσεως, υπάρχουν μηχανικά μανόμετρα με παρόμοια κατασκευή όπως αυτά του τύπου Bourdon, όπου η μέτρηση της πιέσεως γίνεται με μετακίνηση ενός διαφράγματος ή ενός πτυχωτού σωλήνα (φυσούνας).

Στα μανόμετρα που χρησιμοποιούνται στην ψύξη και στον κλιματισμό, σε πολλές περιπτώσεις, δίπλα από την κλίμακα της πιέσεως, υπάρχει και η κλίμακα της θερμοκρασίας ατμοποίησης που αντιστοιχεί, για το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο. Στην περίπτωση αυτή το ψυκτικό μέσο, αναγράφεται στην κλίμακα του μανομέτρου.

Εκτός από τα μηχανικά μανόμετρα, υπάρχουν και ψηφιακά μανόμετρα, τα οποία βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Τα ψηφιακά μανόμετρα δείχνουν την μανομετρική πίεση σε μια οθόνη, ενώ υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των μονάδων. Επί πλέον τα ψηφιακά μανόμετρα μπορεί να ρυθμιστούν



Σχ. 1.2β.

Μανόμετρο ελικοειδούς σωλήνα (τύπου Bourdon).

έτσι, ώστε η ένδειξή τους να είναι η απόλυτη πίεση. Τέτοια μανόμετρα χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές των ψυκτικών εγκαταστάσεων, διότι το ψηφιακό σήμα που παράγουν ενσωματώνεται ευκολότερα σε διατάξεις παρακολούθησης και αυτοματισμού της λειτουργίας της εγκαταστάσεως.

1.3 Ενέργεια – Έργο – Ισχύς.

Η ενέργεια είναι ένα μέγεθος που περιγράφει την δυνατότητα της ύλης να παράγει έργο. Υπάρχουν πολλές μορφές ενέργειας, οι σημαντικότερες απ' τις οποίες είναι η θερμική, η κινητική, η δυναμική, η ηλεκτρική και η χημική. Οι μορφές αυτές μπορούν να μετασχηματίζονται, ενώ κατά τους μετασχηματισμούς ισχύει η αρχή διατηρήσεως της ενέργειας.

Το έργο είναι το ποσό της ενέργειας που αλλάζει μορφή και ορίζεται από τη μετακίνηση του σημείου εφαρμογής μιας δυνάμεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3. Ο ορισμός του έργου είναι:

$$W = F \cdot s,$$

όπου W είναι το έργο, F η δύναμη και s η μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της.

Η ισχύς είναι το έργο το οποίο παράγεται στην μονάδα του χρόνου και ορίζεται ως εξής:

$$P = \frac{W}{t},$$

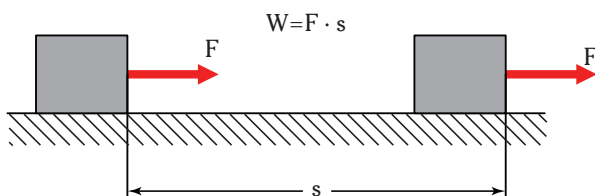
όπου P είναι η ισχύς, W το έργο ή η ενέργεια και t ο χρόνος.

Στην περίπτωση μίας μηχανής, η αποδιδόμενη ισχύς προσδιορίζεται από τη στρεπτική ροπή στον άξονα, επί τη γωνιακή ταχύτητα:

$$P = M_t \cdot \omega = M_t \cdot 2\pi n,$$

όπου P είναι η ισχύς, M_t η στρεπτική ροπή, ω η γωνιακή ταχύτητα και n η συχνότητα περιστροφής η οποία ισούται με:

$$n = \frac{rpm}{60}.$$



Σχ. 1.3.

Ορισμός έργου μιας δυνάμεως, η οποία μετακινεί το σημείο εφαρμογής της.

Με τις παραπάνω σχέσεις μπορεί να υπολογισθεί η ισχύς όταν είναι γνωστή η στρεπτική ροπή και ο αριθμός στροφών του άξονα. Μετά τις πράξεις και τους μετασχηματισμούς των μονάδων, η ισχύς σε hp, όταν η ροπή δίνεται σε krcm και οι στροφές σε rpm, είναι:

$$P(\text{hp}) = \frac{1}{71620} \cdot M_t(\text{krcm}) \cdot rpm$$

Οι μονάδες ενέργειας και έργου δίνονται στο Παράρτημα 7.

1.4 Θερμοκρασία.

Η θερμότητα ή θερμική ενέργεια, μιας ποσότητας ύλης ισούται με το άθροισμα της κινητικής ενέργειας των μορίων κατά τη θερμική τους κίνηση. Ο υπολογισμός της θερμότητας που περιέχει ένα σώμα, αντί να γίνεται άμεσα με την πρόσθεση των κινητικών ενεργειών των μορίων του, γίνεται έμμεσα με τη θερμοκρασία του. Η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της ενέργειας που περιέχει ένα σώμα, το οποίο αυξάνεται με τη θερμότητα.

Επί πλέον η θερμοκρασία είναι ένα φυσικό μέγεθος που καθορίζει τη ροή της θερμότητας από το ένα σώμα στο άλλο. Αυτό ισχύει διότι όπως παρατηρείται στη φύση, η θερμότητα μπορεί να μεταδίδεται από ένα σώμα που έχει υψηλή θερμοκρασία προς ένα άλλο, το οποίο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία. Οι κλίμακες μετρήσεως της θερμοκρασίας και οι μεταξύ τους σχέσεις περιγράφονται στο Παράρτημα 7.

1.5 Μορφές της ύλης – Εσωτερική ενέργεια.

Η ύλη σε όλες τις μορφές αποτελείται από μόρια. Το μόριο μίας ουσίας είναι το μικρότερο κομμάτι, το οποίο μπορεί να σχηματιστεί από μια ουσία και ταυτόχρονα να έχει όλες τις ιδιότητές της. Όλα τα μόρια με τη σειρά τους αποτελούνται από άτομα. Όταν τα άτομα μιας ουσίας ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζουν μόρια της ουσίας αυτής, ενώ όταν ενώνονται με άλλα άτομα σχηματίζουν χημικές ενώσεις.

Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομα σ' ένα μόριο είναι ηλεκτροστατικής φύσεως, δηλαδή μόρια σχηματίζουν τα άτομα που έχουν ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία, τα οποία γι' αυτόν τον λόγο έλκονται. Έτσι ένα μόριο μίας ουσίας είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και δεν αλληλεπιδρά με ηλεκτρικές δυνάμεις με τα γειτονικά του. Με τα γειτονικά του μόρια, ένα μόριο συγκρούεται δεδομένου ότι καταλαμβάνει ένα

συγκεκριμένο χώρο μέσα στον οποίο μπορεί να κινείται. Η κίνηση αυτή των μορίων αυξάνεται ονομάζεται **θερμική κίνηση** και αυξάνεται με τη θερμοκρασία, ενώ σταματάει στο απόλυτο μηδέν ($-273,15^\circ\text{C}$). Έτσι τα μόρια θεωρούνται ότι βρίσκονται σε μια κατάσταση συνεχούς ταλαντώσεως, το εύρος της οποίας καθορίζεται από την ενέργεια που έχουν, η οποία μακροσκοπικά μετρείται με τη θερμοκρασία. Το σύνολο της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας των μορίων ενός σώματος ονομάζεται **εσωτερική ενέργεια U**. Η εσωτερική ενέργεια μετρείται σε μονάδες ενέργειας, δηλ. στο Διεθνές σύστημα μετρείται σε Joule και στο Αγγλοσαξονικό σε Btu.

Ανάλογα με την απόσταση και την κίνηση των μορίων, η ύλη οργανώνεται σε τρεις μορφές, οι οποίες ονομάζονται **φάσεις**: τη **στερεά**, την **υγρή** και την **αέρια** φάση ή φάση ατμών. Η ύλη μπορεί να υπάρχει και στις τρεις αυτές φάσεις, ανάλογα με το ποσό της εσωτερικής ενέργειας που περιέχει. Για παράδειγμα το νερό, το μόριο του οποίου είναι μια χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου (H_2O), μπορεί να υπάρξει και στις τρεις φάσεις ως πάγος, ως υγρό και ως ατμός.

Τα μόρια στη στερεή φάση έχουν μικρά ποσά εσωτερικής ενέργειας και μεταξύ τους αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις και δυνάμεις βαρύτητας. Η μέση θέση τους είναι σταθερή, ενώ η κίνησή τους είναι μία ταλάντωση γύρω απ' αυτήν. Έτσι τα στερεά έχουν σταθερό όγκο και σχήμα και στην πράξη είναι ασυμπίεστα.

Στην υγρή φάση τα μόρια έχουν περισσότερη ενέργεια από ό,τι στην στερεή, οπότε δεν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση με τα γειτονικά τους. Η ενέργεια που έχουν τα βοηθά να υπερνικούν τις ελκτικές δυνάμεις που συγκρατούν τα στερεά σώματα, οπότε τα μόρια στα υγρά δεν έχουν δεδομένη θέση και μπορούν να κινούνται στο χώρο που καταλαμβάνει το υγρό. Γι' αυτόν το λόγο, τα υγρά έχουν σταθερό όγκο και είναι ασυμπίεστα, αλλά δεν έχουν σταθερό σχήμα.

Τέλος, στην αέρια φάση, τα μόρια έχουν τόσο ενέργεια που υπερνικούν όλες τις ελκτικές δυνάμεις που τείνουν να τα ενώσουν. Γι' αυτόν το λόγο τα μόρια ενός αερίου ακολουθούν τυχαίες ευθύγραμμες τροχιές οι οποίες συγκρούονται μεταξύ τους (κίνηση Brown). Λόγω των συγκρούσεων που γίνονται, τείνουν να διαφύγουν και να εξαπλωθούν στο χώρο. Έτσι, ένα αέριο δεν έχει σταθερό όγκο και σχήμα,

ενώ τείνει να καταλάβει όλον το διαθέσιμο χώρο. Επί πλέον τα αέρια είναι συμπιεστά, δηλαδή αυξομειώνουν τον όγκο τους ανάλογα με την πίεση που δέχονται.

1.6 Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα – Ειδική θερμοχωρητικότητα.

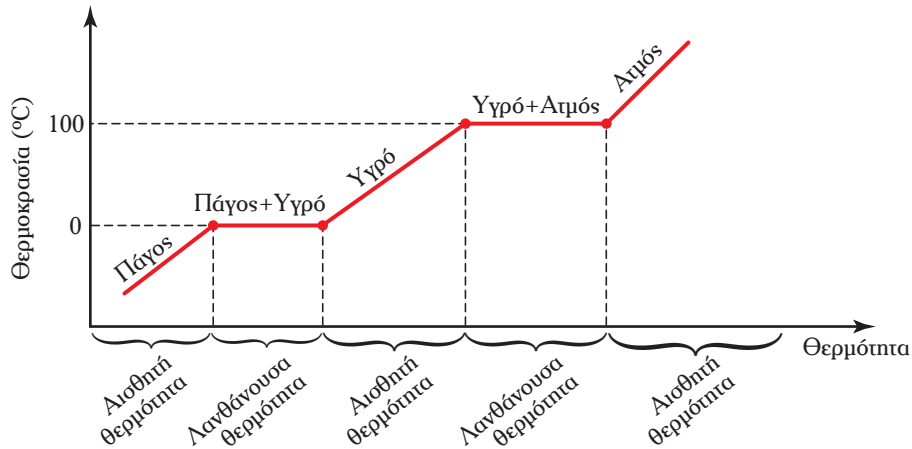
Αν σ' ένα σώμα δοθεί ένα ποσό θερμότητας, τότε θα αυξηθεί η εσωτερική ενέργεια των μορίων του. Αυτή η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος ή την αλλαγή της φάσεώς του. Στην περίπτωση που ένα σώμα με την προσθήκη θερμότητας αλλάζει φάση, η επί πλέον ενέργεια που δίνεται απορροφάται απ' τα μόρια, τα οποία υπερνικούν τις ελκτικές δυνάμεις. Έτσι η προσθήκη θερμότητας όταν υπάρχει αλλαγή φάσεως δεν γίνεται αισθητή με αύξηση της θερμοκρασίας.

Αντίθετα, όταν δεν μεταβάλλεται η φάση η επί πλέον ενέργεια αυξάνει το εύρος της ταλαντώσεως ή την ταχύτητα των μορίων του σώματος, οπότε στην περίπτωση αυτή η προσθήκη θερμότητας συνοδεύεται με παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας. Τα αντίθετα φαινόμενα συμβαίνουν στην περίπτωση αφαιρέσεως θερμότητας, οπότε υπάρχει μείωση θερμοκρασίας, όταν δεν υπάρχει αλλαγή φάσεως ή σταθερή θερμοκρασία, όταν υπάρχει αλλαγή φάσεως.

Η θερμότητα η οποία δίνεται (ή αφαιρείται) σ' ένα σώμα και αυξάνει (ή ελαττώνει) τη θερμοκρασία του ονομάζεται **αισθητή θερμότητα** (sensible heat), ενώ η θερμότητα ή οποία δίνεται (ή αφαιρείται) και μεταβάλλει τη φάση του ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα** (latent heat).

Στην περίπτωση της μεταβολής φάσεως ορίζεται η λανθάνουσα θερμότητα **τήξεως** όταν το σώμα από στερεό γίνεται υγρό, η οποία ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα **πήξεως**, όταν το σώμα από υγρό γίνεται στερεό. Επίσης ορίζεται η λανθάνουσα θερμότητα **ατμοποίησης** όταν το σώμα από στερεό γίνεται ατμός, η οποία ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα **υγροποίησης**, όταν το σώμα από ατμός γίνεται υγρό.

Για παράδειγμα στο σχήμα 1.6α δίνεται το διάγραμμα θερμότητας και θερμοκρασίας που προκύπτει κατά τη θέρμανση μίας ποσότητας πάγου σε σταθερή πίεση 1 Atm. Αρχικά, με την προσθήκη θερμότητας τα μόρια του στερεού αποκτούν μεγαλύτερη ενέργεια και το εύρος της ταλαντώσεώς τους αυξάνει. Κατά συνέπεια η θερμοκρασία του πάγου



Σχ. 1.6α.

Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα κατά την αλλαγή φάσεων του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.

αυξάνεται, χωρίς να υπάρχει μεταβολή φάσεως. Όταν η θερμοκρασία του πάγου φτάσει τους 0°C, η επί πλέον θερμότητα που απορροφάται έχει ως αποτέλεσμα να υπερνικηθούν οι ελκτικές δυνάμεις που συγκρατούν το στερεό, οπότε υπάρχει αλλαγή φάσεως σε υγρό. Κατά τη διάρκεια της τήξεως, όταν δηλαδή υπάρχουν ταυτόχρονα στερεό και υγρό, δεν αυξάνεται η θερμοκρασία, οπότε το ποσό θερμότητας που δίνεται είναι λανθάνουσα θερμότητα. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεχίζεται όταν όλη η ποσότητα του πάγου έχει μετασχηματιστεί σε υγρό. Με την συνεχή προσθήκη αισθητής θερμότητας, η θερμοκρασία του υγρού φτάνει στους 100°C, οπότε ξεκινά η ατμοποίηση, δηλαδή η αλλαγή φάσεως από υγρό σε ατμό. Στη φάση της ατμοποίησης, όταν υπάρχουν ταυτόχρονα υγρό και ατμός, η θερμοκρασία δεν αυξάνεται γιατί η θερμότητα απορροφάται στην υπερνίκηση των ελκτικών δυνάμεων που συγκρατούν τα μόρια του υγρού. Η θερμότητα που δίνεται στην ατμοποίηση είναι λανθάνουσα, ενώ όταν όλο το υγρό γίνει ατμός, η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού συνεχίζεται με την προσθήκη αισθητής θερμότητας. Οι αντίθετοι μετασχηματισμοί συμβαίνουν με την αφαίρεση αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας, με τη διαφορά ότι η μεταβολή από ατμό σε υγρό ονομάζεται **υγροποίηση** και η μεταβολή από υγρό σε στερεό ονομάζεται **τήξη**.

Η λανθάνουσα θερμότητα, η οποία απαιτείται να δοθεί σε μία μονάδα μάζας ενός στερεού, έτσι ώστε αυτό να αλλάξει φάση και να γίνει υγρό, ονομάζεται ειδική λανθάνουσα θερμότητα τήξεως q_T . Για τον πάγο νερού, η ειδική λανθάνουσα θερμότητα τήξεως είναι:

$$q_T = 335 \frac{kJ}{kg} = 144 \frac{btu}{lb} \text{ (για πάγο νερού).}$$

Όμοια, η θερμότητα που απαιτείται ανά μονάδα μάζας ενός υγρού, ώστε αυτό να μετατραπεί σε αέριο ονομάζεται **ειδική λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης** q_A . Δεδομένου ότι στην ψύξη περισσότερο μας ενδιαφέρει η αλλαγή φάσεως από υγρό σε αέριο, για την ατμοποίηση μίας ποσότητας m , απαιτείται να δοθεί λανθάνουσα θερμότητα ίση με:

$$Q_A = m \cdot q_A,$$

όπου: Q_A , η λανθάνουσα θερμότητα σε kJ, m , η μάζα σε kg και q_A , η ειδική λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης σε kJ/kg.

Στον πίνακα 1.6.1 δίνεται η ειδική λανθάνουσα

Πίνακας 1.6.1
Ειδικές λανθάνουσες θερμότητες τήξεως και ατμοποίησης για ουσίες που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα.

Ψυκτικό μέσο	Ειδική λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης	
	kJ/kg	Btu/lb
Νερό	2257 στους 100 °C	970,4 στους 212 °F
R-717 αμμωνία	1314 στους 15 °C	565,0 στους 5 °F
R-502	160 στους 15 °C	68,96 στους 5 °F
R-40 μεθυχλωρίδιο	415 at στους 15 °C	178,5 στους 5 °F
R-12	1159 at στους 15 °C	93,0 στους 5 °F
R-22	217 at στους 15 °C	

θερμότητα ατμοποίησης του νερού και διαφόρων συνηθισμένων ψυκτικών μέσων. Οι ειδικές θερμότητες και οι θερμοκρασίες του πίνακα 1.6.1 αντιστοιχούν σε πίεση ατμοποίησης ίση με 1 Atm.

Τα ποσά της αισθητής θερμότητας προσδιορίζονται από την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλούν. Έτσι, για τη θέρμανση ενός στερεού ή ενός υγρού, όταν δεν υπάρχει μεταβολή φάσεως, ορίζεται η ειδική θερμοχωρητικότητα c , ($\frac{kJ}{kg \cdot K}$), η οποία ισούται με το ποσό θερμότητας που πρέπει να δοθεί σε μία μονάδα μάζας ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία της κατά 1K. Η αισθητή θερμότητα κατά τη θέρμανση ενός στερεού ή ενός υγρού, ισούται με:

$$Q_{AΙΣ.} = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1),$$

όπου: $Q_{AΙΣ.}$, η αισθητή θερμότητα σε kJ, m , η μάζα σε kg, c , η ειδική θερμοχωρητικότητα σε $\frac{kJ}{kg \cdot K}$, T_1 , η αρχική θερμοκρασία του στερεού ή του υγρού, T_2 , η τελική θερμοκρασία του στερεού ή του υγρού.

Οι ειδικές θερμοχωρητικότητες για ορισμένα κοινά υλικά δίνονται στον πίνακα 1.6.2.

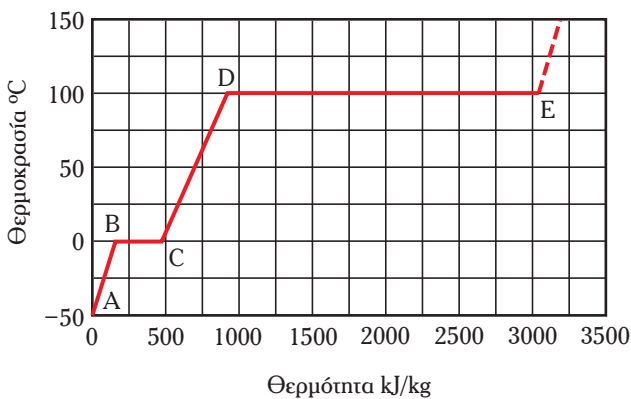
Για τις μεταβολές φάσεως του νερού, το διάγραμμα των ποσών θερμότητας που δίνονται ανά μονάδα μάζας και της θερμοκρασίας του, δίνεται στο σχήμα 1.6β. Το διάγραμμα του σχήματος 1.6β προκύπτει από τις τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας του νερού, της λανθάνουσας θερμότητας τήξεως του πάγου και της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης του νερού, σε Μετρικές και Αγγλοσαξονικές μονάδες.

Το διάγραμμα (α) (σχ. 1.6β) αντιστοιχεί σε με-

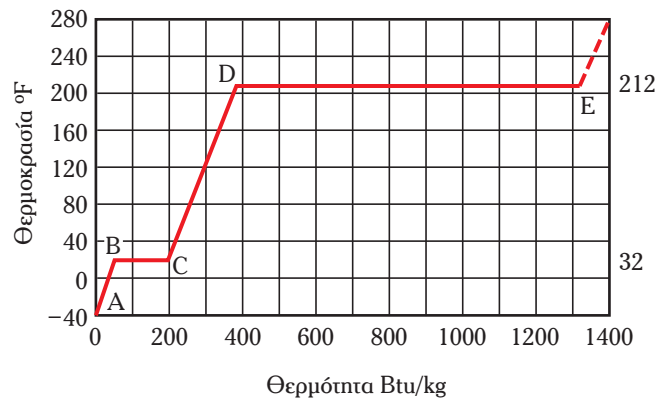
τρικές μονάδες μετρήσεως και σε θέρμανση 1 kg πάγου υπό σταθερή πίεση 1 Atm. Το σημείο Α όπου ξεκινάει η θέρμανση του πάγου αντιστοιχεί σε πάγο θερμοκρασίας -50°C . Η θέρμανση του πάγου από

Πίνακας 1.6.2
Ειδικές θερμοχωρητικότητες στερεών και υγρών.

Υλικό	kJ/kg·K	Btu/lb./F
Ξύλο	1,396	0,327
Νερό	4,187	1,0
Πάγος	2,110	0,504
Σίδηρος	0,540	0,129
Υδράργυρος	0,139	0,33
Αλκοόλη	2,575	0,615
Χαλκός	0,398	0,095
Θείο	0,741	0,177
Γυαλί	0,783	0,187
Γραφίτης	0,837	0,200
Γλυκερίνη	2,412	0,576
R-717 (υγρή αμμωνία στους 40 °F)	4,606	1,1
R-744 (διοξείδιο του άνθρακα στους 40 °F)	2,512	0,6
R-502	1,068	0,255
Διάλυμα χλωριούχου νατρίου 20%	3,559	0,85
R-12	0,892	0,213
R-22	1,089	0,26



(α)



(β)

Σχ. 1.6β.

Διάγραμμα θερμότητας και θερμοκρασίας για μεταβολή φάσεων νερού: (α) σε Μετρικές μονάδες και (β) σε Αγγλοσαξονικές μονάδες.

το Α στο Β, όπου έχει θερμοκρασία 0°C , γίνεται με προσθήκη θερμότητας ίση με:

$$Q_{A-B} = 1\text{kg} \cdot 2,11 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot [0^{\circ}\text{C} - (-50^{\circ}\text{C})] = 105,5\text{kJ}.$$

Στην συνέχεια, η μεταβολή Β–C αντιστοιχεί στην τήξη υπό σταθερή θερμοκρασία 0°C , όπου προσδίδεται λανθάνουσα θερμότητα τήξεως:

$$Q_{B-C} = 1\text{kg} \cdot 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 335\text{kJ}.$$

Η μεταβολή C–D είναι η προσθήκη αισθητής θερμότητας που αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού από 0°C στους 100°C . Η θερμότητα που προστίθεται είναι:

$$Q_{C-D} = 1\text{kg} \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot [100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}] = 418,7\text{kJ}.$$

Τέλος, η μεταβολή D–E αντιστοιχεί στην ατμοποίηση του νερού υπό σταθερή θερμοκρασία 100°C , με προσθήκη λανθάνουσας θερμότητας:

$$Q_{D-E} = 1\text{kg} \cdot 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2257\text{kJ}.$$

Η πρόσδοση επί πλέον θερμότητας, πέραν του σημείου E, αυξάνει τη θερμοκρασία του ατμού πάνω από τους 100°C .

Στο διάγραμμα (β) του σχήματος 1.6β, τα ποσά θερμότητας και η θερμοκρασία είναι εκφρασμένα σε Αγγλοσαξονικές μονάδες, με θερμοκρασία πάγου στο σημείο Α ίση με -40°F και μάζα νερού ίση με 1lb. Η θερμοκρασία τήξεως του πάγου είναι 32°F και η θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού είναι 212°F . Τα ποσά θερμότητας είναι:

$$Q_{A-B} = 1\text{lb} \cdot 0,504 \frac{\text{btu}}{\text{lbF}} \cdot [32^{\circ}\text{F} - (-40^{\circ}\text{F})] = 36,288 \text{btu}.$$

$$Q_{B-C} = 1\text{lb} \cdot 144 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} = 144\text{btu}.$$

$$Q_{C-D} = 1\text{lb} \cdot 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot [212^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}] = 180\text{btu}.$$

$$Q_{D-E} = 1\text{lb} \cdot 970,4 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} = 970,4\text{btu}.$$

Η πρόσδοση αισθητής θερμότητας στα αέρια μπορεί να γίνει με σταθερή πίεση ή με σταθερό όγκο. Έτσι ορίζονται οι εξής ειδικές θερμοχωρητικότητες:

α) Η **ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή** πίεση c_p , είναι η θερμότητα που πρέπει να δοθεί σε μια μονάδα μάζας ενός αερίου με σταθερή πίεση, ώστε αυτό να αυξήσει τη θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό.

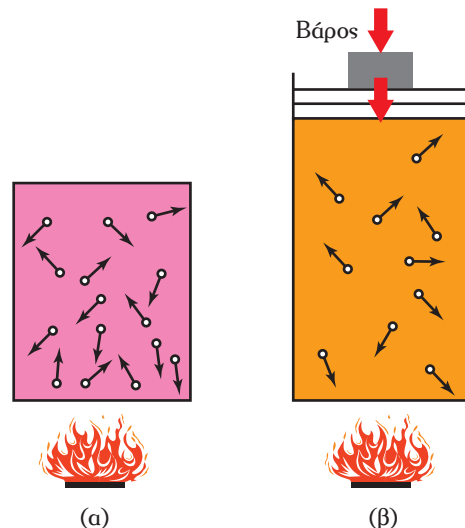
β) Η **ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο** c_v , είναι η θερμότητα που πρέπει να δοθεί σε μια μονάδα μάζας ενός αερίου με σταθερό όγκο, ώστε αυτό να αυξήσει τη θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό.

$$\text{Τα } c_p, c_v, \text{ μετρώνται σε } \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \text{ και σε } \frac{\text{btu}}{\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}}.$$

Δεδομένου ότι τα αέρια όταν θερμαίνονται τα μόριά τους αποκτούν μεγαλύτερη ταχύτητα, όταν ο όγκος είναι σταθερός, έρχονται συχνότερα σε επαφή με τα τοιχώματα του δοχείου, οπότε είναι ευκολότερο να θερμανθούν από όταν έχουν σταθερή πίεση και ο όγκος τους αυξάνεται. Στο σχήμα 1.6γ φαίνεται η περίπτωση της θερμάνσεως ενός αερίου σε ένα δοχείο με σταθερό όγκο και σε έναν κύλινδρο μεταβλητού όγκου, ο οποίος δέχεται τη δύναμη ενός βάρους, έτσι ώστε η πίεση να παραμένει σταθερή. Στη περίπτωση της θερμάνσεως υπό σταθερή πίεση πρέπει να δοθεί μεγαλύτερο ποσό θερμότητας, από ό,τι με σταθερό όγκο.

Τα ποσά αισθητής θερμότητας που δίνονται στα αέρια μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$Q_p = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1),$$



Σχ. 1.6γ.

Αισθητή θέρμανση αερίων: (α) Με σταθερό όγκο, τα μόρια συγκρούονται συχνότερα με τα τοιχώματα, οπότε θερμαίνονται ευκολότερα, (β) με σταθερή πίεση ο όγκος αυξάνεται και τα μόρια συγκρούονται λιγότερο συχνά με τα τοιχώματα, άρα θερμαίνονται δυσκολότερα.

για θέρμανση με σταθερή πίεση και

$$Q_v = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1),$$

για θέρμανση με σταθερό όγκο,

όπου: Q_p, Q_v η αισθητή θερμότητα σε kJ, m , η μάζα σε kg, c_p, c_v , οι ειδικές θερμοχωρητικότητες σε $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ή σε $\frac{btu}{lb \cdot ^\circ F}$, T_1 , η αρχική θερμοκρασία του στερεού ή του υγρού σε $^\circ C$ ή σε $^\circ F$, T_2 , η τελική θερμοκρασία του στερεού ή του υγρού σε $^\circ C$ ή σε $^\circ F$.

Εφόσον η c_p είναι μεγαλύτερη από την c_v , μπορούμε να ορίσουμε το λόγο k , ο οποίος ονομάζεται **συντελεστής πολυτροπικής μεταβολής**, ως εξής:

$$k = \frac{c_p}{c_v}.$$

Επίσης, με δεδομένα τα c_p και μπορεί να υπολογιστεί η σταθερά R ενός αερίου, ως η διαφορά των ειδικών θερμοχωρητικότητων:

$$R = c_p - c_v.$$

Οι ειδικές θερμοχωρητικότητες υπό σταθερή πίεση c_p και υπό σταθερό όγκο c_v , ο συντελεστής πολυτροπικής μεταβολής k και η σταθερά R , είναι χαρακτηριστικές ιδιότητες των αερίων, οι οποίες για διάφορα συνηθισμένα αέρια, δίνονται στον πίνακα 1.6.3.

1.7 Επίδραση της πύεσεως στη θερμοκρασία ατμοποιήσεως – Κορεσμένος και υπέρθερμος ατμός.

Η θερμοκρασία ατμοποιήσεως των υγρών εξαρτάται από την πίεση στην οποία αυτή πραγματοποιείται. Για παράδειγμα σε ατμοσφαιρική πίεση (100 kPa), η θερμοκρασία ατμοποιήσεως του νερού είναι $100^\circ C$. Όταν η πίεση αυξηθεί στα 311 kPa, η θερμοκρασία ατμοποιήσεως γίνεται $133^\circ C$. Αντίθετα, όταν η πίεση του νερού μειωθεί στα 20 kPa, η θερμοκρασία ατμοποιήσεως είναι $62^\circ C$. Στο σχήμα 1.7α δίνεται το διάγραμμα πύεσεως και θερμοκρασίας ατμοποιήσεως του νερού.

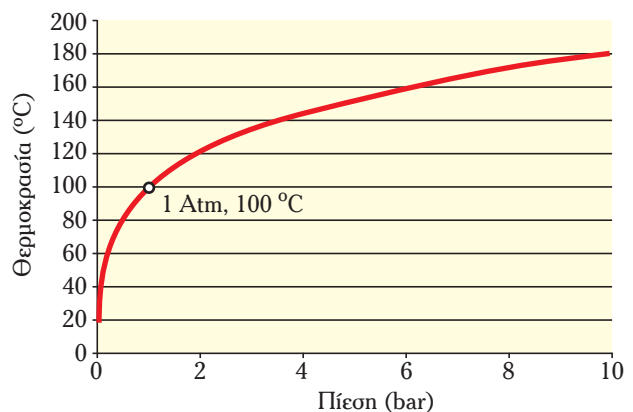
Παρόμοια με το νερό, συμπεριφέρονται όλα τα ψυκτικά υγρά. Η σχέση της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως με την πίεση, στις ψυκτικές μηχανές, εφαρμόζεται ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία ατμοποιήσεως μέσω της διατηρήσεως σταθερής πύεσεως ατμοποιήσεως.

As πάρουμε το παράδειγμα ενός δοχείου που πε-

ριέχει μια ουσία σε υγρή μορφή, η οποία θερμαίνεται υπό σταθερή πίεση μέχρι να αρχίσει η ατμοποίηση. Το υγρό όταν έχει θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως που αντιστοιχεί στην πίεση του, ονομάζεται **υπόψυκτο υγρό** και απαιτείται να θερμανθεί για να αρχίσει να αλλάζει φάση. Μετά τη θέρμανση του υπόψυκτου υγρού, όλη η μάζα της ουσίας είναι ακόμα στην υγρή φάση και έχει θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Το υγρό στην κατάσταση αυτή ονομάζεται **κορεσμένο υγρό**. Η επί πλέον θερμότητα που δίνεται στο κορεσμένο υγρό είναι λανθάνουσα και προκαλεί αλλαγή φάσεως με σταθερή θερμοκρασία. Όσο δίνεται θερμότητα, υπάρχουν σε ισορροπία και οι δύο φάσεις, δηλαδή ένα μέρος είναι υγρό και ένα άλλο μέρος ατμός. Ο ατμός που υπάρχει κατά τη διάρκεια

Πίνακας 1.6.3
Τιμές των c_p, c_v, k και R για διάφορα συνηθισμένα αέρια.

Αέριο	k	c_v (KJ/Kgk)	c_p (KJ/Kgk)	R (KJ/Kgk)
Αέρας	1,406	1,0000	0,711	287
Αμμωνία	1,273	2,1269	1,6705	487
Διοξείδιο του άνθρακα	1,28	0,8709	0,6783	189
Μονοξείδιο του άνθρακα	1,403	1,0174	0,7243	297
Υδρογόνο	1,41	14,277	10,132	4124
Άζωτο	1,41	1,0216	0,7243	297
Οξυγόνο	1,40	0,9127	0,6531	260
Διοξείδιο του θείου	1,26	0,6448	0,5150	130



Σχ. 1.7α.

Μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως του νερού με την πίεση.

της ατμοποίησης ονομάζεται **υγρός ατμός** και χαρακτηρίζεται από το βαθμό ξηρότητας x , ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$x = \frac{\text{μάζα ατμού}}{\text{μάζα ατμού} + \text{μάζα υγρού}}$$

Όταν έχει ατμοποιηθεί και το τελευταίο μέρος υγρού όλη η μάζα της ουσίας είναι ατμός, θερμοκρασίας ίσης με τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Ο ατμός που υπάρχει στο τέλος της αλλαγής φάσεως και έχει θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης, ονομάζεται **κορεσμένος ατμός**. Με την προσθήκη επί πλέον θερμότητας, η θερμοκρασία του κορεσμένου ατμού αυξάνεται πέρα από τη θερμοκρασία ατμοποίησης, οπότε τότε ονομάζεται **υπέρθερμος ατμός**.

Στην πραγματικότητα οι καταστάσεις της ύλης καθορίζονται από τη θερμοκρασία και την πίεση. Αν κατά την ατμοποίηση συνεχίσουμε να αυξάνουμε την πίεση και τη θερμοκρασία, υπάρχει ένα σημείο όπου η υγρή και η αέρια φάση δεν έχουν διαφορά μεταξύ τους. Το σημείο αυτό ονομάζεται **κρίσιμο σημείο**. Αντίθετα αν ελαττώσουμε την πίεση και θερμοκρασία, φτάνουμε σ' ένα σημείο όπου συνυπάρχουν ισορροπία και οι τρεις φάσεις. Το σημείο αυτό ονομάζεται **τριπλό σημείο**. Από το τριπλό σημείο μπορεί να υπάρξει στερεό, υγρό ή ατμός με μικρή αλλαγή στην πίεση ή στη θερμοκρασία. Το διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας, στο οποίο φαίνονται οι φάσεις μιας ουσίας, ονομάζεται **διάγραμμα φάσεων**. Στο σχήμα 1.7β δίνεται η μορφή του διαγράμματος φάσεων, ενώ στον πίνακα 1.7.1, δίνονται η πίεση και η θερμοκρασία του τριπλού και του κρίσιμου σημείου για διάφορες ουσίες.

1.8 Τέλεια αέρια – Μεταβολές αυτών.

Οι ιδιότητες των πραγματικών ουσιών στην υγρή και στην αέρια φάση, περιγράφονται με χρήση πινάκων που δίνουν τις τιμές διαφόρων θερμοδυναμικών μεγεθών σε διαφορετικές φάσεις. Εκτός από τη χρήση τέτοιων πινάκων, ο συσχετισμός της πίεσης, του όγκου και της θερμοκρασίας ενός αερίου, μπορεί να γίνει με την προσέγγιση του **Νόμου των Τελείων Αερίων**, ο οποίος περιγράφεται σ' αυτήν την παράγραφο. Στην πραγματικότητα η συμπεριφορά των αερίων δεν ταυτίζεται με την συμπεριφορά των τέλειων αερίων, αλλά τα τελευταία αποτελούν μια καλή προσέγγιση.

Ο Νόμος των Τελείων Αερίων προέκυψε από τις

παρατηρήσεις των Boyle, Charles και Gay-Lussak, οι οποίοι διαπίστωσαν πειραματικά ότι σε χαμηλή πίεση, ο όγκος ενός αερίου είναι ανάλογος με τη θερμοκρασία και αντιστρόφως ανάλογος με την πίεση ή αλλιώς:

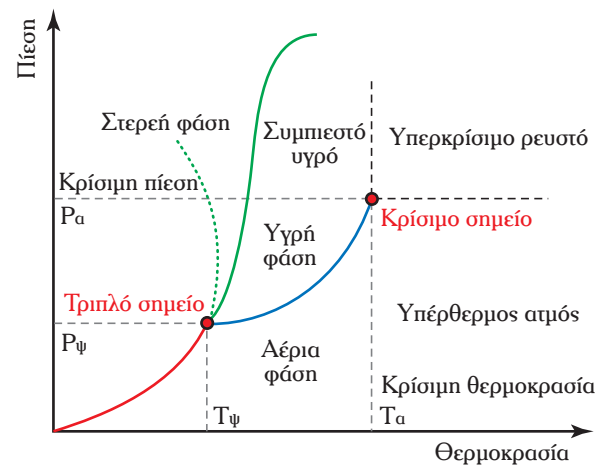
$$\frac{P \cdot v}{T} = R,$$

όπου: P , η απόλυτη πίεση, v , ο ειδικός όγκος, T , η απόλυτη θερμοκρασία, R , η σταθερά του αερίου $R = c_p - c_v$.

Η σταθερά R , η οποία είναι διαφορετική για κάθε αέριο ισούται με:

$$R = \frac{R_u}{M},$$

όπου: R_u , η παγκόσμια σταθερά των αερίων: $R_u = 8,314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K}) = 1,986 \text{ (lbmol} \cdot \text{R)}$, M , η μοριακή μάζα, η οποία εκφράζεται σε γραμμάρια και ισούται με το μοριακό βάρος του κάθε αερίου.



Σχ. 1.7β.

Μορφή διαγράμματος φάσεων.

Πίνακας 1.7.1

Ιδιότητες τριπλού και κρίσιμου σημείου διαφόρων ουσιών.

Ουσία	Τριπλό σημείο		Κρίσιμο σημείο	
	T (K)	P (kPa)	T (K)	P (kPa)
Άζωτο	63,18 K	12,6 kPa	126 K	3,390 kPa
Αμμωνία	195,4 K	6,076 kPa	405,5 K	11,280 kPa
Διοξείδιο του άνθρακα	216,55 K	517 kPa	304,19 K	7,380 kPa
Νερό	273,16 K	0,6117 kPa	647,096 K	22,060 kPa
Οξυγόνο	54,36 K	0,152 kPa	155 K	5,050 kPa
Υδρογόνο	13,84 K	7,04 kPa	33,2 K	1,300 kPa

Για μία σταθερή ποσότητα αερίου, το οποίο μπορεί να βρεθεί σε δύο διαφορετικές καταστάσεις 1 και 2, θα ισχύει:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{σταθ.}$$

Η παραπάνω εξίσωση ορίζει ότι για ένα τέλειο αέριο, η πίεση, ο όγκος και η θερμοκρασία, συνδέονται μεταξύ τους και στον τρισδιάστατο χώρο p , V , T , βρίσκονται πάνω σε μία παραβολική επιφάνεια (σχ. 1.8).

Η ισόθλιπτη μεταβολή ενός τέλειου αερίου γίνεται με σταθερή πίεση, ενώ ο όγκος αυξάνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Με την ισόθλιπτη μεταβολή προσεγγίζεται η ροή μέσα στους εναλλάκτες και στους αεραγωγούς, όπου η πτώση πίεσεως είναι μικρή. Κατά την ισόθλιπτη μεταβολή ισχύει ότι:

$$\frac{V}{T} = \text{σταθ.}$$

Όμοια κατά την ισόογκη μεταβολή η οποία γίνεται με σταθερό όγκο ισχύει:

$$\frac{p}{T} = \text{σταθ.}$$

Τέλος κατά την ισοθερμοκρασιακή μεταβολή ισχύει η σχέση:

$$p \cdot V = \text{σταθ.}$$

Θεωρώντας τις τομές της τρισδιάστατης επιφάνειας, προκύπτουν οι γραμμές σταθερής πίεσης, σταθερού όγκου και σταθερής θερμοκρασίας (σχ. 1.8).

1.9 Έργο ογκομεταβολής, ενθαλπία – Πρώτος και Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος.

As θεωρήσουμε έναν κύλινδρο, όπως αυτός του σχήματος 1.9α, ο οποίος στην μια του άκρη έχει ένα κινούμενο έμβολο και περιέχει ένα αέριο με πίεση p_1 και όγκο V_1 . Αν το αέριο που περιέχει ο κύλινδρος είναι τέλειο, η κατάσταση του μπορεί να περιγραφεί στο διάγραμμα p - V με το σημείο 1. Η δύναμη που ασκείται στο έμβολο λόγω της πίεσεως του αερίου, είναι ίση με:

$$F = p_1 \cdot A$$

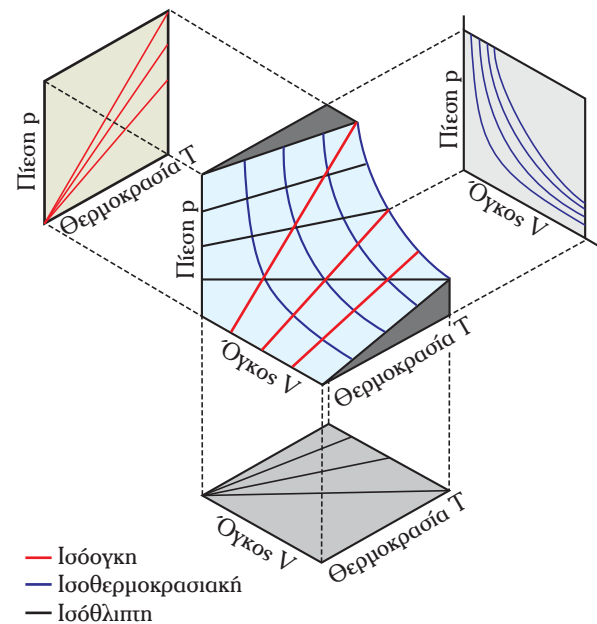
Το έμβολο μπορεί να μετακινείται είτε κάτω από την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης, οπότε προστίθεται έργο ή όταν στον κύλινδρο προστίθεται θερμότητα, οπότε τότε η πίεση του αερίου αυξάνεται. Έστω ότι στο τέλος της μετακίνησης του εμβό-

λου, η τελική κατάσταση του αερίου αντιστοιχεί στο σημείο 2 του διαγράμματος p - V , όπου η πίεση είναι p_2 και ο όγκος V_2 .

Κατά την διάρκεια της μετακίνησης αν το έμβολο κάτω από την επίδραση της δύναμης F μετακινηθεί κατά μία στοιχειώδη μετατόπιση dx , το έργο της δύναμης είναι:

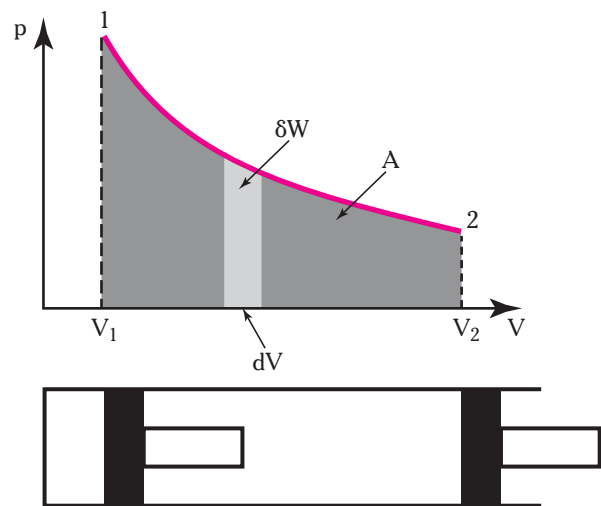
$$dW = f \cdot dx = p \cdot A \cdot dx = p \cdot dV$$

Το έργο της δύναμης F , λόγω της μετατόπισης του σημείου εφαρμογής της, εξαρτάται από τη δια-



Σχ. 1.8.

Γραφική αναπαράσταση του νόμου των τελείων αερίων με τρισδιάστατη επιφάνεια.



Σχ. 1.9α.

Υπολογισμός έργου ογκομεταβολής.

δρομή 1-2 και ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 1-2:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} F \cdot dx = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = A$$

όπου A είναι το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της μεταβολής στο διάγραμμα p - V .

Αν ο κύλινδρος είναι μία θερμική μηχανή, τότε το αέριο εκτελεί μια κυκλική διαδικασία. Στην περίπτωση αυτή, το καθαρό έργο σε κάθε κύκλο είναι ίσο με το εμβαδόν εντός της κυκλικής μεταβολής στο διάγραμμα p - V (σχ. 1.9β). Το εμβαδόν μέσα στην κυκλική μεταβολή, ισούται με το εμβαδόν κάτω από τη μεταβολή 1-α-2, το οποίο είναι το έργο που δίνει το αέριο με την εκτόνωση, μείον το εμβαδόν 2-β-1 το οποίο ισούται με το έργο που απορροφάει κατά την επαναφορά από την κατάσταση 2 στην κατάσταση 1.

Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος εκφράζει την αρχή της διατήρησης της ενέργειας για τα θερμοδυναμικά συστήματα. Ένα θερμοδυναμικό σύστημα ορίζεται από μία νοητή επιφάνεια ελέγχου, στα όρια της οποίας παρατηρείται η ροή της θερμότητας, του έργου και της μάζας. Αν δεν υπάρχει ροή μάζας τότε έχουμε κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα, ενώ όταν υπάρχει και ροή μάζας έχουμε ανοικτό θερμοδυναμικό σύστημα.

Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος για κλειστά συστήματα εκφράζεται ως εξής:

$$Q = \Delta U + W.$$

Δηλαδή κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής, η θερμότητα που δίνεται σ' ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα ισούται με την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος και το παραγόμενο έργο. Ένα παράδειγμα κλειστού θερμοδυναμικού συστήματος είναι ο κύλινδρος με το κινούμενο έμβολο το οποίο φαίνεται στο σχήμα 1.9α. Η διατύπωση του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου ορίζει ότι η θερμότητα που δίνεται στον κύλινδρο ισούται με την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου και του έργου που παράγει η κίνηση του εμβόλου.

Για την έκφραση του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου για τα ανοικτά συστήματα απαιτείται ο ορισμός της ενθαλπίας. Αυτή είναι ένα καταστατικό μέγεθος, το οποίο μετρείται σε μονάδες ενέργειας και εκφράζει την ικανότητα ενός αερίου να παράγει έργο. Η ενθαλπία ισούται με:

$$H = U + p \cdot V$$

Το αντίστοιχο ειδικό μέγεθος είναι η ειδική ενθαλπία, η οποία ορίζεται ανά μονάδα μάζας και μετράται σε kJ/kg :

$$h = u + p \cdot v$$

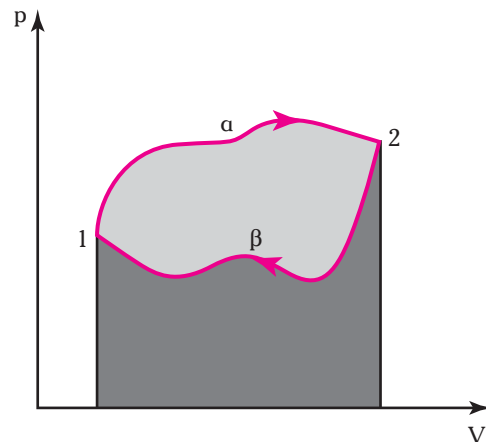
Για τα ανοικτά θερμοδυναμικά συστήματα, ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος στην περίπτωση της σταθερής παροχής μάζας στην είσοδο και στην έξοδο, εκφράζεται ως εξής:

$$Q = \Delta H + W.$$

Η ροή χωρίς την προσθήκη ή την αφαίρεση θερμότητας μέσα από μονωμένους αγωγούς ονομάζεται **αδιαβατική**. Στην περίπτωση αδιαβατικής ροής, η μεταβολή της ενθαλπίας ισούται με το παραγόμενο έργο:

$$W = -\Delta H$$

Η μεταβολή ενός αερίου με σταθερή ενθαλπία λέγεται **ισενθαλπική**. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ισενθαλπική μεταβολή κατά την οποία ένα αέριο περνάει από μία μονωμένη σωλήνα, στην οποία υπάρχει μια στένωση όπου υπάρχουν πολλές τριβές και λαμβάνει χώρα πτώση πίεσεως. Η μεταβολή αυτή γίνεται χωρίς της προσθήκη ή την αφαίρεση θερμότητας και ονομάζεται **αδιαβατικός στραγγαλισμός**. Στο σχήμα 1.9γ φαίνεται παράδειγμα αδιαβατικού στραγγαλισμού κατά τον οποίο ισχύει ότι:



Σχ. 1.9β.

Παράδειγμα κυκλικής ογκομεταβολής. Το έργο σε κάθε κύκλο ισούται με το εμβαδόν μέσα στην καμπύλη.



Σχ. 1.9γ.

Αδιαβατικός στραγγαλισμός αερίου.

$$H_1 = H_2.$$

Ο αδιαβατικός στραγγαλισμός χρησιμοποιείται στην ψύξη για τον υποβιβασμό της πίεσης του υγρού ψυκτικού μέσου, προκειμένου αυτό να ατμοποιηθεί σε χαμηλή θερμοκρασία.

Ο Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος περιγράφει τη λειτουργία των θερμικών μηχανών. Αυτές αντλούν θερμότητα από ένα θερμό θερμοδοχείο και παράγουν μηχανικό έργο, ενώ απορρίπτουν θερμότητα σ' ένα ψυχρό θερμοδοχείο. Μία διατύπωση του Δεύτερου Θερμοδυναμικού Νόμου είναι αυτή των Kelvin-Planck η οποία είναι:

Δεν είναι δυνατή η κατασκευή θερμικής μηχανής η οποία θα παράγει έργο με την πρόσδοση θερμότητας από ένα θερμό θερμοδοχείο, χωρίς την απόρριψη ενός ποσού θερμότητας σ' ένα ψυχρό θερμοδοχείο.

Μια ισοδύναμη διατύπωση του Δεύτερου Θερμοδυναμικού Νόμου είναι αυτή του Clausius:

Δεν είναι δυνατή η ροή θερμότητας από ένα ψυχρό προς ένα θερμό θερμοδοχείο χωρίς την προσθήκη εξωτερικού μηχανικού έργου.

Η ισχύς του Δεύτερου Θερμοδυναμικού Νόμου βασίζεται στην παρατήρηση ότι η ροή της θερμότητας γίνεται πάντα απ' τις υψηλές προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

1.10 Αντιστρεπές διαδικασίες – Εντροπία – Κύκλος Carnot.

Κατά την πραγματοποίηση θερμοδυναμικών μεταβολών, πάντα εμφανίζονται τριβές και στροβιλισμοί. Επίσης υπάρχουν μικροδιαφορές στην πίεση και στη θερμοκρασία του αερίου και επί πλέον δεν επιτυγχάνεται θερμοδυναμική ισορροπία διότι υπάρχει πεπερασμένος χρόνος. Έτσι, ένα αέριο που πραγματοποιεί μια πραγματική μεταβολή και από μια αρχική κατάσταση 1 βρίσκεται στην τελική κατάσταση 2, δεν μπορεί να επανέλθει εκ νέου στην αρχική του κατάσταση, οι πραγματικές μεταβολές είναι μη αναστρέψιμες.

Οι αναστρέψιμες μεταβολές, είναι εκείνες που πραγματοποιούνται χωρίς την παρουσία τριβών, με πολύ μικρή ταχύτητα και με θερμοδυναμική ισορροπία. Τέτοιες μεταβολές, αν και δεν υπάρχουν στη φύση, είναι ευκολότερο να μελετηθούν θεωρητικά.

Μέτρο της αναστρεψιμότητας είναι η εντροπία, η οποία εκφράζει την αταξία των μορίων ενός αερίου κατά τη θερμική τους κίνηση. Κατά τη διάρκεια μιας αντιστρεπτής μεταβολής από μία κατάσταση 1 σε μία κατάσταση 2, η εντροπία παραμένει σταθερή

και ορίζεται ως εξής:

$$\Delta S = \Delta Q/T.$$

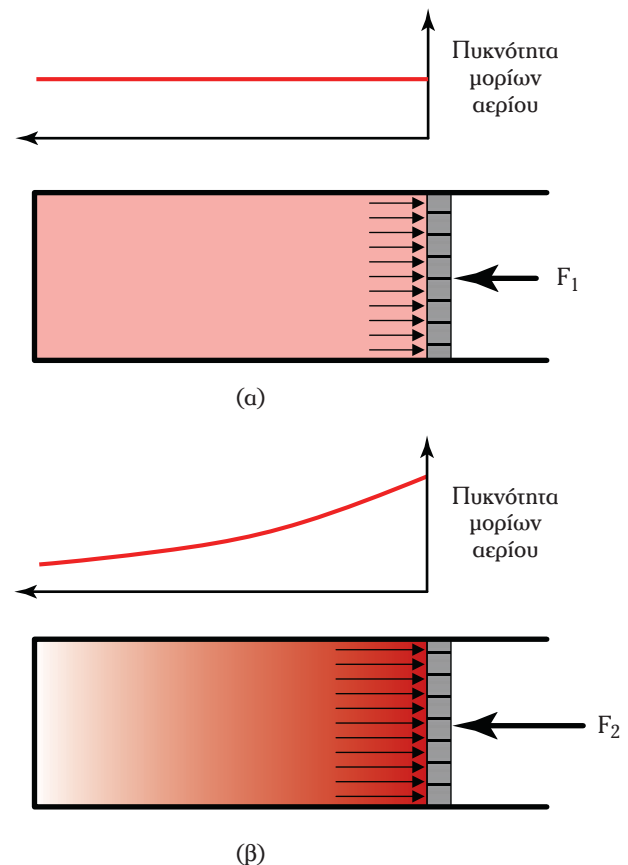
Η εντροπία μετρείται σε kJ/K και σε Btu/F (1 kJ/K = 0,5269176 Btu/F).

Ανά μονάδα μάζας ορίζεται η ειδική εντροπία ως εξής:

$$\Delta s = \Delta q/T.$$

Η ειδική εντροπία μετρείται σε kJ/kgK και σε Btu/lbF, (1 kJ/kgK = 0,238846 Btu/lbF).

Η εντροπία αποτελεί το μέτρο της μη αναστρεψιμότητας μίας θερμοδυναμικής μεταβολής. Ας πάρουμε το παράδειγμα της συμπίεσης ενός αερίου μέσα σ' έναν κύλινδρο (σχ. 1.10α). Όταν η συμπίεση γίνεται αναστρέψιμη, δηλαδή χωρίς τριβές και με σχεδόν μηδενική ταχύτητα, μέσα στον κύλινδρο σε κάθε στιγμή υπάρχει ισορροπία, οπότε δεν υπάρχει διαφορά στην πυκνότητα των μορίων του αερίου. Η αντίσταση που συναντάει το έμβολο στην κίνησή του είναι η μικρότερη δυνατή, ενώ όταν η μεταβολή είναι αναστρέψιμη, δηλαδή το έμβολο αν αφεθεί, θα



Σχ. 1.10α.

Συμπίεση αερίου: (α) Αναστρέψιμη και (β) μη αναστρέψιμη.

επιστρέψει στην αρχική του θέση χωρίς απώλειες λόγω τριβών.

Όταν η συμπίεση γίνει με πεπερασμένη ταχύτητα, δεν υπάρχει χρόνος για την επίτευξη ισορροπίας στον κύλινδρο. Κατά συνέπεια, η πυκνότητα των μορίων στην πλευρά του εμβόλου είναι μεγαλύτερη, πράγμα που οδηγεί σε μεγαλύτερη αντίσταση κίνησης και μεγαλύτερο έργο συμπίεσης. Στο τέλος της συμπίεσης, ένα μέρος του έργου που έχει δοθεί για την κίνηση του εμβόλου θα έχει γίνει θερμότητα λόγω της τριβής στα μέρια του αερίου.

Κατά συνέπεια όταν το έμβολο αφεθεί να επιστρέψει πίσω και το αέριο εκτονωθεί, η διαθέσιμη ενέργεια κατά την εκτόνωση είναι μικρότερη. Γι' αυτόν τον λόγο το έμβολο δεν θα επιστρέψει στην αρχική του θέση.

Κατά τη διάρκεια της μη αναστρέψιμης συμπίεσης δημιουργείται αταξία στην κατανομή των μορίων του αερίου, οπότε γίνεται με αύξηση της εντροπίας. Αντίθετα, κατά την αναστρέψιμη συμπίεση δεν υπάρχει αταξία στην κατανομή των μορίων, οπότε δεν αυξάνεται η εντροπία του αερίου.

Δεδομένου ότι οι αντιστρεπές μεταβολές είναι αυτές που έχουν τη βέλτιστη απόδοση, λόγω της ανυπαρξίας τριβών, μπορεί να οριστεί ο βέλτιστος κλειστός θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας μιας θερμικής μηχανής. Αυτός είναι ο κύκλος Carnot ο οποίος αποτελείται από δύο ισηντροπικές και δύο ισοθερμοκρασιακές μεταβολές. Οι μεταβολές του κύκλου Carnot, αναλυτικά είναι οι εξής:

- α) Ισηντροπική συμπίεση.
- β) Ισοθερμοκρασιακή προσθήκη θερμότητας από το θερμό θερμοδοχείο.
- γ) Ισηντροπική εκτόνωση.
- δ) Ισοθερμοκρασιακή αποβολή θερμότητας προς το ψυχρό θερμοδοχείο.

Ο κύκλος Carnot σε διαγράμματα T-S και p-V παρουσιάζεται στο σχήμα 1.10β.

Μία μηχανή, η οποία εργάζεται με τον κύκλο Carnot έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση με δεδομένες τις θερμοκρασίες του θερμού και του ψυχρού θερμοδοχείου. Ο βαθμός αποδόσεως μιας μηχανής Carnot είναι:

$$\eta_{carnot} = \frac{\text{παραγόμενο έργο}}{\text{προσδιδόμενη θερμότητα}} = 1 - \frac{T_{\psi}}{T_{\theta}}$$

Η παραπάνω σχέση δηλώνει ότι ο βέλτιστος βαθμός αποδόσεως μιας θερμικής μηχανής, αυξάνεται όταν το θερμό θερμοδοχείο έχει μεγάλη θερ-

μοκρασία. Αυτό σημαίνει ότι η θερμότητα μπορεί να μετατραπεί σε έργο με αποδοτικό τρόπο, όταν λαμβάνεται σε μεγάλη θερμοκρασία και κατά συνέπεια, η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της ποιότητας της θερμικής ενέργειας.

Για τη λειτουργία μιας πραγματικής μηχανής με τον κύκλο Carnot απαιτούνται εναλλάκτες θερμότητας με άπειρο μέγεθος και μηδενική ταχύτητα εμβόλου. Έτσι η κατασκευή μιας τέτοιας μηχανής είναι αδύνατη και ο βαθμός αποδόσεως της χρησιμοποιείται για λόγους αξιολογήσεως των πραγματικών μηχανών.

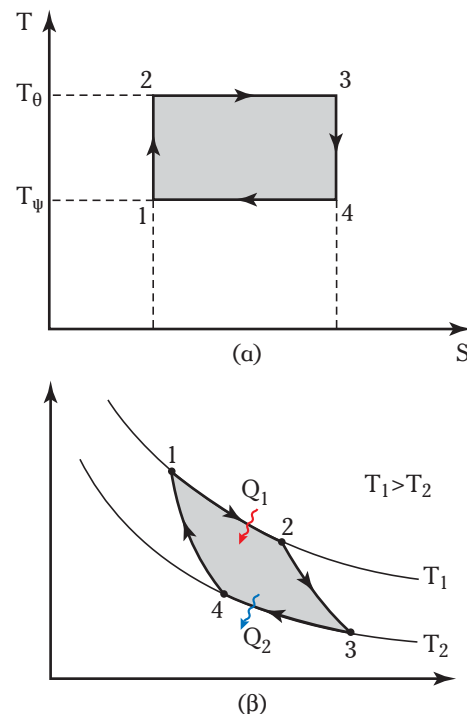
Στην περίπτωση των ψυκτικών μηχανών, ο ιδανικός θερμοδυναμικός κύκλος είναι ο αντίστροφος κύκλος Carnot, ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 1.10γ.

1.11 Μετάδοση θερμότητας.

Η θερμότητα μεταδίδεται από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα. Η μετάδοση γίνεται με τρεις τρόπους, οι οποίοι είναι οι εξής:

α) Η **αγωγή** που αφορά τη μετάδοση της θερμότητας διά μέσου των στερεών και των υγρών σωμάτων.

β) Η **μεταφορά** (η συναγωγή) που είναι η με-



Σχ. 1.10β.

Ο κύκλος Carnot (α) σε διάγραμμα T-S, και (β) σε διάγραμμα p-V.

τάδοση θερμότητας από ένα στερεό σ' ένα ρευστό ή αντίστροφα.

γ) Η μετάδοση θερμότητας με **ακτινοβολία**, η οποία δεν προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου ρευστού ή κάποιου στερεού σώματος, αλλά γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

1) Μετάδοση θερμότητας με αγωγή.

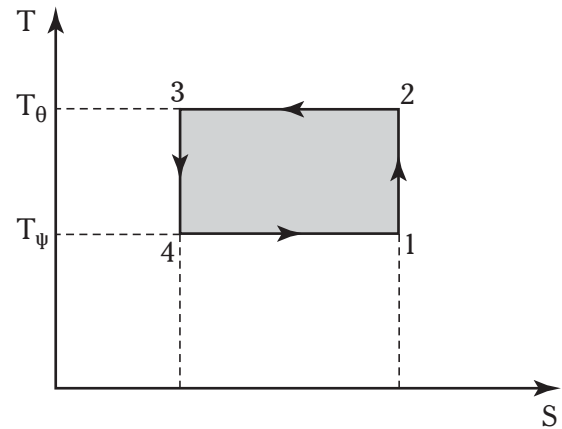
Κατά τη μετάδοση με αγωγή, η θερμότητα μεταδίδεται μέσα από ένα στερεό ή από ένα υγρό σώμα, το οποίο στις άκρες του έχει δυο διαφορετικές θερμοκρασίες. Με τη θερμική ενέργεια στην πλευρά της υψηλής θερμοκρασίας, προκαλείται αύξηση της ταλαντώσεως των μορίων του σώματος, η οποία μεταδίδεται προς τα γειτονικά μόρια. Το αποτέλεσμα είναι ότι δημιουργείται ένα ρεύμα θερμότητας, το οποίο εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού να μεταδίδει τη θερμική ενέργεια. Για παράδειγμα ας εξετάσουμε την περίπτωση ενός επίπεδου τοίχου με σταθερό πάχος L [σχ. 1.11α(α)]. Στις δύο πλευρές του τοίχου επικρατούν διαφορετικές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι οι T_1 και T_2 . Λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς, δημιουργείται ένα ρεύμα θερμότητας, το οποίο δίνεται από την εξής σχέση:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda \cdot A}{L} \cdot (T_1 - T_2).$$

Ο συντελεστής λ ονομάζεται **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας** και εκφράζει την ικανότητα του υλικού να μεταδίδει τη θερμότητα με αγωγή διά μέσου των μορίων του. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λ , τόσο πιο εύκολα μεταδίδεται η θερμότητα, οπότε τα υλικά χαρακτηρίζονται ως αγωγοί της θερμότητας ή ως μονωτικά ανάλογα με την τιμή του λ που έχουν. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι μεγάλος για τα μέταλλα και μικρός για τα διάφορα μονωτικά υλικά και μετρείται σε W/mK ή σε $kcal/mhK$. Τιμές του λ για διάφορα υλικά δίνονται στον πίνακα 1.11.1. Η θερμοκρασία μεταβάλλεται μέσα στον τοίχο με γραμμικό τρόπο, από τη μέγιστη τιμή T_1 μέχρι την ελάχιστη τιμή T_2 . Η κλίση της θερμοκρασίας δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας ανά μονάδα πάχους του τοίχου είναι μεγαλύτερη για μονωτικά υλικά, τα οποία έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

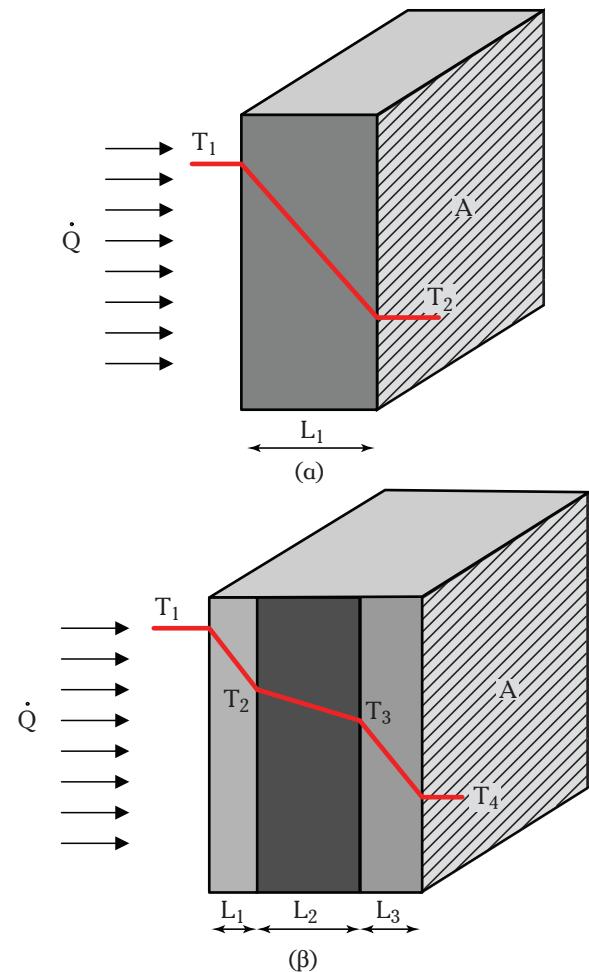
Στο σχήμα 1.11α(β) φαίνεται ένας σύνθετος τοίχος, ο οποίος αποτελείται από επάλληλα στρώματα διαφορετικού πάχους και από υλικά με διαφορετικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ο τοίχος του

σχήματος 1.11α(β) αποτελείται από τρία στρώματα διαφορετικών υλικών με πάχη L_1, L_2, L_3 και συντε-



Σχ. 1.10γ.

Διάγραμμα T - S του ιδανικού ψυκτικού κύκλου, του αντίστροφου κύκλου Carnot.



Σχ. 1.11α.

Μετάδοση θερμότητα με αγωγή: (α) Μέσα από απλό και (β) μέσα από σύνθετο τοίχο.

Πίνακας 1.11.1

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για διάφορα υλικά σε kcal/m.h.grad.

Υλικό	λ	Υλικό	λ
Χαλκός εμπορίου	300	Πάγος (°C)	1,9
Αλουμίνιο (90% καθαρότητα)	180	Χιών	0,07–1,8
Νικέλιο (97% καθαρότητα)	50	Ύδωρ (10–100 °C)	0,5–0,6
Σίδηρος	63	Υδρατμός (100 °C lat)	0,02
Χυτοσίδηρος	50	Οινόπνευμα	0,16
Χάλυβας	10–30	Βενζόλιο	0,13
Ορείχαλκος	70–100	Γλυκερίνη	0,24
Μπετόν	0,3–1,7	Έλαια	0,1–0,12
Μάρμαρο	2,5	CO ₂ (58,5 at)	0,075
Ξύλο δρυός (15% υγρασία)	0,14–0,32	NH ₃ (8,8 at)	0,43
Ξύλο πεύκης (15% υγρασία)	0,09–0,20	Αέρας	0,022
Υαλος	0,6–1,2	Βακελίτης	0,20
Πλεξιγκλάς	0,15	Μονωτικά υλικά	0,03–0,15

λεστές θερμικής αγωγιμότητας λ_1 , λ_2 και λ_3 αντίστοιχα και στα άκρα του υπάρχουν οι θερμοκρασίες T_1 και T_4 . Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα θερμότητας είναι:

$$\dot{Q} = \frac{A}{\frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3}} \cdot (T_1 - T_4).$$

2) Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά.

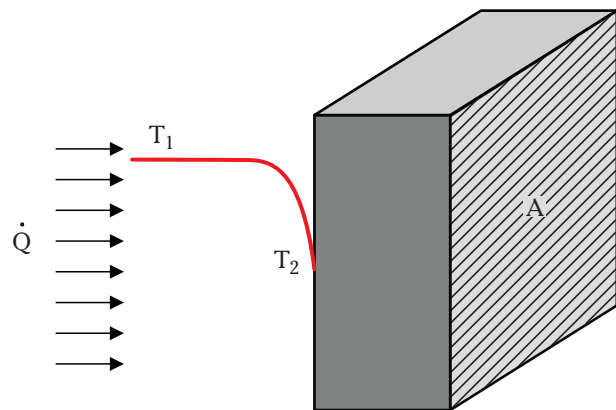
Η μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα από ένα ρευστό σ' ένα στερεό και οφείλεται στην κυκλοφορία του ρευστού. Αυτή μπορεί να είναι φυσική λόγω της μεταβολής της πυκνότητας ή βεβιασμένη με τη χρήση κάποιου μηχανικού μέσου, όπως αντλία, ανεμιστήρας κ.λπ.

Το ρεύμα θερμότητας που δημιουργείται από ένα ρευστό σ' ένα στερεό, έχει φορά από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέσο. Στο σχήμα 1.11β φαίνεται η περίπτωση της μεταφοράς θερμότητας από ένα ρευστό, το οποίο είναι θερμό, προς ένα στερεό επίπεδο τοίχωμα, το οποίο είναι ψυχρότερο.

Αν η θερμοκρασία του ρευστού σε μακρινή απόσταση από τον τοίχο είναι T_1 και η θερμοκρασία της επιφάνειας του τοίχου είναι T_2 , τότε το ρεύμα θερμότητας ισούται με:

$$\dot{Q} = a \cdot A \cdot (T_1 - T_2).$$

Ο συντελεστής a ονομάζεται **συντελεστής μετα-**



Σχ. 1.11β.

Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά από ένα ρευστό σε ένα επίπεδο τοίχο.

φοράς θερμότητας και εξαρτάται από το είδος του ρευστού και τους παράγοντες που επηρεάζουν την κυκλοφορία, όπως η ταχύτητα και η θέση του τοιχώματος. Μονάδες μετρήσεως του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας είναι οι W/m^2K και $kcal/m^2K$, ενώ τυπικές τιμές του για διάφορες περιπτώσεις δίνονται στον πίνακα 1.11.2.

3) Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπει κάθε σώμα όταν αυτό θερμαίνεται. Η ακτινοβολία αυτή απορροφάται απ' τα άλλα σώματα, και το αποτέ-

λεσμα είναι η μετάδοση θερμότητας από τα θερμά προς τα ψυχρά σώματα. Μ' αυτόν τον τρόπο η μετάδοση θερμότητας από ένα σώμα προς ένα άλλο γίνεται χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη ενδιάμεσης ύλης, δηλαδή ακόμα και σε κενό.

Το ρεύμα θερμότητας, το οποίο ακτινοβολείται από ένα σώμα, είναι ανάλογο της θερμοκρασίας του στην τέταρτη δύναμη και ισούται με:

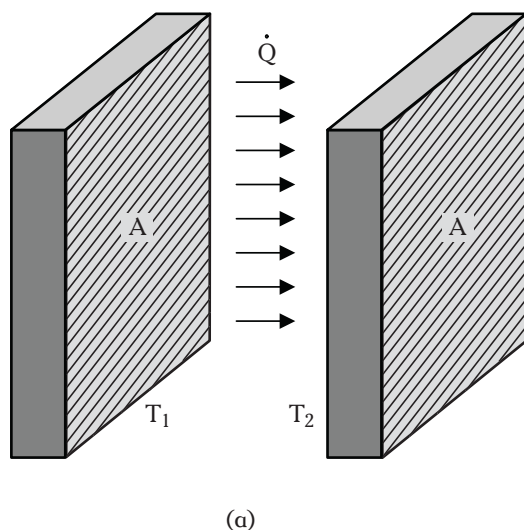
$$\dot{Q} = \epsilon_r \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4,$$

όπου: ϵ_r , είναι ένας αδιάστατος αριθμός που ονομάζεται **συντελεστής εκπομπής**, ο οποίος εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία της επιφάνειας και έχει ενδεικτικές τιμές που δίνονται στον πίνακα 1.11.3, σ , είναι η σταθερά Boltzmann, η οποία στο Διεθνές σύστημα μονάδων ισούται με $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, A , η επιφάνεια ακτινοβολίας και T , η απόλυτη θερμοκρασία.

Πίνακας 1.11.2

Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας α σε $\text{kcal/m}^2 \text{ h}$ όγκου για διαφορετικές περιπτώσεις.

Φυσική κυκλοφορία αέρα ή ατμού	5 – 25
Φυσική κυκλοφορία νερού	70 – 700
Βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα	12 – 250
Βεβιασμένη κυκλοφορία νερού	600 – 6000
Ατμοποιούμενο νερό	3000 – 6000
Συμπυκνούμενος υδρατμός	6000 – 30000



(α)

Το ρεύμα θερμότητας ανάμεσα σε δύο σώματα τα οποία έχουν ίση επιφάνεια και διαφορετικές θερμοκρασίες και ακτινοβολούν το ένα προς το άλλο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11γ(α), είναι:

$$\dot{Q} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_{r1}} + \frac{1}{\epsilon_{r2}} - 1} \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4).$$

Στην περίπτωση που το ένα σώμα με επιφάνεια A_2 , περικλείει τελείως το άλλο, το οποίο έχει επιφάνεια A_1 , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11γ(β), το ρεύμα θερμότητας είναι:

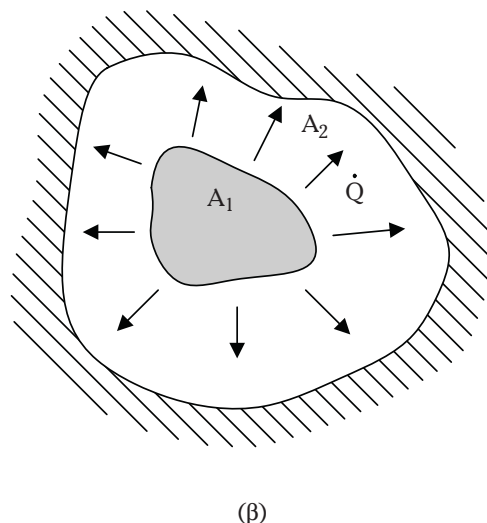
$$\dot{Q} = \frac{\sigma \cdot A_1}{\frac{1}{\epsilon_{r1}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{r2}} - 1 \right) \cdot \frac{A_1}{A_2}} \cdot (T_1^4 - T_2^4).$$

Η ακτινοβολία είναι σημαντική όταν οι θερμο-

Πίνακας 1.11.3

Συντελεστής εκπομπής για διάφορα υλικά.

Επιφάνεια	Θερμοκρασία, °C	ϵ_r
Χαλκός γαλισμένος	20	0,030
Αλουμίνιο	170	0,039
Σίδηρο	20	0,240
Ξύλο	70	0,935
Πάγος λείος, νερό	0	0,966



(β)

Σχ. 1.11γ.

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία: (α) ανάμεσα σε δύο σώματα με ίσες επιφάνειες και (β) ανάμεσα σε δύο σώματα στα οποία το ένα περικλείεται από το άλλο.

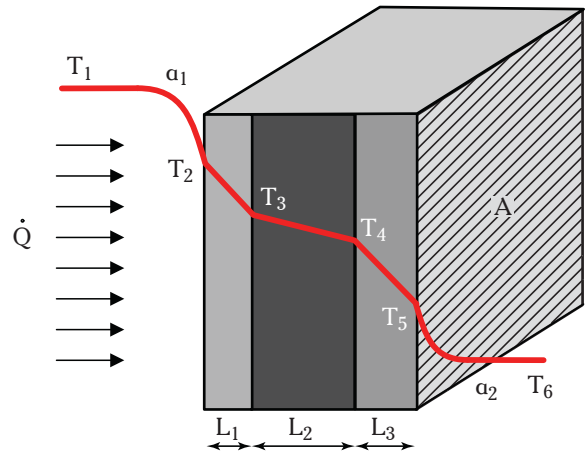
κρασίες είναι υψηλές, ενώ αγνοείται στην περίπτωση που τα σώματα έχουν θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στην ψύξη, η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία, λαμβάνεται υπόψη στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε χαμηλή θερμοκρασία. Τα κύπη αυτών των πλοίων, εφόσον προορίζονται για την μεταφορά κιβωτίων υπό ψύξη, μονώνονται για να περιορίζεται η ροή θερμότητας με ακτινοβολία ανάμεσα στα εξωτερικά ελάσματα του πλοίου και στα ελάσματα των κιβωτίων.

– Μετάδοση θερμότητας με αγωγή και μεταφορά.

Συνήθως, η μετάδοση θερμότητας γίνεται ταυτόχρονα με μεταφορά και με αγωγή. Μία τέτοια περίπτωση είναι αυτή του σύνθετου επίπεδου τοίχου, στον οποίο η θερμότητα μεταδίδεται με μεταφορά στις εξωτερικές του επιφάνειες και με αγωγή μέσα από τα στερεά επάλληλα στρώματα. Η περίπτωση αυτή φαίνεται στο σχήμα 1.11δ και αν οι θερμοκρασίες των δύο ρευστών μακριά από τον τοίχο είναι T_1 και T_6 , τότε το ρεύμα θερμότητας είναι:

$$\dot{Q} = \frac{A}{\frac{1}{a_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{a_2}} \cdot (T_1 - T_6)$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί ως εξής:



Σχ. 1.11δ.

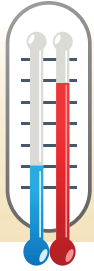
Μετάδοση θερμότητας με αγωγή και μεταφορά σε ένα σύνθετο επίπεδο τοίχο.

$$\dot{Q} = K \cdot A \cdot (T_1 - T_6),$$

όπου ο συντελεστής K ονομάζεται **συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας** και είναι ίσος με:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{a_2}}$$

Οι μονάδες του συντελεστή K στο Διεθνές σύστημα μονάδων είναι W/m^2K .



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βασικές αρχές ψύξεως

2.1 Εισαγωγή στην ψύξη – Ιστορικά στοιχεία.

Με τον όρο **ψύξη** εννοούμε την αφαίρεση θερμότητας από ένα χώρο, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες και την απόρριψή της στο περιβάλλον. Ο σκοπός της αφαίρεσεως θερμότητας είναι η διατήρηση ενός χώρου ή ενός σώματος σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτήν του θερμότερου περιβάλλοντος. Η παραγωγή «ψύχους» είναι ισοδύναμη έννοια με την αφαίρεση θερμότητας. Σε μερικές εφαρμογές, η διάταξη ψύξεως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση μέσω της απορριπτόμενης θερμότητας (π.χ. στη θέρμανση ενός χώρου με μια αντλία θερμότητας).

Σύμφωνα με το Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο, όπως αυτός διατυπώθηκε από τον Κλαούσιους, η θερμότητα μπορεί να μεταδίδεται αυτοδύναμα μόνο από υψηλότερες θερμοκρασίες προς χαμηλότερες. Κατά συνέπεια, η παραγωγή ψύχους δηλαδή η απαγωγή θερμότητας από μία χαμηλή προς μια υψηλότερη θερμοκρασία, δεν μπορεί να γίνει χωρίς τη δαπάνη κάποιας μορφής ενέργειας. Η ενέργεια που δαπανάται για τη λειτουργία των ψυκτικών εγκαταστάσεων μπορεί να είναι μηχανική (εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως ατμών) ή θερμότητα (εγκαταστάσεις απορροφήσεως). Η συνθεότερη εφαρμογή της ψύξεως είναι η συντήρηση των τροφίμων στα οικιακά ψυγεία. Με τη διατήρηση των τροφίμων σε ψυχρό περιβάλλον, αυτά προστατεύονται από την αλλοίωση, η οποία οφείλεται σε χημικές αντιδράσεις και σε ανάπτυξη μυκήτων. Επί πλέον, η ψύξη εκτός από τη διατήρηση τροφίμων έχει διάφορες εφαρμογές, όπως ο κλιματισμός, η υγροποίηση αερίων και η υγροποίηση και μεταφορά υδρογονανθράκων.

Δεδομένου ότι η ψύξη σχετίζεται με μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα με χαμηλή θερμοκρασία προς ένα σώμα με υψηλότερη, για τη διατήρηση ενός χώρου σε χαμηλή θερμοκρασία, ο περιορισμός του ρεύματος θερμότητας από την υψηλή προς τη χαμηλή θερμοκρασία συντελεί στη μείωση της θερμότητας που πρέπει συνεχώς να απομακρύνεται από την ψυκτική εγκατάσταση. Αυτό επιτυγχάνεται

με τη θερμική μόνωση της ψυχόμενης περιοχής με μονωτικά υλικά, που είναι δύσκολα διαπερατά από τη θερμότητα. Η μονωμένη ψυχόμενη περιοχή, στην οποία τοποθετούνται τα προς συντήρηση προϊόντα, ονομάζεται **ψυκτικός θάλαμος** και από αυτόν αφαιρεί θερμότητα η ψυκτική μηχανή. Εκτός από την κατάλληλη μόνωση, ο ψυκτικός θάλαμος περιλαμβάνει το τμήμα εκείνο της ψυκτικής εγκαταστάσεως, το οποίο εξασφαλίζει την ψύξη του αέρα του θαλάμου. Επί πλέον, σ' έναν ψυκτικό θάλαμο περιλαμβάνονται εγκαταστάσεις αερισμού και φωτισμού. Μ' αυτές εξασφαλίζεται ο αερισμός του χώρου και ο προβλεπόμενος αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα, καθώς και ο κατάλληλος φωτισμός.

Για την επίτευξη σταθερής θερμοκρασίας στον ψυκτικό θάλαμο, ο ρυθμός με τον οποίο απαγεί θερμότητα η ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να είναι ίσος με το ρυθμό, με τον οποίο η θερμότητα εισέρχεται στο θάλαμο μέσω της μονώσεως ή δημιουργείται μέσα στο θάλαμο. Το ποσό θερμότητας που πρέπει να αφαιρεί η ψυκτική εγκατάσταση στη μονάδα του χρόνου ονομάζεται **ψυκτικό φορτίο**. Το ψυκτικό φορτίο αποτελείται από τη θερμότητα που εισέρχεται στο θάλαμο μέσω της μονώσεως των τοιχωμάτων, από τη θερμότητα που εισέρχεται με τον εξωτερικό αέρα που αντικαθιστά τον αέρα του θαλάμου για τις ανάγκες αερισμού, από τη θερμότητα που πρέπει να αφαιρεθεί, ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία των προϊόντων που αποθηκεύονται και από τη θερμότητα που παράγεται από το φωτισμό, τα μηχανήματα και τους ανθρώπους που μπορεί να εργάζονται σ' αυτόν. Το ψυκτικό φορτίο μετρείται σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα χρόνου, ενώ συνήθως μονάδα μετρήσεως του ψυκτικού φορτίου είναι ο **ψυκτικός τόνος (Refrigerant Tone-RT)**, ο οποίος ισούται με:

$$1RT = 12.000 \frac{Btu}{h} = 3026,03 \frac{kcal}{h} = 3,5185 kW$$

Οι πρώτες προσπάθειες του ανθρώπου να συντηρήσει τρόφιμα σε χαμηλή θερμοκρασία χρονολογούνται από το 2000 π.Χ.. Η περισυλλογή του

χιονιού και του πάγου ήταν μία πρακτική που εφαρμόζονταν στους περισσότερους από τους αρχαίους πολιτισμούς, όπως των Κινέζων, των Ελλήνων, των Περσών και των Ρωμαίων. Ήδη από το 1000 π.Χ. ο φυσικός πάγος, ο οποίος συλλεγόταν το χειμώνα, αποθηκευόταν και διατηρούταν σε λάκκους που ήταν επενδυμένοι με άχυρο. Η χρήση του πάγου επεκτάθηκε εκτός από τη διατήρηση τροφίμων και στην ψύξη ποτών. Αναφέρεται ότι ο Μέγας Αλέξανδρος έδινε στους στρατιώτες του ποτά που είχαν ψυχθεί με πάγο το 300 π.Χ..

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι είχαν διαπιστώσει ότι το νερό κρύνει όταν έμενε μέσα σε πορώδη δοχεία μετά τη δύση του ηλίου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η υγρασία που έβγαινε μέσω των πόρων του δοχείου και εξατμιζόταν, έκανε το νερό πιο κρύο.

Τον 16^ο αιώνα ανακαλύφθηκε η χημική ψύξη, που ήταν το πρώτο βήμα προς τα τεχνητά μέσα ψύξεως. Το νιτρικό άλας νατρίου (NaNO_3) και το νιτρικό άλας καλίου (KNO_3) όταν προστίθενται στο νερό, μειώνουν τη θερμοκρασία του διαλύματος και μ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούν ένα λουτρό ψύξεως. Την εποχή της ανακαλύψεώς της η χημική ψύξη χρησιμοποιούνταν για την ψύξη κρασιού από την ιταλική αριστοκρατία. Αργότερα ο Βρετανός επιστήμονας Φράνσις Μπέικον (1561-1626) εφοδίασε τη βασιλική οικογένεια της Αγγλίας με πάγο που παρασκεύασε με τη μείξη νιτρικού άλατος και χιονιού.

Η τεχνολογία της αποθηκεύσεως του φυσικού πάγου εξελίχθηκε και δημιουργήθηκαν ειδικά κατασκευασμένες αποθήκες πάγου που χρησιμοποιούνταν μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Τον 18^ο αιώνα ο πάγος ήταν ένα προϊόν πολυτελείας, το οποίο ήταν διαθέσιμο μόνο στους πλούσιους. Το 1806 ο Φρέντερικ Τιούντορ, στη Νέα Υόρκη, ξεκίνησε τη διάθεση φτηνού πάγου, τον οποίο απέκοπτε από τον ποταμό Χάντσον που πάγωνε το χειμώνα. Ο πάγος του ποταμού Χάντσον αποστειλλόταν στις νότιες πολιτείες μέχρι την έναρξη του αμερικανικού εμφύλιου. Το εμπόριο του πάγου σε μεγάλες αποστάσεις βασίστηκε στην εξέλιξη από τον Τιούντορ νέων βελτιωμένων μονωτικών υλικών. Το εμπόριο του φυσικού πάγου συνεχίστηκε μέχρι το 1930, αν και είχε αναπτυχθεί η τεχνολογία παραγωγής τεχνητού πάγου. Η ζήτηση του φυσικού πάγου βασιζόταν στην υποτιθέμενη καλύτερη ποιότητα που είχε έναντι του τεχνητού.

Στις περισσότερες σύγχρονες ψυκτικές μηχανές η ψύξη παράγεται με την εξάτμιση κάποιου ψυκτικού υγρού. Η μέθοδος παραγωγής ψύχους με εξά-

τμιση εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τον Ουίλιαμ Κούλεν στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου το 1755, όπου σ' ένα πείραμα χρησιμοποιήθηκε ως ψυκτικό μέσο ο διαιθυλαιθέρας ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$). Με μία αντλία ο Κούλεν δημιούργησε κενό σ' ένα δοχείο με διαιθυλαιθέρα, ο οποίος καθώς εξατμιζόταν απήγαγε θερμότητα από το περιβάλλον. Αν και κατά τη διάρκεια του πειράματος δημιουργήθηκε μικρή ποσότητα πάγου, δεν υπήρξε καμιά περαιτέρω εμπορική εφαρμογή της μεθόδου.

Η ψύξη με εξάτμιση ήταν το πρώτο μισό του σύγχρονου ψυκτικού κύκλου, δεδομένου ότι το ψυκτικό μέσο που εξατμιζόταν χανόταν στην ατμόσφαιρα. Προκειμένου να γίνει η εφεύρεση του Κούλεν οικονομικά αποδοτική, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος να συμπυκνωθεί και να εισέλθει εκ νέου στο δοχείο σε υγρή μορφή ο εξατμιζόμενος διαιθυλαιθέρας. Η μέθοδος υγροποίησης των ατμών των αερίων μέσω της συμπίεσεως αναπτύχθηκε το τελευταίο μισό του 18^{ου} αιώνα. Με συμπίεση ατμών έγινε η υγροποίηση της αμμωνίας το 1787. Η ιδέα της δημιουργίας μιας ψυκτικής μηχανής, η οποία χρησιμοποιούσε έναν κύκλο με εξάτμιση και συμπύκνωση ατμών προτάθηκε από τον Όλιβερ Έβανς στη Φιλαδέλφεια των ΗΠΑ το 1805, ενώ η πρώτη κυκλική μηχανή ψύξεως κατασκευάστηκε από τον Τζέικομπ Πέρκινς. Η μηχανή του Πέρκινς, όπως περιγράφεται σ' ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του 1834, αποτελούταν από **ατμοποιητή, συμπιεστή, συμπυκνωτή και εκτονωτική βαλβίδα**. Η ψυκτική μηχανή του Πέρκινς λειτουργούσε ικανοποιητικά, αλλά δεν είχε εμπορική επιτυχία.

Η ανάπτυξη μιας οικονομικά συμφέρουσας ψυκτικής μηχανής οφείλεται στο Σκωτσέζο Τζέιμς Χάρισον, ο οποίος το 1850 εφηύρε μια μηχανή με μηχανική συμπίεση ατμών αιθέρα, η οποία χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή πάγου. Το σημείο ατμοποίησης του αιθέρα σε ατμοσφαιρική πίεση είναι $34,5^\circ\text{C}$ και έτσι για την παραγωγή πάγου νερού η πίεση ατμοποίησης του αιθέρα στον ατμοποιητή πρέπει να είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Αυτό είναι επικίνδυνο, γιατί όταν από πιθανή διαρροή των σωληνώσεων εισέλθει οξυγόνο στο κύκλωμα υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας εκρηκτικού μείγματος ατμών. Η μηχανή του Χάρισον κατασκευαζόταν μέχρι την εμφάνιση των συστημάτων αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα, αλλά παρέμεινε σε χρήση σε χώρες όπως η Ινδία, όπου το διαθέσιμο νερό για την ψύξη του συμπυκνωτή είχε γενικά υψηλότερη θερμοκρα-

οία από άλλες τοποθεσίες, και κατά συνέπεια τα συστήματα αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα είχαν μειωμένη απόδοση. Ο διαιθυλαιθέρας, που έχει σημείο ατμοποίησης $-23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε ατμοσφαιρική πίεση, προτάθηκε από τον Τσαρλς Τελιέ το 1864. Το διοξείδιο του θείου (SO_2) με σημείο ατμοποίησης $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε ατμοσφαιρική πίεση, προτάθηκε ως ψυκτικό μέσο το 1874 και χρησιμοποιήθηκε για περίπου 60 χρόνια. Το 1870 ο Καρλ Φον Λίντε πρότεινε ως ψυκτικό μέσο την αμμωνία (NH_3), η οποία έχει σημείο ατμοποίησης $-33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ στην ατμοσφαιρική πίεση και μπορούσε να δώσει χαμηλότερες θερμοκρασίες ψυκτικού θαλάμου (σχ. 2.1). Το μειονέκτημα ήταν ότι για τη συμπίεση της αμμωνίας απαιτούνται πιέσεις της τάξεως των 10 ατμοσφαιρών (bar) και κατά συνέπεια η όλη εγκατάσταση πρέπει να είναι πιο βαριά κατασκευής. Τα συστήματα διοξειδίου του άνθρακα αναπτύχθηκαν το 1886 και λόγω της μη τοξικότητας τους παρέμειναν σε χρήση στα πλοία μέχρι το 1955, οπότε αντικαταστάθηκαν από τους χλωροφθοράνθρακες.

Το πρώτο πλοίο που χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά φορτίου υπό ψύξη ήταν το ιστιοφόρο Ντάνεντιν με μήκος 73 m, το οποίο μετέφερε αρνίσιο κρέας από τη Νέα Ζηλανδία στην Αγγλία. Το πλοίο εφοδιάστηκε το 1881 από τον Ουίλιαμ Σολτάου Ντάβιντσον με μία ψυκτική μηχανή που λειτουργούσε με μηχανική συμπίεση αέρα. Ο αέρας, αφού συμπιεζόταν σ' έναν ατμοκίνητο συμπιεστή, απελευθερωνόταν στον ψυκτικό θάλαμο, δημιουργώντας ψύξη με εκτόνωση. Η ψυκτική εγκατάσταση του Ντάνεντιν κατανάλωνε 3 τόνους κάρβουνο ανά ημέρα και μπορούσε να διατηρεί τον ψυκτικό θάλαμο σε θερμοκρασία κατά $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος. Μ' αυτόν τον τρόπο έγινε εφικτή η μεταφορά κατεψυγμένου κρέατος διά μέσου των τροπικών θαλασσών. Το πρώτο ταξίδι του Ντάνεντιν πραγματοποιήθηκε το 1882 και διήρκεσε 98 ημέρες.

Οι αρχές της ψύξεως με απορρόφηση ατμών παρουσιάστηκαν το 1810 από τον Τζον Λέσλι, ο οποίος πέτυχε το σχηματισμό πάγου με την απορρόφηση ατμών νερού, σε χαμηλή πίεση, από θεικό οξύ. Με τη μέθοδο αυτή κατασκευάστηκαν γύρω στο 1878 ψυκτικά συστήματα, στα οποία το νερό αποχωριζόταν από το διάλυμα θεικού οξέος-νερού με βρασμό. Το κυκλικό σύστημα με απορρόφηση ατμών αμμωνίας από νερό κατασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1859 από το Γάλλο Φερντινάν Καρέ, ο οποίος εισήγαγε μια

σειρά από δοχεία και εναλλάκτες για το διαχωρισμό του πυκνού διαλύματος αμμωνίας-νερού και για την παραγωγή υγρής αμμωνίας. Λόγω της τοξικότητας της αμμωνίας τα συστήματα αυτά δεν κατασκευάστηκαν για οικιακή χρήση, αλλά χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή πάγου σε μεγάλες μονάδες, δεδομένου ότι οι μικροί καταναλωτές της εποχής ήταν εφοδιασμένοι με ψυγεία πάγου.

Το 1834 ο Γάλλος Ζαν Πελιέ παρατήρησε ότι όταν διέρχεται ρεύμα από δύο διαφορετικά μέταλλα, το σημείο ενώσεώς τους θερμαίνεται ή ψύχεται, ανάλογα με τη φορά του ρεύματος. Αυτή η μέθοδος παραγωγής ψύχους ονομάζεται **θερμοπλεκτρική ψύξη** και λόγω του μειονεκτήματος της μεγάλης απαιτούμενης εντάσεως του ρεύματος που απαιτείται, οι συνήθεις εφαρμογές της είναι περιορισμένες. Σήμερα, με την εξέλιξη των ημιαγωγών, η μέθοδος της θερμοπλεκτρικής ψύξεως, εφαρμόζεται κυρίως για στρατιωτική χρήση και βρίσκει εφαρμογές στην αεροναυπηγική και στη διαστημική τεχνολογία.

Τα πρώτα οικιακά ψυγεία παρουσιάστηκαν στις ΗΠΑ το 1911 και λειτουργούσαν με συμπίεση ατμών διοξειδίου του θείου. Η ώθηση στην εξάπλωση της ψύξεως σε οικιακή κλίμακα δόθηκε με την εφεύρεση από τον Τόμας Μιντγκελέι το 1928 πιο ασφαλών ψυκτικών μέσων, των χλωροφθορανθράκων (CFC, Freon). Ο Μιντγκελέι ήταν ερευνητής μιας αυτοκινητοβιομηχανίας και ο σκοπός της έρευνάς του ήταν η ανάπτυξη ψυκτικών μέσων χαμηλής τοξικότητας, τα οποία έπρεπε να είναι μη εκρηκτικά, με χημική ευστάθεια και σημείο ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση από $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Παρατηρήθηκε ότι οι



Σχ. 2.1.

Ψυκτική μηχανή Linde με ψυκτικό μέσο αμμωνία.

υδρογονάνθρακες, οι οποίοι ήταν παράγωγα της διυλίσεως του πετρελαίου, πληρούσαν όλα τα κριτήρια εκτός απ' αυτό της εκρηκτικότητας. Έτσι με τεχνητή αντικατάσταση των ατόμων του υδρογόνου με άτομα χλωρίου και φθορίου, προέκυψαν ενώσεις που πληρούσαν τις προδιαγραφές ασφαλείας, οι οποίες άρχισαν να χρησιμοποιούνται στα οικιακά ψυγεία από το 1930.

Λόγω της επιδράσεως των χλωροφθορανθράκων (CFC) στο στρώμα του όζοντος, η χρήση τους περιορίστηκε το 1989 από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Σε αναζήτηση εναλλακτικών ψυκτικών μέσων ο Γερμανός Σαρφενστάιν ανέπτυξε τους υδροφθοράνθρακες (HFC), οι οποίοι αντικατέστησαν τους χλωροφθοράνθρακες στις νέες ψυκτικές εγκαταστάσεις. Οι υδροφθοράνθρακες δεν βλάπτουν το στρώμα του όζοντος, αλλά έχει παρατηρηθεί ότι συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στη θέρμανση της ατμόσφαιρας. Έτσι, ενώ σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η παραγωγή και η χρήση των HFC θα σταματήσει μέχρι το 2030, η αναζήτηση για τα ιδανικά ψυκτικά μέσα συνεχίζεται και δεν έχει ακόμα σταματήσει. Τελευταία έχει προταθεί η χρήση ψυκτικών μέσων που είναι περιβαλλοντικά ασφαλή, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και ο ατμοσφαιρικός αέρας.

2.2 Μέθοδοι παραγωγής ψύχους.

Οι ψυκτικές μηχανές έχουν ως σκοπό την αφαίρεση θερμότητας από ένα χώρο ή από ένα μέσο, έτσι ώστε η θερμοκρασία του να είναι χαμηλή. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παραγωγής ψύχους, οι κυριότερες των οποίων μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες: **Πρώτον** ψύξη χωρίς τη χρησιμοποίηση μηχανικού έργου ή θερμικής ενέργειας και **δεύτερον** ψύξη με κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο.

2.2.1 Ψύξη χωρίς τη χρησιμοποίηση μηχανικού έργου ή θερμικής ενέργειας.

Με τις μεθόδους αυτές, το εργαζόμενο μέσο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, οπότε η ψύξη παράγεται σε ανοικτό θερμοδυναμικό κύκλο, όπου η θερμότητα απορροφάται από το ψυκτικό μέσο, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του από τον ψυχόμενο χώρο. Στην περίπτωση, που το ψυκτικό μέσο δεν αλλάζει φάση, αυξάνεται η θερμοκρασία του. Αντίθετα, στην περίπτωση που υπάρχει αλλαγή φάσεως, η απορροφούμενη θερμότητα είναι η **λανθάνουσα θερ-**

μότητα αλλαγής φάσεως του ψυκτικού μέσου και η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή. Επίσης, στις μεθόδους παραγωγής ψύξεως χωρίς την προσθήκη μηχανικού έργου συμπεριλαμβάνονται μέθοδοι όπου δεν υπάρχει θερμοδυναμική διεργασία του ψυκτικού μέσου. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι εξής τέσσερις μέθοδοι ψύξεως:

1) Ψύξη με πάγο νερού.

Η ψύξη με πάγο νερού, άρχισε να χρησιμοποιείται από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, δεδομένου ότι στην αρχή ο φυσικός και στη συνέχεια ο τεχνητός πάγος ήταν το μόνο διαθέσιμο ψυκτικό μέσο, για ψύξη σε μικρή κλίμακα.

Κατά τη μέθοδο αυτή ο ψυκτικός θάλαμος διαθέτει ένα χώρο, όπου τοποθετείται πάγος νερού. Ο χώρος αυτός καταλαμβάνει το 1/3 έως το 1/5 του χώρου του ψυκτικού θαλάμου, που βρίσκεται στην κορυφή του θαλάμου και διαθέτει σύστημα αποχετεύσεως για την απομάκρυνση του νερού από την τήξη του πάγου. Επί πλέον, γύρω από το χώρο αποθηκεύσεως πάγου, σχηματίζεται κανάλι κυκλοφορίας του αέρα του θαλάμου.

Η θερμότητα εισέρχεται στο θάλαμο μέσω των τοιχωμάτων ή δημιουργείται από οποιαδήποτε άλλη πηγή εντός του θαλάμου. Στη συνέχεια, απάγεται λόγω της τήξεως του πάγου, μέσω της κυκλοφορίας του αέρα. Ο αέρας έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα και τα ψυχόμενα προϊόντα και θερμαίνεται λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας τους. Καθώς ο αέρας θερμαίνεται, γίνεται ελαφρύτερος και ανεβαίνει προς το θάλαμο πάγου. Εκεί έρχεται σε επαφή με την ψυχρή επιφάνεια του πάγου και μεταδίδει μέρος της θερμότητας που μεταφέρει. Με την ψύξη ο αέρας γίνεται πυκνότερος, άρα βαρύτερος, και κατεβαίνει προς τα κάτω για να επαναληφθεί ο κύκλος (σχ. 2.2α).

Η θερμότητα που απομακρύνεται από τον ψυκτικό θάλαμο, είναι η λανθάνουσα θερμότητα τήξεως του πάγου, με την οποία ο πάγος αλλάζει φάση από στερεό σε υγρό. Η ειδική λανθάνουσα θερμότητα τήξεως του πάγου είναι:

$$q_A = 334 \text{ kJ/kg} = 79,71 \text{ kcal/kg}$$

Δεδομένου ότι το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι ο αέρας του θαλάμου, για να εξασφαλισθεί η κυκλοφορία του αέρα στο θάλαμο, πρέπει αφενός ο χώρος αποθηκεύσεως πάγου να είναι τοποθετημέ-

νος στο πάνω μέρος του θαλάμου και αφετέρου να μην εμποδίζεται η ροή στα κανάλια κυκλοφορίας.

Η ψύξη με πάγο έχει μερικά **βασικά μειονεκτήματα**. Κατ' αρχήν δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν στον ψυκτικό θάλαμο οι χαμηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για πολλές εφαρμογές ψύξεως. Με κανονικό πάγο νερού, η ελάχιστη θερμοκρασία του θαλάμου δεν μπορεί να είναι χαμηλότερη από 0 °C, ενώ για πάγο άλμης, που έχει σχηματιστεί με προσθήκη χλωριούχου νατρίου (NaCl) ή χλωριούχου ασβεστίου (CaCl₂), η θερμοκρασία μπορεί να κατέβει μέχρι τους -20 °C.

Επί πλέον, πρέπει να αναπληρώνεται ο πάγος που λιώνει και να απομακρύνεται το νερό, πράγμα το οποίο καθιστά τη μέθοδο ψύξεως με πάγο οικονομικά ασύμφορη και δύσχρηστη.

Τέλος, σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η δυσκολία ελέγχου του ρυθμού ψύξεως, που συνεπάγεται δυσκολία ελέγχου των θερμοκρασιών στον ψυκτικό θάλαμο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός απομακρύνσεως της θερμότητας μέσω του πάγου είναι ανάλογος με την επιφάνεια του πάγου που έρχεται σε επαφή με τον αέρα του θαλάμου. Καθώς ο πάγος λιώνει, μειώνεται η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας και αντίστοιχα μειώνεται η ικανότητα ψύξεως. Όταν ο πάγος συρρικνωθεί και η διαθέσιμη επιφάνειά του μειωθεί, τότε η θερμότητα εισέρχεται στο θάλαμο με μεγαλύτερο ρυθμό από το ρυθμό με τον οποίο απομακρύνεται μέσω της ψύξεως του αέρα. Από το σημείο αυτό και πέρα η θερμοκρασία του θαλάμου αρχίζει να ανεβαίνει, μέχρι την εξάντληση όλης της διαθέσιμης ποσότητας πάγου.

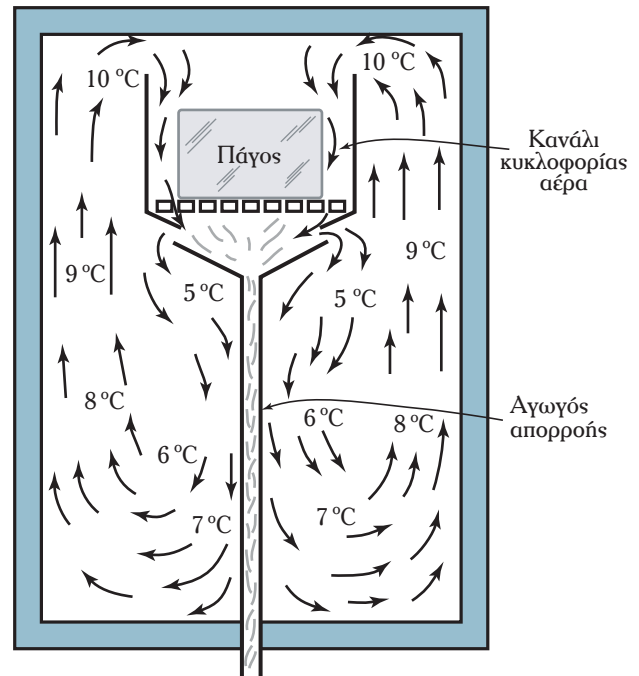
Η ψύξη με φυσικό πάγο, παρά τα μειονεκτήματα που έχει, σε μερικές εφαρμογές προτιμάται έναντι άλλων μεθόδων μηχανικής ψύξεως, δεδομένου ότι ο πάγος προλαμβάνει την αφυδάτωση των τροφίμων και διατηρεί την καλή τους όψη. Για το σκοπό της συντηρήσεως τροφίμων με πάγο, παράγεται τριμμένος πάγος σε ειδικές παγομηχανές (σχ. 2.2β). Ο τριμμένος πάγος χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως για τη συσκευασία και τη διατήρηση λαχανικών, πουλερικών και ψαριών.

2) Ψύξη με ξηρό πάγο (CO₂).

Ο ξηρός πάγος (dry ice) είναι η εμπορική ονομασία για το στερεό παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) σε θερμοκρασία -78,5 °C (-109,3 °F). Το αέριο CO₂ είναι συστατικό της ατμόσφαιρας και είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και έχει ειδικό βάρος 1,98

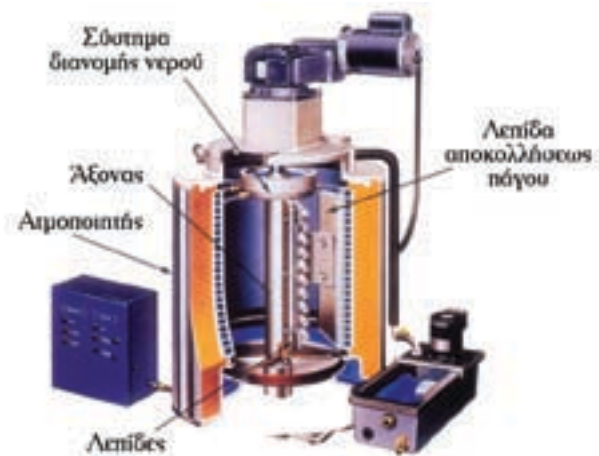
kg/m³, είναι δηλαδή βαρύτερο από τον αέρα.

Η ψύξη με ξηρό πάγο γίνεται σε ειδικά δοχεία όπου ο ξηρός πάγος απορροφάει θερμότητα και μετατρέπεται σε αέριο CO₂. Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η αυξημένη θερμότητα ανά μονάδα μάζας που απορροφάει ο ξηρός πάγος σε σχέση με τη θερμότητα που απορροφάει ο πάγος νερού. Η μέθοδος ψύξεως με ξηρό πάγο δεν βρίσκει εφαρμογή στα πλοία διότι απαιτείται ανανέωση του ξηρού πάγου, ο οποίος παρασκευάζεται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.



Σχ. 2.2α.

Ψύξη με πάγο με φυσική κυκλοφορία αέρα.



Σχ. 2.2β.

Μηχανή παραγωγής τριμμένου πάγου.

Επίσης είναι σημαντικό να τονιστεί ότι πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας για προστασία από τα εγκαύματα ψύχους που προκαλεί η επαφή με τον ξηρό πάγο και από την ασφυξία που προκαλεί το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται. Περισσότερες λεπτομέρειες για την μέθοδο παραγωγής ψύξεως με ξηρό πάγο δίνονται στο Παράρτημα 1.Α.

3) Ψύξη με ατμοποίηση υγρών.

Στην ψύξη με εξάτμιση εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητα που έχουν τα υγρά να απορροφούν ένα ποσό θερμότητας όταν εξατμίζονται. Το ποσό της θερμότητας ανά μονάδα μάζας που απορροφά ένα υγρό για να αλλάξει φάση και να μετατραπεί σε αέριο ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης** ή **ειδική ενθαλπία ατμοποίησης** και μετρείται σε kJ/kg ή σε kcal/kg. Στην ψύξη με εξάτμιση, η θερμότητα προέρχεται από το εξατμιζόμενο υγρό και από το περιβάλλον του, ενώ η εξάτμιση συνήθως γίνεται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Η ψύξη με εξάτμιση δεν βρίσκει εφαρμογή στα πλοία, διότι απαιτείται συνεχής παροχή αποσταγμένου νερού. Η κυριότερη εφαρμογή της μεθόδου είναι η ψύξη νερού σε θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρισμού και η συμπύκνωση ψυκτικού μέσου σε εγκαταστάσεις κλιματισμού κτηρίων, μέσω πύργων ψύξεως. Περισσότερες λεπτομέρειες της μεθόδου αναφέρονται στο Παράρτημα 1.Β.

4) Θερμοηλεκτρική ψύξη.

Στη θερμοηλεκτρική ψύξη γίνεται εκμετάλλευση του θερμοηλεκτρικού φαινομένου, το οποίο ονομάζεται και **φαινόμενο Πελτιέ**. Κατά το φαινόμενο Πελτιέ, όταν από δύο διαφορετικούς μεταλλικούς αγωγούς διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, στα δύο σημεία επαφής τους, δημιουργείται διαφορά θερμοκρασίας και ροή θερμότητας. Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο είναι γνωστό από το 1834, όταν παρουσιάστηκε από τον Πελτιέ, ενώ ως μέθοδος παραγωγής ψύξεως εφαρμόστηκε μετά το 1950, με την πρόοδο της ηλεκτρονικής και την εξέλιξη των ημιαγωγών. Σήμερα η θερμοηλεκτρική ψύξη βρίσκει εφαρμογές σε μικρά ψυγεία, καθώς και σε κλιματισμό υποβρυχίων λόγω της αθόρυβης λειτουργίας. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικές με τη θερμοηλεκτρική ψύξη δίνονται στο Παράρτημα 1.Γ.

2.2.2 Ψύξη με κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο.

Στις μεθόδους παραγωγής ψύξεως αυτής της

κατηγορίας, το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο επαναχρησιμοποιείται, οπότε η ψύξη παράγεται με κυκλική θερμοδυναμική διεργασία. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται οι εξής μέθοδοι ψύξεως:

1) Ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών ψυκτικού μέσου.

Στην ψύξη με ατμοποίηση, γίνεται χρήση της ιδιότητας των υγρών να απορροφούν τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, προκειμένου να μετατραπούν σε αέρια. Για την παραγωγή ψύξεως, το εργαζόμενο μέσο βρίσκεται σε υγρή μορφή και απορροφά τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, οπότε αλλάζει φάση και γίνεται αέριο. Η αλλαγή φάσεως γίνεται σ' έναν εναλλάκτη, που είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυκτικό θάλαμο και ονομάζεται **ατμοποιητής** ή **ψύκτης** ή **εξατμιστής**. Για να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του αερίου ψυκτικού μέσου, πρέπει οι ατμοί του να υγροποιηθούν. Η υγροποίηση ενός αερίου προϋποθέτει την αφαίρεση απ' αυτό της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης, η οποία πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον. Δεδομένου ότι η θερμότητα μεταδίδεται από την υψηλή προς τη χαμηλή θερμοκρασία, απόρριψη από το αέριο ψυκτικό μέσο της θερμότητας υγροποίησης προς το περιβάλλον μπορεί να γίνει μόνο εφόσον το ψυκτικό μέσο θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος.

Η θέρμανση των αερίων μπορεί να γίνει με την αύξηση της ενθαλπίας τους, δηλαδή με τη συμπίεση με προσθήκη μηχανικού έργου. Έτσι, με την τοποθέτηση ενός **συμπιεστή** μετά τον ατμοποιητή, ο οποίος συμπιέζει τους ατμούς του ψυκτικού μέσου, το αέριο ψυκτικό μέσο θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος και μπορεί να υγροποιηθεί απορρίπτοντας τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης. Η συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου γίνεται με τη δαπάνη του μηχανικού έργου συμπίεσεως, συνήθως σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας από το συμπιεστή. Η αφαίρεση της θερμότητας υγροποίησης από το αέριο ψυκτικό μέσο γίνεται σ' έναν εναλλάκτη, που ονομάζεται **συμπυκνωτής**. Για να οδηγηθεί το υγρό ψυκτικό μέσο εκ νέου στον ψυκτικό θάλαμο και να ατμοποιηθεί, προκειμένου να επαναληφθεί ο κύκλος, πρέπει η πίεσή του να υποβιβαστεί στη χαμηλή πίεση που επικρατεί στον ψύκτη. Ο υποβιβασμός της πίεσεως του ψυκτικού μέσου γίνεται με στραγγαλισμό σε μία **εκτονωτική βαλβίδα**, που τοποθετείται ανάμεσα

στο συμπυκνωτή και στον ψύκτη.

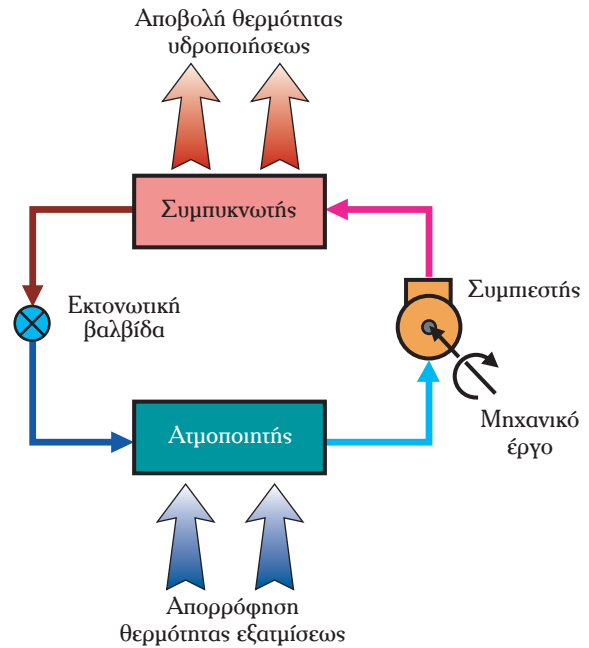
Στο σχήμα 2.2γ φαίνεται το διάγραμμα μιας ψυκτικής μηχανής που εργάζεται με μηχανική συμπίεση ατμών ενός ψυκτικού μέσου. Οι θερμοδυναμικές μεταβολές της ατμοποίησης, της συμπίεσης, της υγροποίησης και της εκτονώσεως του ψυκτικού μέσου λαμβάνουν χώρα στον ατμοποιητή, το συμπιεστή, το συμπυκνωτή και την εκτονωτική βαλβίδα.

Σε μία ψυκτική μηχανή μηχανικής συμπίεσης ατμών, είναι απαραίτητες και άλλες διατάξεις και εξαρτήματα που αποσκοπούν στην εκπλήρωση απαιτήτων λειτουργιών, όπως είναι η συνεχής ρύθμιση της παροχής της απαραίτητης ποσότητας υγρού ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή, η ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος, η αποχιόνωση του ατμοποιητή, ο διαχωρισμός του λιπαντικού λαδιού που παρασύρεται απ' το συμπιεστή κ.ά..

Η ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής ψύχους που βρίσκει εφαρμογή σε οικιακά ψυγεία, σε ψυκτικούς θαλάμους συντηρήσεως τροφίμων, στην υγροποίηση αερίων και στον κλιματισμό χώρων. Δεδομένου ότι είναι μέθοδος με την ευρύτερη εφαρμογή στα πλοία, η ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών ψυκτικού μέσου αποτελεί το κύριο αντικείμενο του παρόντος εγχειρίδιου. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται οι θερμοδυναμικοί υπολογισμοί του κύκλου του ψυκτικού ρευστού και περιγράφονται τα μέρη και τα εξαρτήματα των ψυκτικών εγκαταστάσεων μηχανικής συμπίεσης ατμών.

2) Ψύξη με απορρόφηση ατμών – Περιγραφή λειτουργίας κύκλου ψύξεως με απορρόφηση.

Στην ψύξη με απορρόφηση υπάρχουν δύο εργαζόμενα μέσα, το **ψυκτικό μέσο** και ο **απορροφητής**, τα οποία μπορούν να αναμειγνύονται άλλο σε διάφορες αναλογίες και να σχηματίζουν πυκνά και αραιά διαλύματα. Η παραγωγή ψύχους, όμοια με την ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών, βασίζεται στο φαινόμενο της ατμοποίησης. Το υγρό ψυκτικό μέσο, που είναι συνήθως αμμωνία ή το νερό, ατμοποιείται ή ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και απορροφά τη λανθάνουσα θερμότητα αλλαγής φάσεως από τον ψυχόμενο χώρο ή από το ψυχόμενο μέσο. Στη συνέχεια, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου αντί να συμπιεστούν από ένα μηχανικό συμπιεστή, απορροφώνται από ένα αραιό υγρό διάλυμα απορροφητή-ψυκτικού μέσου. Το διάλυμα που προκύπτει αντλείται



Σχ. 2.2γ.

Διάγραμμα ψυκτικής μηχανής με μηχανική συμπίεση ατμών.

από μία αντλία σε υψηλή πίεση, όπου με τη βοήθεια θερμότητας διαχωρίζονται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου και αποδίδουν τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης στο περιβάλλον, ώστε να υγροποιηθούν πάλι και να σχηματιστεί υγρό ψυκτικό μέσο υψηλής πίεσης, το οποίο οδηγείται εκ νέου στον ψύκτη.

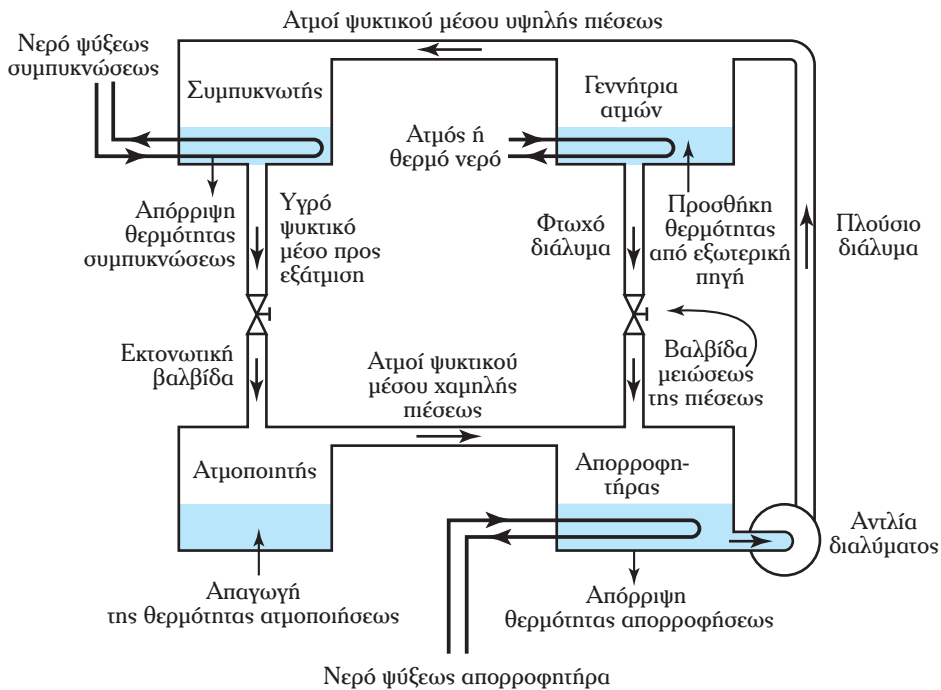
Η διαφορά ανάμεσα στην ψύξη με απορρόφηση και στην ψύξη με μηχανική συμπίεση έγκειται στη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαφοράς πιέσεων ανάμεσα στην υψηλή πίεση συμπυκνώσεως και στη χαμηλή πίεση ατμοποίησης και για την ανακυκλοφορία του ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα. Ενώ στην ψύξη με μηχανική συμπίεση χρησιμοποιείται συμπιεστής, ο οποίος στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ηλεκτροκίνητος, στην ψύξη με απορρόφηση, ο συμπιεστής αντικαθίσταται από έναν απορροφητή ατμών, ο οποίος αντί για μηχανικό έργο τροφοδοτείται με θερμότητα από μία θερμική πηγή. Η πηγή θερμότητας είναι ατμός ή ζεστό νερό, ενώ στις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις απορροφήσεως η θερμότητα προσδίδεται από την καύση φυσικού αερίου, προπανίου ή κηροζίνης ή από μία ηλεκτρική αντίσταση. Επί πλέον, στις ψυκτικές μηχανές απορροφήσεως μπορεί να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα που αποβάλλεται από μηχανές εσωτερικής καύσεως, καθώς και η θερμότητα που παράγεται από ηλιακή ενέργεια ή από γεωθερμικές πηγές.

Μια απλή εγκατάσταση απορροφήσεως εικονίζεται στο σχήμα 2.2δ και αποτελείται από τέσσερα βασικά εξαρτήματα: τον **ατμοποιητή** (evaporator) και τον **απορροφητήρα** (absorber), που βρίσκονται στην πλευρά της χαμηλής πίεσεως, τη **γεννήτρια ατμών** (generator) και το **συμπυκνωτή** (condenser), που βρίσκονται στην πλευρά της υψηλής πίεσεως. Το ψυκτικό μέσο ρέει από το συμπυκνωτή προς τον ψύκτη και στη συνέχεια προς τον απορροφητήρα, τη γεννήτρια ατμών, από όπου επιστρέφει στο συμπυκνωτή. Η ροή του υγρού απορροφητή γίνεται από τον απορροφητήρα προς τη γεννήτρια ατμών και πίσω.

Η λειτουργία της εγκαταστάσεως απορροφήσεως που φαίνεται στο σχήμα 2.2δ, έχει ως εξής: Το υγρό ψυκτικό μέσο βρίσκεται στον ψύκτη στη χαμηλή πίεση ατμοποίησης, όπου ατμοποιείται ή ατμοποιείται και απορροφάει τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης και ψύχει το εργαζόμενο μέσο. Οι ατμοί ψυκτικού μέσου χαμηλής πίεσεως που δημιουργούνται περνάνε από τον ανοικτό σωλήνα προς τον απορροφητήρα, όπου απορροφώνται από τον απορροφητή και σχηματίζουν πλούσιο διάλυμα. Η ροή των ατμών του ψυκτικού μέσου από τον ψύκτη προς τον απορροφητήρα υφίσταται διότι η πίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου στον απορροφητήρα, λόγω της μετατροπής του ψυκτικού μέσου από αέρια σε υγρή μορφή, είναι μικρότερη από την πίεση των ατμών

στον ψύκτη. Έτσι, η πίεση των ατμών στον απορροφητήρα ρυθμίζει την πίεση στον ψύκτη και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία αλλαγής φάσεως του ψυκτικού μέσου. Η πίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου στον απορροφητήρα εξαρτάται από τον απορροφητή και τη θερμοκρασία του και από τη συγκέντρωση του πλούσιου διαλύματος που προκύπτει. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία του απορροφητή και όσο μικρότερη η συγκέντρωση του ψυκτικού μέσου στο διάλυμα, τόσο χαμηλότερη είναι η πίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου στον απορροφητήρα και τόσο χαμηλότερη η θερμοκρασία ατμοποίησης.

Καθώς οι ατμοί του ψυκτικού μέσου απορροφώνται και σχηματίζουν διάλυμα με τον απορροφητή, ο όγκος τους μειώνεται και απελευθερώνεται η θερμότητα απορροφήσεως. Προκειμένου να διατηρηθούν σταθερές η θερμοκρασία και η πίεση των ατμών στον απορροφητήρα, πρέπει να απομακρυνθεί η θερμότητα που παράγεται και να απορριφθεί στο περιβάλλον. Προκειμένου να μπορεί να αποβάλλεται θερμότητα από τον απορροφητήρα προς το περιβάλλον, η θερμοκρασία του πρέπει να είναι υψηλότερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος. Έτσι, η απορρόφηση των ατμών του ψυκτικού μέσου γίνεται αποδοτικότερα σε χαμηλές θερμοκρασίες και η απόδοση του απορροφητήρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.



Σχ. 2.2δ.
Βασικός κύκλος ψύξεως με απορρόφηση ατμών.

Για να είναι δυνατή η συνεχής απορρόφηση των ατμών του ψυκτικού μέσου, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση του πλούσιου διαλύματος που σχηματίζεται στον απορροφητήρα και η αντικατάστασή του με φτωχό διάλυμα. Για το σκοπό αυτό το πλούσιο διάλυμα ωθείται από μία αντλία κυκλοφορίας από τον απορροφητήρα προς τη γεννήτρια ατμών, όπου θερμαίνεται με τη βοήθεια μιας εξωτερικής πηγής θερμότητας. Λόγω της θερμάνσεως, το ψυκτικό μέσο που έχει απορροφηθεί αποχωρίζεται από το πυκνό διάλυμα και διαφεύγει σε μορφή ατμών και παραμένει ασθενές διάλυμα. Το ασθενές διάλυμα στη γεννήτρια ατμών βρίσκεται σε υψηλή πίεση και οδηγείται μέσω μιας βαλβίδας μείωσης πίεσης προς τον απορροφητήρα, ώστε να απορροφήσει εκ νέου ατμούς ψυκτικού μέσου που βγαίνουν από τον ψύκτη. Έτσι, αντί του συμπιεστή που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσης ατμών για τη συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου, στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως χρησιμοποιείται η απορρόφηση των ατμών από φτωχό διάλυμα, που γίνεται πλούσιο και ακολουθεί η άντληση του πλούσιου διαλύματος που δημιουργείται.

Στη γεννήτρια ατμών, το πυκνό διάλυμα θερμαίνεται πάλι από μία εξωτερική πηγή θερμότητας, οπότε οι ατμοί του ψυκτικού μέσου διαχωρίζονται από το ισχυρό διάλυμα και οδηγούνται στο συμπυκνωτή. Εκεί ψύχονται, αποβάλλουν τη λανθάνουσα θερμότητα συμπυκνώσεως προς το περιβάλλον και σχηματίζουν υγρό ψυκτικό μέσο υψηλής πίεσης. Το υγρό ψυκτικό μέσο που σχηματίζεται στο συμπυκνωτή, αφού περάσει από μία εκτονωτική διάταξη, ώστε να υποβιβαστεί η πίεσή του, οδηγείται με χαμηλή πίεση προς τον ψύκτη, όπου αλλάζει φάση, λαμβάνει τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης και οδηγείται προς τον απορροφητήρα, προκειμένου να επαναληφθεί ο κύκλος.

Το πιο συνηθισμένο ζεύγος εργαζομένων μέσων στον κύκλο απορροφήσεως είναι το νερό ως απορροφητής και η αμμωνία ως ψυκτικό μέσο. Επί πλέον μία εγκατάσταση απορροφήσεως μπορεί να τροποποιηθεί, ώστε ο απορροφητής να είναι στερεό. Τέλος, μια παραλλαγή των εγκαταστάσεων απορροφήσεως είναι οι εγκαταστάσεις διαχύσεως, όπου δεν απαιτείται η χρήση αντλίας διαλύματος και η κυκλοφορία του διαλύματος γίνεται με τη βαρύτητα. Ο βαθμός αποδόσεως των εγκαταστάσεων απορροφήσεως είναι σημαντικά μικρότερος από το βαθμό αποδόσεως των εγκαταστάσεων μηχανικής συμπίε-

σεως ατμών, αλλά πλεονεκτούν στο ότι χρησιμοποιούν θερμότητα αντί για μηχανικό έργο.

Λόγω της υπάρξεως αμμωνίας, η οποία είναι τοξική, οι εγκαταστάσεις απορροφήσεως δεν βρίσκουν εφαρμογή στα πλοία. Περισσότερες πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις απορροφήσεως και διαχύσεως δίνονται στο Παράρτημα 1.Δ.

3) Ψύξη με εκτόνωση αέρα.

Στην ψύξη με εκτόνωση αέρα γίνεται χρήση της ιδιότητας που έχουν τα αέρια να μειώνουν τη θερμοκρασία όταν εκτονώνονται. Ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται ο ατμοσφαιρικός αέρας. Το διάγραμμα μιας ψυκτικής μηχανής που λειτουργεί με εκτόνωση ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2ε(α), ενώ ο ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα T-S παρουσιάζεται το σχήμα 2.2ε(β).

Ο αέρας αναρροφάται σε κατάσταση (1) και συμπιέζεται από το συμπιεστή με την προσθήκη της μηχανικής ισχύος συμπίεσεως $\dot{W}_{ομπμ}$. Λόγω της συμπίεσεως θερμαίνεται, οπότε οδηγείται στον ψύκτη στην κατάσταση (2), όπου αποβάλλεται θερμότητα $\dot{Q}_{αποβ}$. Ο ψύκτης μπορεί να είναι υδρόψυκτος ή αερόψυκτος. Στη συνέχεια, ο αέρας υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας εκτονώνεται, έτσι ώστε να υποβιβαστεί η θερμοκρασία του. Η εκτόνωση του αέρα αντί να γίνεται με μία απλή διάταξη στραγγαλισμού, γίνεται με τη διέλευσή του από τη μηχανή εκτονώσεως. Μ' αυτόν τον τρόπο από την εκτόνωση παράγεται το μηχανικό έργο $\dot{W}_{εκτ}$ και ο αέρας εξέρχεται στην κατάσταση (3). Οι άξονες του συμπιεστή και του κινητήρα είναι συνήθως συνδεδεμένοι σε σειρά, έτσι ώστε η κατανάλωση της μηχανής σε ισχύ να είναι $\dot{W}_{ομπμ} - \dot{W}_{εκτ}$.

Μετά την εκτόνωση ο αέρας αποκτά χαμηλή θερμοκρασία και οδηγείται στον ψύκτη στην κατάσταση (4). Ο ψύκτης βρίσκεται μέσα στον ψυκτικό θάλαμο, και από εκεί ο αέρας απορροφάει θερμότητα ίση με την ψυκτική ισχύ $\dot{Q}_{ψ}$.

Παραλλαγή του ψυκτικού κύκλου εκτονώσεως αέρα του σχήματος 2.2ε είναι ο ανοικτός κύκλος, κατά τον οποίο ο αέρας μετά τον ψύκτη (4) οδηγείται στην ατμόσφαιρα, ενώ ο συμπιεστής αναρροφά εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα.

Πλεονέκτημα της ψυκτικής εγκαταστάσεως εκτονώσεως αέρα είναι η απλότητα και η ασφάλεια που προσφέρει, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν χημικά εργαζόμενα μέσα. **Μειονέκτημα** αποτελεί ο μειωμένος βαθμός αποδόσεως, που συνεπάγεται,

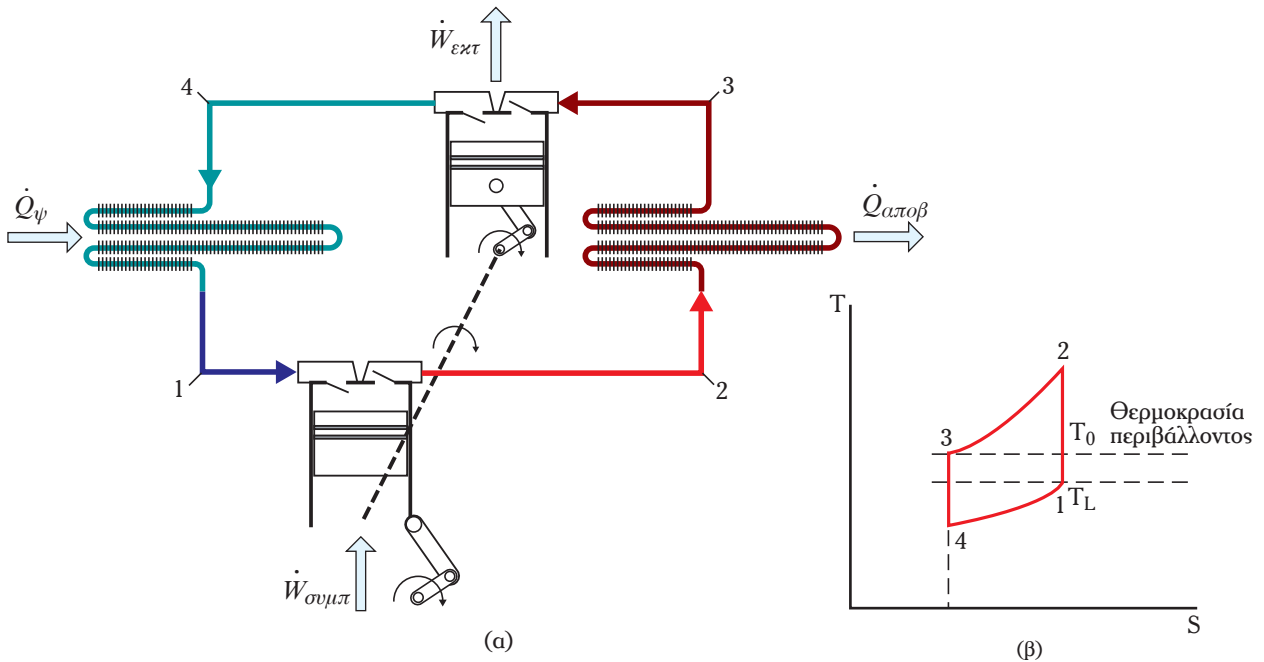
εκτός από μεγάλο κόστος χρήσεως, και απαίτηση για μεγάλο μέγεθος εγκαταστάσεως. Επί πλέον μειονεκτήματα είναι ο θόρυβος του συμπιεστή, καθώς και το μεγάλο αρχικό κόστος της εγκαταστάσεως. Τροποποιημένος ψυκτικός κύκλος με εκτόξευση αέρα χρησιμοποιείται στα επιβατικά αεροπλάνα.

4) Ψύξη με εκτόξευση υδρατμού.

Στην **ψύξη με εκτόξευση υδρατμού** (steam vacuum refrigeration) (σχ. 2.2στ), το εργαζόμενο μέσο είναι το νερό, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή

πίεση. Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα σ' έναν κλειστό χώρο, από τον οποίο αφαιρούνται οι παραγόμενοι υδρατμοί με τη βοήθεια εγχυτήρων, που εργάζονται με ατμό υψηλής πίεσεως. Με τη συνεχή αφαίρεση υδρατμών, επιτυγχάνεται η ατμοποίηση του νερού σε χαμηλή πίεση και σε θερμοκρασίες από 0 °C – 25 °C.

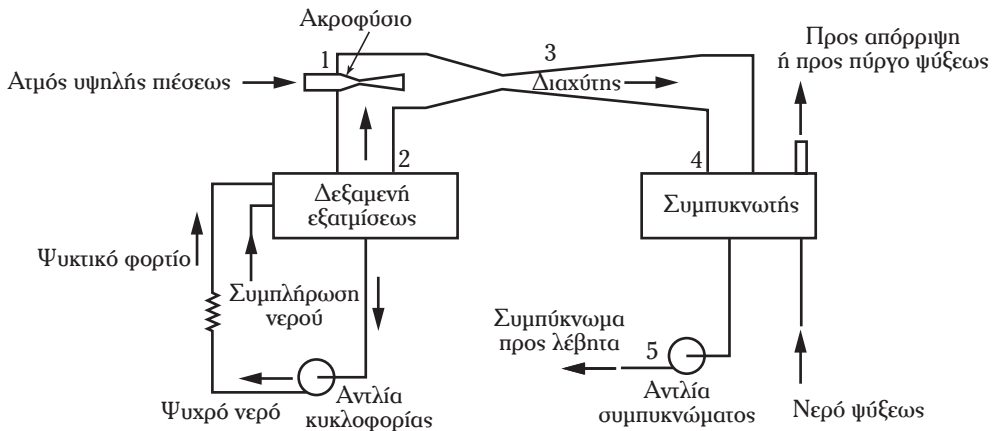
Με τους εγχυτήρες ενός σταδίου, επιτυγχάνεται κενό ίσο με 0,1 bar. Για την επίτευξη υψηλότερου κενού μπορεί να χρησιμοποιηθούν διατάξεις με πολλαπλά στάδια εγχυτήρων σε σειρά.



Σχ. 2.2ε.

Ψυκτική μηχανή εκτονώσεως αέρα.

(α) Διάγραμμα ψυκτικής μηχανής εκτονώσεως αέρα, (β) κύκλος αέρα στο διάγραμμα T-S.



Σχ. 2.2στ.

Ψυκτική εγκατάσταση εκτοξεύσεως υδρατμού.

Η λειτουργία των **ψυκτικών μηχανών εκτοξεύσεως υδρατμού** (steam jet ejector chillers) βασίζεται στην ατμοποίηση νερού. Για να επιτευχθεί η ψύξη μεγάλων ποσοτήτων νερού σε χαμηλή θερμοκρασία, η εξατμίσση γίνεται σε συνθήκες κενού υπό χαμηλή πίεση. Για τη λειτουργία με ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως, η ατμοποίηση γίνεται σε βαθμίδες, που κυμαίνονται από δύο έως τέσσερεις. Κάθε βαθμίδα ατμοποιήσεως περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους εγχυτήρες, που δημιουργούν το απαραίτητο κενό. Οι εγχυτήρες αναρροφούν τους υδρατμούς που σχηματίζονται μαζί με τον αέρα που υπάρχει στο χώρο ατμοποιήσεως και τους καταθλίβουν σ' ένα συμπυκνωτή. Ο συμπυκνωτής λειτουργεί σε κενό και σ' αυτόν γίνεται η συμπύκνωση των υδρατμών που ψύχονται από νερό ψύξεως. Έτσι, η ψύξη με εκτόξευση υδρατμού χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και στη χημική βιομηχανία, όταν υπάρχει ανάγκη για συνεχή ροή νερού ψύξεως με θερμοκρασία χαμηλότερη απ' αυτήν του διαθέσιμου νερού ψύξεως. Οι κύριες εφαρμογές της μεθόδου συναντώνται στη βιομηχανία τροφίμων, στη φαρμακευτική βιομηχανία, στην παραγωγή χαρτί και στα διυλιστήρια καυσίμων. Στο σχήμα 2.2ζ φαίνεται μια ψυκτική εγκατάσταση εκτοξεύσεως υδρατμού ενός κατασκευαστή με δύο βαθμίδες ατμοποιήσεως και ατμοσφαιρικό συμπυκνωτή. Στην πάνω πλευρά της εγκαταστάσεως βρίσκεται το πρώτο στάδιο και εκεί γίνεται η είσοδος του νερού, που ανακυκλωφεί από το συμπυκνωτή. Το νερό που πρέπει να ψυχθεί εισέρχεται στη δεξαμενή ψύξεως της πρώτης βαθμίδας και στη συνέχεια οδηγείται προς τη δεύτερη βαθμίδα. Με την ατμοποίηση μέρους του νερού συμπυκνώσεως στην πρώτη βαθμίδα επιτυγχάνεται ο υποβιβασμός της θερμοκρασίας του νερού σε μία ενδιάμεση τιμή, ενώ η τελική χαμηλή θερμοκρασία επιτυγχάνεται από τη δεύτερη βαθμίδα. Στην κάτω πλευρά της εγκαταστάσεως υπάρχει δεξαμενή όπου οδηγείται το νερό της συμπυκνώσεως που δεν έχει εξατμιστεί και έχει υψηλή θερμοκρασία.

Τα **πλεονεκτήματα** της παραγωγής ψύξεως με εκτόξευση υδρατμών είναι τα εξής:

α) Ο ατμός κινήσεως συνήθως υπάρχει διαθέσιμος για άλλες χρήσεις κοντά στην εγκατάσταση ψύξεως.

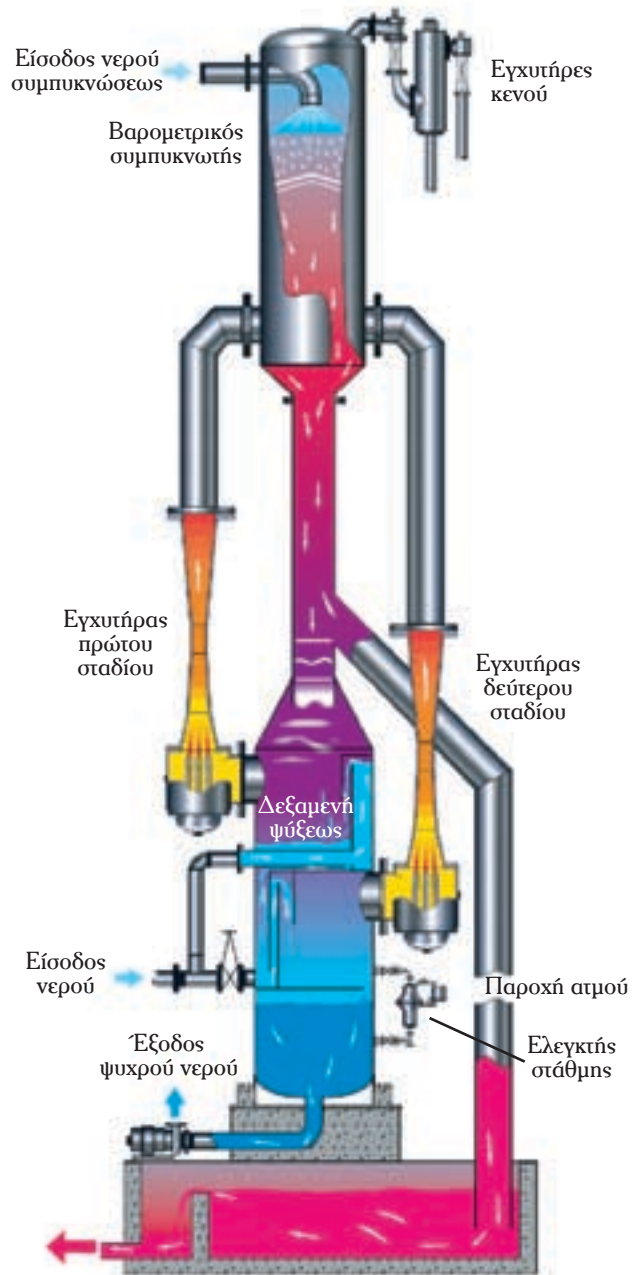
β) Οι εγκαταστάσεις εκτοξεύσεως υδρατμού έχουν αυξημένη αξιοπιστία, καθώς δεν έχουν κινούμενα μέρη και εξαρτήματα και παρουσιάζουν λιγότερες βλάβες.

γ) Οι εγκαταστάσεις εκτοξεύσεως υδρατμού μπορεί να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς χώρους και δεν απαιτείται η ύπαρξη κτηριακών εγκαταστάσεων.

Τα **μειονεκτήματα** της παραγωγής ψύξεως με εκτόξευση υδρατμών είναι τα εξής:

α) Δεν είναι εύκολη η εκκίνηση λειτουργίας και η διακοπόμενη λειτουργία της εγκαταστάσεως.

β) Για την επίτευξη χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται η κατανάλωση ατμού.



Σχ. 2.2ζ.

Διασταδιακή ψυκτική εγκατάσταση εκτοξεύσεως υδρατμού.

γ) Η εγκατάσταση είναι ογκώδης και επιβαρύνει οπτικά το χώρο και το τοπίο.

2.3 Εφαρμογές ψύξεως.

Η ανακάλυψη μεθόδων παραγωγής ψύχους οδήγησε σε πλήθος εφαρμογών, οι κυριότερες των οποίων μπορούν να ομαδοποιηθούν ως **βιομηχανική ψύξη, κρυογονική και κλιματισμός.**

2.3.1 Βιομηχανική ψύξη.

Στις εφαρμογές της βιομηχανικής ψύξεως οι θερμοκρασίες ατμοποίησης ποικίλλουν από $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ και αφορούν κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων και στη χημική βιομηχανία, αν και υπάρχει πληθώρα άλλων εφαρμογών. Στις εφαρμογές της βιομηχανίας τροφίμων συμπεριλαμβάνονται ψυκτικές εγκαταστάσεις που αφορούν στις διαδικασίες παραγωγής τροφίμων, στη συντήρηση των τροφίμων, στη βαθιά κατάψυξη, στη μεταφορά και στην αποθήκευσή τους. Εκτός από την περιοχή των θερμοκρασιών ψύξεως που συναντώνται στις εφαρμογές της βιομηχανικής ψύξεως, το κοινό χαρακτηριστικό που έχουν είναι η ύπαρξη μεγάλου μεγέθους ψυκτικών μηχανών που δεν είναι προκατασκευασμένες, αλλά αποτελούνται από επί μέρους εξαρτήματα (συμπιεστές, συμπυκνωτές, εξατμιστές κ.λπ.) και είναι τοποθετημένες σε ξεχωριστό χώρο που ονομάζεται **ψυχροστάσιο** ή **μηχανοστάσιο**. Στο σχήμα 2.3α(α) εικονίζεται το μηχανοστάσιο ενός ψυκτικού θαλάμου μ' ένα συμπιεστή με λοβούς, ενώ στο σχήμα 2.3α(β) εικονίζεται το μηχανοστάσιο ενός ψυκτικού θαλάμου με ημερημτικούς συμπιεστές. Πλεονέκτημα των ψυ-

κτικών εγκαταστάσεων στη βιομηχανική ψύξη είναι ότι με την προσθήκη επί πλέον μηχανημάτων εξαρτημάτων, μπορούν να επεκταθούν, έτσι ώστε να αυξάνεται η ψυκτική ισχύς που παράγουν.

1) Διατήρηση τροφίμων.

Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν μύκητες και βακτηρίδια, τα οποία μεταφέρονται στα τρόφιμα και τα αλλοιώνουν, όταν λόγω ευνοϊκών συνθηκών πολλαπλασιαστούν σε μεγάλους αριθμούς. Επί πλέον, τα τρόφιμα αλλοιώνονται από χημικές και φυσικές μεταβολές. Ως χημικές μεταβολές εννοούνται αλλαγές στη χημική τους σύσταση, εξαιτίας ωριμάνσεως ή αποσυνθέσεως ή λόγω της παρουσίας διαφόρων χημικών καταλυτών (π.χ. οξείδωση βουτύρου παρουσία όζοντος). Στις φυσικές μεταβολές συμπεριλαμβάνεται κυρίως η ξήρανση και η απώλεια βάρους λόγω της ατμοποίησης της υγρασίας των τροφίμων από τον ξηρό αέρα του θαλάμου. Προϋπόθεση της αποθηκείσεως μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι η ανάπτυξη μεθόδων διατηρήσεως της ποιότητάς τους. Διάφορες μέθοδοι διατηρήσεως, όπως η αποστείρωση και η συσκευασία σε κενό, στοχεύουν στην απομόνωση των τροφίμων από τους μολυσματικούς παράγοντες του περιβάλλοντος. Μία μέθοδος επιμηκύνσεως της διάρκειας ζωής των τροφίμων, η οποία εξασφαλίζει τη διατήρηση των αρχικών τους ιδιοτήτων (γεύση, χρώμα), είναι η διατήρησή τους σε χαμηλή θερμοκρασία, δεδομένου ότι τότε επιβραδύνεται η ανάπτυξη των βακτηριδίων και των μυκήτων. Υπάρχουν δύο μέθοδοι διατηρήσεως των τροφίμων υπό ψύξη,



(α)



(β)

Σχ. 2.3α.

Μηχανοστάσιο ψυκτικής εγκαταστάσεως: (α) με συμπιεστή με λοβούς, (β) με ημερημτικούς εμβολοφόρους συμπιεστές.

ανάλογα με την επιθυμητή διάρκεια αποθηκεύσεως:

α) Η **απλή ψύξη** ή **συντήρηση**, η οποία γίνεται σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία τήξεως του νερού που περιέχεται στα τρόφιμα και

β) η **κατάψυξη**, η οποία γίνεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο τήξεως.

Με τη μέθοδο της συντηρήσεως μπορεί να γίνει διατήρηση των τροφίμων για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα, της τάξεως μερικών ημερών ή εβδομάδων, ενώ για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χρησιμοποιείται η κατάψυξη. Οι συντήρηση και η κατάψυξη των τροφίμων εφαρμόζονται σ' όλη την αλυσίδα παραγωγής και διανομής τους, η οποία περιλαμβάνει την παραγωγή και τη μεταφορά, την αποθήκευση σε μεγάλους ψυκτικούς θαλάμους, την τροφοδοσία και την αποθήκευση στα σημεία πώλησεως και τέλος την αποθήκευση στα οικιακά και επαγγελματικά ψυγεία και την κατανάλωση. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις μεθόδους διατήρησης των τροφίμων με συντήρηση και κατάψυξη δίνονται στο Παράρτημα 1.Ε.

2) Βιομηχανία παραγωγής τροφίμων.

Στη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων, η παραγωγή ψύχους βρίσκει εφαρμογή αφενός στη διατήρηση για εξασφάλιση της ποιότητάς τους και αφετέρου σε διεργασίες κατά τις οποίες, σε χαμηλή θερμοκρασία, αλλάζει η χημική δομή ή οι φυσικές ιδιότητες των τροφίμων. Τέτοιες διεργασίες συναντώνται κυρίως στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, μπίρας, αναψυκτικών, φυσικών χυμών και στιγμιαίου καφέ.

3) Μεταφορά τροφίμων.

Η μεταφορά των τροφίμων πραγματοποιείται σε συνθήκες απλής ψύξεως ή καταψύξεως παρόμοιες με εκείνες των εγκαταστάσεων ξηρά. Επειδή όμως ο χρόνος μεταφοράς είναι συνήθως μικρός απαιτείται ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας κατά τη διάρκειά της.

Για τη θαλάσσια μεταφορά των τροφίμων χρησιμοποιούνται **πλοία-ψυγεία** (reefers) και **εμπορευματοκιβώτια-ψυγεία** (refrigerated containers). Τα πλοία-ψυγεία (σχ. 2.3β), είναι εξοπλισμένα με ψυκτικούς θαλάμους και ψυκτικές μηχανές και τα συννηθέστερα φορτία που μεταφέρουν είναι νωπές μπανάνες και κατεψυγμένο κρέας.

Η μεταφορά στην ξηρά γίνεται με φορτηγά-ψυγεία και εμπορευματοκιβώτια-ψυγεία και παρουσιάζει ιδι-

αίτερες απαιτήσεις λόγω του μικρού μεγέθους των ψυκτικών μονάδων, των μεταβαλλομένων συνθηκών και της μεγάλης αξιοπιστίας που απαιτείται.

Τα εμπορευματοκιβώτια-ψυγεία έχουν διαστάσεις κανονικών ISO 20 ή 40 ποδιών και ανήκουν σε μία απ' τις εξής δύο κατηγορίες:

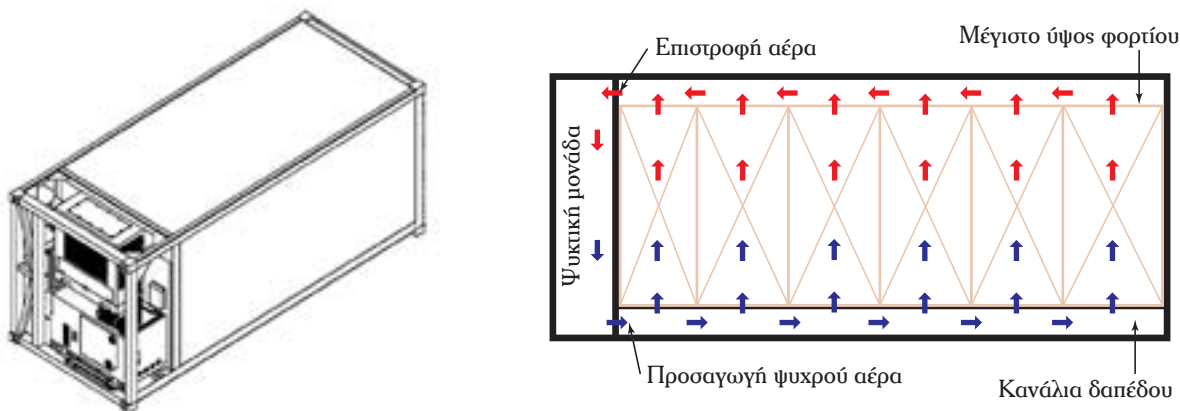
α) **Εμπορευματοκιβώτια με εσωτερική ψυκτική μονάδα** (Integral reefer container). Έχουν θερμικά μονωμένα τοιχώματα και μια ηλεκτροκίνητη ψυκτική μονάδα. Η ύπαρξη της ψυκτικής μονάδας συνεπάγεται απώλεια ωφέλιμου χώρου φορτώσεως. Για τη θαλάσσια μεταφορά τους, τα εμπορευματοκιβώτια αυτά συνδέονται με ηλεκτρική παροχή από το πλοίο, ενώ κατά την οδική μεταφορά τους τροφοδοτούνται από μία ενσωματωμένη γεννήτρια.

Στο σχήμα 2.3γ εικονίζεται ένα εμπορευματοκιβώτιο-ψυγείο με εσωτερική ψυκτική εγκατάσταση και η ροή του αέρα μέσα σ' αυτό. Ο αέρας περνάει μέσα από την ψυκτική εγκατάσταση και κυκλοφορεί διά μέσου των αεραγωγών του δαπέδου προς το φορτίο, όπου κατευθύνεται από το δάπεδο προς την οροφή. Στον κενό χώρο μεταξύ φορτίου και οροφής, ο αέρας συλλέγεται και επιστρέφει στην ψυκτική εγκατάσταση. Έτσι, η ύπαρξη κενού χώρου στην οροφή (τουλάχιστον 12 cm) και η κατάλληλη στοιβάση του φορτίου, είναι σημαντικοί παράγοντες για την κυκλοφορία του αέρα και την ψύξη. Η είσοδος νωπού αέρα γίνεται από μία ρυθμιζόμενη θυρίδα, ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα. Επί πλέον, υπάρχει ειδικός εξοπλισμός, με τον οποίο μετρείται και καταγράφεται η θερμοκρασία στο θάλαμο κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

β) **Μονωμένα εμπορευματοκιβώτια** (port-hole containers). Δεν περιλαμβάνουν ψυκτική εγκα-



Σχ. 2.3β.
Πλοίο-ψυγείο (Reefer Ship).



Σχ. 2.3γ.

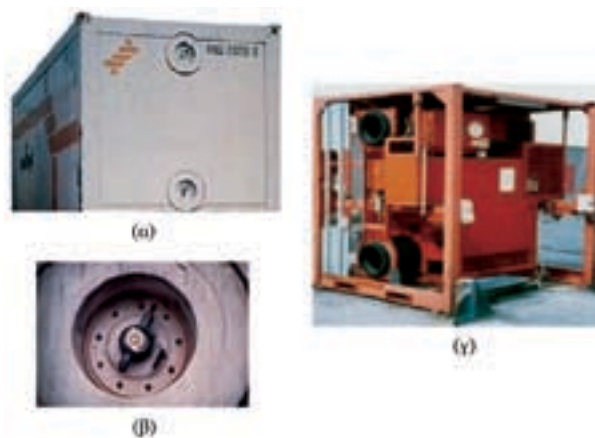
Εμπορευματοκιβώτιο με εσωτερική ψυκτική μονάδα.

τάσταση και κατά συνέπεια διαθέτουν μεγαλύτερο ωφέλιμο χώρο φορτώσεως. Είναι κατασκευασμένα έτσι, ώστε να είναι μονωμένοι ψυκτικοί θάλαμοι και διαθέτουν συνδέσμους παροχής και επιστροφής ψυχρού αέρα [σχ. 2.3δ(α), (β)]. Η ροή αέρα έχει κατεύθυνση από το δάπεδο προς την οροφή. Όταν μεταφέρονται από πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τοποθετούνται σε θέσεις, όπου υπάρχουν παροχές αέρα, ο οποίος ψύχεται από την ψυκτική εγκατάσταση του πλοίου. Κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά στην ξηρά, ο ψυχρός αέρας παρέχεται από **πρόσθετες μονάδες** (clip on units) [σχ. 2.3δ(γ)]. Οι πρόσθετες ψυκτικές μονάδες τοποθετούνται στην εμπρός πλευρά του κιβωτίου και περιλαμβάνουν ψυκτική εγκατάσταση με συνδέσμους παροχής ψυχρού αέρα.

Από την εξέλιξη της μεταφοράς προϊόντων υπό ψύξη με τους δύο τύπους εμπορευματοκιβωτίων, προκύπτει ότι η επικρατούσα τάση είναι η μεταφορά με εμπορευματοκιβώτια με εσωτερικές ψυκτικές μονάδες. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ευελιξία και πιο σταθερές θερμοκρασιακές συνθήκες, δεδομένου ότι δεν εξαρτώνται από εξωτερικές ψυκτικές μονάδες και από την ψυκτική εγκατάσταση του πλοίου. Περισσότερες πληροφορίες σχετικές με τις ψυκτικές εγκαταστάσεις των πλοίων δίνονται στο Κεφάλαιο 11 όπου παρουσιάζονται οι ψυκτικές εγκαταστάσεις που υπάρχουν στα πλοία.

4) Ξήρανση με ψύξη.

Ο σκοπός της **ξηράνσεως με ψύξη** (freeze-drying) είναι η αφαίρεση της υγρασίας, η οποία περιέχεται σε μία ουσία με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην σχηματίζεται νερό σε υγρή φάση. Η αφαίρεση της υγρασίας πραγματοποιείται με τον απευθείας μετα-



Σχ. 2.3δ.

Μονωμένο εμπορευματοκιβώτιο, σύνδεσμος παροχής και επιστροφής ψυχρού αέρα και πρόσθετη μονάδα.

σχηματισμό της απ' τη στερεή προς την αέρια φάση σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση. Έτσι επιτυγχάνεται η μη απομάκρυνση μιας υδατοδιαλυτής ουσίας και η διαφύλαξη των φυσικών ιδιοτήτων, στις περιπτώσεις όπου η αφαίρεση υγρασίας σε υψηλότερες θερμοκρασίες προκαλεί αλλοίωση στο προϊόν.

Για την ξήρανση με ψύξη, αρχικά, από το σώμα το οποίο περιέχει κάποιο ποσοστό υγρασίας, αφαιρείται θερμότητα, με τη βοήθεια μιας ψυκτικής μηχανής. Η ψύξη γίνεται σε θερμοκρασίες από $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, οπότε η περιεχόμενη υγρασία μετατρέπεται σε πάγο. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια μιας αντλίας κενού, δημιουργείται κενό της τάξεως μερικών mbar. Ταυτόχρονα, προστίθεται θερμότητα με κατάλληλο ρυθμό, ώστε να υπάρχει χρόνος να γίνει η εξάχνωση του πάγου σε υδρατμό. Οι υδρατμοί, οι οποίοι προκύπτουν από την εξάχνωση, επικάθονται στην επιφάνεια του ψύκτη σε μορφή πάγου.

Η ξήρανση με ψύξη χρησιμοποιείται κυρίως για

μακράς διάρκειας συντήρηση τροφίμων και στη φαρμακευτική βιομηχανία. Τα τρόφιμα, τα οποία ξηραίνονται μ' αυτήν τη μέθοδο, εφόσον συσκευαστούν κατάλληλα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και μέχρι την κατανάλωσή τους δεν απαιτείται να εφαρμοστεί κάποια άλλη μέθοδος συντηρήσεως, δεδομένου ότι σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας εμποδίζεται η δράση ενζύμων και μικροοργανισμών. Στη φαρμακοβιομηχανία, η μέθοδος της ξηράνσεως με ψύξη χρησιμοποιείται κατά κόρον για τη μακρά διατήρηση εμβολίων και άλλων ουσιών.

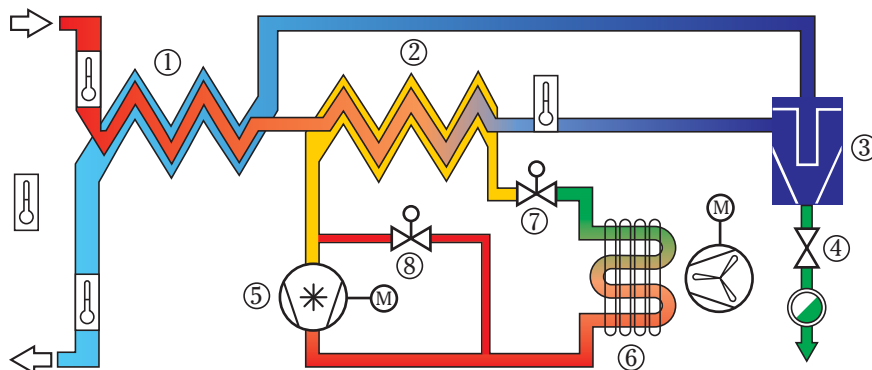
5) Βιομηχανικός κλιματισμός.

Ο βιομηχανικός κλιματισμός διαφέρει από τον κλιματισμό χώρων ως προς το ότι, ενώ ο κλιματισμός χώρων έχει ως σκοπό τη δημιουργία άνετων συνθηκών διαβιώσεως, ο βιομηχανικός κλιματισμός στοχεύει στη ρύθμιση των συνθηκών της ατμόσφαιρας ενός χώρου με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να γίνονται σωστά διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες. Έτσι, ο βιομηχανικός κλιματισμός περιλαμβάνει ρύθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας και καθαρισμό του αέρα με φιλτράρισμα για απομάκρυνση ρύπων και σωματιδίων. Ο βιομηχανικός κλιματισμός εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις εκτυπώσεως, όπου η ποσότητα της υγρασίας του αέρα επηρεάζει την ποιότητα των εκτυπώσεων, σε βιομηχανίες παραγωγής υφασμάτων, όπου με τη ρύθμιση της ποιότητας του αέρα αποφεύγεται η θραύση των νημάτων και ελαττώνεται ο στατικός ηλεκτρισμός, στην παραγωγή φωτογραφικών υλών και στη δημιουργία και διατήρηση καθαρής ατμόσφαιρας στους χώρους παραγωγής ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

6) Αφύγραση πεπιεσμένου αέρα.

Όταν ο αέρας συμπέζεται και κατόπιν ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία που περιέχει συμπυκνώνεται και σχηματίζεται νερό. Στις εφαρμογές ελέγχου με συμπιεσμένο αέρα, το νερό που περιέχεται μπορεί να προκαλέσει βλάβες ή φθορές, οπότε πρέπει να απομακρυνθεί. Για τη συμπύκνωση και την απομάκρυνση του νερού, χρησιμοποιούνται **ψυκτικοί αφυγραντήρες** (refrigerant dryers), οι οποίοι τοποθετούνται μετά το συμπιεστή. Τέτοιες αφυγραντικές διατάξεις χρησιμοποιούνται στο δίκτυο αέρα ελέγχου. Ο αέρας αυτός χρησιμοποιείται για την κίνηση αυτοματισμών, όπου η παρουσία υγρασίας στον πεπιεσμένο αέρα δημιουργεί σοβαρά προβλήματα. Οι ψυκτικοί αφυγραντήρες (σχ. 2.3ε) περιλαμβάνουν μία ψυκτική μηχανή, με την οποία ο αέρας ψύχεται μέχρι τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου. Στη θερμοκρασία αυτή η υγρασία συμπυκνώνεται και σχηματίζονται σταγόνες, οι οποίες συλλέγονται και απομακρύνονται σε μορφή υγρού.

Ο θερμός υγρός αέρας εισέρχεται στον αφυγραντήρα στο (1) (σχ. 2.3ε), όπου ψύχεται καθώς έρχεται σε θερμική επαφή με τον ψυχρό ξηρό αέρα που εξέρχεται από τη μονάδα. Στη συνέχεια, ο αέρας οδηγείται στον ατμοποιητή (2), όπου η θερμοκρασία του πέφτει στους 2 °C. Κατόπιν, το συμπύκνωμα (αέρας/νερό) περνά από το διαχωριστή συμπυκνώματος (3), όπου γίνεται διαχωρισμός του αέρα από το συμπύκνωμα, το οποίο στη συνέχεια αποβάλλεται από την αυτόματη βαλβίδα (4). Ο ξηρός αέρας με θερμοκρασία 2 °C πριν βγει προς την κατανάλωση περνά από τον εναλλάκτη (1), όπου ψύχει το θερμό αέρα που εισέρχεται για αφύγραση.



Σχ. 2.3ε.

Ψυκτικός αφυγραντήρας: (1) Εναλλάκτης ψύξεως αέρα, (2) ατμοποιητής, (3) διαχωριστής συμπυκνώματος, (4) βαλβίδα εξυδατώσεως, (5) συμπιεστής, (6) συμπυκνωτής, (7) εκτονωτική βαλβίδα και (8) βαλβίδα παρακάμφσεως.

7) Παραγωγή πάγου.

Για την παραγωγή πάγου χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές που περιλαμβάνουν μία ψυκτική εγκατάσταση και διατάξεις για την αυτόματη αφαίρεση και τον τεμαχισμό του πάγου που παράγεται. Για τις διάφορες χρήσεις του, ο πάγος μπορεί να παράγεται με τις εξής μορφές:

α) Παραγωγή πάγου σε ορθογώνια τεμάχια.

Ο πάγος σε μορφή παγοκολόνας παράγεται σε σιδερένια ορθογώνια δοχεία, τα οποία γεμίζονται με νερό και εμβαπτίζονται σε ψυχρή άλμη. Η άλμη ψύχεται από μία ψυκτική εγκατάσταση η οποία έχει ως εργαζόμενο μέσο αμμωνία. Το μέγεθος των τεμαχίων πάγου μπορεί να ποικίλλει από 25–180 kg και η παγοποίηση γίνεται σε χρονικό διάστημα 16–24 h. Στη συνέχεια γίνεται η αποκόλληση του πάγου με εμβάπτιση των σιδερένιων δοχείων σε νερό.

Η παραγωγή ορθογώνιων τεμαχίων πάγου σε μικρότερο χρονικό διάστημα γίνεται σε μηχανές ταχείας παραγωγής (σχ. 2.3στ). Σ' αυτές η παγοποίηση γίνεται σε δεξαμενές, οι οποίες έχουν διπλά τοιχώματα όπου ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο. Η ψύξη του νερού γίνεται μέχρι τους $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ η αποκόλληση του πάγου γίνεται με ροή θερμού αερίου από το συμπιεστή.

β) Παραγωγή πάγου σε κυλινδρικά τεμάχια.

Τα κυλινδρικά τεμάχια πάγου παράγονται σε μηχανές (σχ. 2.3ζ), όπου το νερό γεμίζει κατακόρυφους σωλήνες, οι οποίοι ψύχονται με κυκλοφορία άλμης στην εξωτερική τους πλευρά. Ο πάγος που σχηματίζεται αποκολλάται με κυκλοφορία θερμού νερού και στη συνέχεια τεμαχίζεται από ένα σπαστήρα.

γ) Παραγωγή πάγου σε νιφάδες.

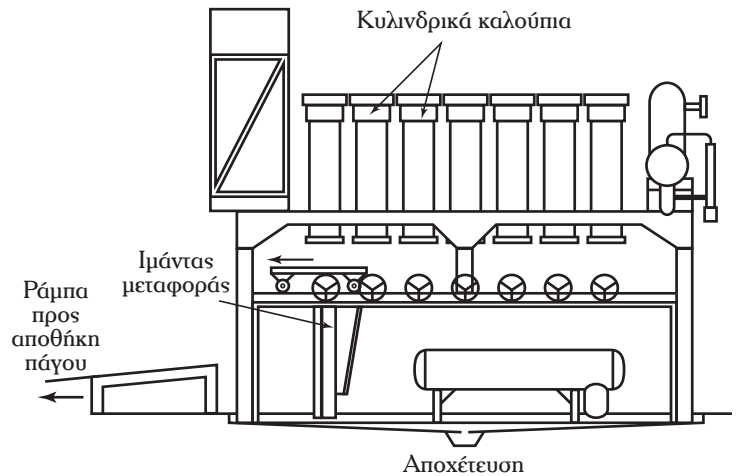
Οι νιφάδες πάγου παράγονται σε ψυχόμενα τύμπανα, στην εσωτερική πλευρά των οποίων υπάρχει μικρή ροή νερού. Ο κύκλος παραγωγής πάγου διαρκεί 8–16 min, ενώ ο παραγόμενος πάγος έχει πάχος από 2–3 mm και στη συνέχεια αποκολλάται και τεμαχίζεται. Μία τέτοια μηχανή παραγωγής τεμαχίων πάγου με παγοποίηση σε κυλινδρικό ατμοποιητή, που χρησιμοποιείται σε αλιευτικά πλοία, εικονίζεται στο σχήμα 2.3η.

Ο πάγος σχηματίζεται στην εξωτερική πλευρά του κυλίνδρου (1) και αφαιρείται με τη βοήθεια σπαστήρα (7). Το νερό με την αντλία (2), αντλείται από τη δεξαμενή (3) προς το δίσκο (4), από όπου

με τη βαρύτητα ρέει πάνω στην επιφάνεια (5) και σχηματίζει πάγο. Η επιφάνεια (5) ψύχεται, καθώς το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται μέσα στο διπλό τοίχωμα (6). Ο πάγος τεμαχίζεται και συλλέγεται με τον κυλινδρικό ελικοειδή σπαστήρα (7), τον οποίο περιστρέφει ο ηλεκτρικός κινητήρας (8).

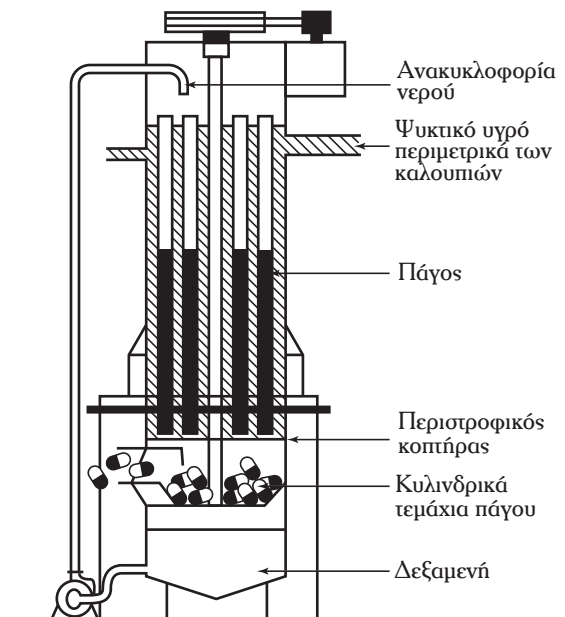
δ) Παραγωγή πάγου σε επίπεδα τεμάχια.

Ο πάγος σε επίπεδα τεμάχια παράγεται σε μηχανές όπως αυτή του σχήματος 2.3θ. Το νερό ανακυκλοφορεί στις δύο πλευρές ενός ατμοποιητή μιας



Σχ. 2.3στ.

Μηχανή ταχείας παραγωγής ορθογώνιων τεμαχίων πάγου.



Σχ. 2.3ζ.

Μηχανή παραγωγής κυλινδρικών τεμαχίων πάγου.

ψυκτικής μηχανής, που αποτελείται από κάθετες αλουμιένιες πλάκες, ενώ το ψυκτικό υγρό κυκλοφορεί στην εσωτερική πλευρά του ατμοποιιτή. Όταν ο πάγος φτάσει το προκαθορισμένο πάχος (συνήθως 6–15 mm), η ροή του ψυκτικού υγρού και του νερού προς ψύξη διακόπτονται από έναν αυτόματο ελεγκτή και στον ατμοποιιτή οδηγείται ζεστό αέριο από το συμπιεστή. Μετά την αποκόλληση ο πάγος οδηγείται σ' ένα σπαστήρα, όπου θραύεται στο επιθυμητό μέγεθος.

8) Βιομηχανικές εφαρμογές ψύξεως.

Στη βιομηχανία η παραγωγή ψύξεως εφαρμόζε-

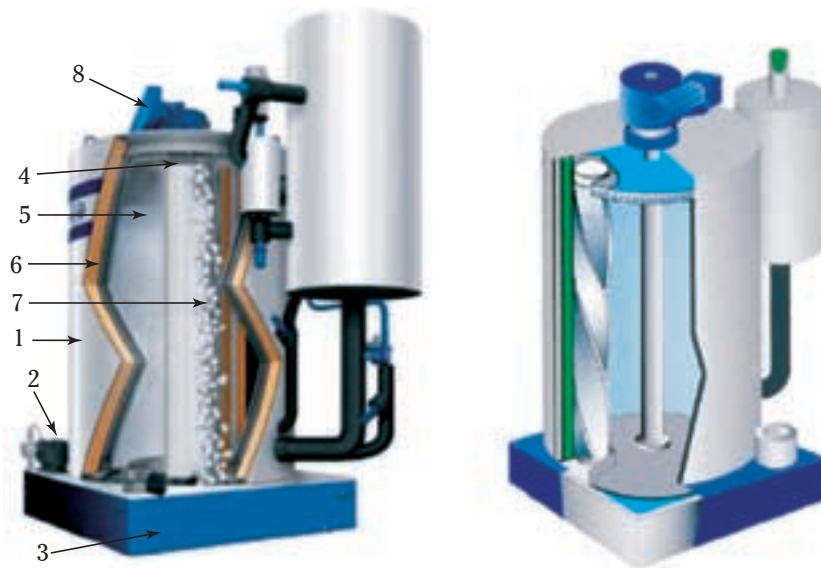
ται κυρίως στη φαρμοκοβιομηχανία, στην πετροχημική βιομηχανία και στα διυλιστήρια. Οι περιπτώσεις που χρειάζεται η ψύξη είναι οι εξής:

α) Διαχωρισμός ενός αερίου από ένα άλλο με υγροποίηση.

β) Συμπύκνωση αερίων, π.χ. στην περίπτωση της συλλογής των εξατμίσεων από μία δεξαμενή που περιέχει ένα υγρό.

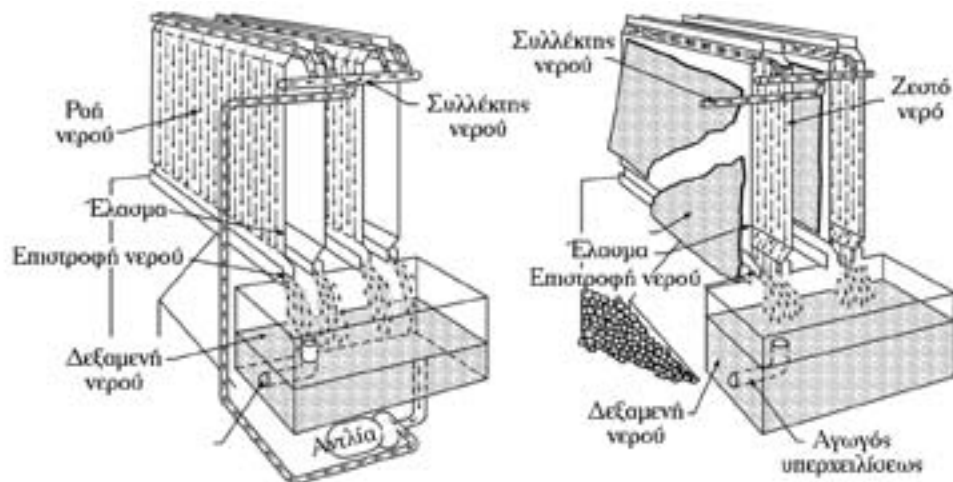
γ) Ψύξη ενός μείγματος υγρών, ώστε να διαχωριστεί ένα συστατικό με την πήξη του.

δ) Διατήρηση ενός υγρού σε χαμηλή θερμοκρασία, ώστε να ελέγχεται η πίεση στη δεξαμενή αποθηκεύσεώς του.



Σχ. 2.3n.

Μηχανή παραγωγής πάγου σε νιφάδες.



Σχ. 2.3o.

Μηχανή παραγωγής επιπέδων τεμαχίων πάγου.

ε) Αφαίρεση της θερμότητας που παράγεται από μία εξώθερμη αντίδραση.

στ) Έλεγχος της υγρασίας που περιέχουν υδροσκοπικές χημικές ουσίες.

Στις βιομηχανικές εφαρμογές η ψύξη παράγεται άμεσα ή έμμεσα. Στην άμεση παραγωγή ψύξεως, το ψυκτικό μέσο είναι το ίδιο με το ψυχόμενο μέσο και συμπιέζεται, συμπυκνώνεται και κατόπιν εκτονώνεται, ούτως ώστε να σχηματιστεί υγρό με χαμηλή θερμοκρασία. Στην πετροχημική βιομηχανία συνήθως χρησιμοποιείται προπάνιο, αιθάνιο και αιθυλένιο ως ψυκτικά μέσα.

Στο σχήμα 2.31 παρουσιάζεται το διάγραμμα μιας εγκατάστασης αφυγάνσεως των δεξαμενών φορτίου ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένων αερίων (LNG/LPG). Η αφύγρανση γίνεται προκειμένου να αποφευχθεί ο σχηματισμός πάγου στις σωληνώσεις του φορτίου, καθώς και στις βαλβίδες και στις αντλίες. Ο αέρας εξέρχεται από τη δεξαμενή φορτίου με τη βοήθεια του συμπιεστή και περνάει από μία ψυκτική μηχανή με εργαζόμενο μέσο R-22, όπου η υγρασία συμπυκνώνεται και αφαιρείται. Το R-22 χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο μόνο στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, ενώ στις νέες έχει αντικατασταθεί από φιλικότερα προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα. Για περαιτέρω αφύγρανση, ο αέρας πριν την είσοδο στη δεξαμενή περνάει από ένα αφυγραντικό φίλτρο οσλικόνης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την αφαίρεση της υγρασίας από τη δεξαμενή, ώστε το σημείο δρόσου της να είναι χαμηλότερο από τη θερμοκρασία μεταφοράς του φορτίου.

2.3.2 Κρυογονική.

1) Υγροποίηση αερίων.

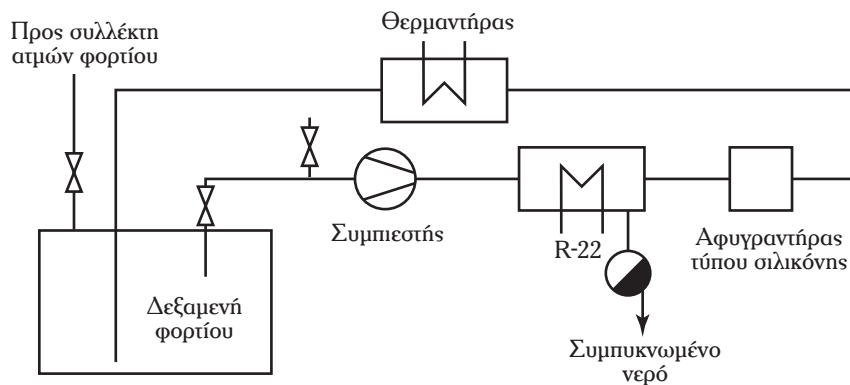
Η **κρυογονική** είναι ο κλάδος της τεχνολογίας

ψύξεως, όπου επιτυγχάνονται θερμοκρασίες μικρότερες από $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Σε τέτοιες χαμηλές θερμοκρασίες, μπορεί να γίνει η υγροποίηση των κυριότερων συστατικών του αέρα, για την παραγωγή υγρού οξυγόνου και αζώτου. Επίσης, γίνεται υγροποίηση του φυσικού αερίου, το οποίο έχει ως κύριο συστατικό το μεθάνιο για την παραγωγή **υγροποιημένου φυσικού αερίου** (Liquified Natural Gas–LNG). Άλλες εφαρμογές της κρυογονικής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Για την υγροποίηση αερίων υπάρχουν τρεις βασικοί κύκλοι, οι οποίοι σήμερα χρησιμοποιούνται σε διάφορους συνδυασμούς και με τροποποιήσεις που στοχεύουν στην αύξηση της αποδόσεως των παραγομένων υγροποιημένων αερίων και στη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας. Οι κύκλοι αυτοί ο **κύκλος Linde**, ο **κύκλος Claude** και ο **κύκλος καταρράκτη**.

2) Υγροποίηση αερίων υδρογονανθράκων.

Μια ειδική κατηγορία αερίων, τα οποία υγροποιούνται με εφαρμογές ψύξεως, είναι οι υδρογονάνθρακες. Αυτοί παράγονται με τη μορφή **φυσικού αερίου** (natural gas) και **αερίων πετρελαίου** (petroleum gas). Το φυσικό αέριο εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες, όπου βρίσκεται υπό πίεση. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) σε ποσοστό 90%, ενώ περιέχει μικρότερα κλάσματα αιθανίου (C_2H_6), προπανίου (C_3H_8) και άλλων βαρύτερων αερίων, νερού, διοξειδίου του άνθρακα και αζώτου. Στον πίνακα 2.3 δίνονται η πίεση ατμών σε θερμοκρασία $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η θερμοκρασία ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση, για τους κυριότερους αέριους υδρογονάνθρακες. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως ορυκτό καύσιμο και όταν υγροποιείται



Σχ. 2.31.

Κύκλος αφυγάνσεως δεξαμενής φορτίου πλοίου μεταφοράς LNG/LPG.

Πίνακας 2.3
Ιδιότητες αερίων υδρογονανθράκων.

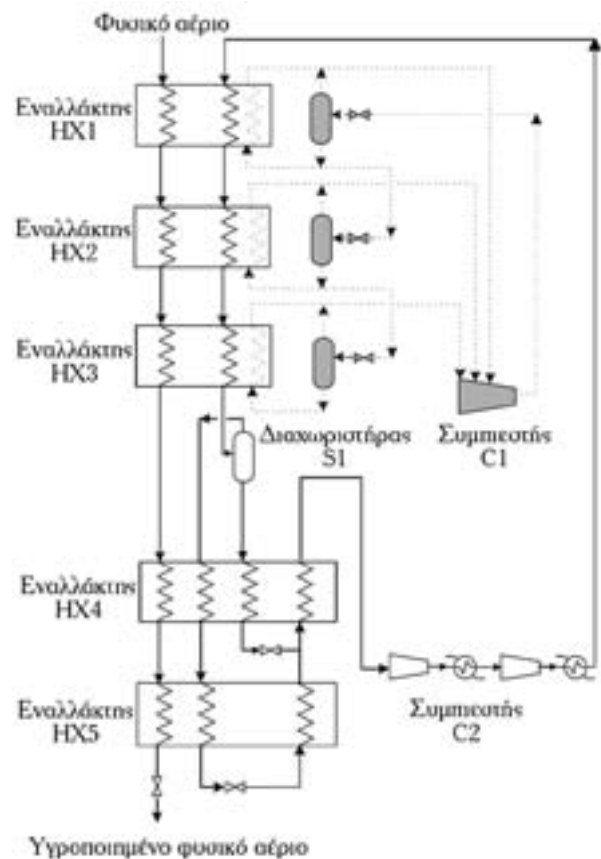
Υγροποιημένο αέριο	Απόλυτη πίεση ατμών στους 37,8 °C (bar)	Σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση °C
Μεθάνιο	Αέριο*	-161,5
Προπάνιο	12,9	-42,3
Βουτάνιο	3,6	-0,5
Αμμωνία	14,7	-33,4
Βινυλοχλωρίδιο	5,7	-13,8
Βουταδιένιο	4,0	-5
Οξείδιο του αιθυλενίου	2,7	+10,7

* Η κρίσιμη θερμοκρασία του μεθανίου είναι $-82,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ η κρίσιμη πίεση είναι 44,7 bar. Έτσι σε θερμοκρασία $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ μπορεί να υπάρξει μόνο σε αέρια και όχι σε υγρή φάση.

σχηματίζει το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Προκειμένου να φτάσει απ' τους τόπους παραγωγής στην κατανάλωση, μεταφέρεται σε αέρια μορφή μέσω αγωγών ή υγροποιημένο με πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG carriers).

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου γίνεται με την ψύξη του στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, που είναι το σημείο ατμοποίησης του μεθανίου σε ατμοσφαιρική πίεση. Με την υγροποίηση του φυσικού αερίου επιτυγχάνεται μείωση του όγκου του 600 φορές, γεγονός που καθιστά ευκολότερη τη μεταφορά του.

Στο σχήμα 2.3ια εικονίζεται μία διάταξη υγροποίησης φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται ευρέως σε σταθμούς φορτώσεως πλοίων. Η υγροποίηση γίνεται με ψυκτικό κύκλο προπανίου με κύκλο LNG. Το ψυκτικό μέσο είναι προπάνιο, το οποίο ψύχεται σ' έναν ψυκτικό κύκλο με τρία στάδια και ψύχει το φυσικό αέριο στους εναλλάκτες HX1, HX2, HX3. Ο συμπιεστής C1 παρέχει το απαιτούμενο μηχανικό έργο για την ψύξη του προπανίου. Επί πλέον, ψύξη δημιουργείται με την εκτόνωση προς το διαχωριστήρα S1. Τα δύο ρεύματα του φυσικού αερίου ψύχονται στους εναλλάκτες HX4 και HX5 από τον κύκλο προπανίου. Το αέριο χαμηλής πίεσης συμπιέζεται από το διβάθμιο συμπιεστή C2. Μία τέτοια εγκατάσταση υγροποίησης είναι βαριά και ογκώδης και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υγροποίηση φυσικού αερίου εν πλω. Η υγροποίηση φυσικού αερίου εν πλω γίνεται με εγκαταστάσεις που λειτουργούν με κύκλο συμπίεσης αζώτου (Παράρτημα 6.Β.1).



Σχ. 2.3ια.

Διάταξη υγροποίησης φυσικού αερίου.

Τα αέρια πετρελαίου παράγονται από τη διύλιση του αργού πετρελαίου και αποτελούνται από προπάνιο και βουτάνιο ή μείγμα αυτών. Υγροποιούνται

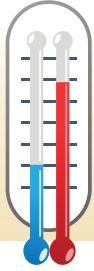
στους $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπου σχηματίζουν **υγροποιημένο αέριο πετρελαίου** (Liquefied Petroleum Gas–LPG). Το LPG αποθηκεύεται σε κυλινδρικά δοχεία υπό πίεση και χρησιμοποιείται ευρέως ως καύσιμο. Επίσης, χρησιμοποιείται ως συστατικό αυξήσεως του αριθμού οκτανίων των υγρών καυσίμων από την πετροχημική βιομηχανία. Μεταφέρεται από πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων πετρελαίου είτε υπό πίεση, είτε υπό ψύξη στους $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3.3 Κλιματισμός.

Εκτός από τη συντήρηση των τροφίμων, η παραγωγή ψύχους χρησιμοποιείται για τον κλιματισμό, ο οποίος αποσκοπεί στη ρύθμιση των ατμοσφαιρικών συνθηκών ενός κλειστού χώρου. Μία κλιματιστική

εγκατάσταση έχει ως σκοπό συνήθως την επίτευξη αισθήματος θερμικής άνεσης των ατόμων που διαβιούν σ' ένα χώρο. Αυτό γίνεται με ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ταχύτητας του αέρα του χώρου, καθώς και με απομάκρυνση μέρους του αέρα του χώρου και αντικατάστασή του με νωπό (φρέσκο) εξωτερικό αέρα. Ο κλιματισμός χρησιμοποιείται σε οικίες, σε χώρους συναθροίσεως κοινού (θέατρα, κινηματογράφοι) κ.λπ.. Επίσης χρησιμοποιείται στα πλοία, όπου κλιματίζονται όλοι οι χώροι ενδιαιτήσεως και διαβιώσεως του πληρώματος.

Οι ιδιότητες του υγρού αέρα που είναι το εργαζόμενο μέσο στον κλιματισμό περιγράφονται στο Κεφάλαιο 12, ενώ στο Κεφάλαιο 11 περιγράφονται οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις των πλοίων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ψυκτικοί κύκλοι με μηχανική συμπίεση ατμών

3.1 Εισαγωγή.

Σε γενικές γραμμές, ως ψύξη ορίζεται η διαδικασία διατηρήσεως χαμηλής θερμοκρασίας με αφαίρεση θερμότητας. Η τεχνολογία της ψύξεως έχει ως στόχο την ελάττωση και τη διατήρηση της θερμοκρασίας ενός χώρου σε επίπεδα χαμηλότερα απ' αυτά του περιβάλλοντός του. Προκειμένου να επιτευχθεί η ελάττωση της θερμοκρασίας απαιτείται να υπάρξει ροή θερμότητας από χαμηλή προς υψηλότερη θερμοκρασία. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι ψύξεως που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2. Η μέθοδος της μηχανικής συμπίεσης ατμών ψυκτικού μέσου έχει επικρατήσει, διότι για τις θερμοκρασίες που ζητούνται στις συνηθισμένες εφαρμογές της βιομηχανικής ψύξεως και του κλιματισμού, παρουσιάζει πλεονεκτήματα, όπως ότι συνδυάζει χαμηλό κόστος και καλή απόδοση έναντι των άλλων μεθόδων ψύξεως. Επί πλέον, η μέθοδος παραγωγής ψύξεως με μηχανική συμπίεση ατμών ψυκτικού μέσου έχει επικρατήσει και στις ψυκτικές μηχανές των πλοίων.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο ψυκτικός κύκλος με μηχανική συμπίεση ατμού ψυκτικού μέσου και διερευνάται η επίδραση της μεταβολής των θερμοκρασιών λειτουργίας. Επίσης, περιγράφονται τα απαραίτητα μέρη και εξαρτήματα για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως και γίνονται θερμοδυναμικοί υπολογισμοί της αποδόσεως των κύκλων. Τέλος, μελετάται η επίδραση της πτώσεως πιέσεως κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου και παρουσιάζονται οι βασικότεροι πολυβάθμιοι ψυκτικοί κύκλοι.

3.2 Περιγραφή ψυκτικής μηχανής με μηχανική συμπίεση ατμών.

Η παραγωγή ψύξεως με μηχανική συμπίεση ατμών γίνεται με την ατμοποίηση κάποιου μέσου, το οποίο βρίσκεται σε υγρή φάση. Το υγρό για την ατμοποίησή του παίρνει από το περιβάλλον του τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης. Το εργαζό-

μενο μέσο σ' έναν κύκλο μηχανικής συμπίεσεως υδρατμών ονομάζεται **ψυκτικό μέσο**.

Για την περιγραφή των ιδιοτήτων των υγρών σωμάτων και των μεταβολών της ατμοποίησης και της συμπυκνώσεως, έχουμε χρησιμοποιήσει μέχρι τώρα το νερό. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας ατμοποίησης που έχει το νερό σε ατμοσφαιρική πίεση, η οποία είναι 100 °C, είναι ακατάλληλο ως ψυκτικό μέσο. Έτσι, για να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο νερό και να δώσει τις χαμηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται στις περισσότερες εφαρμογές ψύξεως, αυτό πρέπει να εξατμίζεται ή να ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση. Η δημιουργία και η διατήρηση κενού σε μία ψυκτική εγκατάσταση είναι πρακτικά δύσκολη και οικονομικά ασύμφορη.

Γι' αυτόν το λόγο, ως ψυκτικά μέσα χρησιμοποιούνται άλλες ουσίες, οι οποίες αλλάζουν φάση σε χαμηλότερη θερμοκρασία απ' το νερό. Επί πλέον, οι ουσίες αυτές πρέπει να ικανοποιούν και άλλα κριτήρια, όπως να μην είναι τοξικές, εύφλεκτες και εκρηκτικές. Στην πράξη, οι ουσίες που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα είναι τεχνητά μόρια, τα οποία έχουν συντεθεί και κατασκευαστεί ειδικά γι' αυτόν το σκοπό. Ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις απαιτήσεις της, επιλέγεται το καταλληλότερο ψυκτικό μέσο, το οποίο ταιριάζει στις συγκεκριμένες συνθήκες. Τα ψυκτικά μέσα και οι ιδιότητές τους περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4.

Ένα απ' τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα, το οποίο ικανοποιεί και τις σύγχρονες περιβαλλοντικές απαιτήσεις είναι το τετραφθοροαιθάνιο ($C_2H_2F_4$). Αυτό προκύπτει από το αιθάνιο, όταν σε αυτό τέσσερα άτομα υδρογόνου αντικατασταθούν από τέσσερα άτομα φθορίου. Στη βιομηχανία χαρακτηρίζεται από το εμπορικό όνομα **Freon** και αναφέρεται ως R-134a (Refrigerant-134a). Είναι μία τεχνητή χημική ένωση, η οποία όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 4 προορίζεται να αντικαταστήσει παλαιότερα ψυκτικά μέσα, τα οποία διαπιστώθηκε ότι βλάπτουν το περιβάλλον. Το R-134a έχει σημείο ατμο-

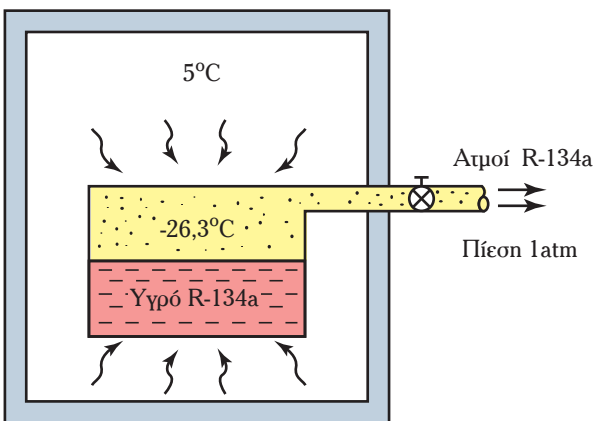
ποιήσεως $-26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε ατμοσφαιρική πίεση 1atm ($=101,325\text{ kPa} = 1,01325\text{ bar}$). Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι αέριο.

Ένας θερμικά μονωμένος χώρος μπορεί να ψυχθεί, όταν σ' αυτόν τοποθετήσουμε ένα δοχείο, το οποίο περιέχει υγρό R-134a υπό πίεση και ανοίξουμε τη βαλβίδα, έτσι ώστε οι ατμοί του να οδηγούνται στην ατμόσφαιρα (σχ. 3.2α). Το R-134a αποκτά ατμοσφαιρική πίεση και κατά συνέπεια αρχίζει να ατμοποιείται στους $-26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Καθώς ατμοποιείται σ' αυτήν τη θερμοκρασία απορροφά τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης από το μονωμένο χώρο, η θερμοκρασία του οποίου αρχίζει να μειώνεται. Σε μία δεδομένη στιγμή της αλλαγής φάσεως, αν υποθέσουμε ότι ο ψυκτικός θάλαμος έχει θερμοκρασία $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η θερμότητα ρέει διά μέσου των καλυβδίνων τοιχωμάτων του δοχείου ατμοποίησης, το οποίο ονομάζεται **ατμοποιητής** ή **ψύκτης** από το περιβάλλον προς το R-134a. Μ' αυτές τις συνθήκες πίεσεως και θερμοκρασίας, η ατμοποίηση θα συνεχιστεί έως ότου ατμοποιηθεί όλη η ποσότητα του υγρού R-134a που περιέχεται στο δοχείο.

Για τη συνεχή ατμοποίηση του R-134a από το δοχείο, δημιουργείται η ανάγκη αναπλήρωσεως της ποσότητας των ατμών που διαφεύγουν με υγρό ψυκτικό μέσο. Ένας τρόπος αναπλήρωσεως της ποσότητας που ατμοποιείται είναι με τη χρήση μιας βαλβίδας, η οποία ελέγχεται από έναν πλωτήρα (σχ. 3.2β). Το υγρό ψυκτικό μέσο αποθηκεύεται σε υψηλή πίεση σ' ένα δοχείο και εισέρχεται διά μέσου της βαλβίδας στο δοχείο που βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Η βαλβίδα ελέγχεται από έναν πλωτήρα, έτσι ώστε η στάθμη του υγρού R-134a να διατηρείται σταθερή. Όταν το υγρό R-134a ατμοποιείται γρήγορα, η

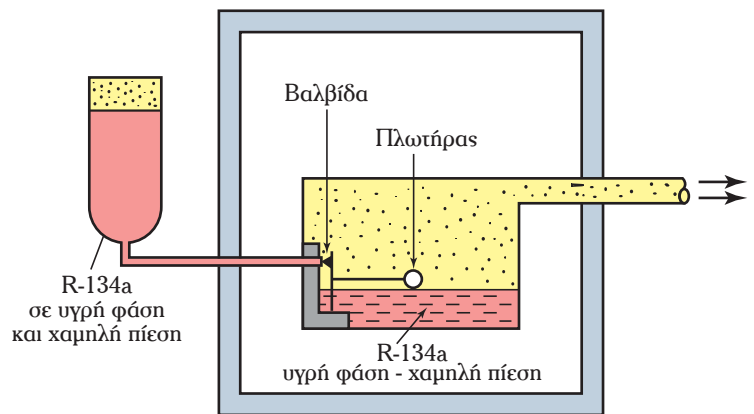
βαλβίδα ανοίγει, ενώ όταν η ατμοποίηση είναι αργή η βαλβίδα κλείνει. Το υγρό R-134a δεν ατμοποιείται στο δοχείο και στη γραμμή τροφοδοσίας, διότι η πίεση που επικρατεί εκεί είναι υψηλή. Η υψηλή αυτή πίεση ωθεί το υγρό να περάσει απ' το δοχείο αποθηκεύσεως προς τη βαλβίδα και το δοχείο ατμοποίησης. Καθώς το υγρό R-134a διέρχεται απ' την οπή της βαλβίδας, η πίεσή του στραγγαλίζεται διότι η βαλβίδα εισόδου έχει στενό άνοιγμα, όπου δημιουργούνται μεγάλες τριβές κατά τη ροή. Κατά τον αδιαβατικό στραγγαλισμό μέρος του αερίου υγροποιείται ακαριαίως. Έτσι, στο στοιχείο ατμοποίησης εισέρχεται μείγμα υγρού και αερίου ψυκτικού μέσου. Στον ατμοποιητή ατμοποιείται, σε χαμηλή πίεση πλέον, η υγρή φάση του ψυκτικού μέσου.

Η διάταξη της βαλβίδας με πλωτήρα είναι μία απ' τις ρυθμιστικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για να ρυθμίζουν τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσεως στον ατμοποιητή, η οποία δεν είναι η πιο διαδεδομένη. Οι τύποι των ρυθμιστικών διατάξεων περιγράφονται στο Κεφάλαιο 8. Μία άλλη ρυθμιστική διάταξη που χρησιμοποιείται ευρέως είναι η **θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα**, η οποία ρυθμίζει τη ροή του υγρού που εισέρχεται στον ατμοποιητή, ανάλογα με τη θερμοκρασία των ατμών που εξέρχονται απ' αυτόν. Η θερμοκρασία των εξερχομένων ατμών γίνεται αισθητή μέσω ενός βολβού, ο οποίος ακουμπάει το σωλήνα εξόδου και συνδέεται με το σώμα της βαλβίδας μ' έναν τριχοειδή σωλήνα (σχ. 3.2γ). Όταν χρησιμοποιείται θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, η ατμοποίηση του υγρού μπορεί να γίνεται σταδιακά μέσα σ' έναν ατμοποιητή, ο οποίος αποτελείται από ένα σωλήνα που έχει τη μορφή σερπαντίνας. Μέσα στο σωλήνα υπάρχει ροή δύο φά-



Σχ. 3.2α.

Παραγωγή με εξάμιση υγρού R-134a.

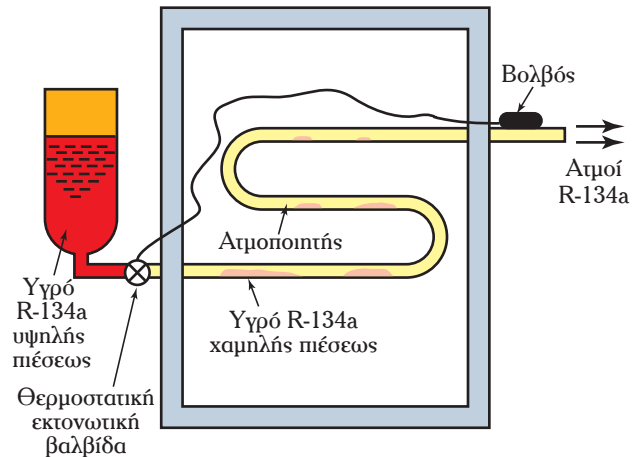


Σχ. 3.2β.

Διατήρηση σταθερής στάθμης υγρού στον εξαμισητή.

σεων, δηλαδή υγρού και ατμού. Στην έξοδο πρέπει να υπάρχει μόνο αέριο για προστασία του συμπιεστή από υδραυλικά πλήγματα.

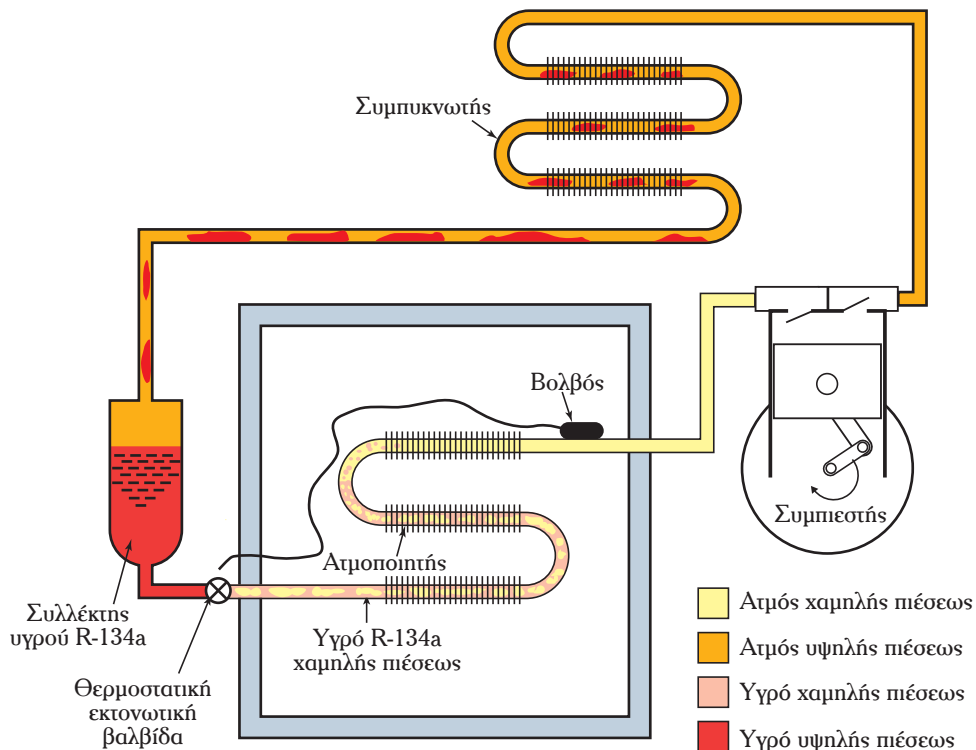
Για να μπορεί η παραγωγή ψύξεως με την ατμοποίηση των ατμών του υγρού R-134a να είναι οικονομικά αποδοτική, πρέπει οι ατμοί που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα να συλλέγονται, να υγροποιούνται και να επαναχρησιμοποιούνται, έτσι ώστε να μην χρειάζεται η συμπλήρωση ψυκτικού μέσου στο δοχείο αποθηκείσεως. Εφόσον το R-134a διαφεύγει σε αέρια κατάσταση, για να υγροποιηθεί θα πρέπει να απορρίψει στο περιβάλλον τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης. Για να υπάρξει ροή θερμότητας απ' τους ατμούς του R-134a που διαφεύγουν από τον ατμοποιητή, είναι απαραίτητο αυτοί να βρεθούν σε θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος. Επί πλέον, οι ατμοί που διαφεύγουν απ' τον ατμοποιητή βρίσκονται σε χαμηλή πίεση. Έτσι, για να εισέλθουν στο δοχείο αποθηκείσεως πρέπει να συμπιεστούν. Η θέρμανση των ατμών του R-134a σε θερμοκρασία υψηλότερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος και η ανύψωση της πίεσώς τους γίνεται μ' ένα μηχανικό **συμπιεστή**, ο οποίος τοποθετείται μετά τον ατμοποιητή (σχ. 3.2δ).



Σχ. 3.2γ.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και ατμοποιητής τύπου σερπαντίνας.

Πριν το συμπιεστή οι ατμοί βρίσκονται σε χαμηλή πίεση και έχουν τη χαμηλή θερμοκρασία εξατμίσεως του R-134a στην πίεση αυτή. Μετά την έξοδο από το συμπιεστή οι ατμοί του R-134a έχουν την πίεση που χρειάζεται, ώστε η θερμοκρασία συμπυκνώσεώς τους να είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Με την περίπου αδιαβατική συμπίεση αυξάνεται η εσωτερική ενέργεια των ατμών



Σχ. 3.2δ.

Επαναχρησιμοποίηση του R-134a με συμπίεση και συμπύκνωση των ατμών του.

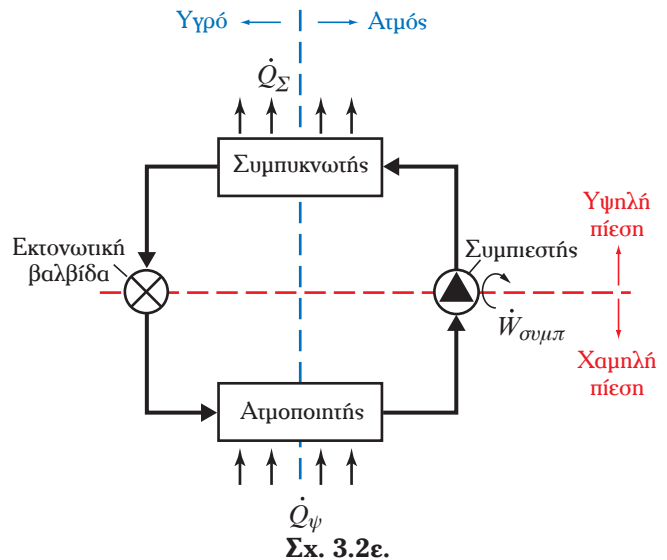
και κατά συνέπεια και η θερμοκρασία τους.

Οι ατμοί υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που εξέρχονται από το συμπιεστή οδεύουν προς έναν εναλλάκτη, ο οποίος ονομάζεται **συμπυκνωτής**. Εκεί δίνουν στο περιβάλλον τη θερμότητα συμπυκνώσεως και σχηματίζουν υγρό R-134a υψηλής πίεσης. Στη συνέχεια, το υγρό διοχετεύεται προς το δοχείο συγκεντρώσεως απ' όπου επανακυκλοφορεί προς την εκτονωτική βαλβίδα και τον ατμοποιητή. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ψυκτικό μέσο R-134a λειτουργεί ως ένας μεταφορέας θερμότητας, την οποία απορροφάει με την ατμοποίησή του στον ατμοποιητή και στη συνέχεια μέσω της συμπυκνώσεως, την απορρίπτει προς το περιβάλλον.

Το διάγραμμα ροής του απλού ψυκτικού κύκλου με μηχανική συμπίεση ατμών δίνεται στο σχήμα 3.2ε. Τα βασικά εξαρτήματα που απαιτούνται για την κυκλική εξάτμιση και συμπύκνωση των ατμών του ψυκτικού μέσου είναι ο **ατμοποιητής**, ο **συμπιεστής**, ο **συμπυκνωτής** και η **εκτονωτική βαλβίδα**.

Ο ατμοποιητής είναι θερμικός εναλλάκτης, με τη βοήθεια του οποίου το ψυκτικό μέσο αφαιρεί τη θερμότητα εξατίσεως \dot{Q}_ψ από τον ψυκτικό θάλαμο. Ο ατμοποιητής συνδέεται με τη γραμμή αναρροφήσεως με το συμπιεστή, του οποίου η λειτουργία είναι να αφαιρεί τους ατμούς χαμηλής πίεσης και να τους συμπιέζει, ώστε να βρεθούν σε θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτήν του μέσου που χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση. Οι θερμοί ατμοί υψηλής πίεσης εισέρχονται στο συμπυκνωτή, ο οποίος είναι θερμικός εναλλάκτης και παρέχει την απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, ώστε η θερμότητα συμπυκνώσεως \dot{Q}_Σ να φύγει από τους ατμούς προς το μέσο συμπυκνώσεως και να δημιουργηθεί υγρό μέσο υψηλής πίεσης. Το υγρό από το συμπυκνωτή διέρχεται από μία εκτονωτική βαλβίδα, η οποία αφενός υποβιβάζει την πίεσή του στην πίεση της εξατίσεως και αφετέρου ρυθμίζει την παροχή ανάλογα με το ψυκτικό φορτίο. Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου γίνεται με το συμπιεστή, ο οποίος προσδίδει στον κύκλο το μηχανικό έργο συμπίεσεως \dot{W}_Σ .

Στην εγκατάσταση το ψυκτικό μέσο έχει δύο πιέσεις: τη **χαμηλή** και την **υψηλή**. Η χαμηλή πίεση είναι η πίεση αναρροφήσεως ή αλλιώς πίεση ατμοποίησης. Πρόκειται για την πίεση, στην οποία βρίσκεται το ψυκτικό μέσο από την έξοδο της εκτονωτικής βαλβίδας στον ατμοποιητή μέχρι την είσοδο του συμπιεστή και μετρείται κατά τη συντήρηση της εγκαταστάσεως μ' ένα μανόμετρο που συνδέεται στο



Σχ. 3.2ε.
Διάγραμμα ψυκτικής εγκαταστάσεως μηχανικής συμπίεσεως ατμών.

χώρο αναρροφήσεως του συμπιεστή. Η υψηλή πίεση είναι η πίεση της συμπυκνώσεως από την έξοδο του συμπιεστή μέχρι την είσοδο της εκτονωτικής βαλβίδας.

Η ψυκτική εγκατάσταση του σχήματος 3.2ε χωρίζεται με την οριζόντια γραμμή στην περιοχή υψηλής πίεσης, η οποία βρίσκεται πάνω απ' τη γραμμή και στην περιοχή χαμηλής πίεσης κάτω απ' αυτή. Επίσης, χωρίζεται με την κάθετη γραμμή σε δύο τμήματα: στην περιοχή του μείγματος υγρού/ατμού αριστερά από τη γραμμή και στην περιοχή του αερίου δεξιά, όπου το ψυκτικό μέσο βρίσκεται σε αέρια φάση.

3.3 Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας.

Για την αναπαράσταση του απλού ψυκτικού κύκλου με μηχανική συμπίεση ατμών χρησιμοποιείται το **διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας** ($p-h$) του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου. Η μορφή του διαγράμματος πίεσης-ενθαλπίας για το R-134a φαίνεται στο σχήμα 3.3α και είναι η παρόμοια για όλα τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα. Ο κάθετος άξονας έχει λογαριθμική υποδιαίρεση σε μονάδες απόλυτης πίεσεως p και ο οριζόντιος έχει μονάδες ειδικής ενθαλπίας h . Κάθε σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε μία κατάσταση του ψυκτικού μέσου R-134a, η οποία ορίζεται με τις συντεταγμένες $p-h$ στο διάγραμμα ή από οποιοσδήποτε δύο θερμοδυναμικές ιδιότητες. Στο διάγραμμα εικονίζεται στα αριστερά η **γραμμή του κορεσμένου υγρού** και στα δεξιά η **γραμμή**

του κορεσμένου ατμού. Η περιοχή του διαγράμματος ανάμεσα στις δύο αυτές γραμμές αντιστοιχεί στην περιοχή του υγρού ατμού, όπου υπάρχει υγρή και αέρια φάση σε διάφορες αναλογίες, σε ισορροπία. Η ατμοποίηση αντιστοιχεί με μετακίνηση της καταστάσεως του υγρού/ατμού προς τα δεξιά, ενώ η υγροποίηση αντιστοιχεί με μετακίνηση της καταστάσεως προς τα αριστερά. Ο **βαθμός ξηρότητας** x του ατμού ορίζεται ως το ποσοστό της μάζας του ατμού στο μείγμα προς τη συνολική μάζα του ψυκτικού μέσου:

$$x = \frac{m_{\text{αμίων}}}{m_{\text{συνολική}}} \quad (1)$$

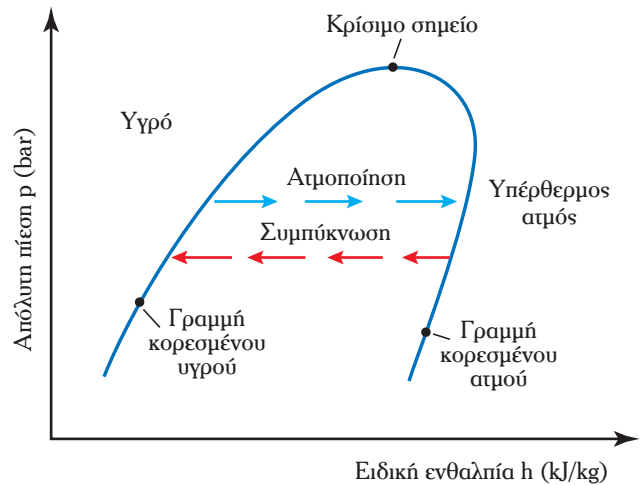
Οι **καμπύλες σταθερού βαθμού ξηρότητας** ($x = \text{σταθ.}$) προσομοιάζουν με τις καμπύλες κορεσμένου υγρού και ατμού και αντιστοιχούν συνήθως σε βαθμούς ξηρότητας ανά 10% (σχ. 3.3β).

Οι οριζόντιες γραμμές είναι **ισόθλιπτες** και αντιστοιχούν σε μεταβολές που γίνονται υπό σταθερή πίεση ($p = \text{σταθ.}$), ενώ οι κάθετες γραμμές είναι **ισενθαλπικές** ($h = \text{σταθ.}$).

Οι **ισοθερμοκρασιακές** καμπύλες ($T = \text{σταθ.}$) στην περιοχή του υγρού διαφέρουν ελαφρά απ' τις κάθετες, οι οποίες αναπαριστούν γραμμές σταθερής ενθαλπίας. Στην περιοχή του υγρού ατμού, εφόσον η ατμοποίηση και η συμπύκνωση γίνονται υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία, οι ισοθερμοκρασιακές είναι οριζόντιες και ταυτίζονται με τις ισόθλιπτες γραμμές.

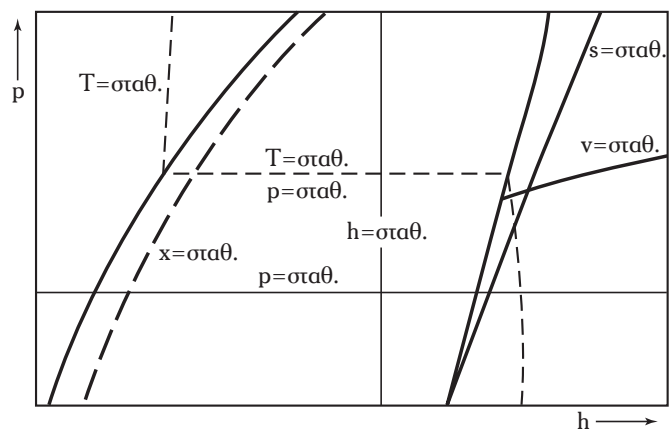
Για να είναι το διάγραμμα $p-h$ του ψυκτικού μέσου περισσότερο ευανάγνωστο έχουν παραλειφθεί οι γραμμές, οι οποίες δηλώνουν θερμοδυναμικές ιδιότητες του ψυκτικού μέσου που δεν είναι αναγκαίες σε πρακτικούς υπολογισμούς. Έτσι, στην περιοχή του υγρού και στην περιοχή του υγρού ατμού για παράδειγμα παραλείπονται οι τιμές της εντροπίας και του ειδικού όγκου.

Το διάγραμμα $p-h$ για τα ψυκτικά μέσα, έχει σχεδόν την ίδια μορφή μ' αυτήν του σχήματος 3.3β, το οποίο αναφέρεται στο R-134a. Στην προηγούμενη παράγραφο ως παράδειγμα εργαζόμενου μέσου χρησιμοποιήσαμε το τετραφθοροαιθάνιο ($C_2H_2F_4$) ή R-134a. Αν και υπάρχουν διάφορα ψυκτικά μέσα, τα οποία επιλέγονται ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου για την ανάλυση των ψυκτικών κύκλων που θα εξετάσουμε θα χρησιμοποιηθεί το R-134a λόγω της ευρείας χρήσεώς του, ιδιαίτερα σε νέες εγκαταστάσεις.



Σχ. 3.3α.

Μορφή διαγράμματος $p-h$.



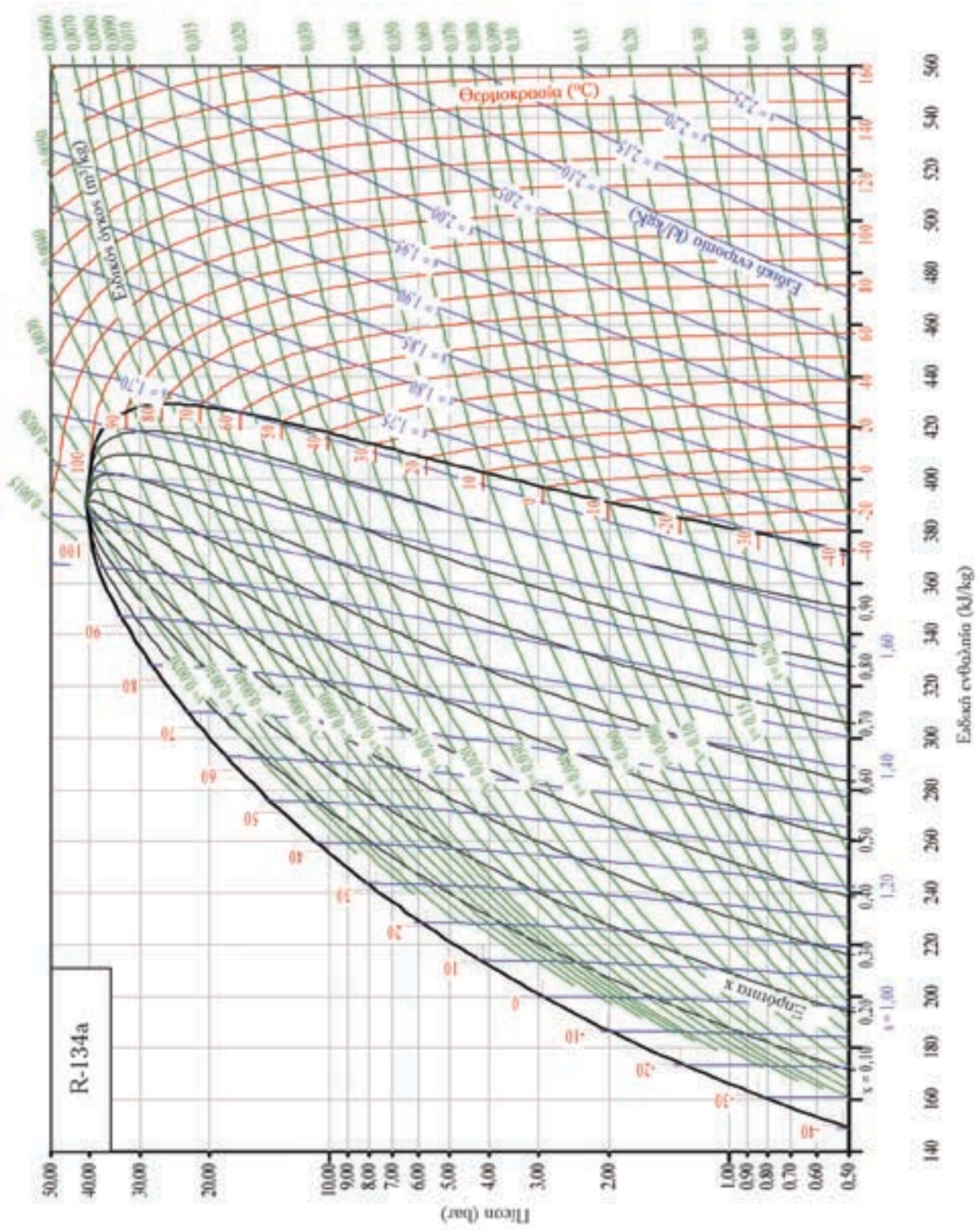
Σχ. 3.3β.

Καμπύλες σταθερής πίεσης, ενθαλπίας, βαθμού ξηρότητας, εντροπίας και ειδικού όγκου στο διάγραμμα $p-h$.

Το διάγραμμα $p-h$ του R-134a του σχήματος 3.3γ δίνεται σε μονάδες SI. Για την κατασκευή του διαγράμματος έχει ληφθεί ως σημείο αναφοράς, για την κλίμακα της ενθαλπίας και της εντροπίας, η κατάσταση υγρού R-134a θερμοκρασίας 0°C , όπου η ενθαλπία τέθηκε ίση με 200 kJ/kg και η εντροπία τέθηκε ίση με 0 kJ/kg K .

3.4 Αναπαράσταση του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα $p-h$.

Στον απλοποιημένο ψυκτικό κύκλο με μηχανική συμπίεση ατμών, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 3.2, το ψυκτικό μέσο θεωρείται ότι εισέρχεται στο συμπιεστή σε κατάσταση κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσεως. Για το λόγο αυτό ο κύκλος χαρακτηρίζεται ως κύκλος κορεσμένου ατμού. Επί-



Σχ. 3.3Υ.
 Διάγραμμα πίεσως-ενθαλπίας ψυκτικού μέσου R-134a.

ους, μετά το συμπυκνωτή υποτίθεται ότι εισέρχεται στην εκτονωτική βαλβίδα σε κατάσταση κορεσμένου υγρού υψηλής πίεσης. Αν και οι παραδοχές αυτές δεν είναι ακριβείς και στην πραγματικότητα οι πραγματικές καταστάσεις του ψυκτικού μέσου διαφέρουν, η ανάλυση του απλού ψυκτικού κύκλου στο διάγραμμα $p-h$ μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της επιδράσεως της μεταβολής των διαφόρων παραμέτρων του κύκλου στην απόδοση μίας πραγματικής ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Σε μία ψυκτική εγκατάσταση τα βασικά μεγέθη είναι η θερμοκρασία ατμοποίησης T_ψ και η θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_Σ . Η θερμοκρασία ατμοποίησης καθορίζεται από την απαιτούμενη θερμοκρασία στον ψυκτικό θάλαμο. Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως καθορίζεται από τη διαθέσιμη θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει ροή θερμότητας από το θερμό ατμό που υγροποιείται προς το ψυχρότερο περιβάλλον. Ο κύκλος ψυκτικής εγκαταστάσεως με δεδομένες τις θερμοκρασίες T_ψ και T_Σ , παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4α.

Με δεδομένες τις θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπυκνώσεως, από το διάγραμμα $p-h$ ή από τους πίνακες ιδιοτήτων του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου, μπορούν να βρεθούν η χαμηλή $p_{\chi AM}$ και η υψηλή πίεση λειτουργίας $p_{\gamma\psi}$ και να γίνει ο κύκλος στο διάγραμμα $p-h$, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4β.

Με την παραδοχή ότι ο ατμός στην έξοδο του ατμοποιητή είναι κορεσμένος προσδιορίζεται αρχικά στο διάγραμμα $p-h$ το σημείο 1, που αντιστοιχεί στην κατάσταση εξόδου από τον εξατμιστή και στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Το σημείο 1 βρίσκεται στην τομή της χαμηλής πίεσης αναρροφήσεως $p_{\chi AM}$ με τη γραμμή κορεσμένου ατμού $x = 100\%$.

Αναλυτικά οι μεταβολές του ψυκτικού μέσου κατά τις κυκλικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ψυκτική εγκατάσταση, αρχίζοντας από την έξοδο του ατμοποιητή, είναι οι εξής:

α) **Συμπίεση.** Η μεταβολή των ατμών του ψυκτικού μέσου που λαμβάνει χώρα στο συμπιεστή θεωρείται ότι είναι ιδανική ισεντροπική συμπίεση. Αυτό ισχύει όταν κατά τη διάρκεια της συμπιέσεως δεν υπάρχουν απώλειες και επί πλέον δεν υπάρχει πρόσδοση θερμότητας ($dQ = 0$) στους ατμούς. Μ' αυτές τις υποθέσεις η συμπίεση θεωρείται ότι είναι

αναστρέψιμη μεταβολή, οπότε η εντροπία των ατμών του ψυκτικού μέσου δεν αυξάνεται ($ds = 0$). Η πίεση καταθλίψεως των ατμών είναι $p_{\gamma\psi}$ που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_Σ . Το σημείο 2 στην έξοδο του συμπιεστή μπορεί να βρεθεί στην τομή της ισεντροπικής που διέρχεται από το σημείο 1, που είναι η κατάσταση των ατμών στην αναρρόφηση, ($ds = 0$) δηλαδή $s_2 = s_1$, και της ισόθλιπτης $p_2 = p_{\gamma\psi}$.

Αφού προσδιοριστεί το σημείο 2 στο διάγραμμα $p-h$, μπορούν να προσδιοριστούν και οι υπόλοιπες θερμοδυναμικές ιδιότητες που αντιστοιχούν στο πέρας της συμπιέσεως.

Το θεωρητικό ειδικό έργο (έργο ανά kg R-134a), το οποίο δίνει ο συμπιεστής στους ατμούς του μέσου είναι¹:

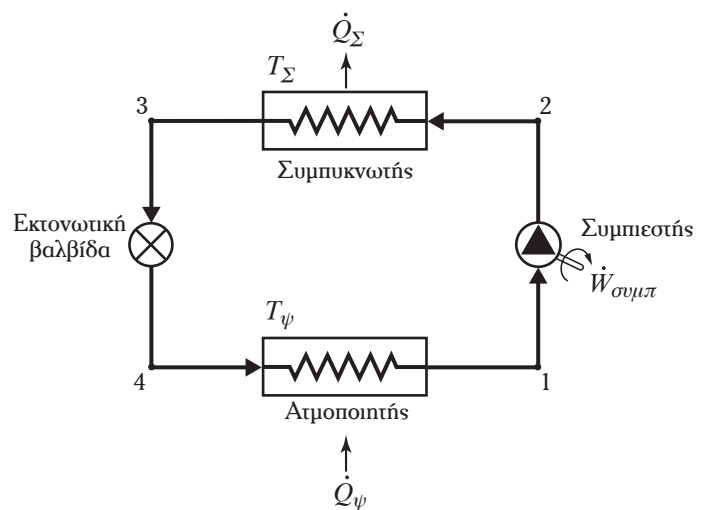
$$w_{\Sigma\psi\mu\pi} = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Το θεωρητικό μηχανικό έργο που δίνει ο συμπιεστής στο ψυκτικό μέσο εξαρτάται από την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου που ανακυκλοφορεί στην εγκατάσταση και είναι:

$$\dot{W}_{\Sigma\psi\mu\pi} = \dot{m} \cdot w_{\Sigma\psi\mu\pi} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1), \quad (3)$$

όπου: $\dot{W}_{\Sigma\psi\mu\pi}$, το θεωρητικό μηχανικό έργο του συμπιεστή σε kW, \dot{m} , η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σε kg/s, $w_{\Sigma\psi\mu\pi}$, το θεωρητικό ειδικό έργο συμπιέσεως σε kJ/kg.

Σε μία πραγματική ψυκτική εγκατάσταση το μη-



Σχ. 3.4α.

Σχεδιάγραμμα κύκλου ψυκτικής εγκαταστάσεως κορεσμένου ατμού.

¹ Στο κεφάλαιο αυτό για την ανάλυση των ψυκτικών κύκλων, ο δείκτης $\Sigma\psi\mu\pi$ αναφέρεται σε συμπίεση, ενώ ο δείκτης Σ αναφέρεται σε συμπύκνωση.

χανικό έργο που δίνει ο συμπιεστής αυξάνεται από τις μηχανικές τριβές και τις απώλειες του κινητήρα. Έτσι στην πραγματικότητα το έργο του συμπιεστή είναι από 30% έως 50% μεγαλύτερο από το θεωρητικό έργο.

β) **Συμπύκνωση.** Η ροή του αερίου και η μεταβολή μέσα στο συμπυκνωτή θεωρείται ότι γίνεται ισόθλιπτα, χωρίς τριβές. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει πτώση πίεσεως και η μεταβολή στο συμπυκνωτή είναι ισόθλιπτη. Στην έξοδο του συμπιεστή ο ατμός είναι υπέρθερμος με θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' τη θερμοκρασία, όπου γίνεται η συμπύκνωση. Έτσι, ο ατμός πρέπει πρώτα να ψυχθεί και να γίνει κορεσμένος πριν αρχίσει να συμπυκνώνεται. Η κατάσταση κορεσμένου ατμού ($x = 100\%$) πίεσεως p_2 αντιστοιχεί στο διάγραμμα $p-h$ του σχήματος 3.4β με το σημείο 2'. Η μεταβολή 2-2' της ψύξεως του ατμού γίνεται μέσα στο συμπυκνωτή, κατά την είσοδο του υπέρθερμου ατμού.

Στη συνέχεια, ο κορεσμένος ατμός μέσα στο συμπυκνωτή υγροποιείται υπό σταθερή πίεση. Στην έξοδο του συμπυκνωτή το ψυκτικό μέσο έχει μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό ($x = 0$), το οποίο βρίσκεται στην υψηλή πίεση της εγκαταστάσεως. Η κατάσταση του R-134a στο σχήμα 3.4β αντιστοιχεί στο σημείο 3, το οποίο βρίσκεται στην τομή της ισόθλιπτης των $p_3 = p_{\gamma\psi}$ με τη γραμμή κορεσμένου υγρού $x = 0$.

Η ειδική θερμότητα, η οποία απορρίπτεται στο μέσο συμπυκνώσεως μέσω των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας του συμπυκνωτή ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου ψυκτικού μέσου, είναι η διαφορά των ειδικών ενθαλπιών εισόδου και εξόδου:

$$q_{\Sigma} = h_2 - h_3 \quad (4)$$

Η απορριπτόμενη θερμότητα στο περιβάλλον από το συμπυκνωτή:

$$\dot{Q}_{\Sigma} = \dot{m} \cdot q_{\Sigma} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3), \quad (5)$$

όπου: \dot{Q}_{Σ} , η απορριπτόμενη θερμότητα συμπυκνώσεως σε kW, \dot{m} , η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σε kg/s, q_{Σ} , η ειδική θερμότητα συμπυκνώσεως σε kJ/kg και h_2 , h_3 οι ειδικές ενθαλπίες εισόδου και εξόδου.

δ) **Αδιαβατική εκτόνωση.** Το κορεσμένο υγρό ψυκτικό μέσο μετά το συμπυκνωτή (κατάσταση 3) διέρχεται από την εκτονωτική βαλβίδα από όπου εξέρχεται στην κατάσταση 4 (σχ. 3.4β), η οποία αντιστοιχεί σε μείγμα υγρού και ατμού. Ο σκοπός υπάρ-

ξεως της βαλβίδας είναι κυρίως ο υποβιβασμός της πίεσεως του μέσου στην $p_{\chi\text{AM}}$, που αντιστοιχεί στην πίεση όπου γίνεται η ατμοποίηση στην επιθυμητή θερμοκρασία T_{ψ} , αλλά και η ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος μέσω της ρυθμίσεως της ποσότητας του μέσου που διέρχεται προς τον ατμοποιητή. Αν η μεταβολή αυτή γίνεται χωρίς το μέσο να συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον, τότε είναι αδιαβατική και άρα $\Delta Q = 0$. Επί πλέον, εφόσον δεν παράγεται μηχανικό έργο $W = 0$. Από τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο ισχύει:

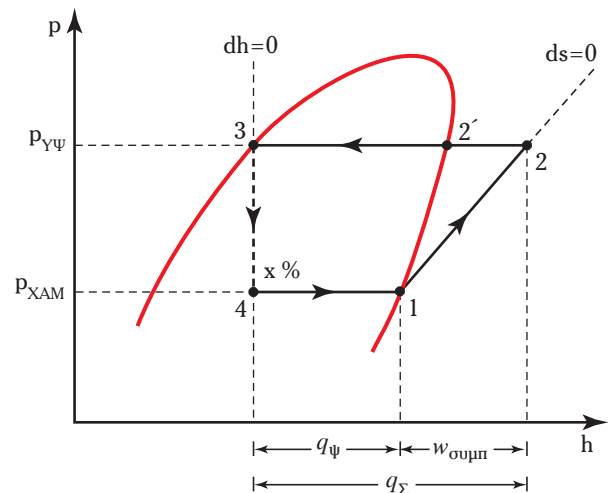
$$\Delta Q = \Delta H + W, \quad (6)$$

εφόσον $\Delta Q = 0$ και $W = 0$, προκύπτει: $\Delta H = 0$.

Άρα η μεταβολή στην εκτονωτική βαλβίδα είναι ισηνθαλπική και ισχύει $h_3 = h_4$.

Το σημείο 4 της εξόδου από την εκτονωτική βαλβίδα προσδιορίζεται στην τομή της ισόθλιπτης $p_4 = p_{\chi\text{AM}}$, με την ισηνθαλπική $h_4 = h_3$.

Στην πραγματικότητα, εφόσον υπάρχουν τριβές και πρόσδοση θερμότητας, η μεταβολή 3-4 γίνεται με αύξηση της εντροπίας και είναι μη αναστρέψιμη. Γι' αυτόν το λόγο στο διάγραμμα $p-h$ τη μεταβολή μπορούμε να ορίσουμε μόνο με το αρχικό σημείο 3 και το τελικό σημείο 4. Δεν μπορούμε όμως να ορίσουμε με τις ενδιάμεσες καταστάσεις απ' τις οποίες διέρχεται το υγρό ψυκτικό μέσο. Έτσι, η μεταβολή 3-4 στο σχήμα 3.4β παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή. Επί πλέον, το ψυκτικό μέσο στην έξοδο της εκτονωτικής βαλβίδας (κατάσταση 4) έχει θερμοκρασία χαμηλότερη απ' αυτήν που έχει στην είσοδο (κατάσταση 3). Η ψύξη του μέσου μέσα στη βαλβίδα γίνεται με την ατμοποίηση ενός μέρους του.



Σχ. 3.4β.

Ο ψυκτικός κύκλος κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα $p-h$.

Πίνακας 3.4

Σημεία του θεωρητικού ψυκτικού κύκλου συμπίεσης κορεσμένου ατμού.

Αριθμός σημείου	Θέση στον κύκλο	Πίεση	Θερμοκρασία	Ειδική ενθαλπία	Ειδική εντροπία	Βαθμός ξηρότητας
		p	T	h	s	x
1	Αναρρόφηση	$p_{ΧΑΜ}$	T_{ψ}		$s_1=s_2$	100%
2	Κατάθλιψη	$p_{ΥΨ}$			$s_2=s_1$	---
2'	Κορεσμένος ατμός στο συμπυκνωτή	$p_{ΥΨ}$	T_{Σ}			100%
3	Έξοδος συμπυκνωτή	$p_{ΥΨ}$	T_{Σ}	$h_3=h_4$		0%
4	Είσοδος ατμοποιητή	$p_{ΧΑΜ}$	T_{ψ}	$h_4=h_3$		

Το αρχικό υγρό αφαιρεί θερμότητα από τον εαυτό του, ατμοποιεί ένα μέρος του και αποκτά χαμηλότερη θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, στην έξοδο της βαλβίδας το υγρό ψυκτικό μέσο δεν είναι πια κορεσμένο, αλλά έχει βαθμό ξηρότητας $x > 0$, ο οποίος προσδιορίζεται από το διάγραμμα $p-h$ με την υπόθεση της ισενθαλπικής μεταβολής.

δ) **Ατμοποίηση.** Η μεταβολή στον ατμοποιητή θεωρείται ότι γίνεται χωρίς να υπάρχουν τριβές κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου. Κατά συνέπεια, είναι ισόθλιπη και η πίεση στην έξοδο είναι ίση με την πίεση στην είσοδο του ατμοποιητή. Η πίεση ατμοποίησης καθορίζεται από την επιθυμητή θερμοκρασία ατμοποίησης, δεδομένου ότι η ατμοποίηση γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Στην κατάσταση 1 της εξόδου απ' τον ατμοποιητή, το ψυκτικό μέσο θεωρείται ότι έχει ατμοποιηθεί πλήρως οπότε έχει βαθμό ξηρότητας $x = 100\%$. Το σημείο 1 της εξόδου από τον ατμοποιητή προσδιορίζεται στην τομή της ισόθλιπτης $p_1 = p_4 = p_{ΧΑΜ}$ με τη γραμμή κορεσμένου ατμού $x = 100\%$.

Με την απορρόφηση θερμότητας από τον ψυκτικό θάλαμο, κατά τη μεταβολή 4-1 η ειδική ενθαλπία του ψυκτικού μέσου αυξάνεται. Η θερμότητα που απορροφάται ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου ψυκτικού μέσου ονομάζεται **ειδική θερμότητα ψύξεως** (specific refrigerating effect) και είναι:

$$q_{\psi} = h_1 - h_4 \quad (7)$$

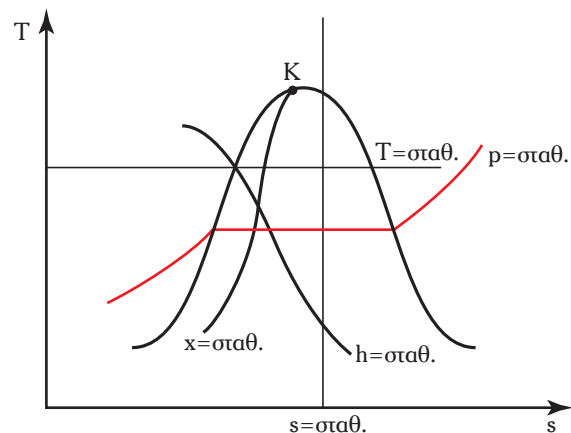
Ανακεφαλαιώνοντας, οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων του ψυκτικού κύκλου με συμπίεση κορεσμένου ατμού, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4. Μετά τον προσδιορισμό των σημείων στο διά-

γραμμα $p-h$, μπορούν να διαβαστούν οι υπόλοιπες ιδιότητες του ψυκτικού μέσου στα διάφορα σημεία μέχρι τη συμπλήρωση του πίνακα.

3.5 Αναπαράσταση του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα $T-s$.

Ένας άλλος τρόπος αναπαράστασης του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού είναι με τη χρήση του διαγράμματος θερμοκρασίας-εντροπίας ($T-s$) των ιδιοτήτων του ψυκτικού μέσου. Στο σχήμα 3.5α παρουσιάζεται η δομή του διαγράμματος $T-s$ των ιδιοτήτων ενός ψυκτικού μέσου.

Στο διάγραμμα $T-s$ του σχήματος 3.5α φαίνεται η καμπύλη του κορεσμένου ατμού ($x = 0\%$) και του κορεσμένου υγρού ($x = 100\%$). Οι δύο καμπύλες ενώνονται στο κρίσιμο σημείο Κ, πάνω από το οποίο δεν είναι δυνατή η υγροποίηση του ψυκτικού



Σχ. 3.5α.

Καμπύλες σταθερής πίεσης, ενθαλπίας, βαθμού ξηρότητας και εντροπίας στο διάγραμμα $T-s$.

μέσου και σχηματίζουν μία καμπάνα, δεξιά από την οποία βρίσκεται η περιοχή του υγρού. Αριστερά από την καμπάνα βρίσκεται η περιοχή του υπέρθερμου ατμού, όπως και στο διάγραμμα $p-h$. Σχεδόν παράλληλες με την καμπάνα, βρίσκονται οι καμπύλες σταθερού βαθμού ξηρότητας ($x = \text{σταθ.}$). Οι ισόθλιπτες ($p = \text{σταθ.}$) είναι καμπύλες με κλίση περίπου 45° εκτός της καμπάνας, ενώ μέσα σ' αυτήν, εφόσον είναι και ισοθερμοκρασιακές ($T = \text{σταθ.}$), είναι οριζόντιες. Οι ισηθαλπικές ($h = \text{σταθ.}$) είναι καμπύλες με κλίση προς τα κάτω.

Ο ψυκτικός κύκλος κορεσμένου ατμού της ψυκτικής εγκαταστάσεως του σχήματος 3.4α, στο διάγραμμα $T-s$ εικονίζεται στο σχήμα 3.5β και αποτελείται από τις εξής μεταβολές:

Μεταβολή 1-2: **Ισηντροπική συμπίεση.**

Μεταβολή 2-2': **Ισόθλιπτη ψύξη.**

Μεταβολή 2'-3: **Ισόθλιπτη συμπύκνωση.**

Μεταβολή 3-4: **Ισηθαλπική εκτόνωση.**

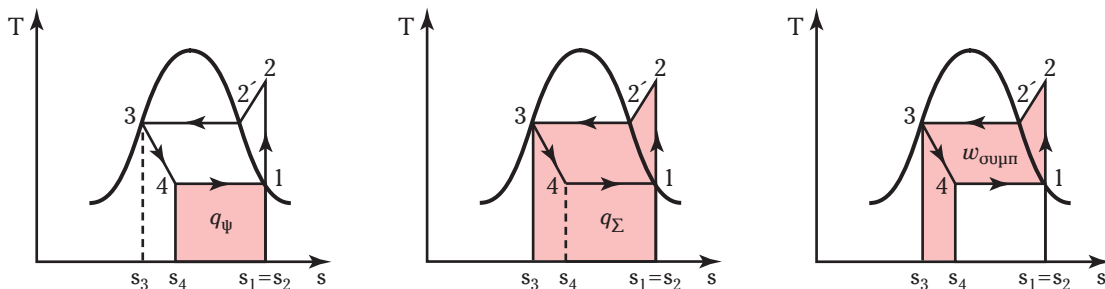
Μεταβολή 4-1: **Ισόθλιπτη εξάτμιση.**

Στον ψυκτικό κύκλο του σχήματος 3.5β μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η μεταβολή 3-4 της εκτόνωσεως στη βαλβίδα γίνεται με αύξηση της εντροπίας του ψυκτικού μέσου και κατά συνέπεια δεν είναι αναστρέψιμη. Αντίθετα, η μεταβολή 1-2, που αντιστοιχεί στη συμπίεση, είναι αναστρέψιμη διότι $s_1 = s_2$. Στο διάγραμμα $T-s$ τα ποσά θερμότητας που δίνει ή προσλαμβάνει το ψυκτικό μέσο κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής είναι ίσα με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη που αναπαριστά τη μεταβολή όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5γ. Έτσι το ειδικό ψυκτικό αποτέλεσμα q_ψ και η ειδική θερμότητα συμπυκνώσεως q_Σ είναι:

$$q_\psi = \text{Εμβ.}[s_4, 4, 1, s_1, s_4] \quad (8)$$

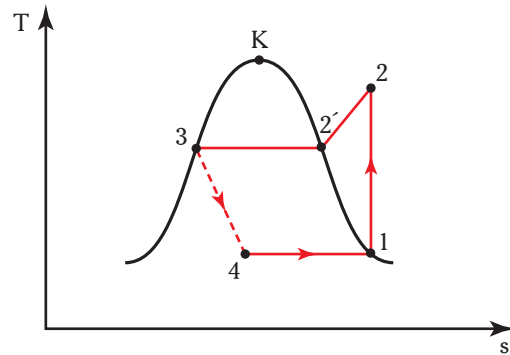
$$q_\Sigma = \text{Εμβ.}[s_3, 3, 2', 2, s_1, s_3] \quad (9)$$

Λόγω του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου, το ειδικό μηχανικό έργο είναι ίσο με:



Σχ. 3.5γ.

(α) Ειδική ψυκτική ικανότητα, (β) ειδική θερμότητα συμπυκνώσεως και (γ) ειδικό μηχανικό έργο στο διάγραμμα $T-s$.



Σχ. 3.5β.

Ο ψυκτικός κύκλος κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα $T-s$.

$$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = q_\Sigma - q_\psi =$$

$$= \text{Εμβ.}[s_3, 3, 2', 2, s_1, s_3] - \text{Εμβ.}[s_4, 4, 1, s_1, s_4] =$$

$$= \text{Εμβ.}[s_3, 3, 2', 2, 1, 4, s_4, s_3] \quad (10)$$

Ο υπολογισμός των ποσοτήτων ενέργειας που συναλλάσσει το ψυκτικό μέσο με εμβαδά, είναι το βασικό μειονέκτημα της αναπαράστασεως των ψυκτικών κύκλων στο διάγραμμα $T-s$. Γι' αυτόν το λόγο, τα διαγράμματα $T-s$ στην πράξη δεν χρησιμοποιούνται. Οι κατασκευαστές των ψυκτικών μέσων δίνουν τις ιδιότητες των μέσων που διατίθενται στο εμπόριο σε διαγράμματα $p-h$ και σε πίνακες ιδιοτήτων κορεσμένου ατμού και κορεσμένου υγρού.

3.6 Ψυκτικό φορτίο – Ογκομετρική ικανότητα συμπίεσής.

3.6.1 Ψυκτικό φορτίο.

Σε μία ψυκτική εγκατάσταση ως **ψυκτικό φορτίο** ή **ψυκτική ισχύς** (refrigerating capacity) \dot{Q}_ψ ορίζεται το ποσό της θερμότητας που αφαιρείται από τον ψυκτικό θάλαμο στη μονάδα του χρόνου. Η ψυκτική ισχύς εξαρτάται από την παροχή μάζας του ψυκτικού

μέσου που ανακυκλοφορεί στην εγκατάσταση και απ' την ειδική θερμότητα ψύξεως. Η ψυκτική ισχύς έχει μονάδες ισχύος και υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot q_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (11)$$

όπου: \dot{Q}_ψ , η ψυκτική ισχύς σε kW, \dot{m} , η παροχή μάζας του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου σε kg/s, q_ψ , η ειδική θερμότητα ψύξεως σε kJ/kg και h_1-h_4 οι ειδικές ενθαλπίες.

Από την παραπάνω σχέση μπορεί για δεδομένη ψυκτική ισχύ μιας εγκαταστάσεως να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή μάζας \dot{m} του ψυκτικού μέσου:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_\psi}{q_\psi} \quad (12)$$

Με την ολοκλήρωση του κύκλου, το ψυκτικό μέσο απορροφάει στη μονάδα του χρόνου από τον ψυκτικό θάλαμο θερμότητα ίση με το ψυκτικό φορτίο \dot{Q}_ψ . Επί πλέον, έχει λάβει το εξωτερικό μηχανικό έργο συμπίεσεως \dot{W}_Σ και έχει απορρίψει στο περιβάλλον τη θερμότητα συμπυκνώσεως \dot{Q}_Σ .

Για τη θερμική ισορροπία στο κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα της εγκαταστάσεως, θα πρέπει τα απορριπτόμενα ποσά ενέργειας να είναι ίσα με τα προσδιδόμενα, δηλαδή:

$$\dot{Q}_\Sigma = \dot{Q}_\psi + \dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} \quad (13)$$

Αντικαθιστώντας στην (13) τις εκφράσεις από τις εξισώσεις (3) και (11) έχουμε:

$$\begin{aligned} \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) &= \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) + \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow \\ \Rightarrow h_2 - h_3 &= (h_1 - h_4) + (h_2 - h_1) \end{aligned} \quad (14)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει εφόσον η μεταβολή 3-4 της εκτονώσεως είναι ισενθαλπική και $h_3=h_4$, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από την παράσταση του κύκλου στο διάγραμμα $p-h$ του σχήματος 3.4β.

3.6.2 Ογκομετρική ικανότητα συμπιεστή.

Οι ατμοί που δημιουργούνται με την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου πρέπει να μπορούν να απομακρύνονται από το συμπιεστή, ώστε να μην αυξηθεί η πίεση στον ατμοποιητή. Για κάθε ψυκτικό μέσο ο όγκος των ατμών ανά μονάδα μάζας εξαρτάται από τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Εφόσον η θερμοκρασία και η πίεση ατμοποίησης μειώνονται, ο ειδικός όγκος αυξάνεται. Για δεδομένη θερμοκρασία και πίεση ατμοποίησης η τιμή του ειδικού όγκου στην

αναρρόφηση του συμπιεστή (κατάσταση 1) μπορεί να ληφθεί από το διάγραμμα $p-h$ ή από τους πίνακες ιδιοτήτων του κορεσμένου ατμού του ψυκτικού μέσου. Ο όγκος των ατμών που δημιουργούνται με την ατμοποίηση θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αναρροφηθεί απ' το συμπιεστή. Ο όγκος των ατμών που πρέπει να μπορεί να συμπιέζει ο συμπιεστής, ονομάζεται **ογκομετρική ικανότητα** του συμπιεστή. Για τη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως σε συνθήκες ισορροπίας, θα πρέπει η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή να ισούται με τον όγκο των ατμών που παράγονται με την ατμοποίηση.

Στην περίπτωση που ο συμπιεστής δεν προλαβαίνει να συμπιέσει τους ατμούς που φεύγουν απ' τον ατμοποιητή, αυτοί θα συσσωρευτούν, με αποτέλεσμα την ανύψωση της πίεσεως και της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Στην αντίθετη περίπτωση που η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή είναι μεγαλύτερη, θα προκληθεί επί πλέον κενό στον ατμοποιητή με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης.

Γι' αυτούς τους λόγους η παροχή μάζας από το συμπιεστή πρέπει να ισούται με την παροχή μάζας από την εκτονωτική βαλβίδα.

Άρα, η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή ισούται με:

$$\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = \dot{m} \cdot v_1 \quad (15)$$

όπου: $\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$, η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή σε m^3/s , \dot{m} , η παροχή μάζας του εργαζόμενου σε kg/s και v_1 , ο ειδικός όγκος του κορεσμένου ατμού στην αναρρόφηση σε m^3/kg .

Συνήθως στις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις, η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή σε m^3/s δίνει πολύ μικρούς αριθμούς, οπότε εκφράζεται σε lt/s:

$$\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} (\text{lt} / \text{s}) = 1000 \cdot \dot{m} (\text{kg} / \text{s}) \cdot v_1 (\text{m}^3 / \text{kg}) \quad (16)$$

Παράδειγμα 1.

Μια ψυκτική εγκατάσταση εργάζεται με μηχανική συμπίεση κορεσμένων ατμών ψυκτικού μέσου R-134a. Η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_\psi = -5^\circ\text{C}$ και η θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T_\Sigma = 40^\circ\text{C}$. Η ψυκτική ισχύς της εγκαταστάσεως είναι 10 kW. Με τα παραπάνω δεδομένα να:

α) Υπολογίστε τις θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων του κύκλου.

β) Σχεδιάστε τον ψυκτικό κύκλο στο διάγραμμα $p-h$.

Λύση.

Από το διάγραμμα $p-h$ του R-134a προσδιορίζουμε την απόλυτη χαμηλή και την απόλυτη υψηλή πίεση λειτουργίας της εγκατάστασης. Στη θερμοκρασία εξατμίσεως $T_{\psi} = -5^{\circ}\text{C}$ αντιστοιχεί πίεση $p_{\text{ΧΑΜ}} = 243 \text{ kPa} = 2,43 \text{ bar}$. Στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T_{\Sigma} = 40^{\circ}\text{C}$ αντιστοιχεί πίεση $p_{\text{ΥΨ}} = 1017 \text{ kPa} = 10,17 \text{ bar}$. Με βάση τη χαμηλή και την υψηλή πίεση λειτουργίας και με την παραδοχή ότι ο συμπιεστής συμπέζει κορεσμένο ατμό, ενώ στη βαλβίδα εισέρχεται κορεσμένο υγρό, μπορούμε να σχεδιάσουμε τον ψυκτικό κύκλο, ο οποίος παρουσιάζεται στο διάγραμμα $p-h$ στο σχήμα 3.6.

Ο προσδιορισμός των σημείων του ψυκτικού κύκλου πραγματοποιείται ως εξής:

Η κατάσταση εξόδου από τον ψύκτη – σημείο 1–, βρίσκεται πάνω στο διάγραμμα $p-h$ στην τομή της καμπύλης κορεσμένου ατμού και της ισοθερμοκρασιακής -5°C . Οι υπόλοιπες ιδιότητες που αντιστοιχούν στο σημείο 1 προκύπτουν από το διάγραμμα $p-h$ και είναι:

$$\begin{aligned} p_1 &= 2,43 \text{ bar} & v_1 &= 0,0823 \text{ m}^3/\text{kg} = 82,3 \text{ lt/kg} \\ T_1 &= -5^{\circ}\text{C} & s_1 &= 1,73 \text{ kJ/kg K} \end{aligned}$$

$$h_1 = 394,3 \text{ kJ/kg} \quad x_1 = 100\%.$$

Το σημείο 2 στην έξοδο του συμπιεστή βρίσκεται στην τομή της ισηντροπικής ($s = 1,73 \text{ kJ/kg K}$) που διέρχεται από το σημείο 1 και της ισόθλιπτης $p=p_2=10,17 \text{ bar}$ που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T_{\Sigma\text{ΜΠ}} = 40^{\circ}\text{C}$. Αφού προσδιοριστεί το σημείο 2 στο διάγραμμα $p-h$, μπορούν να προσδιοριστούν και οι υπόλοιπες θερμοδυναμικές ιδιότητες που αντιστοιχούν στο πέρας της συμπιέσεως:

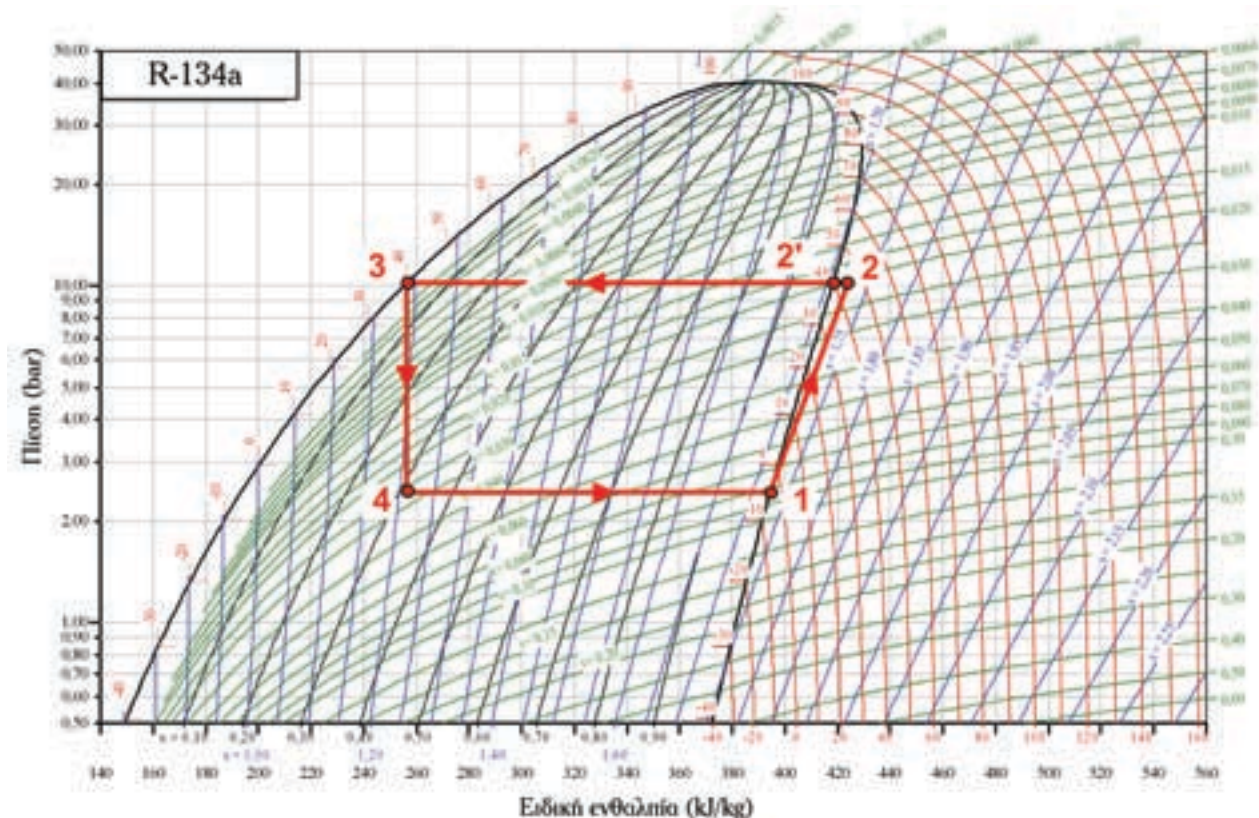
$$\begin{aligned} p_2 &= 10,17 \text{ bar} & v_2 &= 20,5 \text{ lt/kg} \\ T_2 &= 45,3^{\circ}\text{C} & s_2 &= 1,73 \text{ kJ/kg K}. \end{aligned}$$

$$h_2 = 423,8 \text{ kJ/kg}$$

Η κατάσταση 2' του κορεσμένου ατμού ($x = 100\%$) πίεσεως $p = p_2 = 10,17 \text{ bar}$ λαμβάνει χώρα κατά τη μεταβολή του R-134a μέσα στο συμπυκνωτή και οι ιδιότητες του ατμού καταστάσεως 5 είναι:

$$\begin{aligned} p_{2'} &= 10,17 \text{ bar} & v_{2'} &= 20 \text{ lt/kg} \\ T_{2'} &= 40^{\circ}\text{C} & s_{2'} &= 1,71 \text{ kJ/kg K} \\ h_{2'} &= 419,8 \text{ kJ/kg} & x_{2'} &= 100\%. \end{aligned}$$

Η κατάσταση 3 που αντιστοιχεί στην έξοδο από το συμπυκνωτή βρίσκεται στην τομή της ισόθλιπτης των $p = 10,17 \text{ bar}$ με τη γραμμή κορεσμένου υγρού



Σχ. 3.6.

Ο ψυκτικός κύκλος του παραδείγματος 1 σε διάγραμμα $p-h$.

$x = 0$. Από το διάγραμμα $p-h$ προκύπτουν οι ιδιότητες του ατμού καταστάσεως 3:

$$p_3 = 10,17 \text{ bar}$$

$$T_3 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 256,2 \text{ kJ/kg} \quad x_3 = 0\%.$$

Η κατάσταση 4 που αντιστοιχεί στην έξοδο από την εκτονωτική βαλβίδα βρίσκεται στην τομή της ισόθλιπτης των 2,43 bar με την ισενθαλπική $h = h_3 = 256,2 \text{ kJ/kg}$. Από το διάγραμμα $p-h$ προκύπτουν οι ιδιότητες του ατμού καταστάσεως 4:

$$p_4 = 2,43 \text{ bar}$$

$$T_4 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_4 = 256,2 \text{ kJ/kg} \quad x_4 = 31\%.$$

Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων του κύκλου δίνονται συνολικά στον πίνακα 3.6.

Το θεωρητικό ειδικό έργο συμπίεσεως είναι:

$$\begin{aligned} w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} &= h_2 - h_1 = \\ &= 423,8 \text{ kJ/kg} - 394,3 \text{ kJ/kg} = 29,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Η θερμότητα, η οποία απορρίπτεται στο συμπυκνωτή ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου ψυκτικού μέσου είναι:

$$\begin{aligned} q_{\Sigma} &= h_2 - h_3 = \\ &= 423,8 \text{ kJ/kg} - 256,2 \text{ kJ/kg} = 167,6 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Το ειδικό ψυκτικό αποτέλεσμα είναι:

$$\begin{aligned} q_{\Psi} &= h_1 - h_4 = \\ &= 394,3 \text{ kJ/kg} - 256,2 \text{ kJ/kg} = 138,1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Το ψυκτικό φορτίο είναι $\dot{Q}_{\Psi} = 10 \text{ kW}$, οπότε η απαιτούμενη παροχή μάζας \dot{m} του ψυκτικού μέσου είναι:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{q_{\Psi}} = \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{(h_1 - h_4)} = \frac{10 \text{ kW}}{138,1 \text{ kJ/kg}} = \frac{10 \cdot \text{kJ/s}}{138,1 \text{ kJ/kg}} \\ &= \frac{10 \cdot \text{kJ/s}}{138,1 \text{ kJ/kg}} = 0,0724 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

ή αλλιώς: $\dot{m} = 3600 \cdot 0,0724 \text{ kg/h} = 260,64 \text{ kg/h}$.

Το θεωρητικό μηχανικό έργο που δίνει ο συμπιεστής στο ψυκτικό μέσο είναι:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} &= \dot{m} \cdot w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) = \\ &= 0,0724 \text{ kg/s} \cdot 29,5 \text{ kJ/kg} = 2,13 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή είναι:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} &= \dot{m} \cdot v_1 = \\ &= 0,0724 \text{ kg/s} \cdot 82,3 \text{ lt/kg} = 5,96 \text{ lt/s}. \end{aligned}$$

3.7 Συντελεστής συμπεριφοράς ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Ο **συντελεστής συμπεριφοράς** ενός ψυκτικού κύκλου είναι ένα μέτρο της αποδόσεως του κύκλου στην αφαίρεση θερμότητας. Κατά τη λειτουργία μιας ψυκτικής μηχανής το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η αφαίρεση της θερμότητας από τον ψυκτικό θάλαμο. Στη μονάδα του χρόνου η μηχανή αφαιρεί θερμότητα ίση με την ψυκτική ισχύ \dot{Q}_{Ψ} . Για να επιτύχομε τη μεταφορά ποσού θερμότητας ίσο με \dot{Q}_{Ψ} από μία χαμηλότερη θερμοκρασία προς μια υψηλότερη δαπανούμε στη μονάδα του χρόνου ενέργεια ίση με την ισχύ συμπίεσεως του ψυκτικού μέσου $\dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$.

Για τη μέτρηση της αποδόσεως του ψυκτικού κύκλου ορίζουμε το **θεωρητικό συντελεστή συμπερι-**

Πίνακας 3.6
Θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων του κύκλου συμπίεσεως
κορεσμένου ατμού του παραδείγματος 3.1.

Αριθμός σημείου	Πίεση	Θερμοκρασία	Ειδική ενθαλπία	Ειδική εντροπία	Ειδικός όγκος	Βαθμός ξηρότητας
	p	T	h	s	v	x
	bar	$^\circ\text{C}$	kJ/kg	kJ/kgK	lt/kg	%
1	2,43	-5	394,3	1,73	82,3	100
2	10,17	45,3	423,8	1,73	20,5	-
2'	10,17	40	419,8	1,7	20	100
3	10,17	40	256,2		26,5	0
4	2,43	-5	256,2		26,5	31

φοράς ($C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}}$) ως εξής:

$$C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}} = \frac{\text{ψυκτικό φορτίο}}{\text{θεωρ. ισχύς συμπ.}} = \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} \quad (17)$$

Αντικαθιστώντας στην (17) τις σχέσεις (3) και (11) προκύπτει:

$$\begin{aligned} C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}} &= \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \\ &= \frac{\dot{m} \cdot (h_1 - h_4)}{\dot{m} \cdot (h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \end{aligned} \quad (18)$$

Λόγω των τριβών, η πραγματική ισχύς $P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$ που δίνεται στο συμπιεστή είναι μεγαλύτερη.

Ο συνολικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή n_{Σ} είναι ο λόγος της θεωρητικής ισχύος συμπίεσεως $\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$ προς την πραγματική μηχανική ισχύ $P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$, που δίνεται στο συμπιεστή στη φλάντζα συνδέσεως και περιλαμβάνει τις μηχανικές απώλειες λόγω τριβών στο συμπιεστή και τις απώλειες λόγω τριβών στο αέριο:

$$n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} = \frac{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}}{P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} \quad (19)$$

Ο συνολικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή $n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$ εξαρτάται από το είδος, το μέγεθος, τις στροφές και άλλους παράγοντες και κυμαίνεται από 0,7 έως 0,8. Έτσι, η πραγματική μηχανική ισχύς $P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$ που δίνεται στο συμπιεστή είναι:

$$P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} = \frac{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}}{n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \frac{\dot{m} \cdot (h_1 - h_4)}{n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} \quad (20)$$

όπου: $P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$, η ισχύς που δίνεται από τον κινητήρα του συμπιεστή στη φλάντζα συνδέσεως, $\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$, το θεωρητικό μηχανικό έργο, $n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$, ο βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή.

Η ισχύς που δίνεται στον συμπιεστή ισούται με:

$$P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} = M_t \cdot \omega$$

όπου M_t : η στρεπτική ροή του άξονα και ω : η γωνιακή ταχύτητα του άξονα.

Για την εκτίμηση της πραγματικής αποδόσεως της ψυκτικής εγκαταστάσεως εισάγουμε τον **πραγματικό συντελεστή συμπεριφοράς** ή αλλιώς **συντελεστή συμπεριφοράς C.O.P.**

Ο **συντελεστής συμπεριφοράς C.O.P.** της εγκαταστάσεως ορίζεται ως:

$$C.O.P. = \frac{\text{ψυκτικό φορτίο}}{\text{πραγματική ισχύς συμπ.}} = \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} \quad (21)$$

η αλλιώς:

$$\begin{aligned} C.O.P. &= \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}^{\text{πραγμ}}} = \frac{\dot{m} \cdot (h_1 - h_4)}{\frac{\dot{m} \cdot (h_2 - h_1)}{n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}}} = \\ &= n_{\Sigma} \cdot \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \end{aligned} \quad (22)$$

Προφανώς, επειδή πάντα ο βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή είναι $n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} < 1$, ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς μίας εγκαταστάσεως είναι μικρότερος από το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς: $C.O.P. < C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}}$.

Παράδειγμα 2.

Για την ψυκτική εγκατάσταση του παραδείγματος 1 να υπολογιστούν:

α) Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς $C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}}$ και

β) ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς $C.O.P.$ αν ο βαθμός αποδόσεως της συμπίεσεως $n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} = 0,78$.

Λύση.

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι:

$$C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}} = \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές των ενθαλπιών του ψυκτικού κύκλου του σχήματος 3.6 από τον πίνακα 3.6, έχουμε:

$$\begin{aligned} C.O.P._{\Theta_{\epsilon\omega\rho}} &= \frac{394,3 \text{ kJ/kg} - 256,2 \text{ kJ/kg}}{423,8 \text{ kJ/kg} - 394,3 \text{ kJ/kg}} = \\ &= \frac{138,1 \text{ kJ/kg}}{29,5 \text{ kJ/kg}} = 4,68 \end{aligned}$$

Το πραγματικό ειδικό έργο της συμπίεσεως είναι:

$$\begin{aligned} \frac{P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}}{\dot{m}} &= \frac{w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}}{n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \frac{h_1 - h_4}{n_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \\ &= \frac{29,5 \text{ kJ/kg}}{0,78} = 37,82 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Άρα ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως είναι:

$$C.O.P. = \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{P_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \frac{138,1 \text{ kJ/kg}}{37,82 \text{ kJ/kg}} = 3,65$$

Δηλαδή για κάθε kJ έργου που δίνονται στο συ-

μπιεστή, αφαιρούνται 3,65 kJ θερμότητας από τον ψυκτικό θάλαμο.

3.8 Ιδανικός ψυκτικός κύκλος Carnot.

Ο ψυκτικός κύκλος, ο οποίος έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση είναι ο αντίστροφος κύκλος Carnot. Ο αντίστροφος κύκλος Carnot είναι πλήρως αντιστρέψιμος και μεταφέρει θερμότητα από τη χαμηλή θερμοκρασία ψύξεως T_ψ προς την υψηλή θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_Σ . Αυτό γίνεται με την προσθήκη μηχανικού έργου συμπίεσεως $w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$ ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου ψυκτικού μέσου σε συνθήκες αδιαβατικές, δηλαδή χωρίς αύξηση της εντροπίας. Ταυτόχρονα, η εκτόνωση του υγρού γίνεται μέσα από ένα στρόβιλο, ο οποίος χρησιμοποιείται ως εκτονωτική διάταξη. Ο στρόβιλος εκμεταλλεύεται την πτώση πίεσεως του υγρού και δίνει έργο στον κύκλο w_E .

Μία ψυκτική μηχανή που εργάζεται με τον αντίστροφο κύκλο Carnot και ο ψυκτικός κύκλος στο διάγραμμα T-s εικονίζονται στο σχήμα 3.8α. Κατά την εκτέλεση του κύκλου η συμπίεση και η εκτόνωση του αερίου πραγματοποιούνται χωρίς τριβές και συναλλαγή θερμότητας, άρα χωρίς να μεγαλώνει η εντροπία του εργαζόμενου μέσου. Η μετάδοση θερμότητας σε ιδανικές συνθήκες γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία, χωρίς να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο ψυκτικό μέσο και στο μέσο συμπυκνώσεως ή εξατμίσεως. Οι μεταβολές του ψυκτικού μέσου στον αντίστροφο κύκλο Carnot, όπως φαίνονται στο διάγραμμα T-s του σχήματος 3.8α είναι:

Μεταβολή 1-2: **Ισηντροπική συμπίεση.**

Μεταβολή 2-3: **Ισοθερμοκρασιακή συμπύκνωση.**

Μεταβολή 3-4: **Ισηντροπική εκτόνωση.**

Μεταβολή 4-1: **Ισοθερμοκρασιακή ατμοποίηση.**

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το διάγραμμα T-s, το ψυκτικό μέσο στην κατάθλιψη είναι κορεσμένος ατμός και όχι σε υπέρθερμη κατάσταση, όπως συνέβαινε στον κύκλο μηχανικής συμπίεσεως κορεσμένου ατμού. Η ειδική ψυκτική ισχύς είναι ίση με το εμβαδόν κάτω από τη μεταβολή 4-1 στο διάγραμμα T-s:

$$q_\psi = \text{Eμβ.}[s_1, 1, 4, s_4, s_1] = T_\psi \cdot (s_1 - s_4) \quad (23)$$

Η θερμότητα που αποβάλλεται κατά τη συμπύκνωση στο θερμό θερμοδοχείο είναι:

$$q_\Sigma = \text{Eμβ.}[s_2, 2, 3, s_3, s_2] = T_\Sigma \cdot (s_2 - s_3) \quad (24)$$

Λόγω του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου που εκφράζει τη διατήρηση της ενέργειας για κλειστά συστήματα, το προσδιδόμενο έργο στον κύκλο είναι:

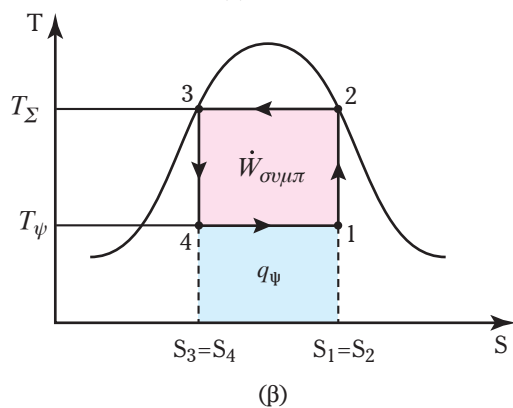
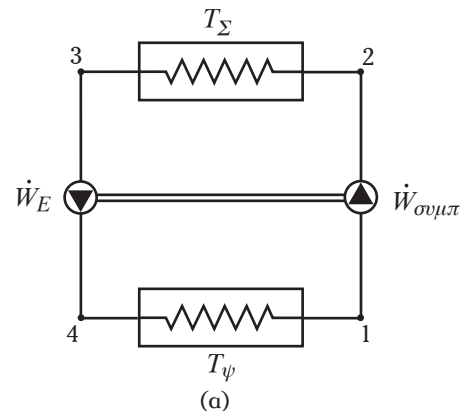
$$\begin{aligned} w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} - w_E &= q_\Sigma - q_\psi = \text{Eμβ.}[1, 2, 3, 4, 1] = \\ &= (T_\Sigma - T_\psi) \cdot (s_1 - s_4) \end{aligned} \quad (25)$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς του αντίστροφου κύκλου Carnot είναι:

$$\begin{aligned} C.O.P._C &= \frac{\text{ψυκτικό φορτίο}}{\text{θεωρ. ισχύς συμπίεσεως}} = \\ &= \frac{q_\psi}{w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} - w_E} \end{aligned} \quad (26)$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (23) και (24) στην (26) έχουμε:

$$C.O.P._C = \frac{T_\psi \cdot (s_1 - s_4)}{(T_\Sigma - T_\psi) \cdot (s_1 - s_4)} = \frac{T_\psi}{T_\Sigma - T_\psi} \quad (27)$$



Σχ. 3.8α.

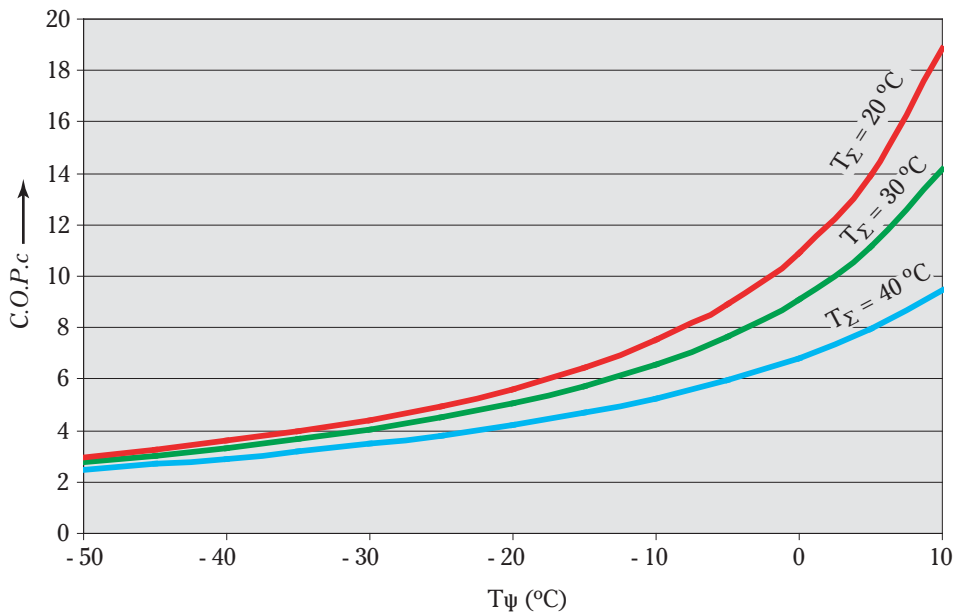
(α) Ψυκτική διάταξη λειτουργούσα με αντίστροφο κύκλο Carnot και (β) αντίστροφος ψυκτικός κύκλος Carnot σε διάγραμμα T-s.

Προσοχή: Οι θερμοκρασίες πρέπει να δίνονται σε απόλυτη θερμοκρασία δηλαδή σε βαθμούς Kelvin, όπου $T_K = 273,15 + T_C$.

Επειδή η σχέση (19) εκφράζει το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς του αντίστροφου κύκλου Carnot σε συνάρτηση με τις θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπυκνώσεως, παρατηρούμε ότι η απόδοση του κύκλου αυξάνεται όταν η διαφορά των ακραίων θερμοκρασιών μειώνεται. Στην πράξη, η θερμοκρασία του διαθέσιμου μέσου συμπυκνώσεως είναι δεδομένη.

Σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, ο συντελεστής συμπεριφοράς του αντίστροφου κύκλου Carnot είναι ο μεγαλύτερος που μπορεί να επιτευχθεί. Έτσι, σε μία πραγματική εγκατάσταση, δεν είναι οικονομικά εφικτή η εκμετάλλευση του έργου απ' την εκτόνωση του υγρού λόγω της μικρής αυξήσεως στον ειδικό του όγκο όταν ελαττώνεται η πίεσή του. Επί πλέον, λόγω της υπερθερμάνσεως του ατμού στο συμπιεστή και των τριβών που υπάρχουν κατά την εκτόνωση στη βαλβίδα, υπάρχει αύξηση της εντροπίας και έτσι ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς που μπορεί να επιτευχθεί σ' έναν πραγματικό ψυκτικό κύκλο είναι πάντα μικρότερος απ' τον αντίστοιχο συντελεστή συμπεριφοράς του κύκλου Carnot:

$$C.O.P._{\theta\epsilon\omega\rho} < C.O.P._c$$



Σχ. 3.8β.

$C.O.P._c$ με μεταβολή της θερμοκρασίας εξατμίσεως T_{ψ} για διάφορες θερμοκρασίες συμπυκνώσεως $T_{\Sigma} = 40^{\circ}\text{C}$, $T_{\Sigma} = 30^{\circ}\text{C}$, $T_{\Sigma} = 20^{\circ}\text{C}$.

Ο λόγος του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς $C.O.P._{\theta\epsilon\omega\rho}$ ενός πραγματικού ψυκτικού κύκλου, προς τον αντίστοιχο συντελεστή συμπεριφοράς του κύκλου Carnot $C.O.P._c$ που εργάζεται ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες, ονομάζεται **θερμοδυναμικός βαθμός αποδόσεως** της ψυκτικής εγκαταστάσεως:

$$n_{\theta} = \frac{C.O.P._{\theta\epsilon\omega\rho}}{C.O.P._c} \quad (28)$$

Η τιμή του n_{θ} μεγαλώνει όταν η διαφορά θερμοκρασιών συμπυκνώσεως και ατμοποίησης μικραίνει.

Στο σχήμα 3.8β φαίνεται πώς μεταβάλλεται ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς του αντίστροφου κύκλου Carnot $C.O.P._c$ για σταθερές θερμοκρασίες συμπυκνώσεως από $T_{\Sigma} = 20^{\circ}\text{C}$ έως $T_{\Sigma} = 40^{\circ}\text{C}$ και για θερμοκρασίες εξατμίσεως T_{ψ} από -50°C έως 10°C .

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από το σχήμα 3.8β, ο συντελεστής συμπεριφοράς του αντίστροφου κύκλου Carnot μειώνεται, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία εξατμίσεως T_{ψ} και όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_{Σ} .

Κατά συνέπεια και ο συντελεστής συμπεριφοράς μίας πραγματικής εγκαταστάσεως μονοβάθμιας συμπίεσεως είναι χαμηλός για μικρές θερμοκρασίες ατμοποίησης. Γι' αυτόν το λόγο έχουν αναπτυχθεί πολυβάθμιες ψυκτικές μηχανές, οι οποίες λειτουργ-

γούν με κύκλους με παραπάνω από μία βαθμίδα συμπίεσης (παράγρ. 3.12).

Παράδειγμα 3.

Για την ψυκτική εγκατάσταση του παραδείγματος 1, όπου η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_{\psi} = -5^{\circ}\text{C}$ και η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_{\Sigma} = 40^{\circ}\text{C}$, να υπολογιστούν:

α) Ο συντελεστής συμπεριφοράς $C.O.P._C$ του αντίστροφου κύκλου Carnot και

β) ο θερμοδυναμικός βαθμός αποδόσεως n_{Θ} , της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Λύση.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς του αντίστροφου κύκλου Carnot είναι: $C.O.P._C = \frac{T_{\psi}}{T_{\Sigma} - T_{\psi}}$.

Αντικαθιστώντας τις θερμοκρασίες $T_{\psi} = -5^{\circ}\text{C} = -5 + 273,15 = 268,15\text{ K}$ και $T_{\Sigma} = 40^{\circ}\text{C} = 40 + 273,15\text{ K} = 313,15\text{ K}$, έχουμε:

$$C.O.P._C = \frac{268,15\text{ K}}{313,15 - 268,15\text{ K}} = 5,95$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς του ψυκτικού κύκλου, όπως υπολογίστηκε στο παράδειγμα 2 είναι: $C.O.P._{\Theta_{\text{εωρ}}} = 4,68$ (μικρότερος από τον $C.O.P._C$).

Άρα, ο θερμοδυναμικός βαθμός αποδόσεως της ψυκτικής εγκαταστάσεως είναι:

$$n_{\Theta} = \frac{C.O.P._{\Theta_{\text{εωρ}}}}{C.O.P._C} = \frac{4,68}{5,95} = 0,786$$

Άρα η μέγιστη δυνατή απόδοση της ψυκτικής εγκαταστάσεως συμπίεσης κορεσμένου ατμού, η οποία εργάζεται σε θερμοκρασία ατμοποίησης $T_{\psi} = -5^{\circ}\text{C}$ και σε θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T_{\Sigma} = 40^{\circ}\text{C}$, είναι το 78,6% σε σχέση με τη μέγιστη δυνατή απόδοση που έχει ο αντίστροφος κύκλος Carnot, που εργάζεται στις ίδιες ακραίες θερμοκρασίες.

3.9 Επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας ατμοποίησης.

Η απόδοση του ψυκτικού κύκλου συμπίεσης κορεσμένου ατμού ψυκτικού μέσου μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό, όταν αλλάζουν οι θερμοκρασίες ατμοποίησης T_{ψ} και συμπυκνώσεως T_{Σ} . Η μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς είναι εντονότερη όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ατμο-

ποίησης και εξαρτάται από το είδος του εργαζόμενου μέσου. Στο σχήμα 3.9α φαίνονται οι ψυκτικοί κύκλοι κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα $p-h$, για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποίησης T_{ψ}^1 και T_{ψ}^2 . Στους ψυκτικούς κύκλους του σχήματος 3.9α, η θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_{Σ} είναι η ίδια.

Απ' το σχήμα αυτό μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι με την ελάττωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης από T_{ψ}^1 σε T_{ψ}^2 , η ειδική ψυκτική ικανότητα ελαττώνεται:

$$q_{\psi}^2 = h_5 - h_8 < q_{\psi}^1 = h_1 - h_4 \quad (29)$$

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κυκλοφορίας μεγαλύτερης ποσότητας ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση στη μονάδα του χρόνου, ώστε να παράγεται η ίδια ψυκτική ισχύς. Αν απαιτείται η παραγωγή της ίδιας ψυκτικής ισχύος $\dot{Q}_{\psi}^1 = \dot{Q}_{\psi}^2$ απ' τους δύο ψυκτικούς κύκλους, τότε:

$$\dot{Q}_{\psi}^1 = \dot{Q}_{\psi}^2 \Rightarrow \dot{m}^1 \cdot (h_1 - h_4) = \dot{m}^2 \cdot (h_5 - h_8) \quad (30)$$

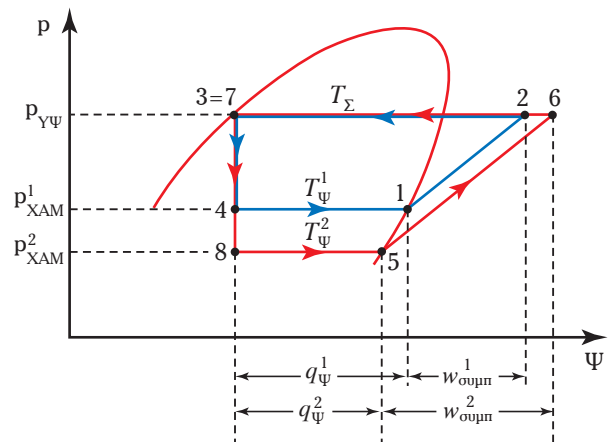
και κατά συνέπεια:

$$\dot{m}^2 = \dot{m}^1 \cdot \frac{h_1 - h_4}{h_5 - h_8} \quad (31)$$

Αυτό σημαίνει ότι δεδομένου ότι $\frac{h_1 - h_4}{h_5 - h_8} > 1$, αυξάνεται η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης.

Ταυτόχρονα, η ειδική ισχύς συμπίεσης αυξάνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης:

$$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 = h_6 - h_5 > w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1 = h_2 - h_1 \quad (32)$$



Σχ. 3.9α.

Μεταβολή της αποδόσεως του απλού ψυκτικού κύκλου με αλλαγή της θερμοκρασίας ατμοποίησης.

Ένα άλλο αποτέλεσμα της ελαττώσεως της θερμοκρασίας ατμοποίησης είναι η αύξηση του ειδικού όγκου σε m^3/kg στην αναρρόφηση του συμπιεστή, δηλαδή: $v_5 > v_1$.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απαιτούμενης ογκομετρικής ικανότητας του συμπιεστή:

$$\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 = \dot{m}^2 \cdot v_5 > \dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1 = \dot{m}^1 \cdot v_1 \quad (33)$$

Όμως, λόγω και της αυξημένης παροχής μάζας αυξάνεται η ισχύς στο συμπιεστή:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 &> \dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1 \Rightarrow \\ \Rightarrow \dot{m}^2 \cdot (h_6 - h_5) &= \dot{m}^1 \cdot (h_2 - h_1) \end{aligned} \quad (34)$$

Η μεγαλύτερη απαιτούμενη ισχύς και η μεγαλύτερη ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή, αλλάζουν τις προδιαγραφές, με τις οποίες αυτός επιλέγεται. Συνήθως για τον υποβιβασμό της θερμοκρασίας ατμοποίησης είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του συμπιεστή με άλλο μεγαλύτερο.

Τέλος, ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς $C.O.P.^{\text{θεωρ}}$, ο οποίος εκφράζει την απόδοση του ψυκτικού κύκλου μειώνεται:

$$C.O.P.^2_{\text{θεωρ}} = \frac{h_5 - h_8}{h_6 - h_5} < C.O.P.^1_{\text{θεωρ}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (35)$$

Η μεταβολή της αποδόσεως του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού με τη μείωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης φαίνεται αναλυτικότερα στο παράδειγμα 4.

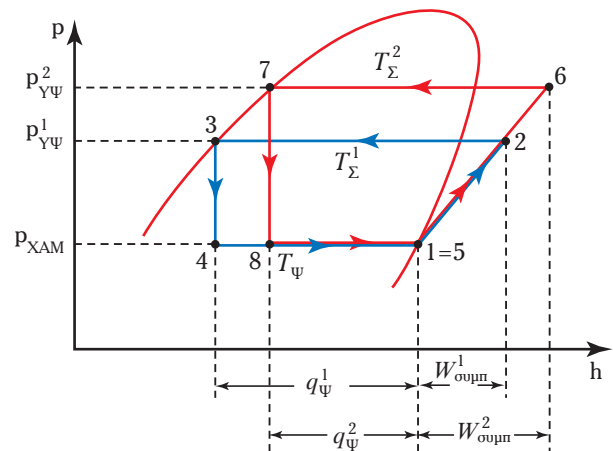
Παρόμοια επίδραση έχει και η αύξηση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως. Στο σχήμα 3.9β φαίνονται ο ψυκτικός κύκλος κορεσμένου ατμού 1-2-3-4-1 και ο κύκλος που έχει προκύψει με την ανύψωση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως από T_{Σ}^1 σε T_{Σ}^2 .

Από το σχήμα 3.9β μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ανύψωση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής ψυκτικής ικανότητας ($q_{\Psi}^2 < q_{\Psi}^1$), την αύξηση του ειδικού έργου συμπύεσεως ($w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 > w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1$) και την αύξηση της παροχής μάζας του ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση ($\dot{m}^2 > \dot{m}^1$), όπως συμβαίνει και στην περίπτωση μείωσης της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Επί πλέον, με την ανύψωση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως ο θεωρητικός συντελεστής $C.O.P.^{\text{θεωρ}}$ μειώνεται, δεδομένου ότι η υπερθέρμανση του ατμού μετά τη συμπύεση είναι μεγαλύτερη στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_{Σ}^2 .

Στην πράξη, η θερμοκρασία συμπυκνώσεως καθορίζεται από το μέσο συμπυκνώσεως δηλαδή τον αέρα ή το νερό του περιβάλλοντος. Έτσι, μία ψυκτική εγκατάσταση εργάζεται με μειωμένη απόδοση και αυξημένη ισχύ συμπύεσεως, όταν το μέσο συμπυκνώσεως έχει μεγάλη θερμοκρασία. Αυτό, σε συνδυασμό με το αυξημένο ψυκτικό φορτίο που παρουσιάζεται σε τέτοιες περιπτώσεις δημιουργεί υπερφόρτιση του συμπιεστή και κίνδυνο βλάβης. Παράδειγμα είναι η λειτουργία κλιματιστικών εγκαταστάσεων σε συνθήκες καύσωνα και η λειτουργία της ψυκτικής και της κλιματιστικής εγκαταστάσεως ενός πλοίου σε τροπικά κλίματα, όπου το θαλασσινό νερό ψύξεως μπορεί να έχει θερμοκρασία 35 °C. Σε τέτοιες περιπτώσεις, με αύξηση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως κατά 10 °C από τη θερμοκρασία που πάρθηκε ως βάση για τον υπολογισμό της εγκαταστάσεως, η παροχή μάζας του μέσου αυξάνεται περίπου κατά 10%, η ισχύς συμπύεσεως αυξάνεται κατά 30% και η απόδοση του κύκλου μειώνεται κατά 22%.

Παράδειγμα 4.

Για την ψυκτική εγκατάσταση του παραδείγματος 1, η οποία εργάζεται με μηχανική συμπύεση κορεσμένων ατμών ψυκτικού μέσου R-134a, θερμοκρασία εξατμίσεως $T^1_{\Psi} = -5$ °C και θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T_{\Sigma} = 40$ °C, να βρεθεί η μεταβολή της ειδικής ψυκτικής ικανότητας q_{Ψ} και του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς $C.O.P.^{\text{θεωρ}}$, αν η θερμοκρασία ατμοποίησης μειωθεί κατά 5 °C και γίνει $T^2_{\Psi} = -10$ °C. Αν η ψυκτική ισχύς της εγκαταστάσεως είναι 1,5 ψυκτικοί τόνοι, να βρείτε επίσης τη μεταβολή στην παροχή μάζας \dot{m} του ψυκτικού



Σχ. 3.9β.

Μεταβολή της αποδόσεως του απλού ψυκτικού κύκλου με αλλαγή της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.

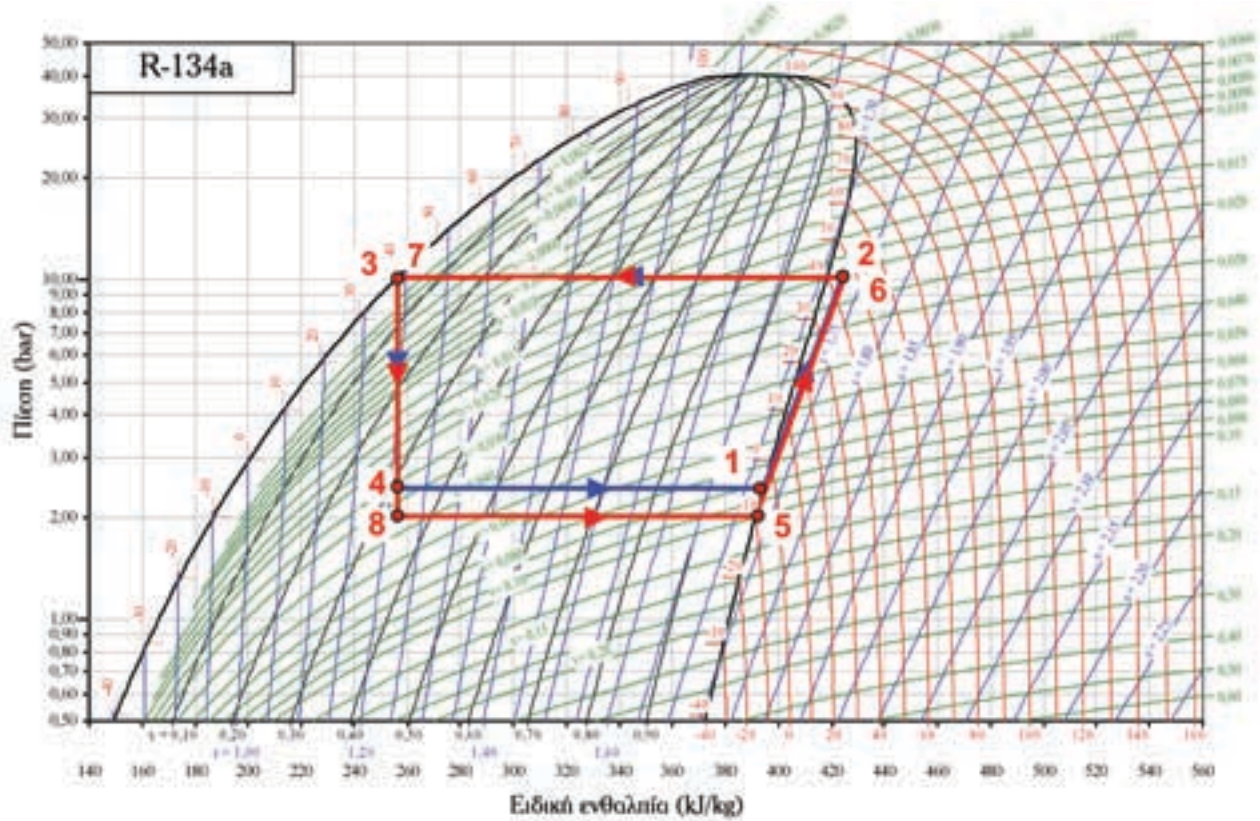
μέσου, τη μεταβολή της θεωρητικής ισχύος συμπίεσης $\dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$ και τη μεταβολή της απαιτούμενης ογκομετρικής ικανότητας του συμπιεστή $\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$.

Λύση.

Ο ψυκτικός κύκλος για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_{\psi}^1 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T_{\Sigma} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπως έχει αναλυθεί στο παράδειγμα 1 φαίνεται με μπλε χρώμα στο σχήμα 3.9γ με τα ση-

μεία 1-2-3-4-1. Με τον υποβιβασμό της θερμοκρασίας ατμοποίησης σε $T_{\psi}^2 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, τα σημεία του ψυκτικού κύκλου είναι τα 5-6-7-8-5 και ο κύκλος δηλώνεται με κόκκινο χρώμα (σχ. 3.9γ).

Τα σημεία 3 και 7 των δύο κύκλων ταυτίζονται, ενώ η πίεση, η θερμοκρασία, η ειδική ενθαλπία και ο ειδικός όγκος των σημείων των δύο κύκλων υπολογίζονται όπως στο παράδειγμα 1 και δίνονται στο πίνακα 3.9.



Σχ. 3.9γ.

Μεταβολή της αποδόσεως του απλού ψυκτικού κύκλου R-134a με αλλαγή της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως κατά $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Πίνακας 3.9

Θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων των ψυκτικών κύκλων του σχήματος 3.4.

Κύκλος 1-2-3-4					Κύκλος 5-6-7-8				
Αριθμός σημείου	Πίεση	Θερμοκρασία	Ειδική ενθαλπία	Ειδικός όγκος	Αριθμός σημείου	Πίεση	Θερμοκρασία	Ειδική ενθαλπία	Ειδικός όγκος
	p	T	h	v		p	T	h	v
	bar	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	lt/kg		bar	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	lt/kg
1	2,43	-5	394,3	82,3	5	2,0	-10	391,3	99,0
2	10,17	45,3	423,8	20,5	6	10,17	45,6	424,9	20,7
3	10,17	40	256,2	-	7=3	10,17	40	256,2	-
4	2,43	-5	256,2	-	8	2,0	-10	256,2	-

Από τα σημεία των δύο κύκλων προκύπτει:

α) **Μεταβολή ειδικής ψυκτικής ικανότητας**

q_{Ψ} :

Κύκλος 1-2-3-4-1

$$q_{\Psi}^1 = h_1 - h_4 = (394,3 - 256,2) \text{ kJ / kg} = 138,1 \text{ kJ / kg}$$

Κύκλος 5-6-7-8-4

$$q_{\Psi}^2 = h_5 - h_8 = (391,3 - 256,2) \text{ kJ / kg} = 135,1 \text{ kJ / kg}$$

όπου, με τους εκθετικούς δείκτες 1 και 2 σημαίνονται οι κύκλοι 1-2-3-4-1 και 5-6-7-8-5 αντίστοιχα.

Κατά συνέπεια, η ειδική ψυκτική ικανότητα μειώνεται κατά:

$$\delta(q_{\Psi}) = \frac{q_{\Psi}^1 - q_{\Psi}^2}{q_{\Psi}^1} \cdot 100\% = \frac{138,1 - 135,1}{138,1} \cdot 100\% = 2,2\%$$

β) **Μεταβολή ειδικού έργου συμπίεσεως**

$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$:

Κύκλος 1-2-3-4-1

$$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1 = h_2 - h_1 = (423,8 - 394,3) \text{ kJ / kg} = 29,5 \text{ kJ / kg}$$

Κύκλος 5-6-7-8-4

$$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 = h_6 - h_5 = (424,9 - 391,3) \text{ kJ / kg} = 33,6 \text{ kJ / kg}$$

Η αύξηση του ειδικού έργου συμπίεσεως είναι:

$$\delta(w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}) = \frac{w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 - w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1}{w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1} \cdot 100\% = \frac{33,6 - 29,5}{29,5} \cdot 100\% = 13,9\%$$

γ) Ο **θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς** στον κύκλο 1-2-3-4-1 με θερμοκρασία ατμοποίησης $T_{\Psi}^1 = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, είναι:

$$C.O.P.^1_{\text{θεωρ}} = \frac{q^1_{\Psi}}{w^1_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}} = \frac{138,1 \text{ kJ / kg}}{29,5 \text{ kJ / kg}} = 4,68$$

Για τον κύκλο 5-6-7-8-5 με θερμοκρασία εξατμίσεως $T_{\Psi}^1 = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ο θεωρητικός συντελεστής συ-

μπεριφοράς είναι:

$$C.O.P.^2_{\text{θεωρ}} = \frac{135,1 \text{ kJ / kg}}{33,6 \text{ kJ / kg}} = 4,02$$

Η μείωση του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$\delta(C.O.P.^1_{\text{θεωρ}}) = \frac{C.O.P.^1_{\text{θεωρ}} - C.O.P.^2_{\text{θεωρ}}}{C.O.P.^1_{\text{θεωρ}}} \cdot 100\% = \frac{4,68 - 4,02}{4,02} \cdot 100\% = 14,1\%$$

Από το παραπάνω αποτέλεσμα προκύπτει ότι λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας εξατμίσεως κατά 5 K, η μείωση της αποδόσεως της ψυκτικής εγκαταστάσεως (κατά 14,1%) είναι πολλαπλάσια της μείωσης της ειδικής ψυκτικής ισχύος (η οποία είναι 2,2%).

δ) Για ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως που εργάζεται με τον κύκλο 1-2-3-4-1, ίση με $\dot{Q}_{\Psi}^1 = 1,5 \text{ RT}$, η **παροχή μάζας** του ψυκτικού μέσου είναι:

$$\dot{m}^1 = \frac{\dot{Q}_{\Psi}^1}{q^1_{\Psi}} = \frac{1,5 \text{ RT}}{138,1 \text{ kJ / kg}}$$

Αντικαθιστώντας τους RT σε kW έχουμε:

$$1\text{RT} = 12000 \frac{\text{btu}}{\text{h}} = 12000 \frac{0,252 \text{ kcal}}{3600 \text{ sec}} = 12000 \frac{0,252 \cdot 4,19 \text{ kJ}}{3600 \text{ sec}} = 3,5196 \text{ kW},$$

οπότε:

$$\dot{m}^1 = \frac{1,5 \cdot 3,5196 \text{ kJ / sec}}{138,1 \text{ kJ / Kg}} = 0,038 \text{ kg / sec} = 136,8 \text{ kg / h}$$

Με τον ίδιο τρόπο, για τον κύκλο 5-6-7-8-5, η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου είναι:

$$\dot{m}^2 = \frac{\dot{Q}_{\Psi}^2}{q^2_{\Psi}} = \frac{1,5 \cdot 3,5196 \text{ kJ / sec}}{135,1 \text{ kJ / kg}} = 0,039 \text{ kg / sec} = 140,4 \text{ kg / h}$$

Η αύξηση στην παροχή μάζας είναι:

$$\delta(\dot{m}) = \frac{\dot{m}^2 - \dot{m}^1}{\dot{m}^1} \cdot 100\% = \frac{140,4 - 136,8}{136,8} \cdot 100\% = 2,63\%$$

ε) **Ογκομετρική ικανότητα συμπίεσής**. Η απαιτούμενη ογκομετρική ικανότητα του συμπίεσής

για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_{\Psi}^1 = -5^{\circ}\text{C}$ είναι:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1 &= \dot{m}^1 \cdot v_1 = \\ &= 0,038 \text{ kg/sec} \cdot 82,3 \text{ lt/kg} = 3,12 \text{ lt/sec}\end{aligned}$$

Για τον κύκλο 5-6-7-8-5, με θερμοκρασία εξατμίσεως $T_{\Psi}^2 = -10^{\circ}\text{C}$, η απαιτούμενη ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή είναι:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 &= \dot{m}^2 \cdot v_5 = \\ &= 0,039 \text{ kg/sec} \cdot 99 \text{ lt/kg} = 3,86 \text{ lt/sec}\end{aligned}$$

Η αύξηση της ογκομετρικής ικανότητας του συμπιεστή είναι:

$$\begin{aligned}\delta(\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}) &= \frac{\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^2 - \dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1}{\dot{V}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}^1} \cdot 100\% = \\ &= \frac{3,86 - 3,12}{3,12} \cdot 100\% = 23,71\%\end{aligned}$$

στ) **Έργο συμπίεσεως.** Η αύξηση του έργου συμπίεσεως μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned}\delta(\dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}) &= \delta(\dot{m}) \cdot \delta(w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}) = \\ &= ((1 + 2,63\%) \cdot (1 + 13,9\%) - 1) \cdot 100\% = 16,89\%\end{aligned}$$

Με σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτει ότι με τη μείωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης κατά 5°C δημιουργείται μεγάλη καταπόνηση του συμπιεστή. Συγκεκριμένα, το έργο συμπίεσεως αυξάνεται κατά 16,89% και η ογκομετρική ικανότητα κατά 23,71%. Η αύξηση αυτών των μεγεθών προκαλεί υπερφόρτωση του συμπιεστή και δημιουργεί μεγάλη πιθανότητα για πρόκληση βλάβης, δεδομένου ότι ο συμπιεστής σ' αυτήν την περίπτωση εργάζεται παρατεταμένα σε συνθήκες αυξημένου φορτίου.

3.10 Υπερθέρμανση και υπόψυξη του ψυκτικού μέσου.

3.10.1 Υπερθέρμανση ατμών ψυκτικού μέσου.

Στον κύκλο μηχανικής συμπίεσεως κορεσμένου ατμού, υποθέσαμε ότι οι ατμοί του ψυκτικού μέσου φτάνουν στην αναρρόφηση του συμπιεστή σε κατάσταση κορεσμού. Στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει, διότι οι ατμοί του μέσου συνεχίζουν να απορροφούν θερμότητα απ' το περιβάλλον και μετά την πλήρη ατμοποίησή τους, η οποία λαμβάνει χώρα στο στοιχείο ατμοποίησης. Η επί πλέον θερμότητα που

δίνεται στους κορεσμένους ατμούς έχει ως αποτέλεσμα αυτοί να φτάνουν στο συμπιεστή σε υπέρθερμη κατάσταση, που είναι προτιμότερη απ' την κατάσταση κορεσμού, διότι μ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η πιθανότητα εισχωρήσεως υγρού, που συμπιεζόμενο στο χώρο συμπίεσεως θα προκαλούσε υδραυλικό πλήγμα και θραύση.

Η υπερθέρμανση των ατμών του ψυκτικού μέσου γίνεται στις εξής δύο φάσεις:

α) **Υπερθέρμανση μέσα στον ατμοποιητή.**

Ο κορεσμένος ατμός του ψυκτικού μέσου που έχει θερμοκρασία χαμηλότερη απ' αυτήν του ψυκτικού θαλάμου, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας από τον αέρα του ψυκτικού θαλάμου, συνεχίζει να απορροφάει θερμότητα. Αυτό γίνεται μέσα στις σωληνώσεις του ατμοποιητή και συνεισφέρει στην αφαίρεση θερμότητας από το θάλαμο, δηλαδή στην παραγωγή ψύχους. Ως αποτέλεσμα, το αέριο ψυκτικό μέσο φεύγει από τον ατμοποιητή σε υπέρθερμη κατάσταση.

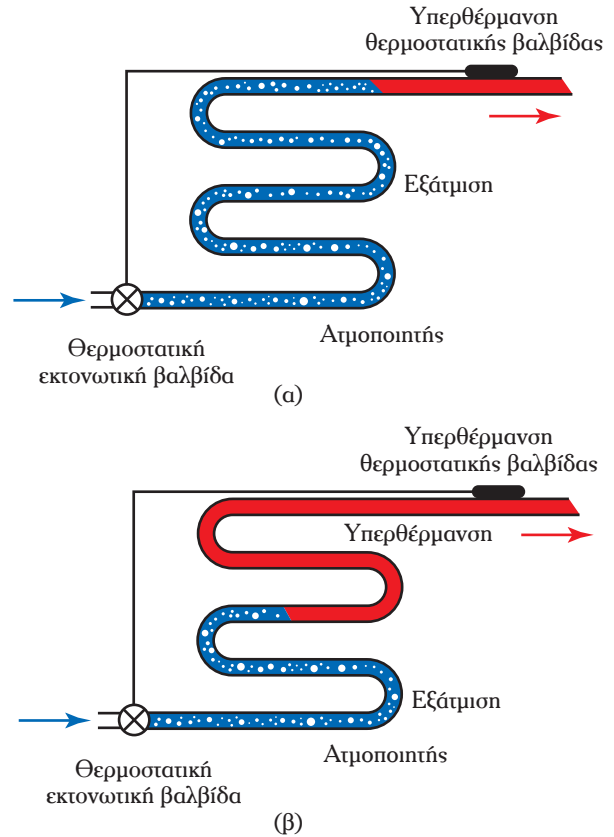
Η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του ατμοποιητή είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία, στην οποία λαμβάνει χώρα η ατμοποίηση. Μάλιστα είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα που λαμβάνεται ανά kg κυκλοφορούντος ψυκτικού μέσου. Γι' αυτόν τον λόγο μια μικρή υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή είναι επιθυμητή, διότι έτσι με τη μέτρηση της θερμοκρασίας του μέσου στην έξοδο του ατμοποιητή, μπορεί να καθοριστεί πόση θερμότητα έχει πάρει το ψυκτικό μέσο μετά την πλήρη ατμοποίησή του. Αν η θερμότητα υπερθερμάνσεως είναι μεγάλη, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου έχουν θερμοκρασία κατά πολύ μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Αυτό σημαίνει ότι η παροχή του ψυκτικού μέσου από την εκτονωτική βαλβίδα προς τον ατμοποιητή είναι μικρή και η ατμοποίηση πραγματοποιείται σε μικρό τμήμα των σωληνώσεων του εξατμιστή, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα του πραγματοποιείται υπερθέρμανση.

Κατά συνέπεια, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10α υπάρχει ανάγκη για αύξηση της παροχής του υγρού από τη βαλβίδα. Αυτή, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 8 είναι και η αρχή λειτουργίας της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας.

Η υπερθέρμανση των ατμών του ψυκτικού μέσου μέσα στον ατμοποιητή είναι επιθυμητή, διότι μ' αυτόν τον τρόπο αφενός ρυθμίζεται η σωστή λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας και αφετέρου αποφεύγεται η αναρρόφηση υγρού από το συμπιεστή. Απ'

την άλλη πλευρά όμως, η χρήση υπέρθερμου ατμού αυξάνει την ογκομετρική παροχή του συμπιεστή. Γι' αυτόν το λόγο η βαλβίδα ρυθμίζει την παροχή του ψυκτικού μέσου, έτσι ώστε η ατμοποίηση της υγρής φάσεως να έχει ολοκληρωθεί πριν την έξοδο από τον ατμοποιητή, οπότε ο ατμός συνεχίζει να απορροφά θερμότητα και υπερθερμαίνεται. Το ψυκτικό αποτέλεσμα αυξάνεται, εφόσον αφαιρείται επί πλέον θερμότητα από τον ψυκτικό θάλαμο. Πάντως, η υπερθέρμανση των ατμών, ανάλογα με το είδος του εργαζόμενου μέσου, δεν έχει πάντα ως αποτέλεσμα την αύξηση του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς. Γι' αυτόν το λόγο η υπερθέρμανση των ατμών πρέπει να είναι τόσο, όση απαιτείται για τη σωστή λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας και όχι παραπάνω. Ο λόγος είναι ότι η μετάδοση θερμότητας από τα τοιχώματα του ατμοποιητή προς το ψυκτικό μέσο είναι ευκολότερη όταν το μέσο είναι υγρό, ενώ επιβραδύνεται όταν το μέσο είναι σε αέρια κατάσταση. Κατά συνέπεια, μόνο το τμήμα του ατμοποιητή που περιέχει υγρή φάση έχει την προβλεπόμενη ροή θερμότητας από το θάλαμο προς το ψυκτικό μέσο, ενώ το υπόλοιπο τμήμα υπολειτουργεί. Έτσι, η μεγάλη υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποδόσεως του ατμοποιητή. Κατά συνέπεια, για την αποκατάσταση του ρυθμού ροής θερμότητας για την ομαλή λειτουργία της εγκαταστάσεως, απαιτείται ο υποβιβασμός της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως T_{ψ} , γεγονός που έχει αρνητικές επιπτώσεις στο συντελεστή συμπεριφοράς, όπως εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Εναλλακτικά, μπορεί να τοποθετηθεί μεγαλύτερος ατμοποιητής στον ψυκτικό θάλαμο με προφανή δυσμενή οικονομικά αποτελέσματα.

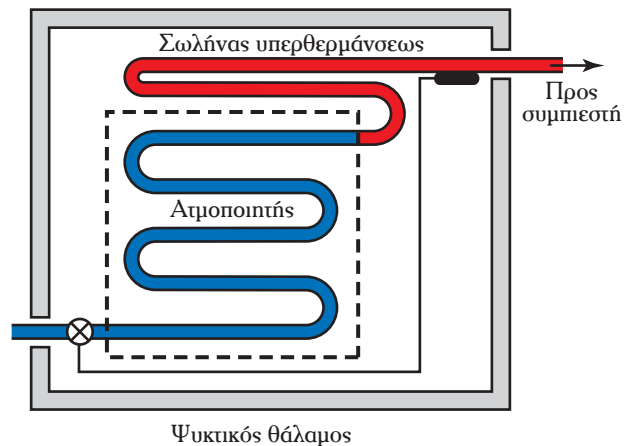
Χωρίς τοποθέτηση μεγαλύτερου ατμοποιητή, η υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου μπορεί να λαμβάνει χώρα μέσα στον ψυκτικό θάλαμο μετά τον ατμοποιητή, μέσα σε ένα **σωλήνα υπερθερμάνσεως** (drier loop) (σχ. 3.10β). Ο σωλήνας υπερθερμάνσεως είναι στην ουσία ένα τμήμα του σωλήνα αναρροφήσεως, το οποίο είναι τοποθετημένο μέσα στον ψυκτικό θάλαμο. Με το σωλήνα υπερθερμάνσεως επιτυγχάνεται αφενός η επιθυμητή υπερθέρμανση του μέσου, ώστε να μην εισέρχεται υγρός ατμός στο συμπιεστή και αφετέρου η πλήρωση μεγαλύτερου τμήματος του ατμοποιητή με υγρό μέσο. Η υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου μπορεί να γίνεται ανάλογα με το μήκος του σωλήνα υπερθερμάνσεως μέχρι η θερμοκρασία των ατμών να είναι $2^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$



Σχ. 3.10α.

Η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως του μέσου αντικατοπτρίζει τη λειτουργία του ατμοποιητή.

(α) Λειτουργία με κανονική υπερθέρμανση, όπου ο ατμοποιητής περιέχει στο μεγαλύτερο τμήμα του υγρό ψυκτικό μέσο και (β) λειτουργία με μεγάλη υπερθέρμανση όπου ο ατμοποιητής περιέχει σε μεγάλο τμήμα του αέριο ψυκτικό μέσο.



Σχ. 3.10β.

Υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου στο σωλήνα υπερθερμάνσεως μετά τον ατμοποιητή.

χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου.

β) **Υπερθέρμανση στο σωλήνα αναρροφήσεως.** Ο ατμός του ψυκτικού μέσου, μετά τον ψυκτικό θάλαμο οδεύει προς το συμπιεστή μέσα στη σωλήνωση αναρροφήσεως. Εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας του απορροφάει θερμότητα από τον αέρα που περιβάλλει το σωλήνα αναρροφήσεως κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επί πλέον υπερθέρμανσή του. Αυτή γίνεται χωρίς να υπάρχει επί πλέον ψυκτικό αποτέλεσμα. Για τη συμπίεση των υπερθέρμων ατμών απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς από το συμπιεστή, δεδομένου ότι οι ισοτροπικές καμπύλες στο διάγραμμα $p-h$ έχουν μεγαλύτερη κλίση, καθώς η ενθαλπία μεγαλώνει. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.10γ, από όπου μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι το ειδικό έργο συμπίεσεως είναι μεγαλύτερο για υπέρθερμο ατμό.

Συγκεκριμένα στο σχήμα 3.10γ, με τα σημεία 1-2-3-4-1, δίνεται ο κύκλος κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα $p-h$ ανάμεσα στις πιέσεις $p_{ΥΨ}$ και $p_{ΧΑΜ}$. Με την υπόθεση ότι η ροή του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται από τον ατμοποιητή προς το συμπιεστή χωρίς πτώση πίεσεως, το σημείο 1' που αντιστοιχεί στην αναρρόφηση του συμπιεστή βρίσκεται πάνω στην πίεση $p_{ΧΑΜ}$. Όμοια το σημείο 2' που αντιστοιχεί στην κατάθλιψη βρίσκεται πάνω στην πίεση $p_{ΥΨ}$. Η θερμοκρασία του σημείου 1' είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης λόγω της υπερθέρμανσεως.

Κατά συνέπεια, ο κύκλος του υπέρθερμου ατμού δίνεται από τα σημεία 1'-2'-3-4-1'. Το ειδικό έργο συμπίεσεως για τον κύκλο κορεσμένου ατμού είναι:

$$w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} = h_2 - h_1 \quad (36)$$

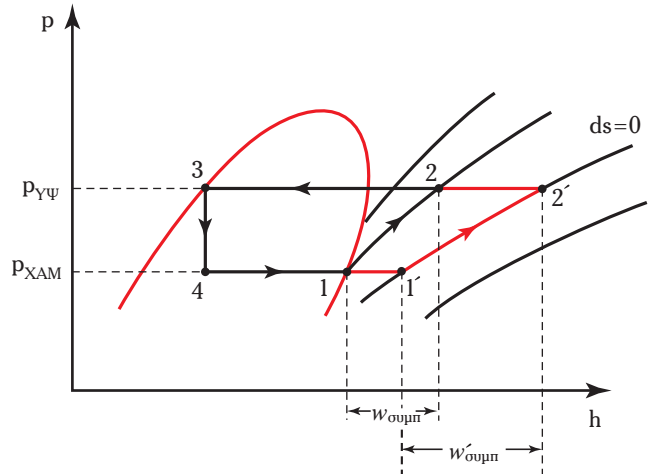
Για τον κύκλο υπέρθερμου ατμού, το ειδικό έργο συμπίεσεως είναι:

$$w'_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} = h_{2'} - h_{1'} \quad (37)$$

Με υπερθέρμανση, ο όγκος εμβολισμού μεγαλώνει, ενώ οι πιέσεις μένουν οι ίδιες. Άρα απαιτείται μεγαλύτερο έργο συμπίεσεως για το ίδιο ψυκτικό αποτέλεσμα.

$$h_{2'} - h_{1'} < h_2 - h_1 \Rightarrow w'_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}} > w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}. \quad (38)$$

Η αύξηση του ειδικού έργου συμπίεσεως λόγω της υπερθέρμανσεως των ατμών, περιορίζεται με τη μόνωση του σωλήνα αναρροφήσεως, ειδικά στις εφαρμογές ψύξεως όπου συναντάται χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης. Όπως έχομε αναλύσει στην



Σχ. 3.10γ.

Αύξηση του ειδικού έργου συμπίεσεως με τη συμπίεση υπέρθερμου ατμού.

προηγούμενη παράγραφο, η απόδοση του κύκλου είναι μικρή για χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης και γίνεται αισθητά μικρότερη λόγω της υπερθέρμανσεως του μέσου που προκαλεί αύξηση του έργου συμπίεσεως. Επί πλέον, με τη μόνωση του σωλήνα αναρροφήσεως στις χαμηλές θερμοκρασίες, αποφεύγεται η συγκέντρωση υδρατμών και η δημιουργία πάγου στα εξωτερικά της σωληνώσεως.

Ανακεφαλαιώνοντας, η υπερθέρμανση των ατμών του ψυκτικού μέσου λαμβάνει χώρα στα εξής στάδια:

α) Στο τελευταίο τμήμα του ατμοποιητή.

β) Στο σωλήνα υπερθέρμανσεως μετά τον ατμοποιητή μέσα στον ψυκτικό θάλαμο.

γ) Στο σωλήνα αναρροφήσεως του συμπιεστή.

Επί πλέον, όπως θα δούμε παρακάτω, η υπερθέρμανση των ατμών του ψυκτικού μέσου μπορεί να γίνεται σ' έναν εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθέρμανσεως.

Η υπερθέρμανση μέσα στον ατμοποιητή και μέσα στο σωλήνα υπερθέρμανσεως (στάδια 1 και 2), συμβάλλει στην αύξηση της ειδικής ψυκτικής ισχύος. Πάντως, με την υπερθέρμανση του κορεσμένου ατμού αυξάνεται το απαιτούμενο έργο συμπίεσεως. Αν και με την υπερθέρμανση εξασφαλίζεται έλεγχος της ροής του υγρού από τη βαλβίδα και ομαλή λειτουργία του συμπιεστή χωρίς κτυπήματα, η υπερβολική υπερθέρμανση πρέπει να αποφεύγεται και να περιορίζεται με μόνωση του σωλήνα αναρροφήσεως του συμπιεστή.

3.10.2 Υπόψυξη υγρού ψυκτικού μέσου.

Το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από το συμπυκνωτή

σε υγρή κατάσταση και στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως. Με την ψύξη του υγρού μέσου που εξέρχεται από το συμπυκνωτή, πριν την είσοδό του στην εκτονωτική βαλβίδα, επιτυγχάνεται αύξηση του ειδικού ψυκτικού αποτελέσματος.

Η σύγκριση των κύκλων κορεσμένου ατμού με και χωρίς υπόψυξη συμπυκνώματος παρουσιάζεται στο σχήμα 3.10δ, όπου με 1-2-3-4-1 εικονίζεται ο κύκλος κορεσμένου ατμού. Με την παραδοχή της ισόθλιπτης ψύξεως του συμπυκνώματος καταστάσεως 3, προκύπτει το σημείο 3' με πίεση $p_{3'} = p_{\gamma\psi}$ και θερμοκρασία $T_{3'} < T_3$. Το σημείο 4' που αντιστοιχεί στην έξοδο από την εκτονωτική βαλβίδα βρίσκεται στην τομή της ισηθαλπικής που διέρχεται από το 3' και της ισόθλιπτης $p_{4'} = p_{\chi\alpha\mu}$. Μ' αυτές τις παραδοχές, ο κύκλος με υπόψυξη παριστάνεται απ' τα σημεία 1-2-3'-4'-1 του σχήματος 3.10δ.

Η ειδική ψυκτική ικανότητα για τον κύκλο κορεσμένου ατμού χωρίς υπόψυξη (σημεία 1-2-3-4-1) είναι:

$$q_{\psi} = h_1 - h_4 \quad (39)$$

Για τον κύκλο με υπόψυξη (σημεία 1-2-3'-4'-1), η ειδική ψυκτική ισχύς είναι:

$$q'_{\psi} = h_1 - h_{4'} \quad (40)$$

Είναι προφανές ότι:

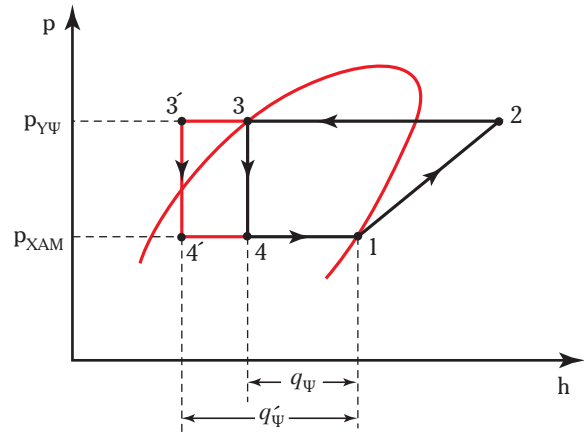
$$h_1 - h_{4'} > h_1 - h_4 \Rightarrow q'_{\psi} > q_{\psi} \quad (41)$$

Κατά συνέπεια, αυξάνονται η ψυκτική ικανότητα και ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς $C.O.P._{θεωρ}$ της εγκαταστάσεως.

Η αύξηση της ειδικής ψυκτικής ικανότητα q_{ψ} με την υπόψυξη του συμπυκνώματος, έχει ως αποτέλεσμα ότι για την ίδια ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως απαιτείται η κυκλοφορία μικρότερης μάζας ψυκτικού μέσου στη μονάδα του χρόνου. Κατά συνέπεια, με την υπόψυξη ελαττώνεται η απαιτούμενη ισχύς συμπίεσεως και η απαιτούμενη ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή.

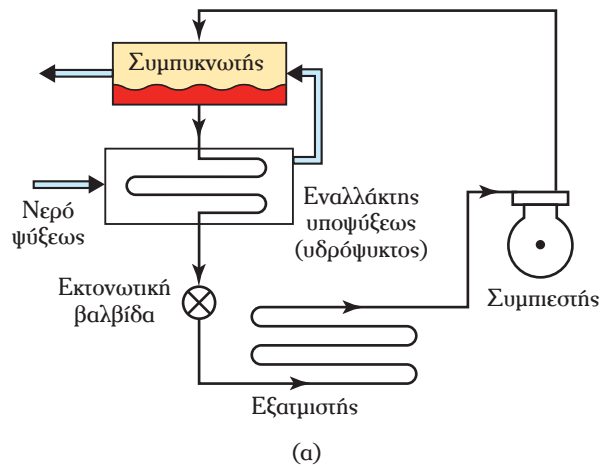
Η υπόψυξη του υγρού συμπυκνώματος συνήθως πραγματοποιείται στο δοχείο αποθηκείσεως του υγρού ψυκτικού μέσου μετά το συμπυκνωτή. Εναλλακτικά, μπορεί να υπάρχει ένας επί πλέον εναλλάκτης υποψύξεως, μέσα στον οποίο το υγρό που φεύγει από το συμπυκνωτή, ψύχεται περαιτέρω από το νερό που χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση, όπως φαίνεται στην εγκατάσταση του σχήματος 3.10ε.

Η σύνδεση του εναλλάκτη υποψύξεως με το νερό ψύξεως μπορεί να γίνει σε σειρά με το συμπυκνω-

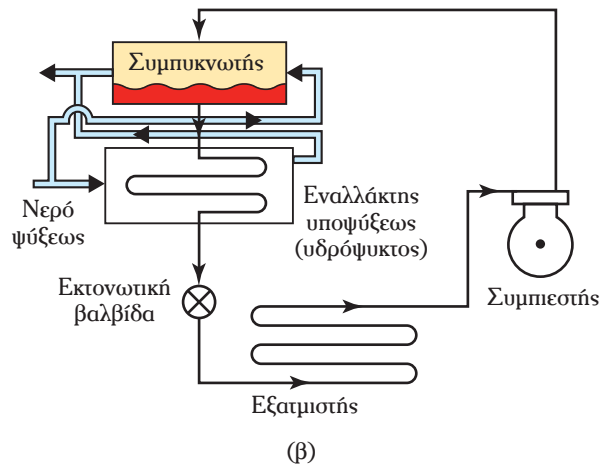


Σχ. 3.10δ.

Αύξηση της ειδικής ψυκτικής ικανότητας με την υπόψυξη του υγρού.



(α)



(β)

Σχ. 3.10ε.

Ψυκτική εγκατάσταση με υδρόψυκτη εναλλάκτη υποψύξεως. (α) Σύνδεση νερού σε σειρά με το συμπυκνωτή. (β) Σύνδεση νερού παράλληλα με το συμπυκνωτή.

τή [σχ. 3.10ε(α)] ή παράλληλα, προκειμένου να μην αυξηθεί η θερμοκρασία συμπυκνώσεως [σχ. 3.10ε(β)]. Ο υδροψυκτός εναλλάκτης υποψύξεως χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία εξατμίσεως του μέσου είναι χαμηλή και άρα υπάρχει μικρή απόδοση της εγκαταστάσεως, ενώ ταυτόχρονα διατίθεται νερό για τη συμπύκνωση σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αύξηση της αποδόσεως της ψυκτικής εγκαταστάσεως υπερκελίζει το επί πλέον κόστος που συνεπάγεται η εγκατάσταση ενός ακόμη εναλλάκτη.

Μια άλλη μέθοδος για την επίτευξη της υποψύξεως του υγρού συμπυκνώματος και η πλέον διαδομένη είναι η προσθήκη ενός εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

3.10.3 Εναλλάκτης υποψύξεως-υπερθερμάνσεως ψυκτικού μέσου.

Ο εναλλάκτης υποψύξεως-υπερθερμάνσεως φέρνει σε θερμική επαφή το ζεστό υγρό που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή με τον ψυχρό ατμό που φεύγει από τον ατμοποιητή και πηγαίνει στην αναρόφηση του συμπιεστή. Στον εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως ο ατμός έρχεται σε θερμική επαφή με το υγρό συμπύκνωμα, καθώς τα δύο ρευστά ρέουν σε αντίθετη κατεύθυνση, όπως φαίνεται στην ψυκτική εγκατάσταση του σχήματος 3.10στ(α). Έτσι, μέσα από τον εναλλάκτη το υγρό υποψύχεται, ενώ ταυτόχρονα ο ατμός υπερθερμαίνεται. Η θερμότητα για την υπόψυξη του συμπυκνώματος προσδίδεται στον κορεσμένο ατμό και δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον. Με την υπόθεση ότι όλη η υπερθερμάνση του ατμού γίνεται στον εναλλάκτη, αυτή δεν συνεισφέρει στην ψυκτική ισχύ και δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της. Αντίθετα, όπως θα δούμε, η υπόψυξη του υγρού συνεισφέρει στην αύξηση της ψυκτικής ισχύος.

Θεωρώντας ότι η ροή του μέσου μέσα στον εναλλάκτη γίνεται χωρίς πτώση πίεσεως, ο ψυκτικός κύκλος με εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως στο διάγραμμα $p-h$ δίνεται στο σχήμα 3.10στ(β) με τα σημεία 1-1'-2'-3-3'-4'-1.

Δεδομένου ότι η απορρόφηση θερμότητας μέσα στον ατμοποιητή αντιστοιχεί στη μεταβολή 4'-1, η ειδική ψυκτική ικανότητα της εγκαταστάσεως είναι:

$$q_{\psi} = h_1 - h_{4'} \quad (42)$$

Αν \dot{m} είναι η παροχή μάζας του εργαζόμενου

μέσου σε kg/s, τότε η ψυκτική ισχύς της εγκαταστάσεως είναι:

$$\dot{Q}_{\psi} = \dot{m} \cdot q_{\psi} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_{4'}) \quad (43)$$

Το θεωρητικό ειδικό έργο συμπιέσεως είναι:

$$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = h_{2'} - h_{1'} \quad (44)$$

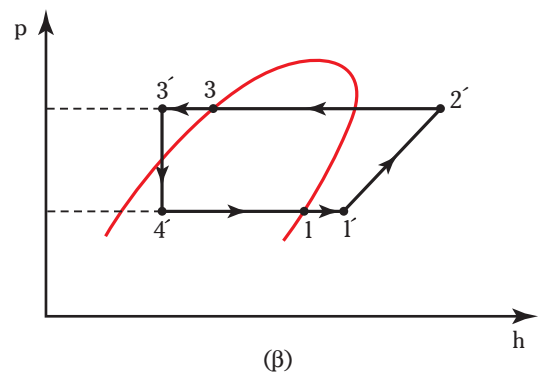
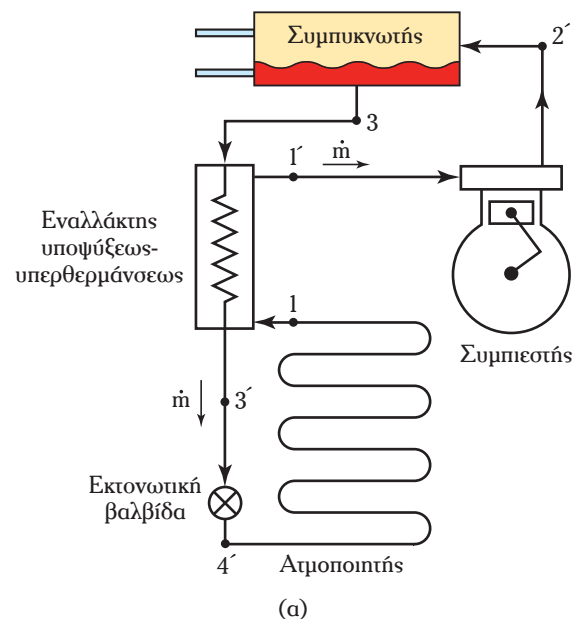
ενώ το θεωρητικό μηχανικό έργο του συμπιεστή είναι:

$$\dot{W}_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = \dot{m} \cdot w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = \dot{m} \cdot (h_{2'} - h_{1'}) \quad (45)$$

Η θερμότητα που απορρίπτεται στο συμπυκνωτή είναι:

$$\dot{Q}_{\Sigma} = \dot{m} \cdot (h_{2'} - h_3) \quad (46)$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως είναι:



Σχ. 3.10στ.

Ψυκτική εγκατάσταση με εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως: (α) Διαγραμματική διάταξη, (β) ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα $p-h$.

$$C.O.P._{\Theta_{εωρ}} = \frac{\dot{Q}_{\Psi}}{\dot{W}_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}} = \frac{h_1 - h_4'}{h_2' - h_1'} \quad (47)$$

Όπως έχομε αναφέρει από την υπερθέρμανση του ατμού προκαλείται αύξηση του ειδικού έργου συμπίεσεως. Η αύξηση του ειδικού έργου συμπίεσεως είναι μικρότερη από την αύξηση της ειδικής ψυκτικής ισχύος λόγω της υποψύξεως. Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως με εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως συνήθως είναι μεγαλύτερος απ' αυτόν της εγκαταστάσεως κορεσμένου ατμού, ανάλογα με τις συνθήκες της κάθε εφαρμογής. Σε πραγματικές συνθήκες, αν δεν υπάρχει εναλλάκτης, η υπερθέρμανση του ατμού πραγματοποιείται μέσα στο σωλήνα αναρροφήσεως ή ακόμα μέσα στο συμπιεστή, καθώς έρχεται σε επαφή με τα θερμά τοιχώματα. Αυτό δημιουργεί θερμική καταπόνηση του συμπιεστή, η οποία μειώνεται με την προσθήκη του εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως. Η μείωση της θερμοκρασίας του υγρού συμπυκνώματος συνεισφέρει, όπως έχομε δει, στην αύξηση της ψυκτικής ισχύος και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας του αερίου και του υγρού μέσα στον εναλλάκτη. Πάντως, δεδομένου ότι τα αέρια έχουν μικρότερη θερμοχωρητικότητα από τα υγρά, η αύξηση της θερμοκρασίας του κορεσμένου ατμού είναι σε απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από τη μείωση της θερμοκρασίας του υγρού συμπυκνώματος.

Με την υπόθεση ότι ο εναλλάκτης είναι θερμικά μονωμένος, οπότε δεν υπάρχει ροή θερμότητας από και προς το περιβάλλον του, μπορεί να γίνει ο θερμικός ισολογισμός του εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως. Η μεταβολή του ατμού στον εναλλάκτη είναι 1-1', η μεταβολή του υγρού 3-3', ενώ η παροχή του ψυκτικού μέσου διέρχεται όλη μέσα από τον εναλλάκτη. Σε συνθήκες ισορροπίας της ροής, δηλαδή όταν όλο το συμπύκνωμα ρέει προς την εκτονωτική βαλβίδα [δεν παραμένει σε δοχείο συγκεντρώσεως (receiver)] τότε σύμφωνα με την αρχή διατηρήσεως της ενέργειας στον εναλλάκτη, η θερμότητα που εισέρχεται είναι ίση με τη θερμότητα που εξέρχεται:

$$\begin{aligned} \dot{m} \cdot (h_{1'} - h_1) &= \dot{m} \cdot (h_3 - h_{3'}) \Rightarrow \\ \Rightarrow h_{1'} - h_1 &= h_3 - h_{3'} \end{aligned} \quad (48)$$

Κατά συνέπεια, η ενθαλπική πώση του υγρού συμπυκνώματος είναι ίση με την αύξηση της ενθαλ-

πίας του κορεσμένου ατμού. Η επίδραση της προσθήκης του εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως μελετάται στο επόμενο παράδειγμα.

Παράδειγμα 5.

Μια ψυκτική εγκατάσταση με εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως, λειτουργεί με ψυκτικό μέσο R-134a. Η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_{\Psi} = -15^{\circ}\text{C}$ και η πίεση συμπυκνώσεως είναι $p_{\gamma\psi} = 11,6 \text{ bar}$. Η υπερθέρμανση του κορεσμένου ατμού μετά τον εναλλάκτη είναι $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$. Να υπολογιστούν:

- Τα σημεία του κύκλου στο διάγραμμα p - h .
- Η ειδική ψυκτική ικανότητα q_{Ψ} και το ειδικό έργο συμπίεσεως $w_{\Sigma\Upsilon\text{ΜΠ}}$.
- Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς $C.O.P._{\Theta_{εωρ}}$ και η αύξησή του λόγω του εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως.

Λύση.

- Προσδιορισμός των σημείων του κύκλου στο διάγραμμα p - h .

Στην αρχή προσδιορίζεται στο διάγραμμα p - h το σημείο 1 του ψυκτικού κύκλου 1-1'-2'-3'-4'-1 του σχήματος 3.10ζ, το οποίο αντιστοιχεί σε κορεσμένο ατμό θερμοκρασίας $T_1 = T_{\Psi} = -15^{\circ}\text{C}$.

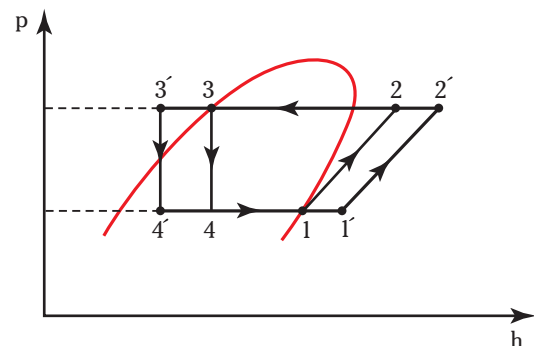
Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες της καταστάσεως 1 είναι:

$$p_1 = 1,64 \text{ bar}, \quad T_1 = -15^{\circ}\text{C},$$

$$h_1 = 388,3 \text{ kJ / kg}, \quad x_1 = 100\%$$

Με την υπερθέρμανση του ατμού κατά $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$, προκύπτει η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του εναλλάκτη:

$$T_{1'} = T_1 + \Delta T = -15^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C} = -5^{\circ}\text{C}$$



Σχ. 3.10ζ.

Ψυκτικός κύκλος με εναλλάκτη υποψύξεως υπερθερμάνσεως.

Ταυτόχρονα η πίεση $p_{1'} = p_1 = 1,64 \text{ bar}$.

Από το διάγραμμα $p-h$ προκύπτουν οι ιδιότητες του υπέρθερμου ατμού καταστάσεως 1':

$$p_{1'} = 1,64 \text{ bar}, \quad T_{1'} = -5^\circ \text{C}, \\ h_{1'} = 396,8 \text{ kJ/kg}$$

Η αύξηση της ενθαλπίας του κορεσμένου ατμού λόγω της υπερθερμάνσεως στον εναλλάκτη είναι:

$$h_{1'} - h_1 = 396,8 \text{ kJ/kg} - 388,3 \text{ kJ/kg} = \\ = 8,5 \text{ kJ/kg}$$

Η κατάσταση 2' που αντιστοιχεί στην έξοδο από το συμπιεστή, με την υπόθεση της ισεντροπικής συμπίεσεως βρίσκεται στην τομή της ισεντροπικής που διέρχεται από το σημείο 1' με την ισόθλιπτη $p_{2'} = p_{1'}$ $= 11,6 \text{ bar}$:

$$p_{2'} = 11,6 \text{ bar}, \quad T_{2'} = 61,2^\circ \\ h_{2'} = 439,5 \text{ kJ/kg}$$

Η κατάσταση 3 που αντιστοιχεί στο κορεσμένο υγρό που εξέρχεται από το συμπυκνωτή, βρίσκεται στην τομή της ισόθλιπτης $p_3 = p_{2'} = 11,6 \text{ bar}$, με τη γραμμή κορεσμένου υγρού $x = 0\%$. Οι ιδιότητες της καταστάσεως 3 προκύπτουν από το διάγραμμα $p-h$ και είναι:

$$p_3 = 11,6 \text{ bar}, \quad T_3 = 45^\circ \text{C}, \\ h_3 = 263,7 \text{ kJ/kg}$$

Η ενθαλπία του υγρού στην έξοδο του εναλλάκτη προκύπτει με την αφαίρεση της διαφοράς των ενθαλπιών $h_{1'} - h_1$ από την ενθαλπία του υγρού h_3 :

$$h_{3'} = h_3 - (h_{1'} - h_1) = \\ 263,7 \text{ kJ/kg} - 8,5 \text{ kJ/kg} = 255,2 \text{ kJ/kg}$$

Δεδομένου ότι η πίεση $p_{3'} = p_{2'} = 11,6 \text{ bar}$, μπορούμε να τοποθετήσουμε το σημείο 3' στο διάγραμμα $p-h$ και να προσδιορίσουμε τις ιδιότητες του υγρού καταστάσεως 3':

$$p_{3'} = 11,6 \text{ bar}, \quad T_{3'} = 36^\circ \text{C}, \\ h_{3'} = 255,2 \text{ kJ/kg}$$

Η κατάσταση 4' της εξόδου από την εκτονωτική βαλβίδα βρίσκεται στην τομή της ισενθαλπικής $h_{4'} = h_{3'} = 255,2 \text{ kJ/kg}$, με την ισόθλιπτη $p_{4'} = 1,64 \text{ bar}$. Οι ιδιότητες του υγρού ατμού καταστάσεως 4' είναι:

$$p_{4'} = 1,64 \text{ bar}, \quad T_{4'} = -15^\circ \text{C}, \\ h_{4'} = 255,2 \text{ kJ/kg}, \quad x_{4'} = 34\%$$

Συνολικά, τα σημεία του κύκλου με τον εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως προσδιορίζονται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα 3.10η και οι θερμοδυναμικές τους ιδιότητες δίνονται στον πίνακα 3.10.

β) Υπολογισμός της ειδικής ψυκτικής ισχύος q_ψ και του ειδικού έργου συμπίεσεως $w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$.

Η ειδική ψυκτική ικανότητα για τον κύκλο 1-1'-2'-3-3'-4'-1 είναι:

$$q_\psi = h_1 - h_{4'} = 388,3 \text{ kJ/kg} - 255,2 \text{ kJ/kg} = \\ = 133,1 \text{ kJ/kg}$$

Το ειδικό έργο συμπίεσεως $w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}$ είναι:

$$w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}} = h_{2'} - h_{1'} = 439,5 \text{ kJ/kg} - 396,8 \text{ kJ/kg} = \\ = 42,7 \text{ kJ/kg}$$

γ) Υπολογισμός του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς $C.O.P._{\Theta_{\text{εωρ}}}$.

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως με εναλλάκτη υποψύξεως συμπυκνώματος και υπερθερμάνσεως ατμού είναι:

$$C.O.P._{\Theta_{\text{εωρ}}} = \frac{q_\psi}{w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}} = \frac{133,1 \text{ kJ/kg}}{42,7 \text{ kJ/kg}} = 3,12$$

Ο κύκλος κορεσμένου ατμού χωρίς εναλλάκτη υποψύξεως συμπυκνώματος προσδιορίζεται με μπλε χρώμα στο σχήμα 3.10η με τα σημεία 1-2-3-4-1. Οι ενθαλπίες των σημείων 1,2,3,4 είναι:

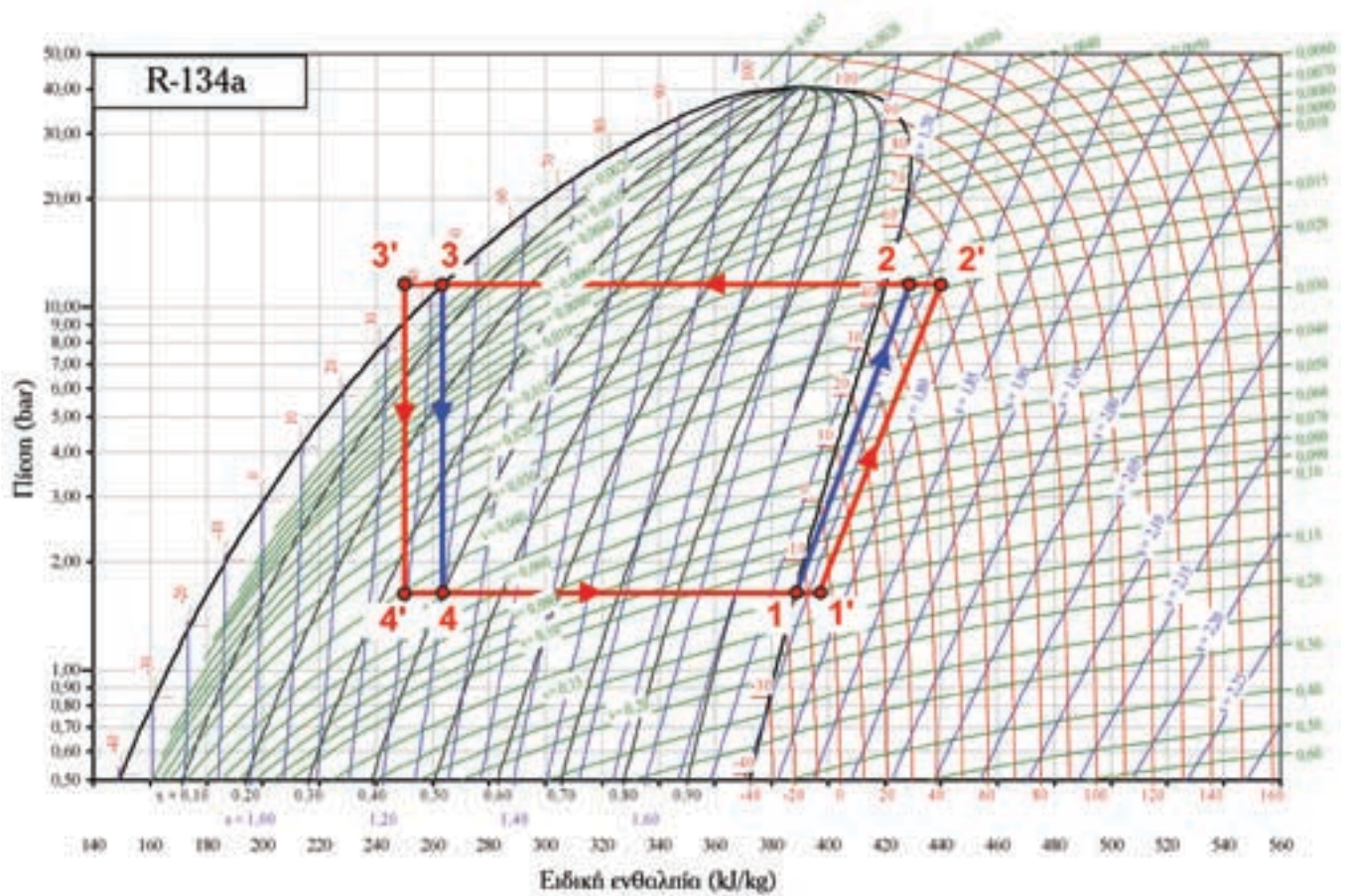
$$h_1 = 388,3 \text{ kJ/kg}, \quad h_2 = 428,9 \text{ kJ/kg}, \\ h_3 = h_4 = 263,7 \text{ kJ/kg}$$

Κατά συνέπεια, ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς του κύκλου κορεσμένου ατμού χωρίς υποψύξη είναι:

$$C.O.P._{\Theta_{\text{εωρ}}} = \frac{q_\psi}{w_{\Sigma\text{ΥΜΠ}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \\ = \frac{(388,3 - 263,7) \text{ kJ/kg}}{(428,9 - 388,3) \text{ kJ/kg}} = 3,06$$

Άρα, με την προσθήκη του εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως αυξάνεται κατά:

$$\delta (C.O.P._{\Theta_{\text{εωρ}}}) = \frac{3,12 - 3,06}{3,06} \cdot 100\% = 1,96\%$$



Σχ. 3.10n.

Ο φυσικός κύκλος με εναλλαγή υποψύξεως-υπερθερμάνσεως στο διάγραμμα p-h.

Πίνακας 3.10

Θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων του ψυκτικού κύκλου του σχήματος 3.10n.

Αριθμός σημείου	Πίεση	Θερμοκρασία	Ειδική ενθαλπία	Ειδική εντροπία	Ειδικός όγκος	Βαθμός ξηρότητας
	p	T	h	s	v	x
	bar	°C	kJ/kg	kJ/kgK	Lt/kg	%
1	1,64	-15	388,3	1,73	119,9	100
1'	1,64	-5	396,8	1,76	125,8	–
2'	11,6	61,2	439,5	1,76	19,3	–
2	11,6	52	428,9	1,73	18,2	–
3	11,6	45	263,7	–	–	0
3'	11,6	36	255,2	–	–	–
4'	1,64	-15	255,2	–	–	–
4	1,64	-15	263,7	–	–	–

3.11 Επίδραση της πτώσεως πιέσεως λόγω των τριβών κατά τη ροή.

Λόγω των τριβών που υπάρχουν κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου μέσα από τις σωληνώσεις και μέσα από τον ατμοποιητή, το συμπυκνωτή και το συλλέκτη υγρού, δημιουργείται πτώση πιέσεως. Με την επίδραση της πτώσεως πιέσεως, ο κύκλος κορεσμένου ατμού χωρίς υπόψυξη υγρού και χωρίς υπερθέρμανση ατμού παρουσιάζεται στο σχήμα 3.11. Στο ίδιο σχήμα, για λόγους συγκρίσεως έχει σχεδιαστεί ο κύκλος κορεσμένου ατμού χωρίς να έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση της πτώσεως πιέσεως, όπου οι δυο κύκλοι ταυτίζονται στη θερμοκρασία των ατμών του ψυκτικού μέσου κατά την έξοδό τους από τον ατμοποιητή.

Ο θεωρητικός κύκλος κορεσμένου ατμού περιγράφεται από τα σημεία Α-Β-Γ-Δ. Ο πραγματικός κύκλος κορεσμένου ατμού είναι ο 1-2-3-4-5-6-7-8-1 και περιλαμβάνει τις εξής μεταβολές:

Η μεταβολή 8-1 είναι η ατμοποίηση μέσα στον εξατμιστή, κατά την οποία δημιουργείται η πώση πιέσεως ($p_8 - p_1$). Επίσης λόγω της πτώσεως της θερμοκρασίας κατά την ατμοποίηση, στον πραγματικό κύκλο η θερμοκρασία στην αρχή της ατμοποίησης είναι υψηλότερη απ' αυτήν στο τέλος της. Έτσι η μέση θερμοκρασία ατμοποίησης στον πραγματικό κύκλο είναι υψηλότερη απ' τη θερμοκρασία ατμοποίησης στο θεωρητικό κύκλο, γεγονός που μειώνει τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο ψυκτικό μέσο και στον αέρα του θαλάμου, μειώνει τη θερμική φόρτιση

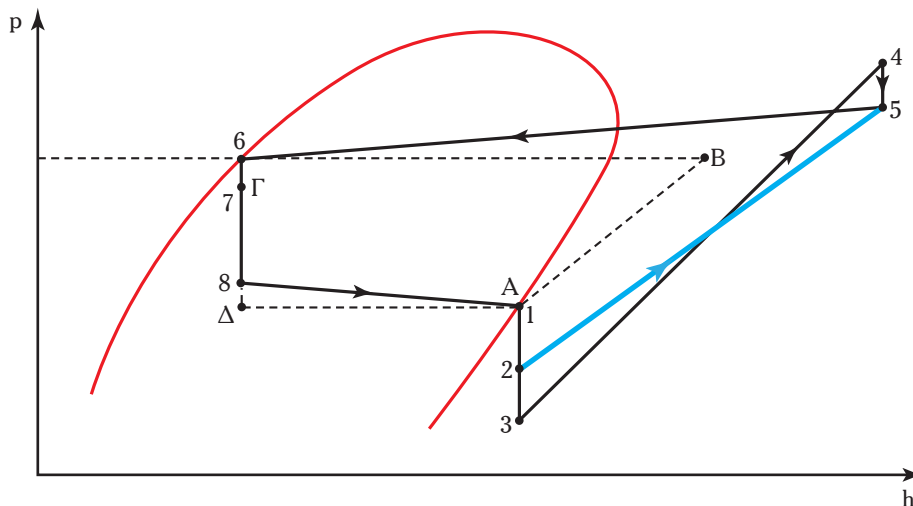
του εξατμιστή και δημιουργεί ανάγκη αύξησεως της παροχής του ψυκτικού μέσου. Λόγω της πτώσεως πιέσεως κατά τη ροή στον εξατμιστή, η θερμοκρασία εξατμίσεως μειώνεται σταδιακά. Η τελική θερμοκρασία εξατμίσεως είναι ίση με τη σταθερή θερμοκρασία εξατμίσεως του θεωρητικού κύκλου.

Η ειδική ψυκτική ισχύς του πραγματικού κύκλου είναι μικρότερη από την ειδική ψυκτική ισχύ του θεωρητικού κύκλου:

$$h_1 - h_8 < h_A - h_\Delta \Rightarrow q_{\psi}^{\text{πραγμ}} < q_{\psi}^{\text{θεωρ}} \quad (49)$$

Κατά συνέπεια, για την ίδια ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως απαιτείται η κυκλοφορία μεγαλύτερης ποσότητας ψυκτικού μέσου στη μονάδα του χρόνου. Επίσης, όσο μικρότερη είναι η πώση πιέσεως στον εξατμιστή, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά πιέσεως που πρέπει να δώσει ο συμπιεστής. Έτσι, στον πραγματικό κύκλο απαιτείται η τοποθέτηση μεγαλύτερου συμπιεστή από ό,τι στον αντίστοιχο θεωρητικό κύκλο.

Η μεταβολή 1-2 είναι η πώση πιέσεως στη γραμμή αναρροφήσεως από τον εξατμιστή προς το συμπιεστή και πραγματοποιείται με σταθερή θερμοκρασία. Με την πώση πιέσεως στη γραμμή αναρροφήσεως αυξάνεται περαιτέρω η διαφορά πιέσεως στο συμπιεστή και ο ειδικός όγκος του ατμού. Έτσι, η πώση πιέσεως στη γραμμή αναρροφήσεως πρέπει να μένει μικρή και η ροή να γίνεται κατά το δυνατόν χωρίς πολλές τριβές. Ο ατμός μετά τη γραμμή αναρροφήσεως εισέρχεται στο συμπιεστή στην κατάσταση 2.



Σχ. 3.11.

Σύγκριση κύκλων κορεσμένου ατμού με και χωρίς πώση πιέσεως.

Η μεταβολή 2-3 αντιστοιχεί στην πώση πίεσεως στη βαλβίδα αναρροφήσεως του συμπιεστή, πριν ο ατμός εισέλθει στο χώρο συμπίεσεως. Η πώση πίεσεως 2-3 εξαρτάται από τον τύπο και τη σχεδίαση του συμπιεστή. Από τους κατασκευαστές συμπιεστών γίνεται προσπάθεια, ώστε η πώση της πίεσεως του ατμού κατά τη ροή μέσα από την αναρρόφηση και τη βαλβίδα εισαγωγής να είναι η ελάχιστη δυνατή, δεδομένου ότι έχει την ίδια επίδραση με την πώση πίεσεως στη γραμμή αναρροφήσεως.

Η μεταβολή 3-4 είναι η συμπίεση των ατμών και λαμβάνει χώρα μέσα στο χώρο συμπίεσεως. Στην έξοδο από το χώρο συμπίεσεως ο ατμός έχει πίεση σημαντικά υψηλότερη από την πίεση συμπυκνώσεως, πράγμα που αυξάνει την απαιτούμενη ισχύ συμπίεσεως. Η επί πλέον πίεση, όπως θα δούμε παρακάτω, απαιτείται ώστε να μπορέσει ο ατμός να περάσει μέσα από τη βαλβίδα και τον οχετό καταθλίψεως προς το συμπυκνωτή.

Η μεταβολή 4-5 αντιστοιχεί στην πώση πίεσεως λόγω των τριβών κατά τη ροή του ατμού μέσα από τη βαλβίδα καταθλίψεως. Η βαλβίδα αυτή διατηρείται σε κλειστή θέση από ένα ελατήριο επαναφοράς και κατά συνέπεια όταν ανοίγει η δίοδος είναι περιορισμένη. Ο ατμός εξέρχεται από το συμπιεστή στην κατάσταση 5, όπου υπάρχει μεγαλύτερη υπερθέρμανση λόγω συμπίεσεως. Συνολικά, η μεταβολή στο συμπιεστή είναι η 2-5, κατά την οποία υπάρχει αύξηση της εντροπίας. Αυτή φαίνεται από την κλίση της γραμμής 2-5 σε σύγκριση με την κλίση της ισοεντροπικής A-B, που αντιστοιχεί στη μεταβολή της συμπίεσεως του θεωρητικού κύκλου.

Η μεταβολή 5-6 αντιστοιχεί στη ροή με τριβές μέσα στο συμπυκνωτή. Λόγω των τριβών υπάρχει πώση πίεσεως ($p_5 - p_6$) και η κατάσταση 6 στην έξοδο από το συμπυκνωτή είναι κορεσμένο υγρό. Λόγω της πώσεως της πίεσεως, η θερμοκρασία του υγρού στην έξοδο του συμπυκνωτή είναι χαμηλότερη απ' τη μέση θερμοκρασία συμπυκνώσεως.

Η μεταβολή 6-7 αντιστοιχεί στη ροή μέσα στη γραμμή υγρού προς τη βαλβίδα, όπου λόγω των τριβών υπάρχει πώση πίεσεως ($p_6 - p_7$). Δεδομένου ότι ακολουθεί η πώση πίεσεως στη βαλβίδα, το μέγεθος της πώσεως πίεσεως στη γραμμή υγρού δεν έχει επίδραση στην απόδοση της εγκαταστάσεως. Πάντως, μεγάλη πώση πίεσεως στη γραμμή υγρού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου μέρους ατμού στη γραμμή. Επί πλέον, μέσα στη γραμμή του υγρού μπορεί ένα μέρος του υγρού να ατμοποιηθεί,

με συνέπεια την υπόψυξη του συμπυκνώματος. Ως αποτέλεσμα της υπάρξεως ατμού στη γραμμή του υγρού αφενός δημιουργούνται προβλήματα στη λειτουργία της βαλβίδας λόγω υπερβολικής φθοράς της έδρας της και αφετέρου μειώνεται η ποσότητα του μέσου που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή υγρού.

Τέλος, η μεταβολή 7-8 αντιστοιχεί στην πώση πίεσεως μέσα στην εκτονωτική βαλβίδα. Δεδομένου ότι η εκτονωτική βαλβίδα συνήθως είναι τοποθετημένη αμέσως πριν τον εξατμιστή, η κατάσταση 8 της εξόδου από τη βαλβίδα είναι και η κατάσταση εισόδου στον εξατμιστή.

3.12 Πολυβάθμιες ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Όπως έχουμε αναλύσει, όταν ο λόγος της πίεσεως καταθλίψεως προς την πίεση αναρροφήσεως για τον κύκλο κορεσμένου ατμού είναι μεγάλος, υπάρχει πώση στην απόδοση της εγκαταστάσεως, διότι κατά τη συμπίεση υπάρχουν μεγάλες απώλειες υπερθερμάνσεως του ατμού. Αυτό συναντάται σε εφαρμογές όπου απαιτείται η παραγωγή ψύξεως σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως είναι η υγροποίηση αερίων. Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση τέτοιων εγκαταστάσεων έχουν δημιουργηθεί διβάθμιοι ή πολυβάθμιοι κύκλοι, τους οποίους θα αναφέρουμε παρακάτω. Ενώ στη βιομηχανία οι πολυβάθμιες ψυκτικές μηχανές απαντώνται συχνά, όπου υπάρχει η ανάγκη για χαμηλές θερμοκρασίες, στα πλοία τέτοιες μηχανές μπορεί να υπάρχουν μόνο σε εγκαταστάσεις υγροποίησης αερίων σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων.

Δεδομένου ότι η εφαρμογή της πολυβάθμιας ψύξεως γίνεται σε ειδικές περιπτώσεις και δεν απαιτείται στις συνηθισμένες εφαρμογές ψύξεως, εδώ θα παρουσιάσουμε μόνο την αρχή λειτουργίας των εγκαταστάσεων και δεν θα γίνουν θερμοδυναμικοί υπολογισμοί που ξεφεύγουν από το σκοπό του παρόντος βιβλίου. Βοηθήματα για περαιτέρω μελέτη δίνονται στη βιβλιογραφία. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυβαθμίων ψυκτικών εγκαταστάσεων: οι **διβάθμιες εγκαταστάσεις υποψύξεως** και οι **πολυβάθμιες εγκαταστάσεις καταρράκτη**.

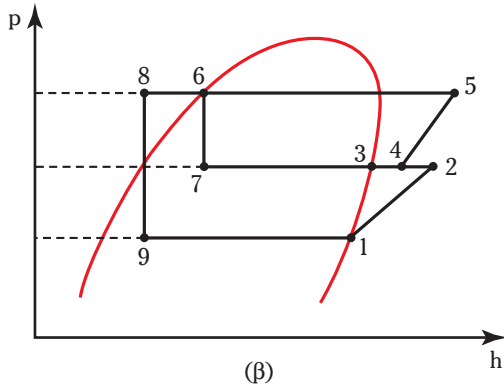
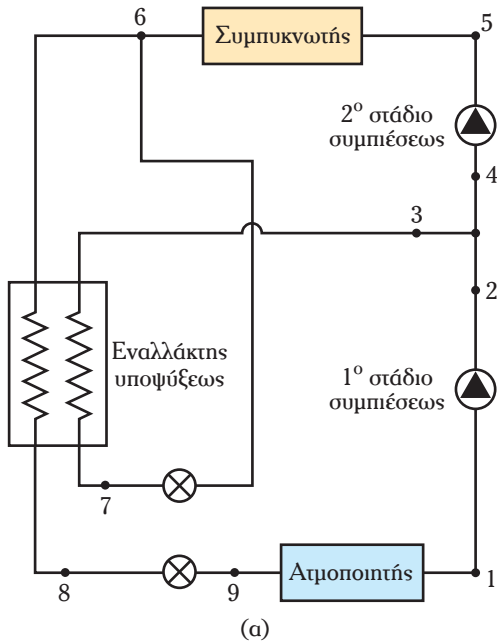
1) Διβάθμιες ψυκτικές εγκαταστάσεις υποψύξεως.

Σε μία απλή διβάθμια ψυκτική εγκατάσταση χρησιμοποιείται το ίδιο ψυκτικό μέσο, το οποίο συμπι-

έξεται σε δύο στάδια. Με τη χρήση διαφορετικών συμπιεστών για κάθε στάδιο συμπίεσης, μπορεί στο δεύτερο στάδιο η πίεση του μέσου να ρυθμιστεί, ώστε να ατμοποιείται σε μία ενδιάμεση θερμοκρασία. Η συμπίεση σε δύο βαθμίδες μπορεί να γίνει και με τη χρήση ενός συμπιεστή με περισσότερους από δύο κυλίνδρους. Για παράδειγμα, η πρώτη βαθμίδα συμπίεσης μπορεί να γίνεται σε 4 κυλίνδρους, ενώ η δεύτερη σε 2 κυλίνδρους ενός 6-κύλινδρου συμπιεστή.

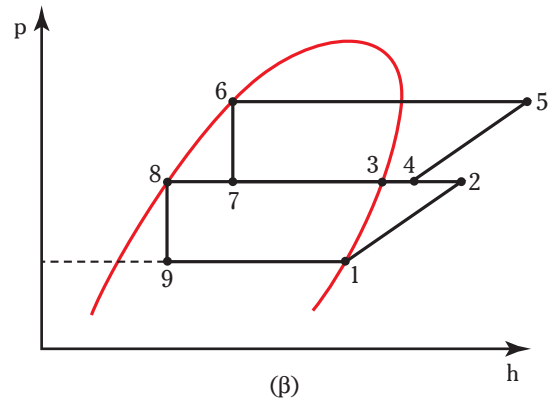
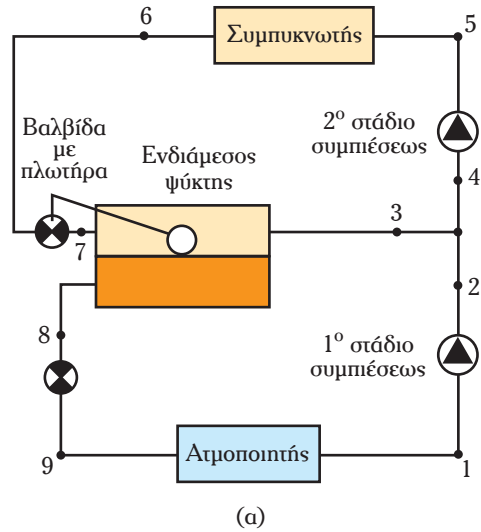
Στη διβάθμια εγκατάσταση του σχήματος 3.12α, η συμπίεση γίνεται σε δύο στάδια, ενώ ένα μέρος του υγρού μέσου μετά το συμπυκνωτή, οδηγείται σε έναν ενδιάμεσο εναλλάκτη, όπου χρησιμοποιείται ώστε να ψυχθεί το υπόλοιπο υγρό πριν την είσοδο στην κύρια εκτονωτική βαλβίδα και στον εξατμιστή. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αύξηση της ειδι-

κής ψυκτικής ικανότητας και ταυτόχρονη μείωση της απαιτούμενης ισχύος συμπίεσης, καθώς μόνο ένα μέρος του ψυκτικού μέσου συμπιέζεται στο δεύτερο στάδιο. Εναλλακτικά, σε μία τέτοια εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας **ενδιάμεσος ψύκτης** (flash intercooler) αντί για τον εναλλάκτη υποψύξεως. Σε μία τέτοια εγκατάσταση, όπως αυτή του σχήματος 3.12β, όλη η ποσότητα του ψυκτικού μέσου μεταβαίνει σε μια ενδιάμεση πίεση με μια πρώτη εκτονωτική βαλβίδα και εισέρχεται στον ψύκτη. Η παροχή του ψυκτικού μέσου από την πρώτη εκτονωτική βαλβίδα ελέγχεται από έναν πλωτήρα, ώστε η στάθμη στον ενδιάμεσο ψύκτη να παραμένει σταθερή. Στον ψύκτη ένα μέρος του ψυκτικού μέσου ατμοποιείται και παρέχει την υπόψυξη στο υπόλοιπο ψυκτικό μέσο, ενώ οι ατμοί διαχωρίζονται από το υγρό και πηγαινούν προς το δεύτερο στάδιο συμπί-



Σχ. 3.12α.

(α) Διβάθμια ψυκτική εγκατάσταση με ενδιάμεσο εναλλάκτη υποψύξεως και (β) ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα p-h.



Σχ. 3.12β.

(α) Διβάθμια ψυκτική εγκατάσταση με ενδιάμεσο ψύκτη και (β) ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα p-h.

σεως. Το υγρό από τον ψύκτη πηγαίνει προς τη δεύτερη εκτονωτική βαλβίδα και προς τον ατμοποιητή.

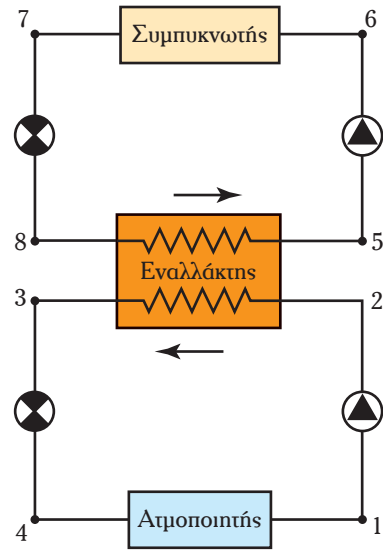
Για να υπάρξει η μέγιστη βελτίωση της αποδόσεως του θεωρητικού διβάθμιου ψυκτικού κύκλου με ενδιάμεσο ψύκτη, η βέλτιστη μέση πίεση του ψύκτη είναι ο γεωμετρικός μέσος όρος των πιέσεων εξατμίσεως και συμπυκνώσεως:

$$P_{\text{μέση}} = \sqrt{P_{\text{χαμ}} \cdot P_{\text{υψ}}} \quad (50)$$

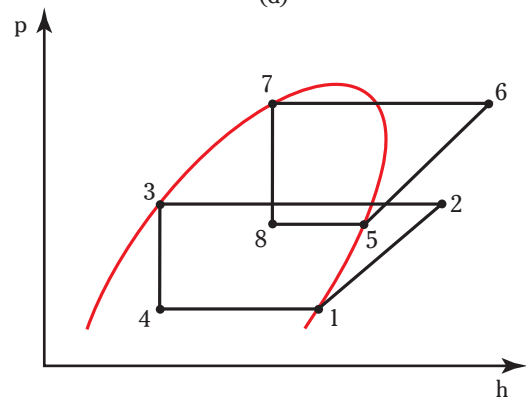
Σε μια παραλλαγή του διβάθμιου κύκλου, όταν χρησιμοποιούνται κοχλιωτοί συμπιεστές, μπορεί η είσοδος του ψυκτικού μέσου στην ενδιάμεση πίεση να γίνεται από μία δίοδο εισόδου στη μέση της διαδρομής του μέσου μέσα στο συμπιεστή. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι χρειάζεται μόνο ένας συμπιεστής, προκειμένου να λειτουργήσει ο διβάθμιος κύκλος και να αυξηθεί ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως.

2) Πολυβάθμιες εγκαταστάσεις διαδοχικών ανεξαρτήτων ψυκτικών κύκλων.

Όταν η απαιτούμενη θερμοκρασία εξατμίσεως είναι πολύ χαμηλή τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα διαδοχικών ανεξαρτήτων ψυκτικών κύκλων. Ένα τέτοιο σύστημα διαδοχικών ανεξαρτήτων ψυκτικών κύκλων αποτελείται από δύο ή περισσότερους ξεχωριστούς ψυκτικούς κύκλους με διαφορετικά ψυκτικά μέσα. Στο σχήμα 3.12γ παρουσιάζεται μία διβάθμια εγκατάσταση διαδοχικών ανεξαρτήτων ψυκτικών κύκλων, όπου ο κάτω κύκλος χρησιμοποιείται για την ατμοποίηση και την παραγωγή ψύξεως, ενώ ο πάνω χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση του κάτω κύκλου και η ατμοποίηση του πάνω γίνεται σ' έναν εναλλάκτη, όπου τα δύο ψυκτικά μέσα δεν αναμειγνύονται και συνήθως είναι διαφορετικά. Λόγω της δυνατότητας χρησιμοποιήσεως δύο διαφορετικών ψυκτικών μέσων, συνήθως για τον κάτω κύκλο επιλέγονται ψυκτικά μέσα υψηλής πίεσεως ατμοποίησησε, όπως το R-23. Η παροχή των μέσων στους δύο κύκλους είναι διαφορετική, ώστε να υπάρχει θερμική ισορροπία στον εναλλάκτη. Επί πλέον, στον εναλλάκτη η θερμοκρασία ατμοποίησησε του πάνω κύκλου πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως του κάτω, ώστε να υπάρχει ροή θερμότητας από το συμπυκνούμενο ψυκτικό μέσο του κάτω κύκλου προς το ατμοποιούμενο μέσο του πάνω κύκλου. Η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του εναλλάκτη πρέπει να είναι 5 K περίπου.



(α)



(β)

Σχ. 3.12γ.

(α) Διβάθμια ψυκτική εγκατάσταση διαδοχικών κύκλων και (β) ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα $p-h$.

Το διάγραμμα $p-h$ της διβάθμιας εγκαταστάσεως διαδοχικών ανεξαρτήτων ψυκτικών κύκλων δίνεται στο σχήμα 3.12γ. Σημειωτέον ότι στην ψυκτική εγκατάσταση του σχήματος 3.12γ, προκειμένου να γίνει κατανοητό το διάγραμμα $p-h$ για τον πάνω και κάτω κύκλο, έχει υποθεθεί η πραγματοποίηση των δύο κύκλων με το ίδιο ψυκτικό μέσο, οπότε οι δύο κύκλοι σχεδιάστηκαν πάνω στο διάγραμμα $p-h$ του εργαζόμενου μέσου.

3.13 Ασκήσεις.

1. Μία ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με κύκλο μηχανικής συμπίεσεως κορεσμένων αιμών ψυκτικού μέσου R-134a. Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως είναι 32°C και η θερμοκρασία εξατμίσεως -20°C . Υπολογίστε:

- α) Την ειδική ψυκτική ισχύ σε q_{ψ} σε kJ/kg.
 β) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P._{θεωρ}

Απαντήσεις: (α) 140,916 kJ/kg, (β) 3,76.

2. Μία ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με τον ιδανικό κύκλο Carnot και εργαζόμενο μέσο το R-134a. Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως είναι 30 °C και η θερμοκρασία εξαίσεως -5 °C. Υπολογίστε σε kJ ανά kg εργαζόμενου μέσου:

- α) Το ειδικό έργο συμπίεσεως w .
 β) Το ειδικό έργο που παράγεται από την εκτόνωση.
 γ) Την ειδική ψυκτική ισχύ q_{ψ} .
 δ) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P._{Carnot}.
 ε) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P._{Carnot} όταν το εργαζόμενο μέσο είναι το R-22.

Απαντήσεις: (α) 23,36 kJ/kg, (β) 3,36 kJ/kg,
 (γ) 153,29 kJ/kg, (δ) 7,66, (ε) 7,66.

3. Σε μία ψυκτική εγκατάσταση που λειτουργεί με τον ιδανικό κύκλο Carnot, το εργαζόμενο μέσο είναι το R-22. Η θερμοκρασία εξαίσεως είναι 0 °C και η θερμοκρασία συμπυκνώσεως 40 °C. Η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου είναι 4 kg/min. Υπολογίστε:

- α) Την ειδική ψυκτική ισχύ q_{ψ} .
 β) Το ειδικό έργο συμπίεσεως w .
 γ) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P._{Carnot}

Απαντήσεις: (α) 9,70 kW, (β) 1,42 kW,
 (γ) 6,83.

4. Ένα ψυγείο λειτουργεί με κύκλο μηχανικής συμπίεσεως κορεσμένων αμίων ψυκτικού μέσου R-134a μεταξύ των πιέσεων 0,15 MPa και 1 MPa. Δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο είναι 10 kW υπολογίστε την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου.

Απάντηση: 0,0938 kg/sec.

5. Μια ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με μηχανική συμπίεση κορεσμένων αμίων ψυκτικού μέσου R-134a. Η θερμοκρασία εξαίσεως είναι -10 °C και η θερμοκρασία συμπυκνώσεως 35 °C. Αν το ψυκτικό φορτίο είναι 20 kW, υπολογίστε:

- α) Την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου.
 β) Τη θεωρητική ισχύ συμπίεσεως w .
 γ) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P.

Απαντήσεις: (α) 0,1397 kg/sec, (β) 4,31 kW,
 (γ) 4,64.

6. Μία ψυκτική εγκατάσταση εργάζεται με μηχανική συμπίεση κορεσμένων αμίων ψυκτικού μέσου R-134a. Η θερμοκρασία εξαίσεως είναι -25 °C και η θερμοκρασία συμπυκνώσεως 35 °C. Το ψυκτικό φορτίο της εγκαταστάσεως είναι 3 RT. Με τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστε:

- α) Τις θερμοδυναμικές ιδιότητες των σημείων του κύκλου.
 β) Σχεδιάστε τον ψυκτικό κύκλο στο διάγραμμα p-h.
 γ) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P._{θεωρ}.

- δ) Τον πραγματικό συντελεστή συμπεριφοράς C.O.P. αν ο βαθμός αποδόσεως της συμπίεσεως $\eta_{\text{ΣΥΜΠ}}$ = 0,65.

- ε) Την ογκομετρική παροχή του συμπιεστή.

- στ) Το συντελεστή συμπεριφοράς C.O.P._{Carnot} του κύκλου Carnot.

- ζ) Το θερμοδυναμικό βαθμό αποδόσεως η_{θ} της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Απαντήσεις: (γ) 3,04, (δ) 1,976,

(ε) 0,01426 m³/sec, (στ) 4,136, (ζ) 0,735.

7. Μια ψυκτική εγκατάσταση εργάζεται με μηχανική συμπίεση κορεσμένων αμίων ψυκτικού μέσου R134a και έχει εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως. Η πίεση εξαίσεως είναι 0,1 MPa και η θερμοκρασία εξόδου από το συμπυκνωτή 30 °C. Μετά τον εναλλάκτη το υγρό εξέρχεται σε θερμοκρασία 10 °C. Η παροχή μάζας είναι 1 kg/sec. Υπολογίστε:

- α) Το ψυκτικό φορτίο.

- β) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 C.O.P._{θεωρ}.

Απαντήσεις: (α) 167,5 kW, (β) 2,52.

8. Μια ψυκτική εγκατάσταση εργάζεται με μηχανική συμπίεση κορεσμένων αμίων ψυκτικού μέσου R-134a και έχει ψυκτικό φορτίο 2,5 RT. Η θερμοκρασία εξαίσεως είναι -15 °C και θερμοκρασία συμπυκνώσεως 35 °C. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει εναλλάκτη, με τον οποίο γίνεται υπόψυξη του κορεσμένου υγρού κατά 8 K. Σχεδιάστε τον ψυκτικό κύκλο στο διάγραμμα p-h και καιόπιν υπολογίστε:

- α) Τη θερμοκρασιακή διαφορά υπερθερμάνσεως του αμιού στην είσοδο του συμπιεστή.

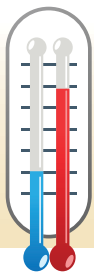
- β) Την ειδική ψυκτική ισχύ q_{ψ} .

- γ) Την ειδική ισχύ συμπίεσεως $w_{\text{ΣΥΜΠ}}$.

- δ) Την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου.
ε) Το θεωρητικό ισχύ συμπίεσεως.
στ) Το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς
 $C.O.P._{θεωρ}$.
ζ) Την αύξηση του θεωρητικού συντελεστή συ-

μπεριφοράς λόγω του εναλλάκτη υποψύξεως-
υπερθερμάνσεως.

Απαντήσεις: (α) 13 K, (β) 162,263 kJ/kg,
(γ) 37,236 kJ/kg, (δ) 0,054226 kg/sec,
(ε) 2,019 kW, (στ) 4,36, (ζ) 9%.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ψυκτικά μέσα και ψυκτικά διαλύματα

4.1 Γενικά.

Τα ψυκτικά μέσα είναι οι εργαζόμενες ουσίες σε μία ψυκτική εγκατάσταση και διακρίνονται σε **πρωτεύοντα** και **δευτερεύοντα**. Τα πρωτεύοντα ψυκτικά μέσα αφαιρούν τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης κατά τη μεταβολή της φάσεώς τους από υγρό σε ατμό στον ατμοποιητή και χρησιμοποιούνται για την άμεση παραγωγή ψύξεως με μηχανική συμπίεση ατμών. Τα δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα, τα οποία ονομάζονται και **ψυκτικά διαλύματα**, χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως για τη μεταφορά της ψυκτικής ισχύος από το χώρο, όπου αυτή παράγεται, στο χώρο των ψυκτών αέρα που βρίσκονται στους ψυκτικούς θαλάμους.

Στις αρχές του 1930 έγινε η εισαγωγή των χλωριωμένων-φθοριομένων υδρογονανθράκων, οι οποίοι ονομάζονται **χλωροφθοράνθρακες** (chlorofluorocarbons-CFCs). Αυτοί προσέφεραν σημαντικά πλεονεκτήματα, κυρίως στον τομέα της ασφάλειας κατά τη χρήση τους. Εκτός από ψυκτικά μέσα, οι χλωροφθοράνθρακες χρησιμοποιήθηκαν και ως προωθητικά αέρια σε αφρούς, σε αεροζόλ και σε καθαριστικά διαλύματα από το 1950, καθώς θεωρούνταν ασφαλή για τον άνθρωπο και αβλαβή για το περιβάλλον. Αυτές οι υποθέσεις, όπως θα δούμε παρακάτω αποδείχθηκαν ψευδείς. Πολλά ατυχήματα συνέβησαν εξαιτίας ασφυξίας, από τα βαριά αέρια σε κλειστούς χώρους. Αποδείχθηκε επίσης, ότι οι χλωροφθοράνθρακες και τα μείγματά τους συνεισφέρουν σημαντικά στην καταστροφή του στρώματος του όζοντος, που υπάρχει στη στρατόσφαιρα. Η μείωση του όζοντος της στρατόσφαιρας έχει άμεση σχέση με την αύξηση διαφόρων μορφών καρκίνων, κυρίως του δέρματος. Επίσης, οι χλωροφθοράνθρακες είναι αέρια θερμοκηπίου και έχουν συνεισφέρει στη βαθμιαία αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η θέρμανση του κλίματος κατατάσσεται στα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη. Το αέριο με τη μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του

άνθρακα (CO_2), ενώ οι χλωροφθοράνθρακες αποτελούν το 15–20% της επιδράσεως στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Εξαιτίας της δυσκολίας του περιορισμού των παγκοσμίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και λόγω του φόβου των καταστροφικών επιπτώσεων των χλωροφθορανθράκων στο στρώμα του όζοντος, κρίθηκε επιβεβλημένη η απαγόρευσή τους και η αντικατάστασή τους με άλλα περιβαλλοντικά πιο ασφαλή ψυκτικά μέσα.

Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των ψυκτικών μέσων δίνονται σε διαγράμματα p-h και σε πίνακες ιδιοτήτων κορεσμένου ατμού και υγρού από τους κατασκευαστές τους. Ανάμεσα στα θερμοδυναμικά στοιχεία των διαφόρων κατασκευαστών μπορεί να υπάρχουν μικρές διαφορές, οι οποίες όμως δεν έχουν επίδραση στους υπολογισμούς.

Στο υπόλοιπο κεφάλαιο περιγράφονται τα ψυκτικά μέσα που βρίσκονται σήμερα (2011) σε χρήση, οι ιδιότητές τους, και η κωδικοποίησή τους, καθώς επίσης τα νέα, περιβαλλοντικά ασφαλή ψυκτικά μέσα. Επίσης, περιγράφονται οι τρόποι μεταφοράς και αποθηκεύσεως των ψυκτικών μέσων και οι μέθοδοι παραγωγής ψυκτικών διαλυμάτων.

4.2 Άμεση και έμμεση ψύξη.

Για την παραγωγή ψύξεως χρησιμοποιούνται δύο διατάξεις ψυκτικών συστημάτων: της **άμεσης** και **έμμεσης** ψύξεως. Στα συστήματα άμεσης ψύξεως ο ατμοποιητής της ψυκτικής εγκαταστάσεως ψύχει τον αέρα που κυκλοφορεί στον ψυκτικό θάλαμο ή στον κλιματιζόμενο χώρο. Το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται, όταν μέσα στις σωληνώσεις του ατμοποιητή απορροφά θερμότητα από τον αέρα, ο οποίος ψύχεται και κυκλοφορεί στον ψυκτικό θάλαμο. Μέσα στις σωληνώσεις των εγκαταστάσεων άμεσης ψύξεως ρέει αποκλειστικά ψυκτικό μέσο και η ψυκτική ισχύς μεταδίδεται απευθείας στον αέρα του ψυκτικού θαλάμου ή του κλιματιζόμενου χώρου. Το πλεονέκτημα των εγκαταστάσεων άμεσης ψύξεως είναι η απλή κατασκευή και η καλύτερη απόδοση. Το μει-

ονέκτημά τους είναι ότι όταν έχουν μεγάλη έκταση, αυξάνεται η πιθανότητα διαρροών του ψυκτικού μέσου. Τα συστήματα άμεσης ψύξεως είναι φθηνότερα στην εγκατάσταση και λειτουργία τους, σε σχέση με της έμμεσης ψύξεως και για το λόγο αυτό είναι πιο δημοφιλή, καθώς μάλιστα βελτιώνεται συνεχώς η αξιοπιστία τους. Στις εγκαταστάσεις πλοίων ψυγείων, τοποθετήθηκαν συστήματα άμεσης ψύξεως με ψυκτικό μέσο το R-22, σε πολλά μεγάλα εμπορικά σκάφη με χωρητικότητα κυτών άνω των 760.000 ft³ που κατασκευάστηκαν το 1990.

Για την αποφυγή υπάρξεως μεγάλης εκτάσεως κυκλώματος ψυκτικού μέσου, μπορεί η εγκατάσταση να είναι έμμεσης ψύξεως. Σ' αυτές τις εγκαταστάσεις υπάρχει ένα δευτερεύον ψυκτικό ρευστό ή άλμη. Η άλμη ψύχεται στον ατμοποιητή του πρωτεύοντος ψυκτικού μέσου και στη συνέχεια μεταφέρεται με αντλίες, μέσω του δικτύου άλμης, στους ψύκτες αέρα, στους οποίους γίνεται η ψύξη του αέρα του ψυκτικού θαλάμου ή του κλιματιζόμενου χώρου.

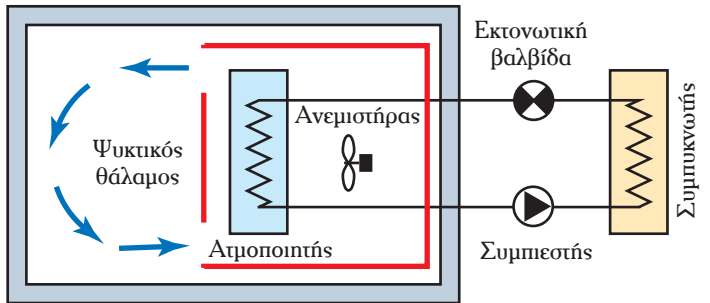
4.2.1 Δίκτυα ψυκτικών εγκαταστάσεων άμεσης ψύξεως.

Στα δίκτυα άμεσης ψύξεως (σχ. 4.2α), ο ατμοποιητής της ψυκτικής εγκαταστάσεως είναι και ψύκτης του αέρα. Με την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου που γίνεται μέσα στις σωληνώσεις του ατμοποιητή, από τον αέρα απάγεται θερμότητα και μειώνεται η θερμοκρασία του. Η κυκλοφορία του αέρα μπορεί να γίνεται συνήθως μ' έναν ανεμιστήρα. Ο θερμότερος αέρας διέρχεται από τις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας του ατμοποιητή και αφού ψυχθεί οδηγείται προς τα προϊόντα, τα οποία συντηρούνται στον ψυκτικό θάλαμο.

Σε μεγάλους ψυκτικούς θαλάμους η κυκλοφορία του αέρα μέσω του ανεμιστήρα δεν μπορεί να διασφαλίσει την ομοιόμορφη θερμοκρασία μέσα στο θάλαμο. Σ' αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν κανάλια προσαγωγής και επιστροφής του αέρα του θαλάμου προς και από τον ψύκτη, ο οποίος βρίσκεται έξω από το θάλαμο (σχ. 4.2β).

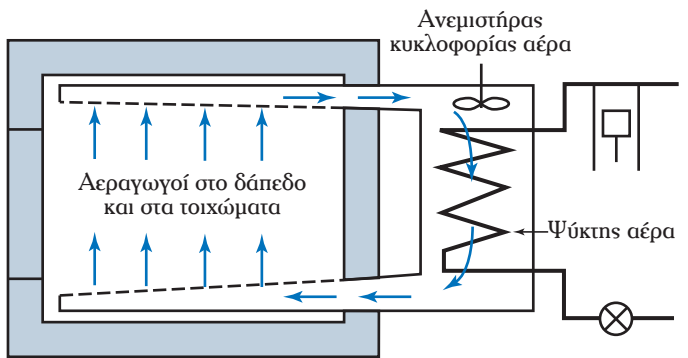
Εναλλακτικά, για την άμεση ψύξη μικρών ψυκτικών θαλάμων μπορεί ο ατμοποιητής να αποτελείται από σωλίνες, οι οποίοι τοποθετούνται στην οροφή, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί και ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο (σχ. 4.2γ). Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με φυσικό τρόπο, χωρίς τη χρήση ανεμιστήρα, λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους του ψυχρού από αυτό του θερμού αέρα. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης κατασκευής είναι η απλότητα

και ότι δεν απαιτείται η αγορά και η τοποθέτηση ψύκτη αέρα (δηλ. εναλλάκτη που περιλαμβάνει ανεμιστήρα κυκλοφορίας). Το μειονέκτημα τέτοιων κατασκευών ψυκτικών θαλάμων είναι η αυξημένη πιθανότητα διαρροής ψυκτικού υγρού στο χώρο των προϊόντων. Επί πλέον, χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού μέσου και είναι δύσκολος ο έλεγχος και η ομοιόμορφη πλήρωση παράλληλα τοποθετημένων κυκλωμάτων ψυκτικού υγρού.



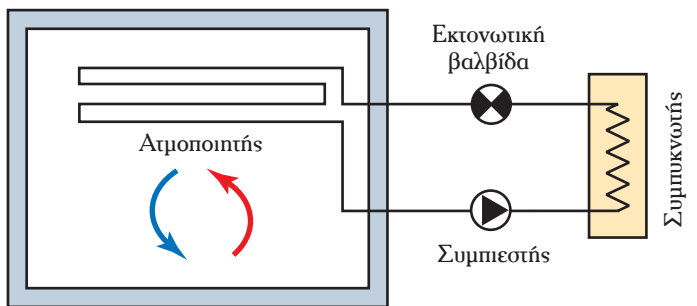
Σχ. 4.2α.

Ψυκτική εγκατάσταση άμεσης ψύξεως με ψύκτη αέρα.



Σχ. 4.2β.

Ψυκτική εγκατάσταση άμεσης ψύξεως με φυσική κυκλοφορία αέρα.



Σχ. 4.2γ.

Ψυκτική εγκατάσταση άμεσης ψύξεως με κανάλια κυκλοφορίας αέρα.

4.2.2 Δίκτυα ψυκτικών εγκαταστάσεων έμμεσης ψύξεως.

Στις εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως ο ατμοποιητής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου με την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου, ψύχεται το δευτερεύον ψυκτικό ρευστό, το οποίο είναι ένα διάλυμα που έχει χαμηλό σημείο τήξεως. Στη συνέχεια, το δευτερεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στους ψύκτες αέρα των ψυκτικών θαλάμων και ψύχει τον αέρα, ο οποίος ανακυκλοφορεί με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Τα συνθετότερα διαλύματα που χρησιμοποιούνται ως δευτερεύοντα ψυκτικά ρευστά, σχηματίζονται με:

α) Νερό και αλάτι, συνήθως χλωριούχο νάτριο ή χλωριούχο ασβέστιο (NaCl , CaCl_2). Τα διαλύματα αλάτων ονομάζονται για συντομία **άλμες** και πλεονεκτούν λόγω του μικρού τους κόστους.

β) Νερό και αιθυλική γλυκόλη. Οι γλυκόλες έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι μη διαβρωτικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις άλμες.

Η χρήση ενός δευτερεύοντος ψυκτικού μέσου για τη μεταφορά της ψυκτικής ισχύος παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, δεδομένου ότι είναι πιο εύκολος ο έλεγχος των διαρροών, η ρύθμιση της θερμοκρασίας σε κάθε θάλαμο και απαιτείται μικρότερη ποσότητα πρωτεύοντος ψυκτικού μέσου στην κύρια ψυκτική εγκατάσταση. Το μειονέκτημα των εγκαταστάσεων έμμεσης ψύξεως είναι ότι λόγω της πολυπλοκότητάς τους, έχουν μεγαλύτερο αρχικό κόστος κατασκευής.

Στο σχήμα 4.2δ παρουσιάζεται το δίκτυο των σωληνώσεων μίας εγκατάστασης έμμεσης ψύξεως μ' έναν ψυκτικό θάλαμο. Το δευτερεύον ψυκτικό ρευστό, το οποίο για συντομία καλείται **άλμη**, αν και στην πραγματικότητα συνήθως είναι διάλυμα γλυ-

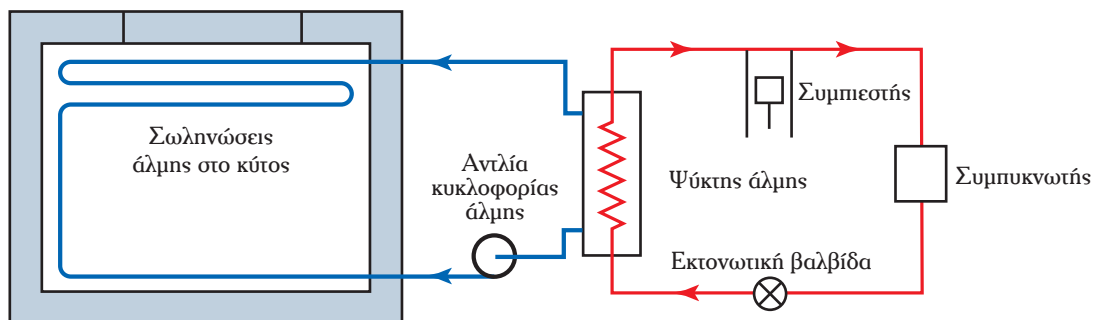
κόλης, ψύχεται στον ατμοποιητή της εγκατάστασης και κυκλοφορεί στον ψυκτικό θάλαμο με μία αντλία.

Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι ψυκτικοί θάλαμοι, οι οποίοι απαιτείται να έχουν διαφορετική θερμοκρασία, τότε υπάρχει κι ένα δίκτυο διανομής της άλμης. Για παράδειγμα, τέτοιες εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως υπάρχουν σε πλοία-ψυγεία, τα οποία μεταφέρουν εμπορεύματα, όπως κατεψυγμένο κρέας ή μπανάνες. Κατά τη μεταφορά των προϊόντων αυτών απαιτείται συνεχής έλεγχος της θερμοκρασίας, η οποία μπορεί εύκολα να ρυθμιστεί με την κυκλοφορία της άλμης. Στο σχήμα 4.2ε παρουσιάζεται το διάγραμμα μιας ψυκτικής εγκατάστασης ενός πλοίου ψυγείου. Η εγκατάσταση αποτελείται από δύο ξεχωριστά πρωτεύοντα κυκλώματα ψύξεως άλμης και ένα δίκτυο διανομής με δύο αντλίες κυκλοφορίας. Μέσω του δικτύου διανομής, οι δύο ψύκτες άλμης μπορούν να συνδεθούν ο κάθε ένας χωριστά ή και οι δύο ταυτόχρονα με τους ψύκτες αέρα. Μ' αυτήν τη διάταξη, δεδομένου ότι υπάρχουν δύο ξεχωριστά πρωτεύοντα κυκλώματα ψύξεως της άλμης, εξασφαλίζεται η συνεχής ψύξη των θαλάμων σε περιπτώσεις βλάβης.

Για την ομοιόμορφη κυκλοφορία του αέρα και την ομοιόμορφη θερμοκρασία μέσα στους ψυκτικούς θαλάμους, μπορεί να υπάρχουν αεραγωγοί προσαγωγής και επιστροφής αέρα (σχ. 4.2β).

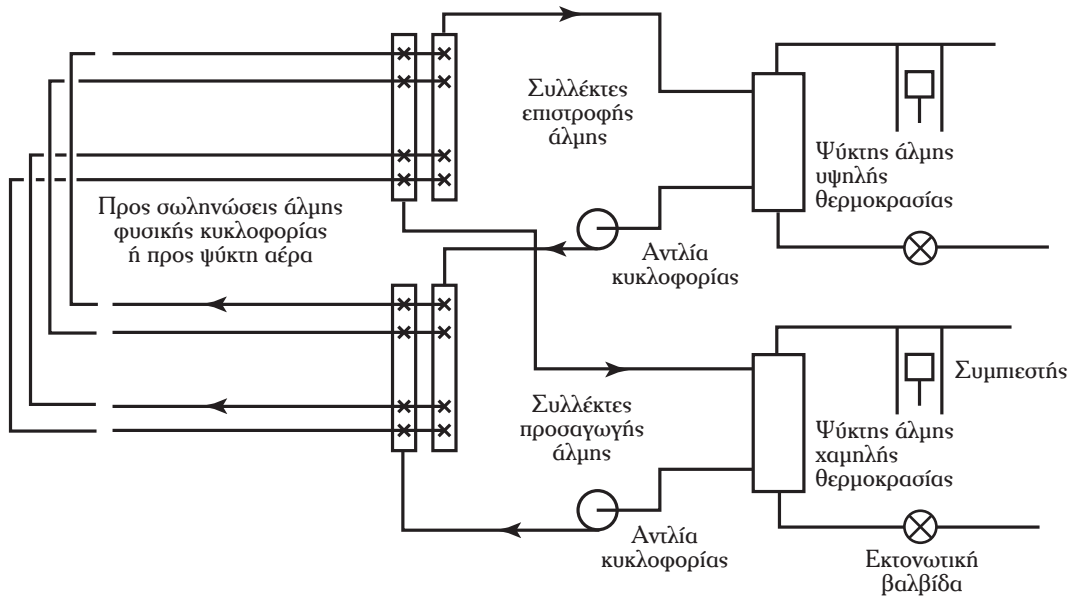
Ανακεφαλαιώνοντας, τα συστήματα άμεσης και έμμεσης ψύξεως έχουν τα εξής μεταξύ τους συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

α) Οι εγκαταστάσεις άμεσης ψύξεως έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής. Το κόστος αυτό επιβαρύνεται με την ανάγκη για μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού μέσου, με το οποίο πρέπει να γεμίσουν οι σωλήνες υγρού που πηγαίνουν προς τους ψυκτικούς θαλάμους.



Σχ. 4.2δ.

Ψυκτική εγκατάσταση έμμεσης ψύξεως μ' έναν ψυκτικό θάλαμο.



Σχ. 4.2ε.

Ψυκτική εγκατάσταση έμμεσης ψύξεως με δίκτυο διανομής άλμης και δυο διαφορετικές θερμοκρασίες άλμης.

β) Στις εγκαταστάσεις άμεσης ψύξεως είναι δυσκολότερη η ρύθμιση της θερμοκρασίας σε ανεξάρτητους ψυκτικούς θαλάμους από ό,τι στις εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως.

γ) Στις εγκαταστάσεις άμεσης ψύξεως είναι πιθανή η διαρροή ψυκτικού μέσου στον ψυκτικό θάλαμο.

δ) Οι εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος.

Στις επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε τις ιδιότητες των πρωτευόντων και δευτερευόντων ψυκτικών μέσων, που τα καθιστούν κατάλληλα ή περισσότερο κατάλληλα από άλλα για τη χρήση του στις ψυκτικές εγκαταστάσεις άμεσης και έμμεσης ψύξεως.

4.3 Τα ψυκτικά μέσα και οι ιδιότητές τους.

4.3.1 Επιθυμητές ιδιότητες ψυκτικών μέσων.

Μια ουσία, για να αποτελέσει το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο μίας εγκατάστασης πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες, οι οποίες εξασφαλίζουν την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία της. Οι κυριότερες απ' αυτές είναι οι εξής:

α) Τα ψυκτικά μέσα **πρέπει** να είναι **περιβαλλοντικά ασφαλή**, δηλαδή να μην προκαλούν καταστροφή του όζοντος της ατμόσφαιρας και να μην συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

β) Τα ψυκτικά μέσα **δεν πρέπει** να είναι **τοξικά**

και **δηλητηριώδη**, ώστε να δημιουργείται κίνδυνος για την ασφάλεια των εργαζομένων. Επίσης, τα ασφαλή ψυκτικά μέσα, μπορούν χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις, στις οποίες δεν υπάρχει προσωπικό συντηρήσεως, όπως οικιακά ψυγεία και κλιματιστικά.

γ) Για τους ίδιους λόγους ασφαλείας, τα ψυκτικά μέσα **δεν πρέπει** να είναι **εύφλεκτα** και **εκρηκτικά**.

δ) Τα ψυκτικά μέσα **πρέπει** να είναι **άοσμα** και **άγευστα**, καθώς σε αντίθετη περίπτωση, όταν υπάρξει μία διαρροή, υπάρχει κίνδυνος αλλοιώσεως των τροφίμων που συντηρούνται σ' έναν ψυκτικό θάλαμο.

ε) Τα ψυκτικά μέσα **πρέπει** να έχουν **χημική σταθερότητα**. Κατά τη λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης, το ψυκτικό μέσο διέρχεται από διάφορες συνθήκες πίεσεως και θερμοκρασίας. Κάτω απ' τις συνθήκες αυτές, το ψυκτικό μέσο δεν πρέπει να αλλοιώνεται και να μετασχηματίζεται σε άλλες χημικές ενώσεις.

στ) Τα ψυκτικά μέσα **δεν πρέπει** να **αλληλεπιδρούν χημικά** με τα υλικά κατασκευής και στεγανοποιήσεως των διαφόρων μερών μιας ψυκτικής εγκατάστασης.

ζ) Τα **σημείο τήξεως** πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερο από την ελάχιστη θερμοκρασία που συναντάται σε μία ψυκτική εγκατάσταση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος φραξίματος των σωληνώσεων.

η) Ως προς τις πιέσεις λειτουργίας της εγκαταστάσεως, η πίεση συμπίεσεως που απαιτείται για να έρθει το ψυκτικό μέσο σε θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτή του μέσου συμπυκνώσεως, **δεν πρέπει** να είναι πολύ μεγάλη, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη παροχής μεγάλης ισχύος συμπίεσεως. Επίσης, η πίεση ατμοποίησης που καθορίζεται από την επιθυμητή θερμοκρασία ατμοποίησης, **πρέπει** να είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, ώστε να μην εισέρχεται αέρας στις σωληνώσεις της εγκαταστάσεως.

θ) Τα ψυκτικά μέσα **πρέπει** να έχουν **μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα**, ώστε να περιορίζεται η παροχή μάζας που κυκλοφορεί σε μια εγκατάσταση. Αυτό έχει ως συνέπεια την ανάγκη για μικρές διατομές και διαστάσεις των σωληνώσεων και των εξαρτημάτων και επί πλέον επιτυγχάνεται μείωση του μεγέθους και του έργου του συμπιεστή.

ι) Ο **ειδικός όγκος** του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή **πρέπει να είναι μικρός**, ώστε να μην απαιτείται μεγάλη ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή, και τέλος

ια) τα ψυκτικά μέσα **πρέπει να είναι οικονομικά**, καθώς απαιτούνται μεγάλες ποσότητες σε εγκαταστάσεις με μεγάλη ισχύ και έκταση.

4.3.2 Κατηγορίες ψυκτικών μέσων.

Τα κυριότερα πρωτεύοντα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα, κατατάσσονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

α) Τα **αλογονούχα ψυκτικά** μέσα, που με τη σειρά τους κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbons–CFCs).
- Υδροχλωροφθοράνθρακες (Hydrochlorofluorocarbons–HCFCs).
- Υδροφθοράνθρακες (Hydrofluorocarbons–HFCs).

β) Τα **ανόργανα ψυκτικά** μέσα. Είναι ουσίες που δεν προέρχονται από οργανικές ουσίες. Οι κυριότερες ανόργανες ουσίες που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα είναι:

- Η αμμωνία (NH₃).
- Το νερό (H₂O).
- Ο αέρας
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και
- το διοξείδιο του θείου (SO₂).

Η αμμωνία είναι το πιο διαδεδομένο από αυτά, ακόμα και σήμερα.

Τα ψυκτικά μέσα που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, είναι τεχνητά παρασκευασμένες ουσίες. Τα CFCs, HCFCs και HFCs προέρχονται από υδρογονάνθρακες, στους οποίους κάποια άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από άτομα των αλογόνων φθορίου ή χλωρίου. Τα ψυκτικά μέσα που προκύπτουν από τη διαδικασία της αλογονώσεως δεν είναι εκρηκτικά, όπως οι υδρογονάνθρακες από τους οποίους προέρχονται, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μεγαλύτερη ασφάλεια. Επί πλέον, ως ψυκτικά μέσα χρησιμοποιούνται και αζεotropικά και ζεotropικά μείγματα ψυκτικών μέσων (βλ. παράγρ. 4.5.1 και 4.5.2). Τα αζεotropικά μείγματα δεν διαχωρίζονται στις διάφορες φάσεις λειτουργίας της ψυκτικής εγκαταστάσεως, δηλαδή ατμοποιούνται και συμπυκνώνονται ενιαία ως μια ουσία. Τα ζεotropικά μείγματα δεν λειτουργούν ως μια ενιαία ουσία, αλλά μπορεί η ογκομετρική τους σύσταση και η θερμοκρασία κορεσμού να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ατμοποίησης και της συμπυκνώσεώς τους.

Τα ψυκτικά μέσα είναι πολλές φορές γνωστά με το εμπορικό όνομα Freon παρ' όλο ότι αυτό το όνομα χαρακτηρίζει τα προϊόντα μιας μόνο από τις εταιρείες παρασκευής τους. Χαρακτηρίζονται με το γράμμα **R**, το οποίο προέρχεται από το Refrigerant (ψυκτικό μέσο) και μ' έναν αριθμό. Επίσης, στο τέλος προστίθεται ένα γράμμα (a, b, c), το οποίο δηλώνει ισομερείς ουσίες, δηλαδή ουσίες με ίδιο χημικό τύπο, αλλά με διαφορετική διάταξη των ατόμων που δίνει διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες. Παραδείγματα ονομασίας ψυκτικών μέσων είναι τα παλαιότερα R-11, R-12, R-22, R-114, R-134a. Ο χαρακτηριστικός αριθμός ενός ψυκτικού μέσου είναι μια κωδικοποίηση της χημικής του συστάσεως (βλ. παράγρ. 4.3.3). Δεδομένου ότι τα ψυκτικά μέσα, σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι αέρια, η μεταφορά και η αποθήκευσή τους γίνεται υπό πίεση σε δοχεία σε υγρή μορφή. Για τη διάκριση των δοχείων, αυτά έχουν ένα κωδικό χρώμα, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο που περιέχουν. Στο σχήμα 4.3α φαίνεται η ονομασία, το χρώμα και η κατηγορία, στην οποία ανήκουν τα κυριότερα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Οι **χλωροφθοράνθρακες** (CFC) ήταν τα πρώτα αλογονούχα ψυκτικά μέσα. Τα πιο διαδεδομένα είναι τα R-12, R-11, R-113, R-114, R-115, R-500, R-502, R-503. Τα R-500, R-502, R-503 είναι αζεotropικά μείγματα, ένα συστατικό των οποίων είναι χλωροφθοράνθρακας, οπότε έχουν καταταγεί σ' αυ-

τήν την κατηγορία των ψυκτικών μέσων.

Οι **υδροχλωροφθοράνθρακες** (HCFC) προέρχονται από άτομα μεθανίου (CH_4) ή αιθανίου (C_2H_6), τα οποία είναι μερικώς αλογονωμένα. Αυτό σημαίνει ότι έχουν κάποια άτομα υδρογόνου, ενώ κάποια άλλα έχουν αντικατασταθεί από άτομα χλωρίου ή φθορίου. Οι πιο συνηθισμένοι υδροχλωροφθοράνθρακες είναι το R-22 και το R-123. Επίσης, υδροχλωροφθοράνθρακες είναι και τα ζεοτροπικά μείγματα R-401, R-402, R-404, R-406.

Οι **υδροφθοράνθρακες** (HFC) έχουν παρόμοια χημική σύσταση με τους HCFC, με τη διαφορά ότι δεν περιέχουν άτομα χλωρίου. Σ' αυτούς αντικατάσταση των ατόμων υδρογόνου έχει γίνει μόνο με άτομα φθορίου. Οι πιο συνηθισμένοι υδροφθοράνθρακες (HFC) είναι το R-134a και το R-23. Το R-134a δεν έχει επίπτωση στο όζον και συνεισφορά στην παγκόσμια θέρμανση και χρησιμοποιείται κατά κόρον σε νέες εγκαταστάσεις και ως αντικαταστάτης του R-12.

Η συγγένεια ορισμένων ψυκτικών μέσων που παράγονται με αλογόνωση από τα μόρια του μεθανίου και του αιθανίου εικονίζεται στο σχήμα 4.3β. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ότι όταν όλα τα άτομα υδρογόνου αντικατασταθούν με άτομα χλωρίου και φθορίου, προκύπτει χλωροφθοράνθρακας (CFC), ενώ όταν υπάρχουν και άτομα υδρογόνου προκύπτει υδροχλωροφθοράνθρακας (HCFC). Τέλος, αν δεν υπάρχουν άτομα χλωρίου, η ένωση που προκύπτει είναι υδροφθοράνθρακας (HFC).

Τα CFC, HCFC και HFC είναι αέρια άοσμα, μη τοξικά, με μεγαλύτερη πυκνότητα απ' αυτήν του αέρα. Η διαρροή τους δεν εντοπίζεται με την όσφρηση και μπορεί να αποβεί μοιραία, καθώς εκτοπίζει το οξυγόνο του αέρα σε κλειστούς χώρους. Επίσης, κατά την καύση τους παράγονται δηλητηριώδη αέρια, τα οποία είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο.

Δεδομένου ότι τα CFC συμβάλλουν στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, η παραγωγή τους έχει απαγορευτεί έτσι ώστε να περιοριστεί η χρήση τους σε νέες εγκαταστάσεις. Η παραγωγή και η χρήση των HCFC συνεχίζεται, διότι έχουν μικρότερη επίδραση στο όζον και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά έχει προγραμματιστεί η οριακή κατάργησή τους από το 2030. Τα HFC δεν βλάπτουν το όζον, αλλά έχουν μικρή συνεισφορά ως αέρια θερμοκηπίου. Στις μέρες μας, τα HFC είναι τα πλέον ασφαλή ψυκτικά μέσα και χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν

Τύπος		Κωδικός χρωματισμός
R-11	CFC	Πορτοκαλί
R-12	CFC	Λευκό
R-502	CFC	Μωβ ανοικτό
R-22	HCFC	Πράσινο
R-123	HCFC	Ανοικτό μπλε-γκρι
R-401A	HCFC	Κόκκινο ροζ
R-401B	HCFC	Κίτρινο - καφέ
R-402A	HCFC	Υπόλευκο κίτρινο
R-402B	HCFC	Πράσινο λαδί
R-408A	HCFC	Μωβ σκούρο
R-409A	HCFC	Ανοικτό καστανό
R-134a	HFC	Ανοικτό μπλε
R-404A	HFC	Πορτοκαλί
R-407C	HFC	Καφέ
R-410A	HFC	Ροζ
R-507	HFC	Πράσινο

Σχ. 4.3α.

Ονομασία, κατηγορία και κωδικό χρώμα των κυριότερων ψυκτικών μέσων.

τα CFC και HCFC. Επίσης, τα HCFC χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσα μέσα αντικατάστασης των CFC, όταν δεν υπάρχει κατάλληλο HFC. Σήμερα, η έρευνα για την ανακάλυψη ουσιών, οι οποίες δεν θα έχουν καμιά επίπτωση στο περιβάλλον, συνεχίζεται. Τελευταία, υπάρχει η τάση να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψύξεως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Αυτό, αν και είναι αέριο θερμοκηπίου, παράγεται με κλασματική απόσταξη του ατμοσφαιρικού αέρα, οπότε η απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα μέσω διαρροών δεν συνεπάγεται επιβάρυνση με νέους ρύπους.

Στο σχήμα 4.3γ εικονίζεται η περιοχική εφαρμογής διαφόρων HCFC και HFC, ανάλογα με τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Στον πίνακα 4.3 δίνονται οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των πιο ευρέως διαδεδομένων ψυκτικών μέσων.

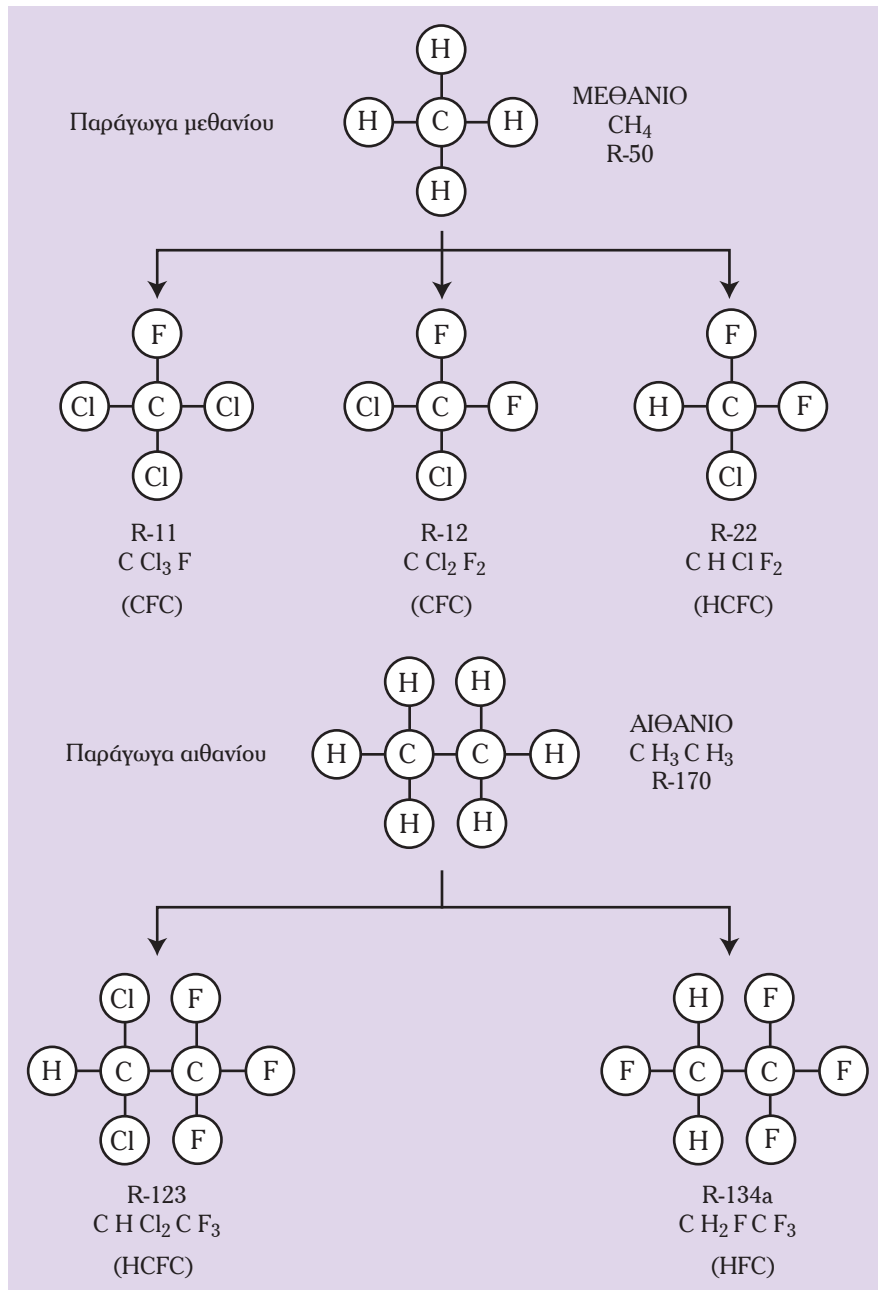
4.3.3 Κωδικοποίηση των ψυκτικών μέσων.

Η κωδικοποιημένη ονομασία των ψυκτικών μέσων παρέχει πληροφορίες για τη χημική τους σύσταση και επί πλέον για το εάν είναι ισομερή. Το κωδικό όνομα ενός ψυκτικού μέσου αποτελείται από τρία μέρη: το **ακρωνύμιο**, τον **αριθμητικό συμβολισμό** και ένα **γράμμα**, που χρησιμοποιείται για τα ισομερή.

Τα ισομερή μίας ενώσεως περιέχουν τα ίδια άτο-

μα με διαφορετική διάταξη και σύνδεση μεταξύ τους. Συνήθως, τα ισομερή έχουν διαφορετικές ιδιότητες και μόνο το ένα είναι χρήσιμο. Επειδή οι ενώσεις που μελετάμε αναφέρονται σε ευθείες ανθρακικές αλυσίδες, η ισομέρεια αφορά στη θέση που βρίσκονται τα άτομα υδρογόνου (H), φθορίου (F) και χλωρίου (Cl) στην αλυσίδα του μορίου. Τα μόρια με ένα άτομο C δεν παρουσιάζουν ισομέρεια.

Το ακρωνύμιο χρησιμοποιείται, προκειμένου να



Σχ. 4.3β.

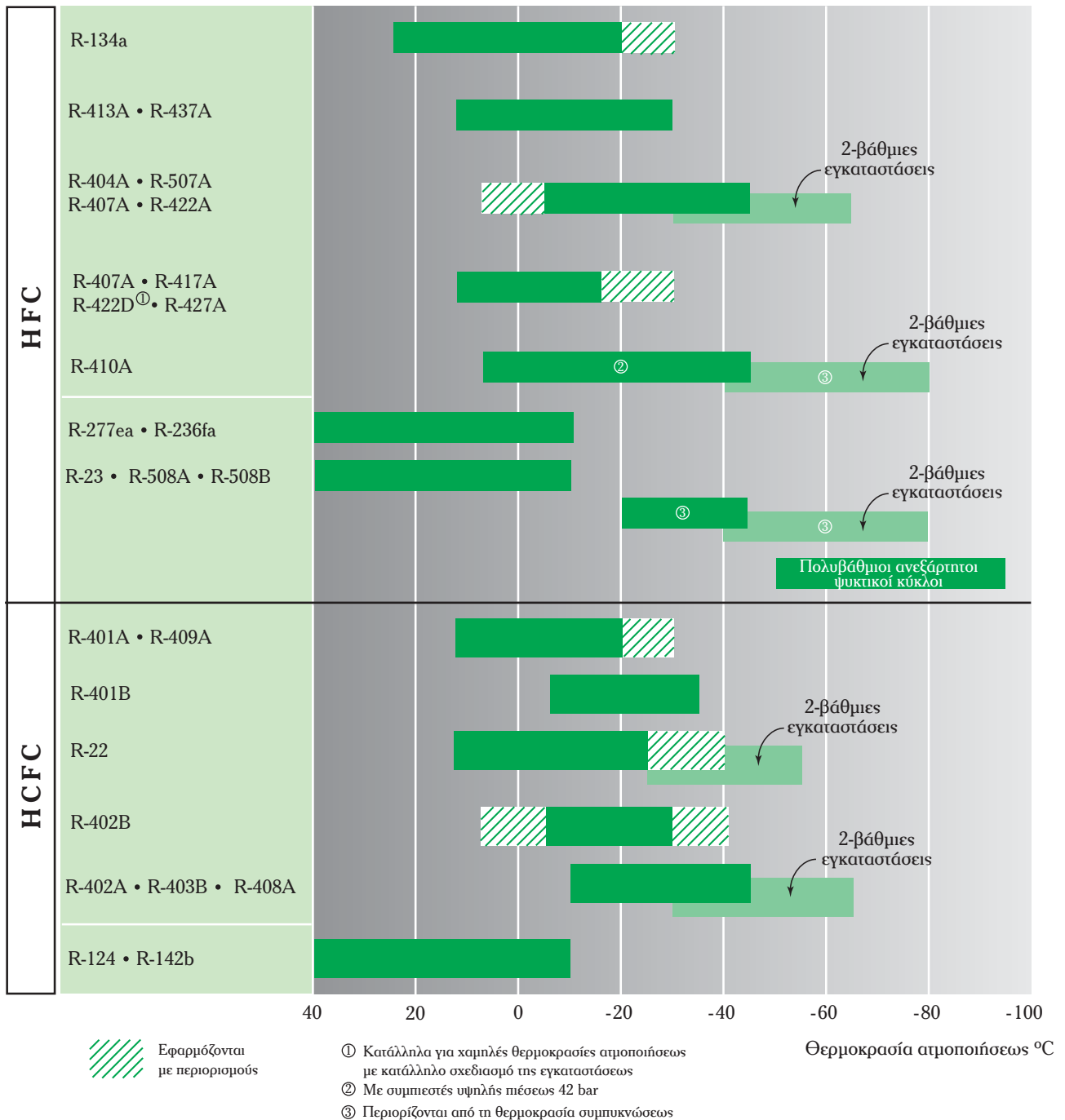
Διαφορετικά ψυκτικά μέσα που προέρχονται από το μεθάνιο και το αιθάνιο.

δηλωθεί ότι η συγκεκριμένη ουσία είναι ψυκτικό μέσο, διότι υπάρχουν αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι έχουν άλλες χρήσεις (π.χ. τα Halon, τα οποία χρησιμοποιούνται στην πυρόσβεση).

Εναλλακτικά, αντί για το γράμμα R, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συντομογραφία της οικογένειας του ψυκτικού μέσου. Για παράδειγμα, το R-12 μπορεί να γραφτεί και ως CFC-12.

1) Κωδικός αριθμός αλογονούχων ψυκτικών μέσων.

Ο αριθμός που αποτελεί το δεύτερο τμήμα της ονομασίας των ψυκτικών μέσων, περιέχει τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τον καθορισμό της χημικής συστάσεως. Ένα ψυκτικό μέσο, όπως έχουμε αναφέρει, είναι μία χημική ένωση που προ-

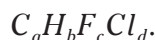


Σχ. 4.3γ.
Εφαρμογή των HCFC και HFC ανάλογα με τη θερμοκρασία ατμοποίησης.

Πίνακας 4.3
Θερμοδυναμικές ιδιότητες των πιο ενρέως διαδεδομένων ψυκτικών μέσων.

<i>Κωδική ονομασία ψυκτικού μέσου</i>	<i>Μοριακό βάρος (kg/kmol)</i>	<i>Σημείο τήξεως (°C)</i>	<i>Σημείο ατμοποίησης σε πίεση 1 Atm (°C)</i>	<i>Κρίσιμη θερμοκρασία (°C)</i>	<i>Απόλυτη κρίσιμη πίεση (kPa, abs)</i>
CFC's:					
R-11	137,38	-100,5	23,71	198,0	4,408
R-12	120,91	-157,1	-29,75	112,0	4,136
R-113	187,38	-36,22	47,59	214,1	3,392
R-114	170,92	-94,2	3,6	145,7	3,257
R-500	99,30	-159	-33,5	102,1	4,173
R-502	111,6	-	-45,4	80,73	4,018
HCFC's:					
R-22	86,48	-160	-40,76	96,0	4,974
R-123	152,93	-107,15	27,82	183,68	3,662
R-124	136,47	-199,15	-11,96	122,3	3,624
R-401A	99,44	-	-34,4	105,3	4,613
R-401B	92,84	-	-35,7	103,5	4,682
R-401C	101,0	-	-22,9	109,9	4,402
R-402A	101,6	-	-49,2	76,03	4,234
R-402B	94,71	-	-47,2	83,0	4,525
R-403A	91,99	-	-44,0	91,2	4,690
R-403B	103,26	-	-43,8	88,7	4,400
R-405A	111,9	-	-32,9	106,0	4,292
R-406A	89,86	-	-32,7	116,5	4,883
R-408A	87,01	-	-45,5	83,3	4,424
R-409A	97,43	-	-35,4	106,9	4,699
R-409B	96,67	-	-36,5	104,4	4,711
R-411A	82,36	-	-39,7	99,1	4,954
R-411B	83,07	-	-41,6	96,0	4,947
R-412A	92,17	-	-36,4	107,5	4,880
R-416A	111,9	-	-24,7	111,9	4,015
R-509A	123,96	-	-40,4	87,2	4,030
HFC's:					
R-125	120,2	-100,63	-48,14	66,2	3,629
R-134a	102,03	-103,3	-26,07	101,1	4,059
R-404A	97,60	-	-46,6	72,1	3,735
R-407A	90,11	-	-45,2	81,9	4,487
R-407B	102,94	-	-46,8	74,4	4,083
R-407C	86,20	-	-43,8	86,1	4,634
R-410A	72,59	-	-51,6	70,2	4,770
R-413A	103,95	-	-29,3	101,4	4,240
R-417A	106,70	-	-41,8	89,9	4,096
R-507A	98,86	-	-47,1	70,8	3,715

κύπτει από έναν κορεσμένο υδρογονάνθρακα με την αντικατάσταση κάποιων ατόμων υδρογόνου με άτομα φθορίου και χλωρίου. Έτσι, ο χημικός τύπος ενός αλογονούχου ψυκτικού μέσου είναι:



Σ' ένα μόριο γραμμικού κορεσμένου υδρογονάνθρακα με a μόρια άνθρακα, υπάρχουν $2a + 2$ ελεύθεροι δεσμοί. Επί πλέον, το κάθε άτομο υδρογόνου, χλωρίου και φθορίου καταλαμβάνει έναν ελεύθερο δεσμό. Έτσι, ανάμεσα στους αριθμούς a , b , c , και d ισχύει η σχέση:

$$2a + 2 = b + c + d \quad (1)$$

Ένα ψυκτικό μέσο με χημικό τύπο $C_a H_b F_c Cl_d$, χαρακτηρίζεται από έναν κωδικό αριθμό XYZ , που αποτελεί το δεύτερο μέρος της ονομασίας του και προκύπτει από τους αριθμούς a , b , c και d , ως εξής:

α) $X = a - 1$: ο πρώτος αριθμός ισούται με τα άτομα άνθρακα μείον ένα.

β) $Y = b + 1$: ο δεύτερος αριθμός ισούται με τα άτομα υδρογόνου συν ένα.

γ) $Z = c$: ο τρίτος αριθμός ισούται με τα άτομα φθορίου.

Ο αριθμός των ατόμων Cl απουσιάζει από το συμβολισμό διότι μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα με βάση τον αριθμό των ατόμων C , H και F από τη σχέση (1). Έτσι ο αριθμός d των ατόμων χλωρίου που προκύπτει είναι:

$$d = 2a + 2 - b - c \quad (2)$$

Όταν ο αριθμός X είναι ίσος με μηδέν παραλείπεται, οπότε ο αριθμός της ονομασίας είναι διψήφιος. Αυτό συμβαίνει για τα ψυκτικά μέσα μ' ένα άτομο άνθρακα, τα οποία προέρχονται απ' την αλογόνωση του μεθανίου (π.χ. το R-12). Τα ψυκτικά μέσα που έχουν μόρια με δύο ή περισσότερα άτομα C έχουν τριψήφιο αριθμό.

Ο καθορισμός του χημικού τύπου ενός ψυκτικού μέσου, με βάση τον κωδικό αριθμό της ονομασίας του μπορεί να γίνει όταν είναι γνωστή η ονομασία του $R - XYZ$, ως εξής:

α) Ο αριθμός των ατόμων άνθρακα ισούται με τον πρώτο αριθμό της ονομασίας συν ένα: $a = X + 1$.

β) Ο αριθμός των ατόμων υδρογόνου ισούται με το δεύτερο αριθμό της ονομασίας μείον ένα: $b = Y - 1$.

γ) Ο αριθμός των ατόμων φθορίου ισούται με τον τρίτο αριθμό της ονομασίας: $c = Z$.

δ) Ο αριθμός των ατόμων χλωρίου ισούται με: $d = 2X - Y - Z - + 5$.

Μία πιο εύκολη μέθοδος για τον καθορισμό του χημικού τύπου από τον κωδικό αριθμό της ονομασίας, είναι η πρόσθεση του αριθμού 90. Οι εκατοντάδες, οι δεκάδες και οι μονάδες του αριθμού που προκύπτει ως άθροισμα του αριθμού της ονομασίας και του 90, αντιστοιχούν στον αριθμό των ατόμων άνθρακα, υδρογόνου και φθορίου.

Παράδειγμα 1.

Καθορισμός χημικού τύπου του R-141b.

α) **Πρώτη μέθοδος:**

$$a = X + 1 = 1 + 1 = 2$$

$$b = Y - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$c = Z = 1$$

$$d = 2X - Y - Z + 5 = 2 - 4 - 1 + 5 = 2$$

β) **Δεύτερη μέθοδος:**

$141 + 90 = 231$ που αναλύεται σε 2 άτομα C , 3 άτομα H , 1 άτομο F . Τα άτομα χλωρίου είναι $(2 \cdot 2 + 2) - 3 - 1 = 2$. Άρα, ο χημικός τύπος του R-141b είναι $C_2 H_3 F Cl_2$ και κατά συνέπεια, το R-141b είναι υδροχλωροφθοράνθρακας (HCFC). Το γράμμα b δηλώνει ότι υπάρχει και άλλη ένωση με τον ίδιο χημικό τύπο, ενώ το R-141b είναι το δεύτερο ισομερές.

Παράδειγμα 2.

Καθορισμός χημικού τύπου του R-134a.

α) **Πρώτη μέθοδος:**

$$a = X + 1 = 1 + 1 = 2$$

$$b = Y - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$c = Z = 4$$

$$d = 2X - Y - Z + 5 = 2 - 3 - 4 + 5 = 0$$

β) **Δεύτερη μέθοδος:**

$134 + 90 = 224$. Αυτό αναλύεται σε 2 άτομα C , 2 άτομα H , 4 άτομα F . Τα άτομα χλωρίου είναι $(2 \cdot 2 + 2) - 2 - 4 = 0$.

Ο χημικός τύπος του R-134a είναι $C_2 H_2 F_4$ και κατά συνέπεια το R-134a είναι υδροφθοράνθρακας (HFC). Το γράμμα a δηλώνει ότι υπάρχει και άλλη ισομερής ένωση. Στο σχήμα 4.3δ φαίνονται οι δύο ισομερείς ενώσεις με το χημικό τύπο $C_2 H_2 F_4$. Η δομή των ατόμων στην πρώτη ένωση είναι συμμετρική και ονομάζεται R-134. Η δεύτερη ένωση έχει δομή που είναι αντισυμμετρική και γι' αυτόν το λόγο παίρνει το γράμμα a και ονομάζεται R-134a.

2) Ονομασία ψυκτικών μειγμάτων και ανοργάνων ψυκτικών μέσων.

Τα ψυκτικά μείγματα παρασκευάζονται από τις

βιομηχανίες παραγωγής ψυκτικών μέσων, όταν δεν υπάρχει κάποιο αμιγές ψυκτικό μέσο το οποίο έχει τις επιθυμητές ιδιότητες. Τα ψυκτικά μείγματα αποτελούνται από ψυκτικά μέσα σε σταθερές αναλογίες και κατατάσσονται σε **ζεοτροπικά** και **αζεοτροπικά** ψυκτικά μείγματα.

α) Ζεοτροπικά ψυκτικά μείγματα.

Σ' αυτά τα μείγματα, τα συστατικά τους ατμοποιούνται και υγροποιούνται σε διαφορετικές συνθήκες πίεσεως και θερμοκρασίας. Οι μεταβολές φάσεως δεν γίνονται ομοιόμορφα και κατά συνέπεια μέσα στην ψυκτική εγκατάσταση οι συστάσεις των συστατικών του μείγματος μπορεί να ποικίλλουν.

β) Αζεοτροπικά ψυκτικά μείγματα.

Σ' αυτά τα μείγματα, οι μεταβολές φάσεως των συστατικών τους γίνονται ομοιόμορφα, οπότε έχουν σταθερή σύσταση στα διάφορα σημεία της εγκατάστασεως.

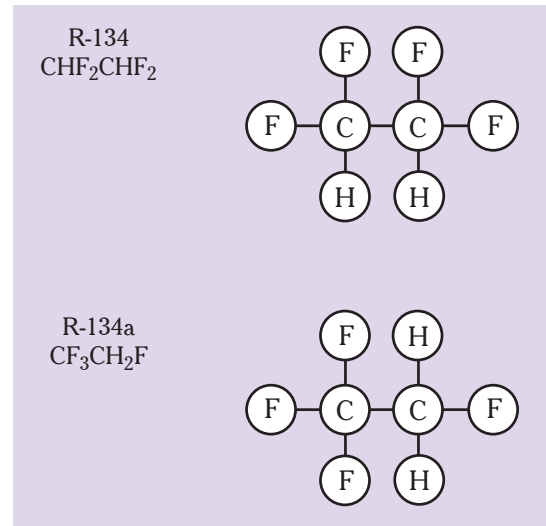
Η ανακάλυψη των ψυκτικών μειγμάτων προκύπτει από συνεχή έρευνα, ειδικά στις μέρες μας που αναζητούνται περιβαλλοντικά ασφαλή ψυκτικά μέσα και νέα ψυκτικά μέσα, που θα έχουν και τις επιθυμητές θερμοδυναμικές ιδιότητες και θα μπορούν να αντικαταστήσουν με το μικρότερο δυνατό κόστος τα παλιά. Η αποδοχή ενός μείγματος ως κατάλληλο ψυκτικό μέσο και η καταχώριση σ' αυτό μίας ονομασίας γίνεται από την Ένωση Μηχανικών Θερμάνσεως, Ψύξεως και Κλιματισμού των Η.Π.Α. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers—ASHRAE). Οι αριθμοί ονομασίας αποδίδονται με τη σειρά, με τον πρώτο αριθμό για ζεοτροπικά μείγματα να είναι το 4 (R-400) και τον πρώτο αριθμό για αζεοτροπικά να είναι το 5 (R-500). Μείγματα που περιέχουν τα ίδια συστατικά, αλλά σε διαφορετική αναλογία, διακρίνονται από κεφαλαία γράμματα.

Για παράδειγμα:

- Το R-401A περιέχει: 53% R-22 + 13% R-152a + 34% R-124.
- Το R-401B περιέχει: 61% R-22 + 11% R-152a + 28% R-124.

Τα ανόργανα ψυκτικά μέσα χαρακτηρίζονται από έναν τριψήφιο αριθμό που αρχίζει από 7 (R-700). Οι τελευταίοι δύο αριθμοί είναι το μοριακό βάρος στρογγυλεμένο σε ακέραιο αριθμό. Έτσι, τα κυριότερα ανόργανα ψυκτικά μέσα είναι:

- Η **αμμωνία** (NH₃): R-717 (μοριακό βάρος αμμωνίας: 17).



Σχ. 4.38.

Μοριακή δομή των ισομερών R-134 και R-134a.

- Το **νερό** (H₂O): R-718 (μοριακό βάρος νερού: 18).
- Ο **ατμοσφαιρικός αέρας**: R-729 (μοριακό βάρος ξηρού αέρα: 28,96).
- Το **διοξείδιο του άνθρακα** (CO₂): R-744 (μοριακό βάρος CO₂: 44).
- Το **διοξείδιο του θείου** (SO₂): R-764 (μοριακό βάρος SO₂: 64).

4.4 Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητά τους.

Τα ψυκτικά μέσα χωρίζονται ως προς την τοξικότητά τους σε δύο ομάδες που χαρακτηρίζονται μ' ένα γράμμα, το A ή το B. Τα ψυκτικά μέσα της ομάδας A δεν είναι τοξικά. Τα ψυκτικά μέσα της ομάδας B είναι τοξικά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 400 ppm [μέρη στο εκατομμύριο (parts per million)].

Ως προς την εκρηκτικότητά τους, τα ψυκτικά μέσα χαρακτηρίζονται από έναν από τους αριθμούς 1, 2 ή 3.

Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας 1 δεν είναι εκρηκτικά και η καύση τους δεν είναι συνεχής σε αέρα με πίεση 14,7 psia και θερμοκρασία 70 °F.

Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας 2 είναι μέτρια εκρηκτικά, δηλαδή η καύση τους δεν είναι συνεχής σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 0,00625 lb/ft³ σε αέρα με πίεση 14,7 psia και θερμοκρασία 70 °F. Η ειδική θερμογόνο δύναμή τους είναι μικρότερη από 8174 btu/lb.

Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας 3 είναι πολύ εκρηκτικά, δηλαδή η καύση τους δεν είναι συνεχής σε

συγκέντρωση μικρότερη από 0,00625 lb/ft³ σε αέρα με πίεση 14,7 psia και θερμοκρασία 70 °F. Η ειδική θερμογόνος δύναμή τους είναι μεγαλύτερη από 8174 btu/lb.

Σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση, υπάρχουν συνολικά έξι κατηγορίες ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητα (πίν. 4.4.1), με την κατηγορία A1 να είναι η ασφαλέστερη, ενώ η B3 είναι η πιο επικίνδυνη.

Στον πίνακα 4.4.2 φαίνεται η ομάδα στην οποία ανήκουν τα πιο ευρέως διαδεδομένα αλογονούχα ψυκτικά μέσα. Για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις των πλοίων επιλέγονται τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας A1.

4.5 Ψυκτικά μέσα κατηγορίας A (μη τοξικά).

Στην παρούσα παράγραφο εξετάζονται οι ιδιότητες των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων ψυκτικών μέσων, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία A, δηλαδή δεν είναι τοξικά. Στην ομάδα A ανήκουν ψυκτικά μέσα και από τις τρεις οικογένειες των CFC, HCFC, HFC. Αν και τα CFC λόγω των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, δεν χρησιμοποιούνται πλέον σε νέες εγκαταστάσεις, ενώ αυτά που υπάρχουν σε παλιές, θα αντικατασταθούν στην αρχή από HCFC και στη συνέχεια HFC, τα μέσα της ομάδας αυτής έχουν αρκετά μεγάλη διάδοση και χρησιμοποιούνται σε υφιστάμενες παλαιότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Στο Παράρτημα 2.A παρουσιάζονται τα πιο συνηθισμένα ψυκτικά μέσα κατηγορίας A (μη τοξικά), τα οποία χρησιμοποιούνται στα πλοία και σε εγκαταστάσεις ξηράς. Συγκεκριμένα δίνονται γενικές πληροφορίες και τα διαγράμματα πίεσης-ενθαλπίας (p-h) για τα CFCs R-11 και R-12, το HCFC R-22 και το HFC R-134a. Δεδομένου ότι το R-22 δεν είναι περιβαλλοντικά ασφαλές, και έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις, έχει προγραμματιστεί η αντικατάστασή του μέχρι το 2020. Επίσης στο Παράρτημα 2.Δ παρουσιάζονται επί πλέον οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των ψυκτικών μέσων που έχουν κατασκευαστεί ως ψυκτικά μέσα ενδιάμεσης και μόνιμης αντικαταστάσεως του R-22.

4.5.1 Αζεοτροπικά μείγματα.

Τα αζεοτροπικά μείγματα αποτελούνται από δύο ή περισσότερα ψυκτικά μέσα σε σταθερές αναλογίες, έτσι ώστε η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια ισόθλιπτης αλλαγής φάσεως να μένει σταθερή. Τα συστατικά των αζεοτροπικών μειγμάτων ατμοποιούνται και συμπυκνώνονται συγχρόνως και κατά συνέ-

πεια συμπεριφέρονται σαν μια εργαζόμενη ουσία, με αναλλοίωτη φυσική σύσταση σ' όλη την ψυκτική εγκατάσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδιότητα ενός μείγματος να είναι αζεοτροπικό υφίσταται μόνο για μια ορισμένη αναλογία των συστατικών του και όταν η αναλογία αλλάξει, τότε τα μείγματα παύουν να είναι αζεοτροπικά. Τα αζεοτροπικά μείγματα έχουν χαρακτηριστικό αριθμό που τους δίνεται αφού αναγγελθούν τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας και αρχίζει από 500. Τα συνθετικότερα αζεοτροπικά μείγματα που έχουν χρησιμοποιηθεί στις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι τα R-500, R-502 και το R-507A.

Οι σημαντικότερες πληροφορίες και τα διαγράμ-

Πίνακας 4.4.1

Κατηγορίες ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητά τους.

	Χαμηλή Τοξικότητα	Υψηλή Τοξικότητα
Υψηλή Εκρηκτικότητα	A3	B3
Χαμηλή Εκρηκτικότητα	A2	B2
Δεν μεταδίδουν τη φλόγα	A1	B1

Πίνακας 4.4.2

Κατάταξη των συνθεσιτέρων ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητά τους.

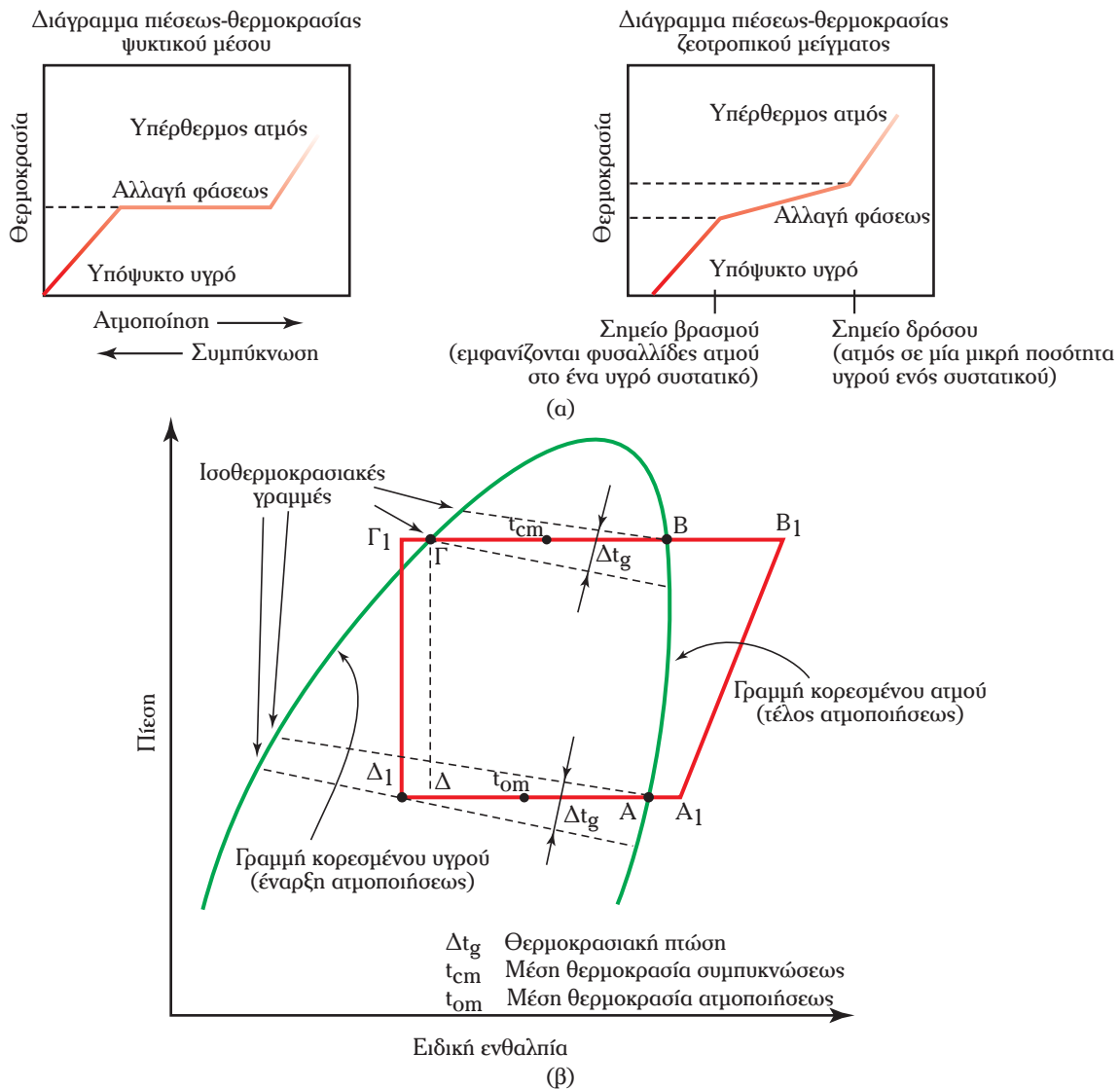
Κωδική ονομασία ψυ- κτικού μέσου	Κατάταξη επικινδυνότητας σύμφωνα με την ASHRAE	
	Τοξικότητα	Εκρηκτικότητα
R-11	A	1
R-12	A	1
R-22	A	1
R-123	B	1
R-124	A	1
R-125	A	1
R-134a	A	1
R-401A	A	1
R-406A	A	2
R-500	A	1
R-502	A	1
R-507A	A	1
R-717	B	2
R-744	A	1

ματα πίεσης-ειδικής ενθαλπίας (p-h) των παραπάνω αζεotropicών μειγμάτων δίνονται το Παράρτημα 2.Β.

4.5.2 Ζεotropicά μείγματα.

Τα ζεotropicά μείγματα έχουν αναπτυχθεί ως ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως των CFC και των HCFC και αποτελούνται από δύο ή περισσότερα ψυκτικά μέσα. Έχουν το χαρακτηριστικό ότι η αναλογία τους στην υγρή και στην αέρια φάση δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται κατά την ισόθλιπτη ατμοποίηση και τη συμπύκνωση [(σχ. 4.5(α)]. Η θερμοκρασία, κορεσμού όταν υπάρχει μόνο υγρή φάση και αρχίζει να σχηματίζεται ατμός, ονομάζεται **θερμο-**

κρασία ενάρξεως ατμοποιήσεως (bubble point). Η θερμοκρασία κορεσμού όταν υπάρχει μόνο αέρια φάση, ονομάζεται **θερμοκρασία δρόσου** (dew point). Η θερμοκρασία δρόσου είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ενάρξεως ατμοποιήσεως και η διαφορά τους ονομάζεται **θερμοκρασιακή διαφορά αλλαγής φάσεως** κατά τη φάση της ατμοποίησης και της συμπύκνωσης (temperature glide). Όταν η θερμοκρασιακή διαφορά αλλαγής φάσεως είναι μικρή, το ζεotropicό μείγμα προσεγγίζει τη συμπεριφορά ενός αζεotropicού μείγματος. Η θερμοκρασιακή διαφορά αλλαγής φάσεως επιδρά στην απόδοση του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν γίνεται η ρύθμιση



Σχ. 4.5.

(α) Σύγκριση ατμοποίησης και συμπυκνώσεως ψυκτικού μέσου και ζεotropicού μείγματος και (β) ψυκτικός κύκλος με ζεotropicό μείγμα στο διάγραμμα p-h.

της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας.

Υπάρχει πάντοτε κίνδυνος διαχωρισμού του μείγματος και παραμονής των διαφορετικών συστατικών σε διαφορετικά μέρη της εγκαταστάσεως.

Στο σχήμα 4.5(β) με τα σημεία AA₁B₁BΓΓ₁Δ₁ φαίνεται ο ψυκτικός κύκλος μ' ένα ζεοτροπικό μείγμα σε διάγραμμα πίεσεως-ειδικής ενθαλπίας. Λόγω της ζεοτροπικής συμπεριφοράς, μέσα στην περιοχή του υγρού ατμού οι ισόθλιπτες δεν είναι και ισοθερμοκρασιακές όπως, στην περίπτωση των ψυκτικών μέσων που αποτελούνται από μία ουσία ή είναι αζεοτροπικά μείγματα. Γι' αυτόν το λόγο η ατμοποίηση (μεταβολή Δ₁-A) γίνεται με σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μείγματος, ενώ η συμπύκνωση γίνεται με σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασιακή πτώση Δt_g είναι διαφορετική στην ατμοποίηση και στην συμπύκνωση και ισούται με την διαφορά θερμοκρασίας στην έναρξη και στο πέρας των αλλαγών φάσεως.

Για τον υπολογισμό του μεγέθους και της αποδόσεως του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή από τους κατασκευαστές των ψυκτικών εγκαταστάσεων λαμβάνονται υπόψη η μέση θερμοκρασία ατμοποίησης t_{om} και η μέση θερμοκρασία συμπυκνώσεως t_{cm} . Πρέπει επίσης να προστεθεί ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας στην ατμοποίηση με τη χρήση ζεοτροπικών μειγμάτων λαμβάνεται υπόψη στη ρύθμιση του πιεζοστατικού διακόπτη χαμηλής πίεσεως, με τον οποίο κρατιέται και επανεκκινεί ο συμπιεστής εκκινήσεως.

Η ρύθμιση του πιεζοστάτη γίνεται σε κανονική πίεση εκκινήσεως και μεγαλύτερη διαφορική πίεση, ώστε η τιμή της θερμοκρασίας ατμοποίησης να μεταβάλλεται λίγο γύρω από τη μέση τιμής της.

Λόγω της μεταβολής των αναλογιών των ζεοτροπικών μειγμάτων κατά τη συμπύκνωση και την ατμοποίηση, η ύπαρξη διαρροής στο συμπυκνωτή ή στον ατμοποιητή, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή των αναλογιών των συστατικών του μείγματος στην εγκατάσταση και την αλλαγή των χαρακτηριστικών λειτουργίας της εγκαταστάσεως (πίεσεις και θερμοκρασίες ατμοποίησης, συμπυκνώσεως). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **κλασματοποίηση** (fractionation) και είναι βασικό μειονέκτημα των ζεοτροπικών μειγμάτων με μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας συμπυκνώσεως-ατμοποίησης. Όταν συμβεί κλασματοποίηση σε μια εγκατάσταση πρέπει το ψυκτικό μείγμα, να ανακτηθεί, να δημιουργηθεί κενό στις σωληνώσεις και να γίνει εκ νέου πλήρωση με νέο ψυκτικό μείγμα, το οποίο έχει την κανονική σύνθεση. Για τον

ίδιο λόγο η πλήρωση ή η συμπλήρωση ζεοτροπικού μείγματος σε μία εγκατάσταση δεν γίνεται σε αέρια μορφή στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η συμπλήρωση γίνεται μόνο σε υγρή μορφή στο συλλέκτη, από τη βαλβίδα υγρού της φιάλης αποθηκείσεως.

Τα ζεοτροπικά ψυκτικά μείγματα δεν χρησιμοποιούνται σε **ατμοποιητές υγρού τύπου** (flooded evaporators), διότι παρουσιάζεται το φαινόμενο του διαχωρισμού των συστατικών τους με τη βαρύτητα. Γι' αυτόν το λόγο χρησιμοποιούνται μόνο σε ψυκτικές εγκαταστάσεις **άμεσης εκτονώσεως** (direct expansion), όπου η εκτόνωση πραγματοποιείται στην εκτονωτική βαλβίδα και ακολουθεί η ατμοποίηση όλης της ποσότητας του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή.

Τα ζεοτροπικά μείγματα, αν και έχουν τα παραπάνω μειονεκτήματα, σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κόρον, όταν δεν διατίθενται περιβαλλοντικά ασφαλή ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως των χλωροφθορανθράκων (CFC). Χαρακτηρίζονται με έναν αριθμό που αρχίζει από το 400, ο οποίος τους δίνεται αφού αυτά δοκιμαστούν και κατοχυρωθούν από τις κατασκευάστριες εταιρείες. Το κεφαλαίο γράμμα που ακολουθεί δηλώνει μείγματα με διαφορετικές αναλογίες των ιδίων συστατικών. Για παράδειγμα η σύσταση των μειγμάτων R-407A, R-407B, R-407C, R-407D, R-407E, είναι:

R-407A	R-32 + R-125 + R-134a	20% - 40% - 40 %
R-407B	R-32 + R-125 + R-134a	10% - 70% - 20 %
R-407C	R-32 + R-125 + R-134a	23% - 25% - 52 %
R-407D	R-32 + R-125 + R-134a	15% - 15% - 70 %
R-407E	R-32 + R-125 + R-134a	25% - 15% - 60 %

Η διαδικασία αναπτύξεως νέων μειγμάτων είναι συνεχής, και ωθείται από τις απαιτήσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, για οικονομικότερη λειτουργία των ψυκτικών εγκαταστάσεων και για ευκολία αντικαταστάσεως των παλαιών ψυκτικών μέσων. Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα συστατικά και η σύνθεση των ζεοτροπικών μειγμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Στο Παράρτημα 2.Γ δίνονται οι ιδιότητες των σημαντικότερων ζεοτροπικών μειγμάτων που βρίσκονται σήμερα σε ευρεία χρήση.

Πίνακας 4.5
Σύνθεση ζεοτροπικών μειγμάτων.

Ονομασία	Συστατικό 1	Συστατικό 2	Συστατικό 3	Συστατικό 4
R-401A	53% HCFC22	34% HCFC124	13% HFC152a	
R-401B	61% HCFC22	28% HCFC124	11% HFC152a	
R-401C	33% HCFC22	52% HCFC124	15% HFC152a	
R-402A	38% HCFC22	60% HFC125	2% HC290	
R-402B	60% HCFC22	38% HFC125	2% HC290	
R-403A	75% HCFC22	5% HC290	20% FC218	
R-403B	56% HCFC22	5% HC290	39% FC218	
R-404A	44% HFC125	52% HFC143a	4% HFC134a	
R-405A	45% HCFC22	7% HFC152a	6,5% HCFC142b	42,5% RC318
R-406A	55% HCFC22	41% HCFC142b	4% R600a	
R-407A	40% HFC125	40% HFC134a	20% HFC32	
R-407B	70% HFC125	20% HFC134a	10% HFC32	
R-407C	25% HFC125	52% HFC134a	23% HFC32	
R-407D	15% HFC125	70% HFC134a	15% HFC32	
R-408A	46% HCFC22	47% HFC143a	7% HFC125	
R-409A	60% HCFC22	25% HCFC124	15% HCFC142b	
R-409B	65% HCFC22	25% HCFC124	10% HCFC142b	
R-410A	50% HFC125	50% HFC32		
R-410B	55% HFC125	45% HFC32		
R-411A	87,5% HCFC22	11% HFC152a	1,5% R1270	

4.5.3 Ζεοτροπικά μείγματα αντικαταστάσεως του R-22.

Για την αντικατάσταση του R-22 προτείνονται από τους κατασκευαστές διάφορα ζεοτροπικά ψυκτικά μείγματα. Η επιλογή τους γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις συνθήκες λειτουργίας της κάθε εγκαταστάσεως, σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται από τους κατασκευαστές ψυκτικών μέσων. Στο Παράρτημα 2.Δ δίνονται τα συστατικά και τα διαγράμματα πίεσεως-ειδικής ενθαλπίας των κυριότερων ζεοτροπικών μειγμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αντικατάσταση του R-22.

4.6 Ψυκτικά μέσα ομάδας B (τοξικά).

Τα ψυκτικά μέσα που ανήκουν στην ομάδα B είναι τοξικά σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 500 ppm. Αυτό σημαίνει ότι η εισπνοή ή η επαφή με

αυτά, είναι επιβλαβής για την υγεία ή μπορεί να προκαλέσει θάνατο. Κατά τη χρήση των ψυκτικών μέσων της ομάδας B πρέπει να λαμβάνονται αυστηρά μέτρα προστασίας.

Λόγω της επικινδυνότητάς τους, τα ψυκτικά αυτά μέσα δεν χρησιμοποιούνται σε ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις πλοίων. Τα σημαντικότερα τοξικά ψυκτικά μέσα είναι το R-123 και R-717, των οποίων οι ιδιότητες και τα διαγράμματα πίεσεως-ειδικής ενθαλπίας (p-h) δίνονται στο Παράρτημα 2.Ε.

4.7 Εκρηκτικά ψυκτικά μέσα.

Τα εκρηκτικά ψυκτικά μέσα (πίν. 4.7) είναι αυτά που ανήκουν στην κατηγορία εκρηκτικότητας 2 (μέτρια εκρηκτικά) και 3 (πολύ εκρηκτικά).

Το προπάνιο χρησιμοποιείται σε μεγάλα συστήματα ψύξεως κυρίως στη βιομηχανία πετροχημικών.

Πίνακας 4.7
Τα κυριότερα εκρηκτικά ψυκτικά μέσα.

Κωδικό όνομα	Ονομασία	Κατηγορία
R-30	Μεθυλαινοχλωρίδιο	2
R-40	Μεθυλοχλωρίδιο	2
R-50	Μεθάνιο	3
R-170	Αιθάνιο	3
R-290	Προπάνιο	3
R-406A	Ζεοτροπικό μείγμα (R-22 + R-600a + R-142b)	2
R-600	Βουτάνιο	3
R-717	Αμμωνία	2

Διαθέτει ιδιότητες που πλησιάζουν αυτές της αμμωνίας, αλλά με πολύ αυξημένο κίνδυνο εκρήξεως και φωτιάς.

Τα ψυκτικά μέσα αυτής της κατηγορίας που χρησιμοποιούνται στα πλοία, είναι ένα μείγμα αερίου μεθανίου και αιθανίου. Τα αέρια αυτά είναι τα κύρια συστατικά του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), που αποτελεί την εργαζόμενη ουσία σε μερικές περιπτώσεις ψυκτικών κύκλων επαναυγροποίησης εν πλω.

4.8 Ψυκτικά μέσα που επιτρέπεται να εκλύονται στην ατμόσφαιρα.

Τα ψυκτικά μέσα που όταν εκλύονται στην ατμόσφαιρα δεν έχουν περιβαλλοντική επίδραση χρησιμοποιούνται σε ανοικτούς ψυκτικούς κύκλους. Είναι ουσίες που βρίσκονται σε αφθονία στη φύση από όπου συλλέγονται με διαδικασίες κρυογονικής και

στη συνέχεια απελευθερώνονται. Τα αέρια αυτής της κατηγορίας έχουν χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης και προέρχονται απ' την υγροποίηση και την κλασματική απόσταξη του ατμοσφαιρικού αέρα. Τα κυριότερα από τα ψυκτικά μέσα, που επιτρέπεται να εκλύονται στην ατμόσφαιρα, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8.

Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο όταν η πίεση είναι τόσο χαμηλή, ώστε να εξατμίζεται στην επιθυμητή θερμοκρασία. Αυτό συμβαίνει σε εγκαταστάσεις κλιματισμού με ξηρή απορρόφηση όπου η θερμοκρασία εξατμίσεως του νερού είναι 7 °C, όταν η πίεση είναι 0,15 psia (7800 microns).

4.9 Επίδραση των ψυκτικών μέσων στο περιβάλλον.

Η επίδραση των ψυκτικών μέσων στο περιβάλλον αφορά στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος στην ατμόσφαιρα και στη συμμετοχή τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αρνητική επίδραση των ψυκτικών μέσων στο περιβάλλον εξαρτάται από το είδος τους. Η μεγαλύτερη επίδραση προκαλείται από τους χλωροφθοράνθρακες (CFC) και ακολουθούν οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC). Τέλος, οι υδροφθοράνθρακες (HFC) δεν έχουν αρνητική επίδραση στο όζον της ατμόσφαιρας, αλλά είναι αέρια θερμοκηπίου και συνεισφέρουν στη θέρμανση της γήινης ατμόσφαιρας.

Το όζον, είναι μια αλλοτροπική μορφή οξυγόνου που έχει τρία άτομα σε κάθε μόριο, με μοριακό τύπο O₃. Πρόκειται για ένα δηλητηριώδες αέριο με γαλάζιο χρώμα και έντονη μυρωδιά. Το όζον στη γήινη ατμόσφαιρα όταν τα μόρια του οξυγόνου (O₂) δια-

Πίνακας 4.8
Τα κυριότερα ψυκτικά μέσα που επιτρέπεται να εκλύονται στην ατμόσφαιρα.

Κωδικό όνομα	Ονομασία	Θερμοκρασία ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση (°C)
R-728	Αέρας	-192
R-728	Άζωτο (N ₂)	-196
R-704	Ήλιο (He)	-269
R-744	Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	-78
H ₂ O	Νερό	100

σπώνται από την υπεριώδη ακτινοβολία και σχηματίζουν ιόντα οξυγόνου (O^+). Η ένωση ενός ιόντος οξυγόνου και ενός ατόμου οξυγόνου έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός μορίου όζοντος. Το όζον συγκεντρώνεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, σε ύψος από 19–48 km, όπου βρίσκεται σε συγκέντρωση μέχρι 10 ppm (parts per million). Εκεί απορροφάει και αντανακλά την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία (UV), η οποία αποτελεί μικρό μέρος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος της γης. Η ελάττωση της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε όζον έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο έδαφος.

Η αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας έχει παρατηρηθεί ότι έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας εμφανίσεως δερματικών παθήσεων, καρκίνων του δέρματος, καταρράκτη στα μάτια και επηρεάζει την αναπαραγωγή του φυτοπλαγκτόν και τη λειτουργία της τροφικής αλυσίδας στη θάλασσα.

Η καταστροφή του όζοντος επιτείνεται με τα μόρια των ψυκτικών μέσων που περιέχουν χλώριο. Αυτά ανήκουν στα CFC και HCFC και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τις διαρροές ή κατά τις διαδικασίες συντηρήσεως και αποσύρσεως των ψυκτικών εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν τέτοιες ουσίες. Το μόριο του ψυκτικού μέσου όταν ανέβει στη στρατόσφαιρα, διασπάται από την υπεριώδη ακτινοβολία και απελευθερώνει ιόντα χλωρίου (Cl^+), τα οποία λειτουργούν σαν καταλύτης και διασπούν το όζον σε οξυγόνο. Τα ιόντα χλωρίου συγκρούονται με τα μόρια του όζοντος, αποσπούν ένα ιόν οξυγόνου (O^+) και σχηματίζουν μονοξειδίο του χλωρίου (ClO) και οξυγόνο (O_2). Στη συνέχεια, το μονοξειδίο του χλωρίου ενώνεται μ' ένα ελεύθερο ιόν οξυγόνου, σχηματίζει ακόμα ένα μόριο οξυγόνου και απελευθερώνει το ιόν του χλωρίου, το οποίο συνεχίζει τον κύκλο καταστροφής και άλλων μορίων όζοντος. Υπολογίζεται ότι ένα ιόν χλωρίου μπορεί να καταστρέψει χιλιάδες μόρια όζοντος. Η διαδικασία της καταστροφής του όζοντος απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 4.9.

Η καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος εξαιτίας των χλωριωμένων ψυκτικών μέσων παρατηρήθηκε από τη δεκαετία του '70 και οδήγησε στην απαγόρευση της παραγωγής χρήσεως των χλωροφθορανθράκων (CFC). Αυτό έγινε το 1987 με την υπογραφή από 24 χώρες του *Πρωτόκολλου του Μόντρεαλ*, το οποίο είναι μια Διεθνής Συνθήκη για την προστασία του στρατοσφαιρικού όζοντος. Οι χώ-

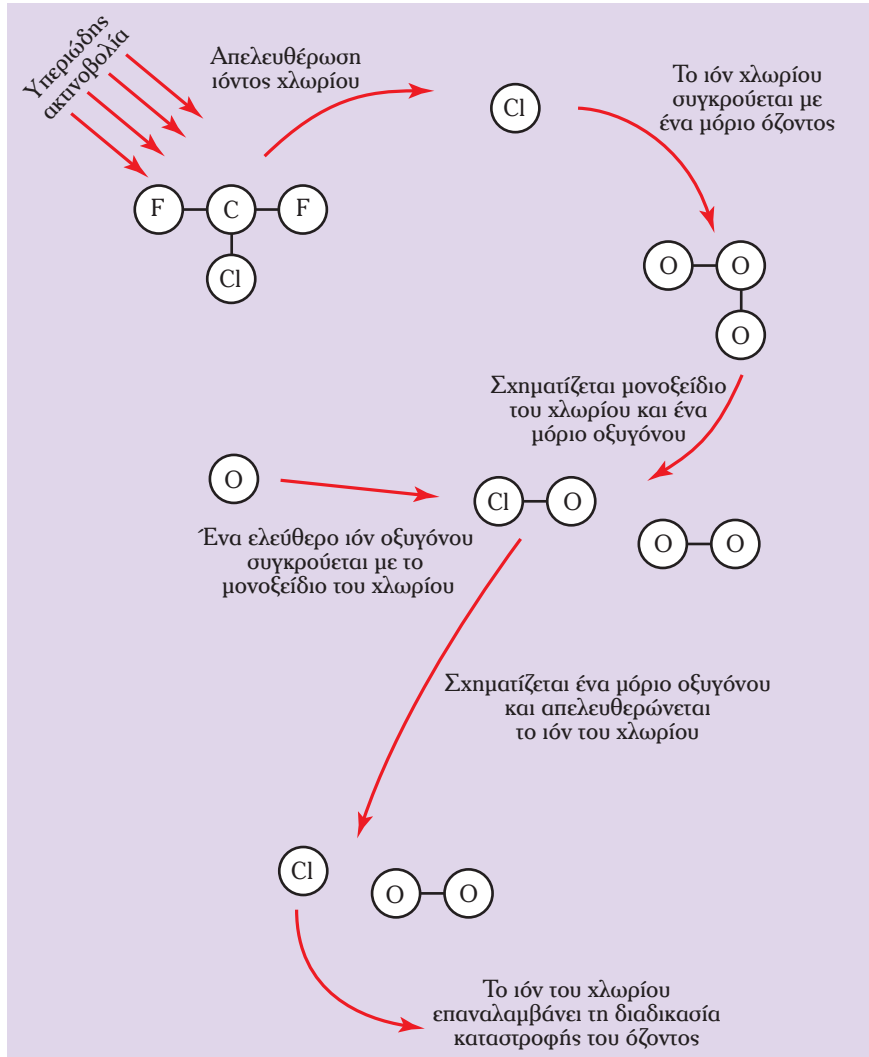
ρες που συμμετείχαν στη Συνθήκη του Μόντρεαλ, συμφώνησαν για τη σταδιακή αντικατάσταση των CFC από άλλα ψυκτικά μέσα με μικρότερη επίδραση στη στοιβάδα του όζοντος. Τα CFC σταμάτησαν να παράγονται το 1995 και δεδομένου ότι δεν είχαν αναπτυχθεί ακόμα περιβαλλοντικά ασφαλή ψυκτικά μέσα, άρχισαν να αντικαθίστανται σταδιακά από τα HCFC. Σε δεύτερη φάση, υπογράφηκαν συμφωνίες για την εξάλειψη των HCFC, με τη σταδιακή απαγόρευση της παραγωγής τους από το 2004 και την αντικατάστασή τους από τα φιλικά προς το όζον HFC. Σε γενικές γραμμές, τα CFC έχουν σχεδόν εξαλειφθεί από το 2000 και τα HCFC προβλέπεται να εξαλειφθούν πλήρως μέχρι το 2030. Στις ίδιες συμφωνίες, οι οποίες αποτελούν εθνικές νομοθεσίες, προβλέπεται η απαγόρευση της απορρίψεως όλων των ψυκτικών μέσων στην ατμόσφαιρα και η ανάγκη συλλογής και ανακυκλώσεως των χρησιμοποιημένων ψυκτικών μέσων όλων των κατηγοριών.

Η αποφυγή της ρυπάνσεως από τα ψυκτικά μέσα των πλοίων γίνεται με τη ΔΣ MARPOL στην οποία έχει προστεθεί το προσάρτημα Annex VI. Στο προσάρτημα VI, στην παράγραφο 12 περιέχονται οι κανονισμοί διαχειρίσεως των ουσιών, οι οποίες συνεισφέρουν στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος.

Οι παραπάνω κανονισμοί απαγορεύουν την εκούσια απόρριψη τέτοιων ουσιών στην ατμόσφαιρα και καθιστούν υποχρεωτική την τήρηση βιβλίου με τις βλαβερές ουσίες για το όζον που υπάρχουν στο πλοίο. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς του προσαρτήματος VI της ΔΣ MARPOL, εξασφαλίζεται με το Διεθνές Πιστοποιητικό Αποφυγής Αέριων Ρυπάνσεως IAPP (International Air Pollution Prevention Certificate), το οποίο είναι υποχρεωτικό για όλα τα πλοία άνω των 400 GT από 1/7/2010. Έτσι, οι κανονισμοί του προσαρτήματος VI της ΔΣ MARPOL έχουν ενσωματωθεί στους κανονισμούς των Νπογνωμόνων και στην Εθνική Νομοθεσία των κρατών που έχουν πλοία με δικές τους σημαίες.

Στα νέα πλοία οι κανονισμοί προβλέπουν την εξάλειψη των HCFCs από το 2020 και προδιαγράφεται η χρήση ψυκτικών μέσων με $ODP=0$ και $GWP < 1840$.

Η επίδραση των ψυκτικών μέσων στο όζον είναι μεγαλύτερη για τα CFC απ' ό,τι για τα HCFC. Αυτό οφείλεται στο ότι τα CFC είναι πιο σταθερά μόρια και κατά συνέπεια μεγάλος αριθμός απ' αυτά φτάνει στη στρατόσφαιρα, όπου διασπάται από την υπερι-



Σχ. 4.9.

Διαδικασία καταστροφής του όζοντος από τα χλωριωμένα ψυκτικά μέσα.

ώδη ακτινοβολία σε ιόντα χλωρίου, τα οποία καταστρέφουν το όζον. Αντίθετα, τα μόρια των HCFC, είναι λιγότερο σταθερά με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος τους να διασπάται πριν φτάσει στη στρατόσφαιρα. Κατά συνέπεια, η καταστροφή του όζοντος από τα CFC είναι πολλαπλάσια απ' αυτήν που προκαλούν τα HCFC. Τα HFC δεν καταστρέφουν το όζον, δεδομένου ότι δεν περιέχουν άτομα χλωρίου.

Το μέγεθος της καταστροφής που προκαλούν τα ψυκτικά μέσα στο όζον χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται **Δυναμικό Καταστροφής Όζοντος** (Ozone Depletion Potential—ODP). Ο αριθμός ODP ορίζεται ίσος με 1,0 για το R-11, ενώ για τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα ορίζεται συγκριτικά με τη βλάβη που προκαλούν στο όζον σε σχέση με το R-11. Για τα HCFC, ο αριθμός ODP είναι μικρό-

τερος απ' αυτόν των CFC, ενώ τα HFC έχουν ODP ίσο με μηδέν. Το ODP για τα πιο ευρέως διαδεδομένα ψυκτικά μέσα παρουσιάζεται στον πίνακα 4.9.

Η δεύτερη επίπτωση των ψυκτικών μέσων στο περιβάλλον είναι η συνεισφορά τους στο φαινόμενο της θερμάνσεως της ατμόσφαιρας. Η θέρμανση της ατμόσφαιρας οφείλεται στην παγίδευση της ακτινοβολίας του ήλιου από ένα στρώμα αερίων και ονομάζεται **φαινόμενο του θερμοκηπίου** (greenhouse effect). Τα αέρια που δημιουργούν την παγκόσμια θέρμανση ονομάζονται **αέρια θερμοκηπίου**, ενώ ο μηχανισμός της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη είναι ο εξής: Η ακτινοβολία του ήλιου περνάει από τη γήινη ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια της γης, όπου μέρος της ανακλάται προς το διάστημα. Η ακτινοβολία που ανακλάται από τη γη

Πίνακας 4.9
Δυναμικό Καταστροφής Όζοντος (ODP) και Δυναμικό Παγκόσμιας Θερμάνσεως (GWP)
με βάση το CO₂ των σημαντικότερων ψυκτικών μέσων.

Ψυκτικό μέσο	Δυναμικό Καταστροφής Όζοντος (ODP)	Δυναμικό Παγκόσμιας Θερμάνσεως (GWP)
R-11	1	4000
R-12	1	2400
R-22	0,05	1700
R-32	0	650
R-113	0,8	4800
R-114	1	3,9
R-123	0,02	0,02
R-124	0,02	620
R-125	0	3400
R-134a	0	1300
R-143a	0	4300
R-152a	0	120
R-401A (53% R-22, 34% R-124, 13% R-152a)	0,37	1100
R-401B (61% R-22, 28% R-124, 11% R-152a)	0,04	1200
R-402A (38% R-22, 60% R-125, 2% R-290)	0,02	2600
R-404A (44% R-125, 52% R-143a, R-134a)	0	3300
R-407A (20% R-32, 40% R-125, 40% R-134a)	0	2000
R-407C (23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a)	0	1600
R-502 (48.8% R-22, 51.2% R-115)	0,283	4,1
R-507 (45% R-125, 55% R-143)	0	3300
R-717 - NH ₃	0	0
R-729 - Αέρας	0	0
R-744 - CO ₂	0	1

προς το διάστημα, διέρχεται από το στρώμα αερίων του θερμοκηπίου, το οποίο εμποδίζει την έξοδο της και την ανακλά εκ νέου προς την επιφάνεια της γης. Αναφέρεται ότι λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 0,5 °C τον τελευταίο αιώνα. Η συνεχιζόμενη έκλυση αερίων που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ίσως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 2 °C τον επόμενο αιώνα, πράγμα που θα έχει δραματικές επιπτώσεις στο κλίμα και στη βιωσιμότητα μεγάλων περιοχών του πλανήτη.

Τα αέρια που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και ορισμένα ψυκτικά μέσα. Το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται από την αναπνοή των φυτών και από την καύση των ορυκτών καυσίμων, ενώ το μεθάνιο παράγεται από

την αποσύνθεση των ζωντανών οργανισμών. Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και η κατανομή τους σε κάθε χώρα περιορίζονται από το **Πρωτόκολλο του Κιότο**, το οποίο ψηφίστηκε το 1997 και εφαρμόζεται από το 2005. Αν και η συνεισφορά των ψυκτικών μέσων στην παγκόσμια θέρμανση είναι σχετικά μικρή, καταβάλλεται προσπάθεια να μειωθεί, δεδομένου ότι ο περιορισμός της είναι ευκολότερος σε σχέση με τον περιορισμό άλλων πηγών εκπομπών και κυρίως της καύσεως των ορυκτών καυσίμων.

Η συνεισφορά των ψυκτικών μέσων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εκτιμάται από δύο παράγοντες: την άμεση και την έμμεση συνεισφορά. Η **άμεση συνεισφορά** (direct effect), σχετίζεται με την ικανότητα του αερίου ψυκτικού μέσου να αντανακλά την ηλιακή ακτινοβολία, όταν από τις διαρ-

ροές από τις ψυκτικές εγκαταστάσεις βρεθεί στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Η **έμμεση συνεισφορά** (indirect effect), σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως που προκαλεί εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση του συμπιεστή.

Η άμεση συνεισφορά των ψυκτικών μέσων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό, ο οποίος υπολογίζεται από την επίδραση που έχουν αυτά όταν αφεθούν στην ατμόσφαιρα. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται **Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσεως** (Global Warming Potential–GWP) και παίρνει την τιμή αναφοράς 1,0 για το διοξείδιο του άνθρακα. Το GWP για τα πιο συνηθισμένα ψυκτικά μέσα εικονίζεται στον πίνακα 4.9. Σε μερικές περιπτώσεις στη βιβλιογραφία και στα εγχειρίδια των κατασκευαστών, προκειμένου να είναι ευκολότερη η σύγκριση μεταξύ δύο ψυκτικών μέσων, ο αριθμός GWP παίρνει την τιμή 1,0 για το R-11, ενώ για τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα εκφράζεται αναλογικά.

Η εκτίμηση της συνολικής επιπτώσεως στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την άμεση και την έμμεση συνεισφορά, γίνεται με τον **Αριθμό Συνολικής Ισοδύναμης Θερμικής Επίδρασεως** (Total Equivalent Warming Impact–TEWI). Με τον αριθμό αυτό υπολογίζεται και η επίδραση από τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για την παραγωγή της ενέργειας που καταναλώνει μία ψυκτική εγκατάσταση.

Η μείωση της επιδράσεως των ψυκτικών μέσων στο περιβάλλον γίνεται με τους εξής τρόπους, οι οποίοι προβλέπονται στα εγχειρίδια των κατασκευαστών και για τα πλοία προδιαγράφονται στους κανονισμούς των νηογνωμόνων και στο προσάρτημα VI της MARPOL:

α) Με την επιλογή περιβαλλοντικά ασφαλών ψυκτικών μέσων με χαμηλό ODP και GWP.

β) Με τον περιορισμό της ποσότητας του ψυκτικού μέσου σε κάθε εγκατάσταση.

γ) Με τον περιορισμό των διαρροών, με την άμεση επισκευή όταν αυτές εντοπίζονται.

δ) Με τον περιορισμό των εσκεμμένων εκπομπών στην ατμόσφαιρα.

ε) Με τη χρήση **εξοπλισμού ανακτήσεως ψυκτικών μέσων** (reclaim unit), όπως αναφέρεται στην παράγραφο 10.5, και την ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων ψυκτικών μέσων με καθαρισμό στα εργοστάσια παραγωγής.

4.10 Ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως.

Για να περιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ψυκτικών μέσων και κυρίως των χλωροφθορανθράκων (CFCs), σύμφωνα με τη συνθήκη του Μόντρεαλ τα CFCs αντικαθίστανται από νέα εναλλακτικά ψυκτικά μέσα. Τα νέα αυτά ψυκτικά μέσα είναι συνήθως υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), οι οποίοι έχουν μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση. Αυτό γίνεται διότι σ' αυτήν τη φάση δεν έχουν ακόμα ανακαλυφθεί και δοκιμαστεί ψυκτικά μέσα, τα οποία να έχουν μηδενική περιβαλλοντική επίδραση. Σε δεύτερη φάση θα γίνει η αντικατάσταση των HCFC με νέα περιβαλλοντικά ασφαλή ψυκτικά μέσα, τα οποία θα είναι υδροφθοράνθρακες (HFC) ή μείγματα αυτών. Υπό αυτές τις συνθήκες, σήμερα υπάρχουν ψυκτικά μέσα **προσωρινής** (interim/temporary retrofits) ή **οριστικής αντικαταστάσεως** (long term refrigerants), ενώ υπάρχουν και νέα περιβαλλοντικά ασφαλή ψυκτικά μέσα, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται για αντικατάσταση των παλιών, αλλά είναι κατάλληλα για **τοποθέτηση σε νέες εγκαταστάσεις** (new equipment refrigerants).

Την τελευταία δεκαετία, εκπονήθηκαν πολλές μελέτες για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων ψυκτικών μέσων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αντικατάσταση των απαγορευμένων ψυκτικών μέσων επιφέρει βασικές αλλαγές και στο σχεδιασμό διαφόρων άλλων εξαρτημάτων όπως λιπαντικά, συμπυκνωτές, ατμοποιητές και συμπιεστές. Ταυτόχρονα, απαιτούνται αρκετές δοκιμές, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αξιοπιστία και η ασφάλεια των νέων συστημάτων ψύξεως.

Βασική προϋπόθεση για τη χρήση των ψυκτικών μέσων προσωρινής και οριστικής αντικαταστάσεως είναι να είναι ασφαλή για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Ταυτόχρονα, πρέπει να έχουν παρόμοια ειδική ψυκτική ικανότητα και πιέσεις λειτουργίας με το ψυκτικό μέσο που αντικαθιστούν, ώστε να μην απαιτούνται αλλαγές στα εξαρτήματα της εγκαταστάσεως. Συνήθως για την αντικατάσταση του ψυκτικού μέσου απαιτείται και η αλλαγή του τύπου του λαδιού. Η επιλογή του ψυκτικού μέσου αντικαταστάσεως και οι ενέργειες και οι εργασίες που απαιτούνται για την αντικατάσταση του ψυκτικού μέσου μιας εγκαταστάσεως, δίνονται από τους κατασκευαστές των ψυκτικών μέσων και περιγράφονται στην παράγραφο 9.13.

Σε γενικές γραμμές, το R-134a χρησιμοποιείται για την οριστική αντικατάσταση του R-12. Για την οριστική αντικατάσταση των R-22 και R-502 συνήθως χρησιμοποιούνται ψυκτικά μείγματα όπως τα R-404A και R-507. Άλλα μείγματα, όπως τα R-401A, R-401B, R-409A χρησιμοποιούνται ως μέσα προσωρινής αντικατάστασης του R-12, ενώ τα R-500, R-402A και R-402-B, χρησιμοποιούνται ως μέσα προσωρινής αντικατάστασης του R-22. Η χρήση ψυκτικών μέσων προσωρινής αντικατάστασης γίνεται, προκειμένου να αποφευχθεί η αντικατάσταση του λαδιού λιπάνσεως, καθώς αυτά είναι συνήθως συμβατά με τα αλκυλοβενζινικά και μερικές φορές με τα ορυκτά λάδια που χρησιμοποιούνται με τα R-12 και R-22.

4.11 Συμβατότητα ψυκτικών μέσων με τα λιπαντικά λάδια.

Η επιλογή του σωστού λιπαντικού για το συμπιεστή, έχει γίνει πιο πολύπλοκη μετά την εφαρμογή των νέων ψυκτικών μέσων. Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες λιπαντικών λαδιών:

α) Τα **ορυκτά λάδια** (Mineral Oils–MO), τα οποία παράγονται με την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Είναι τα πιο οικονομικά, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα νέα ψυκτικά μέσα.

β) Τα **αλκυλοβενζινικά λάδια** (Alkylbenzene Oils–AB), τα οποία είναι και αυτά χαμηλού κόστους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα ενδιάμεσα ψυκτικά μέσα προσωρινής αντικατάστασης, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα περιβαλλοντικά ασφαλή HFC. Τα αλκυλοβενζινικά λάδια χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα με τους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC). Το μειονέκτημα των αλκυλοβενζινικών λαδιών είναι ότι δεν αναμειγνύονται σε αναλογία μεγαλύτερη από 20% με τα ορυκτά λάδια, τα οποία χρησιμοποιούνται με τα CFC που αντικαθίστανται. Έτσι, όταν γίνεται αντικατάσταση του CFC ψυκτικού μέσου σε μία εγκατάσταση, τα αλκυλοβενζινικά λάδια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό της εγκαταστάσεως από τα ορυκτά λάδια. Ο καθαρισμός της γίνεται με την πλήρωση με συνθετικά λάδια, τα οποία είναι η τρίτη κατηγορία λαδιών και περιγράφονται παρακάτω. Μια κατηγορία αλκυλοβενζινικών λαδιών είναι τα **πολυαλκυλογλυκολικά** (polyalkylene glycol–PAG), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν πριν την ανάπτυξη των συνθετικών λαδιών,

τα οποία χρησιμοποιούνται με τους HFC σε κλιματιστικά συστήματα και σε κλιματισμό αυτοκινήτων.

γ) Τα **συνθετικά πολυεστερικά λάδια** (Polyester Oils–POE), είναι μια κατηγορία λαδιών, τα οποία αρχικά αναπτύχθηκαν για τη λίπανση των αεροστροβίλων των αεροσκαφών. Υπάρχουν πολλά είδη συνθετικών λαδιών πολυεστερικής βάσεως, οι οποίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ιξώδους, διαλυτότητας και σημείου ροής. Αντίθετα με τις άλλες δύο κατηγορίες λαδιών τα POE δεν έχουν κερύ και διατηρούν τη ρευστότητά τους σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης αναμειγνύονται με τα ορυκτά λάδια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό της εγκαταστάσεως κατά την αλλαγή λιπαντικού. Δεδομένου ότι είναι συνθετικά μπορούν να κατασκευαστούν, ώστε να έχουν παρόμοια διαλυτότητα με τα ορυκτά λάδια που χρησιμοποιούνται με τα CFC. Το μειονέκτημα των POE λαδιών είναι το μεγαλύτερο κόστος τους. Επίσης, μειονέκτημά τους είναι ότι όταν έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, απορροφούν μεγάλες ποσότητες υγρασίας. Η υγρασία προκαλεί χημική διάβρωση των εξαρτημάτων της εγκαταστάσεως και επικαθίσεις χαλκού στα καλύβδινα μέρη. Λόγω της υγρασίας, μπορεί να προκληθεί παγοφραγμός στην εκτονωτική βαλβίδα και γι' αυτόν το λόγο δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται POE λάδια, όταν προέρχονται από δοχεία που δεν είναι αεροστεγώς σφραγισμένα.

Κατά την επιλογή του κατάλληλου λιπαντικού λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι:

α) Η **λιπαντική ικανότητα**, δηλαδή η ικανότητα του λαδιού να εισχωρεί ανάμεσα στις μεταλλικές επιφάνειες και να μειώνει τις τριβές. Η λιπαντική ικανότητα πρέπει να διατηρείται σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας, καθώς και σε περιπτώσεις υπερφορτίσεως και εκκινήσεως του συμπιεστή με μεγάλη ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου στην ελαιολεκάνη. Η λιπαντική ικανότητα ενισχύεται από την ύπαρξη χλωρίου στα μόρια των χλωροφθορανθράκων και των υδροχλωροφθορανθράκων, οπότε με τα ψυκτικά αυτών των κατηγοριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ορυκτά λάδια, τα οποία έχουν μικρότερη λιπαντική ικανότητα. Με τους υδροφθοράνθρακες (HFC), που δεν περιέχουν χλώριο, είναι απαραίτητη η χρήση συνθετικών λιπαντικών πολυεστερικής βάσεως, τα οποία έχουν αυξημένες ικανότητες λιπάνσεως.

β) Η **διαλυτότητα με το ψυκτικό μέσο**, δηλαδή η ικανότητα του λαδιού να διαλύεται με το ψυκτικό μέσο σε όλες τις φάσεις του ψυκτικού κύκλου και σε

όλα τα εξαρτήματα της εγκατάστασης. Η διαλυτότητα είναι απαραίτητη, ώστε να υπάρχει επιστροφή του λαδιού που δεν έχει συγκρατηθεί στον ελαιοδιαχωριστήρα ή στο συμπιεστή. Με την ποσότητα λαδιού που ανακυκλοφορεί στην εγκατάσταση εξασφαλίζεται η λίπανση των μεταλλικών μερών εσωτερικά των εξαρτημάτων και των βαλβίδων της εγκατάστασης και η προστασία τους από τη διάβρωση. Τα ορυκτά λάδια δεν είναι διαλυτά από τους υδροφθοράνθρακες, οπότε το ορυκτό λάδι που φεύγει από το συμπιεστή σε μία εγκατάσταση με HFC, παγιδεύεται στις σωληνώσεις του ατμοποιητή, όπου λειτουργεί ως μονωτικό και επηρεάζει την ψυκτική ικανότητα. Επί πλέον, με τη διαρκή διαφυγή λαδιού από το συμπιεστή, δημιουργείται κίνδυνος ανεπαρκούς λίπανσης και δημιουργίας φθορών και κωλύματος.

γ) Το **ιξώδες**, δηλαδή η ικανότητα του λαδιού να αντιστέκεται σε διατμητικές τάσεις. Με το κατάλληλο ιξώδες εξασφαλίζεται η λίπανση στα έδρανα ολισθήσεως (κουζινέτα), ενώ όταν η τιμή του ιξώδους αυξηθεί πολύ (συνήθως λόγω χαμηλής θερμοκρασίας) προκαλείται αντίσταση στη ροή και φθορές. Η διατήρηση του ιξώδους γίνεται με τη θέρμανση του λαδιού στην ελαιολεκάνη με ηλεκτρικές αντιστάσεις, κατά το χρονικό διάστημα κρατήσεως του συμπιεστή.

δ) Η **χημική σταθερότητα** και η **συμβατότητα** με τα υλικά που υπάρχουν στην ψυκτική εγκατάσταση, ειδικά με τα συνθετικά υλικά στεγανοποιήσεως των βαλβίδων.

ε) Το **σημείο ροής** του ψυκτελαίου, που είναι η πιο χαμηλή θερμοκρασία, στην οποία το λάδι μπορεί να είναι ρευστό. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει το **σημείο διαχωρισμού παραφίνης** (cloud point), που είναι η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να διαχωρίζεται η παραφίνη που περιέχεται στο λάδι και να δημιουργούνται στερεά κατάλοιπα.

στ) Η **διηλεκτρική σταθερά**, που είναι το μέτρο της αντιστάσεως που παρουσιάζει το λάδι στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και είναι σημαντική διότι στους ημερησιούς και στους ερμητικούς συμπιεστές το λάδι έρχεται σε επαφή με τις υπερειλίξεις του ηλεκτροκινητήρα.

Ανάλογα με το ψυκτικό μέσο και τον τύπο του συμπιεστή, επιλέγεται το κατάλληλο λιπαντικό λάδι, σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κάθε εγκατάστασης. Σχετικές πληροφορίες δίνονται στο Κεφάλαιο των συμπιεστών (παράγρ. 5.8).

4.12 Αποθήκευση και μεταφορά ψυκτικών μέσων.

Τα ψυκτικά μέσα περιέχονται σε κυλινδρικά δοχεία τόσο κατά τη μεταφορά, όσο και κατά την αποθήκευσή τους. Κατά την αποθήκευση, η πίεση του υγρού ψυκτικού μέσου πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται ανά περιόδους, καθώς η μεγάλη πίεση μπορεί να προκαλέσει έκρηξη. Σύμφωνα με τους κανονισμούς η θερμοκρασία των δοχείων δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 54 °C, παρά το γεγονός ότι είναι κατασκευασμένα να αντέχουν τρεις φορές πάνω από την πίεση ατμοποίησης στους 54 °C. Τα δοχεία αποθηκείσεως δεν πρέπει να γεμίζονται με υγρό παραπάνω από το 80% της μέγιστης χωρητικότητάς τους. Σε περίπτωση που ένα δοχείο αποθηκείσεως διαρραγεί, το υγρό ψυκτικό μέσο μετατρέπεται σε αέριο, οπότε λόγω της απότομης μεταβολής όγκου προκαλείται βίαιη έκρηξη.

Τα δοχεία αποθηκείσεως δεν πρέπει να βρίσκονται ποτέ κοντά σε πηγές θερμότητας, ειδικά χωρίς επαρκή εξαερισμό. Δεν επιτρέπεται επίσης κατά τη μεταφορά τους να παραμένουν ακάλυπτα στον ήλιο. Το κλείστρο του δοχείου πρέπει να είναι καλυμμένο με μεταλλικό πώμα, διαφορετικά υπάρχει περίπτωση σοβαρού ατυχήματος.

Υπάρχουν τρία είδη κυλίνδρων αποθηκείσεως των ψυκτικών μέσων:

α) Οι **κύλινδροι μιας χρήσεως**, με χωρητικότητα μέχρι 15 kg.

β) Οι **επαναχρησιμοποιούμενοι κύλινδροι**, με χωρητικότητα περίπου 60 kg και

γ) οι **κύλινδροι συλλογής**, που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων ψυκτικών μέσων.

Το χρώμα των κυλίνδρων μιας χρήσεως και των επαναχρησιμοποιούμενων κυλίνδρων δηλώνει το ψυκτικό μέσο που περιέχουν, σύμφωνα με την τυποποίηση των χρωμάτων των ψυκτικών μέσων. Οι κύλινδροι συλλογής είναι βαμμένοι κατά το ήμισυ με γκρι χρώμα και κατά το ήμισυ με κίτρινο. Περισσότερα για την αποθήκευση των ψυκτικών μέσων αναφέρονται στο Κεφάλαιο 10.

4.13 Προφυλάξεις για ασφαλή χειρισμό των ψυκτικών μέσων.

Κατά το χειρισμό των ψυκτικών μέσων είναι απαραίτητο να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας, για την προστασία από ατυχήματα. Αυτά είναι τα εξής:

α) Κατά τις εργασίες συντηρήσεως και ιδιαίτερα κατά την πλήρωση και την εκκένωση μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως με ψυκτικό μέσο, είναι απαραίτητο ο τεχνικός να φέρει προστατευτικά γάντια και γυαλιά, για την προστασία του δέρματος και των ματιών από ξαφνική διαρροή. Η άμεση επαφή με υγρό ψυκτικό μέσο προκαλεί εγκαύματα.

β) Η αμμωνία (R-744) είναι τοξική και το διοξείδιο του άνθρακα (R-764) σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί ασφυξία. Θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση σ' αυτά τα ψυκτικά μέσα. Σε εγκαταστάσεις με αμμωνία, πρέπει να υπάρχουν αναπνευστικές συσκευές και να γίνεται εκπαίδευση για τη χρήση τους. Επίσης, πρέπει να χρησιμοποιούνται λαστιχένια γάντια και μπότες. Σε περίπτωση επαφής αμμωνίας με τα μάτια, πρέπει να ξεπλένονται με καθαρό νερό για 15 λεπτά. Σε περίπτωση έντονου πόνου, μπορεί να τοποθετηθούν στα μάτια μερικές σταγόνες καστορέλαιου. Σε περίπτωση καταπόσεως αμμωνίας θα πρέπει να γίνει καθαρισμός με μεγάλη ποσότητα νερού. Επίσης, μπορεί στο άτομο να χορηγηθεί γάλα ή μείγμα 1 μέρους ξυδιού με 5 μέρη νερό.

γ) Το χρησιμοποιημένο ψυκτικό λάδι και ειδικά το λάδι, το οποίο περιέχεται σε ερμητικούς συμπιεστές, οι οποίοι έχουν υπερθερμανθεί, είναι πολύ όξινο και καρκινογόνο και θα πρέπει να αποφεύγεται η άμεση επαφή με το δέρμα.

δ) Σε περίπτωση υπάρξεως διαρροής, θα πρέπει ο χώρος να αερίζεται πριν την είσοδο του τεχνικού για την επισκευή. Αυτό γίνεται διότι πολλά ψυκτικά μέσα δεν έχουν οσμή και μπορεί να έχουν μεγάλη συγκέντρωση χωρίς να γίνουν αντιληπτά. Σε πολλές περιπτώσεις είναι βαρύτερα από τον αέρα, οπότε συσσωρεύονται στο χώρο και ωθούν τον αέρα προς τα πάνω, με αποτέλεσμα την έλλειψη οξυγόνου. Όταν η περιεκτικότητα του οξυγόνου στον αέρα είναι μικρότερη από 9%, τότε επέρχεται λιποθυμία.

ε) Απαγορεύεται η δοκιμή των ψυκτικών μέσων με τη μυρωδιά από τα δοχεία αποθηκεύσεως. Αυτό μπορεί να αποβεί θανατηφόρο.

στ) Κατά τη συλλογή του ψυκτικού μέσου πρέπει να χρησιμοποιείται εξοπλισμός ανακτίσεως, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες.

ζ) Η συμπλήρωση ψυκτικού μέσου σε μία εγκατάσταση πρέπει να γίνεται μόνο με το ίδιο ψυκτικό μέσο. Η ανάμειξη των ψυκτικών μέσων απαγορεύεται.

η) Απαγορεύεται τα ψυκτικά μέσα να έρχονται σε άμεση επαφή με γυμνή φλόγα, διότι δημιουργούνται τοξικά αέρια. Απαγορεύεται το κάπνισμα και η

χρήση ηλεκτρικών θερμαστρών με διάπυρες αντιστάσεις κατά τις εργασίες με ψυκτικά μέσα.

θ) Τα δοχεία που περιέχουν το ψυκτικό λάδι πρέπει να είναι αεροστεγώς σφραγισμένα, ειδικά για τα ΡΟΕ, ώστε να αποφεύγεται η απορρόφηση υγρασίας.

ι) Οι κύλινδροι αποθηκεύσεως των ψυκτικών μέσων δεν πρέπει να πληρούνται παραπάνω από το 80% της χωρητικότητάς τους. Επίσης, δεν πρέπει να θερμαίνονται και να αφήνονται στον ήλιο. Σε περίπτωση που οι κύλινδροι δεν είναι μιας χρήσεως, θα πρέπει να γίνεται υδραυλική δοκιμή.

4.14 Τα ψυκτικά διαλύματα και οι ιδιότητές τους.

Τα δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα ή αλλιώς ψυκτικά διαλύματα, χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ψυκτικής ισχύος από τον ατμοποιητή στον ψύκτη αέρα που βρίσκεται στον ψυκτικό θάλαμο. Τα ψυκτικά διαλύματα χρησιμοποιούνται όταν τα ψυκτικά φορτία είναι μακριά από το χώρο, όπου βρίσκεται ο συμπυκνωτής. Αυτό γίνεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας τους, χωρίς αλλαγή της καταστάσεώς τους από υγρό σε αέριο ή και αντίστροφα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ψυκτικών διαλυμάτων οι εξής:

α) Οι **άλμες**, δηλαδή διαλύματα από νερό και άλατα, τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα παρά τις διαβρωτικές τους επιδράσεις.

β) Οι **γλυκόλες**, δηλαδή διαλύματα νερού και οργανικών ενώσεων.

Στα πλοία, σε πολλές περιπτώσεις, ο αέρας στο σύστημα κλιματισμού ψύχεται από νερό. Όταν η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι μικρότερη από 0 °C, το νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο μεταφοράς της ψύξεως, οπότε χρησιμοποιούνται άλμες ή γλυκόλες. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ψυκτικά διαλύματα στα πλοία είναι:

α) Άλμη από νερό και **χλωριούχο ασβέστιο** (CaCl₂).

β) Άλμη από νερό και **χλωριούχο νάτριο** (NaCl), που χρησιμοποιείται σπανιότερα γιατί είναι πολύ διαβρωτικό και δεν έχει χαμηλό σημείο τήξεως.

γ) Μείγμα νερού και **προπυλενικής γλυκόλης**.

δ) Μείγμα νερού και **αιθυλικής γλυκόλης**, το οποίο χρησιμοποιείται σπανιότερα γιατί είναι τοξικό.

Τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη ως τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου ψυκτικού διαλύματος είναι:

α) Η χαμηλή θερμοκρασία τήξεως.

β) Η αναφλεξιμότητα και η μετάδοση της φωτιάς.

γ) Η συμβατότητα με τα τρόφιμα.

δ) Η διάβρωση που προκαλούν στις σωληνώσεις και στα υπόλοιπα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασής.

ε) Το κόστος τους, το οποίο πρέπει να είναι μικρό, δεδομένου ότι απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ψυκτικού διαλύματος σε μία εγκατάσταση.

στ) Το ιξώδες, το οποίο πρέπει να είναι χαμηλό, ώστε να μην καταναλώνεται μεγάλη ισχύς από την αντλία κυκλοφορίας.

ζ) Η ειδική θερμοχωρητικότητα, η οποία πρέπει να είναι μεγάλη για να περιορίζεται η αναγκαία παροχή και

η) ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, που πρέπει να είναι μεγάλος, ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση θερμότητας στον ατμοποιητή και στον ψύκτη αέρα.

Όλα τα παραπάνω δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα είναι διαλύματα νερού με ένα άλας ή με μία οργανική ένωση. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση σε άλατα, τόσο χαμηλότερη η θερμοκρασία στην οποία η άλμη παγώνει. Όσο υπάρχει ένα όριο, όπου για μεγαλύτερη συγκέντρωση, η θερμοκρασία στερεοποίησης δεν θα γίνει μικρότερη, αλλά θα αρχίσει να αυξάνεται. Οι ιδιότητες των διαλυμάτων περιγράφονται από το διάγραμμα φάσεων, στο οποίο καθορίζεται η κατάσταση του διαλύματος ανάλογα με τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία. Ένα τυπικό διάγραμμα φάσεων φαίνεται στο σχήμα 4.14α.

Οι καμπύλες στο διάγραμμα φάσεων δεικνύουν τη θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η στερεοποίηση. Από τις καμπύλες αυτές μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για μια περιοχή αναλογιών, το διάλυμα αρχίζει να στερεοποιείται σε θερμοκρασία μικρότερη από 0 °C. Αν υποθέσουμε ότι ένα διάλυμα έχει σύσταση και θερμοκρασία που αναπαρίσταται από το σημείο Α και αρχίζει να ψύχεται. Καθώς η θερμοκρασία του μειώνεται, ο σχηματισμός πάγου θα αρχίσει σε μία θερμοκρασία που ονομάζεται **θερμοκρασία τήξεως** και αναπαρίσταται με το σημείο Β. Σε όλα τα σημεία C θα υπάρχει μείγμα πάγου και υγρού διαλύματος, ενώ στο σημείο D το διάλυμα θα στερεοποιηθεί πλήρως. Παρόμοια θα είναι και η μεταβολή του διαλύματος στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος φάσεων, με τη διαφορά ότι στη μεταβατική κατάσταση, αντί για μείγμα πάγου και διαλύματος, θα υπάρχει μείγμα διαλύματος και στερεοποιημένου άλατος. Το σημείο E, στο οποίο γίνεται άμεση μετάβαση από την υγρή στη στερεή κατάσταση, ονομάζεται **ευθηκτικό σημείο**. Η αύξηση της συγκέντρωσης του

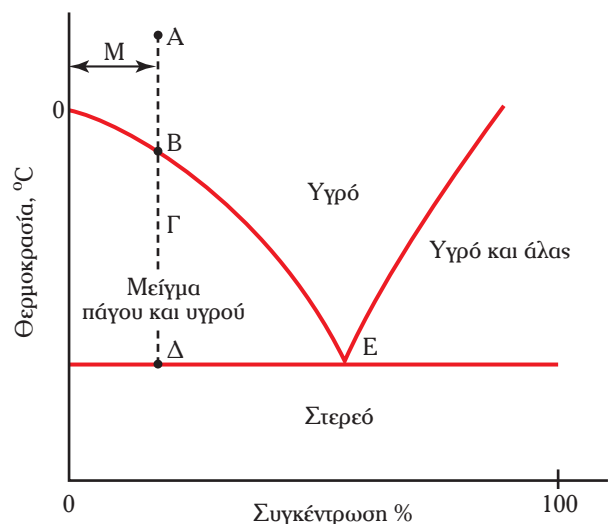
άλατος πέρα από την ευθηκτική δεν έχει νόημα, διότι αυξάνεται η θερμοκρασία τήξεως του διαλύματος.

Η θερμοκρασία τήξεως του ψυκτικού διαλύματος σε μία ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης στον ατμοποιητή. Γι' αυτόν το λόγο, η πυκνότητα του διαλύματος ρυθμίζεται, ώστε η θερμοκρασία τήξεώς του να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου κατά ένα περιθώριο ασφαλείας που είναι τουλάχιστον 12–15 °C. Στο σχήμα 4.14β φαίνονται οι θερμοκρασίες τήξεως ανάλογα με τη συγκέντρωση, για τις άλμες και τις γλυκόλες που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις πλοίων.

Με τη χρήση διαλυμάτων, μία βασική επιδίωξη είναι η αποφυγή της εναποθέσεως ποσότητας πάγου ή στερεοποιημένου άλατος στον ατμοποιητή. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό της συγκεντρώσεως, ώστε το σημείο πήξεως της άλμης να είναι χαμηλότερα από τη θερμοκρασία εξατμίσεως.

Σε θερμοκρασίες κάτω από -35 °C το ιξώδες της άλμης αυξάνεται, οπότε δεν μπορεί να αντληθεί εύκολα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται διαλύματα νερού με τριχλωροαιθυλένιο.

Το άλας του χλωριούχου ασβεστίου, πρέπει να αποθηκεύεται σε σφραγισμένα δοχεία, διότι απορροφάει υγρασία και σχηματίζει δηλητηριώδεις ενώσεις. Επίσης, σε επαφή με το δέρμα προκαλεί εγκαύματα, διότι ενώνεται με την υγρασία του δέρματος και σχηματίζει οξέα. Τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται κατά την προετοιμασία της άλμης είναι η χρήση προστατευτικών γαντιών και γυαλιών, καθώς επίσης και η αποφυγή της χρήσεως πλαστικών



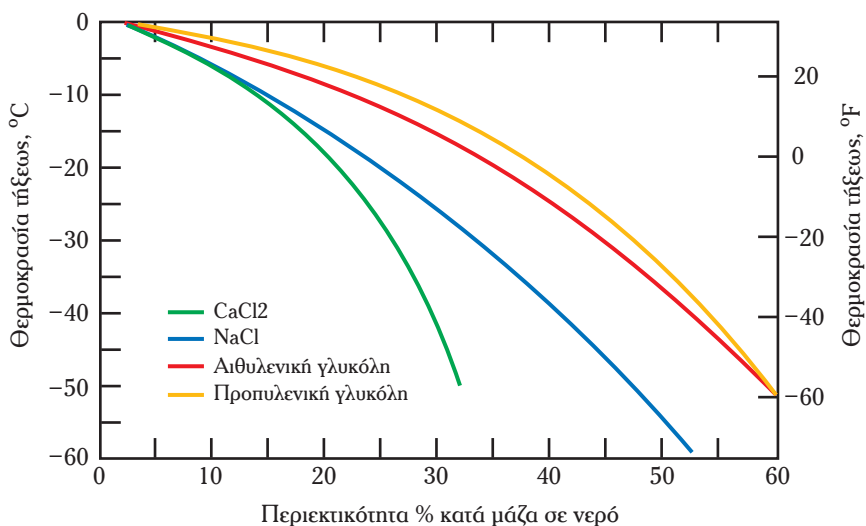
Σχ. 4.14α.

Διάγραμμα φάσεων ψυκτικού διαλύματος.

δοχείων για την ανάμειξη.

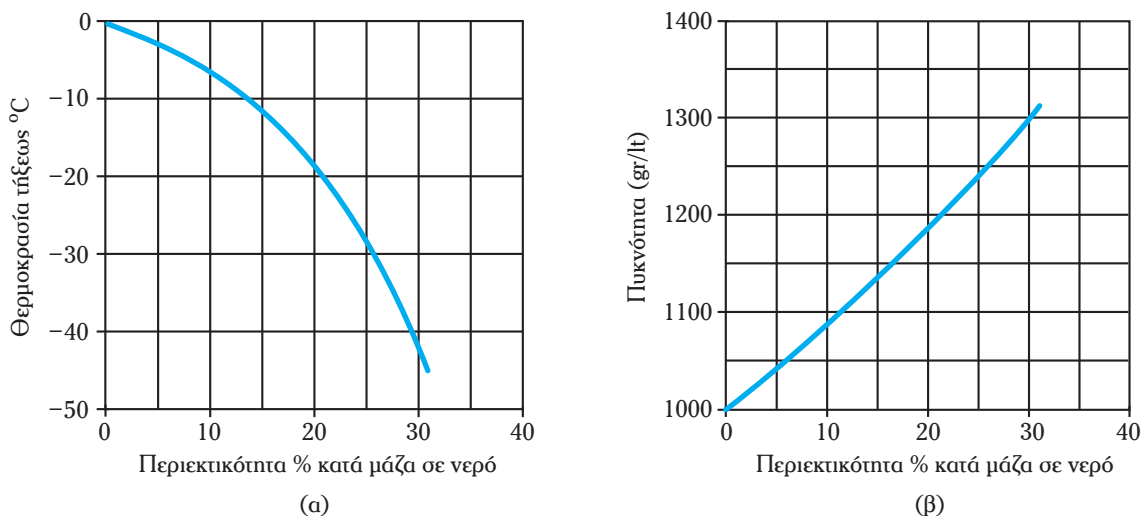
Τα διαλύματα της άλμης του χλωριούχου ασβεστίου είναι αλκαλικά, οπότε έχουν μικρή διαβρωτική δράση. Όταν όμως έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, απορροφούν οξυγόνο και γίνονται όξινα, οπότε η διαβρωτική τους δράση πολλαπλασιάζεται, με αποτέλεσμα την εμπλοκή βαλβίδων σε ανοικτή ή κλειστή θέση και το τρύπημα των σωληνώσεων. Για την αποφυγή της διαβρώσεως, η άλμη πρέπει να διατηρείται αλκαλική με pH 8,5–9,5. Η ρύθμιση της οξύτητας γίνεται με πρόσθετα, όπως το οξειδίο του ασβεστίου (CaCO_3) ή το χρωμιούχο νάτριο ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Η ποσότητα της πρόσθετης ρυθμίσεως της οξύτητας καθορίζεται με καθημερινή μέτρηση του pH, η οποία γίνεται με ένα όργανο.

Μια συγκεκριμένη ποσότητα του διαλύματος τοποθετείται σ' ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Όταν αυτή η ποσότητα αναμειγνύεται με καθορισμένη ποσότητα ενός αντιδραστήριου, το χρώμα που αποκτά συγκρίνεται με μία σειρά από χρώματα που αντιστοιχούν σε προκαθορισμένες οξύτητες. Κατόπιν, ρυθμίζεται η οξύτητα του δείγματος με ταυτόχρονη μέτρηση του πρόσθετου ρυθμίσεως της ποσότητας. Η ποσότητα του μέσου ρυθμίσεως που πρέπει να προστεθεί στην εγκατάσταση υπολογίζεται αναλογικά με την ποσότητα του μέσου ρυθμίσεως που χρησιμοποιήθηκε επί το λόγο της μάζας (ή του όγκου) του διαλύματος της εγκαταστάσεως προς τη μάζα (ή τον όγκο) του διαλύματος του δοκιμαστικού σωλήνα, του οποίου η οξύτητα ρυθμίστηκε. Στο σχήμα 4.14γ εικονίζεται η



Σχ. 4.14β.

Θερμοκρασίες τήξεως των ψυκτικών διαλυμάτων και μειγμάτων που υπάρχουν στα πλοία.



Σχ. 4.14γ.

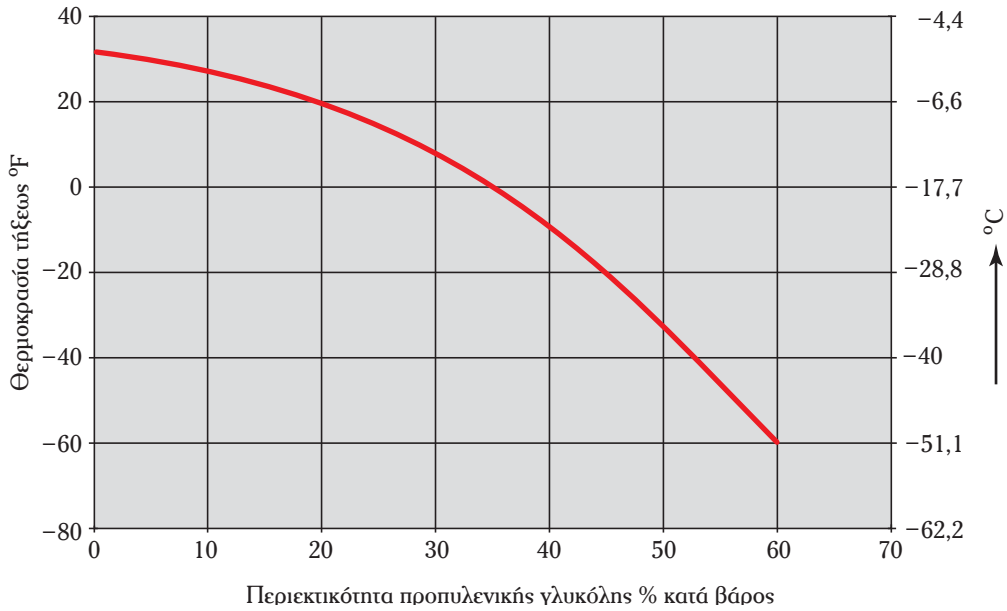
(α) Θερμοκρασία τήξεως και (β) πυκνότητα διαλύματος CaCl_2 ανάλογα με την περιεκτικότητα.

μεταβολή του σημείου τήξεως, για τις άλμες κλωριούχου ασβεστίου, ενώ στο σχήμα 4.14γ(β) η μεταβολή της πυκνότητας με τη συγκέντρωση.

Τα μείγματα γλυκόλης-νερού δεν είναι διαβρωτικά για το χάλυβα, το αλουμίνιο και το χαλκό, αλλά δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται με γαλβανισμένο χάλυβα. Στο σχήμα 4.14δ φαίνεται η μεταβολή του

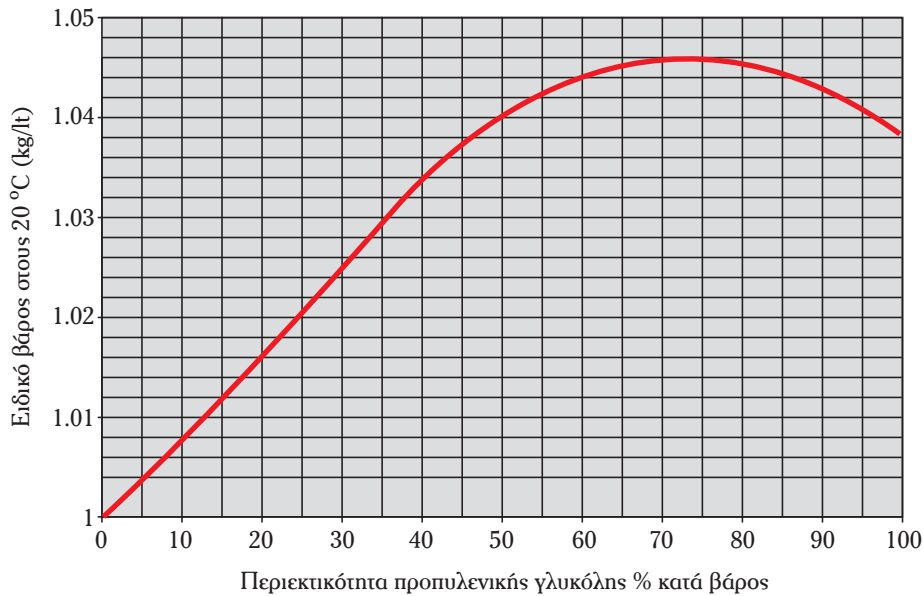
σημείου τήξεως, για τα μείγματα προπυλενικής γλυκόλης, ενώ στο σχήμα 4.14ε παρουσιάζεται η μεταβολή της πυκνότητας με τη συγκέντρωση μείγματος σε θερμοκρασία 20 °C.

Σημειωτέον για τη μετατροπή των °F σε °C και αντίστροφα ισχύουν οι σχέσεις που δίνονται στο Παράρτημα 7.



Σχ. 4.14δ.

Θερμοκρασία τήξεως μείγματος προπυλενικής γλυκόλης-νερού ανάλογα με την περιεκτικότητα.



Σχ. 4.14ε.

Πυκνότητα μείγματος προπυλενικής γλυκόλης-νερού ανάλογα με την περιεκτικότητα.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπιεστές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπυκνωτές – Συλλέκτες υγρού – Απαερίωση ψυκτικών εγκαταστάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Αιμοποιητές ψυκτικών εγκαταστάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Εκτινωπικές διατάξεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 Σωληνώσεις – Βαλβίδες – Εξαρτήματα αυτοματισμού ψυκτικών εγκαταστάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 Λειτουργία – Συντήρηση – Βλάβες ψυκτικών εγκαταστάσεων

Για τη λειτουργία μίας ψυκτικής εγκαταστάσεως απαιτούνται αρκετά διαφορετικά εξαρτήματα τόσο μηχανολογικά, όσο και ηλεκτρολογικά. Για την αντίληψη της λειτουργίας μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως απαραίτητη είναι η γνώση της λειτουργίας των διαφόρων εξαρτημάτων που την απαρτίζουν, καθώς και των αυτοματισμών που ελέγχουν τη λειτουργία των επί μέρους τμημάτων της. Γι' αυτόν το σκοπό στο μέρος αυτό εξετάζονται τα κυριότερα μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα, καθώς και τα εξαρτήματα αυτοματισμού και ρυθμίσεως που απαρτίζουν μία εγκατάσταση παραγωγής ψύξεως. Τα κυριότερα μέρη μιας εγκαταστάσεως, τα οποία και εξετάζονται στο μέρος αυτό του βιβλίου είναι τα εξής: Ο συμπιεστής, ο διαχωριστήρας, ο ρυθμιστής σιάθμης ελαίου, ο συμπυκνωτής, ο συλλέκτης υγρού, το σύστημα απαερίωσης, ο αιμοποιητής, η εκτινωπική βαλβίδα, οι σωληνώσεις, οι διακόπτες δικτύου, ο εναλλάκτης θερμότητας, ο αφυγραντήρας, οι θερμοστατικοί, οι πιεζοστατικοί διακόπτες και τα ηλεκτρολογικά μέρη της εγκαταστάσεως.

Για την επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων σε μια εγκατάσταση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

α) Η δυνατότητα λειτουργίας της εγκαταστάσεως, όταν το ψυκτικό φορτίο μεταβάλλεται από 0% – 100% του ψυκτικού φορτίου σχεδιάσεως της εγκαταστάσεως.

β) Η δυνατότητα ελέγχου και κατάλληλης μεταβολής της ψυκτικής ισχύος.

γ) Η διάταξη της ψυκτικής εγκαταστάσεως (μονοβάθμια, διβάθμια, διαδοχικών κύκλων).

δ) Το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο, η επιλογή του οποίου καθορίζεται από τις πιέσεις και τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

ε) Η λειτουργία της εγκαταστάσεως με άμεση ή με έμμεση ψύξη.

στ) Η ενεργειακή απόδοση της εγκαταστάσεως και η επισκευασιμότητά της.

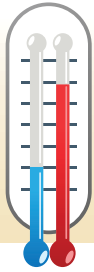
ζ) Το είδος του μέσου που διατίθεται για τη συμπύκνωση του ψυκτικού (π.χ. αέρας, νερό κ.λπ.).

η) Το είδος του συμπιεστή που θα χρησιμοποιηθεί.

θ) Η λειτουργία της εγκαταστάσεως με μεταβλητή απορροφητικότητα ψυκτικού μέσου από το λάδι λιπάνσεως. Η απορροφητικότητα του μέσου από το λάδι μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, ενώ ταυτόχρονα σημαντικό μέρος του λαδιού μπορεί να παρασυρθεί από το ψυκτικό μέσο εκτός του συμπιεστή.



Θερμοστατική εκτινωπική βαλβίδα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπιεστές

5.1 Γενικά περί συμπιεστών.

Ο συμπιεστής σε μία ψυκτική εγκατάσταση χρησιμοποιείται για να συμπιέσει τον ξηρό ατμό, που φεύγει από τον ατμοποιητή και τον εναλλάκτη υποψύξεως-υπερθερμάνσεως έτσι, ώστε να αποκτήσει υψηλή πίεση συμπυκνώσεως. Επί πλέον ο συμπιεστής προκαλεί την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου μέσα στην εγκατάσταση. Οι συμπιεστές διακρίνονται (σχ. 5.1α):

α) **Συμπιεστές θετικής εκτοπίσεως** (positive displacement compressors).

β) **Δυναμικούς συμπιεστές** (dynamic compressors).

Στους συμπιεστές θετικής εκτοπίσεως η συμπίεση του αερίου ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με μηχανική μείωση του όγκου του ατμού. Σε κάθε κύκλο λειτουργίας, ένας πεπερασμένος όγκος ατμού αναρροφάται από ένα εξάρτημα συμπίεσεως και στη συνέχεια μετατοπίζεται προς την κατάθλιψη όπου επικρατεί υψηλή πίεση. Ανάλογα με τη μορφή του εξαρτήματος συμπίεσεως, οι συμπιεστές θετικής εκτοπίσεως κατατάσσονται στις εξής δύο κατηγορίες:

α) **Παλινδρομικοί συμπιεστές** (reciprocating compressors). Στους παλινδρομικούς συμπιεστές, η συμπίεση γίνεται καθώς ο όγκος του μέσου μειώνεται μέσα σ' έναν κύλινδρο από ένα έμβολο. Η μείωση του όγκου, έχει ως συνέπεια την αύξηση της πίεσεως.

β) **Περιστροφικοί συμπιεστές** (rotary compressors). Στους περιστροφικούς συμπιεστές το εξάρτημα συμπίεσεως μπορεί να είναι ένας κύλινδρος, ένας λοβός ή μια ελικοειδής λάμα. Στους περιστροφικούς συμπιεστές περιλαμβάνονται οι συμπιεστές με κινητά περύγια και με σταθερό περύγιο, οι ελικόμορφοι (scroll) και οι ελικοειδείς ή κοχλιωτοί.

Οι **περιστροφικοί** συμπιεστές μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

α) **Περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρον τυ-**

μπάνου με σταθερό περύγιο (rolling piston compressors).

β) **Περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρον τυμπάνου με κινητά περύγια** (rotating vane compressors).

γ) **Περιστροφικοί σπειροειδείς συμπιεστές** (scroll compressors) και

δ) **περιστροφικοί ελικοειδείς ή ελικόμορφοι ή κοχλιωτοί συμπιεστές** (screw compressors), οι οποίοι μπορεί να είναι **δύο στροφείων** (twin screw compressors) ή **μονού στροφείου** (single screw compressors).

Αντίθετα, στους **δυναμικούς συμπιεστές** η συμπίεση του αερίου δεν επιτυγχάνεται με μηχανική μετατόπιση, αλλά με τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του αερίου σε πίεση. Η κυριότερη κατηγορία δυναμικών συμπιεστών είναι οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές, όπου η αύξηση της κινητικής ενέργειας γίνεται σε ακτινική ή σε αξονική ροή, καθώς το αέριο παρασύρεται από μία φτερωτή που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Έτσι, υπάρχουν δυναμικοί συμπιεστές **ακτινικής ροής** ή **φυγοκεντρικοί** και **αξονικής ροής**. Η αύξηση της ταχύτητας του αερίου μετά τη φτερωτή, μετατρέπεται σε αύξηση της πίεσεως, καθώς αυτό επιβραδύνεται σ' έναν κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο με μεγάλη διατομή. Ένας επί πλέον τύπος δυναμικών συμπιεστών είναι οι εγχυτήρες ατμού των ψυκτικών εγκαταστάσεων στον εκτοξευτή ατμού, όπου η επιτάχυνση του ατμού γίνεται με την εκτόνωση ατμού κινήσεως μέσα από μία στενή δίοδο.

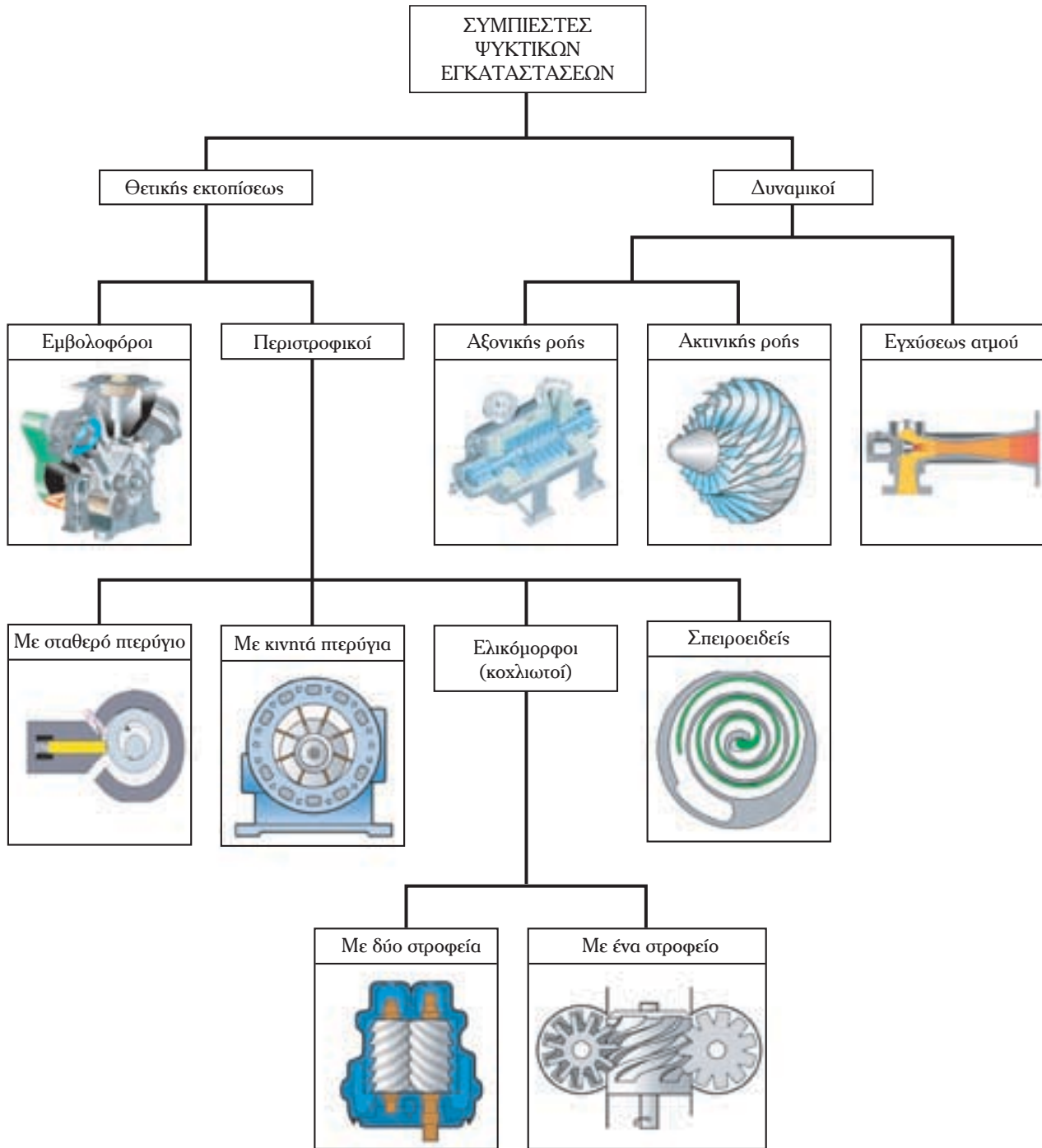
Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η κατασκευή και η λειτουργία των διαφόρων τύπων συμπιεστών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στους εμβολοφόρους δεδομένου ότι είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι στα πλοία. Οι επί πλέον πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή και λειτουργία των συμπιεστών που δεν συναντώνται σε μεγάλη συχνότητα στα πλοία δίνονται στο Παράρτημα 3.

Και οι δύο κύριες κατηγορίες συμπιεστών έχουν συγκριτικά πλεονεκτήματα, τα οποία βαρύνουν στην

επιλογή συμπιεστή ανάλογα με την εφαρμογή. Η επιλογή του συμπιεστή για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης και από το είδος του ψυκτικού μέσου που χρησιμοποιείται.

Στο σχήμα 5.1β παρουσιάζεται η περιοχική εφαρμογή του κάθε τύπου συμπιεστή, ανάλογα με την

ψυκτική ισχύ της εγκατάστασης. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι οι παλινδρομικοί συμπιεστές θετικής εκτοπίσεως είναι αυτοί με τη μεγαλύτερη περιοχική εφαρμογή. Οι συμπιεστές χρησιμοποιούνται σ' όλες τις εφαρμογές εκτός από τις περιπτώσεις όπου το ψυκτικό μέσο είναι χαμηλής πίεσης, οπότε απαιτείται μεγάλη ογκομετρική ικανότητα. Αν και οι



Σχ. 5.1α.

Κατάταξη συμπιεστών ψυκτικών εγκαταστάσεων.

παλινδρομικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται κυρίως σε πιέσεις ατμοποίησης μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική, μπορούν να συναντηθούν σε εφαρμογές χαμηλών και πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία τύπων ή μεγεθών και είναι διαθέσιμοι για ισχύ από 90 W μέχρι 1000 kW. Τέτοιοι συμπιεστές έχουν επικρατήσει στις ψυκτικές εγκαταστάσεις των πλοίων και είναι αυτοί που περιγράφονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο αυτό.

5.2 Εμβολοφόροι παλινδρομικοί συμπιεστές.

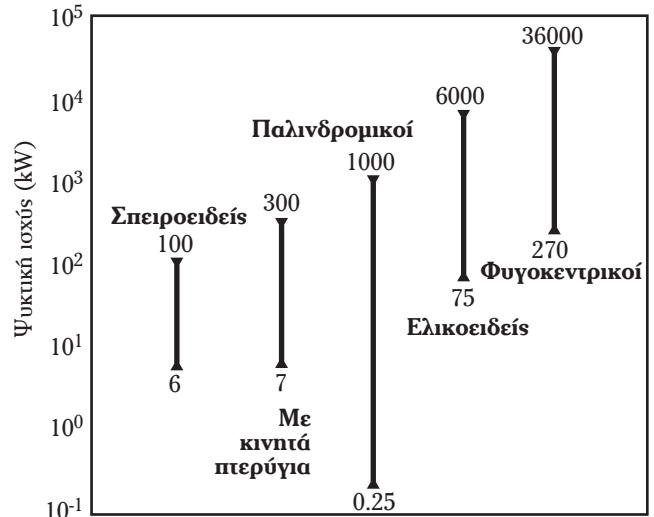
5.2.1 Γενικά – Περιγραφή λειτουργίας.

Οι εμβολοφόροι συμπιεστές αναπτύχθηκαν στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, όταν η κίνησή τους γινόταν από παλινδρομικές ατμομηχανές συνδεδεμένες σε σειρά με το διωστήρα και το έμβολο συμπίεσης. Οι πρώτοι παλινδρομικοί συμπιεστές ήταν διπλής ενέργειας αλλά, λόγω διαρροών αερίου από το ωστήριο, στη συνέχεια επικράτησαν οι παλινδρομικοί συμπιεστές απλής ενέργειας, όπου η μοναδική θέση πιθανής διαρροής ήταν στο κέλυφος, στο σημείο διελεύσεως του κινητήριου στροφαλοφόρου άξονα. Σήμερα, για τη μείωση των διαρροών οι περισσότεροι εμβολοφόροι συμπιεστές περιέχουν τον ηλεκτροκινητήρα και το συμπιεστή σ' ένα στεγανό κλειστό δοχείο.

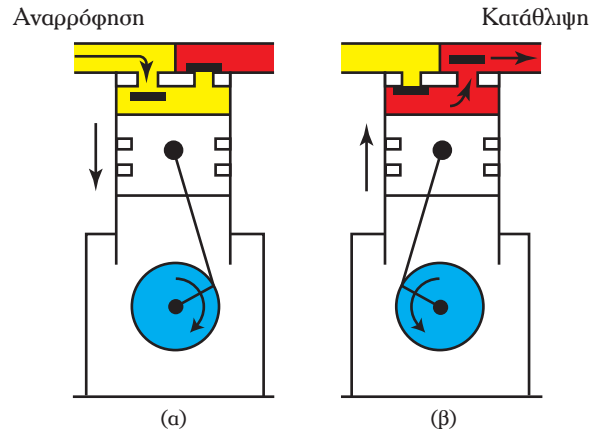
Οι εμβολοφόροι συμπιεστές κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και σε διαφορετικούς τύπους σε καθ' έναν απ' τους οποίους αλλάζει η ταχύτητα περιστροφής, ο αριθμός των κυλίνδρων και η διάταξη συνδέσεως με τον ηλεκτρικό κινητήρα. Το έμβολο παλινδρομεί μέσα σ' έναν κύλινδρο, ο οποίος απομονώνεται από το χώρο αναρροφήσεως και από το χώρο καταθλίψεως με τις βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως αντίστοιχα. Οι χρόνοι λειτουργίας των συμπιεστών είναι δύο, η αναρρόφηση [σχ. 5.2α(α)] και η κατάθλιψη [σχ. 5.2α(β)].

Οι βαλβίδες δεν έχουν μηχανική εξαναγκασμένη κίνηση, αλλά φορτίζονται από ελατήρια για να μένουν σε κλειστή θέση. Ενεργοποιούνται από τη διαφορά πίεσεως που δημιουργείται στις δύο πλευρές τους (σχ. 5.2β). Η φάση της αναρροφήσεως αρχίζει όταν το έμβολο βρίσκεται στο **άνω νεκρό σημείο** (Α.Ν.Σ.) και αρχίζει να κατεβαίνει. Η πίεση στο χώρο του κυλίνδρου πέφτει κάτω από την πίεση του χώρου αναρροφήσεως και ανοίγει η βαλβίδα αναρροφήσεως.

Καθώς το έμβολο συνεχίζει να κατεβαίνει ο χώρος εμβολισμού γεμίζει από αέριο. Όταν το έμβολο



Σχ. 5.1β.
Εφαρμογή των διαφόρων τύπων συμπιεστών.



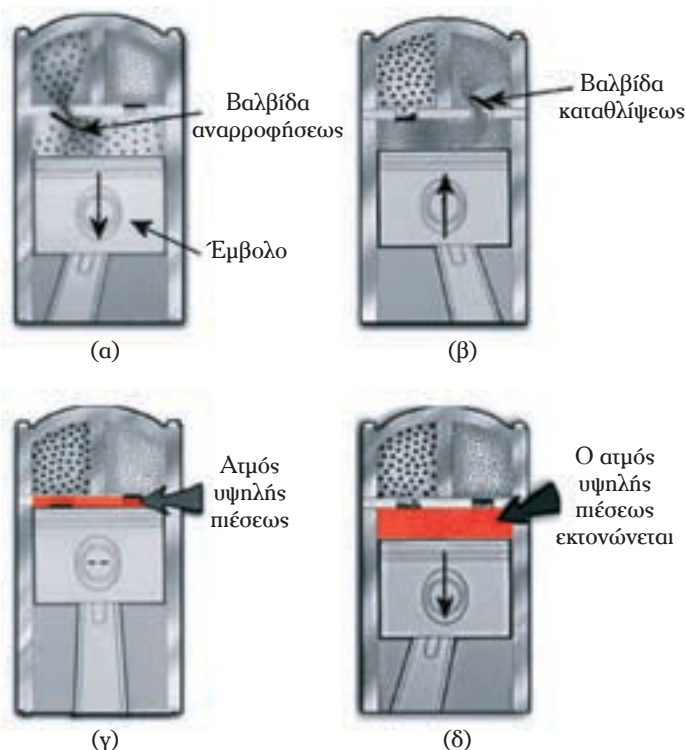
Σχ. 5.2α.
Χρόνοι εμβολοφόρου συμπιεστή.
(α) Αναρρόφηση και (β) κατάθλιψη.

φτάσει στο **κάτω νεκρό σημείο** (Κ.Ν.Σ.) και αρχίζει να ανεβαίνει ξεκινάει η φάση της συμπίεσης. Καθώς ο όγκος μειώνεται, η πίεση στο χώρο εμβολισμού αυξάνεται η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει. Όταν η πίεση γίνει μεγαλύτερη από την πίεση του χώρου καταθλίψεως, ανοίγει η βαλβίδα καταθλίψεως και το συμπιεσμένο αέριο μεταφέρεται προς τη πλευρά του συμπυκνωτή. Για να αποτρέπεται η κρούση του εμβόλου, στην κεφαλή όλοι οι εμβολοφόροι συμπιεστές έχουν ένα διάκενο μεταξύ του εμβόλου στο Α.Ν.Σ. και της κεφαλής του κυλίνδρου ή της βαλβιδοφόρου πλάκας. Ο όγκος του χώρου αυτού ονομάζεται **όγκος διακένου**. Καθώς το έμβολο βρίσκεται στο Α.Ν.Σ. ο όγκος διακένου μένει γεμάτος από ατμό υψηλής πίεσεως [σχ. 5.2β(γ)]. Ο ατμός αυτός στην αρχή της φάσεως αναρροφήσεως διαστέλλεται με συνέπεια

τη μείωση του όγκου του ατμού που αναρροφάται σε κάθε κύκλο λειτουργίας. Αυτό συνεπάγεται μείωση της ογκομετρικής αποδόσεως του συμπιεστή.

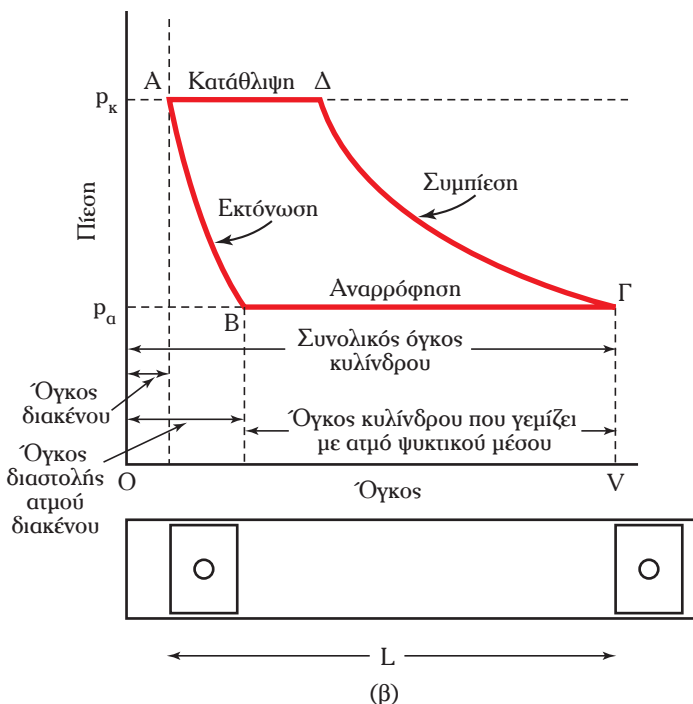
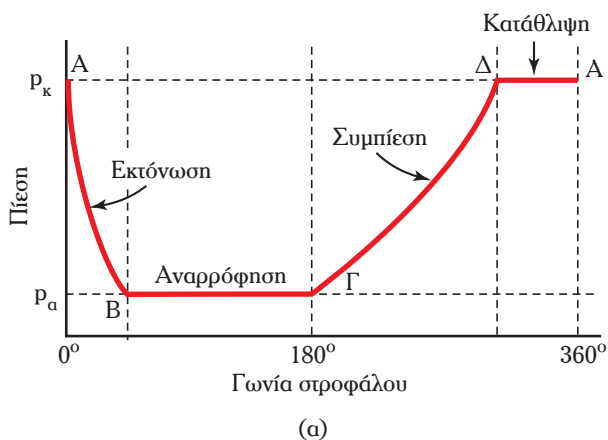
Στο σχήμα 5.2γ(α) παρουσιάζεται η διαδικασία της συμπίεσης σε διάγραμμα της πίεσης σε συνάρτηση με τη γωνία του στροφάλου. Στο σχήμα 5.2γ(β) δίνεται το διάγραμμα πίεσης-όγκου $p-V$ για έναν κύκλο λειτουργίας του συμπιεστή.

Το σημείο Α αντιστοιχεί στη θέση του εμβόλου στο Α.Ν.Σ. Οι βαλβίδες στο σημείο Α είναι και οι δύο κλειστές, δεδομένου ότι η πίεση στον όγκο διακένου είναι μεγαλύτερη απ' την πίεση αναρροφήσεως, ενώ η βαλβίδα καταθλίψεως κλείνει από το ελατήριό της. Καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω, ο ατμός στο χώρο διακένου εκτονώνεται και η πίεσή του μειώνεται. Στο σημείο Β, η πίεση στο χώρο του κυλίνδρου είναι λίγο μικρότερη από την πίεση αναρροφήσεως, οπότε ανοίγει η βαλβίδα αναρροφήσεως. Η ροή προς το χώρο του κυλίνδρου ξεκινάει στο σημείο Β και συνεχίζεται μέχρι το σημείο Γ που αντιστοιχεί στο Κ.Ν.Σ., οπότε και το έμβολο αρχίζει να ανεβαίνει. Καθώς ο όγκος του ατμού ελαττώνεται, η πίεσή του αυξάνεται μέχρι το σημείο Δ, όπου είναι λίγο μεγαλύτερη από την πίεση του χώρου καταθλίψεως. Στο σημείο Δ ανοίγει η βαλβίδα καταθλίψεως και αρχίζει η μεταφορά του συμπιεσμένου ατμού προς το χώρο καταθλίψεως, μέχρι ο κύλινδρος να επιστρέψει στο σημείο Α.



Σχ. 5.2β.

Παλινδρομικός συμπιεστής: (α) Φάση αναρροφήσεως, (β) φάση καταθλίψεως, (γ) το έμβολο στο Α.Ν.Σ. και (δ) εκτόνωση εγκλωβισμένου ατμού στην αρχή της αναρροφήσεως.



Σχ. 5.2γ.

(α) Διάγραμμα p -γωνίας στροφάλου, (β) διάγραμμα $p-V$ ενός κύκλου συμπίεσης.

5.2.2 Ογκομετρική παροχή – Ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως.

Η ογκομετρική παροχή εμβολισμού του συμπιεστή ορίζεται ως ο όγκος που εμβολίζεται από τον κύλινδρο στη μονάδα του χρόνου. Για ένα συμπιεστή με k κυλίνδρους της ίδιας βαθμίδας συμπίεσης n θεωρητική ογκομετρική παροχή $\dot{V}_{εμβ}$ εξαρτάται από τη διάμετρο D , το μήκος εμβολισμού L και τις στροφές n :

$$\dot{V}_{εμβ} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot n \cdot k \quad (1)$$

Για τις μονάδες που χρησιμοποιούνται συνήθως, η σχέση (1) γίνεται:

$$\dot{V}_{εμβ} = \frac{D^2 \cdot L \cdot n \cdot k}{76.394,2} \quad (2)$$

όπου: $\dot{V}_{εμβ}$, η θεωρητική ογκομετρική παροχή σε lt/sec , D , η διάμετρος του κυλίνδρου σε cm , L , το μήκος εμβολισμού σε cm , n , οι στροφές σε rpm , k , ο αριθμός των κυλίνδρων.

Λόγω των απωλειών και της υπάρξεως του όγκου διακένου η πραγματική ογκομετρική παροχή του συμπιεστή $\dot{V}_{οσμπ}$ είναι μικρότερη από τη θεωρητική ογκομετρική παροχή. Ο λόγος της πραγματικής ογκομετρικής παροχής στην αναρρόφηση προς τη θεωρητική ογκομετρική παροχή εμβολισμού του συμπιεστή, ονομάζεται **ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή**, n_v :

$$n_v = \frac{\dot{V}_{οσμπ}}{\dot{V}_{εμβ}} \quad (3)$$

Η παροχή μάζας του ατμού στην αναρρόφηση μπορεί να υπολογιστεί από την πραγματική ογκομετρική παροχή και τον ειδικό όγκο του ατμού στην αναρρόφηση:

$$\dot{V}_{οσμπ} = \dot{m} \cdot v_1 \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{V}_{οσμπ}}{v_1} \quad (4)$$

Η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του κυλίνδρου αυξάνεται λόγω της συμπίεσης. Έτσι, η θερμότητα μεταδίδεται στον ατμό στη φάση της αναρροφήσεως. Αυτός διαστέλλεται, με συνέπεια τη μείωση της ογκομετρικής αποδόσεως του συμπιεστή. Η θερμοκρασία του κυλίνδρου αυξάνεται με την αύξηση του λόγου συμπίεσης. Συνήθως, για τη μείωση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου υπάρχουν αερόψυκτα περύγια εξωτερικά του κυλίνδρου. Εναλλακτικά, μπορεί ο κύλινδρος και η κεφαλή να είναι υδρόψυκτοι.

Στην περίπτωση που οι έδρες των βαλβίδων δεν κλείνουν τέλεια, μπορεί να γίνει επιστροφή του αερίου μέσω της βαλβίδας καταθλίψεως, από το χώρο καταθλίψεως προς τον κύλινδρο, όταν αυτός είναι στη φάση της αναρροφήσεως. Επίσης υπάρχει επιστροφή του αερίου μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως από τον κύλινδρο προς το χώρο αναρροφήσεως. Αυτές οι διαρροές έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ογκομετρικής αποδόσεως του συμπιεστή.

Ένας κύριος παράγοντας, που όπως θα δούμε επηρεάζει σημαντικά την ογκομετρική απόδοση των εμβολοφόρων συμπιεστών, είναι ο λόγος συμπίεσης που ορίζεται ως ο λόγος της πίεσεως καταθλίψεως p_k προς την πίεση αναρροφήσεως p_a :

$$\lambda = \frac{p_k}{p_a} \quad (5)$$

Παράδειγμα 1.

Ένας δικύλινδρος συμπιεστής περιστρέφεται με $n = 1500 \text{ rpm}$. Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι $D = 5 \text{ cm}$ και η διαδρομή είναι $L = 6 \text{ cm}$. Αν η πραγματική ογκομετρική παροχή του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή είναι $\dot{V}_{οσμπ} = 18,5 \text{ m}^3/h$, να υπολογίσετε:

- Τη θεωρητική ογκομετρική παροχή $\dot{V}_{εμβ}$ του συμπιεστή και
- τον ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως n_v .

Λύση.

α) Η θεωρητική ογκομετρική παροχή προκύπτει με αντικατάσταση των δεδομένων στη σχέση (2):

$$\dot{V}_{εμβ} = \frac{D^2 \cdot L \cdot n \cdot k}{76.394,2} = \frac{5^2 \cdot 6 \cdot 1500 \cdot 2}{76.394,2} = 5,89 \text{ lt / sec}$$

β) Για πραγματική ογκομετρική παροχή στην αναρρόφηση $\dot{V}_{οσμπ} = 18,5 \text{ m}^3/h$, ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως βρίσκεται από την εξίσωση (3) ως εξής:

$$\dot{V}_{οσμπ} = 18,5 \frac{\text{m}^3}{h} = 18,5 \frac{1000 \text{ lt}}{3600 \text{ sec}} = 5,14 \frac{\text{lt}}{\text{sec}} \quad \text{και}$$

$$n_v = \frac{5,14}{5,89} = 0,872$$

Άρα $n_v = 87,2\%$.

5.2.3 Ισχύς συμπίεσης – Ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως παλινδρομικού συμπιεστή.

Η ενεργειακή απόδοση της συμπίεσης συγκρίνεται με την ισχύ που απαιτείται για τη θεωρητική

ισεντροπική συμπίεση. Η θεωρητική ισχύς της ισεντροπικής συμπίεσης \dot{W}_Θ προκύπτει από το διάγραμμα p-h του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου ως εξής:

$$P_\Theta = \dot{m} \cdot (h_\kappa - h_a) \quad (6)$$

όπου h_a, h_κ είναι η ειδική ενθαλπία του ατμού στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη αντίστοιχα.

Η πραγματική ισχύς συμπίεσης \dot{W}_Σ είναι μεγαλύτερη λόγω των απωλειών που υπάρχουν στο συμπιεστή και προέρχονται από τις εξής αιτίες:

- Απώλειες στον ηλεκτρικό κινητήρα.
- Απώλειες τριβών στα έδρανα, στον κύλινδρο και στην αντλία λαδιού.
- Διαρροές από το χώρο καταθλίψεως και ογκομετρικές απώλειες.

Ο ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως της συμπίεσης n_Σ είναι ο λόγος της θεωρητικής ισεντροπικής ισχύος \dot{W}_Θ προς την πραγματική ισχύ συμπίεσης \dot{W}_Σ :

$$n_\Sigma = \frac{P_\Theta}{P_\Sigma} \quad (7)$$

Για τον υπολογισμό του ολικού βαθμού αποδόσεως του συμπιεστή πρέπει να ληφθούν υπόψη οι μηχανικές απώλειες λόγω τριβών και οι απώλειες στον ηλεκτρικό κινητήρα. Έτσι ο συνολικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή είναι:

$$n_{ολ.} = n_{el} \cdot n_m \cdot n_\Sigma \quad (8)$$

όπου: $n_{ολ.}$, ο ολικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή, n_{el} , ο βαθμός αποδόσεως του ηλεκτρικού κινητήρα, n_m , ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως, n_Σ , ο ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως.

Έτσι αν το θεωρητικό έργο συμπίεσης είναι:

$$P_\Theta = \dot{m} \cdot (h_\kappa - h_a) \quad (9)$$

η ηλεκτρική ισχύς που απορροφάει ο κινητήρας από το δίκτυο είναι:

$$P_{n\lambda} = \frac{P_\Theta}{n_{ολ.}} = \frac{P_\Theta}{n_{el} \cdot n_m \cdot n_\Sigma} \quad (10)$$

Στην πράξη πρέπει να αναμένονται 10% απώλειες στον κινητήρα, 10% απώλειες τριβών και 10% απώλειες διαρροών και ογκομετρικές. Ένας ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως $n_\Sigma = 70\%$, είναι ο βέλτιστος που μπορεί να παρατηρηθεί σ' ένα συνηθισμένο εμβολοφόρο συμπιεστή. Κατά συνέπεια, ο ολικός βαθμός αποδόσεως είναι περίπου 56%.

Παράδειγμα 2.

Ένας παλινδρομικός συμπιεστής σε μία εγκα-

τάσταση με R-134a αναρροφάει κορεσμένο ατμό θερμοκρασίας $T_\psi = -20^\circ\text{C}$. Η θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_\Sigma = 38^\circ\text{C}$. Ο ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως είναι $n_\Sigma = 65\%$ και η ογκομετρική παροχή στην αναρρόφηση $\dot{V}_{ουμπ} = 9,4 \text{ lt/sec}$. Υπολογίστε το λόγο συμπίεσης λ , την πραγματική ισχύ συμπίεσης P_Σ και την ηλεκτρική ισχύ $P_{n\lambda}$, όταν ο μηχανικός και ο ηλεκτρικός βαθμός αποδόσεως είναι: $n_{el} = n_m = 90\%$.

Λύση.

Οι συνθήκες του ατμού στην αναρρόφηση (1) και στην κατάθλιψη (2) προκύπτουν από το διάγραμμα p-h του R-134a.

Αναρρόφηση (σημείο 1)	Κατάθλιψη (σημείο 2)
$p_1 = 132,67 \text{ kPa}$	$p_2 = 964,14 \text{ kPa}$
$v_1 = 0,1474 \text{ m}^3/\text{kg}$	
$h_1 = 386,8 \text{ kJ/kg}$	$h_2 = 435 \text{ kJ/kg}$
$s_1 = 1,7422 \text{ kJ/kgK}$	$s_2 = 1,7422 \text{ kJ/kgK}$

Ο λόγος συμπίεσης είναι:

$$\lambda = \frac{p_\kappa}{p_a} = \frac{964,14 \text{ kPa}}{132,67 \text{ kPa}} = 7,26$$

Η παροχή μάζας του ατμού στην αναρρόφηση υπολογίζεται από την ογκομετρική παροχή και τον ειδικό όγκο:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{\dot{V}_{ουμπ}}{v_1} = \frac{9,4 \text{ lt/sec}}{0,1474 \text{ m}^3/\text{kg}} = \frac{9,4 \text{ lt/sec}}{0,1474 \cdot 1000 \text{ lt/kg}} = \\ &= 0,06377 \text{ kg/sec} = 229,58 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Η θεωρητική ισχύς συμπίεσης P_Θ είναι:

$$\begin{aligned} P_\Theta &= \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \\ &= 0,06377 \text{ kg/sec} \cdot (435 - 386,8) \text{ kJ/kg} = 3,073 \text{ kW} \end{aligned}$$

Η πραγματική ισχύς συμπίεσης P_Σ είναι:

$$P_\Sigma = \frac{P_\Theta}{n_\Sigma} = \frac{3,073 \text{ kW}}{0,65} = 4,73 \text{ kW}$$

Η ηλεκτρική ισχύς είναι:

$$P_{n\lambda} = \frac{P_\Theta}{n_{ολ.}} = \frac{P_\Theta}{n_{el} \cdot n_m \cdot n_\Sigma} = \frac{3,073 \text{ kW}}{0,65 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 5,84 \text{ kW}$$

5.2.4 Παράγοντες που επιδρούν στην ογκομετρική και στην ισεντροπική απόδοση παλινδρομικού συμπιεστή – Καμπύλες λειτουργίας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή είναι:

- α) Το διάκενο συμπίεσεως.
- β) Ο στραγγαλισμός στις βαλβίδες.
- γ) Η θερμοκρασία του κυλίνδρου.
- δ) Οι διαρροές από τις βαλβίδες και
- ε) οι διαρροές από το έμβολο.

Η επίδραση όλων των παραπάνω παραγόντων μεγαλώνει όταν αυξάνεται ο λόγος συμπίεσεως λ .

Λόγω της υπάρξεως του διακένου η αναρρόφηση ξεκινάει πιο αργά. Η διαστολή του ατμού που εγκλωβίζεται στο χώρο διακένου στην αρχή της αναρροφήσεως έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της δημιουργίας διαφοράς πιέσεως με την αναρρόφηση. Έτσι η αύξηση του διακένου συνεπάγεται την απώλεια μέρους της διαδρομής αναρροφήσεως, πράγμα που σημαίνει μικρότερη συμπιεζόμενη ποσότητα ατμού σε κάθε κύκλο.

Η ροή του ατμού μέσα από τις βαλβίδες πραγματοποιείται μόνο εφόσον υπάρχει διαφορά πιέσεως στην είσοδο και στην έξοδο της βαλβίδας. Καθώς ο ατμός ρέει μέσα από τη βαλβίδα, υπάρχει πτώση πιέσεως λόγω των τριβών, η οποία ισούται με τη διαφορά πιέσεως στις δύο πλευρές της βαλβίδας. Λόγω της πτώσεως της πιέσεως υπάρχει αύξηση του ειδικού όγκου και κατά συνέπεια στον όγκο εμβολισμού εισέρχεται μικρότερη μάζα ατμού στην αναρρόφηση. Έτσι, η πτώση πιέσεως έχει ως αποτέλεσμα να εξέρχεται λιγότερη μάζα ατμού στη φάση καταθλίψεως. Γι' αυτόν το λόγο, γίνεται προσπάθεια από τους κατασκευαστές ο στραγγαλισμός στις βαλβίδες να είναι μικρός και η ροή κατά το δυνατόν ελεύθερη, ενώ τα ελατήρια σχεδιάζονται να έχουν μικρή τάση.

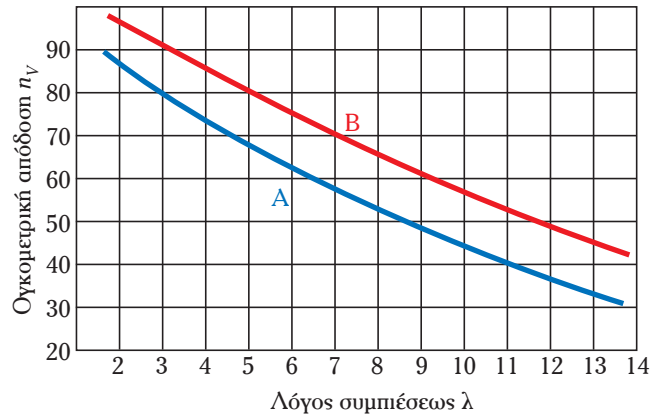
Η ογκομετρική απόδοση του κάθε συμπιεστή, εκτός από το λόγο συμπίεσεως, εξαρτάται από τη σχεδίαση και από το είδος του ψυκτικού μέσου. Για έναν τυπικό συμπιεστή αλογονούχων ψυκτικών μέσων μεσαίου μεγέθους, η μεταβολή της ογκομετρικής αποδόσεως η_v με το λόγο συμπίεσεως λ φαίνεται με την καμπύλη Α (σχ. 5.2δ), ενώ με την καμπύλη Β φαίνεται η ογκομετρική απόδοση για ένα μεγάλο 8-κύλινδρο συμπιεστή. Από τη σύγκριση των καμπυλών Α και Β μπορούμε να συμπεράνομε ότι η ογκομετρική απόδοση αυξάνεται με το μέγεθος του

συμπιεστή, ενώ οι μεγάλοι συμπιεστές έχουν 5% – 10% καλύτερη ογκομετρική απόδοση από τους συμπιεστές μικρού και μεσαίου μεγέθους.

Στο σχήμα 5.2ε φαίνεται η μεταβολή του ισεντροπικού βαθμού αποδόσεως η_s σε σχέση με τη μεταβολή του λόγου συμπίεσεως λ , για έναν τυπικό εμβολοφόρο συμπιεστή.

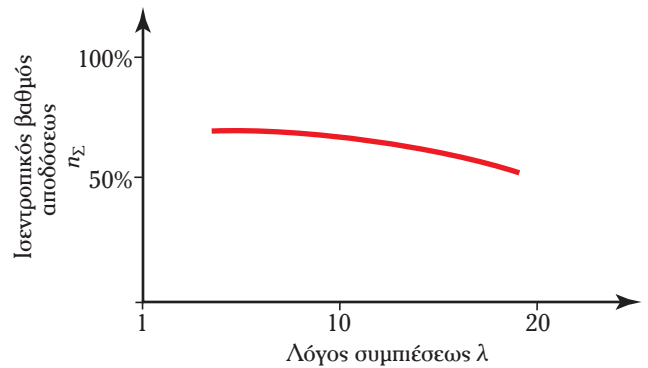
Η ισχύς συμπίεσεως και η ψυκτική ικανότητα αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης, ενώ η ειδική ισχύς συμπίεσεως μειώνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2στ.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των εμβολοφόρων συμπιεστών είναι η θερμοκρασία συμπυκνώσεως, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στο σχήμα 5.2ζ φαίνεται η μεταβολή της ψυκτικής ικανότητας, της ισχύος που δίνεται από τον ηλεκτροκι-



Σχ. 5.2δ.

Επίδραση του λόγου συμπίεσεως στην ογκομετρική απόδοση: (α) Εμβολοφόρων συμπιεστών μέσης ισχύος, (β) μεγάλων εμβολοφόρων συμπιεστών.



Σχ. 5.2ε.

Μεταβολή του ισεντροπικού βαθμού αποδόσεως η_s εμβολοφόρου συμπιεστή, σε σχέση με τη μεταβολή του λόγου συμπίεσεως λ .

νητήρα στο συμπιεστή και της ισχύος ανά ψυκτικό τόνο σε σχέση με τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως, και για σταθερή θερμοκρασία ατμοποίησης. Από το σχήμα 5.2ζ μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως, η οποία συμβαίνει σε θερμά κλίματα, προκαλεί μείωση της ψυκτικής ικανότητας και παράλληλη αύξηση της ισχύος που καταναλώνει ο συμπιεστής. Ταυτόχρονα, η απαιτούμενη ισχύς ανά μονάδα ψυκτικής ικανότητας αυξάνεται, αλλά με ρυθμό μικρότερο από το ρυθμό αύξησης της ισχύος, λόγω της μείωσης της ψυκτικής ικανότητας.

Για να περιγράψουν την απόδοση των συμπιεστών, οι κατασκευαστές δίνουν διαγράμματα της ψυκτικής ικανότητας και της ισχύος, με τη μεταβο-

λή της θερμοκρασίας αναρροφήσεως, για σταθερή θερμοκρασία συμπυκνώσεως. Για παράδειγμα, στο σχήμα 5.2η φαίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα αποδόσεως ενός τετρακύλινδρου ανοικτού παλινδρομικού συμπιεστή. Οι καμπύλες αποδόσεως του σχήματος προέκυψαν με τις εξής υποθέσεις:

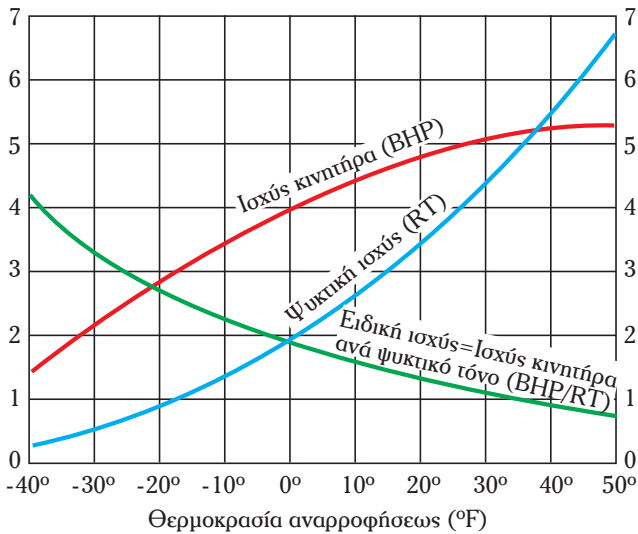
- α) Αριθμός στροφών στροφαλοφόρου άξονα: 1200 rpm.
- β) Κορεσμένος ατμός στην αναρρόφηση.
- γ) Μηδενική υπόψυξη υγρού.
- δ) Θερμοκρασία συμπυκνώσεως 95 °F (35 °C).

5.2.5 Τύποι εμβολοφόρων συμπιεστών.

Ανάλογα με τις δυνατότητες απουναρμολογήσεως και επισκευής μπορούμε να διακρίνομε τρεις τύπους εμβολοφόρων συμπιεστών: τους ερμητικούς, τους ημηρεμητικούς και τους ανοικτούς.

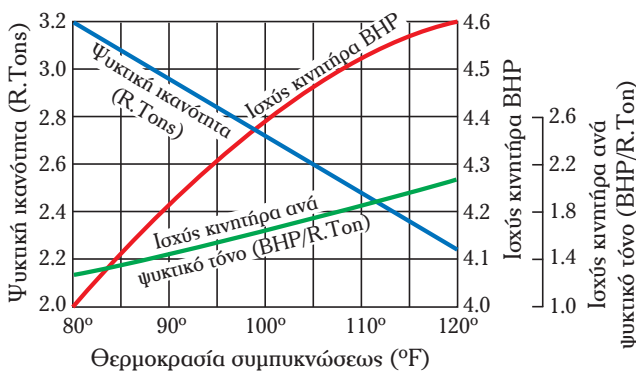
1) Ερμητικοί συμπιεστές.

Οι ερμητικοί συμπιεστές (σχ. 5.2θ) περιλαμβάνουν τον ηλεκτρικό κινητήρα και τα μηχανικά μέρη κλεισμένα σε ένα σφραγισμένο μεταλλικό κέλυφος. Έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για διάταξη στεγανότητας του άξονα και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν διαρροές του ψυκτικού μέσου προς την ατμόσφαιρα. Επί πλέον, περιορίζεται το κόστος εγκαταστάσεως δεδο-



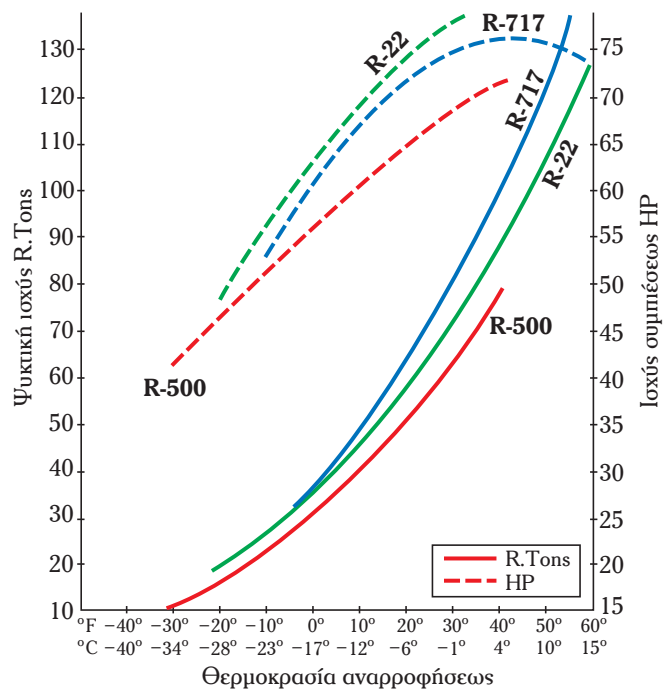
Σχ. 5.2στ.

Επίδραση της θερμοκρασίας αναρροφήσεως στην ψυκτική ικανότητα και στην ισχύ συμπιέσεως παλινδρομικού συμπιεστή.



Σχ. 5.2ζ.

Μεταβολή αποδόσεως ενός τύπου εμβολοφόρων συμπιεστών με τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως.



Σχ. 5.2η.

Καμπύλες αποδόσεως ενός τύπου ανοικτού εμβολοφόρου συμπιεστή ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσο.

μένου ότι απαιτείται μόνο η σύνδεση των σωλήνων αναρροφήσεως και καταθλίψεως, η δημιουργία κενού, η πλήρωση με ψυκτικό μέσο και η σύνδεση με την ηλεκτρική παροχή. Το μειονέκτημα της διατάξεως είναι ότι καθώς το κέλυφος είναι συγκολλημένο, δεν υπάρχει δυνατότητα επισκευής και μερικής αντικατάσεως χαλασμένων μερών (σχ. 5.20).

Η ηλεκτρική σύνδεση των ερμητικών συμπιεστών γίνεται σε ένα εξωτερικό κουτί, στο οποίο υπάρχουν ακροδέκτες. Αυτοί συνδέονται με αγωγούς που διέρχονται από το στεγανό κέλυφος και συνδέονται εσωτερικά με τον ηλεκτροκινητήρα (σχ. 5.21).

Οι ερμητικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε μικρές εγκαταστάσεις και ανάλογα με την ισχύ του ηλεκτρικού κινητήρα που περιέχουν, κατατάσσονται σε:

α) Ερμητικούς συμπιεστές κλασματικής ισχύος, με ισχύ από 1/15 PS – 1/6 PS και



Σχ. 5.20.

Ερμητικοί παλινδρομικοί συμπιεστές.

β) μεγάλους ερμητικούς συμπιεστές, με ισχύ έως 10 PS.

Οι κλασματικοί ερμητικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε μικρά οικιακά ψυγεία και καταψύκτες, καθώς και σε μικρά κλιματιστικά. Στους ερμητικούς συμπιεστές το λάδι λιπάνσεως περιέχεται στο κέλυφος, ενώ οι στροφές περιστροφής τους για δίκτυο 50 Hz είναι 1450 rpm ή 2800 rpm. Οι ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές κατασκευάζονται με διάφορους αριθμούς κυλίνδρων. Συνήθως είναι μονοκύλινδροι [σχ. 5.21α (α)], ενώ συχνά απαντώνται δικύλινδροι [σχ. 5.21α (β)] και τετρακύλινδροι συμπιεστές [σχ. 5.21α (γ)].

Στο σχήμα 5.21β παρουσιάζονται δύο τύποι ερ-



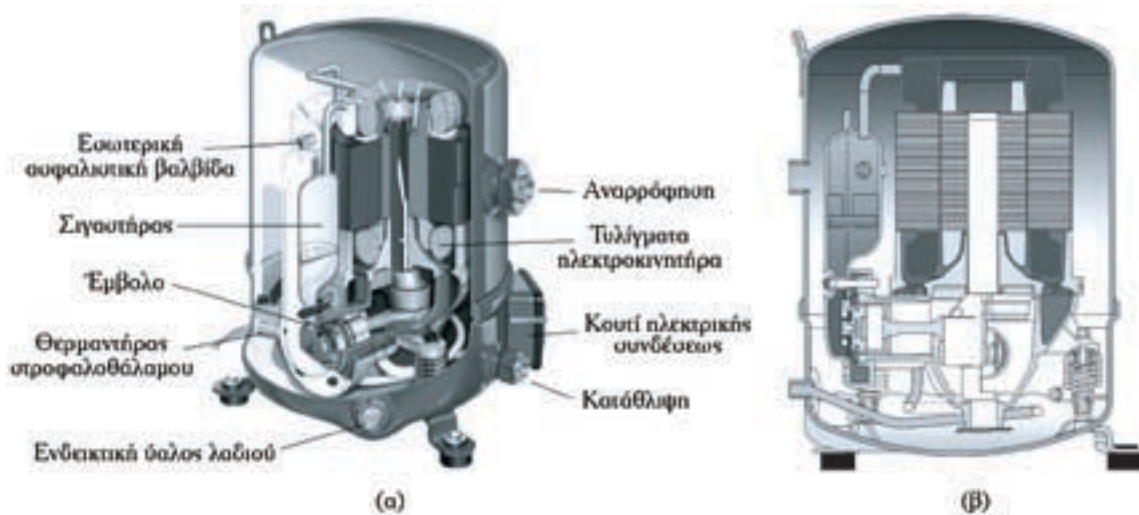
Σχ. 5.21.

Θέση ηλεκτρικής συνδέσεως ερμητικού συμπιεστή.



Σχ. 5.21α.

(α) Μονοκύλινδρος, (β) δικύλινδρος, (γ) τετρακύλινδρος ερμητικός συμπιεστής σε τομή.



Σχ. 5.2β.

(α) Πλάγια όψη ερμητικού εμβολοφόρου συμπιεστή και (β) ερμητικός εμβολοφόρος συμπιεστής σε τομή.

μπικών συμπιεστών σε τομή. Η ηλεκτρική παροχή συνδέεται σ' ένα κουτί στο πλάι του κελύφους, ενώ ο άξονας του ηλεκτρικού κινητήρα συνδέεται σε σειρά με το στρόφαλο και το διωστήρα. Ο κύλινδρος και ο στάτορας του κινητήρα είναι τοποθετημένοι σε μία βάση που αναρτάται από το κέλυφος με ελατήρια για μείωση των κραδασμών και του θορύβου. Το αέριο εισέρχεται μέσα στο κέλυφος όπου ψύχει τα μεταλλικά μέρη και μετά τη συμπίεση στον κύλινδρο περνάει από ένα σιγαστήρα, όπου εκτός από τη μείωση του θορύβου γίνεται και διαχωρισμός του λαδιού, ώστε να μην παρασυρθεί στο ψυκτικό κύκλωμα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας για ισχύ πάνω από 5 kW είναι τριφασικός. Η λίπανση των κινουμένων μερών στους μικρούς συμπιεστές γίνεται με παφλασμό, ενώ στους μεγαλύτερους υπάρχει εξαρτημένη αντλία λαδιού. Στην κατάθλιψη και σε ορισμένες περιπτώσεις στην αναρρόφηση τοποθετούνται σιγαστήρες (σχ. 5.2ιγ). Ο ρόλος του σιγαστήρα είναι να ομαλοποιείται η ροή του αερίου και να γίνεται κατά το δυνατόν χρονικά σταθερή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου και των κραδασμών που προκαλούνται από την κρούση της ροής στα τοιχώματα.

Οι ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές χρησιμοποιούνται με τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα και κυρίως με τα ψυκτικά μέσα R-134a και R-22. Είναι ικανοί να λειτουργούν αξιόπιστα για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς καμμία απαίτηση συντηρήσεως, ενώ έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και εγκαταστάσεως. Είναι ευαίσθητοι σε μεταβολές της τάσεως του ρεύματος, διότι σε πιθανές υπερτάσεις υπάρχει με-

γάλη πιθανότητα να βραχυκυκλωθούν οι περιελίξεις του κινητήρα. Για το λόγο αυτό κατά την εγκατάσταση ερμητικών συμπιεστών πρέπει να τοποθετούνται προστατευτικά υπερτάσεως στο ηλεκτρικό κύκλωμα τροφοδοσίας τους. Επί πλέον, οι κατασκευαστές τοποθετούν εσωτερικές προστατευτικές διατάξεις στους κινητήρες. Σε περίπτωση βλάβης του συμπιεστή, είναι πιθανή η εισχώρηση λαδιού και ρυπαντών στο ψυκτικό κύκλωμα, το οποίο θα πρέπει στη συνέχεια να καθαριστεί.

Κατά την κατασκευή τους οι ερμητικοί συμπιεστές γεμίζονται με αέριο, συνήθως άζωτο ή παλαιότερα R-11, έτσι ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση υγρασίας. Πριν την εγκατάσταση ο συμπιεστής συνδέεται με συγκόλληση με τους σωλήνες αναρροφήσεως



Σχ. 5.2ιγ.

Σιγαστήρες ερμητικού εμβολοφόρου συμπιεστή.

και καταθλίψεως. Στη συνέχεια, πριν την πλήρωση με ψυκτικό μέσο απαιτείται η επίτευξη υψηλού κενού κάτω από 1 mbar. Για την πλήρη αφαίρεση της υγρασίας το κενό πρέπει να διατηρηθεί τουλάχιστον για μία ώρα, έτσι ώστε να εξατμιστεί όλη η ποσότητα των υδρατμών. Στη συνέχεια, πρέπει η εγκατάσταση να πληρωθεί με νέο ψυκτικό μέσο.

Κατά την εγκατάσταση των ερμητικών συμπιεστών απαιτείται να λαμβάνεται μέριμνα για τη σωστή κλίση των σωληνώσεων, ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα να γεμίσουν από υγρό μέσο κατά το χρόνο διακοπής της λειτουργίας τους και να εξασφαλίζεται επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή. Σχετικές οδηγίες δίνουν οι κατασκευαστές (σχ. 5.21δ).

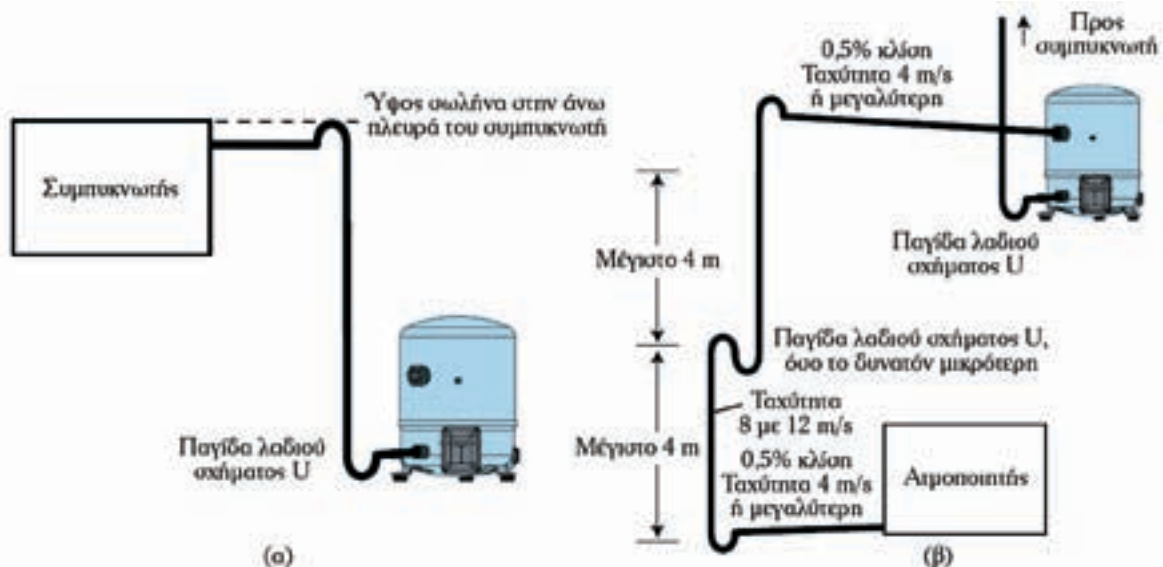
Για μεγαλύτερη ευκολία στην εγκατάσταση, στο εμπόριο διατίθενται και ερμητικοί συμπιεστές σε κοινή βάση με αερόψυκτο συμπυκνωτή, σε μονάδες που ονομάζονται **μονάδες συμπυκνώσεως** (condensing units). Οι μονάδες συμπυκνώσεως, (σχ. 5.21ε) περιλαμβάνουν αφυγραντή, φίλτρο και συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου, ενώ συνδέονται με δύο **βαλβίδες συντηρήσεως** (service valves) με τον ατμοποιητή.

2) Ημερημτικοί συμπιεστές.

Σε μεγαλύτερα μεγέθη, οι συμπιεστές των ψυκτικών εγκαταστάσεων είναι ημερημτικοί. Στη διάταξη αυτή ο ηλεκτρικός κινητήρας και τα μηχανικά μέρη είναι τοποθετημένα σ' ένα κοινό σώμα, το οποίο εί-

ναι ανοιγόμενο. Ο κινητήρας στους περισσότερους ημερημτικούς συμπιεστές δεν απομονώνεται στεγανά από τα μηχανικά μέρη, αλλά χωρίζεται μ' ένα έδρανο. Το ψυκτικό μέσο στους περισσότερους ημερημτικούς συμπιεστές αναρροφάται στο χώρο των περιελίξεων και ρέει μέσα απ' αυτές για να τις ψύχει. Στη συνέχεια, μέσω μιας διόδου οδηγείται από το χώρο του κινητήρα προς τις βαλβίδες αναρροφήσεως που συνήθως βρίσκονται στην κεφαλή. Με τη σχεδίαση αυτή, υπάρχει η δυνατότητα εξαρμόσεως, ενώ ταυτόχρονα καλύπτεται η ανάγκη για ψύξη των κινουμένων μερών. Η κατασκευή είναι ακριβότερη απ' αυτήν των ερμητικών συμπιεστών. Επίσης λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους, οι ημερημτικοί συμπιεστές έχουν μεγαλύτερο ισηντροπικό βαθμό αποδόσεως από τους ερμητικούς, περίπου κατά 7%. Στους πολυκύλινδρους συμπιεστές μπορεί να ελέγχεται η ογκομετρική ικανότητα και η ισχύς με αποφόρτιση ενός ή περισσότερων κυλίνδρων. Επίσης, μπορεί να γίνεται αποφόρτιση των κυλίνδρων κατά την εκκίνηση, ώστε να μειώνεται η απαιτούμενη ροπή εκκίνησης. Ο τύπος ημερημτικού συμπιεστή του σχήματος 5.21στ κατασκευάζεται με 2 – 8 κυλίνδρους για ηλεκτρική ισχύ από 1,5 kW μέχρι 77 kW, ενώ έχει τη δυνατότητα λειτουργίας στο 100-75-50% της ονομαστικής ισχύος με αποφόρτιση των κυλίνδρων.

Το κέλυφος των ημερημτικών συμπιεστών διαιρείται σε δύο μέρη, τα οποία περικλείουν το ηλεκτρικό και το μηχανικό τμήμα και κλείνουν στεγανά με



Σχ. 5.21δ.

Οδηγίες τοποθετήσεως ερμητικού παλινδρομικού συμπιεστή.

(α) Χαμηλότερα από το συμπυκνωτή, (β) ψηλότερα από τον ατμοποιητή.

παρεμβύσματα και βίδες. Η μετάδοση της κινήσεως στο στρόφαλο γίνεται απευθείας απ' τον κινητήρα. Λόγω της διατάξεως, η διέλευση του άξονα γίνεται μόνο ανάμεσα στα δύο τμήματα, ενώ στα άκρα υπάρχουν καλύμματα, τα οποία μπορούν να εξαρμολζονται, ώστε να υπάρχει πρόσβαση του τεχνικού.

Με τους ημιαερμιακούς συμιαεστές υπερκελίζεται το μειονέκτημα των ερμιακών και παρέχεται δυνατότητα επισκευής. Η επισκευή γίνεται με άνοιγμα του μηχανικού μέρους, το οποίο καλύπτεται από μία πλάκα, που δεν έχει στεγανή διέλευση άξονα και κλείνει με κοιλίες που βιδώνουν περιμετρικά στο κέλυφος. Κατασκευάζονται για μεσαίες ιπποδυνάμεις, ενώ η ισχύς του κινητήρα μπορεί να φτάσει μέχρι τα 300 kW. Είναι φτηνότεροι από τους ανοικτούς συμιαεστές, ενώ ταυτόχρονα είναι πιο συμπαγείς και έχουν μικρότερες διαστάσεις. Χρησιμοποιούνται για όλα τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα και κυρίως για τα R-22, R-134a, R404a, R-507. Η συμιαεση είναι μονοβάθμια, ενώ για εφαρμογές με χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης, κατασκευάζονται ημιαερμιακοί συμιαεστές με διβάθμια συμιαεση.

3) Ανοικτοί συμιαεστές.

Στους ανοικτούς συμιαεστές τα μηχανικά μέρη (στρόφαλος, διωστήρες, έμβολα κ.λπ.) βρίσκονται σ' ένα κέλυφος χωριστά από τον κινητήρα. Η άτρακτος διέρχεται από το κέλυφος και συνδέεται με τον κινητήρα απευθείας ή μέσω ιμάντα. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για ύπαρξη **διατάξεως στεγανοποίησης** (shaft seal) στο σημείο διελεύσεως του άξονα, ώστε να αποτρέπεται η διαρροή του ψυκτικού μέσου, το οποίο υπάρχει στο στροφαλοθάλαμο, προς την ατμό-

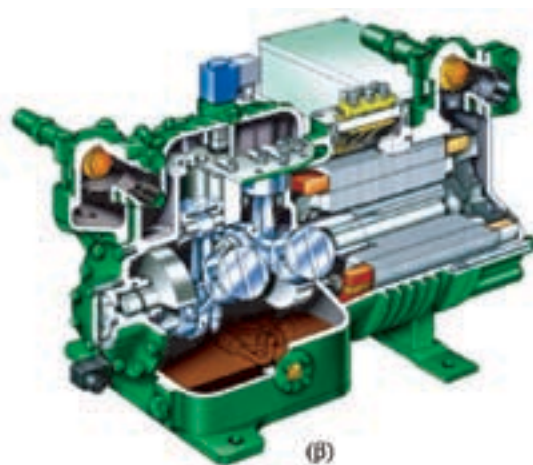


Σχ. 5.2ιε.

Μονάδα συμιακνώσεως.

σφαιρα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ανεξάρτητος, κοινού τύπου και άρα φτηνότερος. Επίσης, με την κατάλληλη επιλογή μεγέθους της τροχαλίας του ιμάντα είναι δυνατή η ρύθμιση των στροφών του συμιαεστή στο επιθυμητό επίπεδο. Οι ανοικτοί συμιαεστές χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ιπποδυνάμεις, όταν είναι οικονομικά ασύμφορος ο εγκλεισμός του ηλεκτρικού κινητήρα σ' ένα ημιαερμιακό κέλυφος. Λόγω της δυνατότητας ρυθμίσεως των στροφών, η γραμμική ταχύτητα του εμβόλου είναι μικρή και δημιουργούνται λίγες φθορές. Συνήθως ο ηλεκτρικός κινητήρας δίνει κίνηση σε μία φτερωτή που δημιουργεί ρεύμα αέρα για την ψύξη του συμιαεστή. Το έδρανο του στροφάλου, το οποίο είναι στην κλειστή μεριά λέγεται **πίσω έδρανο** και είναι το σταθερό έδρανο που αναλαμβάνει και τις αξονικές δυνάμεις. Το έδρανο στη μεριά της συνδέσεως με τον κινητήρα είναι το **εμπρός έδρανο** και είναι ολισθαίνον.

Λόγω της αποσυζεύξεως του μηχανικού από το ηλεκτρικό μέρος, οι ανοικτοί κινητήρες χρησιμο-



Σχ. 5.2ισι.

(α) Ημιαερμιακός συμιαεστής. (β) Ημιαερμιακός συμιαεστής σε τομή.

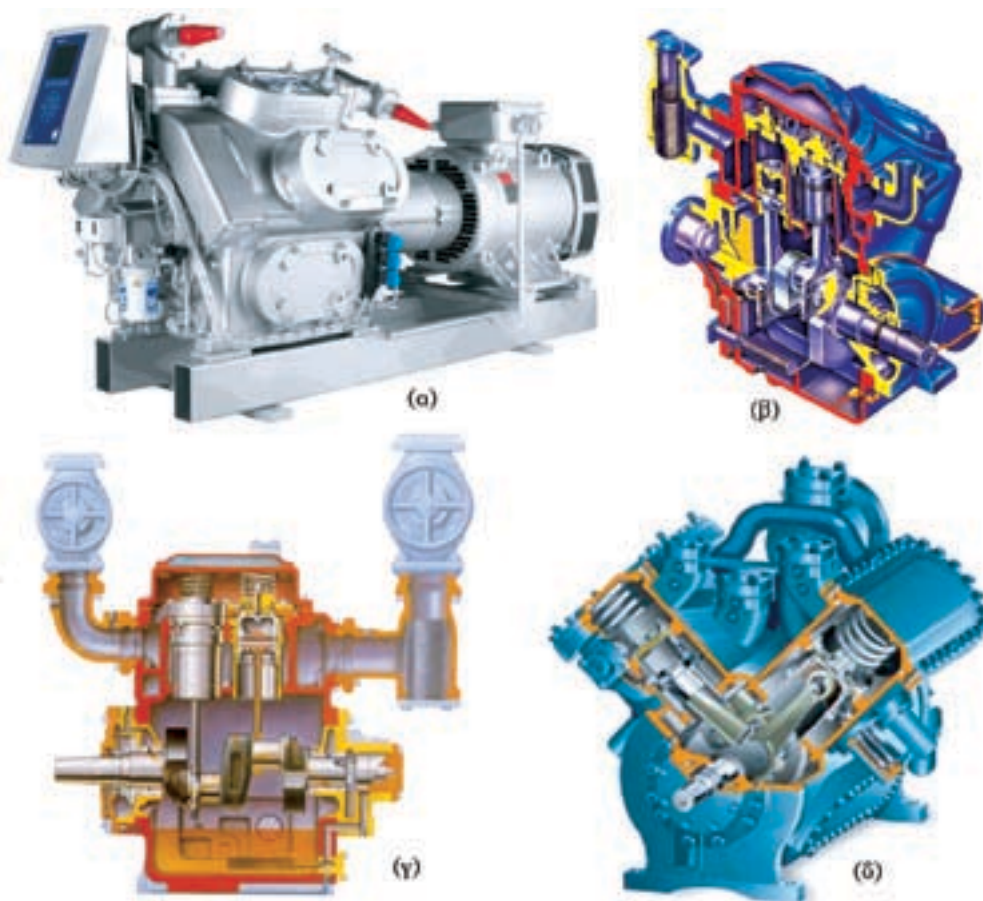
ποιούνται σε ψυκτικά μέσα που είναι διαβρωτικά ή εκρηκτικά (π.χ. αμμωνία, προπάνιο κ.λπ.). Ο ατμός που εισέρχεται στην αναρρόφηση είναι πιθανό να μεταφέρει ακαθαρσίες του συστήματος, ιδιαίτερα σε μία νέα εγκατάσταση ή μετά από μια επισκευή. Γι' αυτόν το λόγο στην αναρρόφηση υπάρχει ένα μεταλλικό φίλτρο, ώστε να προστατεύονται τα μεταλλικά μέρη από φθορές. Το φίλτρο αυτό είναι προσβάσιμο, ώστε να καθαρίζεται εύκολα. Στο σχήμα 5.2ιζ(α) φαίνεται ένας ανοικτός συμπιεστής με 8 κυλίνδρους, ο οποίος παίρνει κίνηση απευθείας από τον κινητήρα, ενώ το συγκρότημα περιλαμβάνει και το διαχωριστήρα ελαίου. Στα σχήματα 5.2ιζ(β), (γ) και (δ) φαίνονται διάφοροι ανοικτοί συμπιεστές σε τομή. Στο σχήμα 5.2ιη εικονίζεται ένα ανοικτός συμπιεστής, όπου έχουν σημανθεί τα σημαντικότερα τμήματά του.

Στο σχήμα 5.2ιθ εικονίζεται το κατασκευαστικό σχέδιο ενός ανοικτού παλινδρομικού συμπιεστή, ενώ στο σχήμα 5.2κ φαίνεται η συναρμολόγηση του

σώματος και του εμβόλου-διωστήρα ενός 8-κύλινδρου συμπιεστή.

Στο σχήμα 5.2κα φαίνεται το ανάπτυγμα σώματος και εμβόλου-διωστήρα για ένα άλλο τύπο ανοικτού συμπιεστή.

Σημαντική για τη λειτουργία των ανοικτών συμπιεστών είναι η διάταξη στεγανοποίησης του στροφαλοφόρου άξονα, η οποία χρειάζεται για να μην υπάρχει διαρροή του ψυκτικού μέσου ή είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα στην εγκατάσταση, όταν η πίεση αναρροφήσεως είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Η παλαιότερη μέθοδος στεγανοποίησης που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα σε μεγάλους συμπιεστές αμμωνίας είναι ο στυπιοθλίπτης, που τοποθετείται σε μια κυλινδρική υποδοχή, από την οποία διέρχεται ο άξονας. Μέσα στην υποδοχή βρίσκεται το στυπίο, το οποίο συμπιέζεται από ένα εξωτερικό κυλινδρικό εξάρτημα και εκτονώνεται στα τοιχώματα και πάνω στον περιστρεφόμενο άξονα, αποτρέποντας έτσι τη διαρροή. Αυτή η διάταξη δεν είναι



Σχ. 5.2ιζ.

Διάφοροι τύποι ανοικτών εμβολοφόρων συμπιεστών σε τομή.

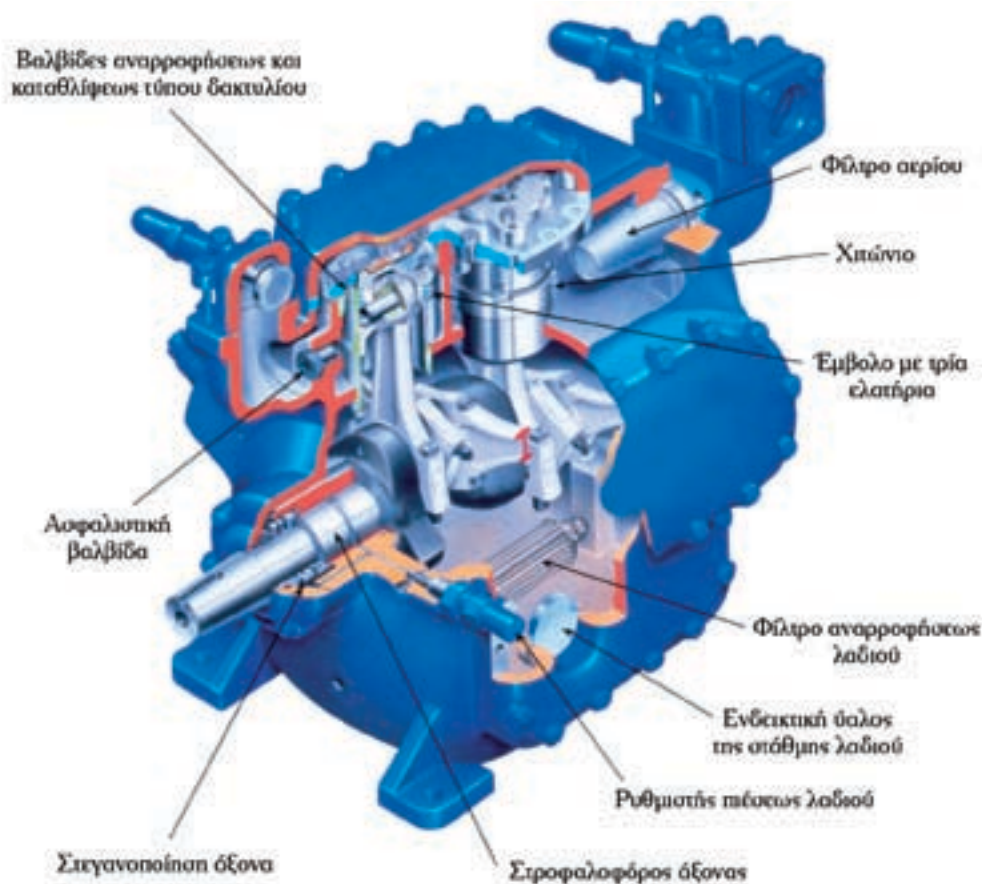
λειτουργική, διότι απαιτεί συνεχή επιθεώρηση και σφίξιμο των κοχλιών συμπίεσης.

Στους σύγχρονους ανοικτούς εμβολοφόρους συμπιεστές, η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με διατάξεις όπως αυτή του σχήματος 5.2κβ, οι οποίες μπορούν αυτόματα να εξισορροπούν τις φθορές των υλικών στεγανοποίησης, ενώ διατηρούν τη στεγανότητα όταν ο άξονας περιστρέφεται ή είναι ακίνητος. Επί πλέον οι διατάξεις στεγανοποίησης είναι επισκευάσιμες και τα αναλώσιμα υλικά αντικαθίστανται εύκολα.

Σε μικρότερους συμπιεστές χρησιμοποιείται το σύστημα στεγανοποίησης με σταθερή φυσούνα, η οποία περιλαμβάνει στο ένα άκρο της ελαστικό δακτύλιο, ενώ το άλλο άκρο στεγανοποιείται με φλάντζα. Ο ελαστικός δακτύλιος πιέζεται στον άξονα, ο οποίος είναι το μόνο περιστρεφόμενο τμήμα (σχ. 5.2κγ).

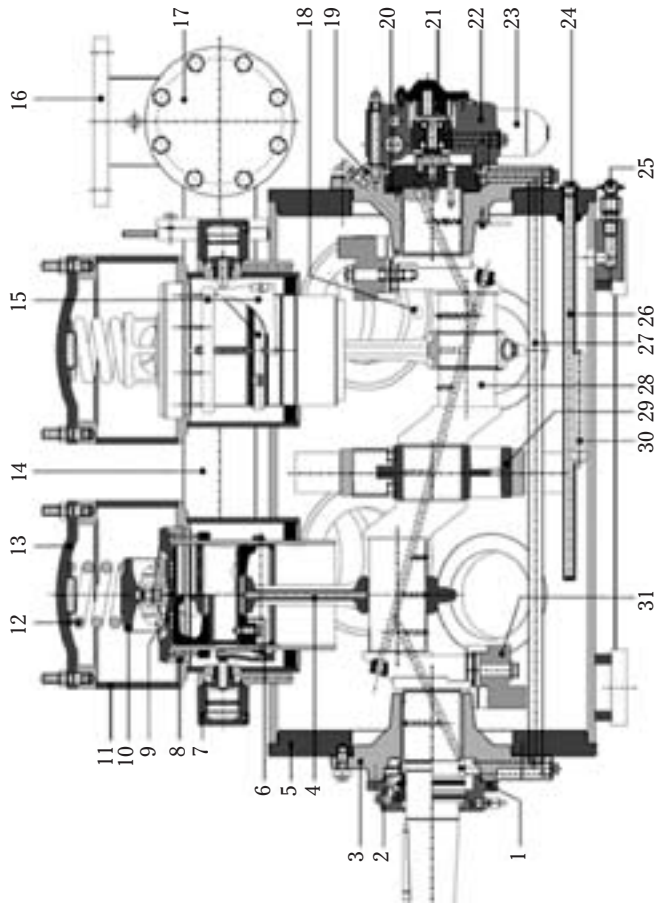
Η διάταξη στεγανοποίησης του σχήματος 5.2κδ, η οποία έχει την ευρύτερη εφαρμογή, είναι διαμορφωμένη σαν ένα αφαιρούμενο εξάρτημα, το

οποίο βιδώνεται πάνω στο κέλυφος του συμπιεστή. Υπάρχει ένα ελατήριο, το οποίο εδράζεται πάνω στον άξονα και συμπιέζει μία ροδέλα στεγανοποίησης πάνω σε μία ακίνητη καλύβδινη έδρα. Η ροδέλα στεγανοποίησης αποτελείται από χαλκό ή άνθρακα και τοποθετείται στεγανά πάνω στον άξονα με ένα συνθετικό παρέμβυσμα. Το ελατήριο συμπιέζει τη ροδέλα στεγανοποίησης πάνω σε μία έδρα από χάλυβα που είναι γυαλισμένος, ώστε να μην υπάρχουν διαρροές. Ανάμεσα στη ροδέλα και στη καλύβδινη έδρα δημιουργείται λιπαντική μεμβράνη, η οποία εξασφαλίζει μικρές φθορές και πλήρη στεγανότητα. Η ύπαρξη του λιπαντικού λαδιού εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι η διάταξη στεγανότητας είναι πλήρως βυθισμένη στο λάδι της ελαιολεκάνης ή με τροφοδοσία της διατάξεως από την αντλία λαδιού του συμπιεστή. Σε περιπτώσεις ακινησίας του άξονα, μπορεί να υπάρξει διαρροή, όταν η ροδέλα στεγανότητας έχει υποστεί υπερβολική φθορά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η στεγανοποίηση γίνεται σε τρία σημεία:

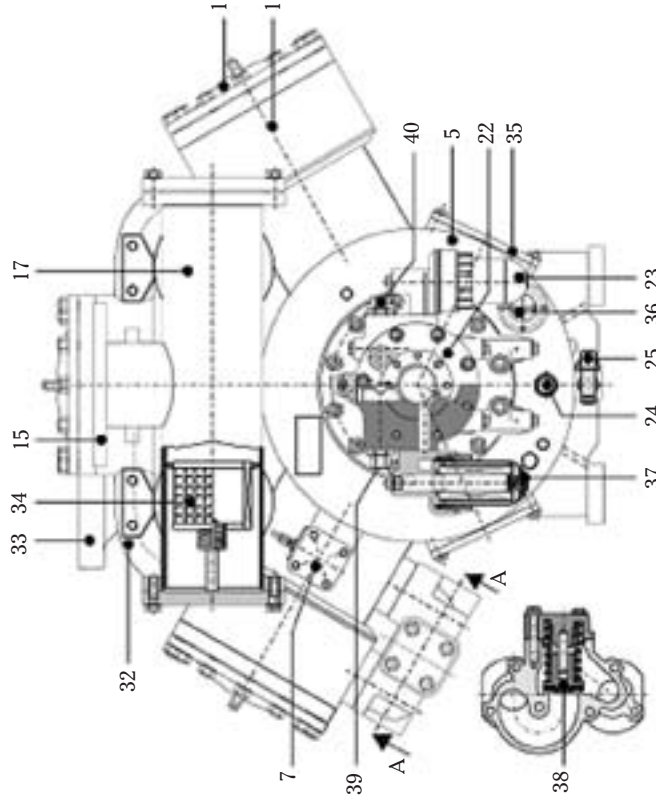


Σχ. 5.2m.

Ανοικτός εμβολοφόρος συμπιεστής.



- 1) Κέλυφος μηχανικής στεγανοποίησης άξονα
- 2) Περιστερωμένο μέρος στεγανοποίησης
- 3) Κάλυμμα εδράνου οδηγού πλευράς
- 4) Διοστήρας
- 5) Στροφαλοθάλαμος
- 6) Εμβόλο
- 7) Κύλινδρος ανυψώσεως βαλβίδων
- 8) Χιτώνιο κλίνδρου
- 9) Βαλβίδες αναρροφίσεως και καταθλίψεως
- 10) Κάλυμμα φορτιζόμενο από ελατήριο ασφαλείας
- 11) Κύλινδρος κεφαλής
- 12) Ελατήριο ασφαλείας
- 13) Κάλυμμα κεφαλής ασφαλείας
- 14) Πολλαπλή αναρροφίσεως
- 15) Μηχανισμός ανυψώσεως βαλβίδων
- 16) Σύνδεση αναρροφίσεως
- 17) Φίλτρο αναρροφίσεως
- 18) Οπή επιστροφής λαδιού
- 19) Κάλυμμα εδράνου πλευράς αντλίας λαδιού
- 20) Ωπτικό έδρανο
- 21) Αντλία λαδιού
- 22) Σώμα αντλίας λαδιού
- 23) Φίλτρο λαδιού
- 24) Οπή συνδέσεως αντιστάσεως θερμάνσεως στροφαλοθαλάμου
- 25) Βαλβίδα συμπληρώσεως και εκκενώσεως λαδιού
- 26) Μεταλλικό χιτώνιο θερμαντικού στοιχείου
- 27) Ίραμη παροχής λαδιού
- 28) Στροφαλοφόρος άξονας
- 29) Ενδιάμεσο έδρανο
- 30) Σωλήνας λαδιού
- 31) Αντιβαρο
- 32) Κατάθλιψη
- 33) Σύνδεσμος καταθλίψεως
- 34) Φίλτρο αναρροφίσεως
- 35) Κάλυμμα συντηρήσεως
- 36) Ενδεικτική ύαλος
- 37) Φίλτρο λαδιού
- 38) Ασφαλιστικό
- 39) Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσεως λαδιού
- 40) Ρυθμιστής πίεσεως λαδιού ελέγχου

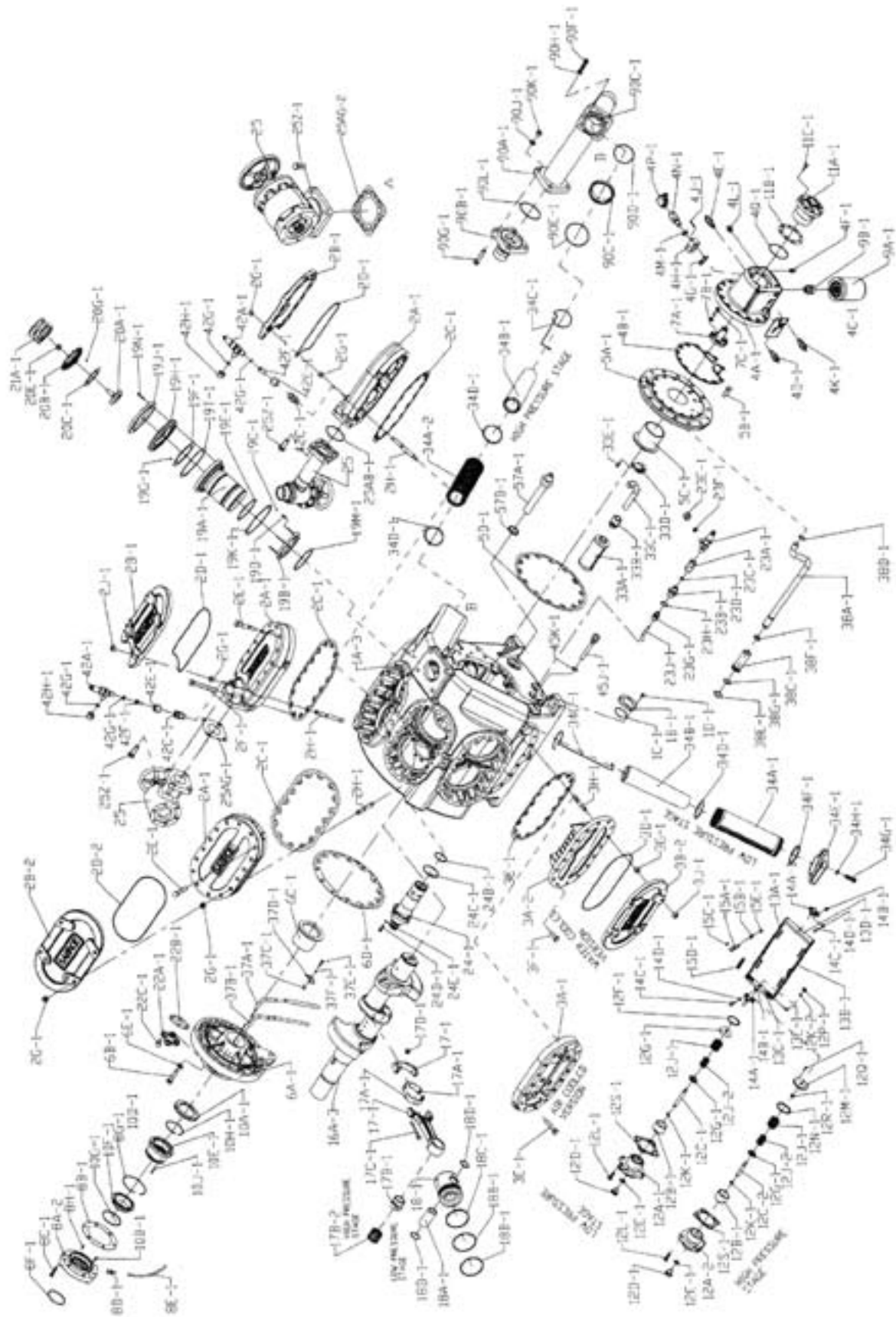


Εγκάρσια τομή Α - Α

- 1) Shaft seal housing
- 2) Rotary shaft seal
- 3) Bearing cover (drive end)
- 4) Connecting rod
- 5) Crankcase
- 6) Piston
- 7) Valve lifting control cylinder
- 8) Cylinder liner
- 9) Suction and discharge valve assembly
- 10) Buffer spring cup
- 11) Cylinder jacket
- 12) Buffer spring
- 13) Cylinder head cover
- 14) Suction manifold
- 15) Valve lifting mechanism
- 16) Suction connection
- 17) Suction gas filter housing
- 18) Plug with oil return orifice
- 19) Bearing cover (oil pump end)
- 20) Thrust bearing
- 21) Oil pump
- 22) Oil pump housing
- 23) Oil discharge filter
- 24) Plugged off connection for crankcase heater
- 25) Oil charge and drain valve
- 26) Sleeve for heating element
- 27) Oil supply line
- 28) Crankshaft
- 29) Intermediate bearing
- 30) Oil intake line
- 31) Counterweight
- 32) Discharge line
- 33) Discharge connection
- 34) Suction gas filter
- 35) Service cover
- 36) Oil sight glass
- 37) Oil suction filter
- 38) Relief valve
- 39) Lubricating oil pressure navigator
- 40) Control oil pressure navigator

Σχ. 5.21θ.

Κατασκευαστικό σχέδιο ανοικτού παλινδρομηκού συμπιεστή.

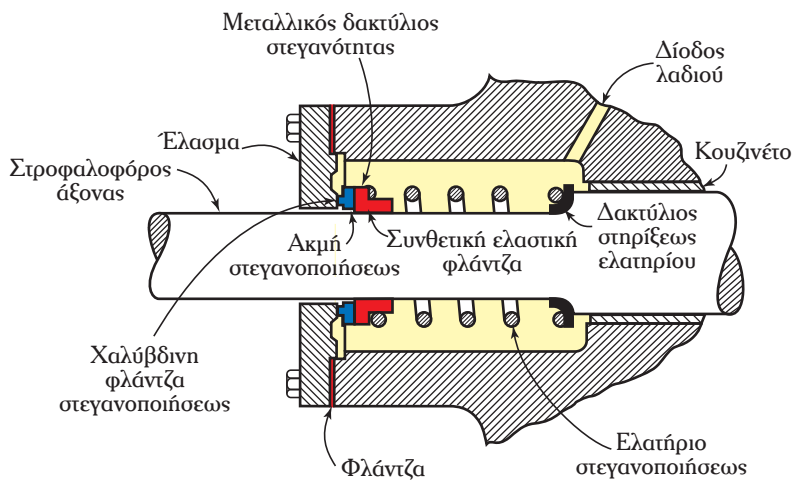


Σχ. 5.2κ. Σχέδιο συναρμογής σώματος και του εμβόλου-διοστήρα δ-κύλινδρου συμπίεσής.



Σχ. 5.2κα.

Ανάπτυγμα συναρμολογήσεως σώματος και εμβόλου-διωστήρα 6-κύλινδρου συμπιεστή.



Σχ. 5.2κβ.

Μηχανική στεγανοποίηση άξονα ανοικτού εμβολοφόρου συμπιεστή με δακτυλίουσ ολισθήσεως.

α) Ανάμεσα στο συνθετικό παρέμβυσμα του άξονα και στη ροδέλα στεγανοποίησης.

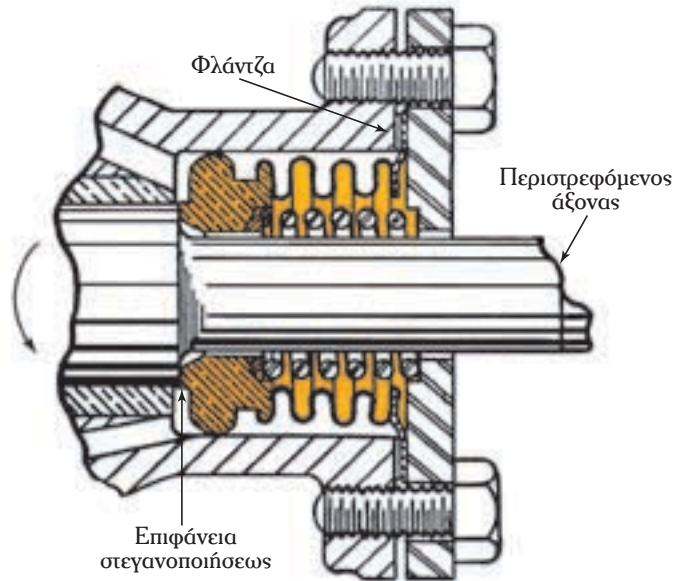
β) Ανάμεσα στη ροδέλα στεγανοποίησης και στη χαλύβδινη έδρα που περιστρέφεται.

γ) Στο παρέμβυσμα ανάμεσα στο σώμα του συμπιεστή και στη διάταξη στεγανοποίησης.

Στους πρώτους ανοικτούς συμπιεστές, η αναρρόφηση του ατμού του ψυκτικού μέσου γινόταν μέσα από το στροφαλοθάλαμο. Το πλεονέκτημα της αναρρόφησης από το στροφαλοθάλαμο είναι ότι αφενός ψύχονται τα μεταλλικά μέρη και αφετέρου γίνεται ατμοποίηση σε περίπτωση εισόδου υγρού μέσου στο συμπιεστή. Το πρόβλημα που δημιουργείται με την είσοδο του ατμού στο στροφαλοθάλαμο είναι η

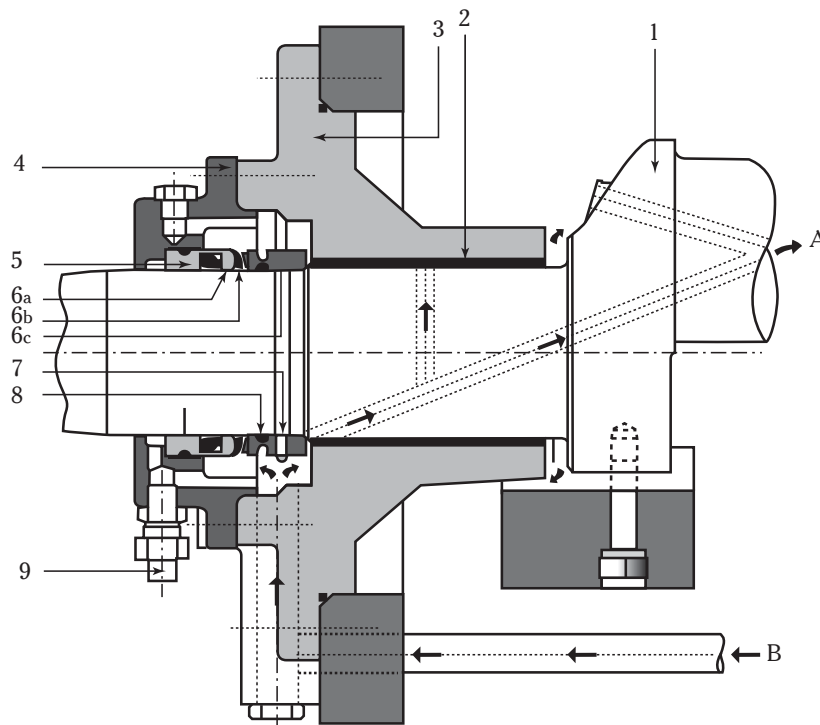
μείωση της θερμοκρασίας του λαδιού λιπάνσεως και κατά συνέπεια η μείωση της ρευστότητάς του και της ικανότητας διατηρήσεως της λιπαντικής μεμβράνης. Επί πλέον, το λάδι απορροφάει σημαντική ποσότητα ψυκτικού μέσου, η οποία σε περίπτωση ελαττώσεως της πίεσεως απελευθερώνεται και δημιουργείται αφρός μέσα στο στροφαλοθάλαμο. Η ελάττωση της πίεσεως του στροφαλοθαλάμου γίνεται στην αρχή της λειτουργίας της εγκαταστάσεως, μετά από μεγάλη διακοπή, οπότε δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή, καθώς έχει συγκεντρωθεί στο συλλέκτη υγρού. Ο αφρός που δημιουργείται από την πτώση πίεσεως του λαδιού που έχει απορροφήσει ψυκτικό μέσο,

ανεβαίνει προς την πάνω μεριά του κυλίνδρου και σε ακραίες συνθήκες φτάνει στη βαλβίδα αναρροφήσεως οπότε και κατακλύζει τους κυλίνδρους συμπίεσεως. Η είσοδος αφρού στον κύλινδρο, δεδομένου ότι το λάδι είναι ασυμπίεστο και δεν προλαβαίνει να βγει από τη βαλβίδα καταθλίψεως, έχει ως συνέπεια τη δημιουργία υδραυλικού πλήγματος. Οι κρούσεις αυτές καταπονούν τα μεταλλικά μέρη και το αποτέλεσμα μπορεί να είναι η θραύση των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως, ακόμα και του εμβόλου και του διωστήρα. Στους νεότερους παλινδρομικούς συμπιεστές, οι βαλβίδες αναρροφήσεως είναι τοποθετημένες στην κεφαλή του κυλίνδρου. Μία τέτοια κατασκευή ανοικτού συμπιεστή με τις βαλβίδες αναρροφήσεως στην κεφαλή του εμβόλου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2κε. Ο χώρος αναρροφήσεως και η ελαιολεκάνη ενώνονται μ' ένα σωλήνα εξισορροπήσεως. Ο σωλήνας εξισορροπή-



Σχ. 5.2κγ.

Στεγανοποίηση άξονα με φουσούνα.



- | | |
|--|---|
| 1) Στροφαλοφόρος άξονας (crankshaft) | 6b) Μεταλλική φουσούνα (metal bellows) |
| 2) Κουζινέτο (bearing bush) | 6c) Οδηγητικός δακτύλιος (drive collar) |
| 3) Κάλυμμα εδράνου (bearing cover) | 7) Κοχλίας στερεώσεως (crub screw) |
| 4) Σώμα μηχανικής στεγανοποιήσεως (shaft seal housing) | 8) Ελαστικός δακτύλιος στεγανότητας (o-rings) |
| 5) Σταθερός δακτύλιος ολισθήσεως (stationary countership ring) | 9) Θέση απομακρύνσεως διαρροών λαδιού (oil leakage drain of rotary shaft seal) |
| 6) Περιστρεφόμενα μέρη στεγανοποιήσεως (rotary seal assembly) | A) Προς δίκτυο λαδιού (internal lubricating system) |
| 6a) Δακτύλιος συγκρατήσεως (slip ring holder with insert) | B) Ψυχρό και φιλτραρισμένο λάδι από αντλία λαδιού (cool and clean lubricating oil direct from oil pump) |

Σχ. 5.2κδ.

Στεγανοποίηση άξονα ανοικτού εμβολοφόρου συμπιεστή.

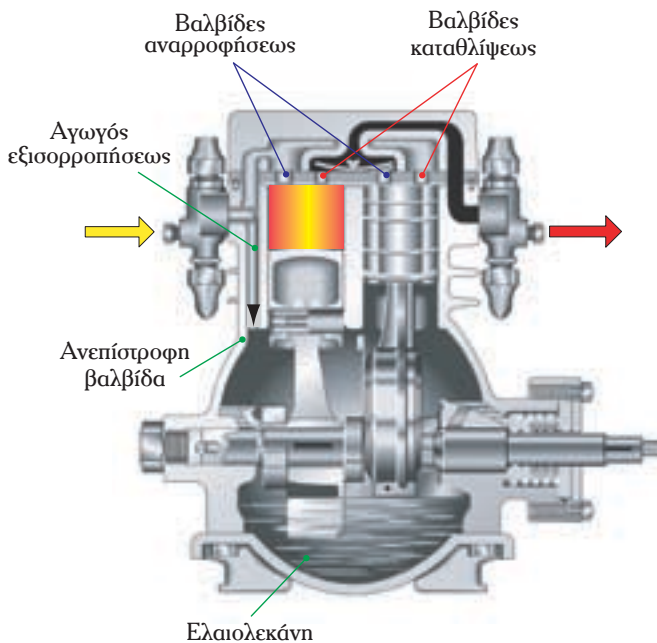
σεως εξισώνει την πίεση του χώρου του στροφάλου με την πίεση αναρροφήσεως και μέσω αυτής το λάδι που έχει παρασυρθεί προς την κατάθλιψη και το διαχωριστήρα λαδιού, αφού κυκλοφορήσει σ' όλη την εγκατάσταση, επιστρέφει στο στροφαλοθάλαμο. Στη γραμμή εξισορροπήσεως υπάρχει μία ανεπίστροφη βαλβίδα που δεν αφήνει το λάδι ή τον αφρό που δημιουργείται στην εκκίνηση από το στροφαλοθάλαμο να ανέβει προς τη γραμμή αναρροφήσεως.

5.2.6 Κύλινδροι – Έμβολα παλινδρομικών συμπιεστών.

Οι εμβολοφόροι συμπιεστές κατασκευάζονται μ' έναν έως δεκαέξι κυλίνδρους, σε πληθώρα διατάξεων. Η συνηθέστερη διάταξη είναι σε σειρά και ακτινικά, ενώ συναντώνται διατάξεις τύπου V και W, όπου η διάταξη σε σειρά χρησιμοποιείται για συμπιεστές με 2 – 3 κυλίνδρους. Το πλεονέκτημα της διατάξεως των κυλίνδρων σε σειρά είναι ότι απαιτείται μόνο μία βαλβιδοφόρος πλάκα, ενώ οι υπόλοιπες διατάξεις υπερέχουν στην εξοικονόμηση χώρου και στη μείωση των κραδασμών.

Το υλικό κατασκευής των κυλίνδρων συνήθως είναι λεπτόκοκκος χυτοσίδηρος, ο οποίος κατεργάζεται εύκολα και έχει μικρή θερμική παραμόρφωση. Στους μικρούς συμπιεστές οι κύλινδροι αποτελούν τμήμα του σώματος, οπότε υπάρχει το πλεονέκτημα των μειωμένων μαζών και διαστάσεων του συμπιεστή. Σε μεγαλύτερους συμπιεστές οι κύλινδροι κατασκευάζονται χωριστά από το σώμα και τοποθετούνται σ' αυτό με παρεμβύσματα και βίδες, ενώ τα χιτώνια είναι αφαιρούμενα. Το σώμα των μικρών συμπιεστών είναι συνήθως διαμορφωμένο σε μορφή πτερυγίων για να υπάρχει ψύξη. Στους μεγαλύτερους συμπιεστές, η ψύξη των χιτώνιων γίνεται από νερό που ρέει περιμετρικά τους.

Στην αρχή της εξελίξεως των παλινδρομικών συμπιεστών, οι διάμετροι των εμβόλων ήταν σχετικά μεγάλες και έως 375 mm, ενώ οι στροφές τους ήταν χαμηλές, μέχρι 400 rpm. Αυτή η σχεδίαση ήταν το αποτέλεσμα της προσπάθειας για επίτευξη μεγάλου βαθμού ισεντροπικής συμπίεσεως. Σήμερα, οι παλινδρομικοί συμπιεστές κατασκευάζονται με μικρότερες διαμέτρους εμβόλου, οι οποίες δεν υπερβαίνουν τα 175 mm, ενώ είναι πολύστροφοι. Αυτό γίνεται για να υπάρχει αυτοματοποιημένη κατασκευή και ανταλλαξιμότητα των εξαρτημάτων διαφόρων τύπων συμπιεστών του κάθε κατασκευαστή. Στο σχήμα 5.2κστ εικονίζεται ένας μεγάλος παλινδρομικός συμπιεστής, ο οποίος κατασκευάζε-



Σχ. 5.2κε.

Ανοικτός συμπιεστής με βαλβίδες αναρροφήσεως στην κεφαλή.

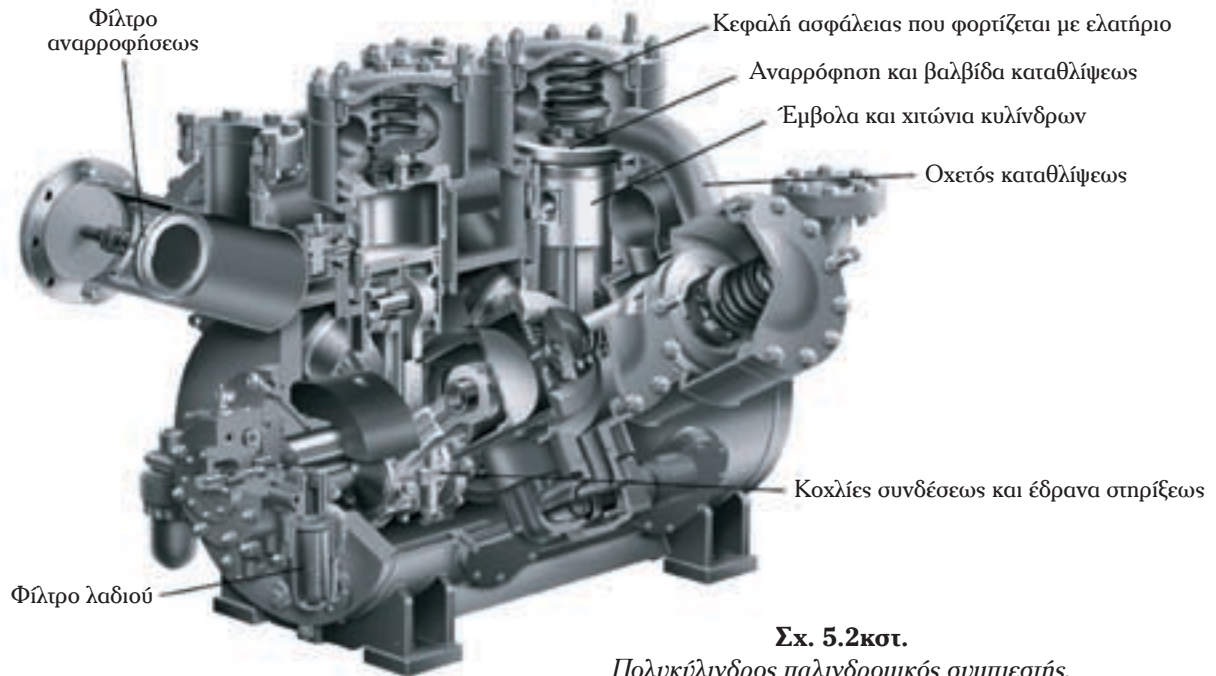
ται για μέγιστη ψυκτική ισχύ 1000 kW. Οι κύλινδροι του συμπιεστή του σχήματος 5.2κστ, είναι διατεταγμένοι ακτινικά ανά ζεύγη, που είναι τοποθετημένα στην ίδια διαμήκη θέση του σώματος, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το μήκος. Μία τέτοια σχεδίαση έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτούνται ίδιου τύπου διωστήρες, πείροι, έμβολα, χιτώνια και ελατήρια, τα οποία μπορούν να αντικατασταθούν σε περίπτωση βλάβης.

Υπάρχουν δύο τύποι εμβόλων που χρησιμοποιούνται στους παλινδρομικούς συμπιεστές:

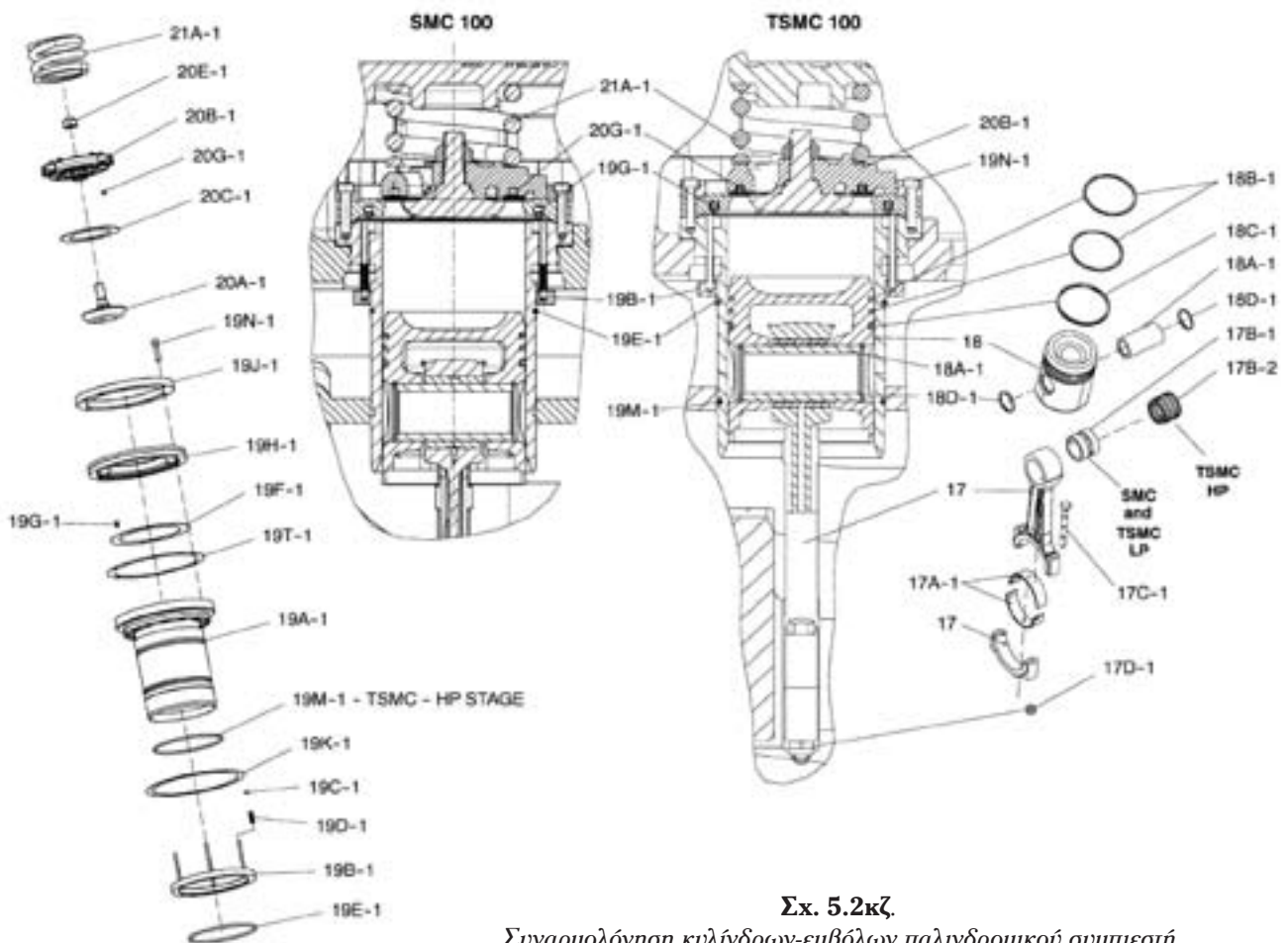
α) Τα **κλειστά έμβολα** τύπου ΜΕΚ (automotive type pistons) και

β) τα **ανοικτά έμβολα** (trunk pistons).

Το είδος των χρησιμοποιούμενων εμβόλων ποικίλλει ανάλογα με τη θέση των βαλβίδων αναρροφήσεως. Στους συμπιεστές με κλειστά έμβολα η είσοδος του ατμού του ψυκτικού μέσου γίνεται από βαλβίδες αναρροφήσεως, οι οποίες βρίσκονται στη βαλβιδοφόρο πλάκα στην κεφαλή. Τα ανοικτά έμβολα χρησιμοποιούνται στους μεσαίους και στους μεγάλους συμπιεστές. Η είσοδος του ατμού γίνεται στο στροφαλοθάλαμο. Στη συνέχεια, μέσω θυρίδων στην πλευρά του χιτώνιου, ο ατμός περνάει στην κάτω πλευρά του εμβόλου και μπαίνει στον κύλινδρο συμπίεσεως από τη βαλβίδα εισαγωγής που είναι τοποθετημένη στην άνω πλευρά του εμβόλου. Στο σχήμα 5.2κζ φαίνεται η συναρμολόγηση κυλίνδρων



Σχ. 5.2κστ.
Πολυκύλινδρος παλινδρομικός συμπιεστής.



Σχ. 5.2κζ.
Συναρμολόγηση κυλίνδρων-εμβόλων παλινδρομικού συμπιεστή.

ενός παλινδρομικού συμπιεστή που χρησιμοποιείται ευρέως σε εγκαταστάσεις κλιματισμού πλοίων.

Λόγω της μικρής χάρης των εμβόλων, η οποία συνήθως είναι 0,15 mm ανά 25 mm διάμετρο εμβόλου, η ύπαρξη λιπαντικής μεμβράνης είναι συνήθως επαρκής, ώστε να εξασφαλίζει τη στεγανότητα και να μην υπάρχει διαρροή αερίου από το χώρο συμπίεσης. Γι' αυτόν το λόγο σε έμβολα με διάμετρο μικρότερη από 50 mm δεν χρησιμοποιούνται ελατήρια. Σε τέτοια έμβολα διαμορφώνονται εγκοπές, ώστε να διευκολυνθεί η ροή του λαδιού στον κύλινδρο. Τα κλειστά έμβολα με διάμετρο μεγαλύτερη από 50 mm έχουν συνήθως δύο ελατήρια συμπίεσης στην πάνω πλευρά και ένα ελατήριο λαδιού στην κάτω πλευρά του εμβόλου. Τα έμβολα συνήθως κατασκευάζονται από λεπτό χυτοσίδηρο, αν και υπάρχουν έμβολα από αλουμίνιο, τα οποία όμως φέρουν πάντα τουλάχιστον ένα ελατήριο συμπίεσης.

Ο λόγος της διαμέτρου του εμβόλου προς τη διαδρομή $\frac{D}{l}$ διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του συμπιεστή. Γενικά, οι συμπιεστές νέας σχεδιάσεως είναι πιο πολύστροφοι και έχουν μεγάλη διάμετρο και σχετικά μικρή διαδρομή. Η αύξηση της διαμέτρου αυξάνει την επιφάνεια στην κεφαλή, στην οποία μπορούν να τοποθετηθούν οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Επίσης, με την αύξηση της διαμέτρου αυξάνεται η θεωρητική ογκομετρική παροχή του συμπιεστή για τις ίδιες στροφές, δηλαδή χωρίς να μεγαλώσει η μέση γραμμική ταχύτητα του εμβόλου. Η αυξημένη διάμετρος του εμβόλου δεν έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας του ατμού στις βαλβίδες γιατί αυξάνεται η επιφάνειά τους. Το όριο στη διάμετρο του εμβόλου τίθεται από τη μείωση του βαθμού ισεντροπικής αποδόσεως. Αυτή προκαλείται από την αύξηση του στροβιλισμού μέσα στον κύλινδρο, που συνεπάγεται αύξηση των τριβών της ροής του ατμού. Έτσι, στην πράξη ο λόγος της διαμέτρου του εμβόλου προς τη διαδρομή, παίρνει τιμές:

$$\frac{D}{l} \leq 1,25$$

Η μέση γραμμική ταχύτητα του εμβόλου \bar{v} εξαρτάται από τη διαδρομή l και από τις στροφές n και μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\bar{v} = \frac{n \cdot l}{6000}$$

όπου: \bar{v} η μέση γραμμική ταχύτητα του εμβόλου σε m/s, l η διαδρομή σε cm και n οι στροφές σε RPM.

Η αύξηση της μέσης γραμμικής ταχύτητας του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τριβών στον κύλινδρο. Επί πλέον, αυξάνεται η ταχύτητα του ατμού στις βαλβίδες με αποτέλεσμα την αύξηση των τριβών της ροής και τη μείωση του βαθμού αποδόσεως. Οι κατασκευαστές ως ανώτατο όριο της γραμμικής ταχύτητας του εμβόλου θέτουν περίπου τα 4 m/s.

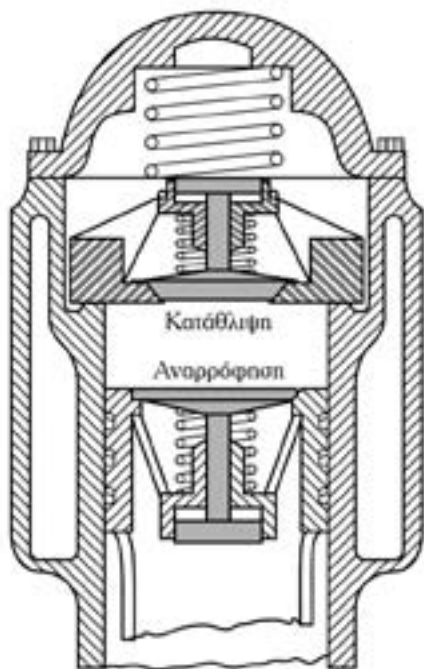
5.2.7 Βαλβίδες παλινδρομικών συμπιεστών.

Στους εμβολοφόρους συμπιεστές, ανάλογα με το μέγεθός τους, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι βαλβίδων. Αυτό γίνεται γιατί όσο μεγαλώνει η ογκομετρική ικανότητα, τόσο μεγαλύτερη επιφάνεια χρειάζεται να έχουν οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Οι βαλβίδες πρέπει να είναι στεγανές και να μην έχουν απώλειες, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να έχουν μικρή μάζα και αδράνεια, ώστε να κλείνουν γρήγορα. Υπάρχουν τρεις τύποι βαλβίδων οι εξής:

α) **Βαλβίδες με στέλεχος** (τύπου αυτοκινήτου). Οι πρώτοι συμπιεστές αμμωνίας που ήταν αργόστροφοι είχαν βαλβίδες με στέλεχος τύπου αυτοκινήτου, οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν από τη διαφορά πιέσεως στις δύο πλευρές τους, ενώ παραμένουν κλειστές με την τάση ενός ελατηρίου. Οι βαλβίδες με στέλεχος έχουν το μειονέκτημα ότι είναι βαριές και χρησιμοποιούνται μόνο σε αργόστροφους συμπιεστές. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να τοποθετηθούν στο ίδιο επίπεδο με τη βάση τους, έτσι ώστε να υπάρχει μηδενικό διάκενο. Στο σχήμα 5.2κφ φαίνεται το έμβολο ενός συμπιεστή αμμωνίας με τη βαλβίδα αναρροφήσεως πάνω σ' αυτό. Επίσης, φαίνεται η κεφαλή με τη βαλβίδα καταθλίψεως, ενώ και οι δύο βαλβίδες είναι με στέλεχος.

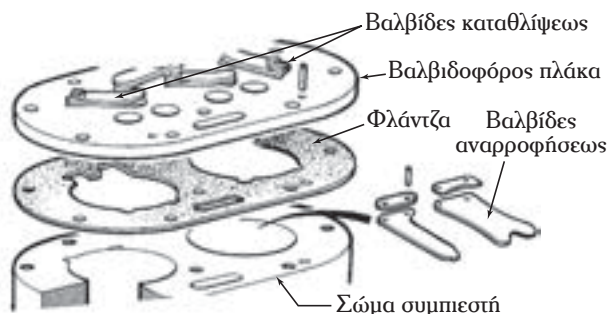
β) **Βαλβίδες με εύκαμπτες λάμες** (σχ. 5.2κθ). Οι μικροί συμπιεστές έχουν καλύβδινες λάμες, οι οποίες τοποθετούνται στις διόδους αναρροφήσεως και καταθλίψεως και ανοίγουν από τη διαφορά πιέσεως στις δύο πλευρές τους. Διαχωρίζονται από τη βαλβιδοφόρο πλάκα, η οποία βιδώνεται πάνω από τον κύλινδρο στο κέλυφος. Οι βαλβίδες αναρροφήσεως τοποθετούνται κάτω από τη βαλβιδοφόρο πλάκα, ενώ οι βαλβίδες καταθλίψεως πάνω από αυτήν. Έτσι, κατά την επισκευή, για ευκολία μπορεί να αντικαθίσταται όλη η βαλβιδοδοφόρος πλάκα μαζί με τις βαλβίδες. Οι χώροι αναρροφήσεως και καταθλίψεως σχηματίζονται από ένα διάφραγμα που έχει το κάλυμμα της κεφαλής.

γ) **Βαλβίδες με δακτυλίους.** Για διαμέτρους κυλίνδρων μεγαλύτερες από 80 mm, οι βαλβίδες με λάμες δεν επαρκούν, καθώς δεν υπάρχει αρκετή επιφάνεια γι' αυτές στην κεφαλή του κυλίνδρου. Έτσι η βαλβίδα αναρροφήσεως τοποθετείται πάνω στο έμβολο ή επιλέγονται βαλβίδες σε μορφή δακτυλίου που δίνουν μεγαλύτερη επιφάνεια. Οι βαλβίδες δακτυλίου τοποθετούνται σε μία βαλβιδοφόρο πλάκα και κρατούνται κλειστές από ένα ή περισσότερα ελατήρια. Οι βαλβίδες, καθώς συμπιέζονται από τα ελατήρια κλείνουν απότομα, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες. Επί πλέον, με τη βοήθεια των ελατηρίων μειώνονται οι κραδασμοί κατά την κρούση πάνω στο βαλβιδοφορέα κατά το κλείσιμο. Όταν και οι δύο βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως εί-



Σχ. 5.2κπ.

Βαλβίδες με σιέλεχος συμπιεστή αμμωνίας.



Σχ. 5.2κθ.

Βαλβίδες με χαλύβδινες λάμες.

να τοποθετημένες στην ίδια βαλβιδοφόρο πλάκα, η βαλβίδα αναρροφήσεως είναι εξωτερικά και η βαλβίδα καταθλίψεως εσωτερικά διότι χρειάζεται μικρότερη επιφάνεια. Οι δακτύλιοι των βαλβίδων κατασκευάζονται από χάλυβα ελατηρίων ή από τιτάνιο, ώστε να έχουν μικρότερη αδράνεια και να μπορούν να ανοίγουν και να κλείνουν σε μικρό χρόνο.

Η βαλβιδοφόρος πλάκα μπορεί να είναι βιδωμένη πάνω στην κεφαλή του κυλίνδρου. Σε μεγαλύτερους συμπιεστές, όλη η βαλβιδοφόρος πλάκα είναι διαμορφωμένη σαν ασφαλιστικό επιστόμιο, το οποίο κρατιέται στη θέση του από ένα σκληρό ελατήριο. Η διάταξη αυτή ονομάζεται **κεφαλή ασφαλείας** (safety head) και μ' αυτήν αποτρέπεται η θραύση των βαλβίδων σε περίπτωση εισχωρήσεως λαδιού στον κύλινδρο. Σε μία τέτοια περίπτωση υπερνικάται η πίεση του ελατηρίου και η κεφαλή ασφαλείας ανυψώνεται από τη βάση της, ενώ το λάδι που έχει μπει στον κύλινδρο οδηγείται προς την κατάθλιψη. Η κεφαλή ασφαλείας χρησιμοποιείται κυρίως στους συμπιεστές αλογονούχων ψυκτικών μέσων, τα οποία απορροφούνται από το λάδι που βρίσκεται στην ελαιολεκάνη.

Στο σχήμα 5.2λ φαίνεται η κεφαλή ασφαλείας που περιλαμβάνει τη βαλβίδα καταθλίψεως ενός εμβολοφόρου συμπιεστή.



Σχ. 5.2λ.

Κεφαλή με βαλβίδα καταθλίψεως.

Στο σχήμα 5.2λα φαίνεται η κεφαλή ασφαλείας ενός παλινδρομικού συμπιεστή, στην οποία εικονίζεται η αναρρόφηση στο πλαϊνό τμήμα του κυλίνδρου, για την ψύξη του και η λειτουργία των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

Τα εξαρτήματα που περιλαμβάνονται σε μια κεφαλή ασφαλείας εικονίζονται στο σχήμα 5.2λβ, όπου δίνεται η συναρμολόγηση του τμήματος μιας κεφαλής ασφαλείας ενός ανοικτού συμπιεστή που περιλαμβάνει τις βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

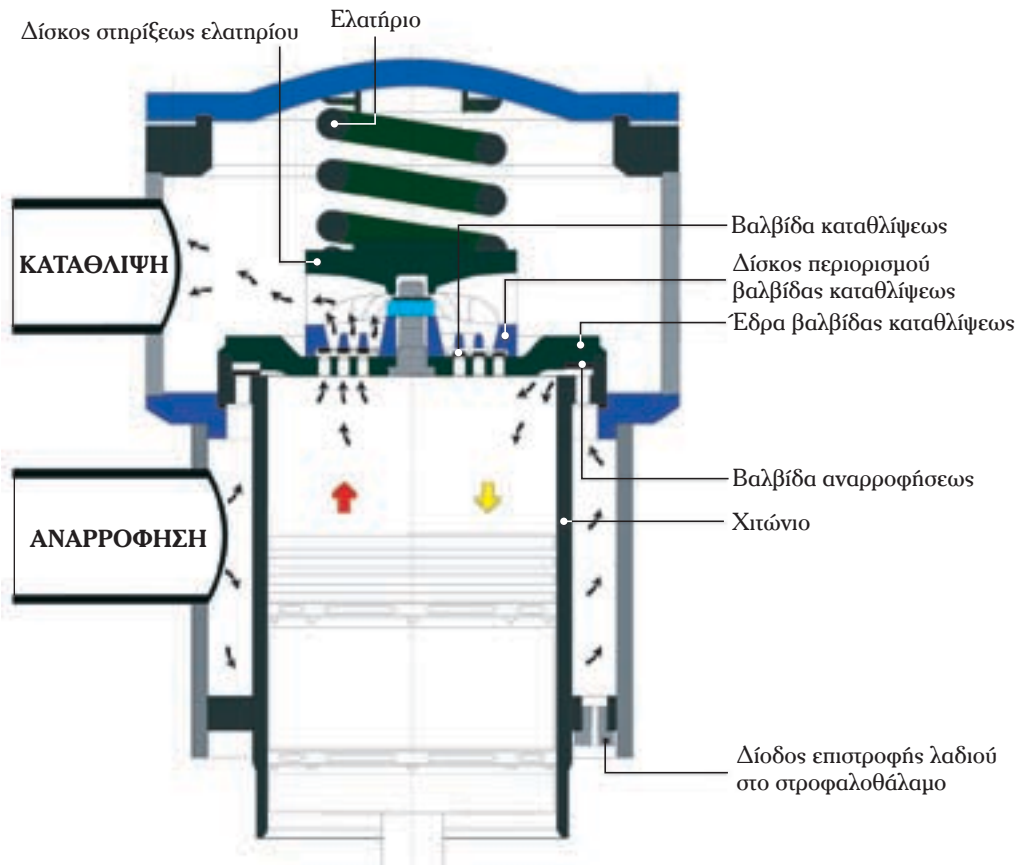
5.2.8 Λίπανση παλινδρομικών συμπιεστών.

Στα κινούμενα μέρη των εμβολοφόρων συμπιεστών δημιουργούνται τριβές, οι οποίες αυξάνουν τις μηχανικές απώλειες και μειώνουν το βαθμό αποδόσεως της συμπίεσεως λόγω θερμάνσεως του ατμού, καθώς έρχεται σε επαφή μ' αυτά. Προκειμένου να μειωθούν οι τριβές είναι απαραίτητο ένα σύστημα λίπανσεως. Το λάδι λίπανσεως πέρα από τη ροή του πάνω από τα μεταλλικά μέρη απάγει τη θερμότητα της τριβής και μειώνει τη θερμοκρασία τους. Το λάδι

λίπανσεως καθώς βρίσκεται μέσα στο στροφαλοθάλαμο έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό μέσο και γι' αυτόν το λόγο θα πρέπει να έχει ειδικές προδιαγραφές. Οι ιδιότητες του λαδιού λίπανσεως των παλινδρομικών συμπιεστών αναλύονται στην παράγραφο 5.8. Ανάλογα με τη φόρτιση στους εμβολοφόρους συμπιεστές χρησιμοποιούνται εν γένει οι εξής μέθοδοι λίπανσεως:

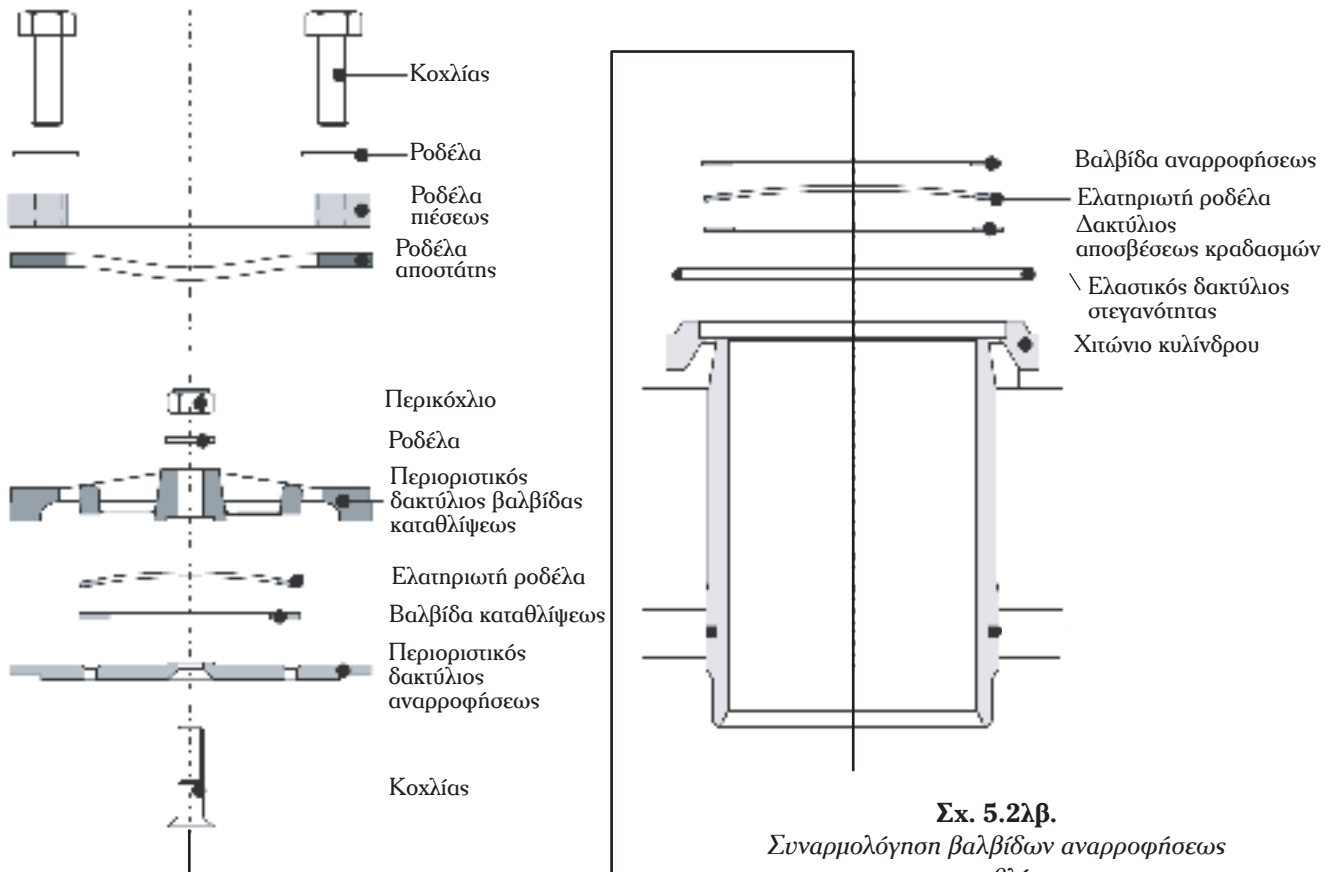
α) Η **λίπανση με παφλασμό**, που χρησιμοποιείται σχεδόν πάντοτε στους μικρούς ερμητικούς συμπιεστές με ισχύ έως 10 kW. Στους μεγαλύτερους συμπιεστές η λίπανση γίνεται με μία αντλία λαδιού που παίρνει κίνηση από το στρόφαλο.

Στη λίπανση με παφλασμό ο χώρος του στροφάλου είναι γεμάτος με λάδι (σχ. 5.2λγ) μέχρι το πρώτο έδρανο. Με κάθε περιστροφή, ο στρόφαλος και ο διωστήρας εμβραπίζονται στο λάδι, το οποίο εκτινάσσεται στα τοιχώματα του κυλίνδρου, στην κάτω πλευρά του εμβόλου και στα έδρανα. Για να υπάρξει μεγαλύτερη ποσότητα εκτινασσόμενου λαδιού μπορεί να χρησιμοποιούνται έκκεντρα στα περιστρεφόμενα μέρη. Συνήθως, πάνω από τα έδρανα υπάρ-



Σχ. 5.2λα.

Κεφαλή ασφαλείας με βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως.



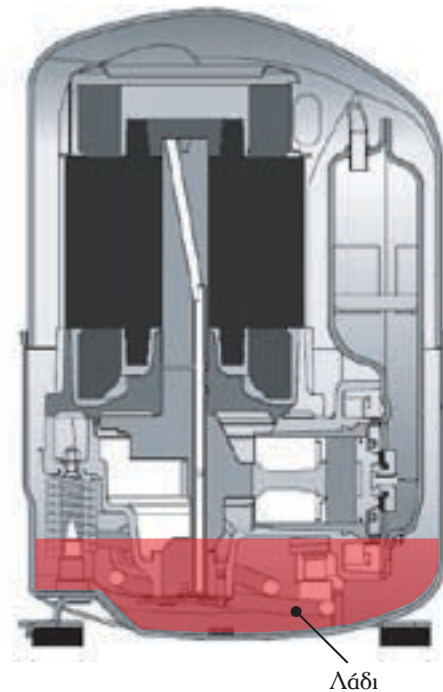
Σχ. 5.2λβ.

Συναρμολόγηση βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

κουν κοιλοότητες που συλλέγουν το λάδι που πέφτει, αφού εκτιναχθεί στο χώρο του στροφάλου. Το λάδι στη συνέχεια με τη βαρύτητα οδηγείται μέσω κοιλοτήτων στο έδρανο, ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής λίπανση.

Μια παραλλαγή της μεθόδου λιπάνσεως με παφλασμό, είναι η **λίπανση με έκκεντρο**. Στη μέθοδο αυτή, η οποία χρησιμοποιείται σε μεσαίου μεγέθους ερμυκούς συμπιεστές, ο στρόφαλος περιστρέφει ένα έκκεντρο έλασμα. Το έλασμα παρασύρει λάδι από την ελαιολεκάνη και το οδηγεί ψηλότερα μέσα από το στρόφαλο, ο οποίος είναι κοίλος και έχει οπές διαφυγής λαδιού σε όλες τις θέσεις των εδράνων. Η φορά περιστροφής του στροφάλου έχει κρίσιμη σημασία, διότι το έκκεντρο δεν μπορεί να παρασύρει λάδι όταν γυρίζει με ανάστροφη φορά. Γι' αυτόν το λόγο οι συμπιεστές αυτού του τύπου πρέπει να περιστρέφονται με τη σωστή φορά περιστροφής.

β) Η **λίπανση με αντλία** χρησιμοποιείται σε όλους τους ημιαυτοματικούς και στους ανοικτούς συμπιεστές. Η αντλία λαδιού μπορεί να είναι σε μεγάλους συμπιεστές ανεξάρτητη, αλλά συνήθως παίρνει κίνηση από το στρόφαλο. Η φορά περιστροφής της αντλίας λαδιού είναι σημειωμένη στο κέλυφος



Σχ. 5.2λγ.

Σιάθμη λαδιού σε ερμυκό συμπιεστή.

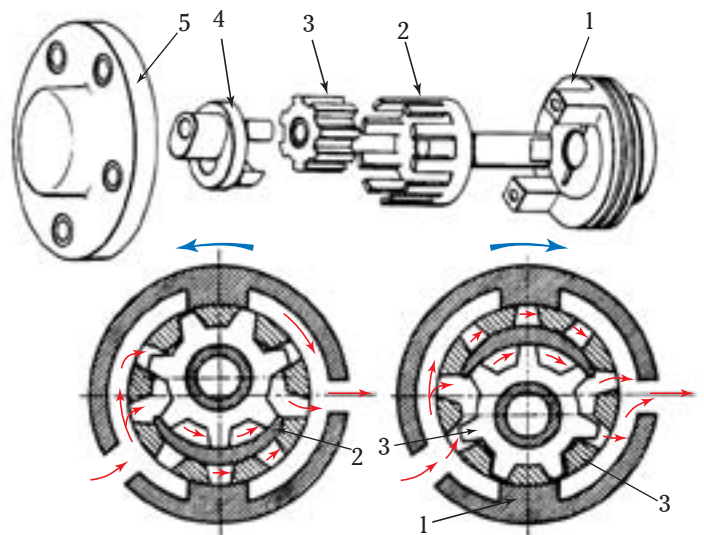
της και πρέπει να ταυτίζεται με τη φορά περιστροφής του συμπιεστή. Σε μερικές περιπτώσεις τοποθετούνται αντλίες που λειτουργούν ανεξάρτητα απ' τη φορά περιστροφής, οπότε ο συμπιεστής μπορεί να εργάζεται και δεξιόστροφα και αριστερόστροφα, δεδομένου ότι οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως λειτουργούν με τη διαφορά πιέσεως. Η αντλία λαδιού προστατεύεται από την είσοδο σ' αυτήν μεταλλικών τμημάτων μ' ένα μεταλλικό φίλτρο στην αναρρόφηση του λαδιού στην ελαιολεκάνη. Στους περισσότερους συμπιεστές, οι κατασκευαστές για μεγαλύτερη προστασία τοποθετούν εξωτερικά μεταλλικά φίλτρα λαδιού μετά την αντλία, ώστε να ελαττωθεί η συσσώρευση ακαθαρσιών στο κύκλωμα λιπάνσεως και να αυξηθεί η ζωή τους. Επί πλέον, η πίεση του λαδιού στο κύκλωμα λιπάνσεως παρακολουθείται από ένα διακόπτη χαμηλής πιέσεως, ο οποίος διακόπτει τη λειτουργία του συμπιεστή όταν η πίεση λαδιού είναι χαμηλή. Μία τυπική αντλία λαδιού ενός ανοικτού συμπιεστή φαίνεται στο σχήμα 5.2λδ. Η αντλία αυτή αποτελείται από δύο οδοντωτές στεφάνες, μια με εσωτερική και μια με εξωτερική οδόντωση. Οι δύο στεφάνες είναι τοποθετημένες έκκεντρα και ανάμεσά τους υπάρχει μία σφήνα. Η κίνηση μεταδίδεται στην εξωτερική στεφάνη, η οποία στη συνέχεια παρασύρει την εσωτερική. Για την αλλαγή της φοράς περιστροφής απαιτείται η αλλαγή της θέσεως του εξαρτήματος (4) που φέρει τη σφήνα περιορισμού της ροής.

Στο κύκλωμα του λαδιού υπάρχει ένας ρυθμιστής πιέσεως (σχ. 5.2λε), όπου η μέγιστη πίεση του λαδιού ρυθμίζεται από την τάση του ελατηρίου. Η υπερβολική πίεση του λαδιού υπερνικάει την τάση του ελατηρίου, το οποίο ρυθμίζεται από τον κοχλίας και σπρώχνει την μπίλια προς τα αριστερά, οπότε η επί πλέον παροχή λαδιού επιστρέφει προς την ελαιολεκάνη.

Στο σχήμα 5.2λστ φαίνεται ένας ημερημτικός συμπιεστής, ο οποίος λιπαίνεται με αντλία λαδιού. Το λάδι αναρροφάται μέσω του φίλτρου (14) από την αντλία (22), η οποία είναι συνδεδεμένη και παίρνει κίνηση από το άκρο του στροφάλου (16). Η πίεση του λαδιού ελέγχεται μ' ένα μανόμετρο που συνδέεται στο (21). Μετά την αντλία (22), το λάδι μέσω του κοίλου στροφάλου οδηγείται προς το εμπρός έδρανο, προς το διωστήρα (17) και προς το πίσω έδρανο. Το έμβολο (25) και το χιτώνιο λιπαίνονται με παφλασμό, ενώ το λάδι με τα ελατήρια (20) σπρώχνεται από τον κύλινδρο προς την ελαιολεκάνη. Το λάδι από το χώρο των ηλεκτρικών περιελίξεων επι-

στρέφει στην ελαιολεκάνη μέσω της ανεπίστροφης βαλβίδας (11). Στο κύκλωμα του λαδιού υπάρχει ο ρυθμιστής πιέσεως (15).

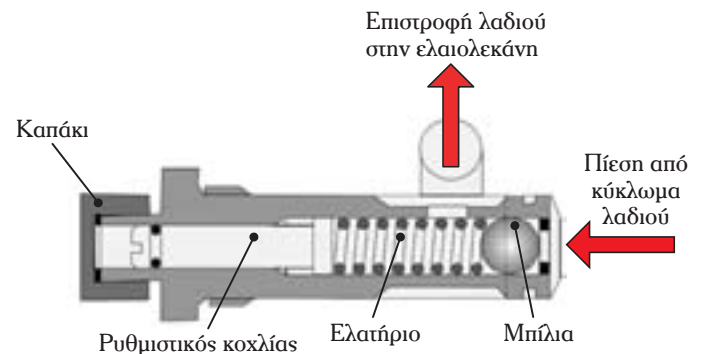
Στο σχήμα 5.2λζ φαίνεται το κύκλωμα λιπάνσεως ενός ανοικτού συμπιεστή. Η λειτουργία είναι παρόμοια μ' αυτήν που περιγράφηκε για τον ημερημτικό συμπιεστή του σχήματος 5.2λστ. Το λάδι αναρροφάται από την ελαιολεκάνη προς τη γραναζωτή αντλία λαδιού και καταθλίβεται σ' ένα εξωτερικό φίλτρο λαδιού με μεταλλική σίτα. Από εκεί πηγαίνει στο έδρανο του στροφάλου και στα κομβία των διωστήρων. Μέσα από τη διαμήκη οπή των διωστήρων ανεβαίνει προς την κεφαλή, όπου λιπαίνονται οι πείροι των εμβόλων. Στη συνέχεια, λιπαίνεται το σταθερό έδρανο και η διάταξη στεγανοποίησης του άξονα. Στους περισσότερους τύπους ανοικτών συ-



Σχ. 5.2λδ.

Αμφίδρομη αντλία λαδιού.

- 1) Οδηγός οδοντωτών στεφάνων. 2) Στεφάνη με εσωτερική οδόντωση. 3) Στεφάνη με εξωτερική οδόντωση. 4) Εξάρτημα με σφήνα. 5) Κάλυμμα αντλίας.



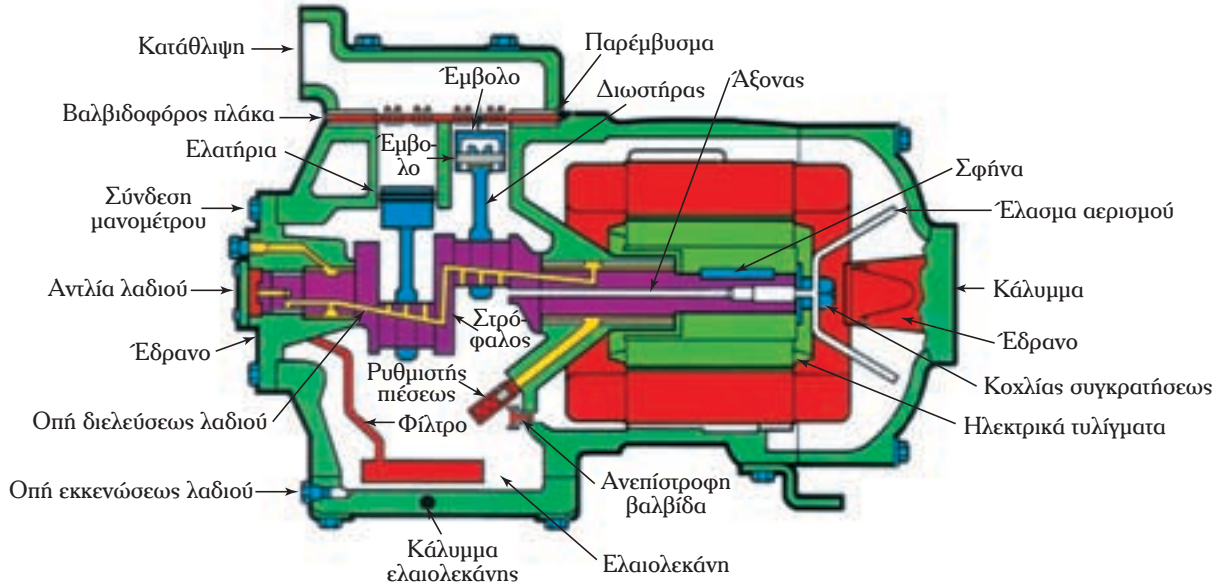
Σχ. 5.2λε.

Ρυθμιστής πιέσεως λαδιού.

μπειστών, η πίεση του λαδιού χρησιμοποιείται και στο μηχανισμό εκφορτίσεως των κυλίνδρων. Όπως θα δούμε παρακάτω, μ' αυτόν το μηχανισμό, σε περίπτωση μειωμένου φορτίου της εγκαταστάσεως, ανυψώνονται διαδοχικά οι βαλβίδες των κυλίνδρων, ώστε αυτοί να περιστρέφονται άεργοι. Η δύναμη για την ανύψωση των βαλβίδων προέρχεται από ένα υδραυλικό έμβολο, το οποίο μετακινείται όταν σ' αυτό εισέρχεται λάδι από το κύκλωμα λιπάνσεως.

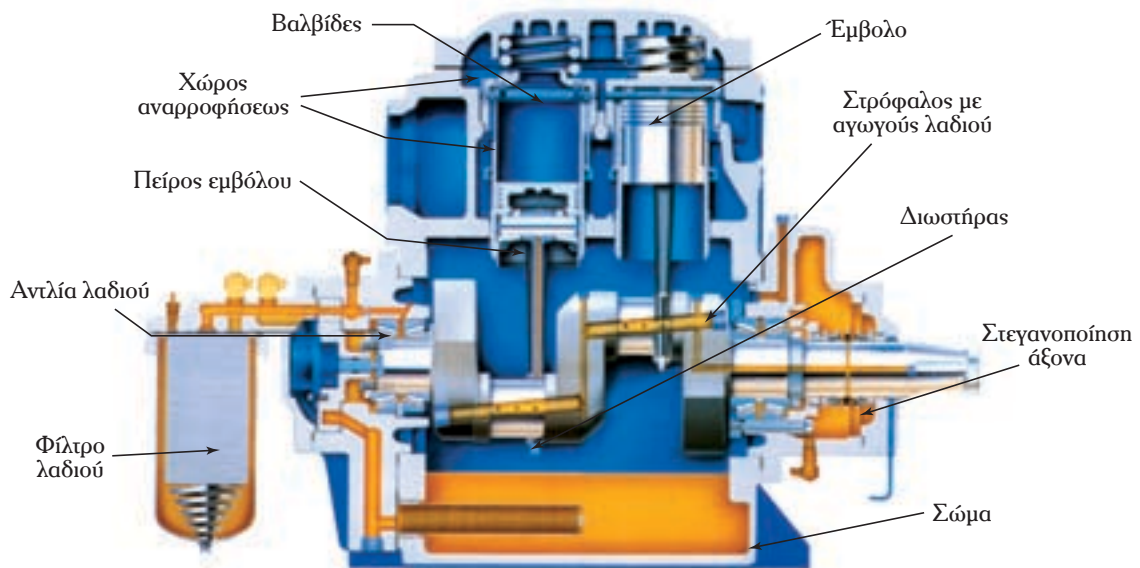
Όταν ο συμπιεστής είναι ακίνητος, το λάδι καθώς

κρύνει απορροφάει ψυκτικό μέσο. Η ιδιότητα του λαδιού να διαλύεται μέσα στο ψυκτικό μέσο είναι επιθυμητή, διότι το λάδι μπορεί έτσι να επιστρέψει στην ελαιολεκάνη όταν διαφύγει από το συλλέκτη λαδιού προς το κύκλωμα της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Η ικανότητα του λαδιού να απορροφάει ποσότητες ψυκτικού μέσου αυξάνεται όταν η θερμοκρασία του μειώνεται, όπως γίνεται στις περιπτώσεις κρατήσεως του συμπιεστή. Κατά την εκκίνηση, όταν το λάδι θερμαίνεται, το ψυκτικό μέσο που είχε διαλυ-



Σχ. 5.2λστ.

Λίπανση ημερμητικού συμπιεστή.



Σχ. 5.2λζ.

Λίπανση ανοικτού συμπιεστή.

θεί σ' αυτό απελευθερώνεται δημιουργώντας αφρό που είναι επιβλαβής για τη λειτουργία του συστήματος λιπάνσεως. Επί πλέον, ο αφρός μπορεί να εισχωρήσει στον κύλινδρο και να έχομε κρουστική λειτουργία του συμπιεστή. Το ίδιο αποτέλεσμα της δημιουργίας αφρού υπάρχει με την είσοδο υγρού ψυκτικού μέσου στην ελαιολεκάνη, όπου για λόγους ψύξεως του συμπιεστή τοποθετούν οι περισσότεροι κατασκευαστές συμπιεστών την αναρρόφηση. Αν εισέλθει υγρό ψυκτικό μέσο στην ελαιολεκάνη, τότε επιταχύνεται η εξάτμιση, ενώ συμβαίνει ταυτόχρονη απορρόφηση των ατμών από το λάδι και είναι πιθανή η δημιουργία αφρού κατά την εκκίνηση.

Η είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή μπορεί να οφείλεται στις εξής αιτίες:

α) **Κακή λειτουργία ή ρύθμιση της εκτονωτικής βαλβίδας** που αφήνει να περάσει απ' αυτήν μεγάλη παροχή ψυκτικού μέσου. Λόγω της μεγάλης παροχής αυτό δεν προλαβαίνει να ατμοποιηθεί στον ψύκτη. Η βαλβίδα είναι πιθανότερο να αφήνει μεγάλη ροή κατά την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης.

β) **Κακή τοποθέτηση του ατμοποιητή**, όταν λόγω της βαρύτητας το υγρό ρέει από τον ατμοποιητή κατά την κράτηση της εγκατάστασης, ιδίως όταν η εκτονωτική βαλβίδα έχει διαρροή. Αυτό οφείλεται σε λάθος σχεδίαση της θέσεως του συμπιεστή.

γ) **Χαμηλή θερμοκρασία συμπιεστή**. Όταν η θερμοκρασία του συμπιεστή πέσει κάτω από τη θερμοκρασία του ατμοποιητή, το αέριο ψυκτικό μέσο επαναυγροποιείται μέσα στο συμπιεστή. Αυτό συμβαίνει κατά την έναρξη λειτουργίας μετά από μακροχρόνια κράτηση, όταν ο συμπιεστής είναι τοποθετημένος σε περιβάλλον με χαμηλή θερμοκρασία.

Για να μην πέφτει η θερμοκρασία του λαδιού κατά την κράτηση του συμπιεστή, χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις, οι οποίες τοποθετούνται στην ελαιολεκάνη (σχ. 5.2λν). Επί πλέον η απορρόφηση ατμών ψυκτικού μέσου στην ελαιολεκάνη κατά την κράτηση εξασφαλίζεται με την κράτηση του συμπιεστή λόγω χαμηλής πίεσεως αναρροφήσεως. Αυτό γίνεται όταν η ροή του υγρού σταματήσει από την εκτονωτική βαλβίδα και αφού αντληθούν όλοι οι ατμοί που περιέχονται στον ατμοποιητή προς το συμπυκνωτή.

5.2.9 Ρύθμιση φορτίου παλινδρομικών συμπιεστών.

Η επιλογή του κατάλληλου συμπιεστή για μία ψυκτική εγκατάσταση γίνεται με κριτήριο την ικανότητα

λειτουργίας στο ψυκτικό φορτίο σχεδίασεως. Δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο στις εγκαταστάσεις ψύξεως και κλιματισμού μεταβάλλεται, υπάρχει η ανάγκη ρυθμίσεως της ισχύος του συμπιεστή. Η μεταβολή του ψυκτικού φορτίου γίνεται εποχιακά ή μέσα στο 24-ωρο λόγω της εξωτερικής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η λειτουργία της εγκατάστασεως σε μειωμένο φορτίο, εκτός από τη μειωμένη ισχύ του συμπιεστή, έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την κακή λειτουργία του ατμοποιητή, καθώς το ψυκτικό μέσο δεν επαρκεί για να περάσει από το διανομέα προς τις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας του ατμοποιητή. Επί πλέον λόγω της μειωμένης παροχής του ψυκτικού μέσου, προκαλείται κακή λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας και προκαλούνται προβλήματα στην επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή. Η ρύθμιση της ισχύος συμπιέσεως, εκτός από τη σωστή παροχή του ψυκτικού μέσου, πρέπει να εξασφαλίζει και σταθερή θερμοκρασία στον ψυκτικό θάλαμο, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις.

Οι κυριότερες μέθοδοι ρυθμίσεως φορτίου των εμβολοφόρων συμπιεστών είναι οι εξής:

- α) Διακοπόμενη λειτουργία.
- β) Παράκαμψη θερμού αερίου.
- γ) Λειτουργία σε μεταβλητές στροφές.
- δ) Μείωση της διαδρομής του εμβόλου.
- ε) Εσωτερική παράκαμψη.

στ) Φραγή του οχετού αναρροφήσεως ενός κυλίνδρου ή ομάδας κυλίνδρων.

ζ) Αύξηση του όγκου διακένου.

η) Άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής.

Η κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα και επιλέγεται από τους κατασκευαστές η πιο κατάλληλη. Η μέθοδος ρυθμίσεως φορτίου του συμπιεστή πρέπει να εξα-



Σχ. 5.2λν.

Ηλεκτρική αντίσταση θερμάνσεως ελαίου.

σφαλίζει καλό συντελεστή συμπεριφοράς COP της εγκατάστασης, να έχει χαμηλό κόστος και αυξημένη αξιοπιστία. Επί πλέον, πρέπει να εξασφαλίζεται η ελάχιστη χρονική διάρκεια λειτουργίας του συμπιεστή και η συνεχής ρύθμιση ή η ρύθμιση σε βήματα ανάλογα με την εφαρμογή.

Η μεταβολή του ψυκτικού φορτίου επιδρά στην πίεση, στην αναρρόφηση και στη θερμοκρασία των ατμών του ψυκτικού μέσου στην έξοδό τους από τον ατμοποιητή. Η μείωση του ψυκτικού φορτίου συνεπάγεται πτώση της πίεσεως αναρροφήσεως και της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Έτσι η ρύθμιση του φορτίου του συμπιεστή γίνεται με δύο τρόπους:

- α) Με μεθόδους που ενεργοποιούνται από την **πίεση αναρροφήσεως** και
- β) με μεθόδους που ενεργοποιούνται από τη **θερμοκρασία ατμοποίησης**.

Και στις δύο περιπτώσεις η μέτρηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας συνήθως πραγματοποιείται με αισθητήρια που τοποθετούνται στο στροφαλοθάλαμο. Η πτώση της πίεσεως ή της θερμοκρασίας του μέσου στο στροφαλοθάλαμο επιφέρει μείωση της ικανότητας του συμπιεστή. Αντίθετα, η αύξηση των παραπάνω μεγεθών συνεπάγεται λειτουργία σε αυξημένο ή πλήρες φορτίο.

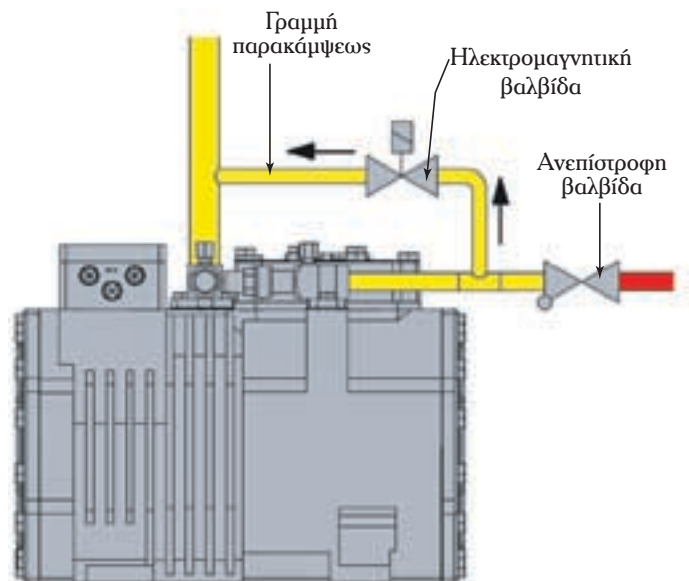
Με τη μεταβολή της ισχύος σε βήματα προκαλείται μεταβολή των θερμοκρασιών ατμοποίησης και συμπυκνώσεως, η οποία με τη σειρά της προκαλεί μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς του ψυκτικού κύκλου. Συγκεκριμένα, η απότομη μείωση της ισχύος του συμπιεστή προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης και μείωση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως, ενώ η απότομη αύξηση της ισχύος του συμπιεστή επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα. Γι' αυτούς του λόγους οι κατασκευαστές των συμπιεστών φροντίζουν, ώστε το σύστημα ρυθμίσεως της ισχύος που χρησιμοποιούν, να ρυθμίζει την ισχύ σε μικρά βήματα, ώστε να μην υπάρχει μεγάλη μείωση της αποδόσεως της εγκατάστασης στις μεταβατικές περιόδους λειτουργίας.

Εκτός από την ανάγκη ρυθμίσεως του φορτίου του συμπιεστή, απαιτείται η αποφόρτιση των κυλίνδρων κατά την εκκίνηση, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ροπή εκκινήσεως. Η μεγάλη ροπή εκκινήσεως σημαίνει μεγάλο ηλεκτρικό κινητήρα και αυξημένη ένταση του ρεύματος κατά την εκκίνηση. Κάτι τέτοιο αποφεύγεται με την αποφόρτιση όλων των κυλίνδρων, ώστε κατά την εκκίνηση να απαιτείται να υπερνικηθούν μόνο οι μηχανικές

τριβές μέχρι την επίτευξη του επιθυμητού αριθμού στροφών. Αυτό γίνεται με τη βραχυκύκλωση των γραμμών αναρροφήσεως και καταθλίψεως μέσω σωληνοειδούς βαλβίδας (σχ. 5.2λθ) ή με κάποια από τις μεθόδους ρυθμίσεως ισχύος που περιγράφονται παρακάτω. Συνήθως στους μεγάλους συμπιεστές κατά την εκκίνηση ανοίγουν όλες οι βαλβίδες αναρροφήσεως, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια.

Οι μέθοδοι ρυθμίσεως της ισχύος των εμβολοφόρων συμπιεστών συνοπτικά έχουν ως εξής:

α) Η **διακοπόμενη λειτουργία** συνεπάγεται κράτηση του συμπιεστή όταν μειωθεί η πίεση ή η θερμοκρασία εξατμίσεως λόγω του μειωμένου ψυκτικού φορτίου. Αυτό έχει ως συνέπεια την αδυναμία διατηρήσεως σταθερής θερμοκρασίας στον ψυκτικό θάλαμο (σχ. 5.2μ). Η κράτηση και η εκκίνηση του συμπιεστή γίνεται με τη βοήθεια ενός θερμοστάτη χαμηλής-υψηλής θερμοκρασίας που τοποθετείται στον ψυκτικό θάλαμο. Για την επίτευξη μικρότερης διακυμάνσεως της θερμοκρασίας στον ψυκτικό θάλαμο απαιτείται μεγαλύτερη συχνότητα εκκινήσεων και κρατήσεων. Επί πλέον, κατά τις διαδοχικές εκκινήσεις του συμπιεστή, υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος και καταπόνηση της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Γι' αυτόν το λόγο η διακοπόμενη λειτουργία χρησιμοποιείται σε μικρές εγκαταστάσεις με ερμητικούς συμπιεστές όπως στα οικιακά ψυγεία. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, μπορεί να υπάρχουν δύο ή περισσότεροι παράλληλοι συμπιεστές,



Σχ. 5.2λθ.

Αποφόρτιση συμπιεστή κατά την εκκίνηση με βραχυκύκλωση των γραμμών αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

οι οποίοι εκκινούν και κρατούνται ανάλογα με το ψυκτικό φορτίο.

β) Η **παρακάμψη θερμού αερίου** αναφέρεται ως μέθοδος ρυθμίσεως της ισχύος των εμβολοφόρων συμπιεστών, αν και είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του συμπιεστή που υπάρχει στην εγκατάσταση. Η μέθοδος παρακάμψεως θερμού αερίου χρησιμοποιείται σε μικρές εγκαταστάσεις, στις οποίες συνήθως υπάρχουν μικροί ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές.

Με την παράκαμψη θερμού αερίου μπορεί να επιτευχθεί σταθερή θερμοκρασία στον ψυκτικό θάλαμο και λόγω του χαμηλού κόστους της, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου οι υπόλοιπες μέθοδοι είναι ακριβές. Το μειονέκτημά της είναι ότι ο συμπιεστής εργάζεται συνεχώς σε πλήρες φορτίο, πράγμα που σημαίνει μεγάλο κόστος λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Γι' αυτούς τους λόγους η παράκαμψη θερμού αερίου χρησιμοποιείται σε μικρές εγκαταστάσεις όταν υπάρχει απαίτηση για ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας του ψυκτικού θαλάμου.

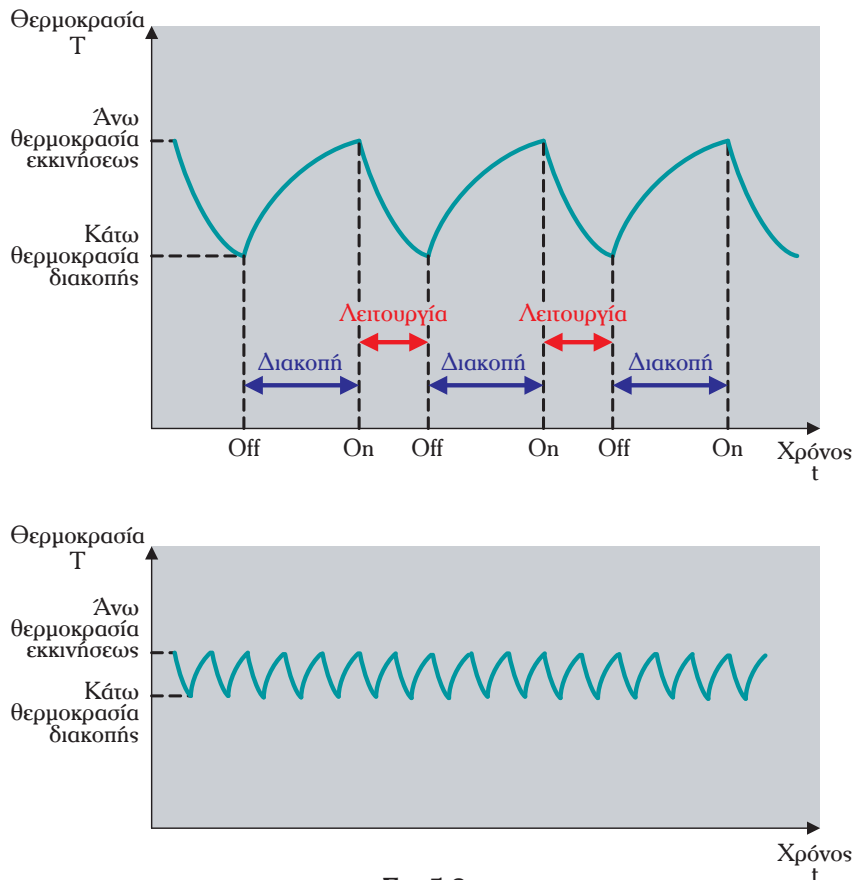
Το κύκλωμα παρακάμψεως παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2μ(α). Μετά το συμπιεστή υπάρχει μία

βαλβίδα παρακάμψεως που οδηγεί το θερμό αέριο μέσω μιας βαλβίδας που ρυθμίζει την πίεση, πίσω στον ατμοποιητή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ψύξεως που παράγεται στον ατμοποιητή, δεδομένου ότι σ' αυτό εισέρχεται μικρότερη παροχή υγρού μέσου. Η βαλβίδα παρακάμψεως ελέγχεται από ένα θερμοστάτη χαμηλής-υψηλής θερμοκρασίας που τοποθετείται στον ψυκτικό θάλαμο και λόγω του ότι μπορεί να ανοίγει και να κλείνει με μεγάλη συχνότητα είναι δυνατή η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας του θαλάμου, χωρίς να υπάρχει μεγάλη διακύμανση.

Εναλλακτικά, η βαλβίδα παρακάμψεως μπορεί να είναι πιεζοστατική και να ενεργοποιείται από την πίεση αναρροφήσεως [σχ. 5.2μ(β)]. Όταν μειώνεται το ψυκτικό φορτίο, μειώνεται η πίεση αναρροφήσεως και ανοίγει η βαλβίδα παρακάμψεως.

γ) Η **λειτουργία σε μεταβλητές στροφές** συνεπάγεται τη μείωση του θεωρητικού όγκου εμβολισμού του συμπιεστή. Η ρύθμιση των στροφών μπορεί να γίνεται:

– Με μεταγωγή του αριθμού των πόλων του κι-



Σχ. 5.2μ.

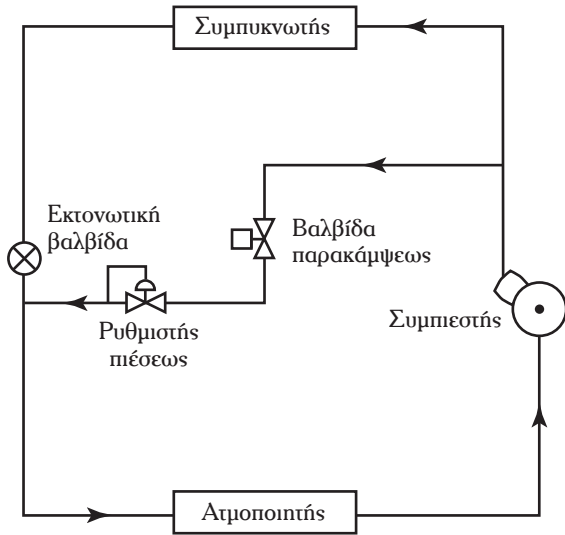
Επίδραση της διακοπόμενης λειτουργίας του συμπιεστή στη θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου.

νητήρα από 4 σε 2, οπότε ο κινητήρας εργάζεται με το μισό αριθμό στροφών.

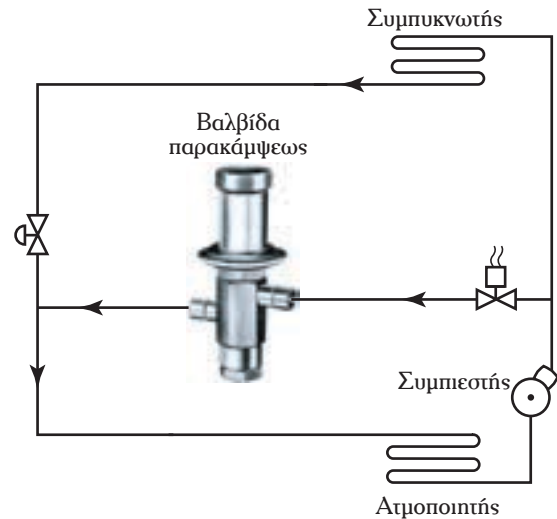
- Με μεταβολή της συχνότητας του ρεύματος με ηλεκτρονικό τρόπο. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την εγκατάσταση ηλεκτρονικών ισχύων, είναι ακριβής και δεν χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα παρά μόνον σε μικρές εγκαταστάσεις, όπως σε αντλίες θερμότητας.

δ) Η **μείωση της διαδρομής του εμβόλου** χρησιμοποιείται σε ερμητικούς συμπιεστές. Σε δικύλινδρους συμπιεστές, ο ένας κύλινδρος τίθεται εκτός λειτουργίας όταν ο διωστήρας του μετατοπίζεται σε μία θέση πάνω στο στρόφαλο, όπου δεν υπάρχει εκκεντρότητα. Η μεταβολή της θέσεως του διωστήρα γίνεται με την αναστροφή της φοράς περιστροφής.

Ως αποτέλεσμα, η διαδρομή του ενός κυλίνδρου είναι μηδενική και ο συμπιεστής εργάζεται μ' έναν κύλινδρο. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα. Η μείωση της διαδρομής του εμβόλου χρησιμοποιείται επίσης σε συμπιεστές κλιματισμού αυτοκινήτων, τύπου περιστρεφόμενων εμβόλων (σχ. 5.2μβ). Στους συμπιεστές αυτού του τύπου η ρύθμιση της διαδρομής επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της κλίσεως μίας πλάκας που στηρίζει τους διωστήρες των εμβόλων. Για μεγάλη κλίση της πλάκας υπάρχει η μέγιστη παροχή, ενώ όταν η πλάκα είναι κατακόρυφη η παροχή είναι μηδενική. Η κίνηση της πλάκας πραγματοποιείται από ένα σερβοκινητήρα και μεταδίδεται μ' ένα μοχλό, ανάλογα με την πίεση στο χώρο του στροφαλοθαλάμου.



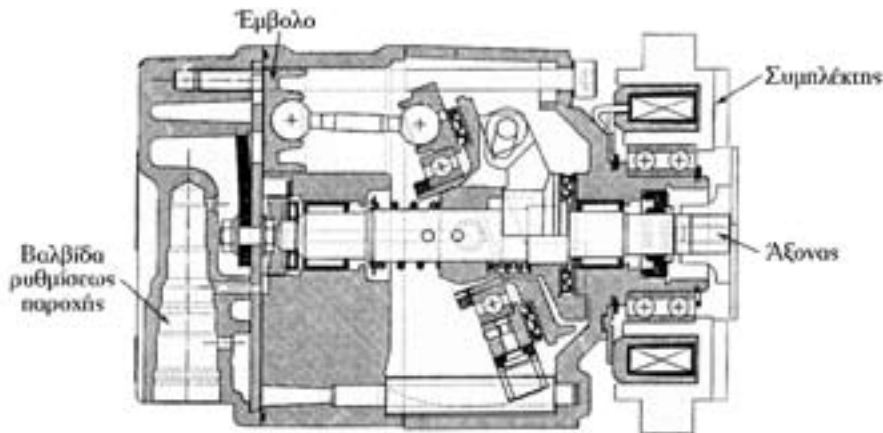
(α)



(β)

Σχ. 5.2μα.

(α) Κύκλωμα παρακάμψεως θερμού αερίου, (β) κύκλωμα παρακάμψεως θερμού αερίου με βαλβίδα που ενεργοποιείται απ' την πίεση αναρροφήσεως.



Σχ. 5.2μβ.

Μεταβολή της διαδρομής σε συμπιεστή περιστρεφόμενων εμβόλων.

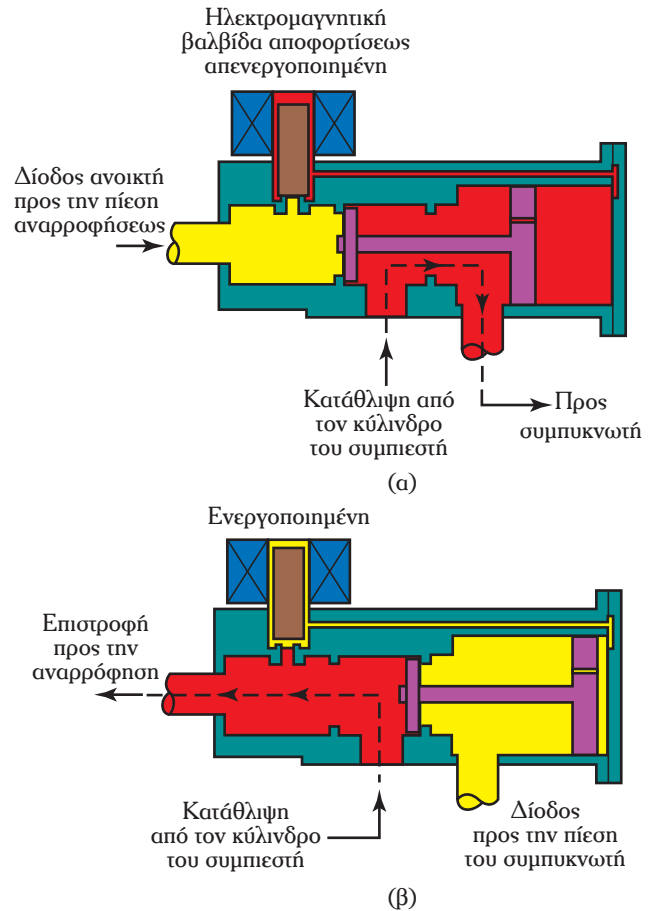
Λόγω της πολυπλοκότητάς του, το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε μικρή κλίμακα σε αυτοκίνητα και σε φορτηγά ψυγεία.

ε) Η **εσωτερική παρακάμψη** χρησιμοποιείται σε ημερημτικούς παλινδρομικούς συμπιεστές. Ο χώρος καταθλίψεως του κυλίνδρου όταν αποφορτίζεται, ενώνεται, μέσω μιας βαλβίδας, η οποία κινείται ηλεκτρικά, με το χώρο αναρρόφησης. Στην κατάθλιψη υπάρχει μια ανεπίστροφη βαλβίδα που αποτρέπει την επιστροφή απ' όλους τους κυλίνδρους. Στο σχήμα 5.2μγ φαίνεται μια βαλβίδα παρακάμψεως που ενεργοποιείται από την πίεση καταθλίψεως και οδηγείται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Σε πλήρες φορτίο, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι απενεργοποιημένη [σχ. 5.2μγ(α)], κλείνει η δίοδος και δεν υπάρχει ροή διαφυγής του ατμού. Το έμβολο σπρώχνεται προς τα αριστερά από την πίεση του ατμού της καταθλίψεως και αυτός οδηγείται προς το συμπυκνωτή. Σε μειωμένο φορτίο, όταν πρέπει να αποφορτιστεί ο κύλινδρος ενεργοποιείται η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα [σχ. 5.2μγ(β)]. Λόγω της ύπαρξης ροής διαφυγής του ψυκτικού μέσου από τη δίοδο διαφυγής, το έμβολο μετακινείται προς τα δεξιά από την πίεση του ατμού καταθλίψεως. Η δίοδος προς το συμπυκνωτή κλείνει και το αέριο από την κατάθλιψη οδηγείται εκ νέου προς την αναρρόφηση, οπότε ο κύλινδρος περιστρέφεται άεργος.

Εναλλακτικά η βαλβίδα παρακάμψεως μπορεί να τοποθετείται στον κύλινδρο, ώστε να μειώνεται η ωφέλιμη διαδρομή του εμβόλου. Στο σχήμα 5.2μδ εικονίζεται ένας κύλινδρος με μία βαλβίδα παρακάμψεως. Όταν η βαλβίδα παρακάμψεως είναι ανοικτή η διαδρομή Α-Β είναι ανενεργή, οπότε μειώνεται ο όγκος εμβολισμού.

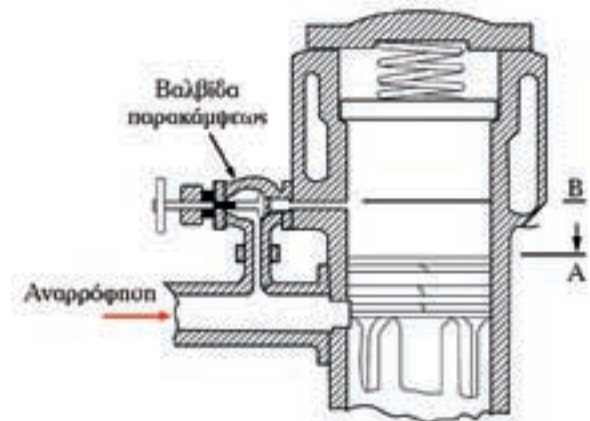
στ) Η **φραγή του οξειτού αναρρόφησης του κυλίνδρου** γίνεται μέσω μιας **ηλεκτρομαγνητικής ηλεκτρικής βαλβίδας** (solenoid valve). Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται κυρίως όταν οι βαλβίδες είναι τύπου λάμας. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, όταν ενεργοποιείται συγκοινωνεί ένα έμβολο φραγής με την πίεση καταθλίψεως. Το σύστημα φραγής της αναρρόφησης του κυλίνδρου φαίνεται στο σχήμα 5.2με. Για τη λειτουργία στο 100% του φορτίου, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι απενεργοποιημένη και το έμβολο φραγής βρίσκεται στην ανοικτή θέση με τη βοήθεια του επανατατικού ελατηρίου, οπότε ο κύλινδρος εργάζεται κανονικά. Σε μειωμένο φορτίο, ενεργοποιείται η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, οπότε ανοίγει η δίοδος για τον ατμό υψηλής πίεσης από την κατάθλιψη, ο οποίος επενεργεί στο έμβολο φραγής.

Η πίεση του ατμού στο έμβολο δημιουργεί μία δύναμη που υπερνικά τη δύναμη του ελατηρίου και κινεί το έμβολο προς τα κάτω. Η δίοδος της αναρρόφησης κλείνει, οπότε ο κύλινδρος περιστρέφεται άεργος. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε ημερημτικούς



Σχ. 5.2μγ.

Βαλβίδα εσωτερικής παρακάμψεως για πλήρη παρακάμψη του κυλίνδρου.



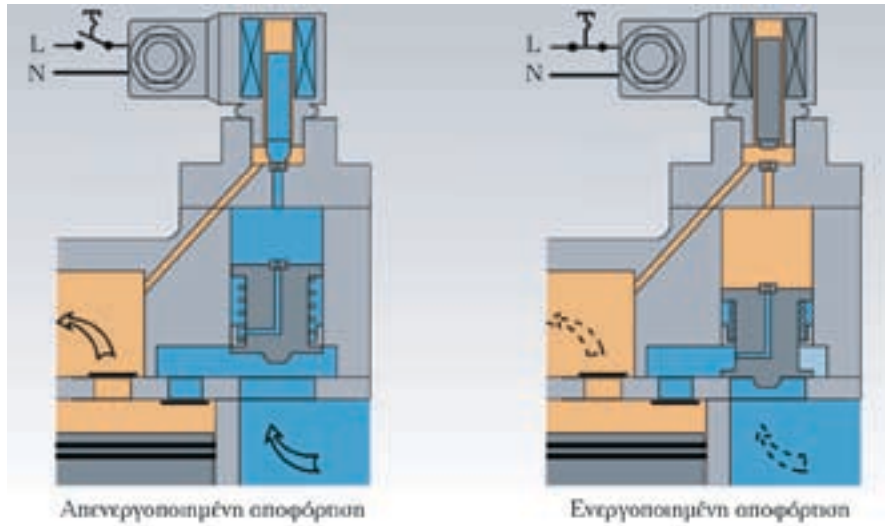
Σχ. 5.2μδ.

Βαλβίδα εσωτερικής παρακάμψεως για μείωση της ωφέλιμης διαδρομής.

συμπιεστές και έχει το πλεονέκτημα της απλής κατασκευής και της ομαλής ρυθμίσεως της ισχύος μέσω της διαδοχικής αποφορτίσεως των κυλίνδρων.

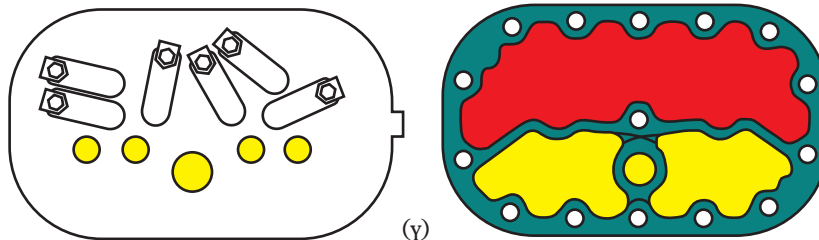
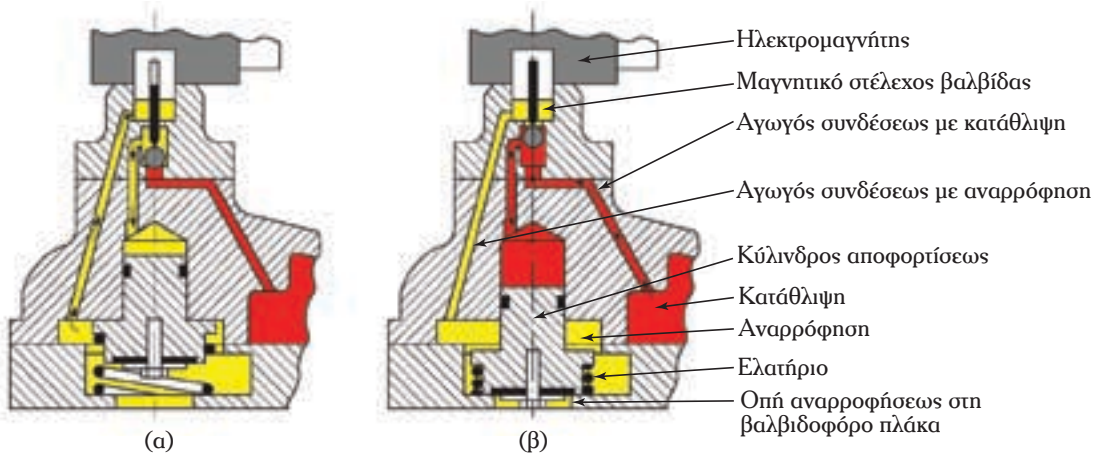
Στο σχήμα 5.2μστ εικονίζεται το σύστημα φραγής της διόδου εισόδου του ατμού στο χώρο αναρροφήσεως, το οποίο ενεργοποιείται με μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Στο σχήμα 5.2μστ(α) φαίνεται η λειτουργία σε πλήρες φορτίο, όταν στο χώρο πάνω από

τον κύλινδρο επικρατεί η πίεση αναρροφήσεως και ο κύλινδρος μένει στην πάνω θέση με τη βοήθεια του ελατηρίου. Στο σχήμα 5.2μστ(β) παρουσιάζεται η λειτουργία σε μειωμένο φορτίο, όταν ενεργοποιείται η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και στον κύλινδρο επενεργεί η πίεση καταθλίψεως, οπότε κλείνει η διόδος του ατμού στο χώρο των βαλβίδων αναρροφήσεως [σχ. 5.2μστ(γ)].



Σχ. 5.2με.

Ρύθμιση ισχύος συμπιεστή με φραγή της αναρροφήσεως.



Σχ. 5.2μστ.

Ρύθμιση ισχύος συμπιεστή με φραγή της αναρροφήσεως: (α) Απενεργοποιημένη αποφόρτιση, (β) ενεργοποιημένη, (γ) κατασκευή βαλβιδοφόρου πλάκας.

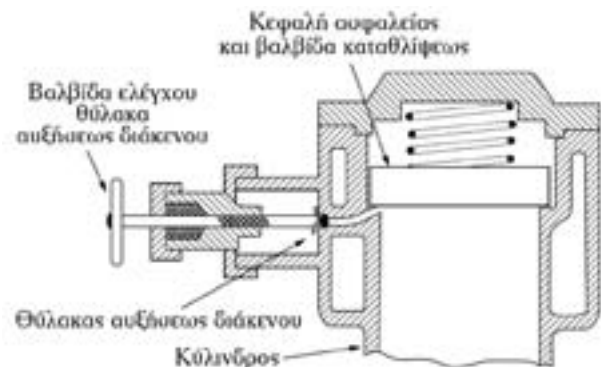
ζ) Η **αύξηση του όγκου διακένου** έχει ως αποτέλεσμα την αποφόρτιση του κυλίνδρου των εμβολοφόρων συμπιεστών. Στην κεφαλή του κυλίνδρου υπάρχει ένας κενός χώρος, ο οποίος απομονώνεται με μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Σε λειτουργία με πλήρες φορτίο, η βαλβίδα είναι κλειστή, οπότε ο ατμός που συμπιέζεται στον κύλινδρο βγαίνει από τη βαλβίδα καταθλίψεως. Για την αποφόρτιση του κυλίνδρου, ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, οπότε ο κενός χώρος που αποκαλύπτεται αυξάνει το χώρο διακένου. Κατά τη συμπίεση, μέρος του ατμού εισέρχεται στο χώρο διακένου και στη συνέχεια επιστρέφει στον κύλινδρο στη φάση της αναρροφήσεως, πράγμα που σημαίνει μείωση του όγκου εμβολισμού του κυλίνδρου. Ο κενός χώρος είναι τόσο, ώστε η πίεση του ατμού που έχει εγκλωβιστεί στο χώρο διακένου, να είναι μικρότερη από την πίεση αναρροφήσεως όταν το έμβολο βρίσκεται κοντά στο Κ.Ν.Σ., έτσι ώστε να ανοίξει η βαλβίδα αναρροφήσεως. Γι' αυτόν το λόγο η μείωση της ισχύος του κυλίνδρου είναι από 25–50%, ώστε να υπάρχει ροή ατμού και να μην υπερθερμαίνεται ο κύλινδρος. Στο σχήμα 5.2μζ φαίνεται ένας κύλινδρος, η ισχύς του οποίου ρυθμίζεται με αύξηση του όγκου διακένου. Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε συμπιεστές με λιγότερους από 4 κυλίνδρους, όπου δεν μπορεί να γίνει ρύθμιση της ισχύος σε μικρά βήματα με αποφόρτιση, με ανύψωση των βαλβίδων αναρροφήσεως. Επί πλέον, η μείωση της ισχύος σε κάθε κύλινδρο εξαρτάται απ' τον αρχικό λόγο συμπίεσεως.

η) Το **άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής** είναι η μέθοδος ρυθμίσεως φορτίου που εφαρμόζεται σε μεγάλους εμβολοφόρους συμπιεστές βιομηχανικής ψύξεως και χρησιμοποιείται όταν οι βαλβίδες είναι τύπου δακτυλίου. Στη μέθοδο αυτή αποφορτίζονται οι κύλινδροι ένας-ένας ή σε ομάδες. Οι βαλβίδες αναρροφήσεως του κυλίνδρου που αποφορτίζεται δεν ανοίγουν από τη διαφορά πιέσεως κατά την αναρρόφηση, αλλά μένουν ανοικτές σ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας, κατά την οποία είναι επιθυμητή η μείωση της ισχύος συμπίεσεως. Οι βαλβίδες αναρροφήσεως κινούνται με τη βοήθεια υδραυλικού εμβόλου, στο οποίο επενεργεί η πίεση του λαδιού λιπάνσεως από την εξαρτημένη αντλία λαδιού. Η είσοδος του λαδιού στον κύλινδρο κινήσεως επιτρέπεται ανάλογα με το φορτίο του συμπιεστή. Με τη βαλβίδα αναρροφήσεως ανοικτή δεν μπορεί να γίνει συμπίεση του ατμού, καθώς μετά την αναρρόφηση δεν ανεβαίνει η πίεση, ώστε να ανοίξει η βαλ-

βίδα καταθλίψεως. Έτσι, ο ατμός επιστρέφει από τον κύλινδρο προς την αναρρόφηση και ο κύλινδρος περιστρέφεται άεργος. Κατά τη λειτουργία του συμπιεστή σε μερικό φορτίο με ανύψωση των βαλβίδων μίας ομάδας κυλίνδρων δεν υπάρχουν μεγάλες απώλειες, παρά μόνο λόγω τριβών στο άεργο κύλινδρο και λόγω τριβών κατά τη ροή του ατμού από και προς την αναρρόφηση.

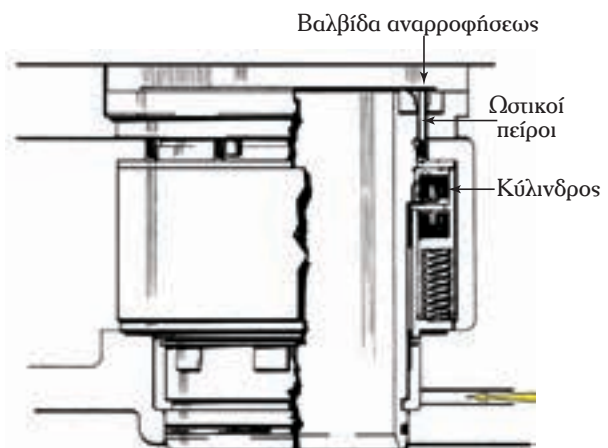
Το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής χρησιμοποιείται και για την αποφόρτιση όλων των κυλίνδρων κατά την εκκίνηση. Αυτό γίνεται για να μειωθεί το ρεύμα εκκινήσεως και η καταπόνηση του ηλεκτρικού κινητήρα, ειδικά όταν υπάρχει σύνδεση με ελαστικό σύνδεσμο και δεν υπάρχει ολίσθηση μεταξύ κινητήρα και συμπιεστή. Στις συνδέσεις με ιμάντες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα ολίσθησεως, η καταπόνηση του κινητήρα κατά την εκκίνηση είναι μικρότερη.

Στο σχήμα 5.2μη φαίνεται ο μηχανισμός αποφορτίσεως ενός κυλίνδρου, ο οποίος ενεργοποιείται



Σχ. 5.2μζ.

Ρύθμιση ισχύος με αύξηση του όγκου διακένου.



Σχ. 5.2μη.

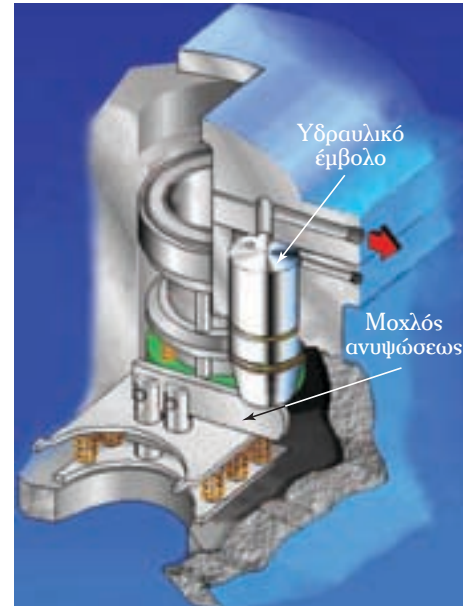
Αποφόρτιση κυλίνδρου με ωστικούς πείρους ανυψώσεως της βαλβίδας εισαγωγής.

με την πίεση λαδιού. Για λειτουργία σε μειωμένο φορτίο, η πίεση του λαδιού επενεργεί στον κύλινδρο που περιβάλλει το χιτώνιο. Αυτός μετακινείται προς τα επάνω και σπρώχνει τους ωστικούς πείρους που βρίσκονται περιμετρικά του χιτωνίου, οι οποίοι ανοίγουν τη βαλβίδα εισαγωγής, κρατώντας την ανοικτή.

Στο σχήμα 5.2μθ φαίνεται ο μηχανισμός αποφορτίσεως με άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής που ενεργοποιείται από την πίεση του λαδιού ή από την πίεση του ατμού καταθλίψεως. Η πίεση ενεργεί στο έμβολο κινήσεως και με τη βοήθεια του μοχλού και των πείρων ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής.

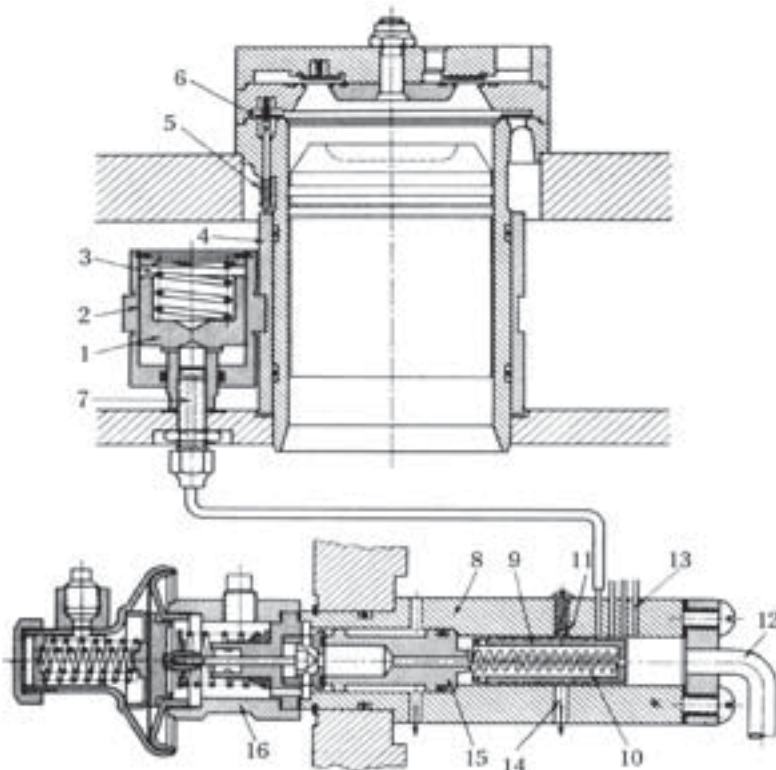
Στο σχήμα 5.2ν φαίνεται ο μηχανισμός ρυθμίσεως φορτίου, ο οποίος ενεργοποιείται με την πίεση του ατμού στο στροφαλοθάλαμο. Όταν μειωθεί η πίεση του ατμού, η οποία συνδέεται στο έμβολο αριστερά του μηχανισμού, αυτό σημαίνει μικρή υπερθέρμανση στον ατμοποιητή και κατά συνέπεια χαμηλό ψυκτικό φορτίο. Ως αποτέλεσμα, μετακινείται ο σύρτης (9) προς τα αριστερά από την πίεση του λαδιού λιπάνσεως που συνδέεται στο (12). Η μετακίνηση του σύρτη γίνεται σε διαδοχικά βήματα μέσω της μπίλιας (11). Με τη μετακίνηση του σύρτη, αποκαλύπτονται διαδοχικά οι θυρίδες διόδου του λαδιού (13), με τις

οποίες το λάδι πηγαίνει στους κυλίνδρους που αποφορτίζονται. Το λάδι πηγαίνει στο έμβολο (2), το οποίο μετακινείται προς τα πάνω. Με τη μετακίνηση του εμβόλου (2), ωθείται το χιτώνιο (4) προς τα



Σχ. 5.2μθ.

Αποφόρτιση κυλίνδρου με μοχλό ανοίγματος της βαλβίδας εισαγωγής.



Σχ. 5.2ν.

Ρύθμιση φορτίου συμπιεστή με άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής.

- 1) Έμβολο
- 2) Κύλινδρος
- 3) Ελατήριο αντιθλίψεως
- 4) Κυλινδρική ολίσθηση
- 5) Πείρος με ελατήριο
- 6) Βαλβίδα εισαγωγής
- 7) Εισαγωγή λαδιού στον κύλινδρο
- 8) Κύλινδρος σύρτη διανομής
- 9) Αυλακωτό έμβολο
- 10) Ελατήριο
- 11) Σφαίρα και ελατήριο
- 12) Εισαγωγή λαδιού στο σύρτη
- 13) Σωλήνες λαδιού
- 14) Επιστροφή λαδιού προς ελαιολεκάνη
- 15) Ενδιάμεσο εξάρτημα
- 16) Βαλβίδα ρυθμίσεως πίεσεως

πάνω και οι πείροι 5 ανοίγουν τη βαλβίδα αναρροφήσεως. Με την αύξηση του ψυκτικού φορτίου, αυξάνεται η πίεση του ατμού στο στροφαλοθάλαμο και ο σύρτης κλείνει τις διόδους του λαδιού προς τους κυλίνδρους εκφορτίσεως, οι οποίοι επιστρέφουν στην κάτω θέση με τα ελατήρια (3).

Στο σχήμα 5.2να φαίνεται ένας μηχανισμός, ίδιος μ' αυτόν του σχήματος 5.2ν, ο οποίος ενεργοποιείται με τη θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του ατμοποιητή. Η πίεση του αερίου στο θερμοστατικό βολβό είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία του ατμού και επενεργεί στο σύρτη μέσω της μεμβράνης (17).

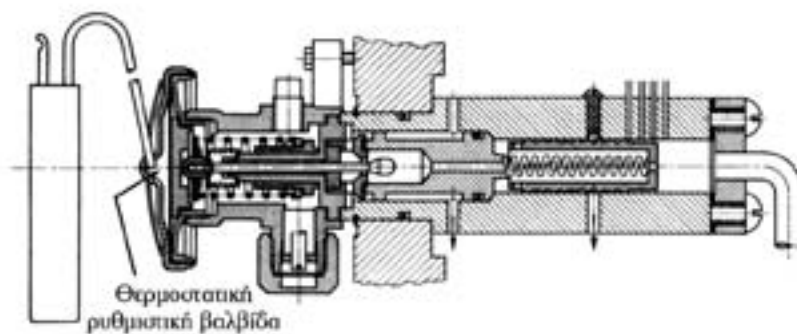
Στο σχήμα 5.2νβ εικονίζεται ένας μηχανισμός ρυθμίσεως φορτίου, η λειτουργία του οποίου εξαρτάται από την πίεση αναρροφήσεως και την ένταση του ελατηρίου (5). Η υψηλή πίεση αναρροφήσεως σημαίνει απαίτηση για μεγαλύτερη ισχύ συμπίεσεως, ενώ χαμηλή πίεση αναρροφήσεως σημαίνει απαίτηση για εκφόρτιση ενός ή περισσότερων κυλίνδρων. Ένας τριχοειδής σωλήνας μεταφέρει την πίεση αναρροφήσεως στο χώρο του σώματος της έδρας της ρυθμιστικής βαλβίδας f, το οποίο τότε ωθείται προς τα δεξιά από το ελατήριο (5), η ένταση του οποίου ρυθμίζεται εξωτερικά. Η πίεση αναρροφήσεως επενεργεί στο χώρο αριστερά από το σώμα της έδρας της βαλβίδας, η κίνηση της οποίας μεταφέρεται μέσω του ωστηρίου (7) στην έδρα της βαλβίδας (8). Κατά τη λειτουργία στην άφορτη κατάσταση, η πτώση της πίεσεως αναρροφήσεως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της δύναμης που προστίθεται στην τάση του ελατηρίου. Η έδρα της βαλβίδας ρυθμίσεως (8) μένει ανοικτή, καθώς ωθείται από το ωστήριο (7) προς τα αριστερά. Το λάδι που εισέρχεται από την αντλία λαδιού στο (9) επιστρέφει μέσω της διόδου (11) προς το στροφαλοθάλαμο. Τότε στο διανομέα λαδιού (13) δεν υπάρχει πίεση λαδιού,

οπότε το έμβολο (18) κατεβαίνει. Με το μοχλό (19), ο κύλινδρος εκφορτίσεως (15) κινείται προς τα πάνω και σπρώχνει τους ωστικούς πείρους (20), οι οποίοι ανοίγουν τη βαλβίδα αναρροφήσεως (21). Για τη λειτουργία σε πλήρες φορτίο, όταν ανέβει η πίεση αναρροφήσεως κλείνει η βαλβίδα (8), αυξάνεται η πίεση του λαδιού στο σύρτη (14), ο οποίος ωθείται προς τα δεξιά και αποκαλύπτει τις διόδους του λαδιού προς τους κυλίνδρους εκφορτίσεως. Τα έμβολα εκφορτίσεως (18) ανεβαίνουν προς τα πάνω και μέσω του μοχλού (19) και του κυλίνδρου εκφορτίσεως (15), οι ωστικοί πείροι (20) κατεβαίνουν και η βαλβίδα αναρροφήσεως (21) κλείνει, οπότε ο κύλινδρος εργάζεται σε πλήρες φορτίο.

Το σύστημα ρυθμίσεως του σχήματος 5.2νγ, χρησιμοποιείται χωρίς καμιά προσθήκη ή τροποποίηση ώστε να πραγματοποιείται και η ολική εκφόρτιση του συμπιεστή κατά την εκκίνηση. Αυτό είναι δυνατό διότι στην εκκίνηση δεν υπάρχει πίεση λαδιού και το σύστημα ρυθμίσεως είναι σχεδιασμένο, ώστε λόγω του δικάλου, με μηδενική πίεση στον κύλινδρο εκφορτίσεως (18), η βαλβίδα αναρροφήσεως να διατηρείται ανοικτή.

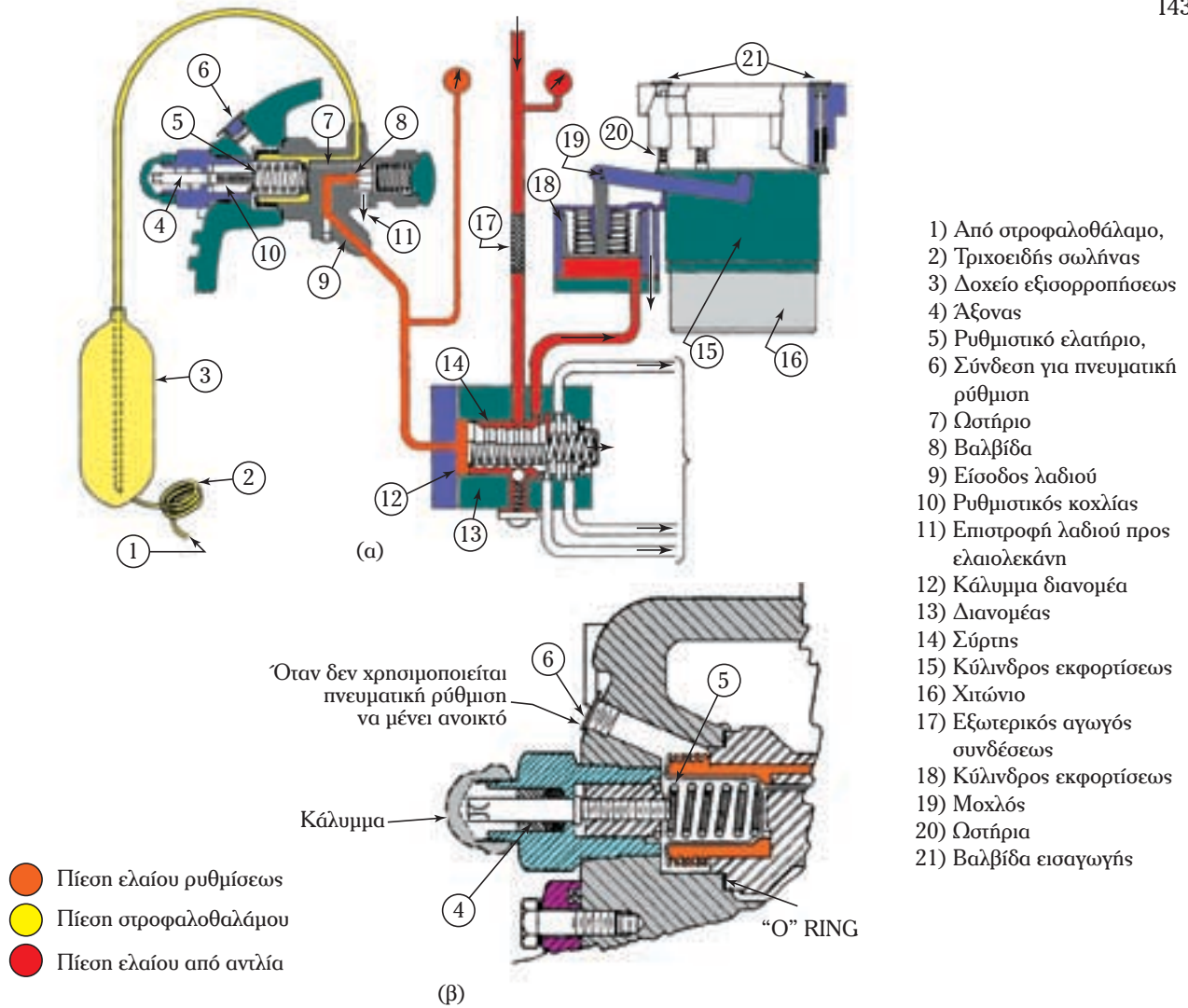
Η έναρξη της αποφορτίσεως των κυλίνδρων μπορεί να ρυθμίζεται από τη θερμοκρασία του στροφαλοθάλαμου, μέσω πεπιεσμένου αέρα ελέγχου (σχ. 5.2νγ). Η πίεση του αέρα ρυθμίζεται από την ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα με το θερμοστατικό βολβό. Ο αέρας διοχετεύεται στη μια πλευρά της φυσούνας της βαλβίδας αποφορτίσεως, ώστε η δύναμη που προκύπτει να προστίθεται στη δύναμη του ρυθμιστικού ελατηρίου.

Τα παραπάνω συστήματα αποφορτίσεως είναι πολύπλοκα και ακριβά, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε μεγάλους συμπιεστές. Σε μικρότερους συμπιεστές χρησιμοποιούνται απλούστερα και φθηνότερα



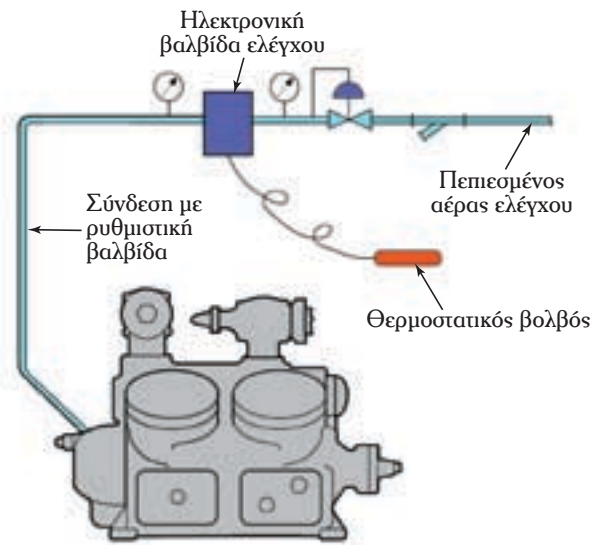
Σχ. 5.2να.

Μηχανισμός αποφορτίσεως ενεργοποιούμενος με τη θερμοκρασία του ατμού.



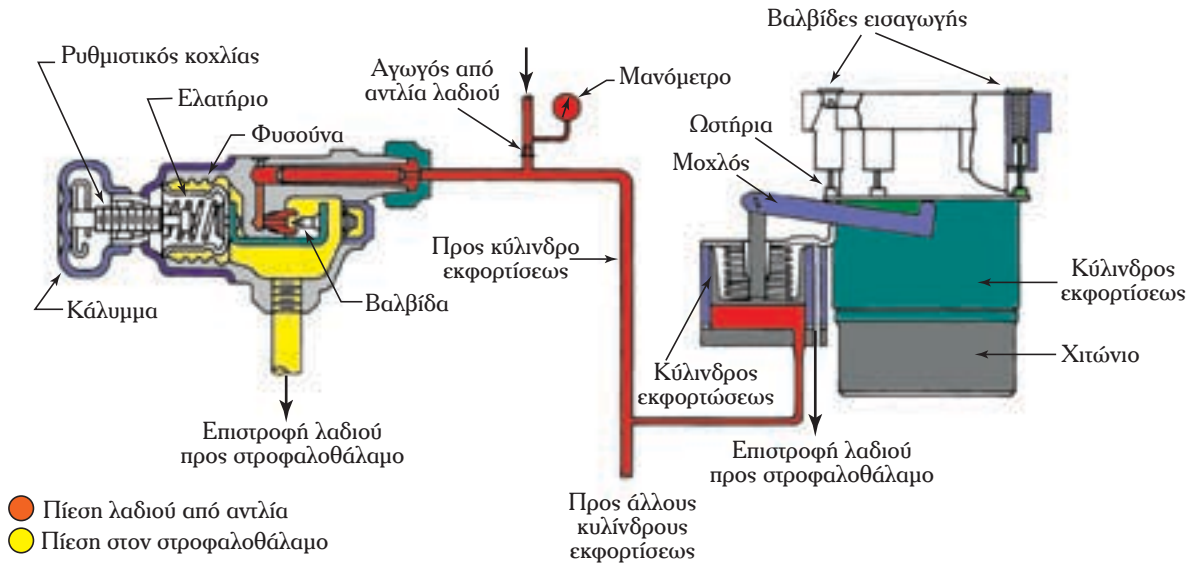
Σχ. 5.2νβ.

(α) Ρύθμιση φορτίου συμπιεστή με ανύψωση των βαλβίδων εισαγωγής. (β) Λεπτομέρεια ρυθμιστικής βαλβίδας.



Σχ. 5.2νγ.

Ρύθμιση εκφορτίσεως με πεπιεσμένο αέρα ελέγχου και θερμοστατικό έλεγχο.



Σχ. 5.2νδ.

Ρύθμιση φορτίου για μικρούς εμβολοφόρους συμπιεστές.

συστήματα. Στο σχήμα 5.2νδ παρουσιάζεται ένα παρόμοιο σύστημα εκφορτίσεως με πιο απλή κατασκευή για μικρότερους συμπιεστές της ίδιας εταιρείας. Η πίεση του στροφαλοθαλάμου μεταφέρεται στη ρυθμιστική βαλβίδα μέσω της πίεσης του λαδιού επιστροφής.

Το σχέδιο συναρμολογήσεως του συμπιεστή με το παραπάνω σύστημα εκφορτίσεως, εικονίζεται στο σχήμα 5.2νε.

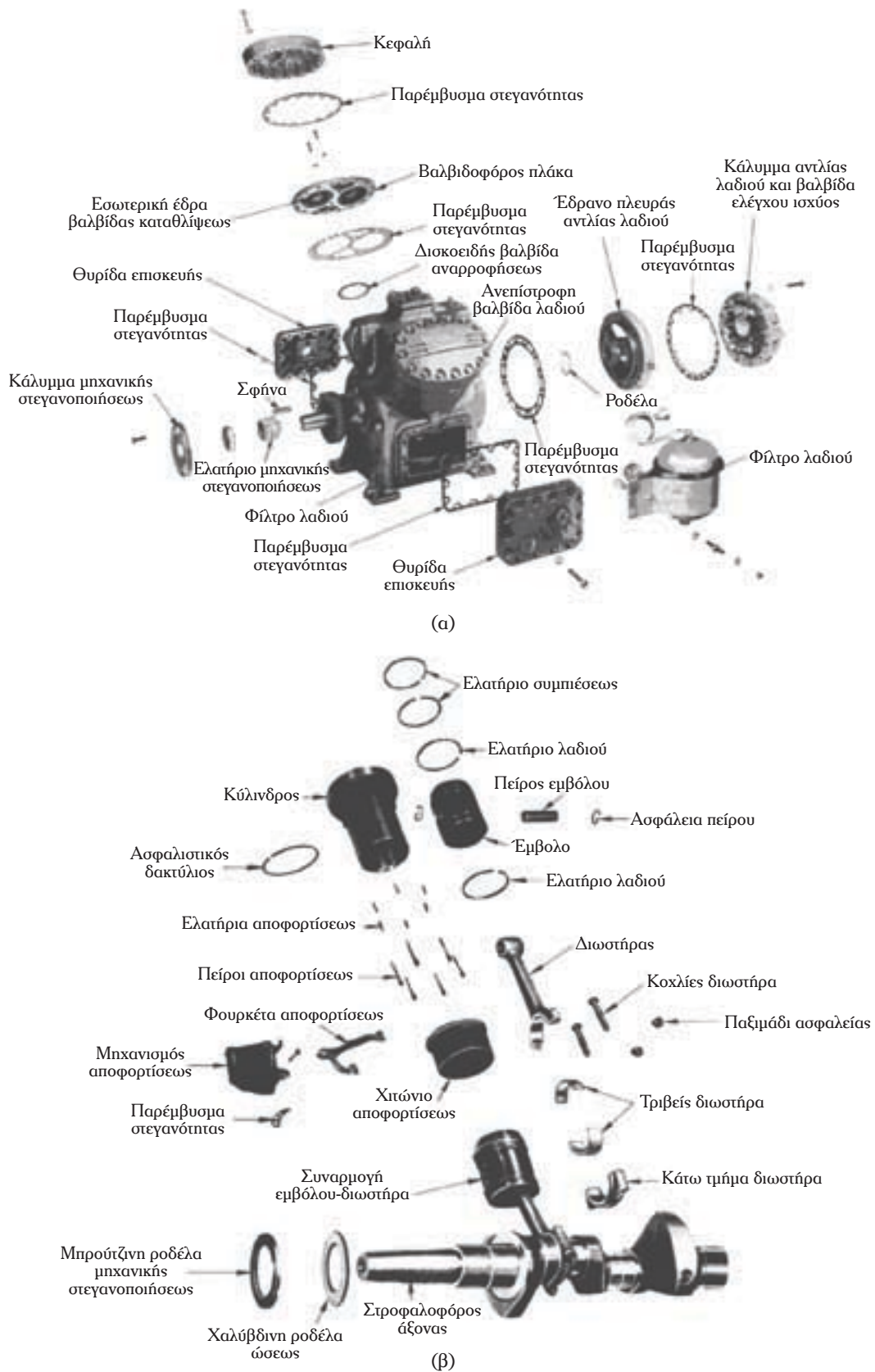
Στο σχήμα 5.2νοστ παρουσιάζεται ένα παρόμοιο σύστημα αποφορτίσεως κυλίνδρων, το οποίο ενεργοποιείται από την πίεση του λαδιού και χρησιμοποιείται για την αποφόρτιση ζευγών κυλίνδρων. Στο σχήμα 5.2νοστ(α) η ρύθμιση είναι συνεχής, ενώ στο σχήμα 5.2νοστ(β) η ρύθμιση είναι βηματική και ελέγχεται από ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες.

5.3 Περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρου τυμπάνου με σταθερό περύγιο.

Οι συμπιεστές αυτού του τύπου έχουν ένα καλύβδινο κύλινδρο, ο οποίος περιστρέφεται έκκεντρα μέσα σ' ένα κυλινδρικό τοίχωμα (σχ. 5.3). Ο περιστρεφόμενος κύλινδρος σε μία γενέτειρα του σχεδόν εφάπτεται του εξωτερικού κυλίνδρου. Αυτή η γενέτειρα επαφής μεταβάλλεται με την περιστροφή. Οι όγκοι δεξιά και αριστερά της γενέτειρας επαφής αυξάνουν και ελαττώνονται διαδοχικά και έτσι γίνεται η αναρρόφηση και η συμπίεση. Ο χώρος χωρίζεται στα δύο από ένα περύγιο, το οποίο εδράζεται στο εξωτερικό τοίχωμα και βρίσκεται σε συνεχή

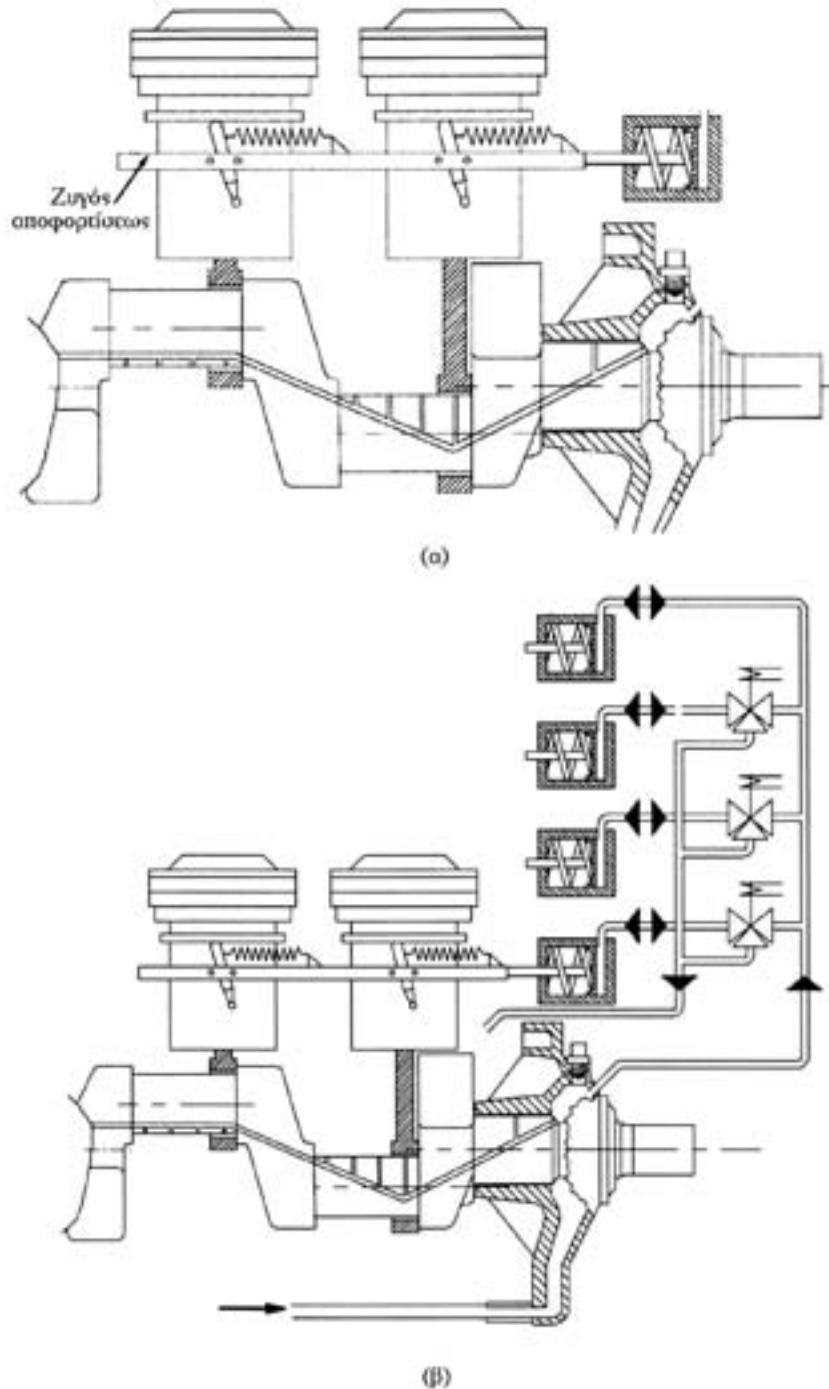
επαφή με τον περιστρεφόμενο κύλινδρο λόγω της τάσεως ενός ελατηρίου. Το περύγιο κινείται μέσα και έξω από το τύμπανο, καθώς ωθείται από το έκκεντρο τύμπανο. Τα άκρα του τυμπάνου και του τοιχώματος κλείνονται από δύο καλύβδινα καλύμματα, τα οποία στηρίζουν τα έδρανα του άξονα, έτσι ώστε να περιορίζεται η δυνατότητα διαφυγής του ατμού, δεδομένου ότι ο έκκεντρος κύλινδρος και το τοίχωμα έχουν το ίδιο μήκος. Οι θυρίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως είναι τοποθετημένες στο τοίχωμα, εκατέρωθεν της οπής του περυσίου. Ο χώρος αναρροφήσεως που περικλείεται από τον περιστρεφόμενο κύλινδρο, το τοίχωμα και το περύγιο στην αρχή μεγαλώνει οπότε ο ατμός αναρροφάται μέχρι να διέλθει από τη θυρίδα αναρροφήσεως η γενέτειρα επαφής κυλίνδρου-τοιχώματος. Στη συνέχεια, ο χώρος μικραίνει και αρχίζει η φάση της συμπίεσης, οπότε ο ατμός οδηγείται μέσα από τη θυρίδα καταθλίψεως. Η ακολουθία λειτουργίας φαίνεται στα σχήματα 5.3(β) έως 5.3(δ).

Το κυλινδρικό τοίχωμα είναι έγκλειστο σ' ένα κέλυφος και βυθισμένο σε λάδι. Ο ατμός υψηλής πίεσης καταθλίβεται μέσα στο κέλυφος, πάνω από τη στάθμη του λαδιού, το οποίο διαχωρίζεται πριν την έξοδο από το συμπιεστή. Στη συνέχεια ο ατμός συλλέγεται στην πάνω πλευρά του κελύφους και οδηγείται στη γραμμή καταθλίψεως. Μ' αυτόν τον τρόπο, το λάδι διατηρείται σε υψηλή πίεση και εισέρχεται στις τριβόμενες επιφάνειες κυλίνδρου και τοιχώματος για να τις στεγανοποιεί και να τις λιπαίνει.



Σχ. 5.2νε.

(α) Συναρμολόγηση εξωτερικών εξαρτημάτων ανοικτού συμπιεστή και (β) συναρμολόγηση εσωτερικών εξαρτημάτων ανοικτού συμπιεστή.



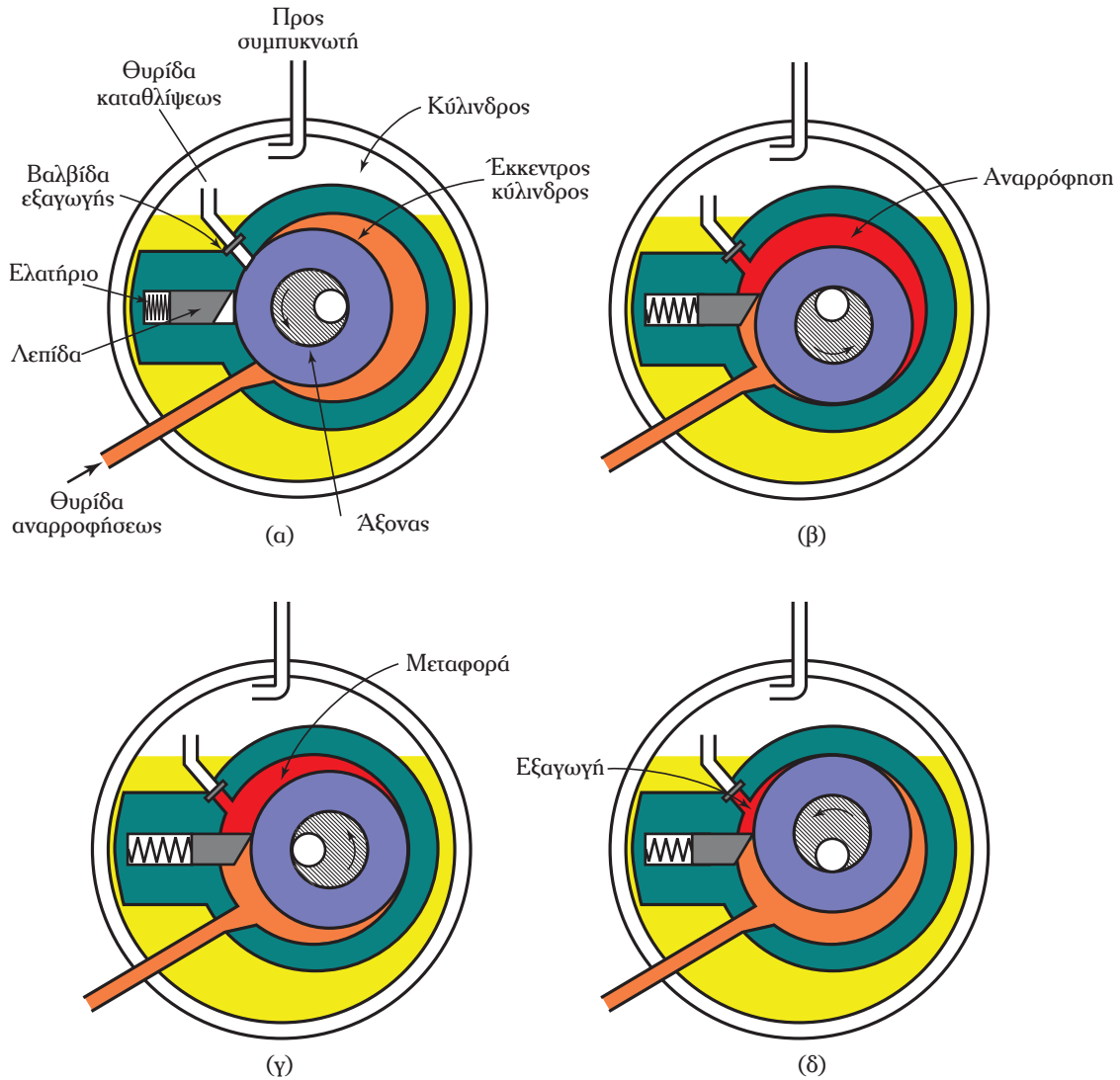
Σχ. 5.2νοστ.

Ρύθμιση φορτίου συμπιεστή μέσω της πίεσεως λαδιού. (α) Συνεχή ρύθμιση φορτίου, (β) βηματική ρύθμιση φορτίου.

Όταν σταματάει ο συμπιεστής δεν υπάρχει λιπαντική μεμβράνη, οπότε οι πιέσεις στο συμπιεστή εξισώνονται. Γι' αυτόν το λόγο στην έξοδο από τον κύλινδρο συμπιέσεως τοποθετείται μια ανεπίστροφη βαλβίδα, ώστε να μην υπάρχει ροή αερίου και λαδιού υψηλής πίεσεως πίσω προς το χώρο συμπιέσεως.

Ο περιστροφικός συμπιεστής έκκεντρου τυμπά-

νου με σταθερό περύγιο, έχει το πλεονέκτημα της απλής κατασκευής και των μειωμένων κραδασμών λόγω της συνεχούς ροής του αερίου στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη. Λόγω των μεγάλων τριβών έχει μικρό βαθμό ισεντροπικής αποδόσεως. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι δυνατή η εσωτερική ρύθμιση της ισχύος συμπιέσεως. Γι' αυ-



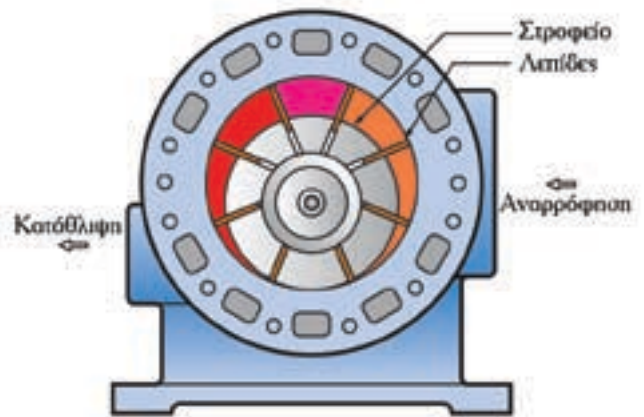
Σχ. 5.3.

Περιστροφικός συμπιεστής με σταθερό περύγιο και οι φάσεις λειτουργίας.

τούς τους λόγους, τέτοιοι συμπιεστές σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακά ψυγεία και μικρές κλιματιστικές μονάδες με αλογονούχα ψυκτικά μέσα για ψυκτική ισχύ μέχρι 15 kW.

5.4 Περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρου τυμπάνου με κινητά περύγια.

Οι περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρου τυμπάνου με κινητά περύγια περιλαμβάνουν αριθμό περυγίων, τα οποία βρίσκονται μέσα σε ένα κυλινδρικό στροφείο, που περιστρέφεται έκκεντρα μέσα σ' ένα τύμπανο (σχ. 5.4α). Το στροφείο σχεδόν εφάπτεται με το τύμπανο σε μία θέση, στην οποία η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται από μία μεμβράνη λιπαντικού. Στα δύο άκρα του κυλίνδρου και του στροφείου



Σχ. 5.4α.

Τομή περιστροφικού συμπιεστή έκκεντρου τυμπάνου με κινητά περύγια.

υπάρχουν καλύβδινα καλύμματα, στα οποία περιλαμβάνονται τα έδρανα του στροφείου. Τα περύγια ολισθαίνουν μέσα σε οδηγούς και κινούνται προς την περιφέρεια του κυλίνδρου υπό την επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή τους. Σε μερικές σχεδιάσεις υπάρχουν ελατήρια, στα οποία υπάρχει μεγαλύτερη δύναμη που ωθεί τα περύγια στο κέλυφος, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη στεγανοποίηση. Ο ατμός εισέρχεται από τη θυρίδα αναρροφήσεως και εγκλωβίζεται ανάμεσα στο στροφείο και στον κύλινδρο και στα δύο γειτονικά περύγια. Ο χώρος εγκλωβισμού μειώνεται με την περιστροφή και μέχρι την έξοδο του ατμού από τη θυρίδα καταθλίψεως. Η θέση της θυρίδας καταθλίψεως καθορίζει το λόγο συμπίεσεως ο οποίος μπορεί να φτάσει μέχρι 7:1.

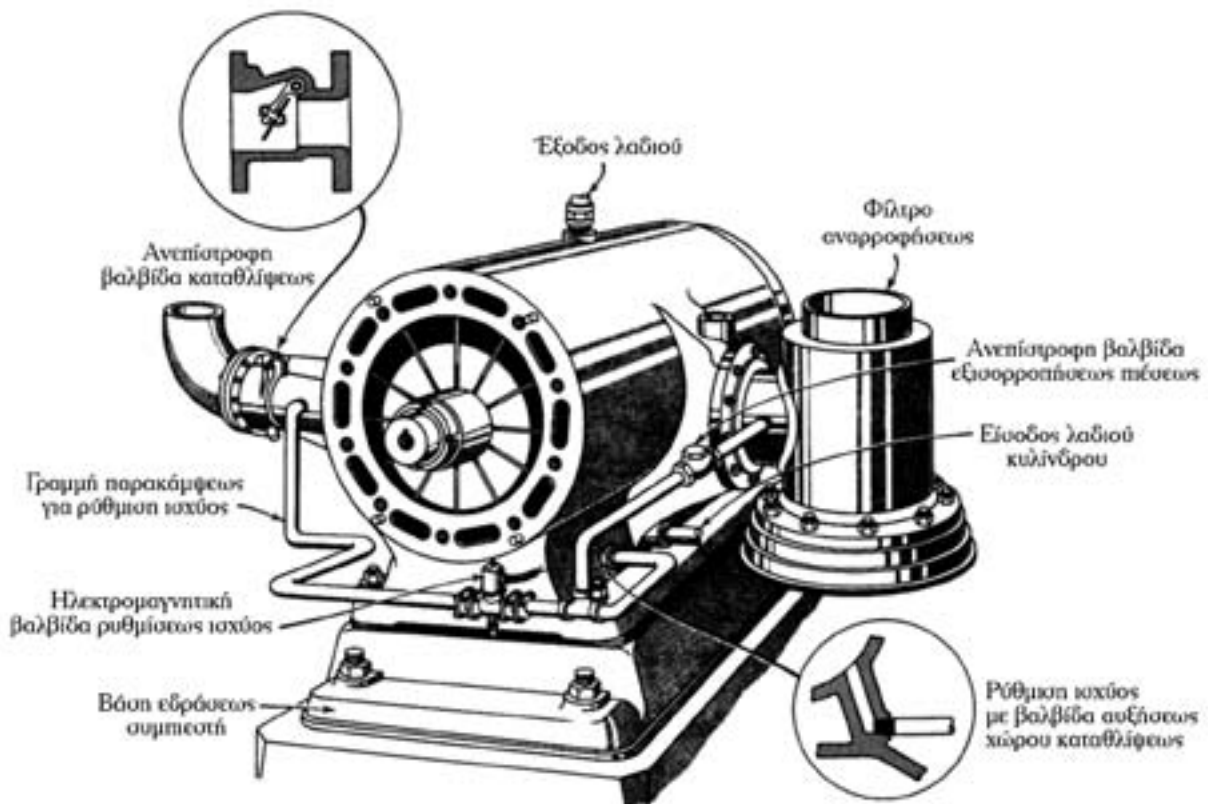
Κατασκευάζονται μέχρι μέγιστης ισχύος περίπου 400 Hp και χρησιμοποιούνται με αλογονούχα ψυκτικά ρευστά και με αμμωνία. Η ψύξη του συμπιεστή γίνεται με κυκλοφορία νερού στα εξωτερικά τοιχώματα. Η λίπανση γίνεται με εξωτερική εξαρτημένη αντλία που καταθλίβει το λάδι στα έδρανα και περιφερειακά στον κύλινδρο, όπου υπάρχουν οι τριβόμενες επιφάνειες των περυγίων. Το λάδι ψύχεται σε εξωτερικό

ψυγείο ή εναλλακτικά εγχέεται υγρό ψυκτικό μέσο, το οποίο παρέχει ψύξη με την ατμοποίηση.

Η μέγιστη φόρτιση των περυγίων λόγω της τριβής και οι διαρροές από αυτά, καθορίζουν το μέγεθος και την απόδοση των συμπιεστών με κινητά περύγια. Τέτοιοι μεγάλοι συμπιεστές χρησιμοποιούνται συνήθως ως συμπιεστές πρώτης βαθμίδας σε εφαρμογές με διβάθμια συμπίεση και θερμοκρασία εξαπίσεως έως $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ για ψυκτικά μέσα R-11, R-12, R-22 και NH_3 . Στο σχήμα 5.4β εικονίζεται ένας περιστροφικός συμπιεστής με κινητά περύγια για μεγάλη ψυκτική ικανότητα, με ρύθμιση ισχύος με εξωτερική παράκαμψη θερμού αερίου και ψύξη με κυκλοφορία νερού.

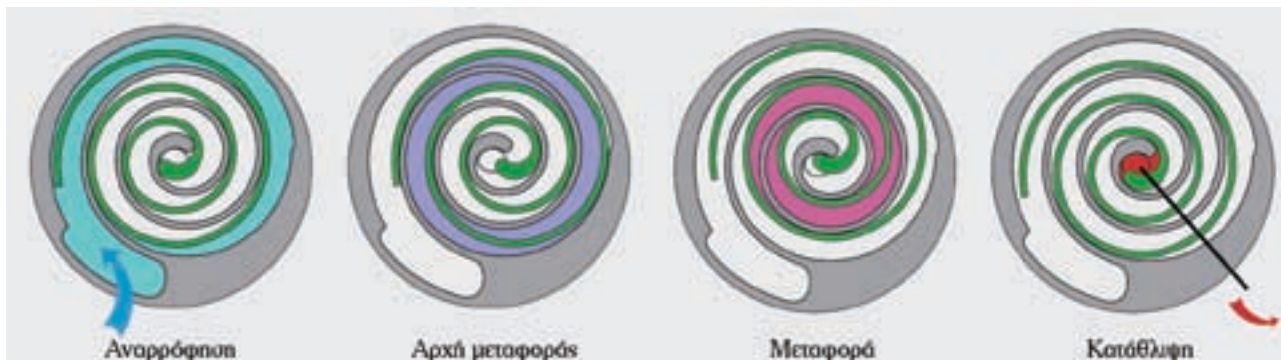
5.5 Περιστροφικοί σπειροειδείς συμπιεστές.

Οι *σπειροειδείς* (scroll compressors) είναι και αυτοί συμπιεστές θετικής εκτόπισεως. Ο χώρος αναρροφήσεως και καταθλίψεως του αερίου δημιουργείται ανάμεσα σε δύο ελικοειδείς σπείρες που βρίσκονται η μία μέσα στην άλλη. Η μία σπείρα είναι σταθερή, ενώ η άλλη κινείται σε μια κυκλική τροχιά. Η αρχή λειτουργίας του περιστροφικού σπειροει-



Σχ. 5.4β.

Περιστροφικός συμπιεστής έκκεντρον τυμπάνου με κινητά περύγια και εξωτερική παράκαμψη θερμού αερίου.



Σχ. 5.5α.

Αρχή λειτουργίας περιστροφικού σπειροειδούς συμπιεστή.

δούς συμπιεστή παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5α.

Στην αρχή, το αέριο αναρροφάται από την περιφέρεια στο χώρο που δημιουργείται ανάμεσα στις δύο σπείρες. Στη συνέχεια, η κινούμενη σπείρα καλύπτει τη θυρίδα κατάθλιψης και το αέριο περιορίζεται ανάμεσα στις δύο σπείρες. Ακολούθως, ο χώρος αυτός μικραίνει οπότε το αέριο συμπιέζεται μέχρι την κατάθλιψή του από το κέντρο. Συνήθως, για την κατάθλιψη του αερίου χρειάζονται δύο ή τρεις περιστροφές της κινούμενης σπείρας.

Οι περιστροφικοί σπειροειδείς συμπιεστές δεν έχουν απώλειες διακένου και έχουν απώλειες και καμπύλες αποδόσεως παρόμοιες μ' αυτές των ελικόμορφων συμπιεστών. Έχουν σταθερό λόγο συμπίεσης, ο οποίος πρέπει να ταιριάζει με το λόγο συμπίεσης που απαιτείται στην εγκατάσταση, ώστε να μην υπάρχουν απώλειες υπερσυμπίεσης και υποσυμπίεσης. Οι ογκομετρικές τους απώλειες προέρχονται από τη διαρροή του αερίου ανάμεσα στις σπείρες και τις δυο κυκλικές έδρες όπου απαιτείται προσεκτική κατασκευή και λίπανση.

Τα **πλεονεκτήματα** των σπειροειδών συμπιεστών, είναι:

α) Η χαμηλή πτώση πίεσης στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη λόγω της μεγάλης διατομής των θυρίδων αναρροφήσεως και κατάθλιψης.

β) Η μειωμένη θερμοκρασία του αερίου στην κατάθλιψη λόγω της απομονώσεως του χώρου κατάθλιψης από το χώρο αναρροφήσεως.

γ) Οι μικρές ογκομετρικές απώλειες λόγω απουσίας όγκου διακένου.

δ) Ο καλός ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως της συμπίεσης και οι λίγοι κραδασμοί.

ε) Ο μικρός αριθμός κινουμένων μερών και οι μικρές διαστάσεις.

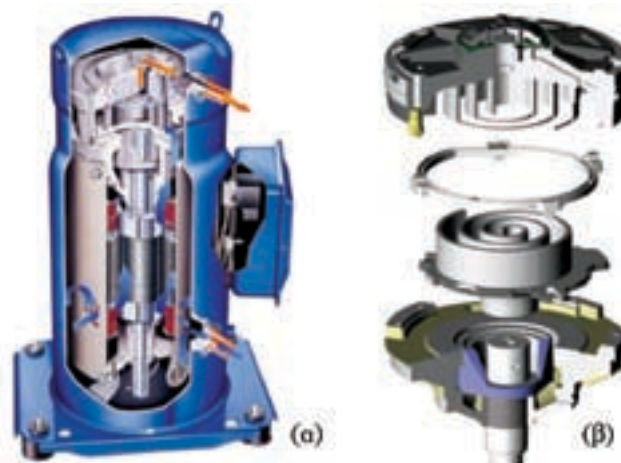
Τα **μειονεκτήματα** των σπειροειδών συμπιε-

στών είναι η ακριβότερη κατασκευή και ο χαμηλότερος ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως λόγω της σπειροειδούς διαμορφώσεως του στροφείου και του σταθερού τμήματος συμπίεσης.

Λόγω της αθρόυβης λειτουργίας τους, που οφείλεται στη μικρή ταχύτητα του αερίου σε όλες τις βάσεις συμπίεσης, οι συμπιεστές αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρά οικιακά ψυγεία και μικρές κλιματιστικές μονάδες σε ερμητική μορφή και έχουν ισχύ 3–50 kW. Στο σχήμα 5.5β φαίνεται ένας σπειροειδής συμπιεστής και οι δύο σπείρες σε ανάπτυγμα.

5.6 Ελικόμορφοι συμπιεστές.

Οι **περιστροφικοί ελικόμορφοι** ή **ελικοειδείς συμπιεστές** ή **κοχλιωτοί** (screw compressors) αν και ανακαλύφθηκαν τον 19^ο αιώνα, ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται σε εμπορικές εφαρμογές αργότερα, όταν εξελίχθηκαν οι μέθοδοι παραγωγής τους



Σχ. 5.5β.

Ερμητικός σπειροειδής συμπιεστής. (α) Τομή και (β) ανάπτυγμα σπειρών.

και έγινε δυνατή η κατασκευή τους με μικρές ανοχές. Τα τελευταία χρόνια οι ελικόμορφοι συμπιεστές χρησιμοποιούνται συχνότερα από τους παλινδρομικούς συμπιεστές ειδικά σε κλιματιστικές και σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Οι ελικόμορφοι συμπιεστές ανήκουν και αυτοί στην κατηγορία των περιστροφικών συμπιεστών θετικής εκτοπίσεως. Υπάρχουν δύο είδη ελικομόρφων συμπιεστών:

α) Οι ελικόμορφοι συμπιεστές **δύο στροφείων** (twin screw) και

β) οι ελικόμορφοι συμπιεστές **μονού στροφείου** (single screw).

Οι ελικόμορφοι συμπιεστές δύο στροφείων περιλαμβάνουν δύο ελικοειδή στροφεία, εκ των οποίων το ένα είναι αρσενικό και το άλλο θηλυκό [σχ. 5.6(α)]. Τα στροφεία σχηματίζουν δύο ατέρμονες και οδηγούν τον ατμό του μέσου από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Οι ελικόμορφοι συμπιεστές μονού στροφείου περιλαμβάνουν ένα ελικοειδές στροφείο και ένα ζεύγος οδοντωτών επιπέδων τροχών [σχ. 5.6(β)].

Εξαιτίας της σχεδιάσεώς τους οι ελικόμορφοι συμπιεστές έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη από τους εμβολοφόρους συμπιεστές. Επίσης, δεν έχουν βαλβίδες και έδρανα κυλίσεως. Γι' αυτόν το λόγο είναι περισσότερο αξιόπιστοι και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους αντίστοιχους εμβολοφόρους. Λόγω της ομαλής περιστροφικής λειτουργίας σε συνεχή κύκλο έχουν λιγότερους κραδασμούς, πράγμα που συνεπάγεται μικρότερες ταλαντώσεις στα μέρη της ψυκτικής εγκαταστάσεως και μικρότερη πιθανότητα διαρροών και απώλειας ψυκτικού μέσου. Αυτό είναι σημαντικό πλεονέκτημα, δεδομένου του μεγάλου κόστους των αλογονούχων ψυκτικών μέσων

που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Οι ελικόμορφοι συμπιεστές είναι θετικής εκτοπίσεως. Αυτό σημαίνει ότι λειτουργούν με την αναρρόφηση και την εκτόπιση συγκεκριμένου όγκου ατμού σε κάθε κύκλο περιστροφής. Μάλιστα, λόγω της σχεδιάσεώς τους, όπως θα δούμε παρακάτω ο λόγος μείωσης του όγκου του ατμού από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη είναι συγκεκριμένος και εξαρτάται από τη γεωμετρία των στροφείων και του κελύφους.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι ελικόμορφοι συμπιεστές έχουν τα εξής **πλεονεκτήματα** έναντι των παλινδρομικών:

α) Λιγότερα κινούμενα μέρη και μεγαλύτερη αξιοπιστία.

β) Λιγότερες τριβές και μεγαλύτερος βαθμός αποδόσεως.

γ) Μικρότερες απώλειες ψυκτικού μέσου.

δ) Λιγότεροι κραδασμοί και θόρυβος.

ε) Μεγαλύτερα διαστήματα λειτουργίας ανάμεσα στις περιοδικές συντηρήσεις.

στ) Διαθέσιμοι για μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις.

ζ) Δυνατότητα ακριβούς ρυθμίσεως της ισχύος.

Τα **μειονεκτήματα** των ελικομόρφων συμπιεστών έναντι των παλινδρομικών είναι τα εξής:

α) Μεγαλύτερο κόστος αγοράς.

β) Ανάγκη για συντήρηση από εξειδικευμένους τεχνικούς.

γ) Ανάγκη για μεγάλο διαθέσιμο χώρο.

δ) Χαμηλός ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως των μικρών ελικομόρφων συμπιεστών.

Στο Παράρτημα 3.Α περιγράφονται αναλυτικά οι δύο τύποι των ελικομόρφων περιστροφικών συμπιεστών που χρησιμοποιούνται σήμερα στις ψυκτικές εγκαταστάσεις και αναλύεται η απόδοσή τους.



Σχ. 5.6.

Στροφεία ελικομόρφων συμπιεστών: (α) Με δύο στροφεία και (β) με ένα στροφείο.

5.7 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις με ψυκτική ισχύ από 50 έως 5000 RT. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια μ' αυτήν των φυγοκεντρικών αντλιών. Ο ατμός εισέρχεται κοντά στο κέντρο ενός τροφείου, το οποίο περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Η περιστροφή δημιουργεί φυγόκεντρη δύναμη που ωθεί τον ατμό προς την περιφέρεια. Ο ατμός στην έξοδό του από το τροφείο έχει αποκτήσει μεγάλη ταχύτητα, η οποία είναι περίπου ίση με τη γραμμική ταχύτητα του τροφείου στο άκρο λόγω της περιστροφής του. Στην έξοδο από το τροφείο, ο ατμός εισέρχεται στο κέλυφος του συμπιεστή όπου αυτός επιβραδύνεται και η κινητική ενέργειά του μετατρέπεται σε πίεση. Δεδομένου ότι η αύξηση της πίεσεως στην έξοδο του τροφείου είναι μικρή οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι πολυβάθμιοι με περισσότερες από μία βαθμίδες (συνήθως 2 έως 4).

Το πλεονέκτημα των φυγοκεντρικών συμπιεστών είναι η απλότητα της κατασκευής τους δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πολλά κινούμενα μέρη. Επί πλέον, δεδομένου ότι η αύξηση της πίεσεως επιτυγχάνεται με τη μεγάλη ταχύτητα, οι συμπιεστές αυτοί περιστρέφονται με μεγάλο αριθμό στροφών από 3000–18.000 rpm.

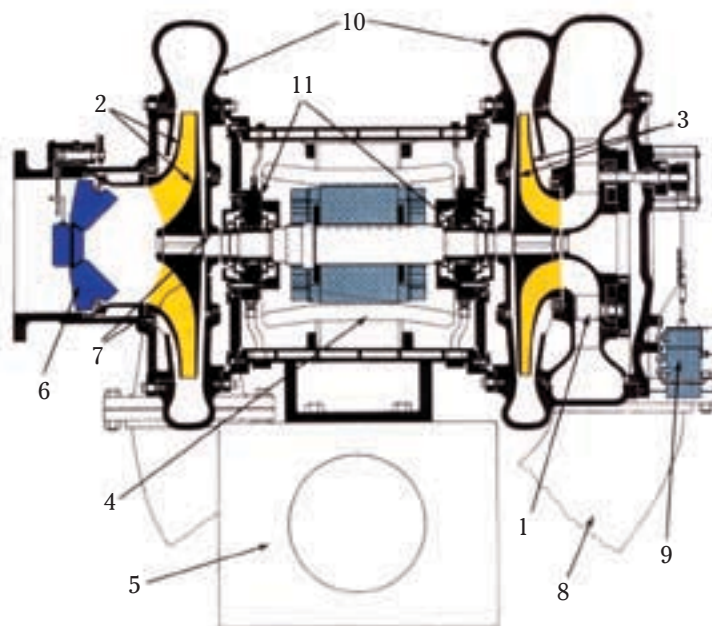
Στο σχήμα 5.7 εικονίζεται η τομή ενός φυγοκεντρικού συμπιεστή δύο βαθμίδων, όπου ο κινητήρας

είναι τοποθετημένος ανάμεσα στα δύο τροφεία. Η αναρρόφηση του ατμού γίνεται αξονικά στα αριστερά του συμπιεστή και η κατάθλιψη στη δεξιά πλευρά. Η κατασκευή και η ανάλυση της λειτουργίας των φυγοκεντρικών συμπιεστών παρουσιάζεται στο Παράρτημα 3.Β.

5.8 Ιδιότητες λαδιού λιπάνσεως συμπιεστών ψυκτικών εγκαταστάσεων.

Ο πρωταρχικός σκοπός της υπάρξεως του λαδιού (ή ψυκτελαίου) στο συμπιεστή είναι η μείωση της τριβής των μεταλλικών μερών που έρχονται σε επαφή. Επί πλέον, ανάλογα με τον τύπο του συμπιεστή, το λάδι χρησιμοποιείται ώστε να επιτυγχάνεται η στεγανοποίηση των θυλάκων του αερίου. Μ' αυτήν την έννοια, η ύπαρξη του λαδιού σε μία ψυκτική εγκατάσταση είναι ένα αναγκαίο κακό, δεδομένου ότι στις περισσότερες περιπτώσεις το λάδι δεν μένει μόνο στο συμπιεστή, αλλά παρασύρεται από τους ατμούς του ψυκτικού μέσου και κυκλοφορεί στην εγκατάσταση. Το λάδι έρχεται σε επαφή και αναμειγνύεται με το ψυκτικό μέσο και κατά συνέπεια πρέπει να έχει ορισμένες επιθυμητές ιδιότητες.

Η κυκλοφορία του λαδιού στην εγκατάσταση αρχίζει, καθώς αυτό αναμειγνύεται με το ψυκτικό μέσο στην πλευρά της υψηλής πίεσεως του συμπιεστή, φεύγει από τον ελαιδιαχωριστήρα και περνάει προς το συμπυκνωτή και το συλλέκτη. Από εκεί οδεύει



- 1) Πτερύγια εισόδου 2^{ης} βαθμίδας
- 2) Τροφείο 1^{ης} βαθμίδας
- 3) Τροφείο 2^{ης} βαθμίδας
- 4) Κινητήρας
- 5) Βάση με δεξαμενή και αντλία λαδιού
- 6) Πτερύγια ρυθμίσεως 1^{ης} βαθμίδας
- 7) Στεγανοποίηση άξονα
- 8) Αγωγός συνδέσεως 1^{ης} και 2^{ης} βαθμίδας
- 9) Κινητήρας πτερυγίων
- 10) Διαχύτης
- 11) Έδρανο ολισθήσεως

Σχ. 5.7.

Διβάθμιος φυγοκεντρικός συμπιεστής.

προς την εκτονωτική βαλβίδα, όπου λόγω της πτώσεως της πίεσεως, ένα τμήμα του απελευθερώνεται. Αυτό είναι επιθυμητό διότι η ύπαρξη μικρής ποσότητας ελαίου λιπαίνει τη βαλβίδα. Στην συνέχεια το λάδι κινείται προς τον ατμοποιητή της εγκαταστάσεως όπου υπάρχουν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται. Εκεί το λάδι συσσωρεύεται στην κάτω πλευρά των σωληνώσεων σε υγρή μορφή. Αν δεν μπορεί να φύγει προς την αναρρόφηση λόγω της χαμηλής ταχύτητας του ατμού ή λόγω κακής κλίσεως της σωληνώσεως, η συσσώρευση του λαδιού στον ατμοποιητή συνεχίζεται. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του ρυθμού συναλλαγής θερμότητας, λόγω των μονωτικών ιδιοτήτων του λαδιού. Επί πλέον είναι πιθανή η δημιουργία φραγμών λόγω της παραφίνης που περιέχεται στο λάδι που οδηγούν σε μείωση της ωφέλιμης επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας. Ένα άλλο αποτέλεσμα της συσσώρευσης λαδιού στον ατμοποιητή είναι η μείωση της στάθμης του λαδιού στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή και η κακή λίπανση ή ακόμα η κράτηση του συμπιεστή λόγω χαμηλής πίεσεως λαδιού. Για να μην υπάρχει συσσώρευση λαδιού κι αυτό να παρσύρεται προς το συμπιεστή, οι ελάχιστες ταχύτητες του ατμού του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή και στο σωλήνα αναρροφήσεως πρέπει να είναι:

α) **Οριζόντια** τμήματα: 3,8 m/s.

β) **Κατακόρυφα** τμήματα: 7,6 m/s.

Η συσσώρευση του λαδιού αυξάνεται με τη λειτουργία του συμπιεστή σε χαμηλό φορτίο, όπου η ογκομετρική παροχή και η ταχύτητα του ψυκτικού μέσου στα μέρη της εγκαταστάσεως μειώνεται.

Οι βασικότερες επιθυμητές ιδιότητες του λαδιού λιπάνσεως είναι:

α) Η **χημική σταθερότητα** που είναι αναγκαία, δεδομένου ότι το λάδι πρέπει να έχει τις λιπαντικές του ιδιότητες για μεγάλο χρονικό διάστημα και να μην διασπάται και παράγει άλλα αέρια. Ειδικά στους ερμητικούς συμπιεστές, το λάδι είναι το ίδιο για όλη τη ζωή του συμπιεστή, δηλαδή για διάστημα περίπου 10 ετών. Στους ημιερμητικούς και στους ανοικτούς συμπιεστές, η χημική σταθερότητα του λαδιού εξασφαλίζει μεγάλα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αλλαγών. Το λάδι επίσης διέρχεται και εγκλωβίζεται στα μέρη της ψυκτικής εγκαταστάσεως, όπου επικρατούν διαφορετικές συνθήκες πίεσεως και θερμοκρασίας, κατά συνέπεια η χημική σταθερότητα πρέπει να εξασφαλίζεται σ' όλες αυτές τις συνθήκες. Η χημική σταθερότητα στο ψυκτικό λάδι

εξασφαλίζεται από τη χαμηλή περιεκτικότητά του σε ακόρεστους υδρογονάνθρακες, σύνθεση που του δίνει ανοικτό χρώμα. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστους υδρογονάνθρακες περιορίζει την οξείδωση του λαδιού που εξαρτάται από την ποσότητα αέρα που περιέχεται στην εγκατάσταση, τη θερμοκρασία του τροφαλοθαλάμου και τις περιεχόμενες προσμείξεις. Το αποτέλεσμα της υπάρξεως οξειδωμένου λαδιού είναι η αδυναμία συγκρατήσεως των υλικών που προέρχονται από τη φθορά των μετάλλων, η δημιουργία επικαθήσεων στον ατμοποιητή και στη βαλβίδα και τελικά ο φραγμός τους.

β) Το **σημείο ροής** (pour point) του ψυκτελαίου, που είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, στην οποία ακόμη μπορεί να ρέει. Σε πιο χαμηλή θερμοκρασία το λάδι δεν ρέει, χωρίς όμως να έχει στερεοποιηθεί. Αυτό είναι συνέπεια της παραφίνης που περιέχεται στο λάδι. Το σημείο ροής είναι βασικό χαρακτηριστικό για την επιλογή ψυκτελαίου σε εγκαταστάσεις στις οποίες υπάρχουν χαμηλές θερμοκρασίες. Αν σε κάποιο σημείο της εγκαταστάσεως υπάρχει θερμοκρασία χαμηλότερη απ' το σημείο ροής του λαδιού, αυτό θα αρχίσει να συσσωρεύεται εκεί. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως στον ατμοποιητή στην εκτονωτική βαλβίδα. Η συσσώρευση του λαδιού, όπως έχουμε πει, έχει ως αποτέλεσμα τη δυσκολία της μεταδόσεως θερμότητας και τη μείωση της αποδόσεως του ατμοποιητή.

γ) Το **σημείο διαχωρισμού** παραφίνης (cloud point), που είναι η θερμοκρασία, στην οποία διαχωρίζεται η παραφίνη που περιέχει το λάδι, οπότε αυτό γίνεται λευκό. Η συσσώρευση παραφίνης μπορεί να έχει ως συνέπεια το φράξιμο της εκτονωτικής βαλβίδας. Κατά συνέπεια το σημείο διαχωρισμού παραφίνης πρέπει να είναι χαμηλά, οπότε αυτός πρέπει να αρχίζει σε χαμηλή θερμοκρασία.

δ) Η **διηλεκτρική σταθερά** του ψυκτελαίου, που είναι η ιδιότητα που απαιτείται να έχει το λάδι, ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από ένα κενό μήκους 1/10 in, στο οποίο περιέχεται λάδι. Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς αναφέρεται σε λάδι χωρίς υγρασία και χωρίς ξένες προσμείξεις που συσσωρεύονται σ' αυτό με τη λειτουργία του συμπιεστή. Οι προσμείξεις αυτές μικραίνουν τη διηλεκτρική σταθερά του λαδιού. Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς είναι σημαντική όταν ο συμπιεστής είναι ερμητικού ή ημιερμητικού τύπου, οπότε το μέσο έρχεται σε επαφή με τις ηλεκτρικές περιελίξεις.

ε) Το **ιξώδες**, που μετρείται συνήθως σε βαθμούς σε **centistokes** (CST) ή σε **βαθμούς** SSU (Saybolt

Seconds Universal), οι οποίοι εκφράζουν το χρόνο που απαιτείται για την εκροή του ψυκτελαίου από ένα τυποποιημένο δοχείο υπό καθορισμένες συνθήκες. Μικρό ιξώδες του λαδιού έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία διατηρήσεως λιπαντικής μεμβράνης στα τριβόμενα μέρη. Αντίθετα, μεγάλο ιξώδες έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία εισχωρήσεως σε περιοχές με μικρές ελευθερίες και την αύξηση των τριβών. Στα υγρά το ιξώδες μειώνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία και όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του ψυκτελαίου σε ψυκτικό μέσο. Κατά την περίοδο λειτουργίας του συμπιεστή το λάδι μπορεί να περιέχει ψυκτικό μέσο σε ποσοστό 5% κατά μάζα. Σε περιόδους ακινησίας το περιεχόμενο ψυκτικό μέσο μπορεί να φτάσει το 50%, γεγονός που έχει ως συνέπεια την αδυναμία λιπάνσεως κατά την εκκίνηση. Επί πλέον κατά την εκκίνηση δημιουργείται αφρός που μπορεί να ανέβει στο χώρο συμπίεσης και να προκαλέσει θραύση βαλβίδων αναρροφήσεως, εμβόλου και διωστήρα λόγω συμπίεσότητας. Για τη μείωση της περιεκτικότητας του μέσου που απορροφάται από το ψυκτέλαιο, αυτό θερμαίνεται με αντιστάσεις που τοποθετούνται στο στροφαλοθάλαμο. Η μείωση του αφρού του λαδιού κατά την εκκίνηση επιτυγχάνεται επίσης με τη ρύθμιση της εγκαταστάσεως, ώστε κατά την κράτηση να σταματάει η ροή του ψυκτικού μέσου απ' τη βαλβίδα και ο συμπιεστής να σταματάει λόγω χαμηλής πίεσεως αναρροφήσεως. Στην περίπτωση αυτή ο ατμός που έχει μείνει στον ατμοποιητή και το ψυκτικό μέσο που υπάρχει σε διάλυση στην ελαιολεκάνη φεύγουν προς το συμπυκνωτή και η ποσότητα του ψυκτικού μέσου που απορροφάται κατά την περίοδο κρατήσεως είναι η ελάχιστη. Ο κύκλος αυτός ονομάζεται **κύκλος κενού** (rump down cycle).

Η διαλυτότητα του ψυκτικού μέσου στο ψυκτέλαιο είναι συνάρτηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας. Στο σχήμα 5.8α εικονίζονται οι καμπύλες περιεκτικότητας ενός τύπου λαδιού σε R-22 σε συνάρτηση με την πίεση και τη θερμοκρασία. Λόγω της διαλύσεως του ψυκτικού μέσου στο λάδι του στροφαλοθαλάμου, δεν είναι εύκολος ο έλεγχος της στάθμης του λαδιού, διότι όταν αυτό περιέχει μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου ο όγκος του μεγαλώνει. Η αύξηση της στάθμης του λαδιού είναι μεγαλύτερη μετά από μία περίοδο ακινησίας. Γι' αυτόν το λόγο, ο έλεγχος της στάθμης γίνεται από την ύαλο του συμπιεστή μετά από περίοδο εκτεταμένης λειτουργίας, όταν η πίεση βρίσκεται κοντά στη χαμηλή πίεση κρατήσεως του συμπιεστή. Η στάθμη του λαδιού πρέπει να παρακολουθείται ειδικά όταν στην εγκατάσταση έχει γίνει

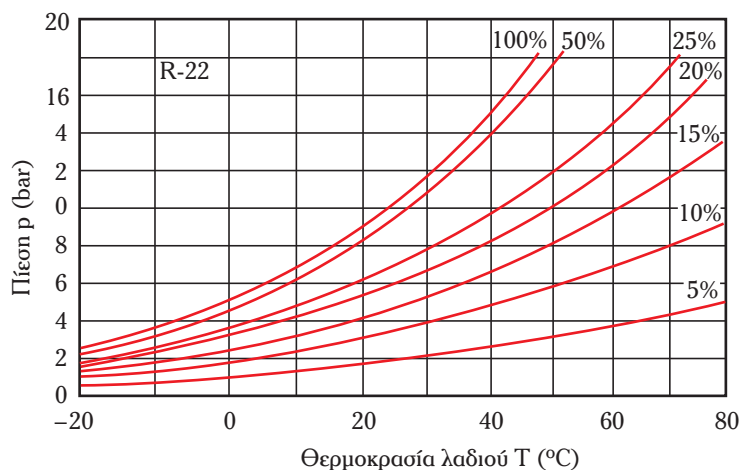
συμπλήρωση ψυκτικού μέσου, το οποίο στην αρχή της κυκλοφορίας του απορροφάει μεγάλη ποσότητα λαδιού. Στην περίπτωση αυτή, ενδεχομένως να χρειάζεται συμπλήρωση λαδιού στην ελαιολεκάνη για αναπλήρωση της ποσότητας που απορροφήθηκε.

Για κάθε τύπο συμπιεστή ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσο, τη θερμοκρασία ατμοποίησης και τη θερμοκρασία στην κατάθλιψη, επιλέγεται από τον κατασκευαστή το κατάλληλο λιπαντικό λάδι. Ο τύπος λαδιού που χρησιμοποιείται για κάθε ψυκτικό μέσο δίνεται στο σχήμα 5.8β. Κατά τη συντήρηση της εγκαταστάσεως πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα ο τύπος ψυκτελαίου που προδιαγράφεται, σύμφωνα με όσα αναφέρονται παρακάτω. Τα ψυκτέλαια που χρησιμοποιούνται με την αμμωνία και τα CFC είναι ορυκτέλαια καλής ποιότητας. Με τα HFC χρησιμοποιούνται συνθετικά λάδια, ώστε να εξασφαλίζεται η διαλυτότητα του λαδιού στο ψυκτικό μέσο και άρα η επιστροφή του στο συμπιεστή.

Το ψυκτέλαιο αποθηκεύεται μέσα σε σφραγισμένα δοχεία, ώστε να μην μπορεί να απορροφά υγρασία από την ατμόσφαιρα. Η συμπλήρωση του ψυκτελαίου στο συμπιεστή γίνεται με μία από τις εξής δύο διαδικασίες:

α) **Όταν υπάρχει εξωτερική αντλία λαδιού:**

- Αφαίρεση πώματος, καθαρισμός δοχείου αντλίας, σύνδεση αντλίας και τοποθέτηση αντλίας μέσα στο δοχείο. Το περικόχλιο συνδέσεως της αντλίας να είναι χαλαρό και το επιστόμιο συνδέσεως με το συμπιεστή να είναι κλειστό.
- Εξαέρωση της αντλίας και του σωλήνα με μερικούς εμβολισμούς. Σύσφιξη του περικοχλίου



Σχ. 5.8α.

Επίδραση πίεσεως και θερμοκρασίας στη διαλυτότητα του R-22 σ' έναν τύπο ψυκτελαίου.

και άνοιγμα του επιστομίου συνδέσεως.

– Συμπλήρωση του λαδιού μέχρι την επίτευξη κανονικής στάθμης.

– Κλείσιμο του επιστομίου και εξάρμωση της αντλίας. Τοποθέτηση προστατευτικού καλύμματος.

β) Όταν δεν υπάρχει εξωτερική αντλία λαδιού:

– Λειτουργία του συμπιεστή και κράτηση όταν πέσει η πίεση στο στροφαλοθάλαμο. Κλείσιμο των επιστομίων αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

– Αφαίρεση του πώματος, συμπλήρωση στο στροφαλοθάλαμο και συμπλήρωση ψυκτελαίου με καθαρό κωνί.

– Κλείσιμο του πώματος συμπληρώσεως και άνοιγμα των επιστομίων.

– Εκκίνηση του συμπιεστή.

Η αντικατάσταση του λαδιού γίνεται ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας του συμπιεστή σε χρονικά διαστήματα περίπου ενός έτους, όταν στην εγκατάσταση υπάρχουν σωλήνες από χαλκό, δηλαδή στις εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα. Σε εγκαταστάσεις αμμωνίας από σίδηρο ή από χάλυβα, γίνεται έλεγχος της ποιότητας του ψυκτελαίου, συνήθως ανά τρίμηνο, και αυτό αντικαθίσταται όταν διαπιστωθούν ακαθαρσίες ή αλλοιώσεις. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ακολουθείται η συχνότητα των αλλαγών ψυκτελαίου που συνιστά ο κατασκευαστής του συμπιεστή.

Επί πλέον, κατά την αρχική λειτουργία μιας εγκαταστάσεως απαιτείται συχνός καθαρισμός των μεταλλικών φίλτρων λαδιού του συμπιεστή. Αυτός αργότερα γίνεται πιο αραιά σύμφωνα με το πρόγραμμα συντηρήσεως που συνιστά ο κατασκευαστής.

5.9 Το δίκτυο του λαδιού και τα εξαρτήματά του.

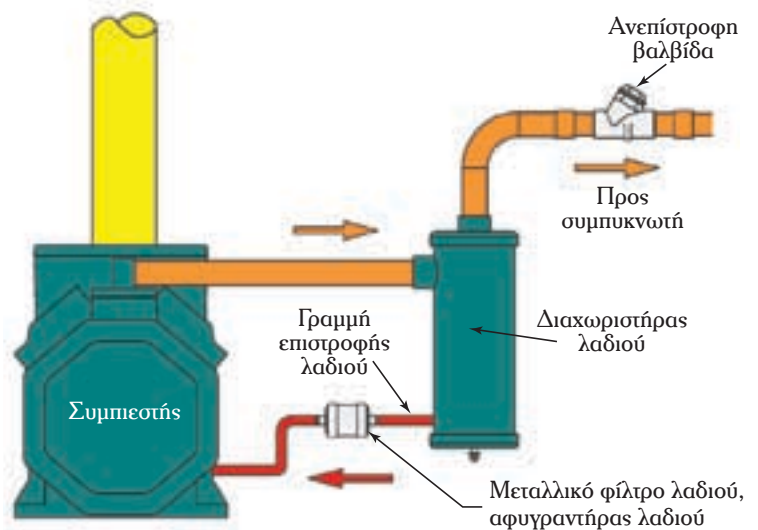
Για τη λειτουργία των ημιαυτοματικών και των ανοικτών συμπιεστών (παλινδρομικών, περιστροφικών και φυγοκεντρικών) απαιτείται η ύπαρξη ενός δικτύου λαδιού. Το δίκτυο του λαδιού περιλαμβάνει συνήθως ένα διαχωριστήρα, ώστε να περιορίζεται η ποσότητα του λαδιού που διαφεύγει προς το συμπυκνωτή. Για τη λίπανση της βαλβίδας και των κινουμένων μερών της εγκαταστάσεως απαιτείται η ύπαρξη στο κύκλωμα μικρής ποσότητας λαδιού. Αυτή όμως εξασφαλίζεται από τα ίχνη λαδιού που διαφεύγουν με τους ατμούς του ψυκτικού μέσου από το διαχωριστήρα. Το δίκτυο του λαδιού για την περίπτωση της λειτουργίας ενός συμπιεστή είναι απλό και φαίνεται στο σχήμα 5.9α. Το λάδι διαχωρίζεται και επιστρέ-

Ψυκτικό μέσο		Τύπος λιπαντικού		
■	R-11		AB	MO
□	R-12	POE	AB	MO
■	R-13	POE	AB	MO
■	R-22	POE	AB	MO
□	R-23	POE		
■	R-123		AB	MO
■	R-124	POE	AB	MO
■	R-125	POE		
□	R-134a	POE		
□	R-176	POE		MO
■	R-401A	POE	AB	
■	R-401B	POE	AB	
■	R-401C	POE	AB	
□	R-402A	POE	AB	MO
■	R-402B	POE	AB	MO
□	R-403B	POE	AB	MO
■	R-404A	POE		
■	R-407A	POE		
■	R-407B	POE		
■	R-407C	POE		
■	R-410A	POE		
■	R-500	POE	AB	MO
■	R-502	POE	AB	MO
■	R-503	POE	AB	MO
■	R-507A	POE		
□	R-717			MO

POE: Πολυεστερικά λάδια, AB: Αλκυλοβενζινικά λάδια, MO: Ορυκτά λάδια.

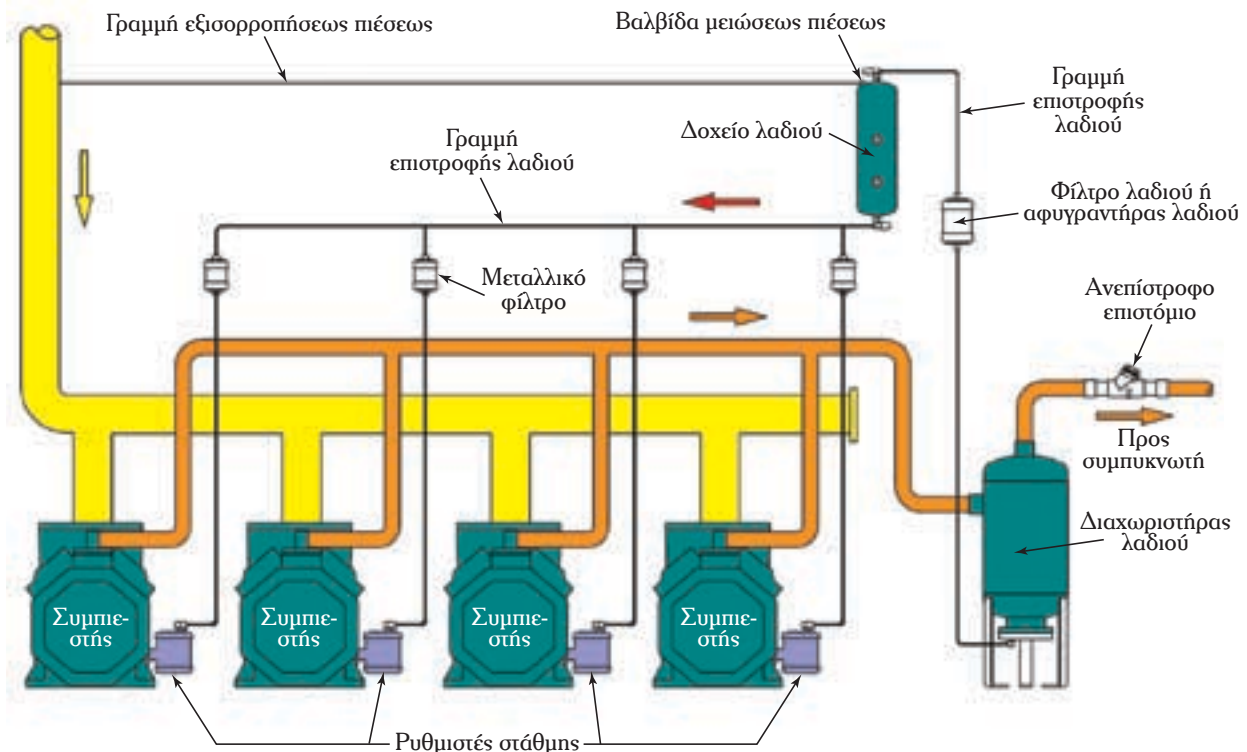
Σχ. 5.8β.

Εφαρμογή των λιπαντικών λαδιών ανάλογα με το ψυκτικό μέσο.



Σχ. 5.9α.

Δίκτυο λαδιού για λειτουργία ενός συμπιεστή.



Σχ. 5.9β.

Δίκτυο λαδιού για λειτουργία πολλαπλών συμπιεστών.

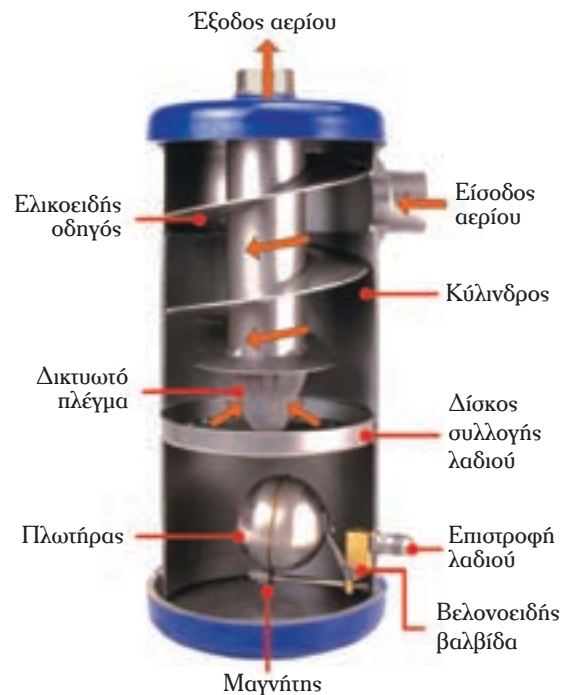
φει στην ελαιολεκάνη. Το μεταλλικό φίλτρο λαδιού αφυγραντήρα επιλέγεται κατά περίπτωση.

Στην περίπτωση όπου υπάρχουν περισσότεροι του ενός συμπιεστές, το δίκτυο του λαδιού είναι πιο περίπλοκο, καθώς περιλαμβάνει μια δεξαμενή λαδιού και αυτόματες διατάξεις διατήρησης της στάθμης στην ελαιολεκάνη του κάθε συμπιεστή (σχ. 5.9β). Το λάδι μετά το διαχωριστήρα πηγαίνει προς το δοχείο λαδιού. Αυτό διατηρείται στην πίεση αναρροφήσεως μέσω της γραμμής εξισορροπήσεως. Στη συνέχεια το λάδι με τη γραμμή επιστροφής πηγαίνει στους ρυθμιστές στάθμης και επιστρέφει στην ελαιολεκάνη. Η γραμμή επιστροφής του λαδιού στην ελαιολεκάνη βρίσκεται σε χαμηλή πίεση, ενώ αντίθετα στην περίπτωση του δικτύου λαδιού ενός συμπιεστή (σχ. 5.9α) έχει την πίεση καταθλίψεως.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η κατασκευή των βασικότερων εξαρτημάτων του δικτύου λαδιού που είναι ο διαχωριστήρας και ο ρυθμιστής στάθμης.

5.9.1 Διαχωριστήρας λαδιού.

Ο τύπος διαχωριστήρα λαδιού, που είναι ο πλέον διαδεδομένος είναι ο κυκλωνικός διαχωριστήρας (σχ. 5.9γ). Η είσοδος του αερίου από το συμπιεστή γίνεται στην πλευρά με κλίση, ώστε ο ατμός να αρχί-



Σχ. 5.9γ.

Κυκλωνικός διαχωριστήρας λαδιού.



Σχ. 5.96.

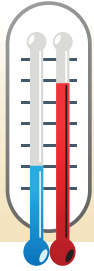
(α) Μηχανικός ρυθμιστής στάθμης, (β) ηλεκτρομηχανικός ρυθμιστής στάθμης, (γ) οπτικός ρυθμιστής στάθμης.

σει να περιστρέφεται μέσα στο κυλινδρικό κέλυφος. Λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως που αναπτύσσεται, τα σταγονίδια του λαδιού που έχουν συμπαρασυρθεί από το συμπιεστή, χτυπάνε το τοίχωμα και οδεύουν προς τα κάτω. Η κίνηση του αερίου γίνεται σε ελικοειδή μορφή μέσω καταλλήλων οδηγών. Το λάδι σωρεύεται στο δίσκο και από εκεί εισέρχεται στην κάτω πλευρά. Ο δίσκος απομονώνει την κάτω στάθμη του λαδιού, ώστε να μην υπάρχει ροή με στροβιλισμούς που θα παρασύρει ποσότητα λαδιού εκτός του διαχωριστήρα. Από το δίσκο συλλογής το αέριο περνάει από ένα δικτυωτό πλέγμα, όπου διαχωρίζονται οι τελευταίες ποσότητες λαδιού και οδηγείται προς το συμπυκνωτή. Το λάδι από την κάτω πλευρά φεύγει προς την ελαιολεκάνη μέσω μιας βελονοειδούς βαλβίδας που ελέγχεται από έναν πλωτήρα. Στην κάτω πλευρά του διαχωριστήρα υπάρχει ένας μαγνήτης που κατακρατεί μεταλλικά κατάλοιπα, ώστε να μην επηρεάσουν τη λειτουργία της βελονοειδούς βαλβίδας.

Με το διαχωριστήρα του σχήματος 5.9γ επιτυγχάνεται καθαρότητα του ψυκτικού μέσου από λάδι σε ποσοστό 99%.

5.9.2 Ρυθμιστής στάθμης λαδιού.

Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της παροχής λαδιού από το δοχείο συλλογής προς την ελαιολεκάνη, όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας συμπιεστές. Η παροχή του λαδιού ρυθμίζεται έτσι, ώστε η στάθμη στην ελαιολεκάνη να διατηρείται σταθερή. Υπάρχουν μηχανικοί ρυθμιστές στάθμης [σχ. 5.9δ(α)], ηλεκτρομηχανικοί ρυθμιστές στάθμης [σχ. 5.9δ(β)] και οπτικοί ρυθμιστές στάθμης [σχ. 5.9δ(γ)]. Η λειτουργία του ρυθμιστή στάθμης είναι σημαντική διότι η μικρή ποσότητα λαδιού θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια του συμπιεστή, ενώ η μεγάλη ποσότητα λαδιού δημιουργεί πιθανότητα βλάβης λόγω υδραυλικής κρούσεως σε περίπτωση εισόδου του λαδιού στο χώρο συμπίεσεως.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπυκνωτές – Συλλέκτες υγρού – Απαερίωση ψυκτικών εγκαταστάσεων

6.1 Γενικά – Φορτίο συμπυκνωτή.

Ο ατμός του ψυκτικού μέσου μετά το συμπιεστή οδηγείται στο συμπυκνωτή σε υψηλή πίεση. Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, μέσω του οποίου η ψυκτική εγκατάσταση απορρίπτει θερμότητα προς το περιβάλλον. Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι τύποι των συμπυκνωτών των ψυκτικών εγκαταστάσεων βιομηχανικής ψύξεως και ειδικότερα των ψυκτικών εγκαταστάσεων, που συναντώνται στα πλοία.

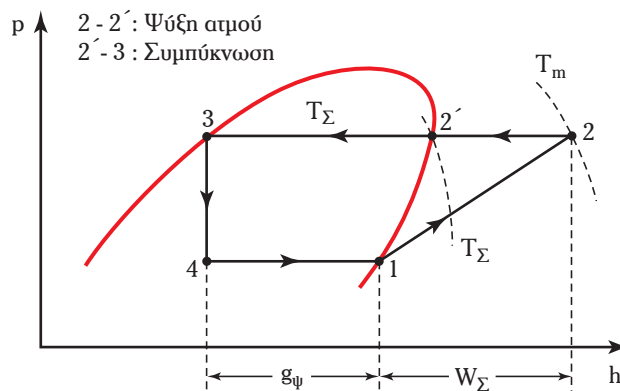
Ως φορτίο του συμπυκνωτή ορίζεται η θερμότητα που απορρίπτεται προς το περιβάλλον στη μονάδα του χρόνου. Η απόρριψη της θερμότητας προς το περιβάλλον είναι δυνατή διότι ο ατμός του ψυκτικού μέσου, λόγω της συμπίεσής έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτήν του περιβάλλοντος. Η συμπύκνωση του ατμού γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία, η οποία εξαρτάται από την πίεση συμπύκνωσης. Ο ατμός σε πρώτο στάδιο στο συμπυκνωτή ψύχεται από την αρχική θερμοκρασία υπερθερμάνσεως μέχρι τη θερμοκρασία συμπύκνωσης. Στη συνέχεια υγροποιείται υπό σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Δεδομένης της υπάρξεως υγρής και αέριας φάσεως σε ισορροπία μέσα στο συμπυκνωτή, η κατάσταση του ψυκτικού μέσου στην έξοδο είναι κορεσμένο (ή υπόψυκτο) υγρό. Το φορτίο του συμπυκνωτή είναι

το άθροισμα της ψυκτικής ισχύος και της ισχύος συμπίεσής:

$$\dot{Q}_{\text{συμπ.}} = \dot{Q}_{\psi} + \dot{Q}_{\text{υπερθ.}} + \dot{W}_{\text{συμπ.}} \quad (1)$$

Επί πλέον, στο φορτίο του συμπυκνωτή πρέπει να συνυπολογίζεται η υπερθέρμανση του ατμού μετά τον ατμοποιητή, στον αγωγό αναρροφήσεως. Το φορτίο του συμπυκνωτή και οι δύο φάσεις της μεταβολής του ψυκτικού μέσου μέσα σ' αυτόν παρουσιάζονται στο σχήμα 6.1α. Η μεταβολή 2-2' αντιστοιχεί στην ψύξη του ατμού με ελάττωση της θερμοκρασίας του από τη θερμοκρασία υπερθερμάνσεως $T_{\text{ΥΠ}}$ μέχρι τη σταθερή θερμοκρασία συμπύκνωσης T_{Σ} . Η μεταβολή 2'-3 είναι η συμπύκνωση υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία με απόρριψη στο περιβάλλον της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης. Οι παραπάνω μεταβολές της καταστάσεως του ψυκτικού μέσου πραγματοποιούνται σε υψηλή πίεση. Κατά συνέπεια, η κατασκευή του συμπυκνωτή είναι τέτοια, ώστε να αντέχει στην υψηλή πίεση της εγκαταστάσεως, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του.

Δεδομένου ότι η ισχύς συμπίεσής για τον κύκλο κορεσμένου ατμού εξαρτάται από τις θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπύκνωσης και από το είδος του συμπιεστή, ενώ από τις ίδιες θερμοκρασί-



Σχ. 6.1α.

Φορτίο συμπυκνωτή χωρίς εναλλάκτη υποψύξεως.

ες εξαρτάται και η ψυκτική ισχύς, το φορτίο του συμπυκνωτή για αλογονούχα ψυκτικά μέσα μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την ισχύ του συμπιεστή $\dot{W}_{\text{συμπ.}}$ πολλαπλασιασμένη επί ένα συντελεστή απορρίψεως θερμότητας $\lambda_{A,\theta}$:

$$\dot{Q}_{\text{Συμπ.}} = \dot{W}_{\text{συμπ.}} \cdot \lambda_{A,\theta} \quad (2)$$

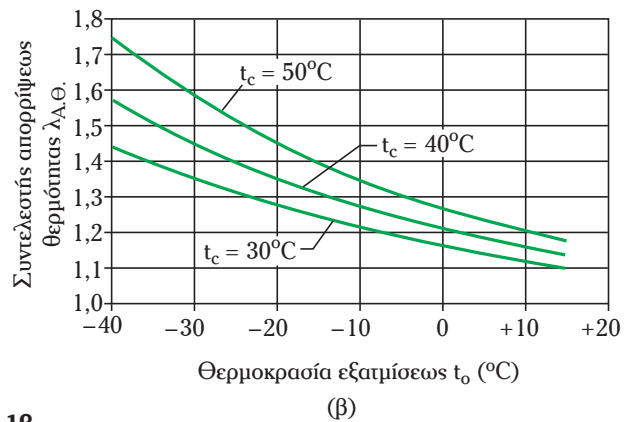
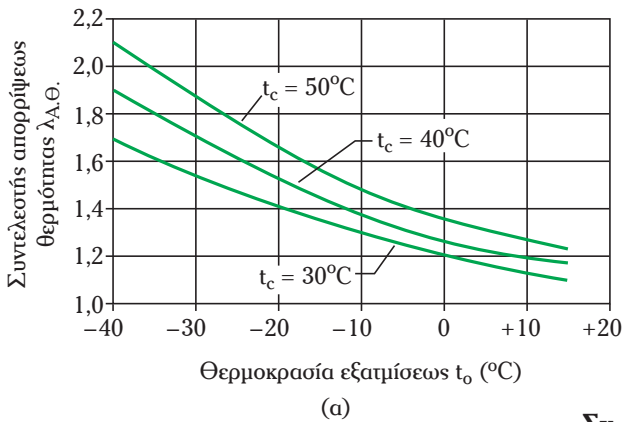
Ο συντελεστής απορρίψεως θερμότητας $\lambda_{A,\theta}$ εξαρτάται τις θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπυκνώσεως καθώς και από το είδος του συμπιεστή, το οποίο καθορίζει την απόδοσή του. Έτσι, στον πίνακα 6.1.

δίνονται οι τιμές του $\lambda_{A,\theta}$ για εγκαταστάσεις με ερμητικούς και με ανοικτούς συμπιεστές σε συνάρτηση με τις θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπυκνώσεως. Οι τιμές του συντελεστή απορρίψεως θερμότητας $\lambda_{A,\theta}$ μπορεί επίσης να δίνονται από τον κατασκευαστή του συμπιεστή σε διαγράμματα (σχ. 6.1β).

Η μεταβολή της θερμοκρασίας των ρευστών κατά τη ροή τους σ' ένα συμπυκνωτή φαίνεται στο σχήμα 6.1γ. Το μέσο συμπυκνώσεως θερμαίνεται και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το ψυκτικό μέσο στην αρχή ψύχεται με μείωση της θερμοκρασίας του μέχρι την

Πίνακας 6.1
Τιμές συντελεστή απορρίψεως θερμότητας $\lambda_{A,\theta}$.

Θερμοκρασία ατμοποίησης (°C)	Θερμοκρασία συμπυκνώσεως (°C)						Θερμοκρασία ατμοποίησης (°C)	Θερμοκρασία συμπυκνώσεως (°C)					
	32	38	43	49	54	60		32	38	43	49	54	60
-34	1,37	1,42	1,47	-	-	-	-40	1,66	1,73	1,80	2,00	-	-
-29	1,33	1,37	1,42	1,47	-	-	-34	1,57	1,62	1,68	1,80	-	-
-23	1,28	1,32	1,37	1,42	1,47	-	-29	1,49	1,53	1,58	1,65	-	-
-18	1,24	1,28	1,32	1,37	1,41	1,47	-23	1,42	1,46	1,50	1,57	1,64	-
-12	1,21	1,24	1,28	1,32	1,36	1,42	-18	1,36	1,40	1,44	1,50	1,56	1,62
-7	1,17	1,20	1,24	1,28	1,32	1,37	-15	1,33	1,37	1,41	1,46	1,52	1,59
-1	1,14	1,17	1,20	1,24	1,27	1,32	-12	1,31	1,34	1,38	1,43	1,49	1,55
5	1,12	1,15	1,17	1,20	1,23	1,28	-9	1,28	1,32	1,35	1,40	1,46	1,52
10	1,09	1,12	1,14	1,17	1,20	1,24	-7	1,26	1,29	1,33	1,37	1,43	1,49
Ανοικτοί συμπιεστές							Ερμητικοί συμπιεστές						



Σχ. 6.1β.
Τιμές συντελεστή απορρίψεως θερμότητας $\lambda_{A,\theta}$ από κατασκευαστή συμπυκνωτών.
(α) Ημερημπικούς συμπιεστές και (β) για ανοικτούς συμπιεστές.

κατάσταση κορεσμένου ατμού. Στη συνέχεια υγροποιείται με σταθερή θερμοκρασία και τέλος το υγρό υποψύχεται. Η υπόψυξη συνήθως συμβαίνει εξωτερικά του εναλλάκτη. Παρακάτω θα μελετήσουμε τη θερμοκρασιακή διαφορά των ρευστών στο συμπυκνωτή, ενώ για ευκολία θα παραλείψουμε τη μεταβολή της ψύξεως των υπερθέρμων ατμών του ψυκτικού μέσου κατά την είσοδό τους στο συμπυκνωτή.

Παράδειγμα 1.

Υπολογίστε το φορτίο του συμπυκνωτή μίας ψυκτικής εγκαταστάσεως, η οποία έχει έναν ανοικτό συμπιεστή με ισχύ 6,5 kW, θερμοκρασία συμπυκνώσεως 43 °C και θερμοκρασία ατμοποίησης −23 °C.

Λύση.

Ο συντελεστής απορρίψεως θερμότητας από τον πίνακα 6.1 είναι: $\lambda_{A,\Theta} = 1,37$.

Αντικαθιστώντας στη σχέση (2), έχουμε:

$$\dot{Q}_{\text{συμπ.}} = \dot{W}_{\text{συμπ.}} \cdot \lambda_{A,\Theta} = 6,5 \text{ kW} \cdot 1,37 = 8,9 \text{ kW}$$

Άρα το φορτίο του συμπυκνωτή είναι 8,9 kW.

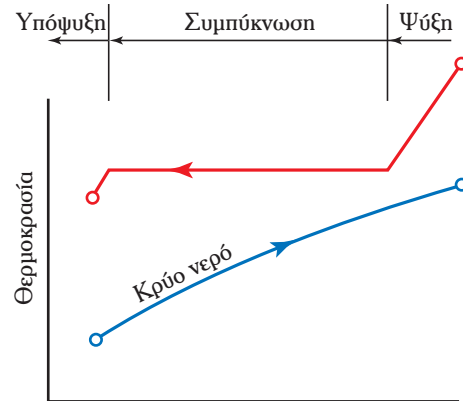
6.1.1 Μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά.

Η μεταφορά θερμότητας στο συμπυκνωτή γίνεται με αγωγή μεταξύ δύο ρευστών διά μέσου ενός στερεού τοιχώματος, ενώ η θερμότητα που μεταφέρεται με ακτινοβολία είναι αμελητέα. Έτσι, ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα μεταφέρεται από το θερμότερο ρευστό προς το ψυχρότερο μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση μεταδόσεως θερμότητας:

$$\dot{Q}_{\text{συμπ.}} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\mu} \quad (3)$$

όπου: $\dot{Q}_{\text{συμπ.}}$, η μεταφερόμενη θερμότητα σε kW, k, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε kW/m²K, A, η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας σε m² και ΔT_{μ} , η μέση διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα δύο ρευστά.

Η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας A είναι χαρακτηριστικό στοιχείο της κατασκευής και είναι σταθερή για κάθε συμπυκνωτή. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας k υπολογίζεται σύμφωνα με τη θεωρία μεταδόσεως θερμότητας και έχει μετρηθεί από τον κατασκευαστή για διάφορες συνθήκες λειτουργίας και εξαρτάται κυρίως από το είδος του μέσου συμπυκνώσεως και την κατασκευαστική διαμόρφωση του συμπυκνωτή. Έτσι, η ισχύς ενός συγκεκριμένου



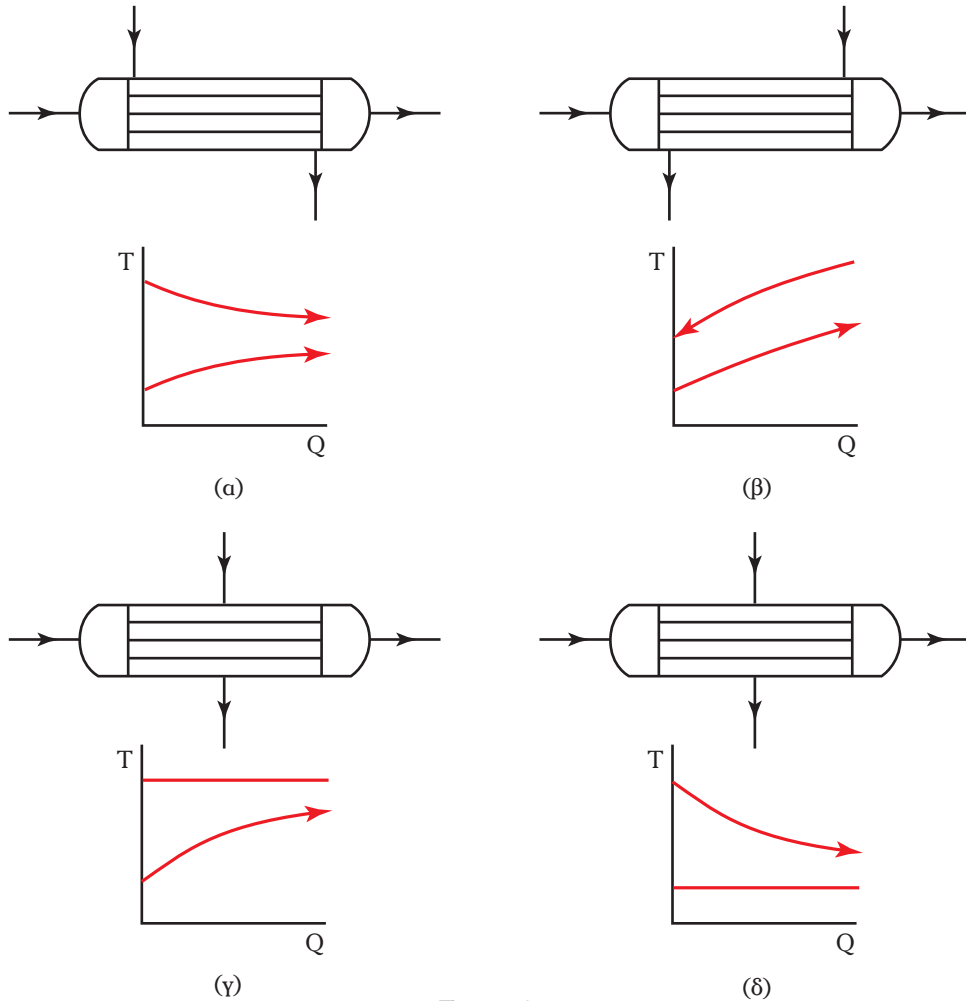
Σχ. 6.1γ.

Πραγματική μεταβολή θερμοκρασιών στο συμπυκνωτή.

συμπυκνωτή εξαρτάται από τη μέση διαφορά θερμοκρασίας ΔT_{μ} και λαμβάνεται ως ανάλογη προς αυτήν για ευκολία.

Η μέση διαφορά θερμοκρασίας ΔT_{μ} εξαρτάται από τη ροή του μέσου συμπυκνώσεως σε σχέση με τη ροή του ατμού του ψυκτικού μέσου. Στο σχήμα 6.1δ φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας με τη θερμότητα που εναλλάσσεται σε διαφορετικές περιπτώσεις εναλλακτών θερμότητας. Το σχήμα αυτό αναφέρεται σε υδρόψυκτο εναλλάκτη με αυλούς, ο οποίος είναι τύπος που χρησιμοποιείται ευρύτερα ως συμπυκνωτής και στις ψυκτικές εγκαταστάσεις των πλοίων. Επίσης, αυτός ο τύπος εναλλάκτη χρησιμοποιείται στα πλοία και ως ατμοποιητής σε εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως. Στην περίπτωση που ο εναλλάκτης χρησιμοποιείται για την ψύξη ενός υγρού με ταυτόχρονη θέρμανση ενός άλλου, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα δύο υγρά μπορεί να μειώνεται ή να είναι περίπου σταθερή ανάλογα αν τα δύο υγρά ρέουν παράλληλα ή σε αντηροή, όπως φαίνεται στα σχήματα 6.1δ(α) και (β). Στην περίπτωση που ο εναλλάκτης χρησιμοποιείται ως συμπυκνωτής, η θερμοκρασία του ατμού κατά τη συμπύκνωση παραμένει σταθερή, ενώ η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται [σχ. 6.1δ(γ)]. Στην περίπτωση του ατμοποιητή [σχ. 6.1δ(δ)], η θερμοκρασία του υγρού κατά την ατμοποίηση μένει σταθερή, ενώ η θερμοκρασία της άλμης μειώνεται.

Στις περιπτώσεις των συμπυκνωτών και των ατμοποιητών, η μέση διαφορά θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ροής θερμότητας είναι **μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά** (Logarithmic Mean Temperature Difference–LMTD) και ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς των θερμοκρασιακών διαφορών στην εί-



Σχ. 6.18.

Θερμοκρασιακή διαφορά σε διάφορους τύπους εναλλακτιών θερμότητας. (α) Ψύξη υγρών σε παράλληλη ροή, (β) ψύξη υγρών σε αντιρροή, (γ) συμπυκνωτής και (δ) ατμοποιητής.

σοδο και στην έξοδο του εναλλάκτη προς το φυσικό λογάριθμο του λόγου των θερμοκρασιακών αυτών διαφορών εισόδου και εξόδου:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4)$$

όπου: ΔT_1 , η διαφορά θερμοκρασίας των δύο ρευστών στην είσοδο του εναλλάκτη και ΔT_2 , η διαφορά θερμοκρασίας των δύο ρευστών στην έξοδο του εναλλάκτη.

Η διαφορά των θερμοκρασιών του ψυκτικού μέσου και του νερού κατά τη ροή στο συμπυκνωτή και η LMTD φαίνονται στο σχήμα 6.1ε. Να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός αυτός δεν μας δίνει την αντιστοιχία θέσεως/θερμοκρασίας δηλαδή δεν γνωρίζουμε σε ποια θέση του εναλλάκτη (σε ποιο μήκος) επικρατεί κάποια θερμοκρασία.

Παράδειγμα 2.

Σ' έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, η θερμοκρασία συμπυκνώσεως του ψυκτικού μέσου είναι 40 °C. Το νερό εισέρχεται με θερμοκρασία 25 °C και εξέρχεται με θερμοκρασία 33 °C. Υπολογίστε την LMTD.

Λύση.

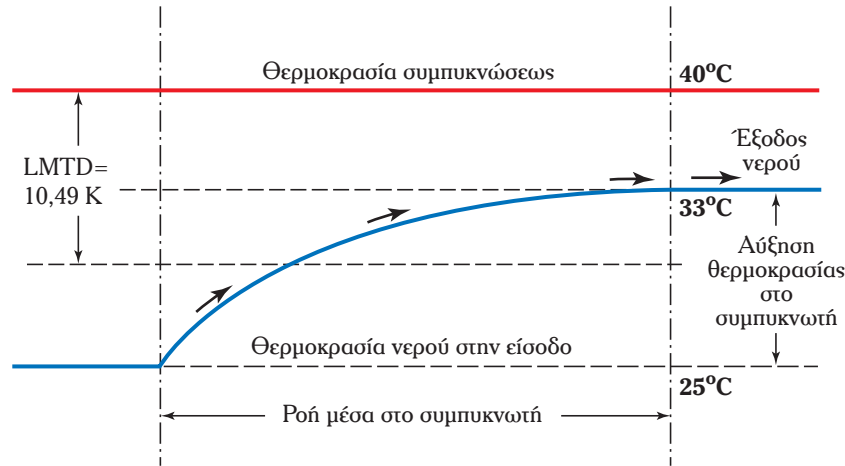
Η θερμοκρασιακή διαφορά στην είσοδο και στην έξοδο του συμπυκνωτή είναι:

Είσοδος: $\Delta T_1 = 40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 15$

Έξοδος: $\Delta T_2 = 40^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C} = 7$

Με αντικατάσταση των διαφορών θερμοκρασίας στη σχέση (4) έχουμε:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{15 - 7}{\ln\left(\frac{15}{7}\right)} = 10,49 \text{ K}$$



Σχ. 6.1ε.

Παράδειγμα υπολογισμού LMTD.

6.1.2 Παροχή μάζας και όγκου – Ανύψωση θερμοκρασίας μέσω συμπυκνώσεως.

Η θερμότητα που απορρίπτεται από τον ατμό του ψυκτικού μέσου, παραλαμβάνεται από το μέσο συμπυκνώσεως. Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις των πλοίων ως μέσο συμπυκνώσεως χρησιμοποιείται συνήθετα το νερό, ενώ υπάρχουν και αερόψυκτοι συμπυκνωτές. Η θερμότητα που παραλαμβάνεται από το μέσο συμπυκνώσεως είναι:

$$\dot{Q}_{\text{συμπ}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (5)$$

όπου: $\dot{Q}_{\text{συμπ}}$, το φορτίο του συμπυκνωτή σε kW, \dot{m} , η παροχή μάζας του μέσου συμπυκνώσεως σε kg/sec, c_p , η ειδική θερμοχωρητικότητα του μέσου συμπυκνώσεως σε kJ/kgK, $\Delta T = T_{\text{εξ}} - T_{\text{εισ}}$, η διαφορά θερμοκρασίας του μέσου συμπυκνώσεως στην έξοδο και την είσοδο του συμπυκνωτή σε K.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα για το νερό και τον αέρα είναι:

α) Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού:

$$c_p = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \text{ και}$$

β) ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα:

$$c_p = 1,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}.$$

Με δεδομένο το φορτίο του συμπυκνωτή και την επιθυμητή ανύψωση της θερμοκρασίας του μέσου συμπυκνώσεως, μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή όγκου του μέσου συμπυκνώσεως. Αυτό γίνεται με δεδομένες τις μέσες τιμές ειδικού όγκου v του νερού και του αέρα, οι οποίες είναι:

$$\text{Ειδικός όγκος νερού: } v = 1 \frac{\text{lt}}{\text{kg}} = 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \text{ και}$$

$$\text{ειδικός όγκος αέρα: } v = 0,842 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}.$$

Δεδομένου ότι η παροχή μάζας \dot{m} είναι ίση με:

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \frac{1}{v} \Rightarrow \dot{V} = \dot{m} \cdot v \quad (6)$$

λύνοντας την εξίσωση (5) ως προς \dot{m} , έχουμε:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{\text{συμπ}}}{c_p \cdot \Delta T} \quad (7)$$

Αντικαθιστώντας την (7) στην εξίσωση (6) έχουμε:

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v \Rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{Q}_{\text{συμπ}} \cdot v}{c_p \cdot \Delta T} \quad (8)$$

Από την εξίσωση (8), για τις ανωτέρω τιμές του ειδικού όγκου του νερού και του αέρα, προκύπτει η παροχή όγκου:

α) Παροχή όγκου νερού (για υδρόψυκτους συμπιεστές):

$$\dot{V}(\text{lt / sec}) = \frac{\dot{Q}_{\text{συμπ}}(\text{kW})}{4,19 \cdot \Delta T(\text{K})} \quad (9)$$

β) Παροχή όγκου αέρα (για αερόψυκτους συμπιεστές):

$$\begin{aligned} \dot{V}(\text{m}^3 / \text{sec}) &= \frac{\dot{Q}_{\text{συμπ}}(\text{kW}) \cdot 0,842}{1,02 \cdot \Delta T(\text{K})} = \\ &= 0,825 \cdot \frac{\dot{Q}_{\text{συμπ}}(\text{kW})}{\Delta T(\text{K})} \end{aligned} \quad (10)$$

Η παροχή όγκου του νερού ή του αέρα μπορεί να υπολογιστεί από την εγκάρσια επιφάνεια ροής του αγωγού επί τη μέση ταχύτητα ροής:

$$\dot{V} = A \cdot \bar{u}$$

όπου: \dot{V} , η παροχή όγκου σε m^3/sec , A , η εγκάρσια επιφάνεια του αγωγού σε m^2 [για νερό $A = \frac{\pi d^2}{4}$, για αέρα $A = B \cdot Y$ (βάση επί ύψος)] του στομίου ροής) και \bar{u} , η μέση ταχύτητα ροής σε m/sec .

Παράδειγμα 3.

Σ' έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, η ισχύς είναι 55 kW και η ανύψωση θερμοκρασίας του νερού 8 K. Υπολογίστε την παροχή όγκου του νερού ψύξεως.

Λύση.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (9), η παροχή όγκου του νερού υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{V} (lt / sec) = \frac{\dot{Q}_{ουμπ} (kW)}{4,19 \cdot \Delta T (K)} = \frac{55 kW}{4,19 \cdot 8 K} = 1,64 lt / sec$$

Παράδειγμα 4.

Σ' έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, η ισχύς είναι 30 kW και η παροχή όγκου του νερού 1,2 lit/sec. Υπολογίστε την ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού κατά τη ροή του μέσα στο συμπυκνωτή.

Λύση.

Λύνομε την εξίσωση (9) ως προς ΔT , οπότε έχουμε:

$$\Delta T (K) = \frac{\dot{Q}_{ουμπ} (kW)}{4,19 \cdot \dot{V} (lt / sec)} = \frac{30 kW}{4,19 \cdot 1,2 lt / sec} = 5,96 K$$

Παράδειγμα 5.

Σ' έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, η παροχή όγκου του νερού είναι 0,8 lit/sec και η ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού 6 K. Υπολογίστε την ισχύ του συμπυκνωτή.

Λύση.

Λύνομε την εξίσωση (9) ως προς $\dot{Q}_{ουμπ}$, οπότε έχουμε:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ουμπ} (kW) &= 4,19 \cdot \dot{V} (lt / sec) \cdot \Delta T (K) \Rightarrow \\ \Rightarrow \dot{Q}_{ουμπ} (kW) &= 4,19 \cdot 0,8 lt / sec \cdot 6 K = 20,1 kW \end{aligned}$$

6.2 Είδη συμπυκνωτών.

Οι συμπυκνωτές, ανάλογα με το μέσο συμπυκνώσεως κατατάσσονται σε:

- Υδρόψυκτους συμπυκνωτές.
- Αερόψυκτους συμπυκνωτές.
- Εξατμιστικούς συμπυκνωτές.

Στους υδρόψυκτους συμπυκνωτές η θερμότητα υγροποίησης του ψυκτικού μέσου αποβάλλεται από νερό ψύξεως, ενώ στους αερόψυκτους χρησιμοποιείται για την απαγωγή της ο ατμοσφαιρικός αέρας. Στους συμπυκνωτές εξατμίσεως η απαγωγή θερμότητας γίνεται με την εξάτμιση νερού στην ατμόσφαιρα. Με την εξάτμιση προκαλείται η απαγωγή της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης, η οποία, είναι και το μέσο απαγωγής της θερμότητας που απορρίπτεται στο συμπυκνωτή.

Και οι τρεις τύποι συμπυκνωτών που αναφέρονται παραπάνω χρησιμοποιούνται στις ψυκτικές και στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην ξηρά, ανάλογα με το διαθέσιμο μέσο συμπυκνώσεως και τη θερμοκρασία του και ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι δεξαμενής νερού (π.χ. ποτάμι, λίμνη) πλησίον της εγκαταστάσεως. Στις εγκαταστάσεις των πλοίων, σχεδόν πάντοτε χρησιμοποιούνται υδρόψυκτοι συμπυκνωτές λόγω της υπάρξεως μεγάλης ποσότητας θαλασσινού νερού σε χαμηλή θερμοκρασία. Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές στα πλοία χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις έτοιμων μικρών ψυκτικών μονάδων που υπάρχουν σε εμπορικές συσκευές (π.χ. οικιακά ψυγεία και ψύκτες νερού). Τέλος, η χρήση των συμπυκνωτών εξατμίσεως στα πλοία είναι πολύ σπάνια, διότι δεν υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς παροχής γλυκού νερού για εξάτμιση.

6.2.1 Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές.

Οι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές κατασκευάζονται συνήθως στους εξής τρεις τύπους:

α) Οι **υδρόψυκτοι συμπυκνωτές κελύφους-αυλών** (σχ. 6.2α) είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται πιο συχνά στις ψυκτικές και στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις των πλοίων. Ο συμπυκνωτής αποτελείται από ένα καλύβδινο κέλυφος, μέσα στο οποίο υπάρχουν καλύβδινοι ή ορειχάλκινοι αυλοί. Στα δύο άκρα του κελύφους υπάρχουν τα ελάσματα στερέωσης των αυλών και ορειχάλκινα καλύμματα που συνδέονται με βίδες και παρεμβύσματα πάνω στο κέλυφος. Το νερό ψύξεως, το οποίο είναι θαλασσινό ή γλυκό νερό από ένα ενδιάμεσο ψυγείο, ρέει εσω-

τερικά των αυλών. Όταν το μέσο συμπυκνώσεως είναι το θαλασσινό νερό, η κατασκευή των αυλών είναι από ειδικό κράμα Cu-Ni με αντοχή στην οξείδωση. Η είσοδος των ατμών του ψυκτικού μέσου γίνεται στο χώρο μεταξύ αυλών και κελύφους, όπου ρέουν εξωτερικά των αυλών και συμπυκνώνονται. Το συμπύκνωμα εξέρχεται από την κάτω πλευρά του κελύφους.

Τα καλύμματα στην αριστερή και στη δεξιά πλευρά του κελύφους εκτός από τα παρεμβύσματα συνδέσεως του νερού συμπυκνώσεως έχουν και χωρίσματα, με τα οποία διαμορφώνονται οι θάλαμοι αντιστροφής της ροής του νερού. Με τα χωρίσματα αυτά το νερό μετά την είσοδό του στο συμπυκνωτή, εξαναγκάζεται να κάνει αναστροφές της ροής του και να περνάει σε πολλές κατευθύνσεις μέσα απ' τους αυλούς πριν την έξοδο. Συνήθως η ροή του νερού γίνεται με μια αναστροφή, έτσι ώστε να περνάει δύο φορές μέσα από τους αυλούς. Εναλλακτικά μπορεί να υπάρχουν τρεις αναστροφές και τέσσερις διαφορετικές κατευθύνσεις ροής του νερού μέσα στους αυλούς όπως στο σχήμα 6.2β.

Οι αυλοί μπορεί εξωτερικά να είναι λείοι ή να έχουν πτερύγια για αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας. Επί πλέον στο κέλυφος υπάρχουν παρεμβύσματα για σύνδεση του απαεριωτήρα, του ασφαλιστικού πίεσεως και της βαλβίδας ρυθμίσεως κυκλοφορίας του νερού συμπυκνώσεως. Επίσης μπορεί να υπάρχει γυαλί για έλεγχο της στάθμης του ψυκτικού μέσου. Επί πλέον, οι συμπυκνωτές αμμωνίας έχουν μια έξοδο για το λάδι, το οποίο δεν αναμειγνύεται με την αμμωνία και συγκεντρώνεται στην κάτω πλευρά. Στην περίπτωση αυτή, η έξοδος της υγρής αμμωνίας βρίσκεται ψηλότερα από την έξοδο του λαδιού. Τυπικές πιέσεις λειτουργίας είναι τα 30 bar στην πλευρά του ψυκτικού μέσου και τα 10 bar στην πλευρά του νερού.

Στο σχήμα 6.2γ εικονίζεται αποσυναρμολογημένος ένας συμπυκνωτής κελύφους-αυλών με τέσσερις διαδρομές του νερού ψύξεως, όπως φαίνεται από τον αριθμό των τριών θαλάμων αναστροφής που υπάρχουν στα κέλυφρα.

Οι αυλοί του συμπυκνωτή κελύφους-αυλών έχουν μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας και είναι τοποθετημένοι σ' ένα κέλυφος με σχετικά μικρές διαστάσεις. Έτσι οι συμπυκνωτές αυτοί απαιτούν μικρό χώρο. Ένα επί πλέον πλεονέκτημα που προσφέρουν είναι η δυνατότητα μηχανικού καθαρισμού του εσω-

τερικού των αυλών από επικαθίσεις και άλατα.

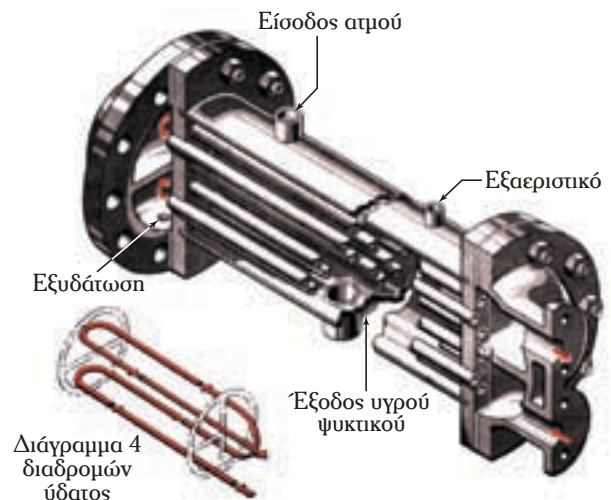
Με τη ροή του νερού εσωτερικά των αυλών σχηματίζονται επικαθίσεις από άλατα και από στερεά ιζήματα που υπάρχουν στο νερό, οι οποίες αφενός μικραίνουν τη διάμετρο ροής του νερού, αφετέρου λειτουργούν ως μονωτικό (σχ. 6.2δ). Το αποτέλεσμα των επικαθίσεων είναι η αύξηση της πτώσεως πίεσεως κατά τη ροή του νερού, η αύξηση της ισχύος που καταναλώνει η αντλία κυκλοφορίας και η ελάττωση του συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως. Κατά συνέπεια αυξάνεται η πίεση, στην οποία συμπυκνώνονται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου και το έργο συμπίεσεως.

Ο σχηματισμός των επικαθίσεων αποφεύγεται με χημική επεξεργασία του νερού συμπυκνώσεως. Επί



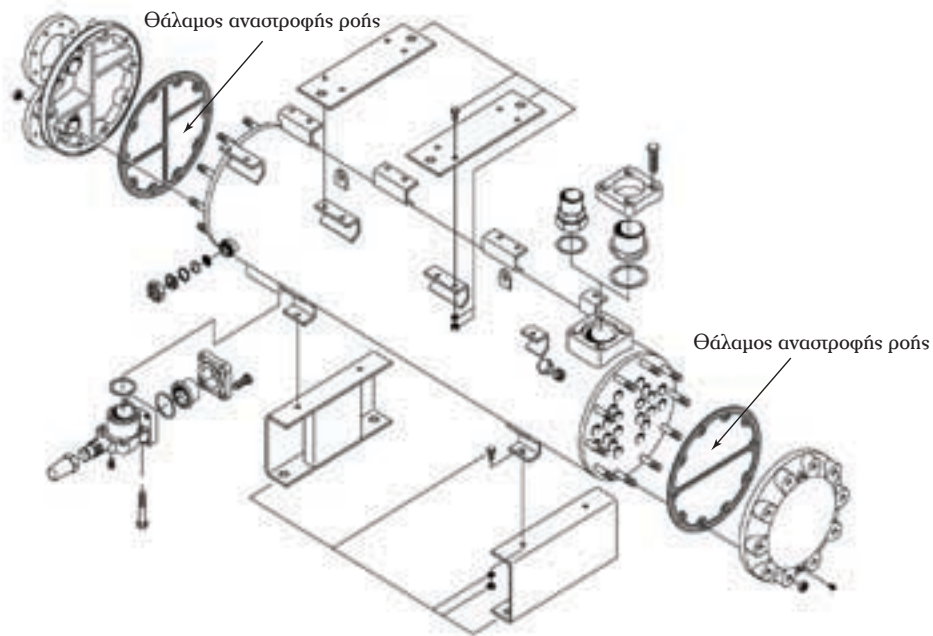
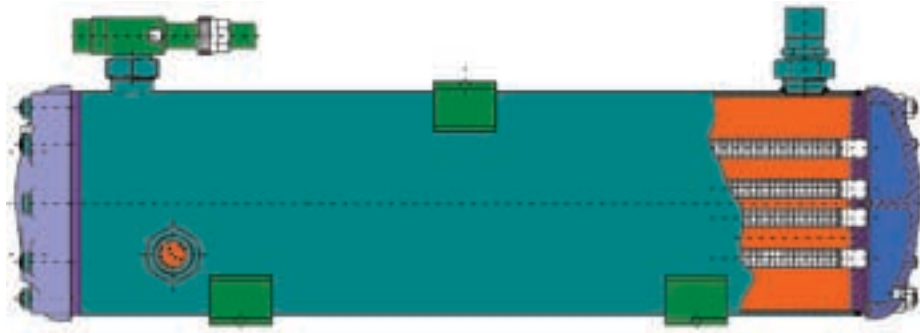
Σχ. 6.2α.

Υδροψυκτός συμπυκνωτής κελύφους-αυλών.



Σχ. 6.2β.

Ροή του νερού μέσα στο συμπυκνωτή.



Σχ. 6.2γ.

Αποσυναρμολογημένος υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους-αυλών.

πλέον, στους συμπυκνωτές κελύφους-αυλών υπάρχει η δυνατότητα μηχανικού καθαρισμού των αυλών. Αυτός γίνεται περιοδικά με εξάρμωση των ακραίων καλυμμάτων και με χρήση δράπανου και βούρτσας, η οποία πρέπει να είναι αυτή που προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή του συμπυκνωτή, ώστε να μην καταστραφούν οι αυλοί. Το πλεονέκτημα της σχεδίασης των συμπυκνωτών κελύφους-αυλών είναι ότι ο καθαρισμός μπορεί να γίνεται χωρίς την πλήρη εξάρμωση από την πλευρά του ψυκτικού μέσου, αλλά μόνο με την εκκένωση της γραμμής του νερού.

Η επιλογή του συμπυκνωτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση της αποδόσεώς του λόγω του σχηματισμού επικαθίσεων στους αυλούς. Η μείωση της αποδόσεως εκτιμάται από συντελεστές μειώσεως που δίνουν οι κατασκευαστές των συμπυκνωτών για διαφορετικές ποιότητες νερού, το οποίο χρησιμοποι-



Σχ. 6.2δ.

Σχηματισμός επικαθίσεων στους αυλούς.

είται ως μέσο συμπυκνώσεως.

Για την προστασία τους από την ηλεκτροχημική διάβρωση, οι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές έχουν ανόδια από θυσιαζόμενο μέταλλο –συνήθως ψευδάργυρο– στην πλευρά του νερού. Τα ανόδια αυτά, καθώς διαβρώνονται, μειώνεται η επιφάνειά τους και καθί-

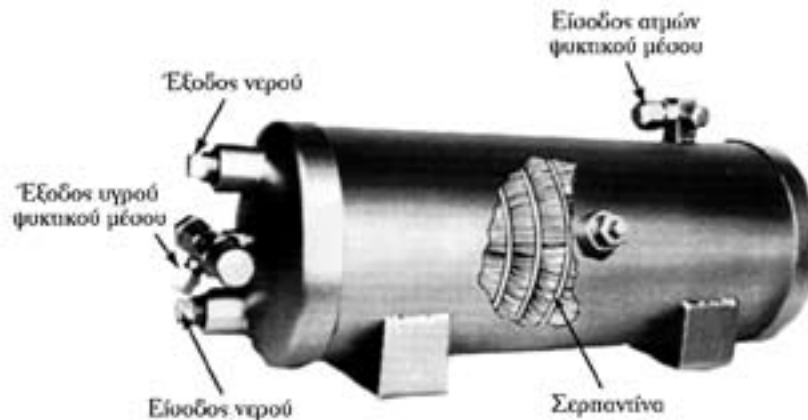
στανται μη αποτελεσματικά. Γι' αυτόν το λόγο πρέπει να επιθεωρούνται μία φορά το μήνα και να αντικαθίστανται τουλάχιστον κάθε 6 μήνες ανεξάρτητα από το ποσοστό της φθοράς τους. Επί πλέον, όταν η ταχύτητα του νερού είναι μεγάλη αρχίζει η μηχανική διάβρωση των αυλών λόγω σπηλαιώσεως. Στους συμπυκνωτές που χρησιμοποιούνται σε πλοία, η ταχύτητα του νερού είναι μέχρι $2,5 \text{ m} \cdot \text{sec}$ για λόγους περιορισμού της μηχανικής διαβρώσεως.

Οι αυλοί στερεώνονται στα ελάσματα, είτε με κόλληση είτε με εκτόνωση. Η στεγανότητα των θέσεων αυτών μπορεί να δημιουργεί προβλήματα διαρροών ψυκτικού μέσου ή και εισόδου νερού στο ψυκτικό κύκλωμα. Αν κάποιος αυλοί έχουν διαρροές, τότε αυτοί αποφράσσονται στα δυο άκρα τους με κωνικές σφήνες.

β) Οι **υδρόψυκτοι συμπυκνωτές κελύφους-**

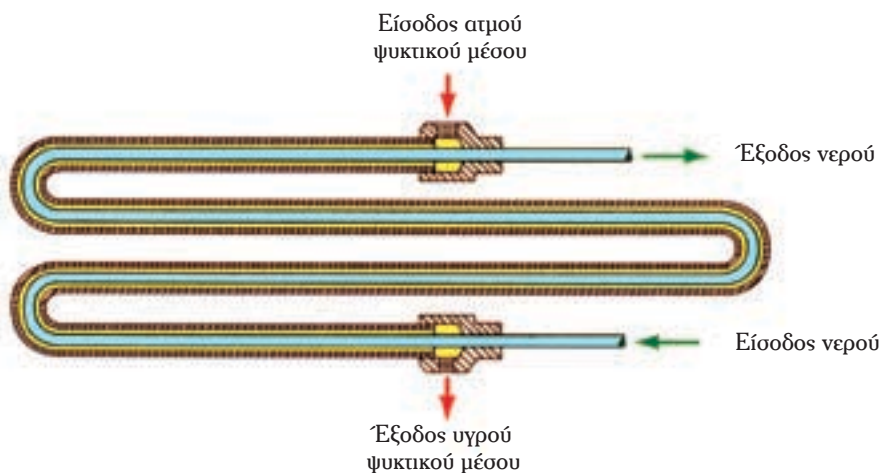
σπείρας (σχ. 6.2ε) έχουν παρόμοια κατασκευή με τους συμπυκνωτές κελύφους-αυλών. Αποτελούνται από ένα κέλυφος, μέσα στο οποίο υπάρχει μια σερπαντίνα. Μέσα στη σερπαντίνα κυκλοφορεί το νερό και εξωτερικά της, μέσα στο κέλυφος κυκλοφορεί ο ατμός του ψυκτικού μέσου. Οι συμπυκνωτές κελύφους-σπείρας είναι φθηνότεροι και έχουν εξίσου καλή απόδοση μ' αυτήν των συμπυκνωτών κελύφους-αυλών. Το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα μηχανικού καθαρισμού της σπείρας εσωτερικά όπου γίνεται η ροή του νερού. Ο καθαρισμός μπορεί να γίνει μόνο με χημικά.

γ) Οι **συμπυκνωτές ομοαξονικών σωλήνων** (σχ. 6.2στ) χρησιμοποιούνται σε μικρότερες εγκαταστάσεις, όπως σε παγομηχανές. Έχουν απλή κατασκευή και αποτελούνται από δύο ομοαξονικούς σωλήνες. Στον εσωτερικό σωλήνα ρέει το νερό συ-



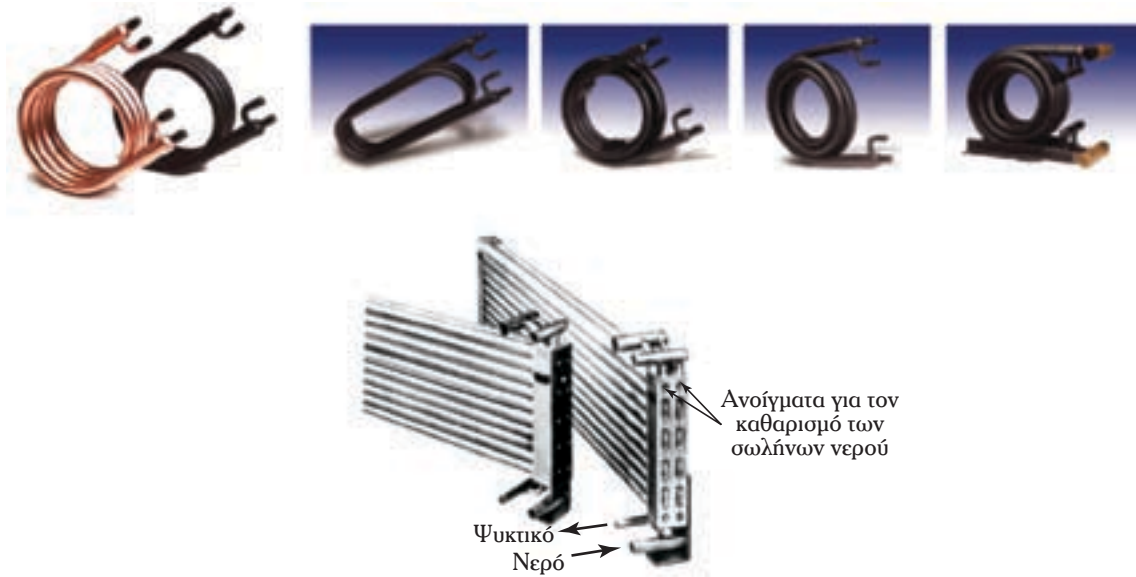
Σχ. 6.2ε.

Συμπυκνωτής κελύφους-σπείρας.



Σχ. 6.2στ.

Συμπυκνωτής ομοαξονικών σωλήνων.



Σχ. 6.2z.

Διάφοροι τύποι συμπυκνωτών σωλήνα μέσα σε σωλήνα.

μπυκνώσεως, ενώ ο ατμός του ψυκτικού μέσου εισέρχεται και υγροποιείται στον εξωτερικό σωλήνα. Ο ατμός και το νερό ρέουν σε αντιστροφή. Η θερμότητα υγροποίησης του ατμού θερμαίνει το νερό ψύξεως, ενώ επί πλέον ψύξη παρέχεται από την εξωτερική επιφάνεια προς τον αέρα.

Οι συμπυκνωτές αυτοί κατασκευάζονται σε ευθεία, κυκλική και ορθογωνική διάταξη των σωλήνων, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2z, όπου δίνονται διάφοροι τύποι συμπυκνωτών ομοαξονικών σωλήνων. Το υλικό κατασκευής τους είναι ο χαλκός και χρησιμοποιούνται με αλογονούχα ψυκτικά μέσα.

Οι συμπυκνωτές ομοαξονικών σωλήνων σε ευθεία διάταξη μπορούν να καθαριστούν μηχανικά με αφαίρεση των ακριανών καλυμμάτων τους (σχ. 6.2n). Οι υπόλοιποι τύποι καθαρίζονται με χημικά.

Για το χημικό καθαρισμό, το νερό αφαιρείται και γίνεται πλήρωση με καθαρό νερό, στο οποίο προστίθεται καθορισμένη ποσότητα όξινου χημικού. Στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία η αντλία κυκλοφορίας και το νερό κυκλοφορεί για καθορισμένο διάστημα. Ακολούθως η εγκατάσταση αδειάζεται και ξεπλένεται με καθαρό νερό πριν την πλήρωση και την έναρξη της κανονικής της λειτουργίας.

Η ροή του νερού στους υδρόψυκτους συμπυκνωτές ρυθμίζεται από μία **αυτόματη βαλβίδα**, τη βαλβίδα ρυθμίσεως ροής νερού. Η βαλβίδα τοποθετείται στην έξοδο του νερού μετά το συμπυκνωτή και ελέγχεται από την πίεση καταθλίψεως του ψυκτικού μέσου (σχ. 6.2θ). Εναλλακτικά υπάρχουν και θερ-

μοστατικές βαλβίδες ρυθμίσεως της ροής του νερού, οι οποίες έχουν θερμοστατικό βολβό, που τοποθετείται στο συμπυκνωτή.

Η ρύθμιση της ροής του νερού είναι απαραίτητη ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία και η πίεση συμπυκνώσεως, δεδομένου ότι η θερμοκρασία του νερού συμπυκνώσεως δεν είναι σταθερή. Η αύξηση της πίεσεως συμπυκνώσεως έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία του συμπιεστή σε μεγαλύτερο λόγο συμπίεσεως και τη μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς της εγκαταστάσεως. Στο σχήμα 6.2ι εικονίζεται μία βαλβίδα ρυθμίσεως νερού συμπυκνώσεως που ελέγχεται από την πίεση καταθλίψεως.

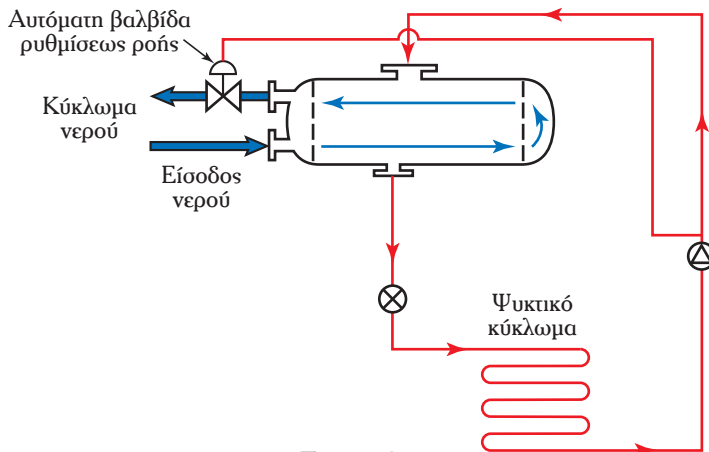
Η πίεση καταθλίψεως του ψυκτικού μέσου μεταφέρεται μ' ένα σωλήνα στο χώρο μέσα στη φυσούνα της βαλβίδας νερού. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού συμπυκνώσεως, αυξάνεται η πίεση συ-



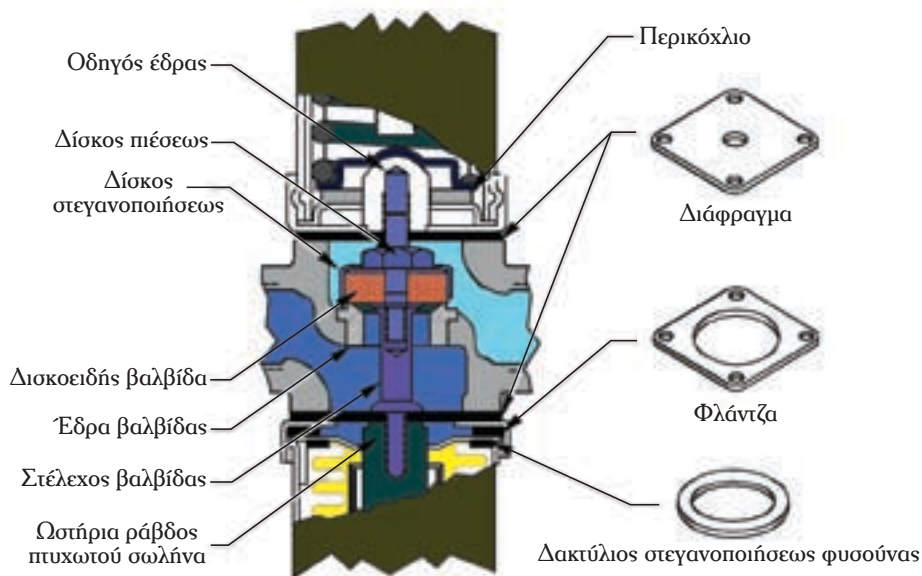
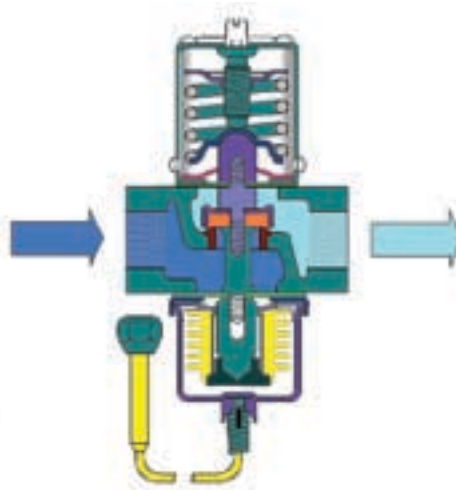
Σχ. 6.2n.

Μηχανικός καθαρισμός αυλών.

μπυκνώσεως τότε η πίεση στη φυσούνα υπερνικάει την τάση του ελατηρίου και η βαλβίδα ανοίγει με αποτέλεσμα την αύξηση της ροής του νερού. Αντίστροφα, όταν πέφτει η πίεση καταθλίψεως, η βαλβίδα κλείνει και η ροή του νερού διακόπτεται. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και οι μέσες τιμές της πίεσεως και της θερμοκρασίας καταθλίψεως παραμένουν σταθερές λόγω της λειτουργίας της βαλβίδας, οι ακραίες τιμές στο άνοιγμα και στο κλείσιμο της βαλβίδας μεταβάλλονται. Αυτό οφείλεται στο ότι οι θερμοστατικές βαλβίδες ρυθμίσεως νερού είναι ρυθμισμένες να σταματούν την παροχή του νερού περίπου 1,5–3 °C, κάτω από τη θερμοκρασία ρυθμίσεως, ενώ οι πιεζοστατικές βαλ-



Σχ. 6.20.
Δίκτυο νερού συμπυκνώσεως με βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού.



Σχ. 6.21.
Πιεζοστατική βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού στο συμπυκνωτή.

βίδες κλείνουν την παροχή όταν η πίεση καταθλίψεως πέσει 3–7 psi κάτω από την πίεση ρυθμίσεως.

Το άνοιγμα της αυτόματης βαλβίδας νερού ρυθμίζεται από την τάση του ελατηρίου, έτσι ώστε η ελάχιστη πίεση λειτουργίας ή αλλιώς η πίεση διακοπής να είναι αρκετά μεγάλη, προκειμένου η βαλβίδα να κλείνει και η ροή του νερού να σταματάει όταν ο συμπεσπής διακόπτει τη λειτουργία του. Η επιλογή της βαλβίδας ρυθμίσεως της κυκλοφορίας του νερού γίνεται ανάλογα με τη μέγιστη παροχή του νερού και τη διαθέσιμη πτώση πίεσης στη βαλβίδα. Η πτώση της πίεσης στη βαλβίδα ισούται με το μανομετρικό ύψος της αντλίας κυκλοφορίας μείον την πτώση πίεσης στο συμπυκνωτή και στις σωληνώσεις κυκλοφορίας του νερού.

Για την εύκολη ρύθμιση των βαλβίδων αυτού του τύπου οι κατασκευαστές τους αναγράφουν σημάδια στην πλευρά του ελατηρίου. Για παράδειγμα στη βαλβίδα του σχήματος 6.2ια, στο έλασμα που βρίσκεται εμπρός από το ελατήριο, υπάρχουν χαραγμένα τα γράμματα Α, Β και C, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές ρυθμίσεις:

α) Το Α αντιστοιχεί σε λειτουργία με R-12 και R-134a με θερμοκρασία συμπυκνώσεως 30 °C.

β) Το Β αντιστοιχεί σε λειτουργία με R-404A, R-407C και R-507 με θερμοκρασία συμπυκνώσεως 30 °C.

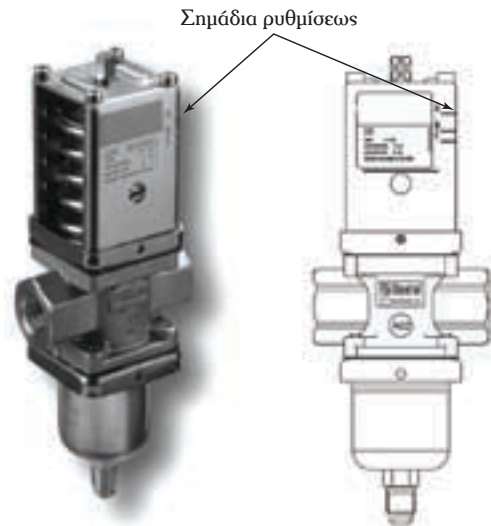
γ) Το C αντιστοιχεί στη μέγιστη πίεση λειτουργίας της βαλβίδας που είναι 18 bar.

Οι βαλβίδες ρυθμίσεως νερού για μεγάλες παροχές σε μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις κινούνται με μια βαλβίδα πιλότο (σχ. 6.2ιβ).

6.2.2 Αερόψυκτοι συμπυκνωτές.

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές ανάλογα με την κυκλοφορία του αέρα χωρίζονται σε συμπυκνωτές **φυσικής κυκλοφορίας**. Οι συμπυκνωτές φυσικής κυκλοφορίας βασίζονται στη ροή του αέρα που δημιουργείται από την ελάττωση της πυκνότητάς του, καθώς ζεσταίνεται. Στους συμπυκνωτές **εξαναγκασμένης** κυκλοφορίας, η ροή του αέρα εξασφαλίζεται από έναν ανεμιστήρα.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος αερόψυκτου συμπυκνωτή φυσικής κυκλοφορίας είναι αυτός που χρησιμοποιείται στα οικιακά ψυγεία (σχ. 6.2ιγ). Αποτελείται από ένα σωλήνα, μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο. Ο ατμός εισέρχεται στην πάνω πλευρά και το υγρό ψυκτικό μέσο εξέρχεται από την κάτω πλευρά. Η θερμότητα που παράγεται με τη συ-



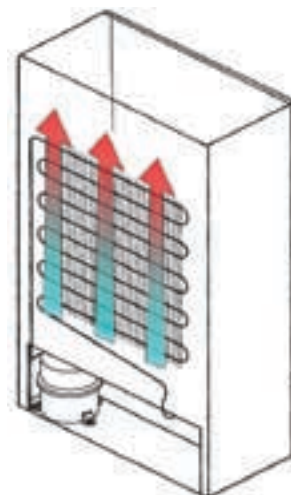
Σχ. 6.2ια.

Θέσεις ρυθμίσεως βαλβίδας νερού.



Σχ. 6.2ιβ.

Βαλβίδα ρυθμίσεως υγρού συμπυκνώσεως για μεγάλη παροχή νερού.



Σχ. 6.2ιγ.

Συμπυκνωτής μικρού οικιακού ψυγείου.

μπύκνωση μεταφέρεται μέσω των τοιχωμάτων της σωληνώσεως στον αέρα, ο οποίος θερμαίνεται και ανεβαίνει προς τα πάνω. Λόγω της μετατόπισης του θερμού αέρα που μετακινείται προς τα πάνω, ο ψυχρότερος αέρας συμπληρώνει το κενό που δημιουργείται και έρχεται σε επαφή με τη σωλήνωση. Η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται με μεταλλικούς αγωγούς που συγκολλώνται στο σωλήνα.

Στους συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας υπάρχει ένας ή περισσότεροι ανεμιστήρες που δημιουργούν τη διαφορά πίεσης που χρειάζεται ο αέρας. Η διαφορά αυτή εξισορροπεί την πτώση πίεσης του αέρα κατά τη ροή του μέσα από τις σωληνώσεις, όπου κυκλοφορεί ο ατμός του υγροποιημένου ψυκτικού μέσου. Ένας αερόψυκτος συμπυκνωτής εξαναγκασμένης κυκλοφορίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2ιδ. Ο αέρας αναρροφάται από την κάτω πλευρά, περνάει από τις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας, όπου ψύχει τον ατμό του ψυκτικού μέσου και στη συνέχεια περνάει από τον ανεμιστήρα και ωθείται στην έξοδο που βρίσκεται στην πάνω πλευρά. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται προς τα πάνω ώστε να διευκολύνεται από τη φυσική ροή, λόγω της διαφοράς πυκνότητας του ζεστού και του κρύου αέρα στην πάνω και στην κάτω πλευρά αντίστοιχα. Ο ανεμιστήρας τοποθετείται στην έξοδο, ώστε η δική του θερμότητα να μην επιβαρύνει το συμπυκνωτή. Τέτοιοι συμπυκνωτές κατασκευάζονται για ψυκτικές εγκαταστάσεις με ισχύ έως 120 RT και χρησιμοποιούνται κυρίως για κεντρικό κλιματισμό, οπότε τοποθετούνται στην οροφή των κτηρίων. Στα πλοία χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις μετασκευών όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος στο κατάστρωμα και είναι ακριβή η τοποθέτηση υδρόψυκτου συμπυκνωτή στο μηχανοστάσιο.

Μικρότεροι αερόψυκτοι συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας τοποθετούνται σε μία βάση με συμπιεστές, οπότε ονομάζονται **μονάδες συμπεκνώσεως** (σχ. 6.2ιε). Τέτοιες μονάδες συμπεκνώσεως κατασκευάζονται για ψυκτική ισχύ έως 3 RT. Ο αέρας αναρροφάται από τον ανεμιστήρα και περνάει πρώτα από τις σπείρες συμπεκνώσεως του αερίου ψυκτικού μέσου. Στη συνέχεια πέφτει πάνω στο συμπιεστή, απ' όπου απάγει θερμότητα και τον ψύχει, πριν διαφύγει στο περιβάλλον.

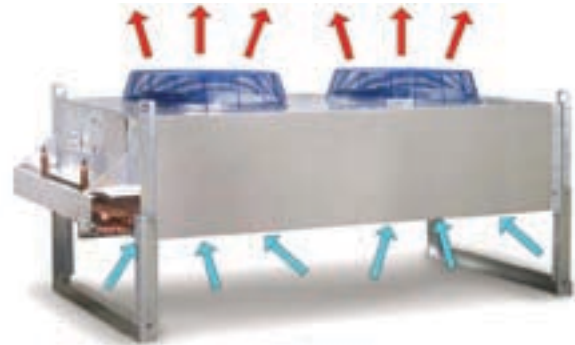
Το μειονέκτημα των αεροψύκτων συμπυκνωτών είναι ότι δεν έχουν σταθερή απόδοση διότι αυτή εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα. Στις εγκαταστάσεις κλιματισμού και στις περισσότερες εγκα-

ταστάσεις ψύξεως, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αυξάνεται το ψυκτικό φορτίο της εγκαταστάσεως. Στις περιπτώσεις αυτές η απαιτήσεις για απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή είναι αυξημένες, ενώ η ικανότητά του μειώνεται. Αντίθετα, όταν πέσει η εξωτερική θερμοκρασία, οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές μπορούν να απορρίψουν περισσότερη θερμότητα. Γι' αυτόν το λόγο οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές επιλέγονται από το σχεδιαστή της εγκαταστάσεως, ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν το ψυκτικό φορτίο σε θερμοκρασία αέρα 35 °C, ενώ όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη υπολειπούν. Η ομαλή λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες αέρα εξασφαλίζεται με τη ρύθμιση της ισχύος τους.

Η **ρύθμιση της ισχύος των αεροψύκτων συμπυκνωτών** γίνεται με τις εξής μεθόδους:

- Με έλεγχο της λειτουργίας του ανεμιστήρα.
- Με περσίδες.
- Με πλήρωση με υγρό ψυκτικό μέσο (κατάκλιση).

Ο **έλεγχος της λειτουργίας του ανεμιστήρα**



Σχ. 6.2ιδ.

Αερόψυκτος συμπυκνωτής εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.



Σχ. 6.2ιε.

Αερόψυκτη μονάδα συμπεκνώσεως εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

(head pressure control), είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνότερα. Με τη μέθοδο αυτή ελέγχεται το μανομετρικό ύψος που δίνει στον αέρα ο ανεμιστήρας και κατά συνέπεια ελέγχεται η ταχύτητα του αέρα και ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας. Όταν πέσει η εξωτερική θερμοκρασία και υπάρχουν πολλοί ανεμιστήρες, αυτοί αρχίζουν να σταματούν διαδοχικά. Σε περίπτωση που υπάρχει ένας ανεμιστήρας, αυτός σταματάει και ξεκινάει περιοδικά, ώστε να έχει διακοπόμενη λειτουργία. Εναλλακτικά, μπορεί να μεταβάλλεται με ηλεκτρονικό τρόπο η ταχύτητα περιστροφής των ανεμιστήρων.

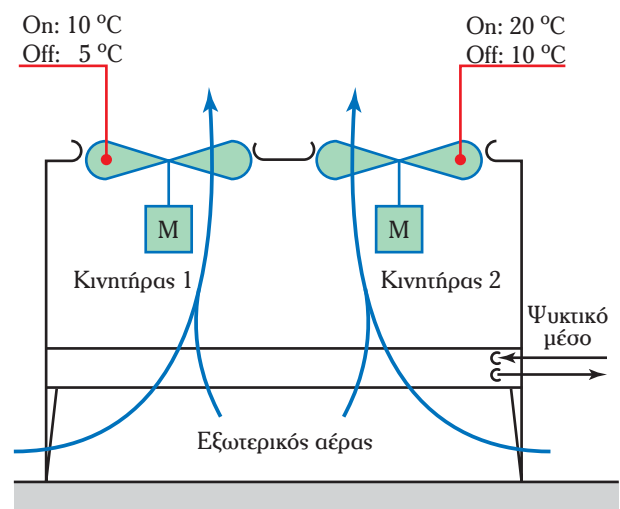
Ο έλεγχος των ανεμιστήρων γίνεται από θερμοστάτες που είναι τοποθετημένοι εξωτερικά, ώστε να «αισθάνονται» τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Για παράδειγμα, ο αερόψυκτος συμπυκνωτής στο σχήμα 6.21στ έχει δύο ανεμιστήρες. Αυτοί ελέγχονται από θερμοστάτες που είναι ρυθμισμένοι να σταματούν και να ξεκινούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Στη λειτουργία σε ζεστό αέρα δουλεύουν και οι δύο ανεμιστήρες, ενώ όταν η θερμοκρασία του αέρα πέσει στους 15 °C, ο ένας σταματάει. Για θερμοκρασία κάτω από 5 °C σταματούν και οι δύο ανεμιστήρες και η συμπύκνωση γίνεται με φυσική κυκλοφορία. Για θερμοκρασία αέρα χαμηλότερη από 5 °C με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα η πίεση συμπυκνώσεως είναι πολύ χαμηλή. Έτσι, για χαμηλότερες θερμοκρασίες η φυσική κυκλοφορία του αέρα ελέγχεται με περσίδες.

Οι **περσίδες** είναι ελάσματα που τοποθετούνται στην έξοδο του αέρα, ώστε να εμποδίζουν τη φυσική κυκλοφορία του. Ένας συμπυκνωτής με περσίδες φαίνεται στο σχήμα 6.21ζ(α). Η επιφάνεια του αέρα μπορεί να μεγαλώνει και να μικραίνει με τη μεταβολή της κλίσεώς τους από έναν ηλεκτρικό πνευματικό κινητήρα. Επίσης, η κίνηση των περσίδων σε μερικούς αερόψυκτους συμπυκνωτές γίνεται απευθείας μέσω της πίεσεως συμπυκνώσεως, όπως στο σχήμα 6.21ζ(β). Όταν ανέβει η πίεση συμπυκνώσεως, ενεργοποιείται ένας υδραυλικός κινητήρας, ο οποίος κινείται από το υγρό ψυκτικό μέσο στην έξοδο του συμπυκνωτή. Όταν ενεργοποιηθεί ο κινητήρας οι περσίδες ανοίγουν και η ροή του αέρα αυξάνεται.

Τέλος, η ρύθμιση της ισχύος του συμπυκνωτή μπορεί να γίνει με **πλήρωση με υγρό ψυκτικό μέσο** (flooding). Η πλήρωση με υγρό ψυκτικό μέσο γίνεται με τη διάταξη του σχήματος 6.21η, η οποία περιλαμβάνει μια τρίοδη βαλβίδα στην έξοδο του συμπυκνωτή, μία γραμμή παρακάμψεως και μια

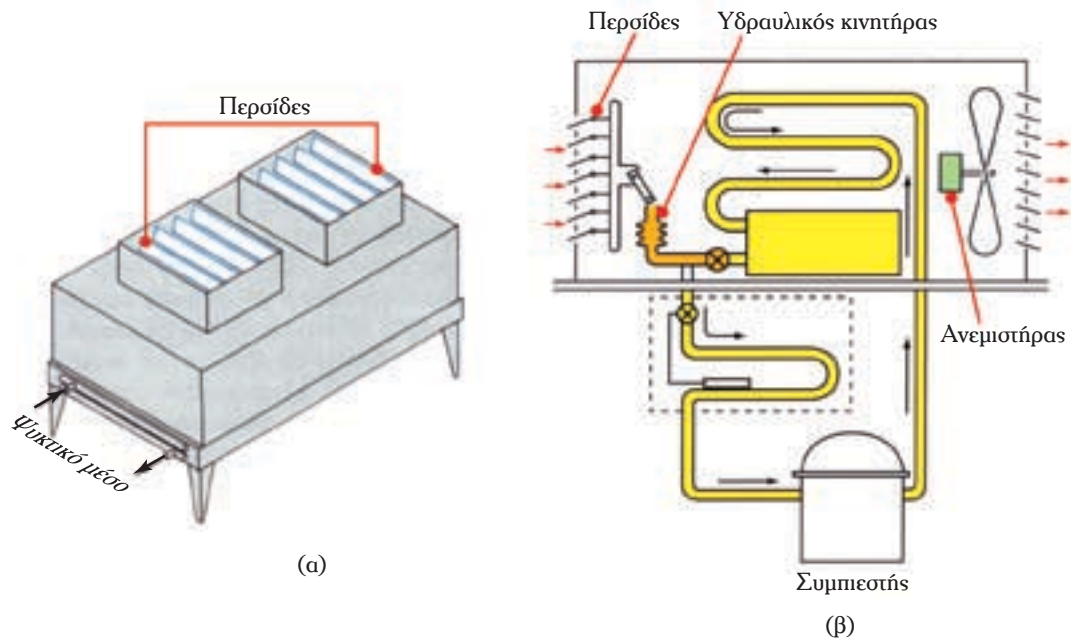
ανεπίστροφη βαλβίδα. Η τρίοδη βαλβίδα ελέγχεται από την πίεση στην είσοδό της, ώστε όταν η πίεση αυτή χαμηλώσει, να κλείνει τη δίοδο προς την εκτονωτική και να την ανοίγει προς τη γραμμή παρακάμψεως. Όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι υψηλή, η πίεση καταθλίψεως είναι κανονική και η τρίοδη βαλβίδα αφήνει τη ροή του υγρού μέσου από το συμπυκνωτή να περάσει προς την εκτονωτική βαλβίδα. Όταν χαμηλώσει η εξωτερική θερμοκρασία και μειωθεί η πίεση καταθλίψεως η τρίοδη βαλβίδα κλείνει τη δίοδο του υγρού, που φεύγει από το συμπυκνωτή προς την εκτονωτική. Ο συμπυκνωτής γεμίζει με υγρό ψυκτικό μέσο που διατηρείται σε μεγάλη πίεση, ενώ η τρίοδη βαλβίδα επιτρέπει τη ροή προς την εκτονωτική βαλβίδα μιας παροχής υγρού, με την οποία διατηρείται η υψηλή πίεση καταθλίψεως. Το υγρό που φεύγει από την τρίοδη βαλβίδα αναμειγνύεται με το αέριο από το συμπιεστή που παρακάμπτει το συμπυκνωτή. Στην εκτονωτική βαλβίδα οδηγείται υγρός ατμός, οπότε ελαττώνεται η ψυκτική ισχύς της εγκαταστάσεως. Η ανεπίστροφη βαλβίδα τοποθετείται έτσι, ώστε να μην επιστρέψει το υγρό από το συλλέκτη προς το συμπυκνωτή όταν σταματήσει να λειτουργεί ο συμπιεστής. Στην περίπτωση της κρατήσεως του συμπιεστή, ο συμπυκνωτής είναι κρύος. Κατά την έναρξη λειτουργίας, οι ατμοί του μέσου συγκεντρώνονται στον ψυχρό συμπυκνωτή, οπότε μπορεί να γίνει κράτηση του συμπιεστή λόγω χαμηλής πίεσεως αναρροφήσεως.

Κατά τη λειτουργία των αερόψυκτων συμπυκνωτών σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, δηλαδή



Σχ. 6.21στ.

Έλεγχος της ισχύος αερόψυκτου συμπυκνωτή με έλεγχο λειτουργίας των ανεμιστήρων.



Σχ. 6.21ζ.

(α) Αερόψυκτος συμπυκνωτής με περιοίδες, (β) έλεγχος παροχής με κλείσιμο περιοίδων.

στο μέγιστο της αποδόσεώς τους, μπορεί να εμφανιστεί **υψηλή πίεση καταθλίψεως**. Αυτό επιβαρύνει τη λειτουργία του συμπιεστή και μειώνει την ψυκτική ισχύ. Η υψηλή πίεση καταθλίψεως μπορεί επίσης να οφείλεται στις εξής αιτίες:

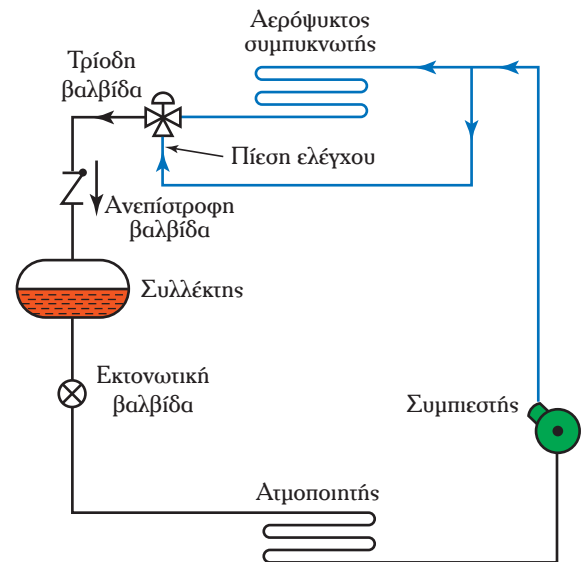
α) **Κράτηση ανεμιστήρα**. Αυτή μπορεί να γίνει λόγω φθοράς ιμάντων, κακή ηλεκτρολογική σύνδεση, βλάβη θερμοστατών και κυκλωμάτων ελέγχου.

β) **Παρεμπόδιση κυκλοφορίας του αέρα**. Μπορεί να οφείλεται σε ρύπανση των πτερυγίων συναλλαγής θερμότητας από σκόνη και στερεά που μεταφέρονται με τον αέρα, σε οξείδωση των αλουμινένιων πτερυγίων, ειδικά για λειτουργία κοντά σε θάλασσα και σε κακή τοποθέτηση στο χώρο, όπου η ροή του αέρα παρεμποδίζεται από άλλα αντικείμενα ή σε ξένα αντικείμενα που έχουν φράξει την επιφάνεια.

γ) **Ανακυκλοφορία του αέρα που προκαλείται από γεινίαση με άλλα ογκώδη αντικείμενα** (π.χ. τοίχους). Στην περίπτωση αυτή ο θερμός αέρας που εξέρχεται ανακυκλοφορεί και εισέρχεται εκ νέου στο συμπυκνωτή, όταν η ροή του ανέμου τον εγκλωβίζει κοντά στο φυσικό εμπόδιο.

Η πίεση καταθλίψεως θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η θερμοκρασία συμπυκνώσεως να είναι 3–4 °C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στο συμπυκνωτή.

Οι επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας των αε-



Σχ. 6.21n.

Πλήρωση με υγρό ψυκτικό μέσο αερόψυκτου συμπυκνωτή με χρήση τριόδης βαλβίδας.

ροψύκτων συμπυκνωτών είναι οι επιφάνειες των σωλήνων, στους οποίους ρέει ο ατμός του ψυκτικού μέσου. Η επιφάνεια αυτή αυξάνεται με την προσθήκη πτερυγίων. Τα πτερύγια τοποθετούνται στους σωλήνες, όντως ώστε να υπάρχει άριστη επαφή και για να εξασφαλίζεται καλή αγωγή θερμότητας. Σε μικρότερους συμπυκνωτές αντί για πτερύγια μπορεί να τοποθετούνται τυλίγματα από χαλύβδινο σύρμα ή χαλύβδινοι αγωγοί. Στους συμπυκνωτές με φυσι-

κή κυκλοφορία τα περύγια είναι αραιότερα τοποθετημένα, ώστε να διευκολύνεται η ροή του αέρα, ιδιαίτερα σε συνθήκες ρυπάνσεως του περυγίου. Σε συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, τα περύγια είναι τοποθετημένα πλησιέστερα μεταξύ τους. Τα περύγια είναι συνήθως από αλουμίνιο, ενώ σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται προστασία από την οξείδωση χάλκινα. Στο σχήμα 6.21θ φαίνονται διατάξεις περυγίων που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές αεροψύκτων συμπυκνωτών.

6.2.3 Εξατμιστικοί συμπυκνωτές.

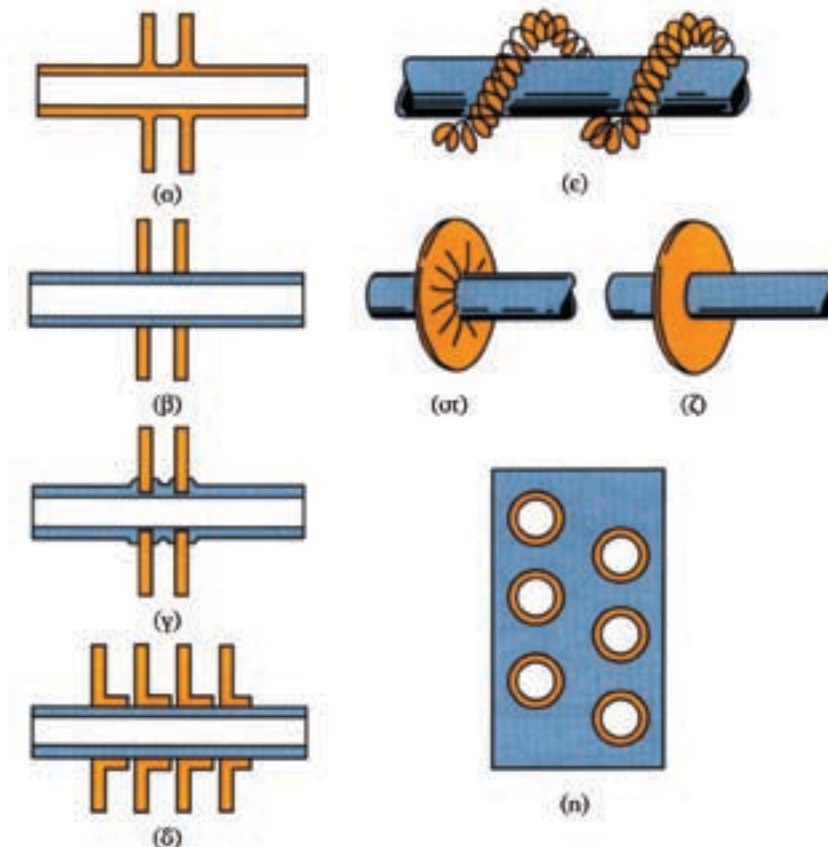
Στους εξατμιστικούς συμπυκνωτές η απαγωγή θερμότητας παρέχεται από την εξάτμιση νερού. Η κατασκευή τους είναι παρόμοια μ' αυτήν των πύργων ψύξεως που χρησιμοποιούνται για την ψύξη νερού (σχ. 6.2κ).

Το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε σωλήνες, έξω από τους οποίους ψεκάζεται νερό. Το νερό ρέει σε

σταγόνες από την πάνω πλευρά προς τα κάτω, ενώ ο αέρας εισέρχεται από την κάτω πλευρά και οδεύει σε αντirroή με το νερό προς τα πάνω. Λόγω της αντίθετης κίνσεως του νερού μέσα στον αέρα, μέρος του εξατμίζεται και με τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης ψύχει τους σωλήνες του ψυκτικού μέσου. Έτσι, το ψυκτικό μέσο υγροποιείται, ενώ το νερό που δεν έχει ατμοποιηθεί συλλέγεται στην κάτω πλευρά όπου υπάρχει μία δεξαμενή συγκεντρώσεως.

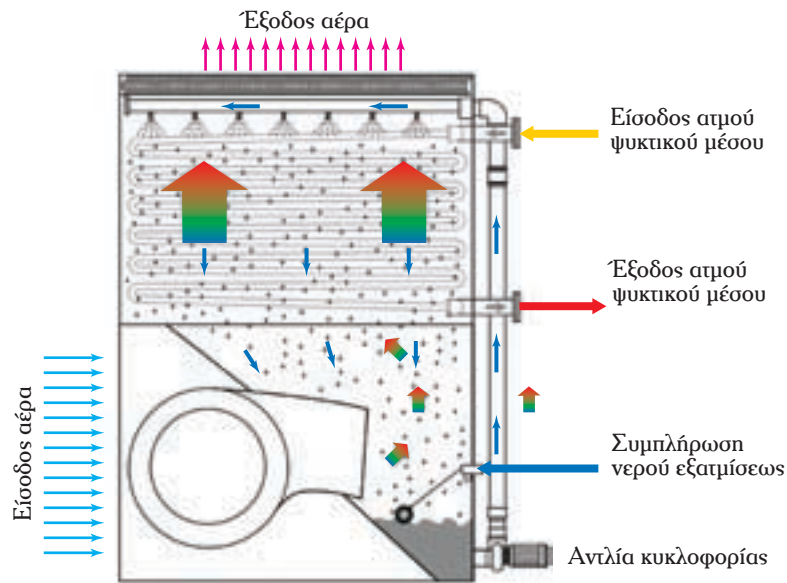
Από εκεί με μία αντλία κυκλοφορίας πηγαίνει στους σταλάκτες. Ο ανεμιστήρας του εξατμιστικού συμπυκνωτή μπορεί να είναι τοποθετημένος στην κάτω πλευρά, οπότε στέλνει τον εξωτερικό αέρα στο κέλυφος ή στην πάνω πλευρά, οπότε αναρροφά το μείγμα αέρα-υδρατμών προς την ατμόσφαιρα.

Λόγω της συνεχούς εξατμίσεως το νερό πρέπει να συμπληρώνεται κι αυτό γίνεται μ' έναν πλωτήρα που υπάρχει στη δεξαμενή. Αυτό μπορεί να δημι-



Σχ. 6.21θ.

Χρησιμοποιούμενες διατάξεις περυγίων αεροψύκτων συμπυκνωτών: (α) Τα περύγια είναι τμήμα του αγωγού, (β) περύγια τοποθετημένα με συμπίεση, (γ) περύγια τοποθετημένα με εκτόνωση αγωγού, (δ) περύγια με φλάντζα τοποθετημένα με εκτόνωση αγωγού, (ε) σύρμα περιμετρικά του αγωγού, (στ) κυκλικό περύγιο τοποθετημένο με κάμψη, (ζ) κυκλικό περύγιο, (η) έλασμα με οπές για πολλαπλούς αγωγούς.



(a)



(β)

Σχ. 6.2κ.

(α) Διάγραμμα εξατμιστικού συμπυκνωτή. (β) Εξατμιστικός συμπυκνωτής.

ουργήσει επικαθίσεις αλάτων που μειώνουν το συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας και την ισχύ του συμπυκνωτή.

Δεδομένου ότι ο ρυθμός εξατμίσεως του νερού εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα και από τη

θερμοκρασία υγρού βολβού (Wet Bulb Temperature)¹, η ονομαστική ισχύς των εξατμιστικών συμπιεστών που δίνεται από τους κατασκευαστές μειώνεται μ' ένα συντελεστή, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα. Λόγω της

¹ Σχετικά με τη θερμοκρασία υγρού βολβού ανατρέξτε στο Κεφάλαιο 12.

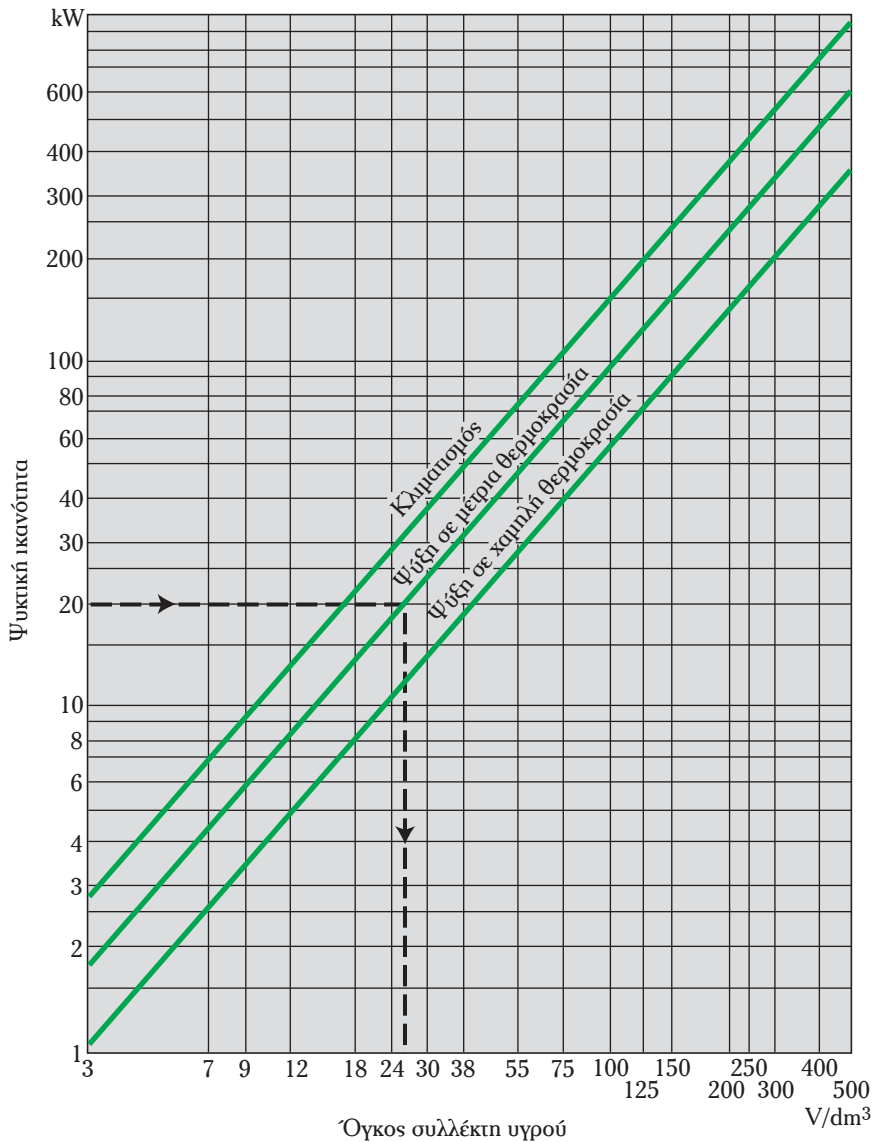
ανάγκης για συνεχή παροχή νερού και των επικαθίσεων των αλάτων, οι εξατμιστικοί συμπυκνωτές δεν χρησιμοποιούνται στα πλοία

6.3 Συλλέκτης υγρού.

Ο *συλλέκτης υγρού* (liquid accumulator/liquid receiver) τοποθετείται σε μεγάλες εγκαταστάσεις και εξυπηρετεί τις περιπτώσεις συντηρήσεως. Στην περίπτωση που πρέπει να εκκενωθεί η εγκατάσταση, το ψυκτικό μέσο υγροποιείται και αποθηκεύεται στο συλλέκτη υγρού. Γι' αυτόν το λόγο ο συλλέκτης πρέπει να έχει τον απαραίτητο όγκο, ώστε να χωρέσει όλο το ψυκτικό μέσο που χρειάζεται η εγκατά-

σταση για τη λειτουργία της. Θα πρέπει επίσης να υπάρχει χώρος για επί πλέον μέσο στην περίπτωση που έχει γίνει υπερφόρτιση της εγκαταστάσεως. Ο υπολογισμός του όγκου του και η επιλογή του συλλέκτη υγρού μπορεί να γίνει με βάση διαγράμματα, τα οποία δίνουν οι κατασκευαστές. Ένα τέτοιο διάγραμμα εικονίζεται στο σχήμα 6.3α και αναφέρεται σε τυπικές εγκαταστάσεις, ενώ για εγκαταστάσεις με μεγάλη έκταση σωληνώσεων, ο όγκος πρέπει να υπολογίζεται εξαρχής.

Κατά τη λειτουργία της εγκαταστάσεως σε μειωμένο φορτίο το επί πλέον ψυκτικό μέσο που δεν κυκλοφορεί στη χαμηλή πλευρά αποθηκεύεται στο συλλέκτη. Στο συλλέκτη υπάρχει διαχωριστική επι-



Σχ. 6.3α.

Διάγραμμα υπολογισμού όγκου συλλέκτη υγρού.

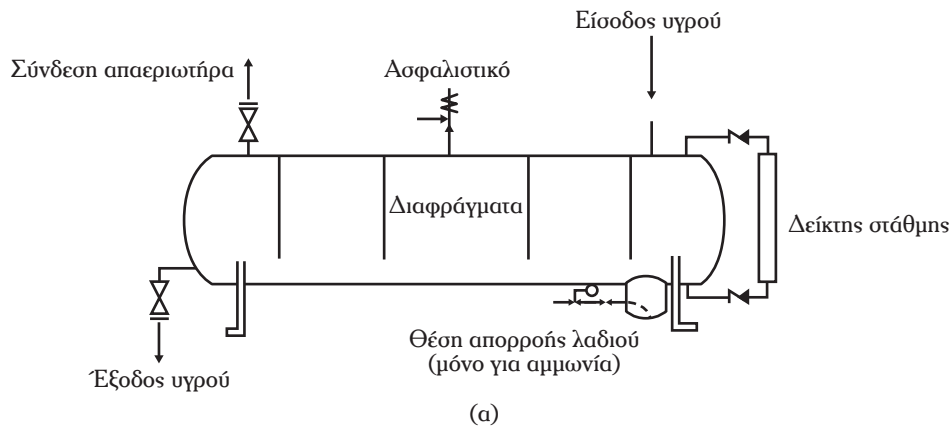
φάνεια της υγρής από την ατμώδη φάση και έτσι διασφαλίζεται ότι στην εκτονωτική βαλβίδα τροφοδοτείται μόνο υγρό ψυκτικό μέσο. Δεδομένου ότι η τοποθέτηση του συλλέκτη αυξάνει την πολυπλοκότητα και το κόστος μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως, δεν τοποθετούνται συλλέκτες στις μικρές εγκαταστάσεις. Εκεί, η αποθήκευση του υγρού ψυκτικού μέσου γίνεται στην κάτω πλευρά των σωληνώσεων του συμπυκνωτή. Στο σχήμα 6.3β εικονίζεται ένας τυπικός συλλέκτης μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως. Οι διαστάσεις του συλλέκτη πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε η πληρότητά του να μην υπερβαίνει το 85% της χωρητικότητάς του, ώστε να υπάρχουν σε ισορροπία η υγρή και η αέρια φάση, αλλά και για λόγους ασφαλείας σε περιπτώσεις υπερφορτίσεως της εγκαταστάσεως με μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου.

Ο συλλέκτης είναι ένα δοχείο πίεσης, το οποίο είναι κατασκευασμένο από χάλυβα. Οι συλλέκτες των μεγάλων εγκαταστάσεων τοποθετούνται οριζόντια, ενώ στις μικρές εγκαταστάσεις για εξοικονόμηση χώρου τοποθετούνται κατακόρυφα. Οι συλλέκτες που τοποθετούνται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων έχουν διαφράγματα, προκειμένου να αποφεύγεται η διακοπή της ροής του υγρού λόγω του διατοιχισμού του πλοίου. Ο συμπυκνωτής βρίσκεται πάνω

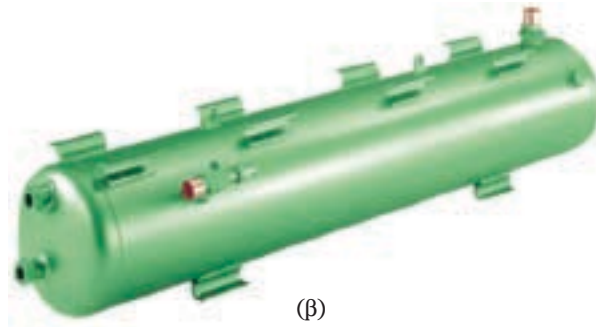
από το συλλέκτη και ο σωλήνας συνδέσεως είναι κατακόρυφος, ώστε να μην υπάρχουν τριβές κατά τη ροή του υγρού στο συλλέκτη και να συσσωρεύεται υγρό στο συμπυκνωτή. Ο σωλήνας εξόδου του υγρού από το συλλέκτη βρίσκεται στην κάτω πλευρά και εκεί υπάρχει ένας διακόπτης αποκοπής. Οι συλλέκτες αμμωνίας (R-717) έχουν μια σύνδεση για την εξαγωγή του λαδιού στην κάτω πλευρά, ενώ ο σωλήνας του υγρού βρίσκεται ψηλότερα. Αυτό γίνεται διότι το λάδι δεν αναμειγνύεται με την αμμωνία και συσσωρεύεται στην κάτω πλευρά του συλλέκτη.

Ένα ασφαλιστικό επιστόμιο, που τοποθετείται στην πάνω πλευρά, διασφαλίζει τη λειτουργία του συλλέκτη στα όρια της πίεσης που έχει οριστεί από τον κατασκευαστή. Σε περίπτωση υπερπίεσης, το ασφαλιστικό επιστόμιο ανοίγει και το επί πλέον αέριο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Τυπική οριακή πίεση λειτουργίας για το συλλέκτη είναι τα 30 bar.

Για την παρακολούθηση της στάθμης του υγρού ο συλλέκτης έχει μια ενδεικτική ύαλο στο ένα του άκρο. Κατά τη λειτουργία της εγκαταστάσεως η στάθμη του ψυκτικού υγρού πρέπει να είναι περίπου στο 1/6 της μέγιστης χωρητικότητάς του. Η στάθμη του υγρού μπορεί να παρακολουθείται με πλωτήρες με ηλεκτρικό διακόπτη για την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή της.



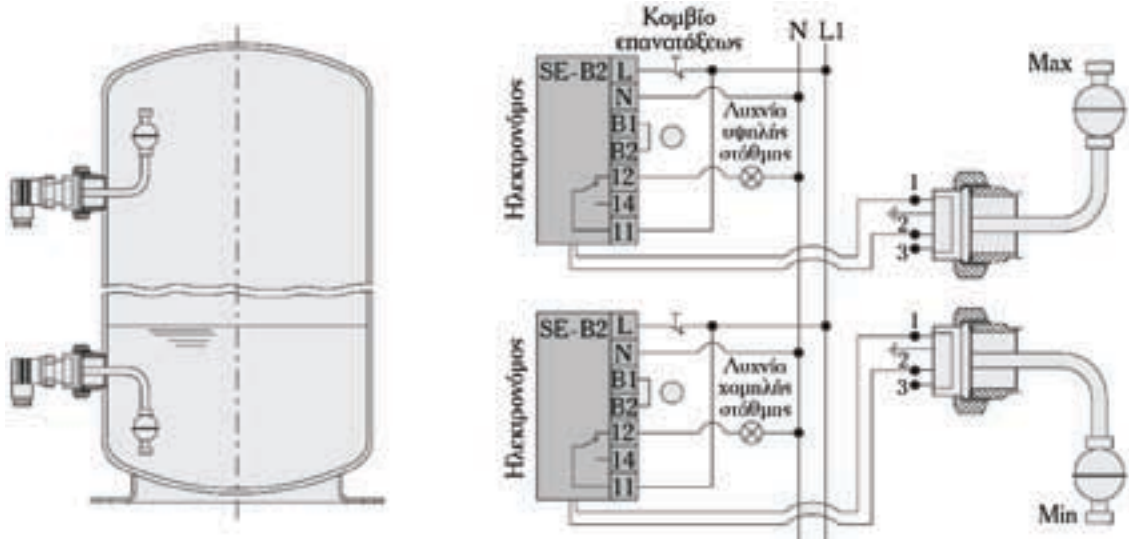
(α)



(β)

Σχ. 6.3β.

(α) Τομή συλλέκτη υγρού και (β) συλλέκτης υγρού.



Σχ. 6.3γ.

Παρακολούθηση στάθμης υγρού με πλωτήρες.

Οι πλωτήρες ανοίγουν και κλείνουν ηλεκτρικές επαφές, οι οποίες συνδέονται με ηλεκτρονόμους (ρελέ) που ενεργοποιούν το συναγερμό μέγιστης και ελάχιστης στάθμης (σχ. 6.3γ).

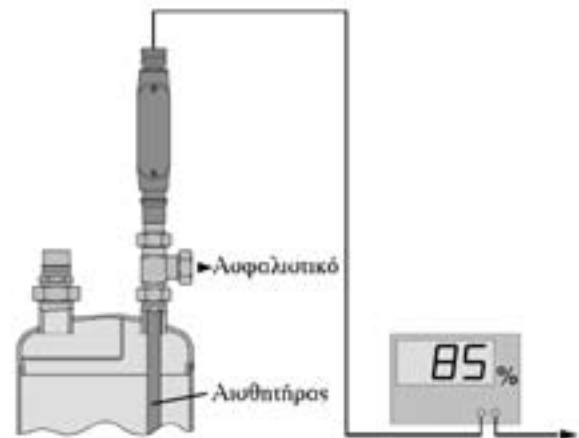
Μία νέα μέθοδος παρακολούθησης της στάθμης του υγρού ενσωματώνει ηλεκτρονικό αισθητήρα στάθμης. Το σήμα από τον αισθητήρα μεταδίδεται σε μία εξωτερική μονάδα, στην οποία υπάρχει συνεχής ένδειξη της στάθμης του υγρού (σχ. 6.3δ). Με τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος μέτρησης της στάθμης του υγρού, αποφεύγεται η φόρτιση της ψυκτικής εγκαταστάσεως με μικρότερη ή με μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού μέσου από το κανονικό. Επίσης, εντοπίζονται οι διαρροές πριν αυτές δημιουργήσουν πρόβλημα στη λειτουργία της εγκαταστάσεως.

6.4 Συστήματα απαερίωσης.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να εισέλθει στην ψυκτική εγκατάσταση από σημεία διαρροής, παρεμβύσματα και βαλβίδες. Επί πλέον ο αέρας μπορεί να υπάρχει στο σύστημα λόγω της μη καλής εκκενώσεως στην αρχή της λειτουργίας, πριν την πλήρωση με ψυκτικό μέσο. Τέλος, ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να υπάρχει σε διάλυση στο ψυκτικό μέσο ή στο λάδι.

Η είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα είναι μεγαλύτερη όταν η χαμηλή πίεση της εγκαταστάσεως είναι μικρότερη ή ίση με την ατμοσφαιρική.

Ο αέρας που εισέρχεται στο σύστημα στην πλευρά της χαμηλής πίεσεως, περνάει από το συμπιεστή



Σχ. 6.3δ.

Ηλεκτρονική μέτρηση στάθμης υγρού.

και φτάνει στο συμπυκνωτή και στο συλλέκτη. Ο αέρας είναι πυκνότερος απ’ την αμμωνία και λιγότερο πυκνός από τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα, ενώ δεν διαχωρίζεται από το ψυκτικό μέσο σε κανένα σημείο της εγκαταστάσεως.

Τελικά, ο αέρας συσσωρεύεται στο συλλέκτη έως ότου, λόγω της στάθμης του υγρού ψυκτικού μέσου δεν μπορεί να προχωρήσει προς την εκτονωτική βαλβίδα.

Η συσσώρευση αέρα στο συμπυκνωτή και στο συλλέκτη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης καταθλίψεως. Ο αέρας προσθέτει μερική πίεση στην πίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου και ως αποτέλεσμα η πίεση του μείγματος αυξάνεται. Επί πλέον, μειώνεται η απόδοση του συμπυκνωτή διότι

ο αέρας ελαττώνει τη μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στο ψυκτικό μέσο και στους σωλήνες του υγρού.

Η συσσώρευση του αέρα στο συλλέκτη και στο συμπυκνωτή μπορεί να διαπιστωθεί με σύγκριση της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως με τη θερμοκρασία του κορεσμένου υγρού που αντιστοιχεί στην πίεση συμπυκνώσεως. Η μέτρηση της θερμοκρασίας και της πίεσεως πρέπει να γίνεται στο συλλέκτη όπου υπάρχει σε ισορροπία η υγρή και η αέρια φάση. Όταν η πραγματική πίεση συμπυκνώσεως είναι μεγαλύτερη από την πίεση του κορεσμένου υγρού που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του υγρού στο συλλέκτη, τότε απαιτείται η εκκένωση του συστήματος από το συσσωρευμένο ατμοσφαιρικό αέρα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **απαερίωση**.

Η απαερίωση απαιτείται σπάνια σε μικρά συστήματα, στα οποία δεν υπάρχουν πολλά πιθανά σημεία εισόδου του ατμοσφαιρικού αέρα και η χαμηλή πίεση λειτουργίας της εγκαταστάσεως είναι συνήθως

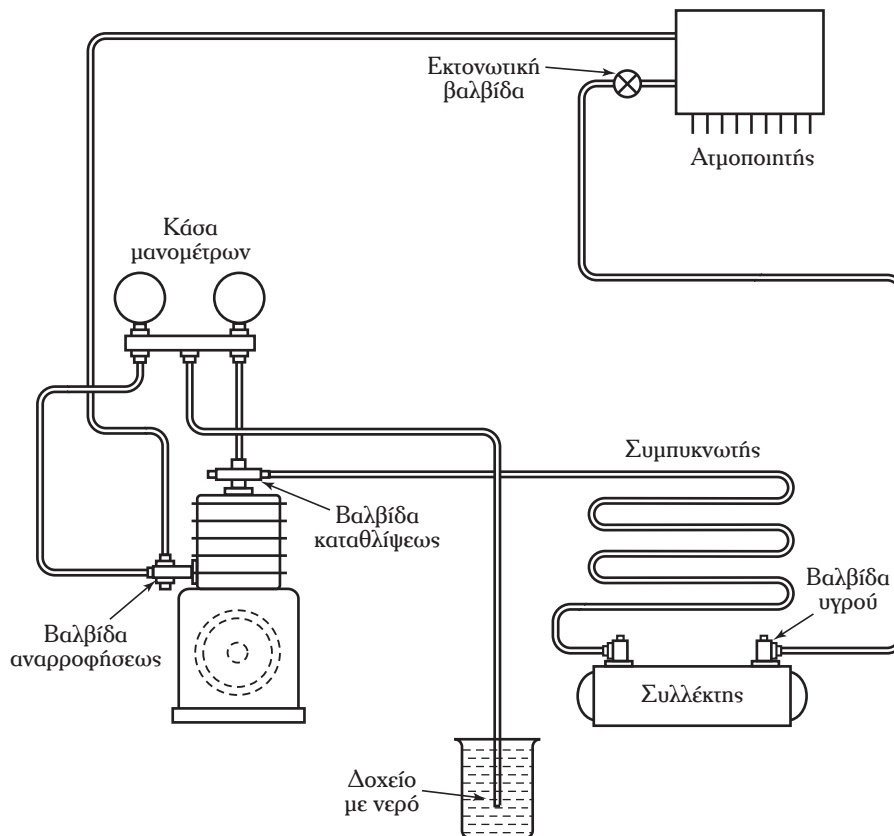
γύρω στα 2 bar, δηλαδή αρκετά πιο μεγάλη από την ατμοσφαιρική. Στις μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις η απαερίωση γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με αυτόματα συστήματα απαερίωσης.

Οι μέθοδοι απαερίωσης που χρησιμοποιούνται είναι:

1) Η απαερίωση με απευθείας εξαέρωση στην ατμόσφαιρα (σχ. 6.4α).

Η μέθοδος αυτή ακολουθείται σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπου δεν υπάρχει απαεριωτήρας. Ο συμπυκνωτής πρέπει να αφεθεί να κρυώσει σε θερμοκρασία ατμόσφαιρας. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

α) **Πρώτο βήμα:** Σύνδεση της κάσας μανομέτρων στις βαλβίδες συντηρήσεως του συμπιεστή¹. Σύνδεση ενός χάλκινου σωλήνα 1/4" στην κεντρική θέση της κάσας μανομέτρων. Η άκρη του χάλκινου σωλήνα μπαίνει σ' ένα δοχείο με νερό. Σε περίπτω-



Σχ. 6.4α.

Απαερίωση μικρής ψυκτικής εγκαταστάσεως με απευθείας εξαέρωση.

¹ Περισσότερα για τις βαλβίδες συντηρήσεως και για την κάσα μανομέτρων αναφέρονται στο Κεφάλαιο 10.

ση που το ψυκτικό μέσο είναι SO_2 στο νερό πρέπει να διαλυθεί NaOH σε αναλογία 0,18 lt/kg, ώστε να μην δημιουργηθεί θειικό οξύ.

β) **Δεύτερο βήμα:** Χαλάρωση και αμέσως σύσφιξη της βαλβίδας καταθλίψεως, ώστε να βγαίνει το αέριο μόνο για λίγα λεπτά.

γ) **Τρίτο βήμα:** Σύσφιξη της βαλβίδας καταθλίψεως και παρατήρηση της υψηλής πίεσης καταθλίψεως. Επανάληψη της διαδικασίας αν η πίεση καταθλίψεως είναι υψηλή.

δ) **Τέταρτο βήμα:** Όταν επιτευχθεί κανονική πίεση καταθλίψεως, σφίξιμο της βαλβίδας καταθλίψεως και αφαίρεση της κάσας μανομέτρων.

Η απαερίωση με απευθείας εξαέρωση στην ατμόσφαιρα μπορεί να γίνει και από το συλλέκτη. Στην περίπτωση αυτή ο αέρας εξέρχεται στην αρχή του ανοίγματος της βαλβίδας, ενώ σταδιακά αρχίζει να εξέρχεται περισσότερος ατμός ψυκτικού μέσου, το οποίο ατμοποιείται λόγω της πτώσεως της πίεσης. Μ' αυτήν τη μέθοδο απαιτείται η απώλεια μεγάλης ποσότητας ψυκτικού μέσου, ενώ η απαερίωση δεν είναι πλήρης.

2) Η απαερίωση με συμπίεση αερίων.

Στη μέθοδο αυτή, η απαερίωση γίνεται με τη συμπίεση των αερίων που εξέρχονται από το συλλέκτη. Το μείγμα των ατμών του ψυκτικού μέσου και του αέρα συμπιέζεται και ψύχεται σ' έναν υδρόψυκτο εναλλάκτη. Το ψυκτικό μέσο υγροποιείται και επιστρέφει στο συλλέκτη, ενώ ο αέρας εκκενώνεται προς την ατμόσφαιρα. Η αρχή λειτουργίας ενός αυτόματου συστήματος απαερίωσης με συμπίεση αερίων εικονίζεται στο σχήμα 6.4β.

Τα αέρια που συγκεντρώνονται στο συμπυκνωτή, περνάνε από ένα μικρό συμπιεστή και οδηγούνται σ' ένα δοχείο συμπυκνώσεως, το οποίο ψύχεται με νερό. Ο αέρας που δεν υγροποιείται οδηγείται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υγρό ψυκτικό μέσο επιστρέφει στο συλλέκτη. Μ' αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η απώλεια ψυκτικού μέσου. Το σύστημα συμπίεσης αερίων χρησιμοποιείται κυρίως σε εγκαταστάσεις με φυγοκεντρικούς συμπιεστές.

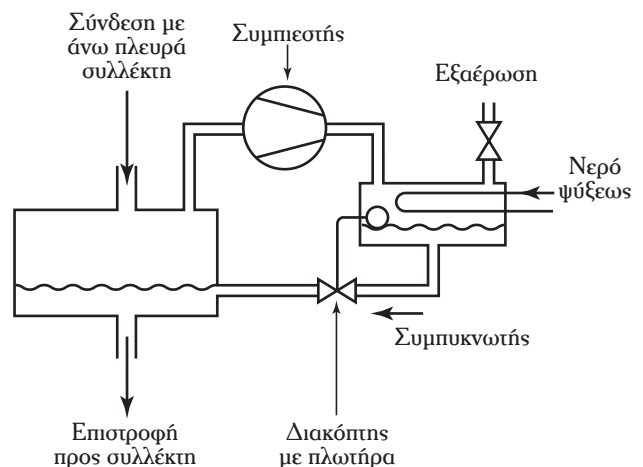
3) Απαερίωση με συμπύκνωση αερίων.

Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ψύξεως χρησιμοποιείται η απαερίωση με συμπύκνωση των αερίων σ' έναν μικρό ατμοποιητή και εξαέρωση του μη συμπυκνωμένου αέρα προς την ατμόσφαιρα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί χειροκίνητα ή αυτόματα.

Για τη χειροκίνητη λειτουργία η συμπύκνωση των ατμών του ψυκτικού μέσου γίνεται με εξάτμιση υγρού μέσου που λαμβάνεται από το συλλέκτη. Μία τέτοια διάταξη παρουσιάζεται στο σχήμα 6.4γ και αποτελείται από ένα δοχείο, μέσα στο οποίο βρίσκεται μία σερπαντίνα.

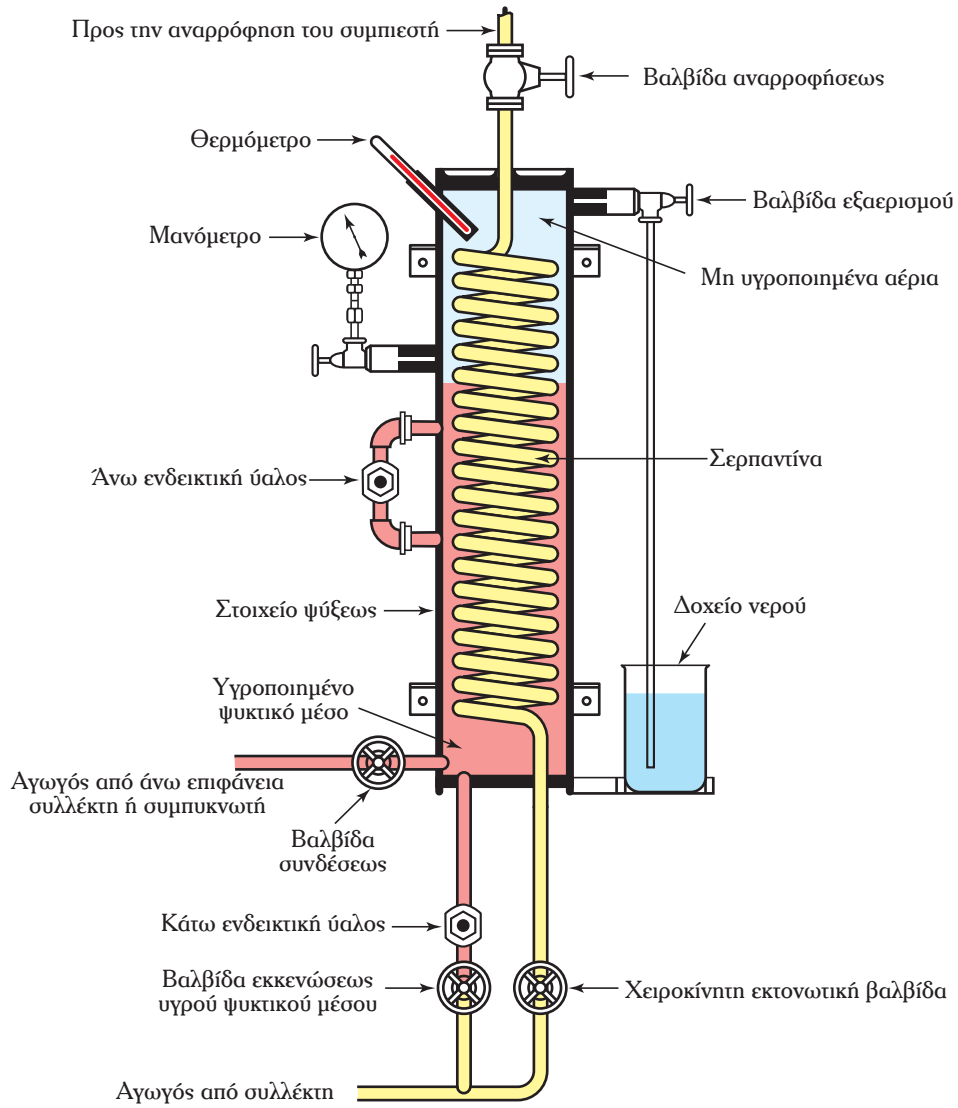
Με τον απαεριωτήρα του σχήματος 6.4γ ο κύκλος απαερίωσης ξεκινά με άνοιγμα της βαλβίδας αναρροφήσεως προς το συμπιεστή και χειρισμό της χειροκίνητης εκτονωτικής βαλβίδας, ώστε το υγρό μέσο να ατμοποιηθεί και να ψύξει τη σερπαντίνα και το δοχείο. Στη συνέχεια κλείνεται η χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα και η βαλβίδα αναρροφήσεως και ανοίγεται η βαλβίδα συνδέσεως του δοχείου με την άνω πλευρά του συλλέκτη, έως ότου παρατηρηθεί στάθμη υγρού στην άνω ενδεικτική ύαλο. Τότε κλείνεται η βαλβίδα συνδέσεως με την άνω πλευρά του συλλέκτη και ανοίγεται η βαλβίδα εκκενώσεως του δοχείου μέχρι να παρατηρηθεί στάθμη υγρού στην κάτω ενδεικτική ύαλο. Ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί στο δοχείο απορρίπτεται με άνοιγμα της βαλβίδας εξαερισμού μέσω του δοχείου νερού, το οποίο δεν επιτρέπει την επιστροφή εξωτερικού αέρα στο δοχείο. Ο κύκλος εξαερώσεως επαναλαμβάνεται μέχρι η πίεση συμπυκνώσεως να πέσει σε κανονικά επίπεδα.

Για την αυτόματη απαερίωση με συμπύκνωση, συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα που περιλαμβάνουν μία ανεξάρτητη ψυκτική μονάδα (σχ. 6.4δ). Η μονάδα απαερίωσης συνδέεται στην άνω μεριά του συλλέκτη υγρού, όπου επιστρέφει σε υγρή μορφή το ψυκτικό μέσο που έχει διαφύγει κατά την απαερίωση.

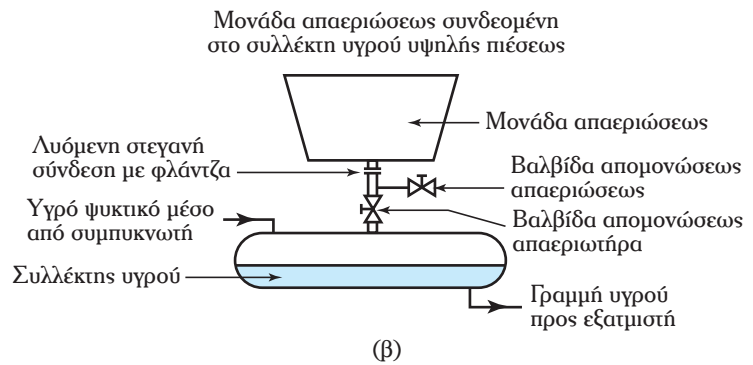
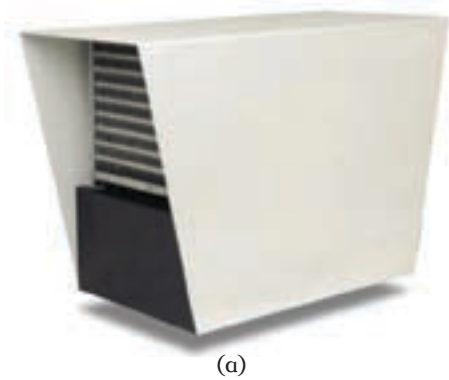


Σχ. 6.4β.

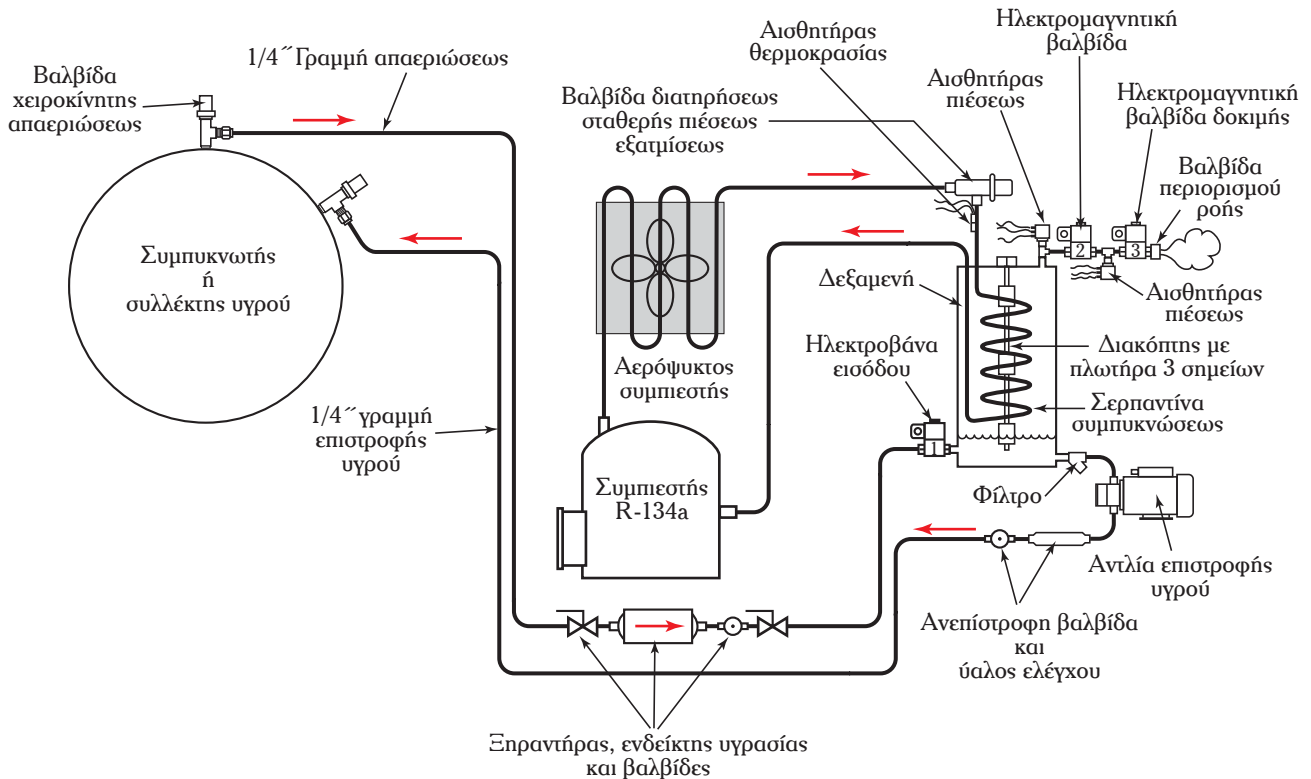
Απαερίωση με συμπίεση αερίων.



Σχ. 6.4γ.
Χειροκίνητη απαερίωση με εκτόνωση ψυκτικού μέσου.



Σχ. 6.4δ.
(α) Αντόματη μονάδα απαερίωσης. (β) θέση συνδέσεως αντόματης μονάδας απαερίωσης στο συλλέκτη υγρού.



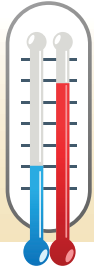
Σχ. 6.4ε.

Απαερίωση με υγροποίηση με αυτόνομη ψυκτική μονάδα.

Η λειτουργία του αυτόματου απαεριωτή με αυτόνομη ψυκτική μονάδα εικονίζεται στο σχήμα 6.4ε. Τα αέρια που συγκεντρώνονται στο συμπυκνωτή, περνάνε από αφυραντήρα και φίλτρο και στη συνέχεια εισέρχονται στη δεξαμενή υγροποίησης. Η δεξαμενή αυτή έχει μια σερπαντίνα, που είναι ο ατμοποιητής της ανεξάρτητης ψυκτικής μονάδας. Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της δεξαμενής υγροποίησης οι ατμοί του ψυκτικού μέσου υγροποιούνται και μένουν στην κάτω πλευρά, ενώ ο αέρας παραμένει σε αέρια μορφή και οδηγείται στην ατμόσφαιρα. Ο έλεγχος των βαλβίδων που ρυθμίζουν τη ροή των ατμών, του αέρα και του υγρού που επιστρέφει στο συμπυκνωτή, γίνεται από ένα αυτόματο σύστημα, το οποίο περιορίζει την απώλεια ψυκτικού μέσου. Το σύστημα

μπορεί να λειτουργεί και χειροκίνητα όταν πρέπει να γίνει απαερίωση μεγάλων ποσοτήτων αέρα, που έχει εγκλωβιστεί στην ψυκτική εγκατάσταση.

Το πλεονέκτημα της απαερίωσης με συμπίεση των αερίων είναι ότι το σύστημα λειτουργεί ανεξάρτητα από την κύρια ψυκτική εγκατάσταση, ακόμα και όταν αυτή είναι σε κράτηση. Επί πλέον, είναι εύκολο να τοποθετηθεί σε μία υπάρχουσα ψυκτική εγκατάσταση. Οι αυτόματοι απαεριωτές μπορούν να συνδεθούν σε διάφορα σημεία της εγκαταστάσεως, όπου υπάρχει πιθανότητα συγκεντρώσεως αέρα. Στην περίπτωση πολλαπλής συνδέσεως, η απαερίωση γίνεται διαδοχικά και ποτέ ταυτόχρονα σε διαφορετικά σημεία, ώστε να μην υπάρχει ροή του ψυκτικού μέσου λόγω των διαφορετικών πιέσεων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ατμοποιητές ψυκτικών εγκαταστάσεων

7.1 Γενικά – Είδη ατμοποιητών.

Ο ατμοποιητής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, μέσα στον οποίο σε χαμηλή πίεση πραγματοποιείται η μετατροπή του υγρού ψυκτικού μέσου σε αέριο. Το ψυκτικό μέσο έρχεται σε θερμική επαφή με το ψυχόμενο μέσο της εγκαταστάσεως και καθώς ατμοποιείται αφαιρεί από αυτό τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεώς του. Η θερμότητα που μεταφέρεται από το ψυχόμενο μέσο της εγκαταστάσεως, μέσω του ατμοποιητή προς το ψυκτικό μέσο, είναι το ψυκτικό φορτίο της εγκαταστάσεως. Κατά συνέπεια, το θερμικό φορτίο του ατμοποιητή ισούται με το ψυκτικό φορτίο.

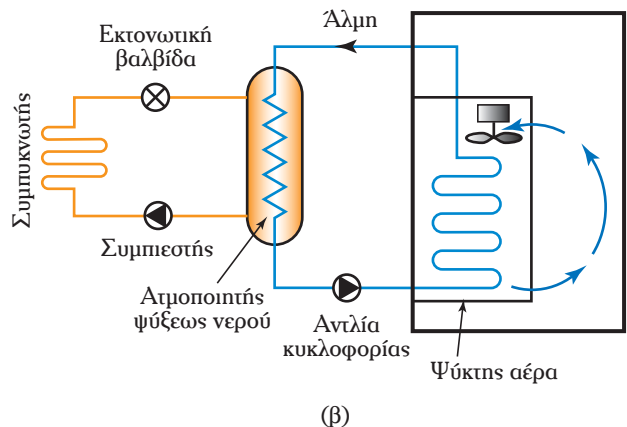
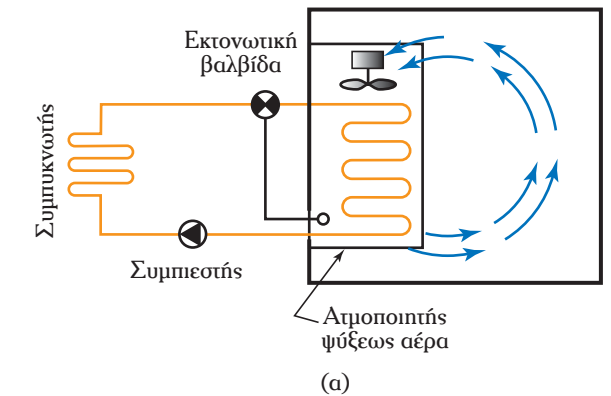
Η είσοδος του ατμοποιητή βρίσκεται μετά την εκτονωτική βαλβίδα, οπότε το ψυκτικό μέσο που εισέρχεται σ' αυτόν είναι υγρός ατμός δηλαδή μείγμα ατμού και υγρού χαμηλής πίεσεως. Στην έξοδο του ατμοποιητή εξέρχεται ατμός σε κορεσμένη ή σε υπέρθερμη κατάσταση, ο οποίος οδηγείται προς τον εναλλάκτη θερμότητας (αν υπάρχει) και προς τον συμπιεστή. Με δεδομένη την πληθώρα των εφαρμογών της παραγωγής ψύξεως, οι ατμοποιητές κατασκευάζονται σε ποικιλία μορφών και διαστάσεων. Έτσι, η κατάταξη των ατμοποιητών μπορεί να γίνει ως προς το μέσο που ψύχουν. Επίσης, οι ατμοποιητές κατατάσσονται και ως προς την αρχή λειτουργίας τους, η οποία εξαρτάται από τη μέθοδο τροφοδοσίας τους με υγρό ψυκτικό μέσο.

Ο σκοπός του ατμοποιητή στις περισσότερες εφαρμογές βιομηχανικής ψύξεως και κλιματισμού, είναι η ψύξη αέρα ή νερού. Έτσι, ως προς το ψυχόμενο μέσο, οι ατμοποιητές κατατάσσονται σε:

- α) Ατμοποιητές **ψύξεως αέρα** και
- β) ατμοποιητές **ψύξεως νερού**.

Οι ατμοποιητές ψύξεως αέρα χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις **άμεσης ψύξεως**, για εφαρμογές παραγωγής ψύχους και κλιματισμού. Η ψύξη στις εγκαταστάσεις αυτές είναι άμεση [σχ. 7.1α(α)], διότι το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει

θερμότητα κατευθείαν από το ψυχόμενο μέσο που είναι ο αέρας ενός ψυκτικού θαλάμου ή ενός κλιματιζόμενου χώρου. Οι ατμοποιητές ψύξεως νερού χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις **έμμεσης ψύξεως**, όπου το ψυκτικό μέσο αφαιρεί θερμότητα από ένα ενδιάμεσο ψυκτικό ρευστό (που ονομάζεται για συντομία **άλμν**). Το ενδιάμεσο ρευστό στη συνέχεια κυκλοφορεί και μεταφέρει την παραγόμενη ψύξη σε συσκευές ψύξεως του αέρα που βρίσκονται στον ψυκτικό θάλαμο ή στον κλιματιζόμενο χώρο [σχ. 7.1α(β)]. Κατά συνέπεια, οι ψύκτες αέρα των εγκαταστάσεων έμμεσης ψύξεως διαφέρουν από τους



Σχ. 7.1α.

Ατμοποιητές ψύξεως αέρα, ατμοποιητές ψύξεως νερού και ψύκτες αέρα: (α) στην άμεση και (β) στην έμμεση ψύξη.

ατμοποιητές ψύξεως αέρα της άμεσης ψύξεως στο ότι χρησιμοποιούν άλμη αντί για ψυκτικό μέσο για την ψύξη του αέρα. Αν και οι δύο τύποι εναλλακτών μπορεί για ευκολία να αναφέρονται ως ψύκτες αέρα, οι ψύκτες αέρα των εγκαταστάσεων έμμεσης ψύξεως ονομάζονται **ψύκτες αέρα**, ενώ οι ατμοποιητές της άμεσης ψύξεως ονομάζονται **ατμοποιητές ψύξεως αέρα**.

Το ψυκτικό μέσο κατά την έξοδο του από την εκτονωτική βαλβίδα, όπως έχουμε δει στην ανάλυση του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού, βρίσκεται σε κατάσταση υγρού ατμού. Αυτό σημαίνει ότι καθώς μέσα στην εκτονωτική βαλβίδα πέφτει η πίεσή του, ένα μέρος του ατμοποιείται. Τελικά, στον αγωγό ροής του ψυκτικού μέσου στην είσοδο του ατμοποιητή, υπάρχει ατμός και υγρό σε ισορροπία. Η υγρή φάση είναι περισσότερη κατά βάρος, αλλά καταλαμβάνει λιγότερο όγκο στον αγωγό. Στην έξοδο του ατμοποιητή μπορεί να ρέει μόνο ατμός ή μείγμα ατμού και υγρού ψυκτικού μέσου, αναλόγως με το είδος κατασκευής του. Έτσι διακρίνονται τα εξής δύο είδη ατμοποιητών:

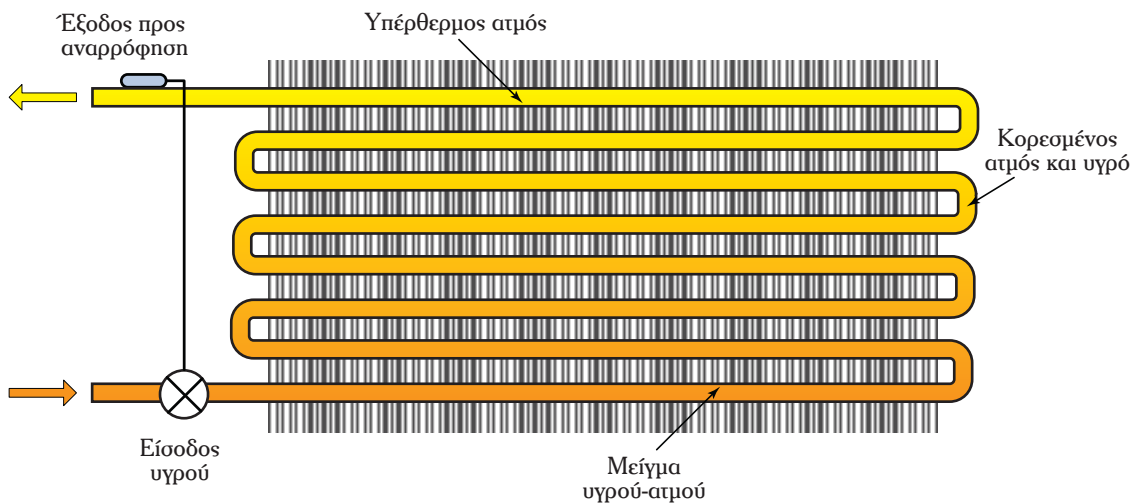
α) Οι **ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως** (dry expansion evaporators), οι οποίοι δεν έχουν υγρό ψυκτικό μέσο στην έξοδό τους και

β) οι **ατμοποιητές υγρής ατμοποίησης** (flooded evaporators), οι οποίοι στην έξοδό τους έχουν μείγμα υγρού και κορεσμένου ατμού του ψυκτικού μέσου.

Στους ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως (σχ. 7.1β) ή αλλιώς ξηρούς ατμοποιητές, η παροχή του υγρού

ψυκτικού μέσου που αφήνει η εκτονωτική βαλβίδα να περάσει, περιορίζεται στην παροχή σε ποσότητα που μπορεί να ατμοποιηθεί πλήρως και να μετατραπεί σε αέριο κατά τη διαδρομή του μέσα στον ατμοποιητή. Η ροή του ψυκτικού μέσου στην περίπτωση αυτή ελέγχεται συνήθως από μία θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα ή σε μικρές εγκαταστάσεις από έναν τριχοειδή σωλήνα. Για να αποφευχθεί η είσοδος υγρού μέσου στο συμπιεστή, ο ατμός του ψυκτικού μέσου στους ατμοποιητές ξηρής ατμοποίησης αφήνεται να υπερθερμανθεί περίπου κατά 3–7 K. Η υπερθέρμανση αυτή συμβαίνει στο τελευταίο τμήμα του ατμοποιητή και απαιτεί περίπου 10%–20% της συνολικής επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας που διαθέτει ο ατμοποιητής. Έτσι, στις σωληνώσεις των ατμοποιητών ξηρής εκτονώσεως υπάρχει ψυκτικό μέσο σε κατάσταση υγρού, κορεσμένου και υπέρθερμου ατμού. Αυτό συνεπάγεται ότι η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας αυτών των ατμοποιητών είναι χαμηλότερη στην περιοχή της εισόδου και υψηλότερη στην περιοχή της εξόδου του ψυκτικού μέσου.

Οι ατμοποιητές υγρής ατμοποίησης (σχ. 7.1γ) ή αλλιώς υγροί ατμοποιητές είναι σχεδιασμένοι έτσι, ώστε οι επιφάνειες συναλλαγής της θερμότητάς τους να περιέχουν ταυτόχρονα ατμό και υγρό ψυκτικό μέσο. Η μετάδοση θερμότητας είναι ευκολότερη από το στερεό τοίχωμα του ατμοποιητή προς το υγρό μέσο, οπότε οι υγροί ατμοποιητές έχουν μεγαλύτερη απόδοση. Οι υγροί ατμοποιητές, διαθέτουν μία δεξαμενή υγρού ψυκτικού μέσου, στην οποία είναι



Σχ. 7.1β.

Ατμοποιητής ξηρής εκτονώσεως.

συνδεμένες η είσοδος και η έξοδος των αγωγών που αποτελούν τις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας. Μέσα στη σωλήνωση αυτή ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο και οι ατμοί οδηγούνται λόγω της κλίσεως στην πάνω πλευρά της δεξαμενής. Ο ατμός από την πάνω πλευρά της δεξαμενής του ψυκτικού μέσου περνάει από ένα διαχωριστήρα υγρού και οδηγείται στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η παροχή του ψυκτικού μέσου ελέγχεται από μια βαλβίδα με πλωτήρα, ώστε η στάθμη της δεξαμενής να παραμένει σταθερή. Η βαλβίδα είναι σχεδιασμένη με μικρό άνοιγμα, ώστε το ψυκτικό μέσο κατά τη δίοδό του απ' αυτή να έχει μεγάλη πτώση πίεσης. Έτσι, η βαλβίδα με τον πλωτήρα, εκτός από τη ρύθμιση της παροχής αποτελεί και την εκτονωτική βαλβίδα της εγκατάστασης.

Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου που σχηματίζονται στους αγωγούς ατμοποίησης, καθώς ανεβαίνουν προς τα πάνω παρασύρουν και το υγρό μέσο προς τη δεξαμενή. Λόγω της ροής του μέσου που δημιουργείται, το υγρό που εισέρχεται στην κάτω πλευρά δεν προλαβαίνει να ατμοποιηθεί όλο και ένα μέρος του επιστρέφει σε υγρή μορφή στη δεξαμενή. Εκεί, αναμειγνύεται με το υγρό που εισέρχεται από τη βαλβίδα και ανακυκλοφορεί προς την κάτω πλευρά της δεξαμενής και προς τους σωλήνες ατμοποίησης. Ο λόγος της παροχής του μέσου που επιστέφει από τους σωλήνες ατμοποίησης προς την παροχή που εισέρχεται από την εκτονωτική βαλβίδα ονομάζεται **λόγος ανακυκλοφορίας**.

$$\lambda = \frac{\text{παροχή ανακυκλοφορίας}}{\text{παροχή από βαλβίδα}} \quad (1)$$

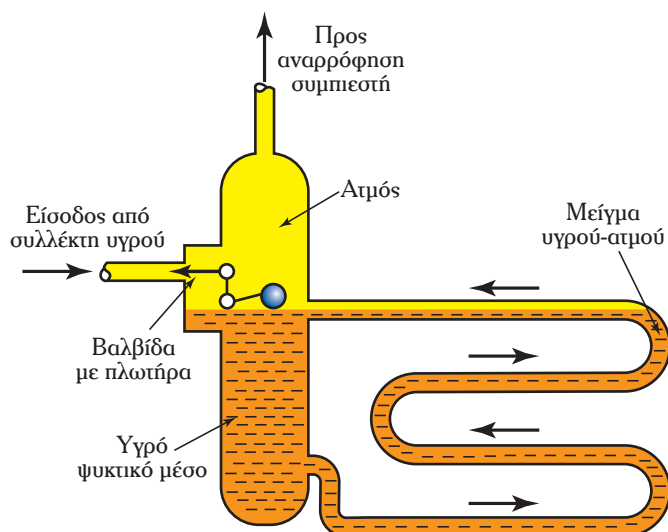
Ο λόγος ανακυκλοφορίας για αμμωνία είναι της τάξεως του 2/1, ενώ για αλογονούχα ψυκτικά μέσα είναι περίπου 7/1.

Οι ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως χρησιμοποιούνται συχνότερα από τους ατμοποιητές υγρής εκτονώσεως και τα **πλεονεκτήματά** τους έναντι αυτών της υγρής εκτονώσεως είναι τα εξής:

α) Έχουν απλή κατασκευή, μικρό μέγεθος και μικρότερο κόστος.

β) Για τη λειτουργία τους απαιτείται μικρότερη ποσότητα ψυκτικού μέσου.

γ) Επιτρέπουν στο λάδι που κάνει τον κύκλο της εγκατάστασης, να περάσει από τις σωληνώσεις και να επιστρέψει στο συμπιεστή. Αυτό είναι σημαντικό στις εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα, τα οποία διαλύουν και παρασύρουν μεγάλες ποσότητες



Σχ. 7.1γ.

Ατμοποιητής υγρής ατμοποίησης.

της λαδιού, το οποίο κυκλοφορεί στην εγκατάσταση. Στους ατμοποιητές υγρής ατμοποίησης το λάδι πρέπει να αφαιρείται περιοδικά από τη δεξαμενή όπου εγκλωβίζεται.

δ) Η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από αλλαγές της κλίσεως, όπως συμβαίνει στο πλοίο.

ε) Ο ατμός στην έξοδο είναι υπέρθερμος, γεγονός που προστατεύει το συμπιεστή από υδραυλικά πλήγματα.

Τα **μειονεκτήματα** των ξηρών έναντι των υγρών ατμοποιητών είναι τα εξής:

α) Έχουν μικρότερη απόδοση λόγω της πληρώσεώς τους με αέριο στο τελικό τμήμα τους.

β) Η θερμοκρασία στην επιφάνεια των ξηρών ατμοποιητών δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται κατά την πορεία του ψυκτικού μέσου.

γ) Σε περίπτωση υπάρξεως πολλαπλών ατμοποιητών σε μία εγκατάσταση, είναι δυσκολότερη η διανομή του ψυκτικού μέσου.

Τα υλικά κατασκευής των ατμοποιητών, ανάλογα με το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο είναι:

α) Ο χάλυβας και ο σίδηρος για όλα τα ψυκτικά μέσα.

β) Ο χαλκός και ο μπρούντζος για όλα τα ψυκτικά μέσα, εκτός από την αμμωνία που τα διαβρώνει.

γ) Το αλουμίνιο για όλα τα ψυκτικά μέσα, εκτός από το μεθυλοχλωρίδιο.

δ) Το μαγνήσιο και τα κράματά του για όλα τα ψυκτικά μέσα, εκτός από τα αλογονούχα και το μεθυλοχλωρίδιο.

7.2 Ισχύς ατμοποιτητή.

Το θερμικό φορτίο του ατμοποιτητή είναι η θερμότητα που ρέει μέσα από τα στερεά του τοιχώματα προς το ψυκτικό μέσο, στη μονάδα του χρόνου. Σε μόνιμη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως ο ρυθμός με τον οποίο ρέει η θερμότητα στον ατμοποιτητή θα πρέπει να ισούται με το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα εισέρχεται στον ψυκτικό θάλαμο, έτσι ώστε να μπορεί η θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου να παραμένει σταθερή. Η θερμότητα αυτή ονομάζεται **ψυκτικό φορτίο** και υπολογίζεται κατά το σχεδιασμό του θαλάμου. Κατά την επιλογή του ατμοποιτητή, αυτός θα πρέπει να έχει ισχύ ίση ή λίγο μεγαλύτερη από το ψυκτικό φορτίο της εγκαταστάσεως.

Η θερμότητα μεταφέρεται στον ατμοποιτητή με ακτινοβολία, με συναγωγή ανάμεσα σ' ένα ρευστό και ένα στερεό και με αγωγή ανάμεσα σε δύο στερεά. Δεδομένου ότι η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι αμελητέα, η ροή θερμότητας από τις επιφάνειες του ατμοποιτητή είναι:

$$\dot{Q} = A \cdot K \cdot LMTD \quad (2)$$

όπου: \dot{Q} , η ροή θερμότητας σε kW, A, η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας σε m², K ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας σε kW/m² K και LMTD, η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας (Logarithmic Mean Temperature Difference) ανάμεσα στο ρευστό που ψύχεται (αέρας ή νερό) και στο ψυκτικό μέσο.

Ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας K είναι:

$$\frac{1}{K} = \frac{R}{a_{εσ}} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{a_{εξ}} \quad (3)$$

όπου: $a_{εσ}$, ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας από το ψυκτικό μέσο προς το εσωτερικό τοίχωμα σε kW/m²K, λ , ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας στο μεταλλικό τοίχωμα σε kW/mK, l , το πάχος του τοιχώματος σε m, $a_{εξ}$, ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας από το εξωτερικό τοίχωμα προς το ρευστό που ψύχεται σε kW/m²K και R, ο λόγος της εξωτερικής επιφάνειας του μεταλλικού τοιχώματος προς την εσωτερική επιφάνεια.

Ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας πρέπει να είναι μεγάλος, έτσι ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση θερμότητας και να αυξάνει η ισχύς του ατμοποιτητή. Η συνεισφορά του συντελεστή αγωγής θερμότητας του μεταλλικού τοιχώματος λ στο

συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας K είναι μικρή, ανεξάρτητα από το είδος του μετάλλου που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του ατμοποιτητή. Έτσι, για το συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας K, πιο σημαντικές είναι οι τιμές των συντελεστών συναγωγής θερμότητας και ιδιαίτερα από το εξωτερικό ρευστό προς το στερεό τοίχωμα. Οι τιμές του $a_{εξ}$ εξαρτώνται από:

- α) Την κατασκευή του ατμοποιτητή.
- β) Το είδος του εξωτερικού ρευστού.
- γ) Την ταχύτητα του ρευστού εξωτερικά.
- δ) Τη ρύπανση ή τη φθορά της εξωτερικής επιφάνειας μεταδόσεως θερμότητας.

Οι τιμές του αέρα εξαρτώνται από:

- α) Το ποσοστό της επιφάνειας που καλύπτεται από ατμό εσωτερικά, ο οποίος επιβαρύνει τη μετάδοση θερμότητας.
- β) Την ύπαρξη λιπαντικού λαδιού εσωτερικά, το οποίο λειτουργεί ως μονωτική μεμβράνη.
- γ) Το είδος του ψυκτικού μέσου.

Η ισχύς του ατμοποιτητή εξαρτάται από τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα ή του νερού και του ψυκτικού μέσου. Η διαφορά θερμοκρασίας εκφράζεται με την LMTD, διότι η θερμοκρασία του νερού ή του αέρα δεν μεταβάλλεται ομοιόμορφα κατά τη ροή του μέσα στον ατμοποιτητή. Στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου πέφτει απότομα στην αρχή της ροής του μέσα στον ατμοποιτητή, ενώ στη συνέχεια, η πτώση της θερμοκρασίας είναι μικρότερη.

Η LMTD ορίζεται ως ο λόγος της θερμοκρασιακής διαφοράς στην είσοδο και στην έξοδο του ατμοποιτητή προς το φυσικό λογάριθμο του λόγου των θερμοκρασιακών διαφορών εισόδου και εξόδου:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4)$$

όπου: ΔT_1 , η διαφορά θερμοκρασίας των δύο ρευστών στην είσοδο του ατμοποιτητή και ΔT_2 , η διαφορά θερμοκρασίας των δύο ρευστών στην έξοδο του ατμοποιτητή.

Ο παραπάνω ορισμός είναι ο ίδιος μ' αυτόν που δόθηκε στην περίπτωση των συμπυκνωτών, με τη διαφορά ότι στους ατμοποιτητές το ψυκτικό μέσο έχει σταθερά χαμηλότερη θερμοκρασία από το ρευστό, ενώ στους συμπυκνωτές το ψυκτικό μέσο έχει υψηλότερη θερμοκρασία.

Στο σχήμα 7.2, παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας στην περίπτωση ενός ατμοποιητή ψύξεως αέρα. Το ψυκτικό μέσο έχει σταθερή θερμοκρασία ατμοποίησης -8°C , ενώ ο αέρας εισέρχεται με θερμοκρασία 4°C και εξέρχεται με θερμοκρασία -3°C . Αν υποθεθεί ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα είναι γραμμική, τότε κατά τη διοδό του στον ατμοποιητή, η μέση διαφορά θερμοκρασίας είναι:

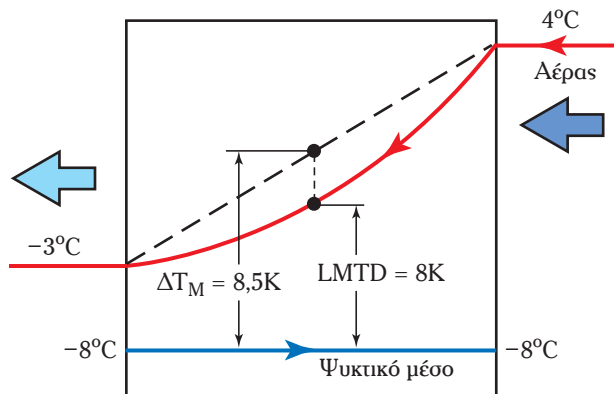
$$\begin{aligned}\Delta T_{\mu} &= \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \\ &= \frac{(4^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C})) + (-3^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C}))}{2} \\ &= \frac{12\text{K} + 5\text{K}}{2} = 8,5\text{K}\end{aligned}\quad (5)$$

Στην πραγματικότητα, η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι καμπύλη και η μέση θερμοκρασιακή διαφορά εκφράζεται πιο σωστά από την LMTD, που είναι:

$$\begin{aligned}LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \\ &= \frac{(4^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C})) - (-3^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C}))}{\ln\left(\frac{4^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C})}{-3^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C})}\right)} \\ &= \frac{12\text{K} - 5\text{K}}{\ln\left(\frac{12\text{K}}{5\text{K}}\right)} = 8,0\text{K}\end{aligned}\quad (6)$$

Η διαφορά των δύο μέσων θερμοκρασιών είναι μικρή, αλλά είναι σημαντική για τον υπολογισμό της αποδόσεως του ατμοποιητή.

Οι συνθήκες που καθορίζουν τη ροή θερμότητας, μεταβάλλονται στα διάφορα σημεία του ατμοποιητή, διότι μεταβάλλονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τους συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας. Κατά τη μετάδοση θερμότητας στους ατμοποιητές η θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου μεταβάλλεται σταδιακά, ενώ το ψυκτικό μέσο έχει σταθερή θερμοκρασία και μετατρέπεται από υγρή σε αέρια φάση. Η απόδοση των ατμοποιητών καθορίζεται από τους κατασκευαστές σε συνάρτηση με τη διαφορά θερμοκρασίας ΔT_1 , μεταξύ του ρευστού που ψύχεται, στην είσοδο του ατμοποιητή και της θερμοκρασίας ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου.



Σχ. 7.2.

Γραμμική μέση διαφορά θερμοκρασίας και LMTD.

Γενικός κανόνας: Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ ατμού ή αερίου και στερεού τοιχώματος είναι πολύ δυσκολότερη από ό,τι η μεταφορά θερμότητας μεταξύ υγρού και στερεού τοιχώματος. Η αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας οφείλεται στην ύπαρξη ατμού ή αερίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι ατμοποιητών, αναλύεται η λειτουργία τους και δίνονται τα στοιχεία αποδόσεως για χαρακτηριστικούς τύπους.

7.3 Ατμοποιητές ψύξεως αέρα.

Οι ατμοποιητές ψύξεως αέρα χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις βιομηχανικής ψύξεως και στις εγκαταστάσεις κλιματισμού. Ανάλογα με τη μέθοδο κυκλοφορίας του αέρα χωρίζονται σε: ατμοποιητές ψύξεως αέρα με φυσική και εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα.

7.3.1 Ατμοποιητές ψύξεως αέρα φυσικής κυκλοφορίας.

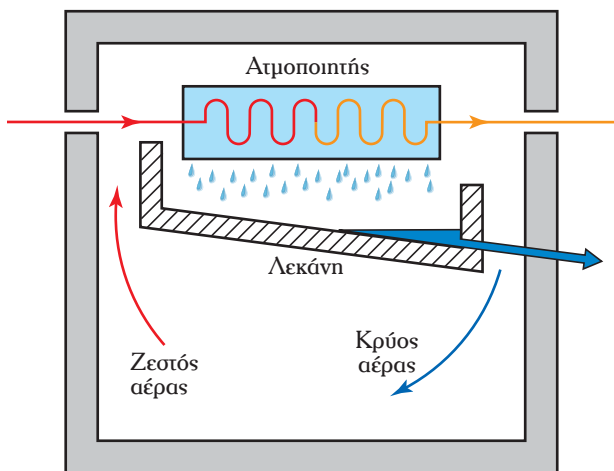
Οι ατμοποιητές ψύξεως αέρα φυσικής κυκλοφορίας συνήθως είναι ξηρής εκτονώσεως, δηλαδή οι σωλήνες κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου στο τέλος του γεμίζουν μόνο με αέριο, ενώ υπάρχουν και υγρής εκτονώσεως οι οποίοι στο τέλος τους έχουν και με υγρό ψυκτικό μέσο. Τοποθετούνται συνήθως στην πάνω πλευρά ή στην οροφή του ψυκτικού θαλάμου. Η κυκλοφορία του αέρα βασίζεται στη διαφορά πυκνότητας του ψυχρού από το θερμό αέρα. Η οδήγηση του αέρα στο θάλαμο εξασφαλίζεται από μία μεταλλική λεκάνη που τοποθετείται κάτω από τον ατμοποιητή, η οποία συγκεντρώνει τις σταγόνες από τα συμπυκνώματα υδρατμού του αέρα του χώρου

(σχ. 7.3α). Η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας μπορεί να είναι η εξωτερική επιφάνεια μίας σωληνώσεως ή να προσαυξάνεται με εξωτερικά περύγια. Όταν υπάρχουν περύγια, αυτά είναι τοποθετημένα αραιά, ώστε να μην δημιουργούν αντίσταση στην κίνηση του αέρα. Το υλικό κατασκευής είναι χαλκός για τον αγωγό και αλουμίνιο για τα περύγια, όταν χρησιμοποιούνται αλογονούχα ψυκτικά μέσα, ενώ όταν χρησιμοποιείται αμμωνία ο αγωγός κατασκευάζεται από χάλυβα και τα περύγια από αλουμίνιο.

Λόγω της μεγάλης επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας που έχουν οι ατμοποιητές ψύξεως αέρα φυσικής κυκλοφορίας, καθυστερεί η συσσώρευση πάγου, όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι κάτω από 0 °C.

Οι μικρότεροι ατμοποιητές με φυσική κυκλοφορία αέρα, είναι κατασκευασμένοι από ελάσματα που διαμορφώνονται από φύλλα αλουμινίου. Τα φύλλα πρεσάρονται με τα αυλάκια ροής του ψυκτικού μέσου στην επιθυμητή μορφή και κατόπιν συγκολλώνται με πίεση. Ο ατμοποιητής αποτελείται από δύο φύλλα [σχ. 7.3β(β)]. Το τελικό σχήμα του ατμοποιητή μπορεί να είναι επίπεδο ή ορθογώνιο. Οι ατμοποιητές αυτοί χρησιμοποιούνται σε οικιακά ψυγεία [σχ. 7.3β(α)]. Ένας άλλος τρόπος διαμορφώσεως μικρών ατμοποιητών φυσικής κυκλοφορίας είναι με τη συγκόλληση των αγωγών ροής του ψυκτικού μέσου πάνω σε ένα αλουμινένιο έλασμα [σχ. 7.3β(γ)].

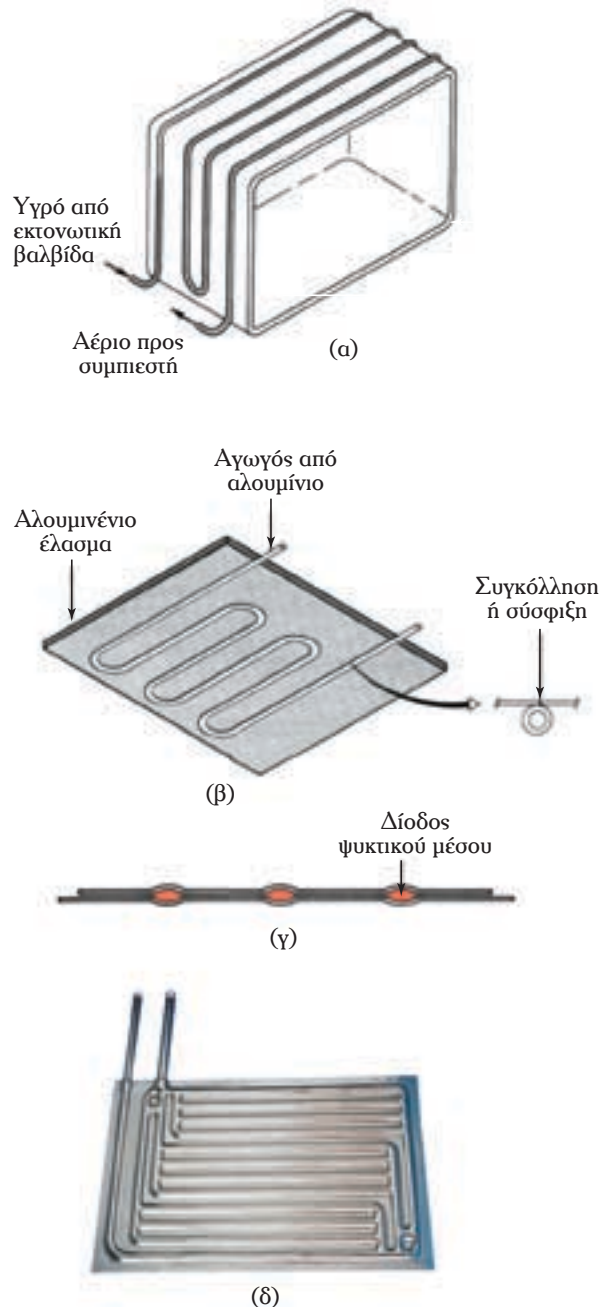
Οι ατμοποιητές ψύξεως αέρα φυσικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται όταν δεν απαιτείται μεγάλη ταχύτητα του αέρα, προκειμένου να περιορίζουν την αφύγρανση του φορτίου και είναι φθηνότερη η κα-



Σχ. 7.3α.

Ατμοποιητής ψύξεως αέρα με φυσική κυκλοφορία.

τασκευή, σε περιπτώσεις όπως η συντήρηση τροφίμων στα οικιακά ψυγεία. Λόγω της μικρής ταχύτητας του αέρα, έχουν μικρή απόδοση και η εφαρμογή τους περιορίζεται σε μικρούς ψυκτικούς θαλάμους. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη απόδοση χρησιμοποιούνται **ατμοποιητές ψύξεως αέρα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας**.



Σχ. 7.3β.

Μικροί ατμοποιητές φυσικής κυκλοφορίας: (α) Σε οικιακό ψυγείο, (β) με εξωτερικό αγωγό σε έλασμα αλουμινίου, (γ), (δ) με διαμόρφωση από δύο ελάσματα αλουμινίου.

7.3.2 Ατμοποιητές ψύξεως αέρα εξαναγκασμέ- νης κυκλοφορίας.

1) Γενικά – Περιγραφή.

Στους ατμοποιητές ψύξεως αέρα εξαναγκασμέ-
νης κυκλοφορίας η μετάδοση θερμότητας αυξάνει
με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα, που επιτυγ-
χάνεται με την προσθήκη ενός ανεμιστήρα. Ανάλο-
γα με την επιθυμητή παροχή αέρα και την πώση
πίεσεως στους αγωγούς κυκλοφορίας αέρα, ο ανε-
μιστήρας μπορεί να είναι (συνηθέστερα) **αξονικής**
ή σπανιότερα **φυγοκεντρικής ροής**. Οι ανεμιστή-
ρες φυγοκεντρικής ροής χρησιμοποιούνται κυρίως
σε συστήματα κεντρικού κλιματισμού, όπου υπάρχει
μεγάλη πώση πίεσεως του αέρα λόγω των τριβών
ροής στους αεραγωγούς. Στο σχήμα 7.3γ εικονίζο-
νται ατμοποιητές ψύξεως αέρα κατάλληλοι για το-
ποθέτηση στο δάπεδο ή στην οροφή του ψυκτικού
θαλάμου μ' έναν και δύο ανεμιστήρες.

Η εκτονωτική βαλβίδα τοποθετείται στην πάνω
πλευρά του ατμοποιητή και η έξοδος του ατμού προς
το συμπιεστή είναι κάτω, έτσι ώστε να υποβοηθείται
η ροή του υγρού ψυκτικού μέσου με τη βαρύτητα.
Ένας άλλος λόγος είναι ότι με τη ροή προς τα κάτω
διευκολύνεται η επιστροφή του λαδιού προς το συ-
μπιεστή.

Για την αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερ-
μότητας οι ατμοποιητές εξαναγκασμένης κυκλοφορί-
ας έχουν πτερύγια που τοποθετούνται κάθετα στους
σωλήνες. Μ' αυτόν τον τρόπο το νερό που σχηματί-
ζεται από την υγρασία που συμπυκνώνεται, απομα-
κρύνεται με τη βαρύτητα. Τα υλικά κατασκευής των
ατμοποιητών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας είναι τα
ίδια μ' αυτά των ατμοποιητών φυσικής κυκλοφορίας.
Συνήθως, για τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα, οι αγω-
γοί κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου κατασκευάζο-
νται από χαλκό, ενώ τα πτερύγια από χαλκό ή από
αλουμίνιο. Για την αμμωνία, οι αγωγοί κατασκευάζο-
νται από χάλυβα και τα πτερύγια από αλουμίνιο. Για
πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, όπου πρέπει να υπάρ-
χει καθαρή επιφάνεια των πτερυγίων ή για πολύ δι-
αβρωτικό περιβάλλον, τα πτερύγια κατασκευάζονται
από ανοξείδωτο χάλυβα, ο οποίος όμως είναι σχετι-
κά χειρότερος αγωγός της θερμότητας.

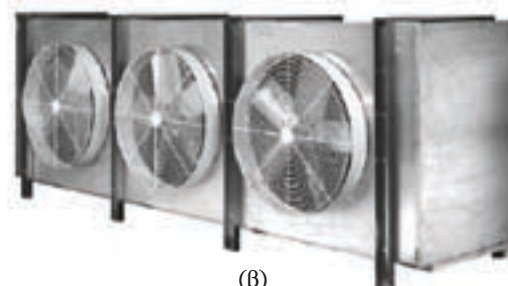
Με τους ατμοποιητές εξαναγκασμένης κυκλοφο-
ρίας, η ξήρανση της ατμόσφαιρας και συνεπώς των
προϊόντων του θαλάμου είναι ταχύτερη. Αυτό οφεί-
λεται στην ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα, η οποία
είναι μεγάλη. Γι' αυτόν το λόγο η ταχύτητα του ανε-

μιστήρα θα πρέπει να διατηρείται όσο μικρότερη γί-
νεται. Επίσης, ρόλο στην ταχύτητα ξηράνσεως παίζει
το μέγεθος του ατμοποιητή. Οι μικροί ατμοποιητές
προκαλούν ταχύτερη ξήρανση διότι λειτουργούν με
χαμηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας. Τέλος, για
την επιβράδυνση της ξηράνσεως η διαφορά θερμο-
κρασίας της επιφάνειας του ατμοποιητή από τον ψυ-
κτικό θάλαμο πρέπει να είναι 6–7 °C περίπου. Όταν
δεν είναι επιβλαβής η ξήρανση του φορτίου, τότε
επιλέγονται μικροί ατμοποιητές που λειτουργούν σε
μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά (11–17 °C).

Ο ανεμιστήρας λειτουργεί συνεχώς ή ελέγχεται
από ένα θερμοστάτη που είναι τοποθετημένος στον
ψυκτικό θάλαμο ή στον αγωγό αναρροφήσεως του
ψυκτικού μέσου. Όταν ο κινητήρας εργάζεται και ο
αέρας κυκλοφορεί, καθυστερεί η συσσώρευση συ-
μπυκνώματος και πάγου. Στην κάτω πλευρά του ατ-
μοποιητή υπάρχει λεκάνη συλλογής του συμπυκνώ-
ματος, το οποίο απομακρύνεται έξω από το θάλαμο.
Όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι κάτω από
0 °C, το συμπύκνωμα του υδρατμού εξωτερικά σχη-
ματίζει πάγο που φράζει τη δίοδο του αέρα. Στην πε-



(α)



(β)

Σχ. 7.3γ.

Ατμοποιητές για ψύξη αέρα με εξαναγκασμένη
κυκλοφορία: (α) Οροφής και (β) δαπέδου.

ρίπτωση αυτή, ο πάγος απομακρύνεται με μία από τις μεθόδους αποχιονώσεως.

Η τοποθέτηση των ατμοποιτών ψύξεως αέρα στον ψυκτικό θάλαμο είναι τέτοια, ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη θερμοκρασία σε όλες τις περιοχές του θαλάμου με τη μικρότερη δυνατή ταχύτητα του αέρα. Στο σχήμα 7.3δ παρουσιάζονται κατάλληλες θέσεις τοποθετήσεως που προτείνονται από τους κατασκευαστές.

2) Κατασκευή πτερυγίων.

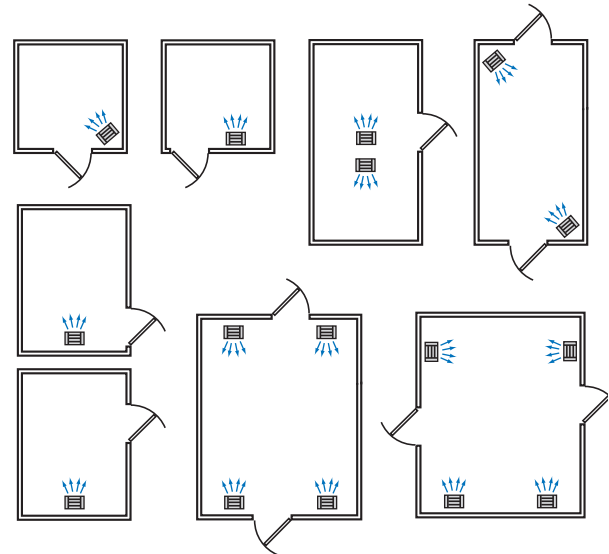
Στους ατμοποιτές που χρησιμοποιούνται για ψύξη αέρα, η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας προσ αυξάνεται με την προσθήκη πτερυγίων διότι η μεγάλη αντίσταση μεταφοράς θερμότητας είναι στην πλευρά του αέρα. Αντίθετα, τα πτερύγια δεν είναι απαραίτητα στους ατμοποιτές που χρησιμοποιούνται για ψύξη νερού, διότι ο συντελεστής θερμικής συναγωγής μεταξύ υγρού και στερεού εξασφαλίζει επαρκή ροή θερμότητας.

Στην περίπτωση των ατμοποιτών ψυκτών αέρα, η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται σταδιακά, καθώς ψύχεται με τη ροή του μέσα από τα ψυχρά πτερύγια. Η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν είναι γραμμική, αλλά είναι μεγαλύτερη στις πρώτες στρώσεις πτερυγίων.

Η απόσταση των πτερυγίων κυμαίνεται από 2 – 12 mm και από τους κατασκευαστές ατμοποιτών εκφράζεται σε **πτερύγια ανά ίντσα μήκους** [Fins Per Inch–FPI]. Συνήθως, οι ατμοποιτές εξαγωγασμένης κυκλοφορίας για κλιματισμό έχουν 12 FPI, ενώ για ψύξη 3–4 FPI. Όταν η θερμοκρασία ατμοποιήσεως είναι κάτω από 0 °C, οπότε είναι πιθανός ο σχηματισμός πάγου, χρησιμοποιούνται 3 FPI. Τα πτερύγια τοποθετούνται με μηχανικό τρόπο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται σύσφιξη και καλή επαφή μεταξύ πτερυγίων και σωλήνων, με σκοπό την καλή αγωγή θερμότητας από το σωλήνα στο πτερύγιο. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, όπως και για τους συμπυκνωτές, που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί καλή επαφή. Μία μέθοδος που εικονίζεται στο σχήμα 7.3ε(α), είναι να κάμπτεται το πτερύγιο, έτσι ώστε η οπή να μεγαλώνει. Στη συνέχεια εισέρχεται ο σωλήνας και το πτερύγιο αποφορτίζεται και επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα. Η οπή μικραίνει και εφαρμόζει τέλεια με το σωλήνα. Μία άλλη μέθοδος εικονίζεται στο σχήμα 7.3ε(β), όπου τα πτερύγια διαμορφώνονται έτσι, ώστε να κρατείται σταθερή η απόστασή τους, ενώ ο σωλήνας διαστέλλεται με

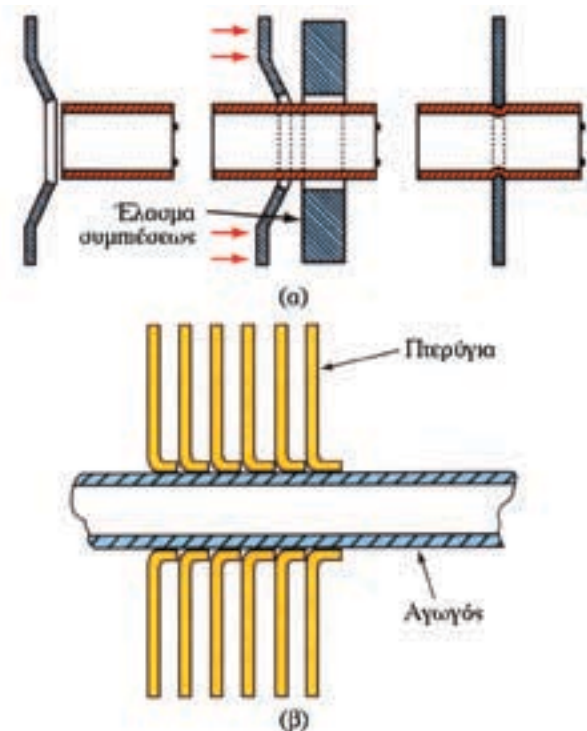
υδραυλική πίεση ή με μηχανικό εξάρτημα (ελιά) που περνάει από μέσα του.

Τα πτερύγια είναι διαμορφωμένα από φύλλα μετάλλου, στα οποία ανοίγονται οπές απ' όπου διέρχονται οι αγωγοί. Τα μεταλλικά φύλλα τοποθετού-



Σχ. 7.3δ.

Κατάλληλες θέσεις τοποθετήσεως ατμοποιτών ψύξεως αέρα.



Σχ. 7.3ε.

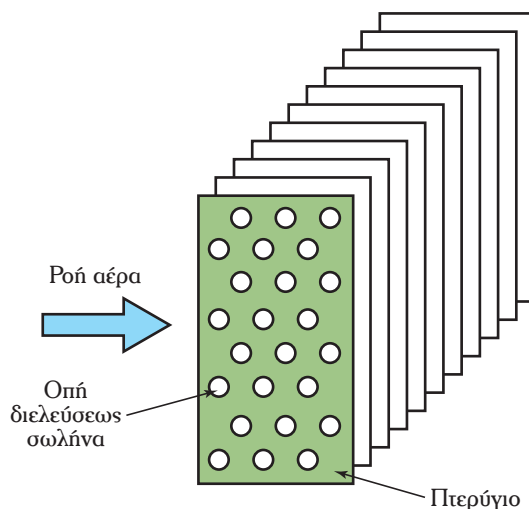
Σύσφιξη αγωγού και πτερυγίων ατμοποιτή: (α) Με παραμόρφωση των πτερυγίων, (β) με εκτόνωση αγωγού.

νται επάλληλα στην κατάλληλη απόσταση και αφού περαστούν και εκτονωθούν οι αγωγοί, σχηματίζεται ένα σύνολο από σωλήνες που είναι ανοικτοί στα δύο άκρα και έχουν κοινά πτερύγια (σχ. 7.3στ).

3) Διαχωρισμός κυκλωμάτων ροής.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η τοποθέτηση εξαρτημάτων σχήματος U στις άκρες των αγωγών ροής με τέτοιο τρόπο, ώστε η επιφάνεια του ατμοποιητή να χωριστεί σε κυκλώματα. Στους ατμοποιητές ψύξης αέρα ξηρής εκτονώσεως που τοποθετούνται σε εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα, η κατεύθυνση της ροής του ψυκτικού μέσου είναι από πάνω προς τα κάτω. Στους ατμοποιητές υγρής εκτονώσεως, όταν η κυκλοφορία του υγρού είναι φυσική, η κατεύθυνση της ροής του ψυκτικού μέσου είναι από κάτω προς τα πάνω, ενώ όταν υπάρχει εξαναγκασμένη κυκλοφορία του υγρού ψυκτικού μέσου η κατεύθυνση της ροής μπορεί να έχει οποιαδήποτε απ' τις δύο κατευθύνσεις. Προκειμένου να υπάρχει κατά το δυνατόν ομοιόμορφη θερμοκρασία στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας, η ροή του μέσου διαχωρίζεται σε παράλληλα κυκλώματα. Τα κυκλώματα ροής έχουν το ίδιο μήκος, έτσι ώστε να έχουν την ίδια πώση πίεσεως. Έτσι, το ψυκτικό μέσο που εξέρχεται από τα κυκλώματα ροής έχει πάρει περίπου το ίδιο ποσό θερμότητας. Μ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η συσσώρευση πάγου σ' ένα τμήμα του ατμοποιητή, που θα προέκυπτε από την ανομοιόμορφη θερμοκρασία των πτερυγίων. Η τελική μορφή ενός ατμοποιητή ξηρής εκτονώσεως για ψύξη αέρα παρουσιάζεται στο σχήμα 7.3ζ(α), (β).

Στο σχήμα 7.3ζ, εκτός από τα εξαρτήματα σχήματος U που διαχωρίζουν τα κυκλώματα ροής φαίνο-



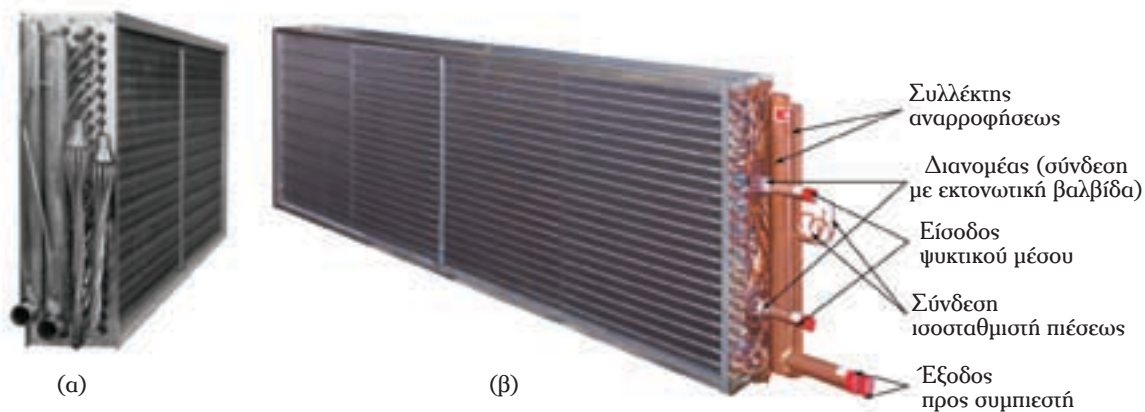
Σχ. 7.3στ.

Επάλληλα φύλλα πτερυγίων.

νται η θέση συνδέσεως με την εκτονωτική βαλβίδα και ο συλλέκτης αναρροφήσεως, στον οποίο συγκεντρώνεται ο ατμός από όλα τα κυκλώματα ροής. Στον συλλέκτη αναρροφήσεως υπάρχει θέση συνδέσεως του ισοσταθμιστή πίεσεως, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 8.

4) Διανομέας ψυκτικού μέσου.

Το ψυκτικό μέσο που βρίσκεται μετά την εκτονωτική βαλβίδα πριν την είσοδό του στον ατμοποιητή, είναι στο μεγαλύτερο μέρος του υγρό και σ' ένα μικρό τμήμα αέριο. Το υγρό καταλαμβάνει το μικρότερο τμήμα στον αγωγό εισόδου προς τον ατμοποιητή, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα του αγωγού το καταλαμβάνει το αέριο, λόγω του μεγαλύτερου ειδικού του όγκου. Το μείγμα υγρού και αερίου για να διανε-



Σχ. 7.3ζ.

Ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως για ψύξη αέρα.

μηθεί ομοιόμορφα στα κυκλώματα ροής του ατμοποιτητή, περνάει από ένα διανομέα. Ο διαχωρισμός σε ίσα παράλληλα ρεύματα είναι πολύ δύσκολος και όχι πάντα ικανοποιητικός. Χωρίς το διανομέα θα υπήρχε ροή περισσότερου υγρού σε κάποια κυκλώματα και περισσότερου αερίου σε κάποια άλλα, πράγμα που θα είχε ως συνέπεια την ανομοιόμορφη φόρτιση και τον παγοφραγμό.

Ο διανομέας διαθέτει μία στενή δίοδο, που προκαλεί στροβιλισμό της ροής και διαμόρφωση ομοιόμορφου μείγματος υγρού και αερίου ψυκτικού μέσου. Στη συνέχεια, το μείγμα διανέμεται στα κυκλώματα ροής του ατμοποιτητή με τριχοειδείς αγωγούς ίδιου μήκους, οι οποίοι επιδιώκεται να έχουν την ίδια πτώση πίεσεως. Λόγω του ομοιόμορφου μείγματος και της ίδιας πτώσεως πίεσεως σε όλους τους αγωγούς ροής, η ροή του ψυκτικού μέσου διανέμεται ομοιόμορφα στα κυκλώματα ροής του ατμοποιτητή και επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θερμοκρασία των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας και ομοιόμορφη φόρτιση. Στο σχήμα 7.3η εικονίζεται η κατασκευή ενός διανομέα με το **δακτύλιο στενώσεως** (orifice) και τους τριχοειδείς αγωγούς διανομής.

Η έξοδος των κυκλωμάτων ροής του ατμοποιτητή ενώνεται σε έναν αγωγό, που ονομάζεται **συλλέκτης αναρροφήσεως** και έχει ως σκοπό την εξισορρόπηση των πιέσεων εξόδου με την πίεση αναρροφήσεως του συμπιεστή. Εξωτερικά του συλλέκτη αναρροφήσεως τοποθετείται με κολάρο ο θερμοστατικός βολβός της εκτονωτικής βαλβίδας, έτσι ώστε να ρυθμίζεται η παροχή του υγρού, προκειμένου να επιτυγχάνεται σταθερή θερμοκρασία υπερθερμάνσεως των ατμών στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η τοποθέτηση των διανομέων και του συλλέκτη αναρροφήσεως φαίνεται στους ατμοποιτητές του σχήματος 7.3ζ.

5) Ρύθμιση ισχύος ατμοποιτητή.

Η ρύθμιση της ισχύος του ατμοποιτητή εκτός των άλλων είναι απαραίτητη και για την ομοιόμορφη θερμοκρασία των περυγίων και την αποφυγή σχηματισμού πάγου σε συνθήκες μειωμένης ροής του ψυκτικού μέσου. Επί πλέον, με τη ρύθμιση του φορτίου του ατμοποιτητή εξασφαλίζεται η επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή, διότι το ψυκτικό μέσο συνεχίζει να ρέει με μεγάλη ταχύτητα μέσα από τους αγωγούς ροής. Η ρύθμιση ισχύος του ατμοποιτητή μπορεί να γίνει: με το διαχωρισμό της επιφάνειάς του με παράλληλα ανεξάρτητα κυκλώματα ροής ψυκτικού μέσου και με την παράκαμψη θερμού αερίου.

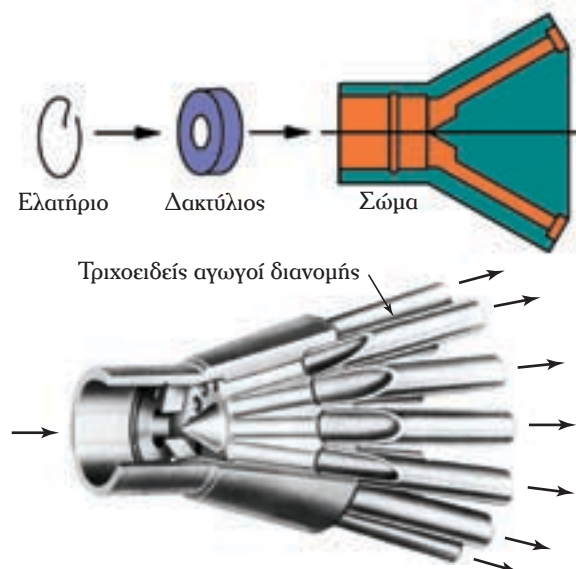
α) Ρύθμιση ισχύος με κυκλώματα ροής του ψυκτικού μέσου.

Ο χωρισμός της ροής του ψυκτικού μέσου σε παράλληλα κυκλώματα ροής γίνεται με σκοπό την ομοιόμορφη φόρτιση των επί μέρους κυκλωμάτων σε διατάξεις, στις οποίες υπάρχει αντιρροή του αέρα με το ψυκτικό μέσο. Αυτό σημαίνει ότι ο διανομέας και οι τριχοειδείς αγωγοί διανομής τοποθετούνται στην έξοδο της ροής του αέρα, ενώ ο αγωγός αναρροφήσεως τοποθετείται στην πλευρά της εισόδου του αέρα. Οι διατάξεις των κυκλωμάτων ροής καθορίζονται από τους σχεδιαστές των ατμοποιτητών.

Εκτός από το χωρισμό ατμοποιτητή σε κυκλώματα ροής, είναι δυνατός και ο χωρισμός του σε ανεξάρτητα τμήματα. Με το διαχωρισμό του ατμοποιτητή σε ανεξάρτητα τμήματα ροής είναι δυνατή η λειτουργία σε μειωμένο φορτίο, όταν μερικά απ' αυτά δεν τροφοδοτούνται με ψυκτικό μέσο. Η μερική φόρτιση χρησιμοποιείται σε ατμοποιτητές με ισχύ μεγαλύτερη από 15 RT, οι οποίοι διαχωρίζονται σε δύο ή περισσότερα τμήματα, καθένα απ' τα οποία περιλαμβάνει δική του εκτονωτική βαλβίδα, διανομέα και συλλέκτη αναρροφήσεως.

Για τη λειτουργία σε μερικό φορτίο εφαρμόζονται οι εξής τρεις μέθοδοι ελέγχου, με διαχωρισμό του ατμοποιτητή σε τμήματα:

- **Διαχωρισμός μετωπικής επιφάνειας** (face control). Η μετωπική επιφάνεια διαχωρίζεται σε τμήματα που εκτείνονται σ' όλο το βάθος του ατμοποιτητή. Υπάρχουν χωριστές εκτονω-



Σχ. 7.3η.

Διανομέας ψυκτικού μέσου.

τικές βαλβίδες και χωριστοί διανομείς, ενώ η ροή ελέγχεται από σωληνοειδείς βαλβίδες [σχ. 7.30(α)].

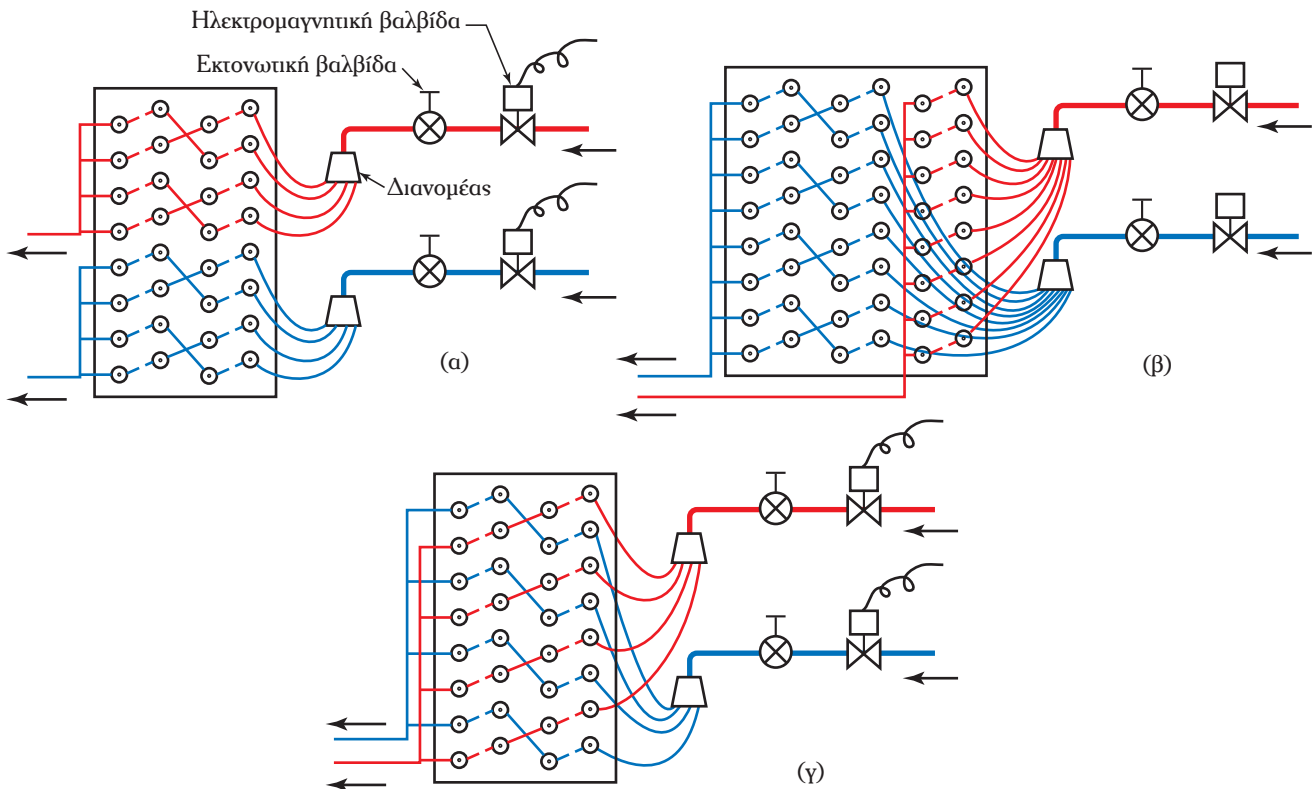
- **Διαχωρισμός κατά το βάθος** (row control). Εφαρμόζεται σε ατμοποιητές με έξι σειρές αγωγών, από τις οποίες οι πρώτες τέσσερις αποτελούν ένα τμήμα και οι υπόλοιπες δύο ένα ξεχωριστό. Η ισχύς μπορεί να ρυθμιστεί από τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες στο 33%, 66% και στο 100% της ονομαστικής [σχ. 7.30(β)].
- **Διαχωρισμός πεπλεγμένων τμημάτων** (intertwined face control). Σ' έναν τέτοιο ατμοποιητή τα τμήματα ροής του ψυκτικού μέσου εκτείνονται σ' ολόκληρη την επιφάνεια ροής του αέρα. Με την απενεργοποίηση του ενός κυκλώματος, η ισχύς μειώνεται περίπου κατά 70% της ονομαστικής [σχ. 7.30(γ)].

Με το διαχωρισμό σε κυκλώματα ροής δημιουργούνται ζώνες φορτίσεως, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές για τη ρύθμιση της ισχύος σε μερικό φορτίο, σε διατάξεις που φαίνονται στο σχήμα 7.31.

β) Ρύθμιση ισχύος με παράκαμψη θερμού αερίου.

Για τη λειτουργία σε μειωμένο φορτίο, μειώνεται η θερμοκρασία των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας του ατμοποιητή με την ανακυκλοφορία ενός μέρους θερμού αερίου από την κατάθλιψη του συμπιεστή προς την εκτονωτική βαλβίδα (σχ. 7.31α). Στη διάταξη αυτή η ανάμειξη γίνεται πριν από τον διανομέα ψυκτικού μέσου. Η παροχή ανακυκλοφορίας ελέγχεται από την πίεση ατμοποίησης. Το σύστημα των βαλβίδων που ελέγχουν τη ροή ανακυκλοφορίας του θερμού αερίου, που φαίνεται στο σχήμα, είναι σχεδιασμένο ώστε να διατηρεί σταθερή πίεση στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Όταν πέσει η πίεση ατμοποίησης ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική πιλοτική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα Β, η οποία στέλνει αέριο υψηλής πίεσης στη **βαλβίδα ελέγχου ροής θερμού αερίου παρακάμψεως Α** (by-pass regulator valve).

Η βαλβίδα ελέγχου ροής Α ανοίγει, οπότε αφήνει την παροχή του αερίου παρακάμψεως να αναμειχθεί με τη ροή υγρού από τον συλλέκτη. Μ' αυτόν τον



Σχ. 7.30.

Έλεγχος ισχύος ατμοποιητή με χωρισμό σε τμήματα.

- (α) Με διαχωρισμό μετωπικής επιφάνειας, (β) με διαχωρισμό κατά το βάθος και (γ) με διαχωρισμό πεπλεγμένων τμημάτων.

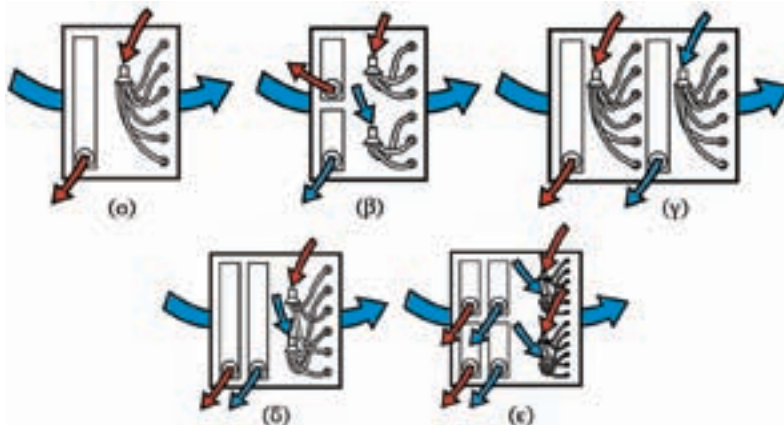
τρόπο ατμοποιείται ένα μέρος του υγρού ψυκτικού μέσου, αυξάνεται η ενθαλπία του μείγματος ατμού-υγρού που εισέρχεται στον ατμοποιητή και μειώνεται η ψυκτική ισχύς.

Εναλλακτικά, η κύρια βαλβίδα Α και η οδηγτική βαλβίδα Β μαζί με την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μπορούν να συνδυάζονται σε μια ενιαία βαλβίδα θερμού αερίου.

Η ανάμειξη του αερίου ανακυκλοφορίας με το υγρό από το συλλέκτη πραγματοποιείται σε έναν αναμεικτη που τοποθετείται πριν την εκτονωτική βαλβίδα. Ο αναμεικτης σε τομή και η θέση τοποθετήσεώς του στον ατμοποιητή φαίνεται στο σχήμα 7.3ιβ.

6) Αποχιόνωση (αποπάγωση) ατμοποιητή.

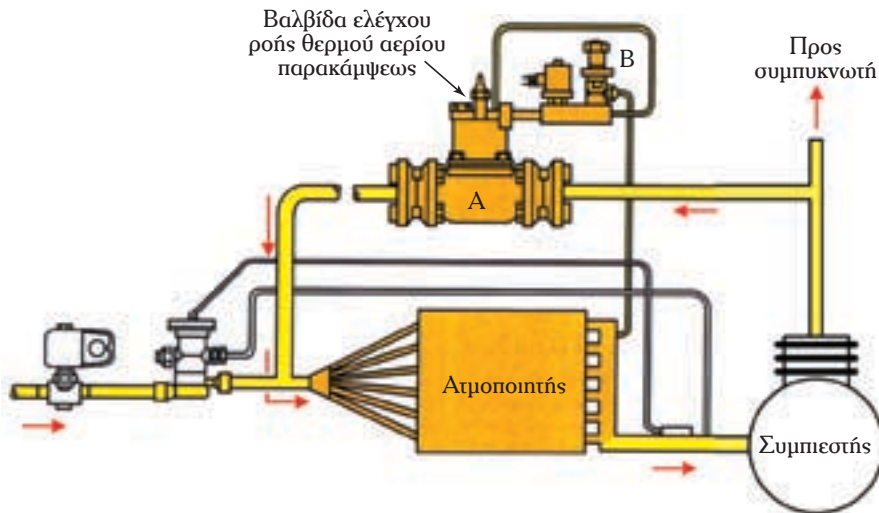
Στα περύγια των ατμοποιητών που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, σχηματίζεται μόνιμα πάγος από την υγρασία του αέρα του θαλάμου, η οποία συμπυκνώνεται στις ψυχρές επιφάνειες. Ο σχηματισμός του πάγου αρχίζει σε θερμοκρασία ατμοποίησης κάτω των 0 °C και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ωφέλιμης επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας. Ο παγοφραγμός επιταχύνεται με τη μικρή απόσταση των περυγίων. Για θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη από 4 °C, ο πάγος μπορεί να λιώνει και να απομακρύνεται με την κράτηση της λειτουργίας της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Σε θερμοκρασία αέρα



Σχ. 7.3ι.

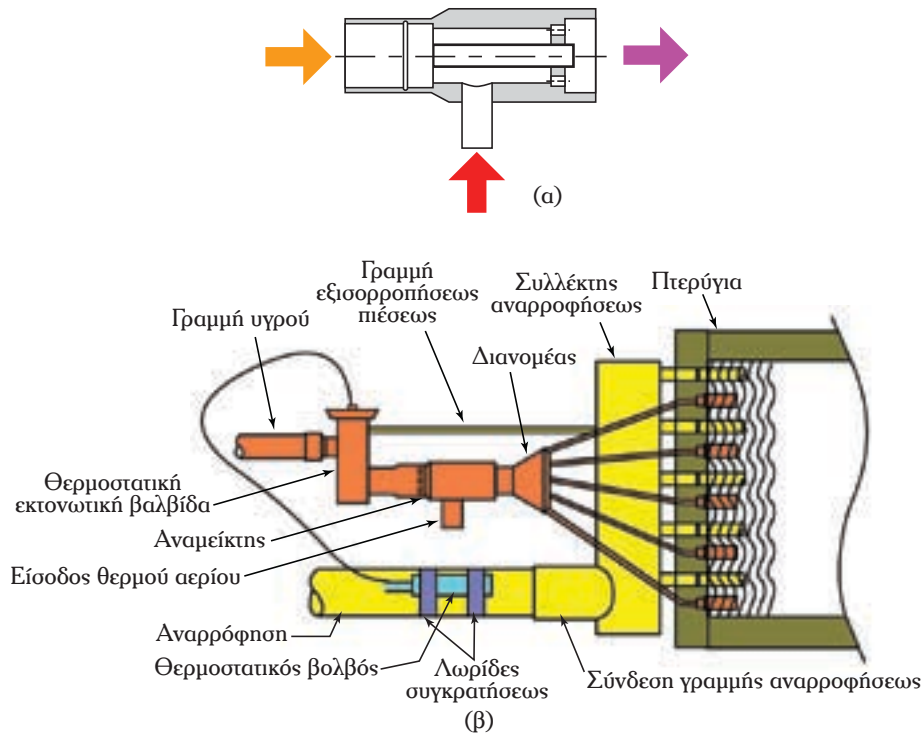
Διατάξεις κυκλωμάτων ροής ατμοποιητών ψύξεως αέρα.

- (α) Με διαχωρισμό ροής, σε αντηροή, (β) με διαχωρισμό μειωτικής επιφάνειας, (γ) με διαχωρισμό κατά το βάθος, (δ) με διαχωρισμό πεπλεγμένων τμημάτων και (ε) με συνδυασμό διαχωρισμού μειωτικής επιφάνειας και πεπλεγμένων τμημάτων.



Σχ. 7.3ια.

Έλεγχος ισχύος ατμοποιητή με ανακυκλοφορία θερμού αερίου.



Σχ. 7.3β.

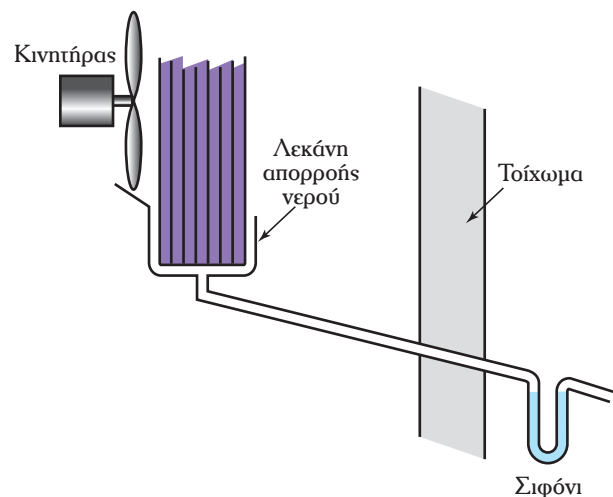
(α) Αναμείκτης υγρού-αερίου και (β) τοποθέτησή του στον ατμοποιητή.

χαμηλότερη από $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός **συστήματος αποχιονώσεως** του ατμοποιητή. Το σύστημα αποχιονώσεως συνήθως είναι ρυθμιζόμενο να λειτουργεί αυτόματα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το νερό που σχηματίζεται από τον πάγο που λιώνει από τα πτερύγια, πέφτει σε μια λεκάνη στην κάτω πλευρά του ατμοποιητή και από εκεί απομακρύνεται έξω από τον ψυκτικό θάλαμο λόγω της βαρύτητας (σχ. 7.3ιγ). Η λεκάνη συγκεντρώσεως νερού, για ατμοποιητές που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, έχει σύστημα θερμάνσεως, έτσι ώστε το νερό μετά τη αποχιόνωση, να μην σχηματίζει εκ νέου πάγο στη λεκάνη.

Με την αποχιόνωση του ατμοποιητή, αφυγραίνεται ο αέρας του ψυκτικού θαλάμου, πράγμα που συνεπάγεται ταχεία ξήρανση των προϊόντων που βρίσκονται σ' αυτόν. Η αποχιόνωση του ατμοποιητή πραγματοποιείται με μία από τις εξής μεθόδους:

α) Αποχιόνωση με ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η αποχιόνωση με ηλεκτρικές αντιστάσεις χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς ατμοποιητές. Ενώ έχει μικρό αρχικό κόστος, έχει μεγάλο κόστος χρήσεως κατά τη λειτουργία της εγκαταστάσεως. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουν καλή θερμική επαφή με τους αγωγούς του



Σχ. 7.3ιγ.

Απομάκρυνση νερού συμπυκνώματος.

ψυκτικού μέσου, ανάμεσα στα πτερύγια. Μία άλλη μέθοδος είναι η τοποθέτηση των αντιστάσεων κάτω από τον ατμοποιητή και κοντά στο σωλήνα απορροής του νερού. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικές αντιστάσεις μέσα στους αγωγούς ροής του ψυκτικού μέσου (σχ. 7.3ιδ).

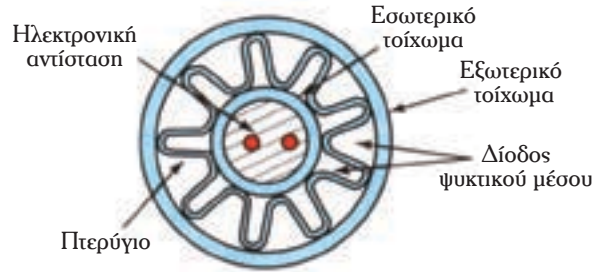
Η αποχιόνωση με ηλεκτρικές αντιστάσεις γίνεται περιοδικά, με ταυτόχρονη κράτηση της εγκαταστάσεως για όσο χρόνο απαιτείται. Για την αποχιόνωση

με τους σωλήνες διπλού τοιχώματος (σχ. 7.3ιδ), η ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να είναι ρυθμισμένη να λειτουργεί σε κύκλο με πλήρη **απάντληση του ατμοποιητή** (rump down cycle). Στον κύκλο πλήρους απαντλήσεως ο συμπιεστής κρατείται από τον πιεσοστάτη χαμηλής πίεσης αναρροφήσεως, αφού κλείσει η εκτονωτική βαλβίδα και απαντληθεί όλο το υγρό από τον ατμοποιητή. Η εντολή εκκινήσεως και κρατήσεως της αποχιονώσεως δίνεται από δύο θερμοστάτες: ο πρώτος είναι τοποθετημένος στον ψυκτικό θάλαμο και κλείνει όταν ανέβει η θερμοκρασία του θαλάμου, ενώ ο δεύτερος είναι τοποθετημένος στον ατμοποιητή και κλείνει σε μια θερμοκρασία που εξασφαλίζει ότι ο πάγος στα περύγια έχει λιώσει.

β) Αποχιόνωση με παράκαμψη θερμού αερίου.

Η αποχιόνωση με παράκαμψη θερμού αερίου γίνεται με παράκαμψη θερμού αερίου μετά το συμπιεστή, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται στην είσοδο του ατμοποιητή. Αυτό γίνεται με μια γραμμή παρακάμψεως, στην οποία η ροή ελέγχεται με **ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες** (solenoid valves). Ένα σύστημα αποχιονώσεως με παράκαμψη θερμού αερίου εικονίζεται στο σχήμα 7.3ιε.

Ο κύκλος της αποχιονώσεως ξεκινάει σε τακτά χρονικά διαστήματα, με το κλείσιμο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας Α, η οποία σταματάει τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη προς την

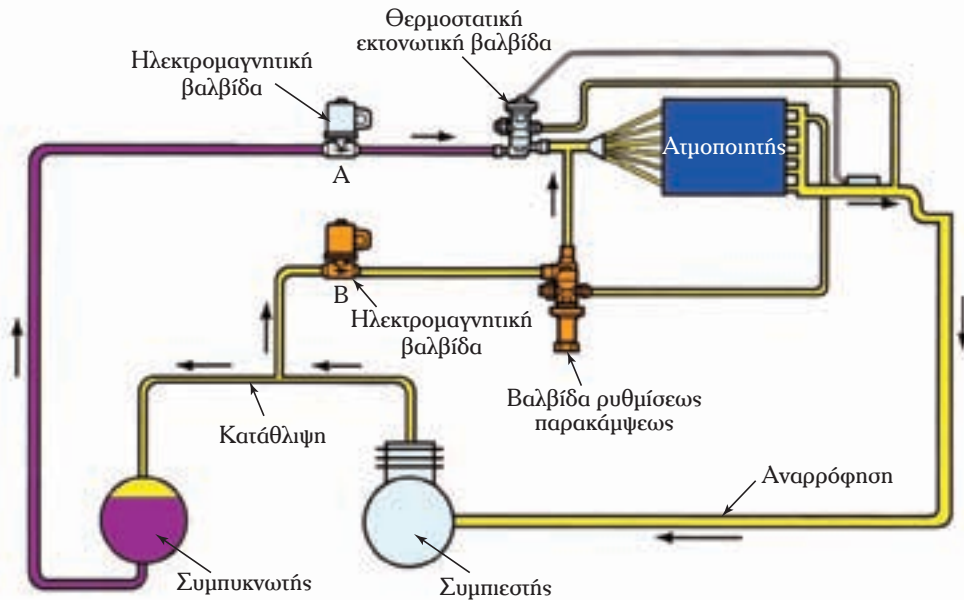


Σχ. 7.3ιδ.

Αποχιόνωση με ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σωλήνες διπλού τοιχώματος.

εκτονωτική βαλβίδα. Ταυτόχρονα, ξεκινάει η λειτουργία του συμπιεστή και ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα Β, με την οποία το θερμό αέριο από την κατάθλιψη οδηγείται στον ατμοποιητή. Με τη λειτουργία του συστήματος παρακάμψεως, ο ατμοποιητής θερμαίνεται και ο πάγος λιώνει σε 5–10 min περίπου. Το νερό και τα κομμάτια πάγου πέφτουν προς τη λεκάνη απορροής συμπυκνώματος, η οποία πρέπει να θερμαίνεται για να μην δημιουργηθεί ξανά πάγος. Η θέρμανση της λεκάνης απορροής πραγματοποιείται με ηλεκτρικές αντιστάσεις ή με τη ροή του θερμού αερίου γύρω από αυτήν (σχ. 7.3ιστ).

Ο ατμός του ψυκτικού μέσου που ανακυκλοφορεί στον ατμοποιητή, λόγω της χαμηλής του θερμοκρασίας συμπυκνώνεται. Πριν την είσοδό του στο συμπιεστή, το υγρό ψυκτικό μέσο πρέπει να ατμοποιηθεί. Η ατμοποίηση του υγρού πραγματοποιείται με μία από τις εξής μεθόδους:

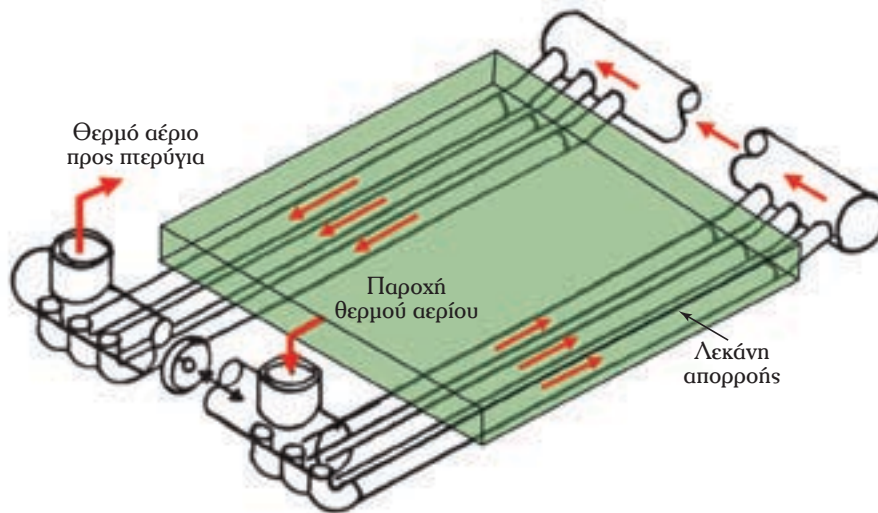


Σχ. 7.3ιε.

Αποχιόνωση ατμοποιητή με παράκαμψη θερμού αερίου.

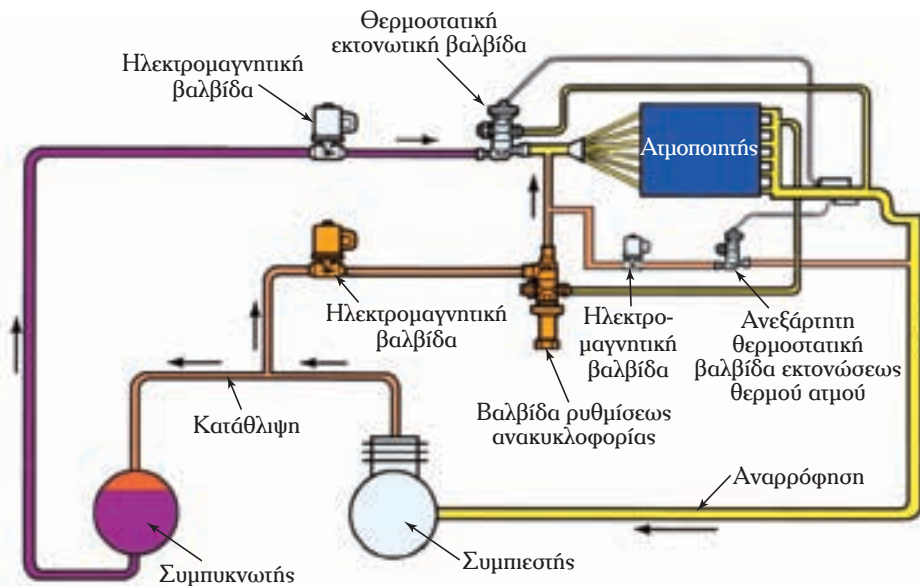
- Με χρήση μιας **βαλβίδας ρυθμίσεως παρακάμψεως** (By-pass regulator valve). Η βαλβίδα αυτή οδηγεί ένα τμήμα του θερμού αερίου παρακάμψεως προς το συλλέκτη αναρροφήσεως στην έξοδο του ατμοποιητή, όπου αναμειγνύεται με το υγρό ψυκτικό μέσο που έχει σχηματιστεί μέσα στον ατμοποιητή και το ατμοποιεί (σχ. 7.31ε).
- Με ανάμειξη του υγρού που επιστρέφει από τον ατμοποιητή κατά την αποχιόνωση, με θερμό ατμό που ρυθμίζεται από μια **ανεξάρτητη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα ατμού** (σχ. 7.31ζ). Ο βολβός της ανεξάρτητης θερμο-

στατικής βαλβίδας εκτονώσεως είναι τοποθετημένος στον αγωγό αναρροφήσεως του συμπιεστή και είναι ρυθμισμένος, ώστε το μείγμα που οδηγείται στην αναρρόφηση του συμπιεστή να έχει θερμοκρασία από 7 °C έως 18 °C. Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ψύξη του συμπιεστή. Όταν ανέβει η θερμοκρασία του μείγματος αναρροφήσεως, η βαλβίδα ανοίγει την παροχή του θερμού ατμού ψυκτικού μέσου και στραγγαλίζει την πίεσή του. Κατά την κανονική λειτουργία της εγκαταστάσεως, η παροχή του ατμού στη βοηθητική εκτονωτική βαλβίδα διακόπτεται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.



Σχ. 7.31στ.

Θέρμανση της λεκάνης συμπυκνώματος με θερμό αέριο.

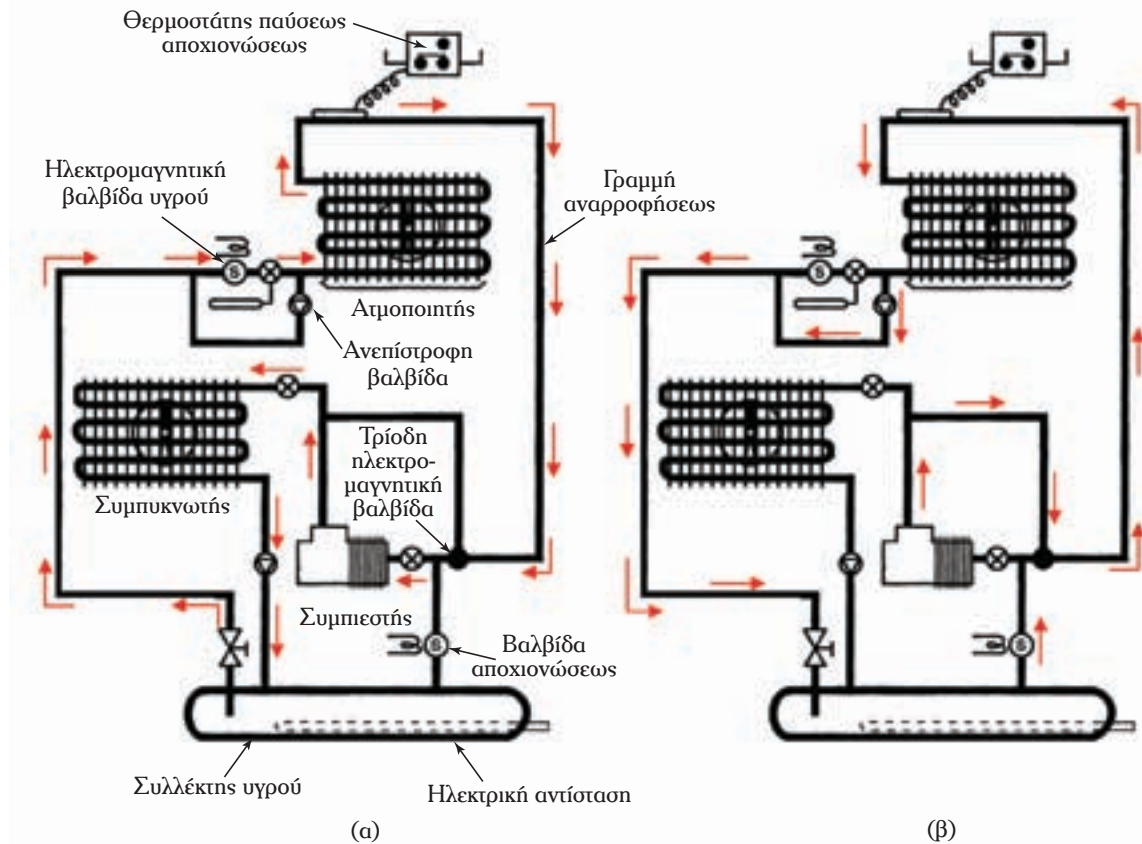


Σχ. 7.31ζ.

Ανάμειξη υγρού μέσου με θερμό αέριο κατά την αποχιόνωση.

- Με χρήση **ηλεκτρικών αντιστάσεων** που τοποθετούνται μετά το συλλέκτη αναρροφήσεως του ατμοποιητή.
- Με ατμοποίηση του υγρού που βγαίνει κατά την αποχώνωση σε ένα **μικρό ατμοποιητή**, που λειτουργεί μ' έναν ανεμιστήρα, μετά τον κύριο ατμοποιητή. Η λειτουργία του ανεμιστήρα του μικρού ατμοποιητή κατά τη λειτουργία του κύκλου αποχώνωσης εξασφαλίζει ότι στην αναρρόφηση του συμπιεστή οδηγείται μόνο ατμός του ψυκτικού μέσου, ειδικά όταν χρησιμοποιείται ένας κοινός συλλέκτης ατμών (suction accumulator) στην αναρρόφηση του συμπιεστή.
- Το θερμό αέριο παρακάμψεως κυκλοφορεί **αντίστροφα**, δηλαδή από το συλλέκτη αναρροφήσεως στην έξοδο του ατμοποιητή προς την είσοδο. Η εκτονωτική βαλβίδα παρακάμπτει από μία γραμμή που περιλαμβάνει μια ανεπίστροφη βαλβίδα. Το υγρό ψυκτικό μέσο που σχηματίζεται στον ατμοποιητή επιστρέφει στο συλλέκτη. Το αέριο για την αποχώνωση δημι-

ουργείται στο συλλέκτη υγρού, ο οποίος θερμαίνεται με μία ηλεκτρική αντίσταση. Η λειτουργία του συστήματος αποχώνωσης με **αντιστροφή ροής θερμού αερίου**, παρουσιάζεται στο σχήμα 7.3in. Κατά την κανονική λειτουργία, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού είναι ανοικτή και η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αποχώνωσης κλειστή. Η τρίοδη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κλείνει τη γραμμή παρακάμψεως, ώστε το αέριο μετά το συμπιεστή να οδηγείται προς το συμπυκνωτή και το συλλέκτη. Για την αποχώνωση κλείνει η βαλβίδα ροής του υγρού, ανοίγει η βαλβίδα αποχώνωσης, ενώ η τρίοδη οδηγεί το αέριο στη γραμμή παρακάμψεως, ώστε να αντιστραφεί η κυκλοφορία. Ο συμπυκνωτής παρακάμπεται και η συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται στον ατμοποιητή, ο οποίος θερμαίνεται. Η εκτονωτική βαλβίδα παρακάμπτει από μια γραμμή που έχει μια ανεπίστροφη βαλβίδα. Η εντολή πάυσεως της αποχώνωσης δίνεται από ένα θερμοστάτη



Σχ. 7.3in.

Αποχώνωση με αντιστροφή ροής του ψυκτικού μέσου.
 (α) Κανονική λειτουργία ψύξεως, (β) λειτουργία αποχώνωσης.

που είναι τοποθετημένος στον ατμοποιητή. Το σύστημα αντιστροφής της ροής στον ατμοποιητή υλοποιείται ευκολότερα όταν υπάρχουν πολλοί ατμοποιητές με κοινό συμπιεστή, συμπυκνωτή και συλλέκτη υγρού. Μια τέτοια εγκατάσταση παρουσιάζεται στο σχήμα 7.3ιθ. Η εγκατάσταση αυτή περιλαμβάνει τρεις ατμοποιητές, εκ των οποίων ο ένας βρίσκεται σε φάση αποχιόνωσης. Η ροή του ψυκτικού μέσου ρυθμίζεται από ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, έτσι ώστε οι ατμοποιητές να υφίστανται αποχιόνωση εκ περιτροπής, ένας κάθε φορά. Το υγρό που παράγεται από τη συμπύκνωση του ατμού στον ατμοποιητή κατά την αποχιόνωση, διέρχεται από την ανεπίστροφη βαλβίδα στην παράλληλη γραμμή, στην είσοδο του ατμοποιητή και τροφοδοτεί στους υπόλοιπους ατμοποιητές.

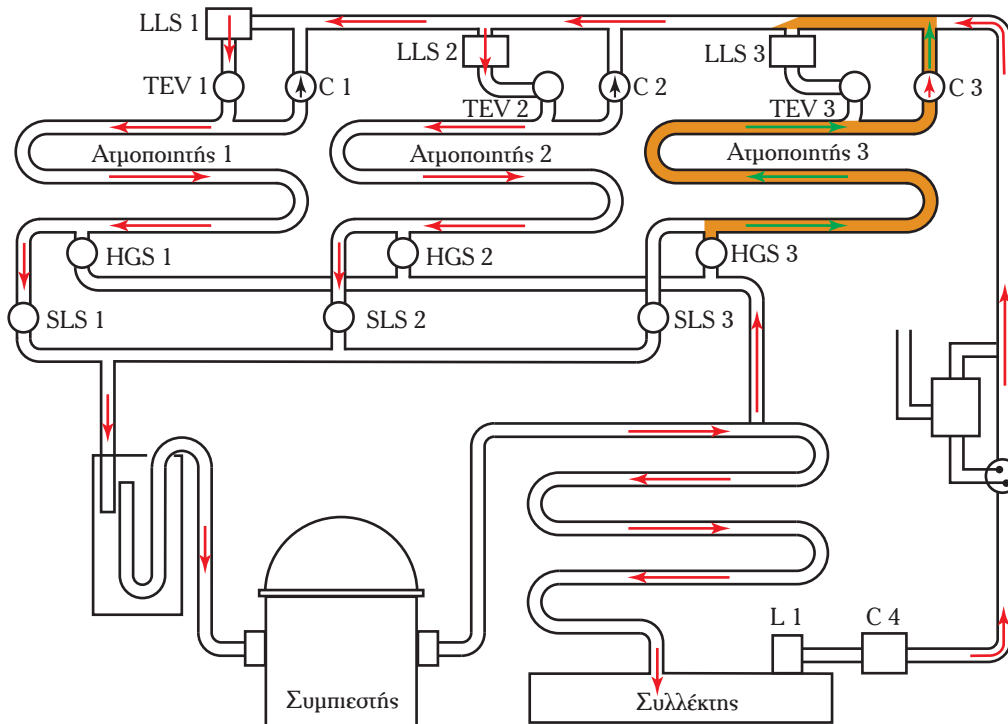
γ) Αποχιόνωση με λειτουργία σε αντίστροφο κύκλο.

Κατά την αποχιόνωση με λειτουργία σε αντίστροφο κύκλο, ο ατμοποιητής λειτουργεί ως συμπυκνω-

τής, οπότε θερμαίνεται, με αποτέλεσμα το λιώσιμο του πάγου. Η διαδικασία αντιστροφής του ψυκτικού κύκλου εφαρμόζεται κυρίως σε κλιματιστικές μηχανές, οι οποίες μ' αυτόν τον τρόπο χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρων. Η αντιστροφή της ροής γίνεται μέσω μιας τετράοδης βαλβίδας, η λειτουργία της οποίας περιγράφεται στο Κεφάλαιο 12.

δ) Αποχιόνωση με παροχή θερμού διαλύματος.

Η αποχιόνωση με παροχή θερμού διαλύματος πραγματοποιείται με την κράτηση του συμπιεστή και τη διακοπή της παροχής υγρού στον ατμοποιητή, ενώ ταυτόχρονα αρχίζει η ροή ενός θερμού διαλύματος συνήθως γλυκόλης. Το διάλυμα ρέει εσωτερικά των αγωγών ροής του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή και διατηρείται ζεστό σε μία δεξαμενή με ηλεκτρικές αντιστάσεις (σχ. 7.3κ). Για την αποχιόνωση κλείνει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ροής του υγρού ψυκτικού μέσου και ανοίγει η αντλία κυκλοφορίας του θερμού διαλύματος. Το θερμό διάλυμα ρέει πρώτα προς το σωλήνα απορροής για να λιώσει ο πάγος,



LLS – Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού
 HGS – Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα θερμού αερίου
 SLS – Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αναρροφήσεως
 C – Ανεπίστροφη βαλβίδα

Σχ. 7.3ιθ.

Αποχιόνωση πολλαπλών ατμοποιητών με αντιστροφή ροής του ψυκτικού μέσου.

που έχει σχηματιστεί εκεί, και έπειτα οδηγείται στις σωληνώσεις του ατμοποιητή. Επειδή ο πάγος έχει σχηματιστεί έξω από τους σωλήνες του ατμοποιητή και ο ομοαξονικός σωλήνας θερμού υγρού δεν εφάπτεται καλά προς το σωλήνα του ψυκτικού μέσου, η μετάδοση θερμότητας δεν είναι τόσο καλή.

ε) Αποχιόνωση με ψεκασμό νερού εξωτερικά των πτερυγίων.

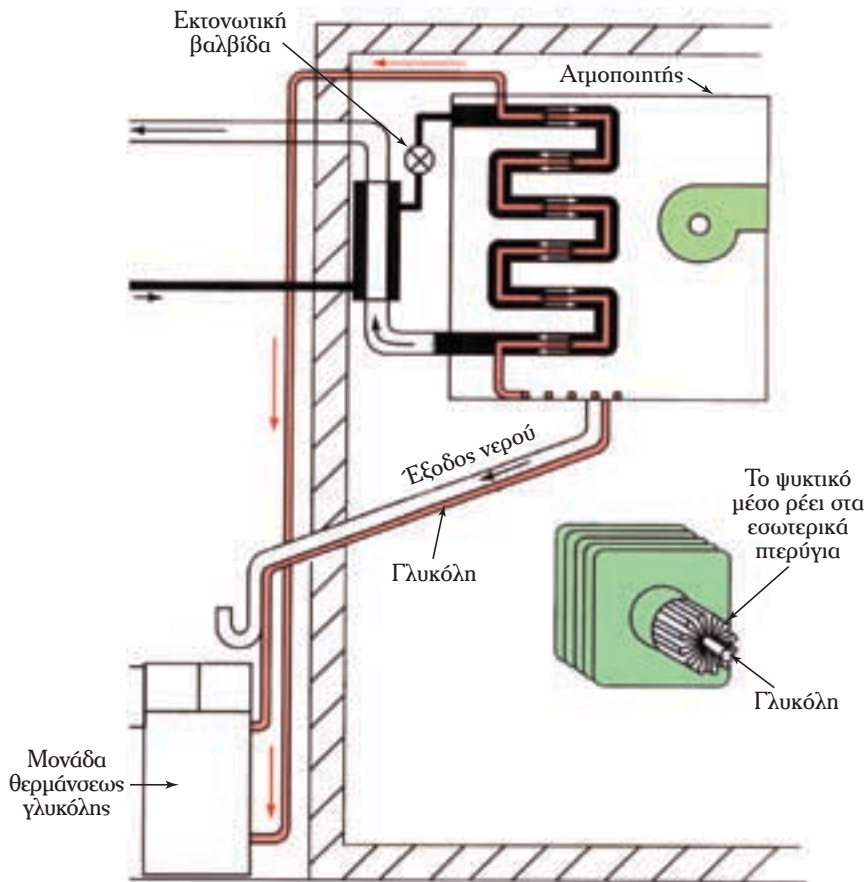
Για την αποχιόνωση με ψεκασμό νερού, κλείνουν τα διαφράγματα και απομονώνεται ο ατμοποιητής από τον ψυχρό αέρα του θαλάμου. Η ροή του υγρού ψυκτικού μέσου προς τον ατμοποιητή σταματάει από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Στη συνέχεια, πάνω στα πτερύγια ψεκάζεται νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, το οποίο προκαλεί το λιώσιμο του πάγου και την απομάκρυνσή του. Η λειτουργία του συστήματος μπορεί να είναι χειροκίνητη ή αυτόματα ελεγχόμενη από ένα χρονοδιακόπτη. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η ταχεία αποχιόνωση και ο ταυτόχρονος καθαρισμός των πτερυγίων, ενώ το μειονέκτημά της είναι η κατανάλωση νερού.

7.4 Ατμοποιητές ψύξεως υγρών.

Οι ατμοποιητές ψύξεως υγρών κατασκευάζονται σε ποικίλα σχέδια ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Το υγρό που ψύχεται, ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να είναι νερό για εγκαταστάσεις κλιματισμού, άλμη για εγκαταστάσεις βιομηχανικής ψύξεως ή κάποιο άλλο υγρό για βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές παραγωγής τροφίμων.

Οι ατμοποιητές ψύξεως υγρών έχουν το πλεονέκτημα του αυξημένου συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας, λόγω της ευκολότερης μεταδόσεως θερμότητας στα υγρά. Σχετικές τιμές μπορούν να παρθούν από τον πίνακα 7.4.1.

Κατά τη σχεδίαση των ατμοποιητών ψύξεως υγρών, λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες για επαρκείς επιφάνειες μεταδόσεως θερμότητας, για την ασφαλή επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή, η ρύπανση των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας κατά τη λειτουργία και τέλος οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, όπως η απαιτού-



Σχ. 7.3κ.

Αποχιόνωση με ροή θερμού διαλύματος σε ατμοποιητή με σωλήνες.

μενη ποσότητα ψυκτικού μέσου. Για την ικανοποίηση των παραπάνω αναγκών, οι ατμοποιητές ψύξεως υγρών μπορεί να είναι ξηρής εκτονώσεως ή υγρής ατμοποιήσεως. Οι κυριότεροι τύποι είναι οι εξής:

α) Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με ομοαξονικούς αγωγούς.

β) Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με δοχείο αναδεύσεως.

γ) Ατμοποιητές ψύξεως υγρών κελύφους-σπείρας.

δ) Ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως, ψύξεως υγρών με καταιονισμό (Baudelot).

ε) Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με πλάκες και

στ) ατμοποιητές ψύξεως υγρών κελύφους-αυλών.

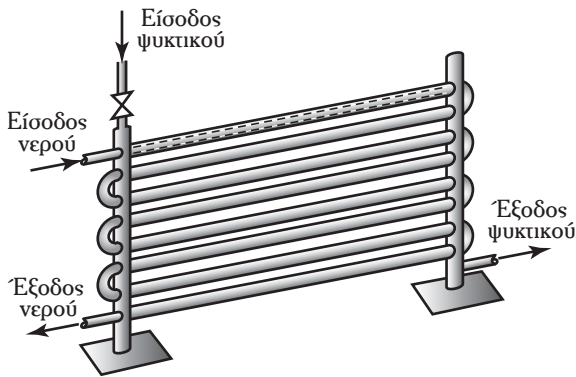
Οι διαφορετικοί τύποι ατμοποιητών ψύξεως υγρών έχουν πεδία εφαρμογών, ανάλογα με τη λειτουργία τους ως ξηρής ή ως υγρής ατμοποιήσεως, ενώ η ροή του ψυκτικού μέσου ελέγχεται από διαφορετικούς τύπους εκτονωτικών διατάξεων, όπως φαίνεται στον πίνακα 7.4.2.

Πίνακας 7.4.1
Τιμές συντελεστή μεταφοράς θερμότητας K για ατμοποιητές ψύξεως άλμης.

Ταχύτητα κυκλοφορίας άλμης (ft./min.)	Διαφορά θερμοκρασίας εισερχόμενης άλμης-ψυκτικού μέσου				
	6	8	10	A12	15
	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, K (Btu/ft ² /hr./°F)				
150	67	76	83	90	97
200	83	95	103	110	118
250	97	109	115	122	129
300	103	115	123	130	138

Πίνακας 7.4.2
Τύποι ατμοποιητών ψύξεως υγρών και εφαρμογές τους.

Τύπος ψύκτη	Τύπος εκτονωτικής διατάξεως	Συνήθης ψυκτική ισχύς εγκαταστάσεως (kW)	Συνήθη ψυκτικά μέσα
Κελύφους-σωλήνων (χωρίς περυσία), υγρής ατμοποιήσεως	Βαλβίδα με πλωτήρα, χαμηλής πίεσεως	175-1750	R-717
Κελύφους-σωλήνων (με περυσία), υγρής ατμοποιήσεως	Βαλβίδα με πλωτήρα, χαμηλής ή υψηλής πίεσεως	175-35.000	R-11, 12, 22, 113, 114, 134a, 500, 502
Κελύφους-σωλήνων (με ψεκασμό), υγρής ατμοποιήσεως	Βαλβίδα με πλωτήρα, χαμηλής ή υψηλής πίεσεως	350-1750	R-11, 12, 13B1, 22, 113, 114, 134a
Κελύφους-σωλήνων (χωρίς περυσία), ξηρής εκτονώσεως	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα	17,5-1250	R-12, 22, 134a, 500, 502, 717
Καταιονισμού (Baudelot), υγρής ατμοποιήσεως	Βαλβίδα με πλωτήρα, χαμηλής πίεσεως	35-350	R-717
Καταιονισμού (Baudelot), ξηρής εκτονώσεως	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα	17,5-85	R-12, 22, 134a, 717
Ομοαξονικών σωλήνων, υγρής ατμοποιήσεως	Βαλβίδα με πλωτήρα, χαμηλής πίεσεως	35-85	R-717
Ομοαξονικών σωλήνων, ξηρής εκτονώσεως	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα	17,5-85	R-12, 22, 134a, 717
Κελύφους-σπείρας	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα	7-35	R-12, 22, 134a, 717
Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με δοχείο αναδεύσεως, υγρής ατμοποιήσεως	Βαλβίδα με πλωτήρα, χαμηλής πίεσεως	175-700	R-717



Σχ. 7.4α.

Ατμοποιητής ψύξεως υγρών με ομοαξονικούς αγωγούς.

Δεδομένου ότι η εφαρμογή των ατμοποιητών ψύξεως υγρών στα πλοία περιορίζεται στους ψύκτες νερού σε κεντρικά συστήματα κλιματισμού, η λεπτομερής ανάλυση των ατμοποιητών ψύξεως υγρών ενδιαφέρει μόνο εφαρμογές βιομηχανικής ψύξεως.

7.4.1 Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με ομοαξονικούς αγωγούς (σχ. 7.4α).

Οι ατμοποιητές αυτοί αποτελούνται από μια σειρά ομοαξονικών αγωγών. Στους εσωτερικούς αγωγούς ρέει το υγρό που ψύχεται, ενώ το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στους εξωτερικούς αγωγούς. Η ροή του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με τη βαρύτητα από τον ένα σωλήνα στον άλλο, ενώ η ροή του υγρού αναστρέφεται με εξαρτήματα U. Τα δύο ρευστά για καλύτερη μετάδοση θερμότητας, έχουν αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή ρέουν σε αντιροή. Οι εξωτερικοί αγωγοί που περιέχουν το ψυκτικό μέσο συνήθως είναι μονωμένοι για να μην απορροφούν θερμότητα από το περιβάλλον. Οι ατμοποιητές αυτοί μπορεί να είναι ξηρού ή υγρού τύπου.

7.4.2 Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με δοχείο αναδεύσεως.

Τα κύρια τμήματα των ατμοποιητών με δοχείο αναδεύσεως είναι μια δεξαμενή, η οποία περιέχει το υγρό που ψύχεται και μια σωλήνωση, όπου πραγματοποιείται η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου. Οι εμβραπτισμένοι ατμοποιητές χρησιμοποιούνται για ψύξη νερού και άλμυς και κατασκευάζονται σε πολλές μορφές, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Διαφορετικές σχεδιάσεις των ατμοποιητών αυτού του τύπου φαίνονται στο σχήμα 7.4β. Οι ατμοποιητές δοχείου αναδεύσεως μπορεί να είναι ξηρής εκτονώσεως ή υγρού τύπου. Στο σχή-

μα 7.4β (α), (β) φαίνονται δύο ατμοποιητές δοχείου αναδεύσεως υγρού τύπου, όπου το ψυκτικό μέσο αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή και από εκεί τροφοδοτεί τους σωλήνες που βρίσκονται μέσα στη δεξαμενή του υγρού. Με την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου, δημιουργούνται φυσαλλίδες ατμού οι οποίες, καθώς φεύγουν προς τα πάνω προκαλούν την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου. Ο ατμός συλλέγεται στην πάνω πλευρά του δοχείου αποθηκεύσεως του ψυκτικού μέσου και οδηγείται στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Το ψυκτικό μέσο συμπληρώνεται από μια βαλβίδα που ελέγχεται από έναν πλωτήρα, ώστε η στάθμη του στο δοχείο να παραμένει σταθερή. Καθώς το ψυκτικό μέσο δεν ατμοποιείται πλήρως στους βυθισμένους σωλήνες, οι ατμοί που δημιουργούνται στους σωλήνες του ατμοποιητή συμπαρασύρουν μια ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο στη συνέχεια πέφτει στη δεξαμενή υγρού και ανακυκλοφορεί.

Η ανακυκλοφορία ορίζεται ως ο λόγος της παροχής στην έξοδο των αγωγών υγρού προς την παροχή στην είσοδο του ατμοποιητή και εξαρτάται από το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο, είναι:

α) Για αμμωνία με κυκλοφορία από πάνω προς τα κάτω (μεγάλη διάμετρος αυλών): 6-7.

β) Για αμμωνία με κυκλοφορία από κάτω προς τα πάνω (μικρή διάμετρος αυλών): 2-4.

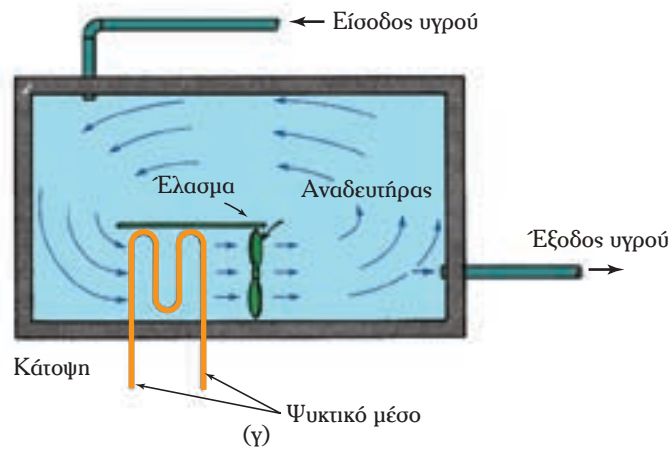
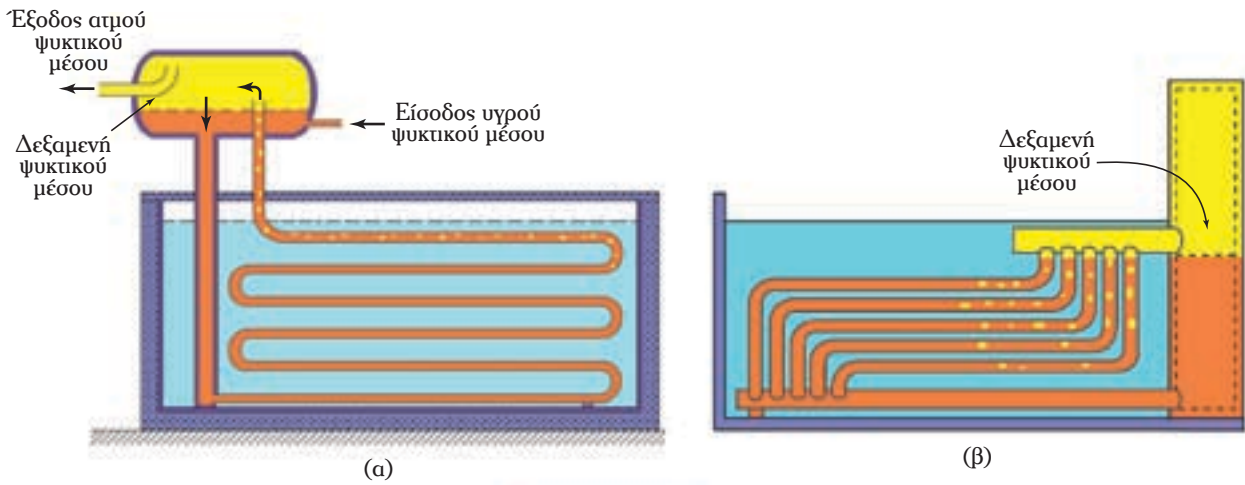
γ) Για ψυκτικό μέσο R-22: 3.

δ) Για ψυκτικό μέσο R-134a: 2.

Στο σχήμα 7.4β(γ) εικονίζεται ένας ατμοποιητής δοχείου αναδεύσεως, όπου για την καλύτερη μετάδοση θερμότητας υπάρχει ένας αναδευτήρας και ένα έλασμα που κατευθύνει τη ροή και δημιουργεί κυκλοφορία του υγρού στη δεξαμενή.

7.4.3 Ατμοποιητές ψύξεως υγρών κελύφους-σπείρας.

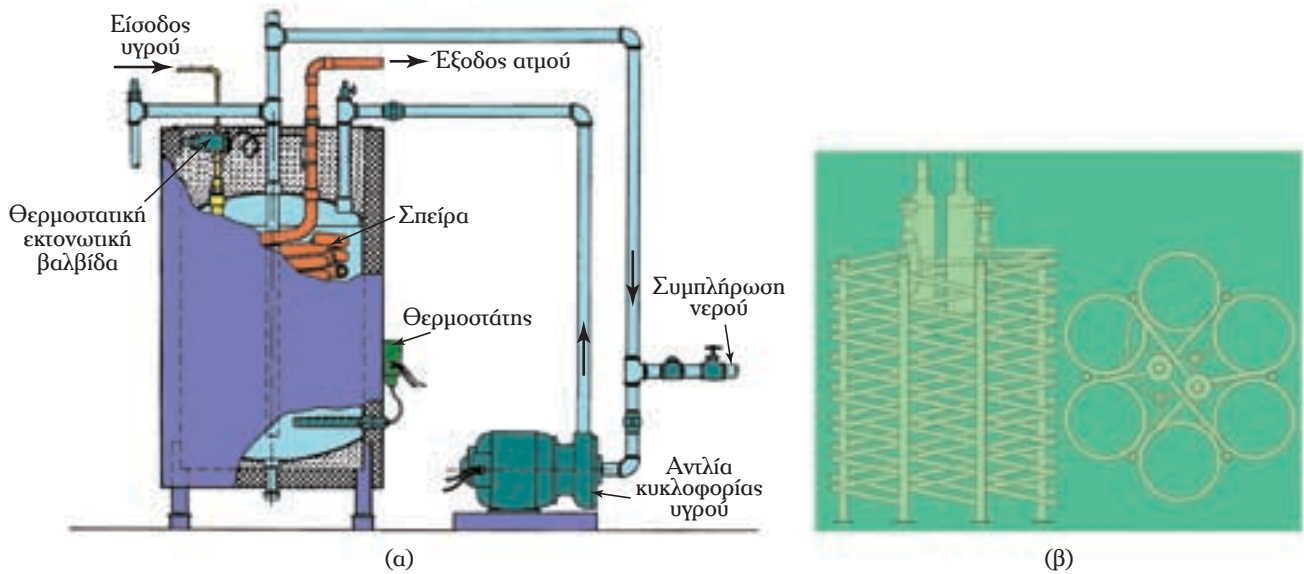
Μια ειδική μορφή των εμβραπτισμένων ατμοποιητών είναι οι ατμοποιητές κελύφους-σπείρας, στους οποίους το ψυκτικό μέσο ρέει μέσα σε αγωγούς που έχουν τη μορφή σπείρας (σχ. 7.4γ). Οι σπείρες μπορεί να είναι χωρισμένες σε τμήματα ροής, ώστε να υπάρχει έλεγχος της ισχύος και βέλτιστη κατανομή θερμότητας στον όγκο της δεξαμενής. Συνήθως, οι ατμοποιητές κελύφους-σπείρας είναι ξηρής εκτονώσεως και χρησιμοποιούνται σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις. Στην περίπτωση που οι ατμοποιητές κελύφους-σπείρας είναι υγρού τύπου, το ψυκτικό μέσο τροφοδοτείται στον κύλινδρο και το υγρό που



Σχ. 7.4β.

Αιμοποπιές ψύξεως υγρών με δοχείο αναδέυσεως.

(α), (β) Υγρού τύπου φυσικής κυκλοφορίας και (γ) υγρού τύπου με αναδευτήρα.



Σχ. 7.4γ.

(α) Εμβαπτιόμενος αιμοποπιές ψύξεως υγρών τύπου κελύφους-σπείρας.

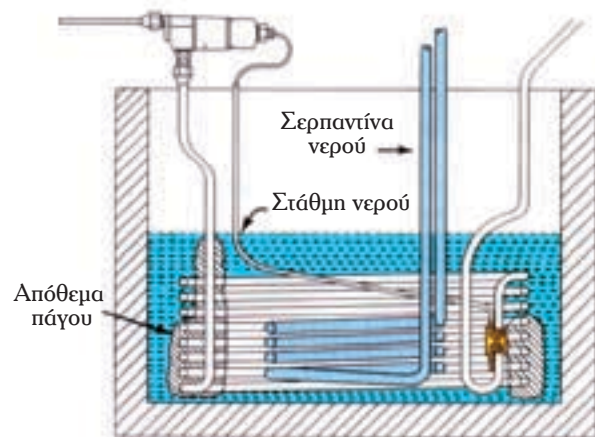
(β) Μορφή σπείρας κυκλοφορίας ψυκτικού μέσου.

ψύχεται κυκλοφορεί στη σπειροειδή σωλήνωση. Ο σχηματισμός πάγου ελέγχεται από μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, αν και ο κίνδυνος σχηματισμού πάγου είναι ένα από τα μειονεκτήματα της σχεδίασεως. Γι' αυτόν το λόγο οι ατμοποιητές κελύφους-σπείρας χρησιμοποιούνται όταν η θερμοκρασία του υγρού που ψύχεται είναι μεγαλύτερη από 3 °C. Συνηθέστερα εφαρμόζονται σε ψύκτες νερού και αναψυκτικών, όπως ο ατμοποιητής στο σχήμα 7.4δ, ο οποίος χρησιμοποιείται σε ψύκτες πόσιμου νερού.

Η συσσώρευση πάγου στη δεξαμενή, είναι επιθυμητή για να υπάρχει ανταπόκριση του ψύκτη σε αυξημένη ροή πόσιμου νερού και ελέγχεται από μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα. Το πόσιμο νερό βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση και ψύχεται σε μία δευτερεύουσα σπείρα, που είναι εμβαπτισμένη στο παγωμένο νερό της δεξαμενής, και κυκλοφορεί χωρίς να αποθηκεύεται.

7.4.4 Ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως, ψύξεως υγρών με καταιονισμό (Baudelot).

Στους ατμοποιητές καταιονισμού, το υγρό που ψύχεται ψεκάζεται πάνω από μια ψυχρή μεταλλική επιφάνεια και συλλέγεται στην κάτω πλευρά του ατμοποιητή σε μια λεκάνη. Η μεταλλική επιφάνεια είναι η εξωτερική πλευρά ενός ατμοποιητή ξηρής εκτονώσεως και μπορεί να αποτελείται από σωλήνες ή από ένα έλασμα (σχ. 7.4ε). Οι ατμοποιητές καταιονισμού χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων, όταν είναι επιθυμητός ο αερισμός κατά την ψύξη. Επίσης, λόγω της ταχύτητας του υγρού, μπορεί να επιτευχθεί θερμοκρασία κοντά στη θερμοκρασία



Σχ. 7.4δ.

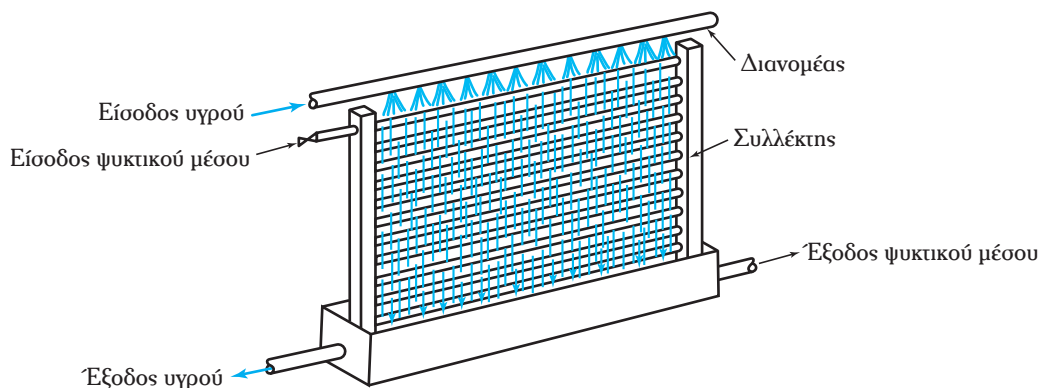
Εμβαπτισμένος ατμοποιητής τύπου κελύφους-σπείρας σε ψύκτη πόσιμου νερού.

τήξεως, χωρίς τον κίνδυνο σχηματισμού πάγου.

7.4.5 Ατμοποιητές ψύξεως υγρών με πλάκες.

Οι ατμοποιητές αυτοί αποτελούνται από πλάκες που τοποθετούνται διαδοχικά και είναι παρόμοιας κατασκευής με τους πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας. Οι πλάκες έχουν αυλάκια, τοποθετούνται διαδοχικά και στεγανοποιούνται με παρεμβύσματα περιμετρικά (σχ. 7.4στ). Στα αυλάκια σχηματίζονται αγωγοί, στους οποίους τα δύο ρευστά τρέχουν σε αντιρροή. Λόγω της καλής τους θερμικής αγωγιμότητας, οι ατμοποιητές με πλάκες χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει διαθέσιμη μικρή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του υγρού που ψύχεται και του ψυκτικού μέσου που ατμοποιείται.

Συνήθως χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που



Σχ. 7.4ε.

Ατμοποιητής ξηρής εκτονώσεως, για ψύξη υγρών με καταιονισμό (Baudelot).

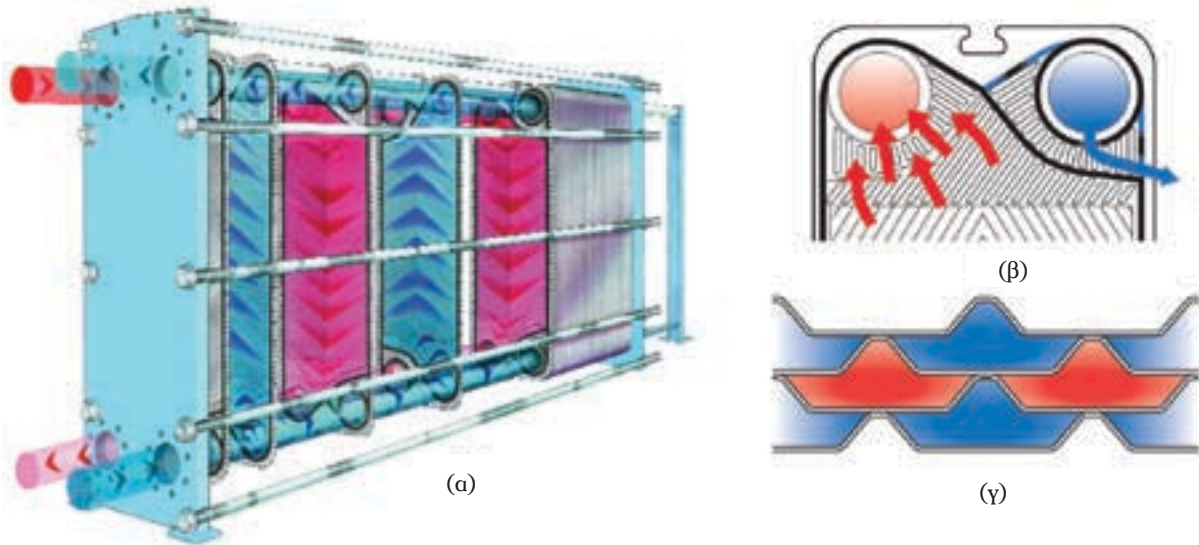
επιτυγχάνεται είναι υψηλός, της τάξεως των 4500 W/m²K για αμμωνία και 3000 W/m²K για αλογονούχα ψυκτικά μέσα. Επίσης, μπορούν να αποσυαρμολογηθούν και να καθαριστούν, ενώ δεν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ψυκτικού μέσου. Η αποσυαρμολόγηση και η εκ νέου συαρμολόγηση απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να επιτευχθεί και πάλι στεγανότητα διότι έχουν πολλά πολλά σημεία συαρμολογής.

7.4.6 Ατμοποιητές ψύξεως υγρών κελύφους-αυλών.

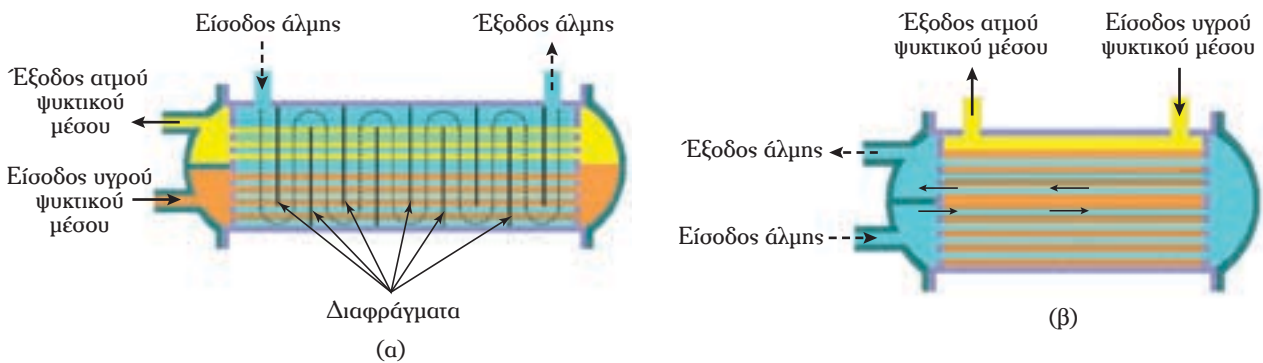
Οι ατμοποιητές κελύφους-αυλών έχουν παρόμοια κατασκευή με τους αντίστοιχους συμπυκνωτές (παράγρ. 6.2.1). Έχουν καλή απόδοση και απαιτούν μικρό χώρο εγκατάστασης. Επίσης, είναι εύκολο να καθαριστούν και να συντηρηθούν και γι' αυτόν

το λόγο χρησιμοποιούνται σε μεσαίες και μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις. Αποτελούνται από ένα κυλινδρικό κέλυφος, μέσα στο οποίο υπάρχουν ευθείς αυλοί. Το κέλυφος έχει διάμετρο από 150 mm έως 1,5 m. Οι αυλοί μπορούν να είναι από 50 μέχρι μερικές εκατοντάδες και να έχουν μήκος από 1,5 m έως 6 m. Επίσης, μπορεί να είναι εξωτερικά λεία ή να έχουν περύγια για αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας. Για τη χρήση αμμωνίας ως ψυκτικό μέσο απαιτούνται χαλύβδινοι αυλοί, ενώ για τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα χάλκινοι.

Οι ατμοποιητές κελύφους-αυλών μπορούν να λειτουργούν ως ξηρή ή ως υγρή ατμοποίησης. Στους ατμοποιητές ξηρής εκτονώσεως [σχ. 7.4ζ(α)] το ψυκτικό μέσο ρέει στους αυλούς και το υγρό ρέει περιμετρικά. Η διαδρομή του υγρού στο κέλυφος γίνεται με αναστροφές, λόγω των διαφραγμάτων



Σχ. 7.4στ.
(α) Ατμοποιητής ψύξεως υγρών με πλάκες, (β) ροή ρευστών και (γ) τομή αυλάκων ροής.



Σχ. 7.4ζ.
Ατμοποιητές ψύξεως υγρών κελύφους-αυλών: (α) Ξηρής εκτονώσεως, (β) υγρής ατμοποίησης.

**Σχ. 7.4η.**

Ατμοποιητής ψύξεως υγρών κελύφους-αυλών ξηρής εκτονώσεως σε τομή.

που υπάρχουν σ' αυτό και είναι τοποθετημένα κάθετα στη ροή. Οι ατμοποιητές κελύφους-αυλών ξηρής εκτονώσεως χρησιμοποιούνται σε μικρότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις με ισχύ από 2 RT έως 350 RT. Στους υγρούς ατμοποιητές κελύφους-αυλών, οι οποίοι κατασκευάζονται για ψυκτική ισχύ από 10 RT και άνω, το ψυκτικό μέσο πλημμυρίζει το χώρο στο κέλυφος και το υγρό που ψύχεται ρέει μέσα στους αυλούς [σχ. 7.4ζ(β)].

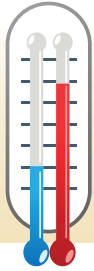
Στο σχήμα 7.4η φαίνεται ένας ατμοποιητής κελύφους-αυλών ξηρής εκτονώσεως σε τομή.

**Σχ. 7.5.**

Ψύκτης αέρα για εγκατάσταση οροφής.

7.5 Ψύκτες αέρα.

Οι ψύκτες αέρα χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως. Σ' αυτούς, η ψύξη του αέρα του θαλάμου γίνεται από άλμη ή από γλυκόλη. Έχουν κατασκευή παρόμοια μ' αυτήν των ατμοποιητών ψύξεως αέρα, με τη διαφορά ότι στις σωληνώσεις τους δεν ρέει ψυκτικό μέσο, αλλά άλμη. Περιλαμβάνουν σύστημα αποχιονώσεως, το οποίο αποτελείται από ηλεκτρικές αντιστάσεις ή από σωλήνες κυκλοφορίας θερμού διαλύματος. Στο σχήμα 7.5 εικονίζεται ένας τύπος ψύκτη αέρα για εγκατάσταση οροφής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Εκτονωτικές διατάξεις

8.1 Σκοπός εκτονωτικής βαλβίδας – Είδη βαλβίδων – Λειτουργία εγκαταστάσεως με κύκλο κενού (pump down cycle).

Η εκτονωτική διάταξη μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως πραγματοποιεί δύο **βασικές λειτουργίες**:

α) Ελαττώνει την πίεση από την υψηλή πίεση συμπυκνώσεως προς τη χαμηλή πίεση ατμοποίησης. Έτσι το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση, ενώ συμπυκνώνεται σε υψηλή και ψύχει το μέσο από τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως στη θερμοκρασία ατμοποίησης.

β) Ρυθμίζει την παροχή του ψυκτικού μέσου από την υψηλή πίεση, ώστε να ισούται με την παροχή μάζας που διακινεί ο συμπιεστής. Η λανθασμένη ρύθμιση της παροχής του ψυκτικού μέσου έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση του ψυκτικού μέσου είτε στην περιοχή της υψηλής πιέσεως της εγκαταστάσεως, συνήθως στο συλλέκτη υγρού, είτε στην πλευρά της χαμηλής πιέσεως στον ατμοποιητή και στο σωλήνα αναρροφήσεως.

Οι διαφορετικοί **τύποι εκτονωτικών** διατάξεων είναι οι εξής:

- α) Ο τριχοειδής αγωγός.
- β) Η χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα.
- γ) Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα (πιεζοστατική).
- δ) Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα.
- ε) Η θερμοηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα.
- στ) Η ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα.
- ζ) Η εκτονωτική βαλβίδα χαμηλής πιέσεως με πλωτήρα και
η) η εκτονωτική βαλβίδα υψηλής πιέσεως με πλωτήρα.

Οι περισσότερες ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις με παλινδρομικούς συμπιεστές, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που είναι εγκατεστημένες σ' ένα πλοίο, λειτουργούν με μια μέθοδο ελέγχου που ονομάζεται **κύκλος κενού** (pump-down cycle) παρότι δεν υπάρχει κενό στην εγκατάσταση (ατμοποιητή). Η θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου ή

του κλιματιζόμενου χώρου παρακολουθείται από ένα θερμοστάτη, ο οποίος επενεργεί σε μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα με την οποία επιτρέπεται ή απομονώνεται η ροή του ψυκτικού μέσου. Με το θερμοστάτη και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού, ελέγχεται η ροή του υγρού ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη προς την εκτονωτική βαλβίδα, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία του χώρου ανέβει πάνω από μία προδιαγεγραμμένη τιμή, ο θερμοστάτης ανοίγει τη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, η οποία επιτρέπει τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου προς την εκτονωτική βαλβίδα και τον ατμοποιητή. Όταν η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από μια τιμή, ο θερμοστάτης κλείνει τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου. Η εκκίνηση και η κράτηση του συμπιεστή ελέγχεται από έναν πιεζοστατικό διακόπτη χαμηλής πιέσεως, ο οποίος είναι τοποθετημένος στη γραμμή αναρροφήσεως. Όταν αυξηθεί η πίεση των ατμών στη γραμμή αναρροφήσεως, ο συμπιεστής ξεκινά, ενώ όταν ελαττωθεί ο συμπιεστής κρατείται.

Μία απλή ψυκτική εγκατάσταση που λειτουργεί με κύκλο κενού παρουσιάζεται στο σχήμα 8.1. Η λειτουργία της εγκαταστάσεως ξεκινάει όταν ανέβει η θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου και δώσει εντολή ο θερμοστάτης χώρου. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα του υγρού ενεργοποιείται και ανοίγει τη δίοδο του υγρού ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη προς την εκτονωτική βαλβίδα. Το υγρό στη συνέχεια ρέει προς τον ατμοποιητή, όπου και ατμοποιείται. Με τη συνεχιζόμενη ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου, αυξάνεται η πίεση στον ατμοποιητή και στο σωλήνα αναρροφήσεως. Ο πιεζοστάτης χαμηλής πιέσεως κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα και ο συμπιεστής ξεκινάει τη λειτουργία του. Στη φάση αυτή, η ψυκτική εγκατάσταση παραμένει σε συνεχή λειτουργία και η θερμότητα συνεχίζει να απάγεται από τον ψυκτικό θάλαμο. Με τη συνεχιζόμενη ψύξη, η θερμοκρασία του χώρου σταδιακά μειώνεται, οπότε όταν φτάσει τη θερμοκρασία κρατήσεως, ο θερμοστάτης χώρου απενεργοποιεί την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα του

υγρού. Η ροή του υγρού προς την εκτονωτική βαλβίδα και τον ατμοποιητή διακόπεται, ενώ ο συμπιεστής συνεχίζει να λειτουργεί. Λόγω της συνεχιζόμενης λειτουργίας του συμπιεστή, η πίεση των ατμών στην αναρρόφηση μειώνεται μέχρι την πίεση, στην οποία ο πιεζοστάτης χαμηλής πίεσης να δώσει την εντολή για κράτηση του συμπιεστή. Το ψυκτικό μέσο έχει απαντηθεί από τον ατμοποιητή, όπου έχει πέσει η πίεση και έχει σταματήσει η παραγωγή ψύχους. Με τη θερμότητα που εισέρχεται στο χώρο, η θερμοκρασία του χώρου σταδιακά αρχίζει να αυξάνεται, μέχρι την επανέναρξη του κύκλου λειτουργίας.

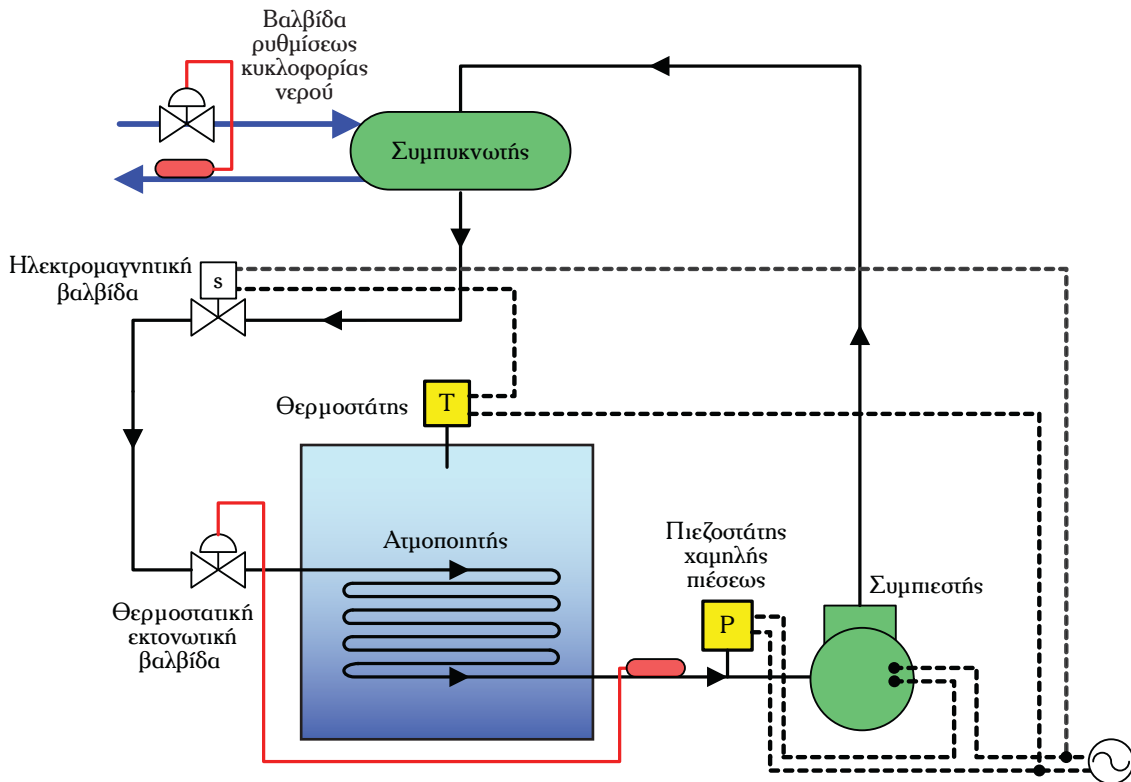
Η λειτουργία της εγκατάστασης σε κύκλο κενού, λόγω της λειτουργίας με χαμηλή πίεση στο τέλος του κύκλου ψύξεως, προλαμβάνει τη συσσώρευση του ψυκτικού μέσου στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή και την απορρόφησή του από το λάδι λιπάνσεως. Έτσι, κατά την εκκίνηση λειτουργίας του συμπιεστή μειώνεται η πιθανότητα δημιουργίας αφρού από τον απότομο διαχωρισμό του ψυκτικού μέσου και η πιθανότητα υδραυλικής κρούσεως κατά τη συμπίεση. Η κατανόηση της λειτουργίας και των αυτοματισμών που εμπλέκονται σε έναν κύκλο κενού είναι βασική για την επίλυση των προβλημάτων και των βλαβών

που εμφανίζονται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις. Βασικό εξάρτημα κατά τη λειτουργία μιας εγκατάστασης με κύκλο κενού αποτελεί η εκτονωτική διάταξη, μέσω της οποίας ρυθμίζεται η παροχή του ψυκτικού μέσου από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μέχρι τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσης.

8.2 Τριχοειδής αγωγός.

Ο τριχοειδής αγωγός χρησιμοποιείται ως εκτονωτική διάταξη σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπως οικιακά ψυγεία, ψύκτες νερού και μικρά κλιματιστικά. Οι εγκαταστάσεις αυτές συνήθως περιλαμβάνουν ένα μικρό ερμητικό παλινδρομικό συμπιεστή και έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή και είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να καταλαμβάνουν μικρό χώρο και να έχουν μικρές απαιτήσεις συντηρήσεως. Με τη χρήση ερμητικού συμπιεστή μειώνεται η πιθανότητα διαρροής του ψυκτικού μέσου και απλοποιείται το σύστημα λιπάνσεως.

Ένας τριχοειδής αγωγός είναι ένας σωλήνας με μικρή διάμετρο, της τάξεως των 0,030–0,050 in (0,75–1,3 mm) και μήκος από 3–20 ft (0,9–6 m). Η εσωτερική διατομή του αγωγού μπορεί να είναι κυκλική, τετραγωνική ή τριγωνική έτσι ώστε να δημι-



Σχ. 8.1.

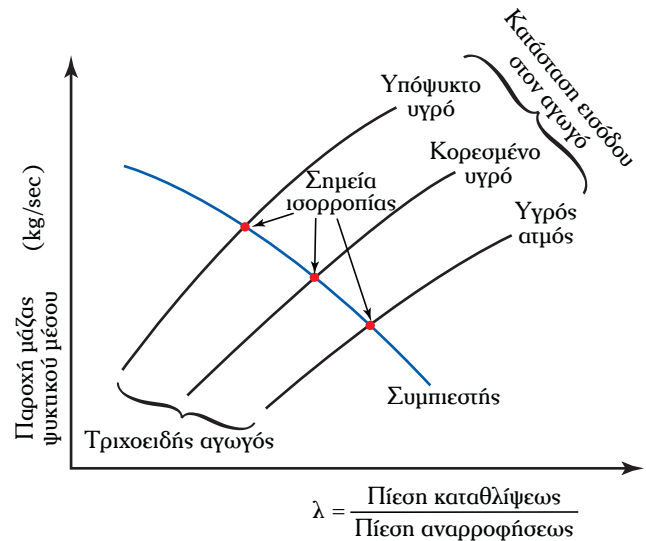
Ψυκτική εγκατάσταση που λειτουργεί με κύκλο κενού.

ουργούνται αυξημένες τριβές κατά τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου. Το μήκος εξαρτάται από τη θερμοκρασία ατμοποίησης που επιδιώκεται. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία αυτή, τόσο μακρύτερος είναι ο σωλήνας. Το υγρό ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον αγωγό, όπου λόγω της μικρής διαμέτρου έχει μεγάλη πτώση πίεσης. Ένα μέρος του υγρού, λόγω της πτώσης πίεσης κατά τη ροή ατμοποιείται. Η πτώση πίεσης καθορίζεται με την επιλογή κατάλληλου συνδυασμού διαμέτρου και μήκους του αγωγού και πρέπει να ισούται με τη διαφορά πιέσεων στην υψηλή και στη χαμηλή πλευρά της εγκατάστασης, ενώ υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί διαμέτρων και μηκών που έχουν ως αποτέλεσμα την ίδια πτώση πίεσης.

Κατά τη λειτουργία του τριχοειδούς αγωγού, η παροχή του ψυκτικού μέσου εξαρτάται από τη διαφορά των πιέσεων στις δύο πλευρές του και δεν υπάρχει καμμία δυνατότητα ρυθμίσεως. Γενικά, η παροχή μάζας μέσα από τριχοειδή αγωγό αυξάνεται όσο αυξάνεται ο λόγος συμπίεσης λ , ενώ εξαρτάται και από την κατάσταση του ψυκτικού μέσου (ατμός-υγρό). Αντίστοιχα, η παροχή μάζας του συμπιεστή μειώνεται με την αύξηση του λόγου συμπίεσης λ . Έτσι, κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης βρίσκεται ένα σημείο ισορροπίας (σχ. 8.2α). Ο λόγος συμπίεσης ρυθμίζεται αυτόματα, έτσι ώστε στο σημείο ισορροπίας, η παροχή του ψυκτικού μέσου από τον τριχοειδή αγωγό να είναι ίση με την παροχή από τον συμπιεστή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία διατηρήσεως σταθερής πίεσης ατμοποίησης, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα του τριχοειδούς αγωγού.

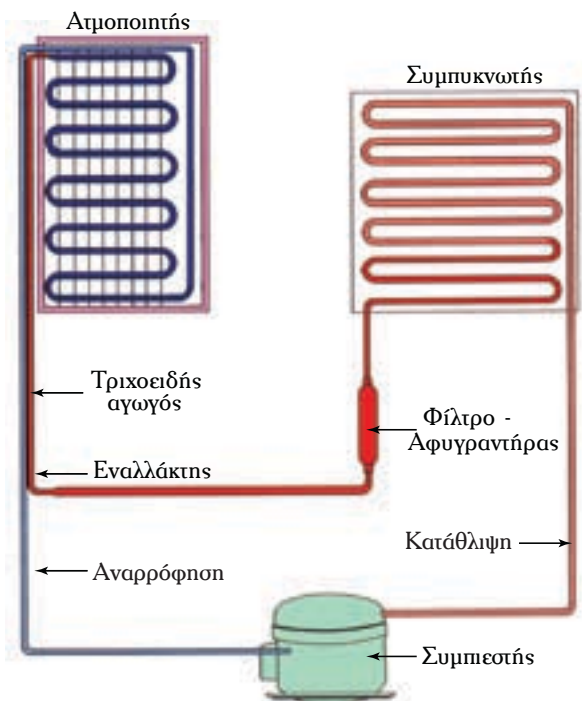
Κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης σε αυξημένο φορτίο αυξάνεται ο ρυθμός ατμοποίησης και η πίεση στον ατμοποιητή. Η αύξηση της πίεσης στον ατμοποιητή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαφοράς των πιέσεων στα άκρα του τριχοειδούς αγωγού και την ελάττωση της παροχής του ψυκτικού μέσου. Έτσι, σε αυξημένο φορτίο ο τριχοειδής αγωγός τείνει να μειώνει την παροχή του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή. Αντίθετα, σε μειωμένο ψυκτικό φορτίο μειώνεται ο ρυθμός ατμοποίησης και η πίεση στον ατμοποιητή, οπότε αυξάνεται η παροχή του ψυκτικού μέσου από τον τριχοειδή αγωγό. Γι' αυτούς τους λόγους ο τριχοειδής αγωγός δεν χρησιμοποιείται ως εκτονωτική διάταξη σε εγκαταστάσεις όπου αναμένονται μεγάλες αυξομειώσεις του ψυκτικού φορτίου. Αντίθετα, επειδή είναι φτηνή

κατασκευή έχει καθιερωθεί σε συσκευές που δεν έχουν μεγάλες αυξομειώσεις φορτίου και λόγω των μειωμένων απαιτήσεων συντηρήσεως, όπως τα οικιακά ψυγεία. Η εγκατάσταση ενός οικιακού ψυγείου παρουσιάζεται στο σχήμα 8.2β, όπου ο τριχοειδής αγωγός βρίσκεται σε επαφή με τον αγωγό αναρροφήσεως, ώστε να υποψύχεται το υγρό συμπύκνωμα



Σχ. 8.2α.

Λειτουργία τριχοειδούς αγωγού σε ισορροπία με την ικανότητα παροχής του συμπιεστή.



Σχ. 8.2β.

Ψυκτική συσκευή με τριχοειδή αγωγό.

καθώς εισέρχεται στον ατμοποιητή. Επί πλέον, πριν τον τριχοειδή αγωγό τοποθετείται ένα αφυγραντικό φίλτρο, ώστε να αποφευχθεί ο φραγμός από μικρά σωματίδια και ο παγοφραγμός από την υγρασία που κυκλοφορούν με το ψυκτικό μέσο.

Η σύνδεση του τριχοειδούς αγωγού με τις σωληνώσεις πραγματοποιείται είτε με σκληρή συγκόλληση στις μικρότερες εγκαταστάσεις, είτε με ειδικά εξαρτήματα (ρακόρ) (σχ. 8.2γ) στις μεγαλύτερες. Συνήθως, ο τριχοειδής αγωγός είναι συγκολλημένος με το σωλήνα αναρροφήσεως του συμπιεστή, ώστε ταυτόχρονα να λειτουργεί και ως εναλλάκτης υποψύξεως.

Κατά την κράτηση του συμπιεστή, το ψυκτικό μέσο διέρχεται από τον τριχοειδή αγωγό από την πλευρά της υψηλής πίεσεως προς τη χαμηλή. Η πίεση εξισώνεται στην εγκατάσταση, γεγονός που καθιστά την εκκίνηση του συμπιεστή ευκολότερη. Το ψυκτικό μέσο συσσωρεύεται στον ατμοποιητή, γεγονός που κάνει πιθανότερη την εισχώρησή του στον κύλινδρο κατά την επανεκκίνηση. Η εισχώρηση του ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή αποφεύγεται με δύο τρόπους:

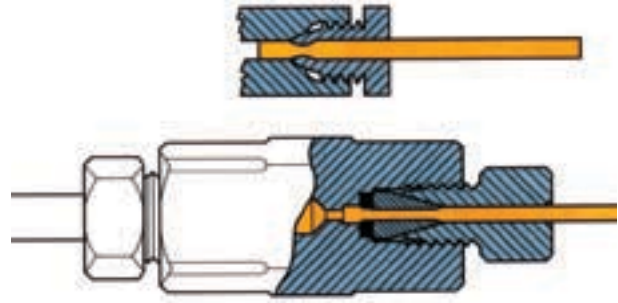
α) Με πλήρωση της εγκαταστάσεως με μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου, ώστε να μην μπορεί να υπερχειλίσει από τον ατμοποιητή προς το συμπιεστή. Η σωστή ποσότητα του ψυκτικού μέσου τοποθετείται κατά το σφράγιση της εγκαταστάσεως στο εργοστάσιο και η διατήρησή της είναι εφικτή λόγω της χρήσεως ερμητικού συμπιεστή.

β) Με χρήση ενός δοχείου συσσωρεύσεως στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Στο δοχείο συσσωρεύεται το υγρό και από εκεί ο συμπιεστής αναρροφά μόνο ατμό του ψυκτικού μέσου.

Οι τριχοειδείς αγωγοί κυκλοφορούν στο εμπόριο σε τυποποιημένες εσωτερικές διαμέτρους που μετρούνται σε in:

0,028 – 0,031 – 0,036 – 0,040 – 0,042 – 0,044 –
– 0,046 – 0,049 – 0,054 – 0,064 – 0,070 – 0,075 –
– 0,080 – 0,085 – 0,090 – 0,100.

Η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού της εσωτερικής διαμέτρου και του μήκους του τριχοειδούς αγωγού, γίνεται με βάση διαγράμματα που δίνουν οι κατασκευαστές ανάλογα με το ψυκτικό μέσο, την ιπποδύναμη του συμπιεστή και τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Τέτοιοι πίνακες επιλογής παρουσιάζονται στο σχήμα 8.2δ και δίνουν αρχικές τιμές, οι οποίες πρέπει να διορθώνονται με υπολογισμούς και πειράματα για κάθε εφαρμογή, ενώ το μήκος



Σχ. 8.2γ.

Σύνδεση τριχοειδούς αγωγού με εξάρτημα συνδέσεως.

πρέπει να προσαυξάνεται κατά 10%, όταν ο ατμοποιητής είναι φυσικής κυκλοφορίας.

8.3 Χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα.

Οι χειροκίνητες εκτονωτικές βαλβίδες είναι διακόπτες ροής που περιλαμβάνουν μία μικρή δίοδο (orifice). Η δίοδος ροής φράζεται από ένα βάκτρο με μορφή κώνου, ο οποίος είναι διαμορφωμένος, ούτως ώστε να υπάρχει σταδιακή ρύθμιση της παροχής με τις στροφές του χειροσφονδύλου (σχ. 8.3α).

Η παροχή του ψυκτικού μέσου εξαρτάται από το άνοιγμα της βαλβίδας και τη διαφορά πίεσεως στα άκρα της και δεν υπάρχει δυνατότητα για αυτόματη ρύθμιση όταν το φορτίο της εγκαταστάσεως μεταβάλλεται. Η ρύθμιση της παροχής μπορεί να γίνει μόνο χειροκίνητα, έτσι ώστε να μην υπάρχει μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή ή να μην πλημμυρίσει η πλευρά της χαμηλής πίεσεως από υγρό ψυκτικό μέσο. Επί πλέον, η χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα πρέπει να κλείνει, κάθε φορά που σταματάει η λειτουργία της εγκαταστάσεως.

Για τους παραπάνω λόγους η χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα χρησιμοποιείται μόνο σε μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπου το ψυκτικό φορτίο δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Επίσης, χρησιμοποιείται ως ρυθμιστής της ροής του υγρού ψυκτικού μέσου και ως εναλλακτικό μέσο εκτονώσεως σε γραμμές by-pass ή όπου χρειάζεται εκτόνωση υγρού με μικρή διάρκεια (π.χ. για τη συμπύκνωση των αερίων σε χειροκίνητους απεριοτήτες).

Η κατασκευή τριών διαφορετικών τύπων χειροκίνητων εκτονωτικών βαλβίδων, που προορίζονται για διαφορετικές παροχές υγρού, εικονίζεται στο σχήμα 8.3β. Οι μορφές των βαλβίδων αυτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με όλα τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα και με αμμωνία, σε θερμοκρασίες από $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ η μέγιστη πίεση λειτουργίας τους είναι 40 bar g.

Ο κώνος ρυθμίσεως μπορεί να αντικαθίσταται, ώστε να επιτυγχάνεται κατάλληλη ρύθμιση στην επιθυμητή περιοχή πίεσεως και παροχής. Για την πλήρη διακοπή της ροής υπάρχει ένας ελαστικός δακτύλιος, πάνω στον οποίο πιέζεται ο κώνος όταν συσφιχθεί πλήρως το βάκτρο. Η στεγανοποίηση του

βάκτρου προς την ατμόσφαιρα πραγματοποιείται με ελαστικούς δακτυλίους που τοποθετούνται σε ανοξείδωτο υποδοχέα. Το βιδωτό πώμα χρησιμεύει για την προστασία της βαλβίδας από σκόνες και ξένα σώματα.

Η τοποθέτηση της βαλβίδας γίνεται με το βάκτρο

		Θερμοκρασία ατμοποίησης					
		$T_{εξ} = -10^{\circ} F$		$T_{εξ} = 20^{\circ} F$		$T_{εξ} = 45^{\circ} F$	
Ψυκτικό μέσο	Ισχύς κινητήρα (hp)	Εσωτερική διάμετρος (in)	Μήκος (in)	Εσωτερική διάμετρος (in)	Μήκος (in)	Εσωτερική διάμετρος (in)	Μήκος (in)
R-22	1/8	0,028	132"	0,028	101"	0,028	58"
	1/6	0,028	86"	0,031	116"	0,031	86"
	1/5	0,031	64"	0,031	42"	0,031	28"
	1/4	0,031	51"	0,040	109"	0,040	72"
	1/3	0,040	112"	0,040	87"	0,040	43"
	1/2	0,052	115"	0,052	57"	0,064	109"
	3/4	0,052	72"	0,064	111"	0,064	87"
	1	0,052	42"	0,064	101"	0,064	65"
R-134A	1/8	0,028	121"	0,028	92"	0,028	53"
R-401A	1/6	0,028	78"	0,031	106"	0,031	79"
R-401B	1/5	0,031	59"	0,031	36"	0,031	26"
R-409A	1/4	0,031	47"	0,040	99"	0,040	66"
R-500	1/3	0,040	102"	0,040	79"	0,040	39"
	1/2	0,052	105"	0,052	52"	0,064	99"
	3/4	0,052	66"	0,064	101"	0,064	79"
	1	0,052	39"	0,064	92"	0,064	59"

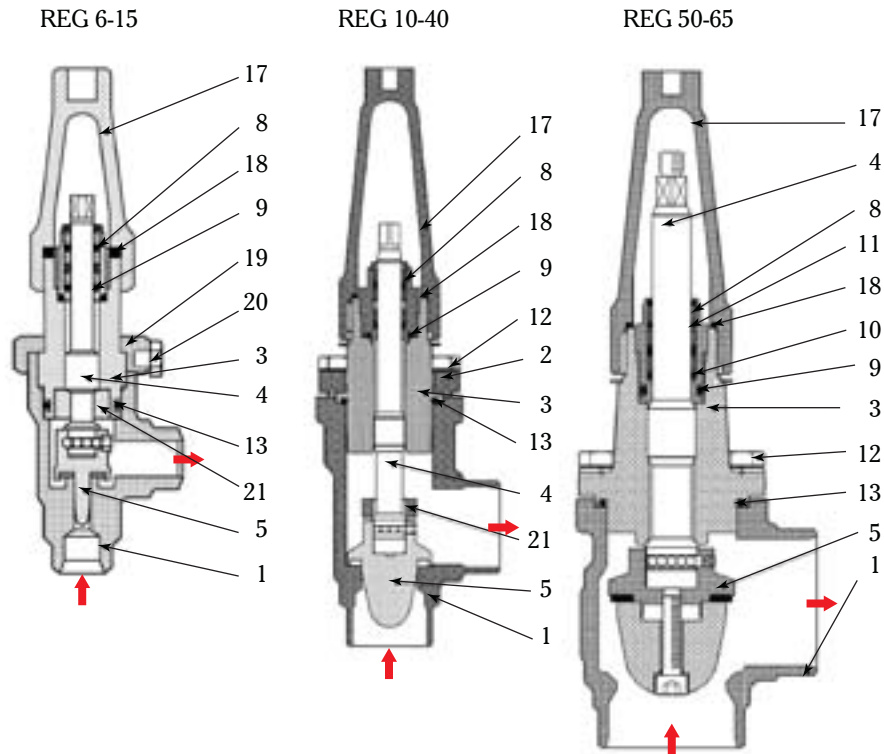
Σχ. 8.2δ.

Παράδειγμα πίνακα επιλογής τριχοειδούς αγωγού.



Σχ. 8.3α.

Τύποι χειροκινήτων εκτονωτικών βαλβίδων και κώνοι ρυθμίσεως παροχής.



No	Εξάρτημα	Υλικό
1	Σώμα	Χάλυβας
2	Ροδέλα	Χάλυβας
3	Ροδέλα	Χάλυβας
4	Βάκτρο	Ανοξείδωτος χάλυβας
5	Κώνος ρυθμίσεως	Χάλυβας
8	Στυπιοθλίπτης	Χάλυβας
9	Στυπιοθλίπτης, δακτύλιος στεγανοποίησης	Νεοπραίνιο
10-11	Δακτύλιος στεγανοποίησης	Νεοπραίνιο
12	Κοχλίες	Ανοξείδωτος χάλυβας
13	Δακτύλιος στεγανοποίησης	Νεοπραίνιο
17	Κάλυμμα	Αλουμίνιο
18	Στυπίο	Συνθετικό
19	Ασφαλιστικός κοχλίας	Χάλυβας
20	Κοχλίας	Χάλυβας
21	Οδηγός	Τεφλόν

Σχ. 8.3β.

Χειροκίνητες εκτονωτικές βαλβίδες σε τομή.

προς τα πάνω ή σε οριζόντια θέση, ενώ η ροή του υγρού πρέπει να κατευθύνεται προς τον κώνο ρυθμίσεως. Επίσης, το δίκτυο σωληνώσεων πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε να επιτρέπει την αποστράγγιση του υγρού και να αποφεύγεται η συγκέντρωση υγρού. Μ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα αύξησεως της πίεσεως λόγω ατμοποίησης υγρού ψυκτικού μέσου σε περιορισμένο χώρο.

8.4 Αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα.

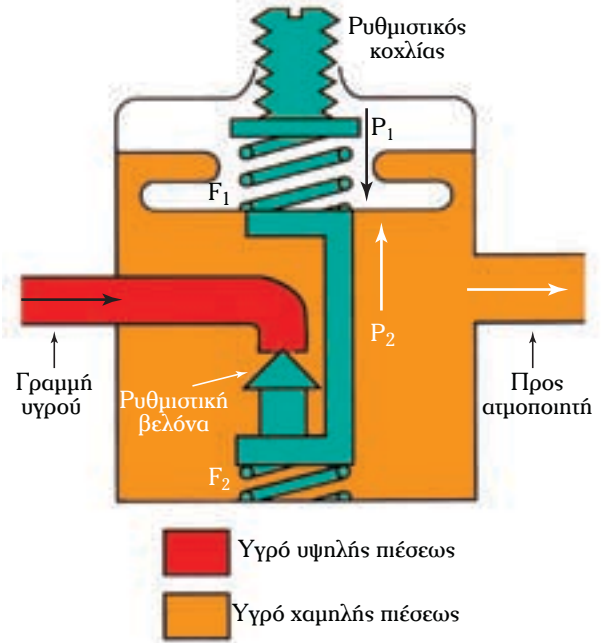
Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα ελέγχει την παροχή του υγρού ψυκτικού μέσου, ώστε στην έξοδό της να υπάρχει σταθερή πίεση· πρόκειται δηλαδή για μια πιεζοστατική βαλβίδα. Τα κύρια μέρη μιας αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας είναι το **σώμα**, ένα **διάφραγμα** ή μια φυσούνα, η **έδρα** και μια **βελό-**

να ρυθμίσεως. Στο σχήμα 8.4α όπου φαίνεται μια αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η βελόνα ρυθμίσεως είναι συνδεδεμένη με το διάφραγμα, το οποίο στη μία πλευρά του δέχεται την ατμοσφαιρική πίεση και στην άλλη την πίεση του υγρού που οδεύει προς τον ατμοποιητή. Ο σκοπός της λειτουργίας της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας, είναι η διατήρηση σταθερής πίεσεως στον ατμοποιητή. Όταν η πίεση ατμοποίησης μειωθεί, το διάφραγμα μετακινεί τη βελόνα προς τα κάτω και επιτρέπει τη δίοδο του υγρού από την πλευρά της υψηλής πίεσεως καταθλίψεως, οπότε η παροχή μέσου και η πίεση ατμοποίησης αυξάνεται. Αντίθετα, όταν η πίεση ατμοποίησης αυξηθεί, το διάφραγμα μετακινεί τη βελόνα ρυθμίσεως προς τα πάνω και κλείνει τη δίοδο του υγρού, οπότε η πίεση ατμοποίησης μειώνεται.

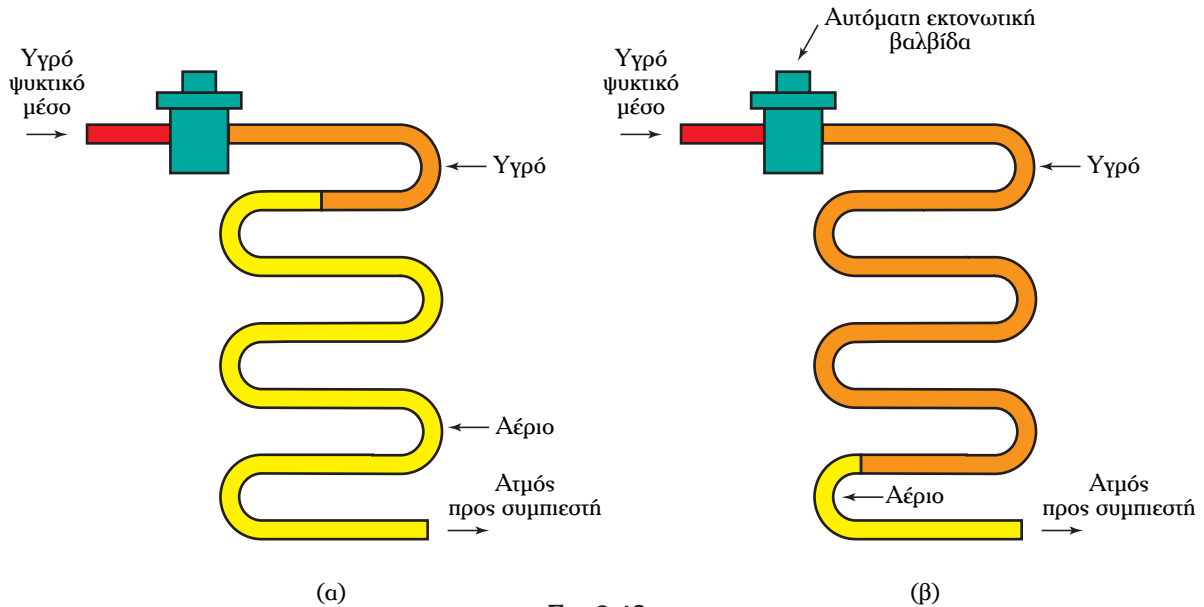
Η ρύθμιση της πίεσεως ατμοποίησης γίνεται μ' ένα ρυθμιστικό κοχλίας που καθορίζει την τάση του ελατηρίου. Με δεδομένη τη ρύθμιση της τάσεως του ελατηρίου, η πίεση στον ατμοποιητή διατηρείται σταθερή, ανεξάρτητα από το ψυκτικό φορτίο. Για να διατηρηθεί η πίεση ατμοποίησης σταθερή, πρέπει όταν μεταβάλλεται το φορτίο να διατηρείται σταθερός ο ρυθμός ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου. Αυτή είναι η λειτουργία που επιτελείται από την αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα.

Το μειονέκτημα της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας είναι η απόδοσή της σε μεταβαλλόμενο ψυκτικό φορτίο. Όταν το φορτίο του ατμοποιητή αυξηθεί,

αυξάνεται ο ρυθμός ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου και η πίεση ατμοποίησης. Προκειμένου να διατηρηθεί η πίεση ατμοποίησης σταθερή, η αυτόματη βαλβίδα μειώνει την παροχή του υγρού ψυκτικού μέσου. Μ' αυτόν τον τρόπο το υγρό μέσο καταλαμβάνει μικρότερο τμήμα μέσα στον ατμοποιητή, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα του καταλαμβάνεται από αέριο [σχ. 8.4β(α)]. Έτσι, ο ρυθμός ατμοποίησης



Σχ. 8.4α.
Αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα.



Σχ. 8.4β.
Λειτουργία αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας: (α) Σε αυξημένο φορτίο, (β) σε μειωμένο φορτίο.

μειώνεται και η πίεση ατμοποίησης παραμένει σταθερή. Ως αποτέλεσμα, όταν το ψυκτικό φορτίο αυξάνεται ο ατμοποιητής περιέχει περισσότερο αέριο και λιγότερο υγρό ψυκτικό μέσο, άρα λειτουργεί με μικρή απόδοση.

Στην περίπτωση που το ψυκτικό φορτίο μειωθεί, ο ρυθμός ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου μειώνεται. Η βαλβίδα τείνει να γεμίσει τον ατμοποιητή με υγρό, ώστε το αέριο να καταλαμβάνει ένα μικρό τμήμα και να έχει μεγαλύτερη πίεση [σχ. 8.4β(β)]. Κατά συνέπεια σε μειωμένο ψυκτικό φορτίο, η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα κάνει τον ατμοποιητή να λειτουργεί με υγρό, άρα να έχει μέγιστη απόδοση. Σε περιπτώσεις πολύ μικρού ψυκτικού φορτίου, όπου η ατμοποίηση μειώνεται πολύ, η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα είναι δυνατόν να γεμίσει τόσο πολύ με υγρό τον ατμοποιητή, ώστε να υπάρξει είσοδος του υγρού στο συμπιεστή και πρόκληση βλάβης. Αυτό σε σωστά ρυθμισμένες ψυκτικές εγκαταστάσεις, προλαμβάνεται με τη διακοπή της κυκλοφορίας του υγρού ψυκτικού μέσου από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που ελέγχεται από το θερμοστάτη χώρου (σχ. 8.1). Επί πλέον, για να μην εισέλθει υγρό στο συμπιεστή, στη γραμμή αναρροφήσεως τοποθετείται δεξαμενή συγκεντρώσεως.

Ως συμπέρασμα, η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα σε αυξημένο ψυκτικό φορτίο, παρέχει μικρή ποσότητα υγρού στον ατμοποιητή, ο οποίος δεν μπορεί να λειτουργήσει στο μέγιστο φορτίο σχεδιάσεώς του, ενώ σε μειωμένο φορτίο γεμίζει με υγρό τον ατμοποιητή. Η λειτουργία σε μειωμένο φορτίο, δεδομένου ότι μειώνεται η ισχύς του ατμοποιητή, συνεπάγεται μείωση της ψυκτικής ισχύος της εγκαταστάσεως, ενώ σε αυξημένο δημιουργείται κίνδυνος παγοφραγμού και βλάβης στο συμπιεστή.

Ένα επί πλέον μειονέκτημα της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας είναι ότι η λειτουργία της καθορίζεται από τη λειτουργία του συμπιεστή. Κατά συνέπεια δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε εγκαταστάσεις με πολλούς παράλληλους ατμοποιητές, που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, όταν η λειτουργία του συμπιεστή ρυθμίζεται από τους θερμοστάτες των ψυκτικών θαλάμων.

Μειονέκτημα επίσης αποτελεί το ότι λόγω της σταθερής πίεσης ατμοποίησης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπιεστής, στον οποίο η ισχύς ρυθμίζεται από την πίεση αναρροφήσεως, που στην περίπτωση των αυτομάτων εκτονωτικών βαλβίδων παραμένει σταθερή, ανεξάρτητα από το ψυκτικό φορτίο.

Οι αυτόματες εκτονωτικές βαλβίδες κατασκευάζονται

ζονται σε δύο τύπους: με **διάφραγμα** και με **φυσούνα**. Η διάμετρος της οπής διελεύσεως του ψυκτικού μέσου είναι τυποποιημένη και μετρείται σε mm:

1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 5 - 6.

Οι παραπάνω διάμετροι για μια διαφορά πίεσεως εκτονώσεως 4 bar αντιστοιχούν σε ψυκτική ισχύ από 800–15.000 kcal/h. Το υλικό κατασκευής των βαλβίδων είναι ειδικός μπρούντζος χυτός ή σφυρηλατημένος και η σύνδεση πραγματοποιείται με συγκόλληση ή με φλάντζες. Στην είσοδο του υγρού ψυκτικού μέσου υπάρχει ένα μεταλλικό φίλτρο πλέγματος που αποτρέπει την είσοδο στερεών σωματιδίων με πυκνότητα οπών από 60 έως 100/in².

Στο σχήμα 8.4γ εικονίζεται μια **αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα με διάφραγμα** σε τομή. Το διάφραγμα είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα και έχει ομόκεντρες πτυχώσεις που αυξάνουν την ευκαμψία του και η κίνησή του μεταδίδεται στη ρυθμιστική βελόνα. Η υπερβολική μετακίνηση της βελόνας περιορίζεται από το καπάκι και το σώμα της βαλβίδας, ώστε να μην σπάσει το διάφραγμα λόγω μεγάλης διαφοράς πίεσεως. Το καπάκι του ρυθμιστικού ελατηρίου είναι αφαιρούμενο, ώστε να μπορεί να γίνει η ρύθμιση της πίεσεως ατμοποίησης και στεγανοποιείται με ελαστικούς δακτυλίους, για να μην υπάρχει είσοδος αέρα και υγρασίας.

Η κίνηση της βελόνας ελέγχεται από τρεις δυνάμεις:

α) Από τη δύναμη F_1 του σταθερού ελατηρίου που είναι κάτω από το διάφραγμα,

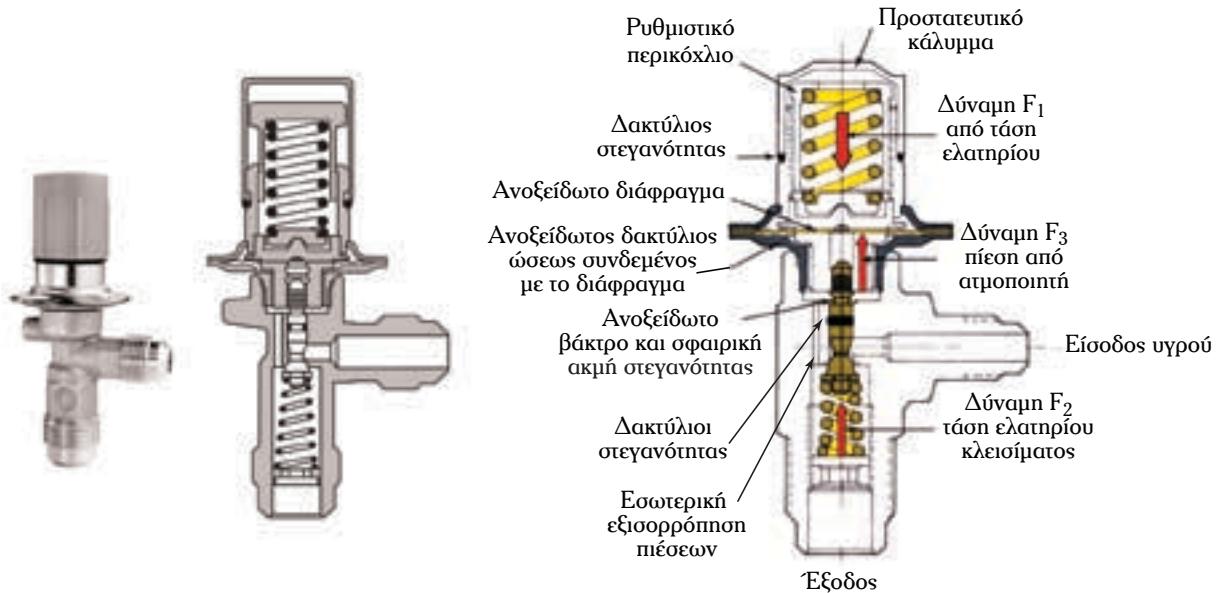
β) από τη δύναμη F_2 του ελατηρίου ρυθμίσεως και

γ) από τη δύναμη F_3 που προκαλείται από τη διαφορά πίεσεως του ατμού στις δύο πλευρές της φυσούνας. Δεδομένου ότι η απόλυτη πίεση ατμοποίησης είναι λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, η δύναμη F_3 έχει φορά προς τα πάνω και είναι ίση με τη διαφορά των πιέσεων στις δύο πλευρές επί το ενεργό εμβαδόν της φυσούνας. Η διαφορά της απόλυτης πίεσεως ατμοποίησης από την ατμοσφαιρική είναι η πίεση ατμοποίησης $p_{εξ}^g$ που διαβάζουμε στο μανόμετρο:

$$F_3 = A_{\text{φυσ}} \cdot (p_{\text{ατμοπ.}} - p_{\text{ατμοσφ.}}) = \frac{\pi d^2}{4} \cdot (p_{\text{ατμοπ.}} - p_{\text{ατμοσφ.}}) = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{\text{ατμοπ.}}^g \quad (1)$$

Έτσι, η ισορροπία έρχεται με την κατάλληλη ρύθμιση της πίεσεως ατμοποίησης, ώστε:

$$F_1 + F_3 = F_2 \quad (2)$$



Σχ. 8.4γ.

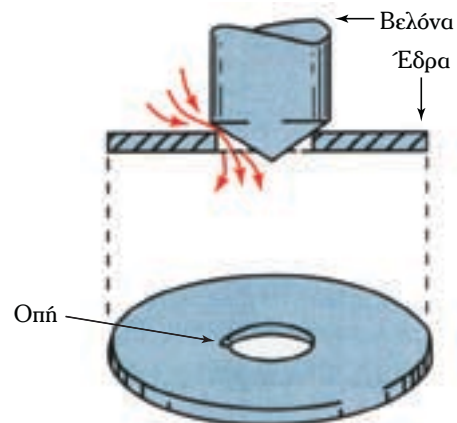
Τομή αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας με διάφραγμα.

Οι **αυτόματες εκτονωτικές βαλβίδες με φυσούνα** έχουν παρόμοια κατασκευή, με τη διαφορά ότι έχουν ένα ελατήριο το οποίο από τη μια πλευρά ρυθμίζεται με έναν κοχλία και από την άλλη είναι σταθερά συνδεδεμένο με τη φυσούνα. Τέτοιες βαλβίδες τοποθετούνται σε μικρότερες εγκαταστάσεις, όπως στα οικιακά κλιματιστικά.

Εξαιτίας της σχεδιάσεως της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας, σε μικρές εγκαταστάσεις που λειτουργούν με κράτηση του συμπιεστή από το θερμοστάτη χώρου (όχι με κύκλο κενού), η βελόνα ρυθμίσεως κλείνει τη ροή του υγρού όταν σταματήσει ο συμπιεστής. Αυτό οφείλεται στο ότι το υγρό που έχει μείνει στον ατμοποιητή ατμοποιείται και αυξάνει την πίεση στην κάτω πλευρά της φυσούνας όταν κλείσει ο συμπιεστής. Έτσι, κατά την εκκίνηση ο συμπιεστής πρέπει να υπερνικήσει μεγάλη διαφορά πιέσεως, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλη αντίσταση και μεγάλο ρεύμα εκκινήσεως. Όταν χρειάζεται να εξισωθούν οι πιέσεις στην εγκατάσταση σε περίπτωση που αυτή είναι κρατημένη και να μειωθεί το ρεύμα εκκινήσεως, οι αυτόματες εκτονωτικές βαλβίδες έχουν μία οπή εξισορροπήσεως στην έδρα τους (σχ. 8.4δ). Από την οπή αυτή λαμβάνει αρκετό ψυκτικό μέσο, ώστε στην εκκίνηση ο συμπιεστής να έχει μηδενική διαφορά πιέσεως στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη. Τέτοιες αυτόματες βαλβίδες ονομάζονται **βαλβίδες με εσωτερική εξισορρόπηση πιέσεων** (internally equalized).

Η δοκιμή στεγανοποίησης μια αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας χωρίς εσωτερική εξισορρόπηση πραγματοποιείται με τη σύνδεσή της με μια φιάλη που περιέχει αέριο ψυκτικό μέσο με πίεση. Στη συνέχεια αποκοχλιώνεται ο ρυθμιστικός κοχλίας, ώστε να μειωθεί η ένταση του ελατηρίου, και η εξαγωγή της βαλβίδας συνδέεται μ' έναν εύκαμπτο αγωγό που βυθίζεται σ' ένα δοχείο με λάδι. Όταν ανοικτεί το επιστόμιο της φιάλης δεν πρέπει να παρατηρείται διαρροή αερίου. Η επιτρεπτή απώλεια είναι 6–7 φυσαλλίδες το λεπτό. Για να πραγματοποιηθεί δοκιμή διαρροής από το διάφραγμα, η βαλβίδα πρέπει να βυθίζεται ολόκληρη στο λάδι.

Η επιλογή των αυτομάτων εκτονωτικών βαλβίδων



Σχ. 8.4δ.

Οπή εξισορροπήσεως πιέσεων σε αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα με εσωτερική εξισορρόπηση.

δων γίνεται από πίνακες κατασκευαστών. Κατά την αντικατάσταση μιας αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας, δεν πρέπει να τοποθετείται βαλβίδα με μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ διότι αυτό, όπως είπαμε, οδηγεί σε υπερχειλίση του ατμοποιητή και μείωση της ψυκτικής ισχύος της εγκαταστάσεως.

Εξαιτίας των μειονεκτημάτων που έχει η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα, χρησιμοποιείται σε μικρές εγκαταστάσεις που δεν έχουν μεγάλη μεταβολή του ψυκτικού φορτίου, όπως ψυγεία, παγομηχανές κ.ά.. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα.

8.5 Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα.

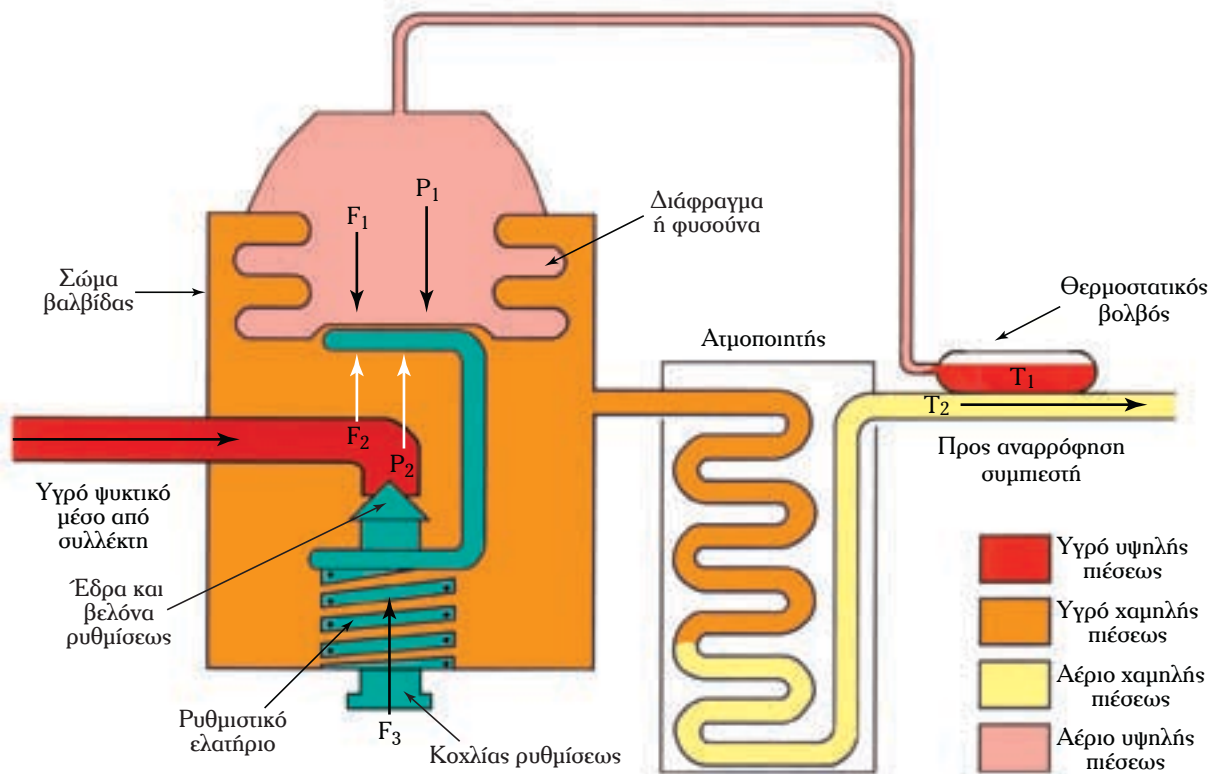
8.5.1 Περιγραφή – Λειτουργία θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με εσωτερική εξισορρόπηση.

Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα χρησιμοποιείται ως εκτονωτικός μηχανισμός σχεδόν σε όλες τις εγκαταστάσεις ξηρής εκτονώσεως, λόγω της αποδόσεως που έχει σε διαφορετικές καταστάσεις φορτίσεως. Ενώ η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα διατηρεί σταθερή την πίεση ατμοποίησης, η λειτουργία της

θερμοστατικής βασίζεται στη διατήρηση σταθερής υπερθερμάνσεως του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του ατμοποιητή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πλήρωση του ατμοποιητή με υγρό ψυκτικό μέσο σ' όλες τις καταστάσεις φορτίσεως της ψυκτικής εγκαταστάσεως και εξάλειψη του κινδύνου υπερχειλίσεως του υγρού στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Λόγω των χαρακτηριστικών αυτών η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα είναι κατάλληλη για εγκαταστάσεις όπου υπάρχει ευρεία μεταβολή του ψυκτικού φορτίου.

Στο σχήμα 8.5α φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα μιας θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας, η οποία αποτελείται από το σώμα, τη βελόνα ρυθμίσεως και την έδρα της, το διάφραγμα, το ελατήριο με κοιλία ρυθμίσεως και το θερμοστατικό βολβό. Στην είσοδο του υγρού ψυκτικού μέσου υπάρχει ένα μεταλλικό φίλτρο για την προστασία της βαλβίδας από πιθανό φραγμό που προκαλείται από την εισροή στερεών σωματιδίων.

Ο θερμοστατικός βολβός περιέχει από την κατασκευή του ένα υγρό, που συνήθως είναι το ψυκτικό μέσο της εγκαταστάσεως και είναι τοποθετημένος στην έξοδο του ατμοποιητή. Λόγω της επαφής του βολβού με το σωλήνα αναρροφήσεως, η θερμοκρα-



Σχ. 8.5α.

Αρχή λειτουργίας θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας.

οία του είναι ίση με τη θερμοκρασία του ατμού στο σημείο τοποθετήσεως. Το υγρό στο βολβό καθώς ατμοποιείται, βρίσκεται σε ισορροπία με την αέρια φάση, οπότε η πίεση στο βολβό είναι ίση με την πίεση p_1 του κορεσμένου ατμού, στη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται ο βολβός. Η πίεση αυτή μεταδίδεται στο διάφραγμα με έναν τριχοειδή σωλήνα και δημιουργεί μια δύναμη F_1 , που έχει φορά προς τα κάτω. Εναλλακτικά μπορεί αντί για διάφραγμα να χρησιμοποιείται σαν ένας πτυχωτός σωλήνας (φυσούνα). Στην κάτω πλευρά του διαφράγματος επενεργεί η πίεση p_2 του υγρού στην είσοδο του ατμοποιητή, η οποία δημιουργεί τη δύναμη F_2 . Η κίνηση του διαφράγματος καθορίζεται και τη διαφορά της δυνάμεως F_1 (που προκαλείται από την πίεση στο βολβό) και της δυνάμεως F_2 (που προκαλείται από την πίεση ατμοποιήσεως) και από την τάση του ελατηρίου F_3 (που ρυθμίζεται με τον κοχλία). Στο σημείο ισορροπίας θα πρέπει να ισχύει:

$$F_1 = F_2 + F_3 \quad (3)$$

Η κίνηση του διαφράγματος μεταδίδεται στη βελόνα ρυθμίσεως της ροής του υγρού ψυκτικού μέσου, έτσι ώστε η πίεση p_2 του υγρού στην έξοδο να είναι ίση, ώστε να πληρούται η σχέση (3).

Με τη λειτουργία της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας, η παροχή του υγρού ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή ρυθμίζεται, έτσι ώστε η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του ατμοποιητή να είναι σταθερή. Δεδομένου ότι κατά τη φάση της ατμοποίησης δεν υπάρχει μεταβολή της θερμοκρασίας, δεν μπορεί να

υπάρξει θερμοστατικός έλεγχος της παροχής του ψυκτικού μέσου, όταν η επιθυμητή θερμοκρασία είναι η θερμοκρασία ατμοποίησης. Γι' αυτόν το λόγο, ο ατμός του ψυκτικού μέσου αφήνεται να υπερθερμανθεί και η βαλβίδα είναι ρυθμισμένη να διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία υπερθερμάνσεως στο σημείο τοποθετήσεως του βολβού (σχ. 8.5β).

Ως υπερθέρμανση ατμών ορίζεται η διαφορά θερμοκρασίας τους στο σημείο τοποθετήσεως του βολβού και της θερμοκρασίας ατμοποίησης.

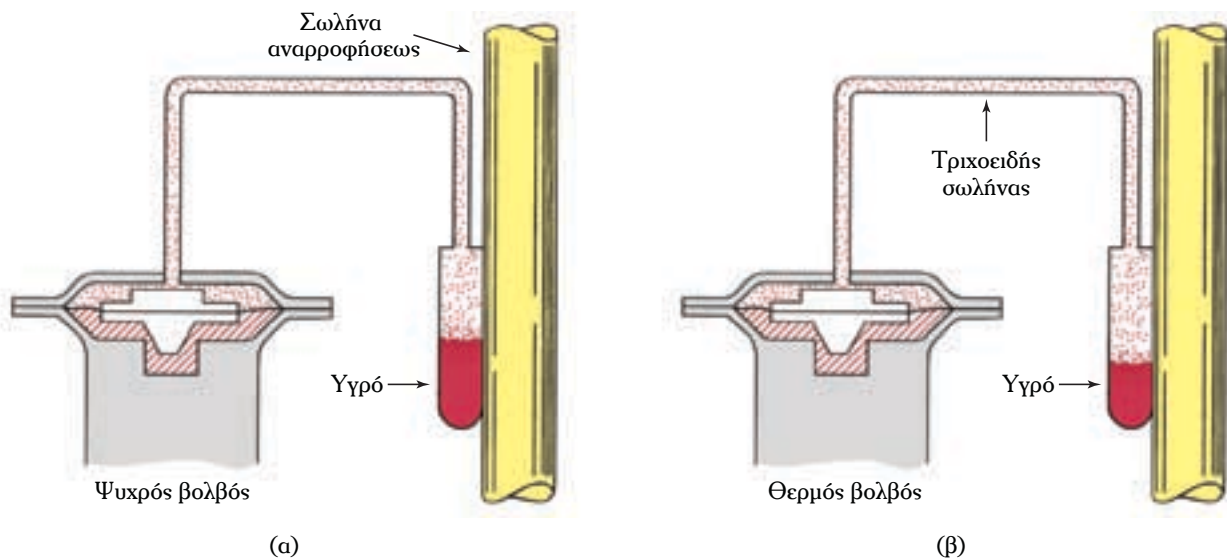
Παράδειγμα.

Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (σχ. 8.5γ) είναι τοποθετημένη σε μια ψυκτική εγκατάσταση με R-134a, όπου η επιθυμητή θερμοκρασία ατμοποίησης είναι 4 °C. Η πίεση ατμοποίησης που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία ατμοποίησης 4 °C βρίσκεται από πίνακες ιδιοτήτων του R-134a και είναι 337,85 kPa.

Η πίεση αυτή είναι η πίεση p_2 του υγρού στην έξοδο της βαλβίδας, άρα:

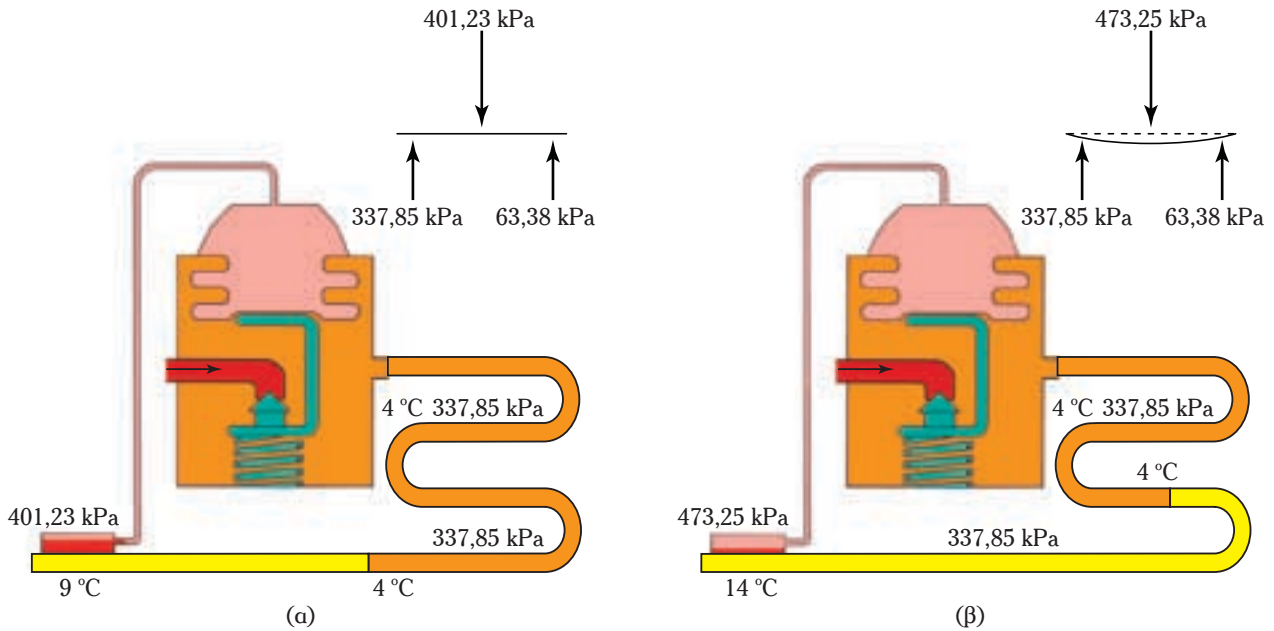
$$p_2 = 337,85 \text{ kPa} \quad (4)$$

Θεωρώντας ότι το ψυκτικό μέσο στον ατμοποιητή ρέει χωρίς πτώση πίεσης, στο τέλος της ατμοποίησης θα έχει πίεση 337,85 kPa. Όταν τελειώσει η ατμοποίηση, με την ίδια πίεση θα συνεχίσει να απορροφά θερμότητα, οπότε η θερμοκρασία του θα αρχίσει να αυξάνεται. Ο θερμοστατικός βολβός περιέχει υγρό και ατμό R-134a σε ισορροπία. Όταν



Σχ. 8.5β.

Λειτουργία θερμοστατικού βολβού.



Σχ. 8.5γ.

Παράδειγμα λειτουργίας θερμοστατικής εκτινωτικής βαλβίδας: (α) Με ρύθμιση υπερθερμάνσεως $\Delta T = 5 \text{ K}$ σε ισορροπία, (β) με υπερθέρμανση $\Delta T = 10 \text{ K}$.

η υπερθέρμανση των ατμών του R-134a είναι $\Delta T = 5 \text{ K}$, η θερμοκρασία του βολβού είναι 9°C . Η πίεση κορεσμού που αντιστοιχεί σε 9°C είναι $401,23 \text{ kPa}$. Η πίεση αυτή με τον τριχοειδή σωλήνα μεταδίδεται στην πάνω πλευρά του διαφράγματος, οπότε η πίεση p_1 είναι:

$$p_1 = 401,23 \text{ kPa} \quad (5)$$

Η δύναμη του ελατηρίου, όταν κατανέμεται στην επιφάνεια του διαφράγματος δίνει πίεση:

$$p_3 = \frac{F_3}{A} = \frac{F_3}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (6)$$

όπου A και d η ενεργός επιφάνεια και η ενεργός διάμετρος της μεμβράνης αντίστοιχα.

Για τις ανάγκες του παραδείγματος, ας υποθέσουμε ότι η τάση του ελατηρίου δίνει πίεση p_3 , η οποία είναι ίση με:

$$p_3 = 63,38 \text{ kPa} \quad (7)$$

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η πίεση που τείνει να ανοίξει τη βαλβίδα ισούται με την πίεση που τείνει να την κλείσει:

$$p_1 = p_2 + p_3 \Leftrightarrow 401,23 \text{ kPa} = 337,85 + 63,38 \text{ kPa} \quad (8)$$

Η βαλβίδα ισορροπεί και η θερμοκρασία υπερ-

θερμάνσεως του ατμού διατηρείται στους 5 K .

Σε περίπτωση αυξημένου φορτίου, η ατμοποίηση του υγρού R-134a στον ατμοποιητή θα τελειώσει νωρίτερα. Όταν η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως αυξηθεί πάνω από τους 5 K , η πίεση στο βολβό θα αυξηθεί, οπότε θα είναι:

$$p_1 > p_2 + p_3 \quad (9)$$

Για παράδειγμα ο ατμοποιητής στο σχήμα 8.5γ(β) έχει αυξημένο φορτίο, οπότε η ατμοποίηση του υγρού τελειώνει νωρίς και αυξάνεται το τμήμα, στο οποίο γίνεται η υπερθέρμανση. Η υπερθέρμανση των ατμών του R-134a είναι $\Delta T = 10 \text{ K}$, οπότε η θερμοκρασία στο βολβό είναι 14°C . Η πίεση του αερίου στο βολβό λόγω της επί πλέον ατμοποίησης υγρού γίνεται $473,25 \text{ kPa}$. Η σχέση των πιέσεων γίνεται:

$$473,25 \text{ kPa} > 337,85 \text{ kPa} + 63,38 \text{ kPa} \Leftrightarrow p_1 > p_2 + p_3 \quad (10)$$

Το γεγονός ότι η p_1 είναι μεγαλύτερη από $p_2 + p_3$ έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση του διαφράγματος προς τα κάτω και το άνοιγμα της ρυθμιστικής βελόνας. Η παροχή του ψυκτικού μέσου αυξάνεται μέχρι να βρεθεί νέο σημείο ισορροπίας, στο οποίο η υπερθέρμανση θα ξαναγίνει η επιθυμητή, δηλαδή 5 K .

Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα είναι σχεδιασμένη να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία υπερθερμάνσεως του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του ατμοποιητή. Η πίεση και η θερμοκρασία ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου εξαρτώνται από το φορτίο της εγκαταστάσεως. Έτσι, στο νέο σημείο ισορροπίας της βαλβίδας στο σχήμα 8.5γ(β), όπου το φορτίο είναι αυξημένο, η πίεση και η θερμοκρασία ατμοποίησης θα είναι λίγο διαφορετικές από τις αρχικές 337,85 kPa και 4 °C. Αυτό οφείλεται στο ότι η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα δεν είναι πιεζοστατικός μηχανισμός. Πάντως, στο νέο σημείο ισορροπίας ο ατμός του R-134a θα έχει υπερθέρμανση 5 K σε σχέση με τη νέα θερμοκρασία ατμοποίησης, οπότε η υπερθέρμανση θα γίνεται στο ίδιο ποσοστό των σωληνώσεων του ατμοποιητή, όπως στο σχήμα 8.5γ(α).

Η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως του ατμού στην έξοδο του ατμοποιητή καθορίζεται από την τάση του ελατηρίου που ρυθμίζεται από έναν κοχλία. Με τη σύσφιξη του κοχλία αυξάνεται η τάση του ελατηρίου και η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως, ενώ με τη χαλάρωσή του μειώνεται η τάση του ελατηρίου και η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως. Όταν η τάση του ελατηρίου είναι πολύ χαλαρή, η βαλβίδα παλινδρομεί και τείνει εναλλασσόμενα να γεμίζει και να αδειάζει με υγρό τον ατμοποιητή, οπότε η λειτουργία γίνεται χωρίς ουσιαστικό έλεγχο. Συνήθως οι θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες είναι ρυθμισμένες από τον κατασκευαστή σε θερμοκρασία υπερθερμάνσεως 5 K. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία αυτή είναι ικανοποιητική στις περισσότερες περιπτώσεις, η αλλαγή της ρυθμίσεως της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας πρέπει να γίνεται μόνο όταν είναι απαραίτητος αναγκαίος. Η διαδικασία ρυθμίσεως της εκτονωτικής βαλβίδας περιγράφεται στην παράγραφο 10.5.

8.5.2 Λειτουργία θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με πώση πίεσης στον ατμοποιητή.

Στην απλή θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα που περιγράψαμε προηγουμένως, η πίεση ατμοποίησης λαμβάνεται στην αρχή του ατμοποιητή και μεταδίδεται εσωτερικά στο διάφραγμα. Γι' αυτόν το λόγο η απλή θερμοστατική βαλβίδα ονομάζεται και **θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εσωτερική εξισορρόπηση** (internal equalized thermostatic expansion valve). Η ρύθμιση της υπερθερμάνσεως στη στατική εκτονωτική βαλβίδα με εσωτερική εξ-

ισορρόπηση, όπως είδαμε, βασίζεται στην υπόθεση ότι δεν υπάρχει πώση πίεσης κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή, οπότε η πίεση του αερίου στο σωλήνα αναρροφήσεως στην περιοχή του βολβού είναι ίση με την πίεση μετά τη βαλβίδα. Αυτό ισχύει σε εγκαταστάσεις με μικρούς ατμοποιητές και με μικρή ισχύ.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις υπάρχει σημαντική πώση πίεσης του ψυκτικού μέσου κατά τη ροή του μέσα στον ατμοποιητή. Επί πλέον, μεγάλη πώση πίεσης του υγρού προκαλείται κατά τη διέλευσή του από το διανομέα στην είσοδο του ατμοποιητή. Η πώση πίεσης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Η απλή θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εσωτερική εξισορρόπηση αντιλαμβάνεται την πώση της θερμοκρασίας λόγω πώσεως πίεσης, ως αποτέλεσμα μεγάλης παροχής του υγρού. Κατά συνέπεια μειώνει την παροχή του υγρού και ο ατμοποιητής λειτουργεί με περισσότερο αέριο. Η υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου αυξάνεται, ενώ η ψυκτική ικανότητα του ατμοποιητή μειώνεται, δεδομένου ότι περιέχει σε μεγάλο τμήμα του αέριο. Συμπερασματικά, το αποτέλεσμα της χρήσεως θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με εσωτερική εξισορρόπηση, όταν υπάρχει μεγάλη πώση πίεσης στον ατμοποιητή, είναι η μείωση της ψυκτικής ικανότητας της εγκαταστάσεως.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα που παρουσιάζεται στο σχήμα 8.5γ(α). Όπως είδαμε, όταν στον ατμοποιητή δεν υπάρχει πώση πίεσης και η τάση του ελατηρίου δίνει πίεση ίση με 63,38 kPa, η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως είναι 5 K. Η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι 4 °C και η πίεση ατμοποίησης είναι ίση με 337,85 kPa. Μ' αυτές τις συνθήκες η θερμοκρασία στο βολβό, όταν η βαλβίδα ισορροπεί, είναι 9 °C και η πίεση στην πάνω πλευρά της μεμβράνης 401,23 kPa.

Η λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας με πώση πίεσης εικονίζεται στο σχήμα 8.5δ. Αν υποθέσουμε ότι κατά τη ροή στον ατμοποιητή υπάρχει πώση πίεσης $\Delta p = 34,15$ kPa, το R-134a στο τέλος της ατμοποίησης θα έχει πίεση 337,85 kPa - 34,15 kPa = 303,7 kPa. Με βάση την πίεση αυτή η θερμοκρασία στο σημείο A που αντιστοιχεί στο τέλος της ατμοποίησης είναι 1 °C. Καθώς η βαλβίδα είναι ρυθμισμένη, ώστε η θερμοκρασία στο βολβό να είναι 9 °C, η υπερθέρμανση που πρέπει να έχει ο ατμός του R-134a είναι 8 °C. Αυτό σημαίνει

ότι λόγω της πτώσεως πίεσης στον ατμοποιητή, η υπερθέρμανση αυξήθηκε κατά 3 °C για να ικανοποιήσει η βαλβίδα την απαίτηση της θερμοκρασίας των 9 °C στο βολβό. Η αύξηση της υπερθερμάνσεως συνεπάγεται μείωση του ποσοστού της επιφάνειας του ατμοποιητή που έχει υγρό, άρα μείωση της αποδόσεώς του.

8.5.3 Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση.

Η **βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση της πίεσης** (external equalized thermostatic expansion valves) χρησιμοποιείται όταν με την απλή θερμοστατική βαλβίδα με εσωτερική εξισορρόπηση, λόγω της πτώσεως πίεσης, προκύπτει μείωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης μεγαλύτερη από 1,5 °C για κλιματιστικές εγκαταστάσεις ή 1 °C για εγκαταστάσεις ψύξεως. Επίσης, τέτοιες βαλβίδες πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει διανομέας υγρού ψυκτικού μέσου στην είσοδο του ατμοποιητή.

Σε μία θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσης στην κάτω πλευρά της μεμβράνης, εφαρμόζεται η πίεση που επικρατεί στην έξοδο του ατμοποιητή, η οποία μεταφέρεται με έναν εξωτερικό αγωγό. Οι βαλβίδες αυτές ονομάζονται και **θερμοστατικές βαλβίδες με ισοσταθμιστή πίεσης**. Μ' αυτόν τον τρόπο η πτώση πίεσης κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παροχής του υγρού ψυκτικού μέσου.

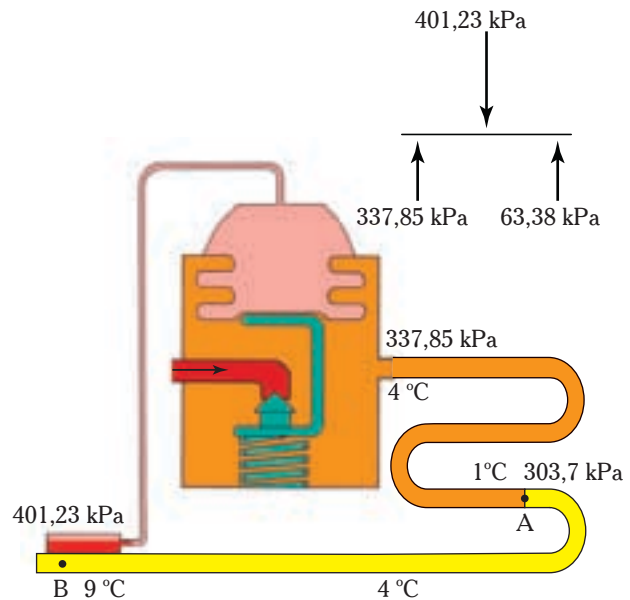
Το λειτουργικό διάγραμμα μιας θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με ισοσταθμιστή πίεσης φαίνεται στο σχήμα 8.5ε. Η βαλβίδα έχει παρόμοια κατασκευή με την απλή θερμοστατική βαλβίδα με εσωτερική εξισορρόπηση πίεσης, με τη διαφορά ότι στην κάτω πλευρά της μεμβράνης ή του πτυχωτού σωλήνα υπάρχει ένας κλειστός χώρος. Το στέλεχος της βελόνας, που είναι συνδεδεμένο με τη μεμβράνη, διέρχεται στεγανά από το χώρο κάτω από τη μεμβράνη, ο οποίος βρίσκεται στην πίεση του ατμού στην έξοδο του ατμοποιητή, λόγω της συνδέσεώς του με τον εξωτερικό αγωγό. Η κίνηση της βελόνας τώρα καθορίζεται από την τάση του ελατηρίου F_3 , την πίεση στον αγωγό αναρροφήσεως p_2 και την πίεση του αερίου στο βολβό p_1 . Στο σημείο ισορροπίας οι δυνάμεις έχουν άθροισμα μηδέν:

$$F_1 = F_2 + F_3 \quad (11)$$

Η ροή του υγρού ρυθμίζεται από τη βαλβίδα, έτσι

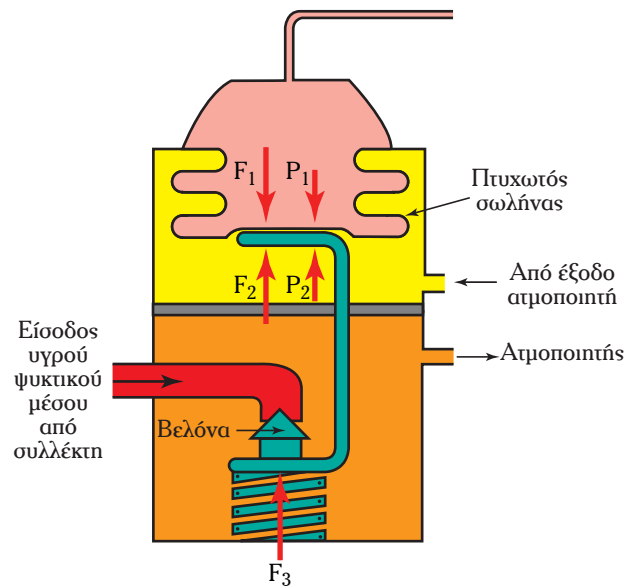
ώστε η πίεση p_2 να ικανοποιεί την παραπάνω σχέση. Έτσι, λόγω της πτώσεως πίεσης στον ατμοποιητή, η βαλβίδα ανοίγει και υπάρχει πλήρωση μεγαλύτερου μέρους της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας με υγρό.

Η θέση συνδέσεως του ισοσταθμιστή πίεσης βρίσκεται αμέσως μετά το θερμοστατικό βολβό κατά την κατεύθυνση της ροής του ατμού (σχ. 8.5στ).



Σχ. 8.5δ.

Λειτουργία απλής θερμοστατικής βαλβίδας σε ατμοποιητή με πώση πίεσης.



Σχ. 8.5ε.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με ισοσταθμιστή πίεσης.

Η κατασκευή διαφόρων τύπων θερμοστατικών βαλβίδων ποικίλλει, ανάλογα με την ψυκτική ισχύ και τον τύπο της κάθε εγκατάστασης και περιγράφεται στο Παράρτημα 4.Α.

8.5.4 Είδη πλήρωσης και τοποθέτηση του θερμοστατικού βολβού.

α) Είδη πλήρωσης βολβού.

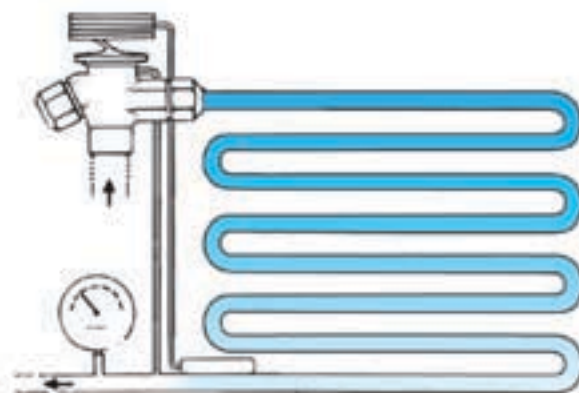
Το μέσο πλήρωσης του θερμοστατικού βολβού είναι το στοιχείο, το οποίο μετατρέπει τη θερμοκρασία σε πίεση που μεταδίδεται στο διάφραγμα. Ανάλογα με το μέσο πλήρωσης και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται αυτό στο βολβό, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες:

- Ομοειδής πλήρωση με υγρό ψυκτικό μέσο, όπου στο βολβό υπάρχει υγρό και ατμός του ίδιου ψυκτικού μέσου που υπάρχει στην εγκατάσταση.
- Ομοειδής πλήρωση με αέριο ψυκτικό μέσο, όπου στο βολβό υπάρχει ατμός του ίδιου ψυκτικού μέσου που υπάρχει στην εγκατάσταση, ενώ δεν υπάρχει υγρό.
- Ετερογενής πλήρωση με υγρό ψυκτικό μέσο, όπου στο βολβό υπάρχει υγρό και ατμός άλλου ψυκτικού μέσου από αυτό που υπάρχει στην εγκατάσταση.
- Ετερογενής πλήρωση με αέριο ψυκτικό μέσο, όπου στο βολβό υπάρχει ατμός άλλου ψυκτικού μέσου από αυτό που υπάρχει στην εγκατάσταση, ενώ δεν υπάρχει υγρό.
- Πλήρωση με αέριο, το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση απορροφήσεως μέσα σ' ένα απορροφητικό υλικό και απελευθερώνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία.

Στις συνηθισμένες εφαρμογές ψύξεως και κλιματισμού χρησιμοποιείται η ομοειδής πλήρωση υγρού. Ο έλεγχος που ασκεί ο βολβός στη βαλβίδα διατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός εάν το υγρό φύγει από το βολβό και πάει στη μεριά του διαφράγματος. Αυτό ενδεχομένως να συμβεί όταν ο βολβός είναι θερμότερος από το διάφραγμα, κατά την κράτηση της εγκατάστασης.

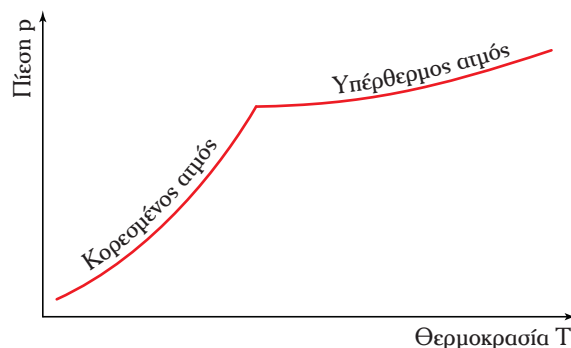
Η πλήρωση αερίου χρησιμοποιείται όταν πρέπει να περιοριστεί η πίεση ανοίγματος της βαλβίδας. Η λειτουργία σε μειωμένη πίεση δικαιολογείται αν παρατηρήσουμε την καμπύλη μεταβολής της πίεσης και της θερμοκρασίας των ατμών ενός ψυκτικού μέσου, η μορφή της οποίας φαίνεται στο σχήμα 8.5ζ. Όταν συνυπάρχουν υγρό και ατμός, ο ατμός είναι

κορεσμένος και η μεταβολή της πίεσης είναι απότομη, τότε υπάρχει αύξηση της πίεσης στο βολβό και άνοιγμα της βαλβίδας. Με την πλήρωση με υπέρθερμο ατμό χωρίς υγρό, η μεταβολή της πίεσης είναι μικρότερη, οπότε το άνοιγμα της βαλβίδας είναι μικρότερο. Ο περιορισμός του ανοίγματος της βαλβίδας σε συνθήκες υψηλής υπερθερμάνσεως γίνεται για προστασία του συμπιεστή, κατά την εκκίνηση λειτουργίας της εγκατάστασης. Όταν ο ατμοποιητής είναι ζεστός, η θερμοκρασία των ατμών του μέσου στο βολβό αυξάνεται, οπότε η βαλβίδα τείνει να ανοίξει και να δώσει μεγαλύτερη παροχή υγρού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης ατμοποίησης και της πυκνότητας των ατμών στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η λειτουργία του συμπιεστή με ατμούς μεγαλύτερης πυκνότητας και μεγαλύτερης πίεσης συνεπάγεται υπερφόρτιση και απαιτεί κινητήρα με μεγαλύτερη ιπποδύναμη. Αυτό αποφεύγεται με τις βαλβίδες μηχανικού περιορισμού πίεσης και με την πλήρωση με αέριο. Στις βαλβίδες με πλήρωση αερίου, ο έλεγχος του θερμοστατικού στοιχείου χάνεται, αν λόγω χαμηλής



Σχ. 8.5στ.

Σύνδεση αγωγού εξισορροπήσεως πίεσης.



Σχ. 8.5ζ.

Επίδραση της αυξήσεως της θερμοκρασίας στη μεταβολή της πίεσης κορεσμού.

θερμοκρασίας γίνει σε κάποιο σημείο συμπύκνωση και δημιουργία σταγόνας του μέσου πληρώσεως του βολβού.

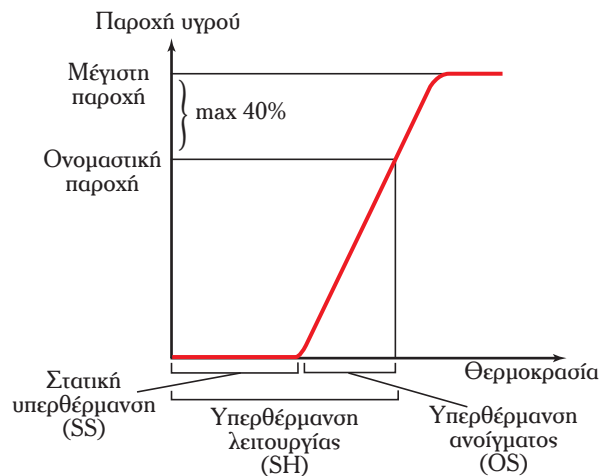
Η ομοειδής πλήρωση υγρού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ψυκτικές εγκαταστάσεις με χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης διότι, όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το σχήμα 8.5ζ, χρειάζεται μεγάλη υπερθέρμανση για να πάρουμε από το βολβό τη διαφορά πίεσεως που απαιτείται για τη λειτουργία της βαλβίδας. Παραδείγματος χάριν για το R-134a, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται από 1,7 °C (35 °F) σε 4,4 °C (40 °F), η πίεση κορεσμού αυξάνεται από 45,1 psia σε 49,7 psia. Για αύξηση από -40 °C σε -37,2 °C, η πίεση κορεσμού αυξάνεται από 7,4 psia σε 8,6 psia. Αυτό σημαίνει ότι, ενώ στις συνήθεις θερμοκρασίες η μεταβολή της πίεσεως κορεσμού είναι 0,92 psi/°F, στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι 0,24 psi/°F. Κατά συνέπεια, για το άνοιγμα της βαλβίδας απαιτείται μεγαλύτερη υπερθέρμανση, πράγμα που σημαίνει μικρότερη ωφέλιμη επιφάνεια στον ατμοποιητή. Γι' αυτόν το λόγο γίνεται πλήρωση στο βολβό μ' ένα υγρό που δίνει μεγαλύτερη μεταβολή πίεσεως στην περιοχή των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας. Λόγω της μεταβολής των χαρακτηριστικών της βαλβίδας με τη χρησιμοποίηση διαφορετικής πλήρωσεως του βολβού, πρέπει η αντικατάσταση μιας βαλβίδας ή ενός θερμοστατικού στοιχείου να γίνεται πάντα με ένα άλλο, ίδιου τύπου.

Η ελάχιστη υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου, για την οποία ανοίγει η βαλβίδα ονομάζεται **στατική υπερθέρμανση** (static superheat—SS). Η υπερθέρμανση, στην οποία αντιστοιχεί η παροχή υγρού που εξυπηρετεί την ψυκτική ισχύ, για την οποία προδιαγράφεται μια εκτονωτική βαλβίδα ονομάζεται **υπερθέρμανση ανοίγματος** (opening superheat—OS). Η συνολική υπερθέρμανση ονομάζεται **υπερθέρμανση λειτουργίας** (operating superheat—SH) και γι' αυτήν επιτυγχάνεται η ονομαστική παροχή του υγρού, για την οποία έχει σχεδιαστεί η βαλβίδα. Με περαιτέρω αύξηση της υπερθέρμανσεως, η παροχή του υγρού μπορεί να αυξηθεί περίπου κατά 40% και να διασφαλισθεί έτσι η καλή λειτουργία της εγκαταστάσεως σε αυξημένο φορτίο. Για επί πλέον υπερθέρμανση, δεν μπορεί να υπάρξει αύξηση της παροχής, διότι το υγρό στο βολβό έχει μετατραπεί σε ατμό, οπότε η πίεσή του σταματάει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό, όπως προηγούμενως. Η μεταβολή της παροχής σε σχέση με την υπερθέρμανση φαίνεται στο σχήμα 8.5η.

β) Τοποθέτηση θερμοστατικού βολβού.

Ο θερμοστατικός βολβός τοποθετείται στον αγωγό εξόδου του ψυκτικού μέσου αμέσως μετά τον ατμοποιητή, ώστε να μην επηρεάζεται από την επί πλέον υπερθέρμανση του ατμού. Ο βολβός τοποθετείται σε οριζόντια θέση, ώστε να βρίσκεται σε αντιροή, δηλαδή με τον τριχοειδή σωλήνα προς τη μεριά του συμπιεστή. Το σημείο τοποθέτησεως πρέπει να βρίσκεται μακριά από φλάντζες και άλλα μεταλλικά σώματα που έχουν επίδραση στη μετάδοση της θερμότητας. Η σύσφιξη γίνεται με δύο μεταλλικές ταινίες, ώστε να επιτυγχάνεται άριστη θερμική επαφή, ενώ η θέση τοποθέτησεως είναι πολύ σημαντική για τη σωστή λειτουργία της βαλβίδας. Η σωστή θέση τοποθέτησεως εξαρτάται από τη διάμετρο του σωλήνα του ατμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.5θ. Στους σωλήνες μικρής διαμέτρου, ο βολβός τοποθετείται στην πάνω πλευρά, ενώ στους σωλήνες μεγάλης διαμέτρου τοποθετείται σε γωνία 45° κάτω από την οριζόντια. Ο σωλήνας πριν την τοποθέτηση πρέπει να καθαρίζεται και να γίνεται καλή σύσφιξη, ενώ αν ο βολβός είναι τοποθετημένος έξω από τον ψυκτικό θάλαμο, πρέπει εξωτερικά αυτού να τοποθετείται μόνωση από αφρώδες υλικό.

Επίσης, ο θερμοστατικός βολβός δεν πρέπει να τοποθετείται κοντά σε σημεία όπου μπορεί να εγκλωβίζεται το λάδι που επιστρέφει στο συμπιεστή. Όταν δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση σε οριζόντιο σωλήνα γίνεται τοποθέτηση σε κατακόρυφο και προτιμάται η ροή να είναι από πάνω προς τα κάτω και ο τριχοειδής σωλήνας να είναι τοποθετημένος στο πάνω μέρος του βολβού.



Σχ. 8.5η.

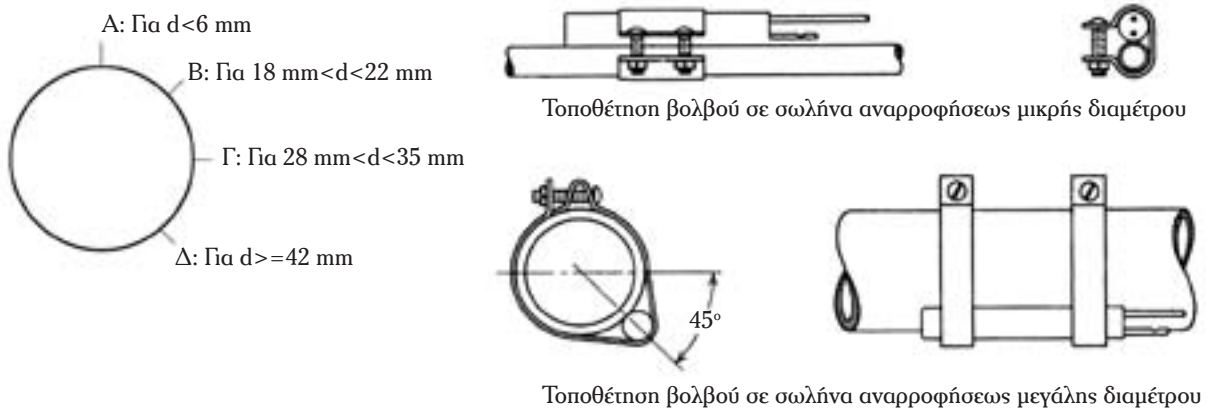
Μεταβολή παροχής σε σχέση με την υπερθέρμανση.

8.6 Θερμοπλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα.

Η λειτουργία της θερμοπλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας βασίζεται στην επίδραση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου στο ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από έναν ημιαγωγό (θερμίστορ). Ο ημιαγωγός αυτός τοποθετείται σ' έναν αισθητήρα στην έξοδο του ατμοποιητή και είναι κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο, ώστε η ηλεκτρική του αντίσταση να μειώνεται όταν η θερμοκρασία του αυξάνεται. Έτσι, το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από τον ημιαγω-

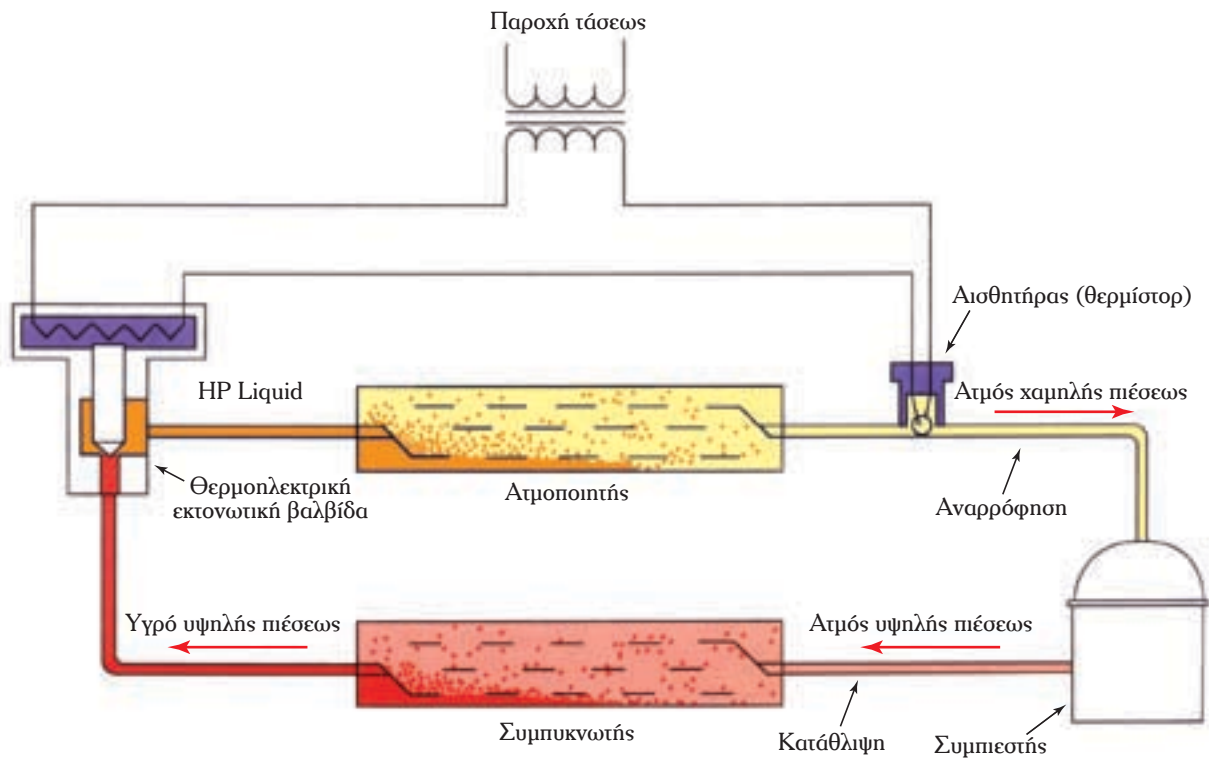
γό, όταν η τάση είναι σταθερή, εξαρτάται από την υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου και μεταδίδεται σε μία εκτονωτική βαλβίδα που περιλαμβάνει ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο και ανοίγει τόσο περισσότερο, όσο μεγαλύτερη ένταση διέρχεται απ' αυτήν.

Οι μεταβολές του ρεύματος της βαλβίδας μπορεί να προέρχονται επίσης από αισθητήρες που αντί για τη θερμοκρασία ανιχνεύουν την πίεση ή την παρουσία υγρού στην έξοδο του ατμοποιητή. Στο σχήμα 8.6α φαίνεται η αρχή λειτουργίας της θερμοπλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας.



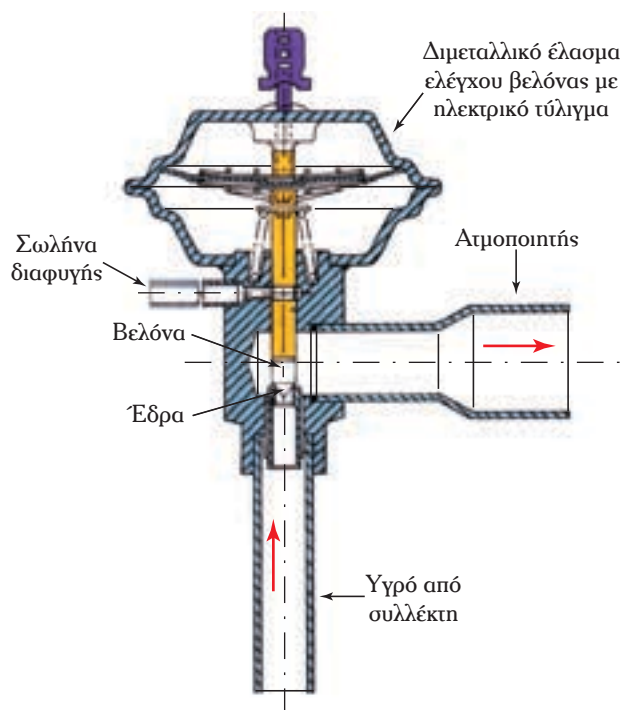
Σχ. 8.50.

Σωστή θέση τοποθετήσεως θερμοστατικού βολβού ανάλογα με τη διάμετρο.



Σχ. 8.6α.

Αρχή λειτουργίας θερμοπλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας.



Σχ. 8.6β.

Θερμοηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα με τύλιγμα διμεταλλικού ελάσματος.

Μια απλή θερμοηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα με διμεταλλικό έλασμα παρουσιάζεται στο σχήμα 8.6β. Η κίνηση της ρυθμιστικής βελόνας πραγματοποιείται από διμεταλλικό έλασμα, στο οποίο βρίσκονται τυλιγμένες ηλεκτρικές αντιστάσεις. Το διμεταλλικό έλασμα θερμαίνεται ανάλογα με την ένταση του διερχόμενου ρεύματος από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις, η οποία ρυθμίζεται από τον ημιαγωγό. Όταν η υπερθέρμανση του ατμού αυξηθεί, αυξάνεται και η ένταση του ρεύματος, οπότε το διμεταλλικό έλασμα θερμαίνεται και διαστέλλεται κάνοντας τη ρυθμιστική βελόνα να ανοίξει. Μ' αυτόν τον τρόπο επί πλέον υγρό διοχετεύεται στον ατμοποιητή. Αντίθετα, όταν η υπερθέρμανση μειωθεί, μειώνεται η ένταση του ρεύματος και η βαλβίδα κλείνει. Για τη λειτουργία του συστήματος απαιτείται σταθερή τάση τροφοδοτήσεως. Επίσης, ανάλογα με τη σχεδίαση της βαλβίδας, αυτή μπορεί να μένει κλειστή ή ανοικτή, όταν η εγκατάσταση είναι εκτός λειτουργίας.

8.7 Ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα.

Οι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες βαλβίδες είναι ένας νέος σχετικά τύπος εκτονωτικού μηχανισμού που συνδυάζει καλύτερο έλεγχο της ροής του ψυκτικού

μέσου και προστασία της εγκαταστάσεως. Επίσης, έχει γρηγορότερη απόκριση στη μεταβολή του ψυκτικού φορτίου και δεν χρειάζεται ρύθμιση από κάποιον τεχνικό. Η βαλβίδες αυτού του τύπου κλείνουν την παροχή του υγρού με το κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα και έτσι δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας στη γραμμή του υγρού για τον έλεγχο της λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Επίσης, οι ηλεκτρονικές βαλβίδες δεν επηρεάζονται από την πτώση της πίεσης συμπυκνώσεως, η οποία μπορεί να συμβεί όταν η θερμοκρασία του μέσου συμπυκνώσεως είναι χαμηλή. Στην περίπτωση αυτή οι ηλεκτρονικές βαλβίδες αποδίδουν κανονικά, ενώ οι απλές θερμοστατικές βαλβίδες τείνουν να λειτουργούν με διαδοχική στέρση και υπερπλήρωση του ατμοποιητή με υγρό.

Οι ηλεκτρονικές εκτονωτικές βαλβίδες ενεργοποιούνται από **βηματικούς κινητήρες** (stepper motors). Οι βηματικοί κινητήρες αποτελούνται από ζεύγη πόλων, τα οποία ενεργοποιούνται διαδοχικά. Η γωνία περιστροφής του άξονα των βηματικών κινητήρων καθορίζεται από τη σειρά και τον αριθμό των πόλων που ενεργοποιούνται. Η περιστροφή του άξονα μεταδίδεται σε έναν κοχλία, που τη μετασχηματίζει σε ευθύγραμμη κίνηση της βελόνας ρυθμίσεως παροχής. Το σήμα για τη λειτουργία της βαλβίδας προέρχεται από έναν ελεγκτή, στον οποίο καθορίζεται η επιθυμητή τιμή της υπερθερμάνσεως και η θερμοκρασία που μετράει ένας αισθητήρας στην έξοδο του ατμοποιητή. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ηλεκτρονικά ελεγχόμενων βαλβίδων:

α) Οι ηλεκτρονικές βαλβίδες, στις οποίες γίνεται **συνεχής ρύθμιση** του ανοίγματος της ρυθμιστικής βελόνας μέσω του βηματικού κινητήρα και

β) οι ηλεκτρονικές βαλβίδες, στις οποίες γίνεται **βηματική ρύθμιση** του ανοίγματος της ρυθμιστικής βελόνας μέσω του βηματικού κινητήρα. Η κίνηση του κινητήρα γίνεται σύμφωνα με τους ηλεκτρικούς παλμούς που στέλνονται από τη μονάδα ελέγχου και ανάλογα με τις απαιτήσεις του ατμοποιητή σε παροχή υγρού ψυκτικού μέσου.

Και στους δύο τύπους βαλβίδων, η μονάδα ελέγχου δίνει σήμα για κλείσιμο της παροχής όταν πέσει η τάση λειτουργίας του συστήματος ελέγχου.

Στο σχήμα 8.7α εικονίζεται ένας τύπος ηλεκτρονικών εκτονωτικών βαλβίδων με συνεχή μεταβολή του ανοίγματος της βελόνας. Ανάλογα με το μέγεθός τους, οι βαλβίδες αυτού του τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν με όλα τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα

(HCFC, HFC) και για ψυκτική ισχύ από 12 RT έως 509 RT (για R-22).

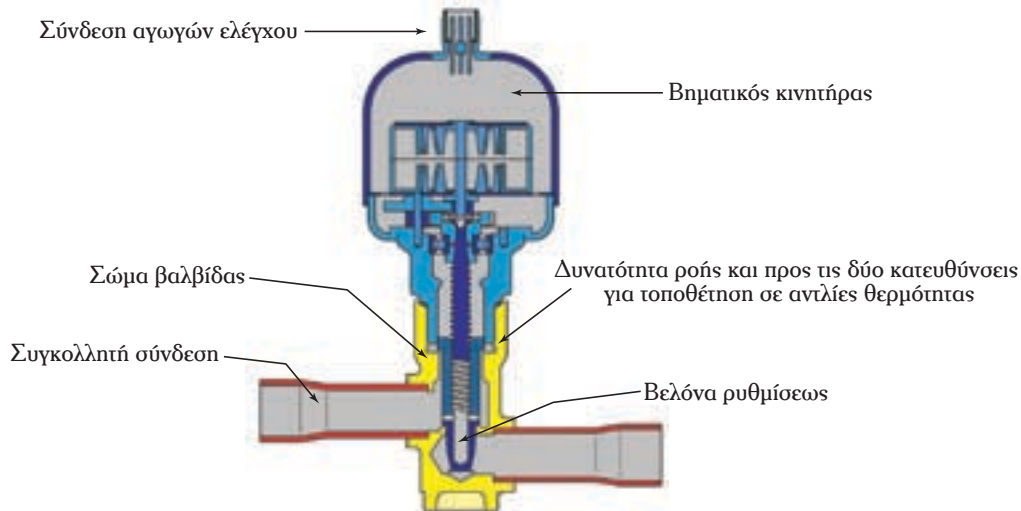
Η κατασκευή μιας ηλεκτρονικής βαλβίδας με συνεχή ρύθμιση και ψυκτική ισχύ 34 RT, φαίνεται στο σχήμα 8.7β. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας της βαλβίδας είναι 45,5 bar και η μέγιστη διαφορά πιέσεων στα δύο άκρα 33 bar. Η μέγιστη διαδρομή της ρυθμιστικής βελόνας είναι 13 mm, και ο βηματικός κινητήρας περιστρέφεται με βήμα περιστροφής 7,5°, με μέγιστο αριθμό περιστροφών 150 ανά λεπτό.

Στο σχήμα 8.7γ εικονίζεται μια μεγαλύτερη βαλβίδα του ίδιου τύπου με ψυκτική ισχύ 319 RT για R-22. Οι σωλήνες εισόδου και εξόδου έχουν διάμετρο 1 3/8" (35 mm). Πάνω στη βαλβίδα υπάρχει ενδεικτική ύαλος για την παρακολούθηση της ροής.



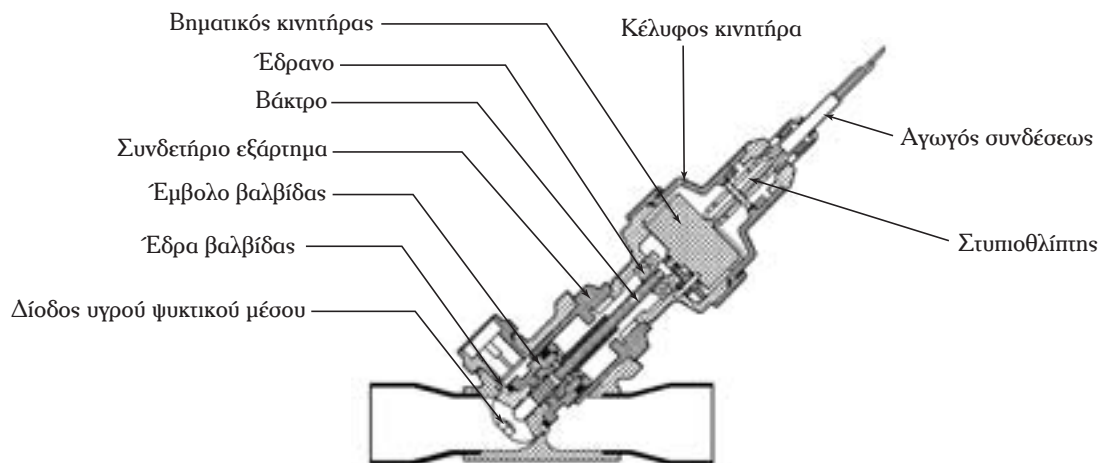
Σχ. 8.7α.

Ηλεκτρονικές εκτονωτικές βαλβίδες με συνεχή μεταβολή του ανοίγματος της βελόνας.



Σχ. 8.7β.

Ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα με συνεχή ρύθμιση και ψυκτική ισχύ 34 RT.



Σχ. 8.7γ.

Ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα με συνεχή ρύθμιση και ψυκτική ισχύ 319 RT.

Στο σχήμα 8.7δ εικονίζονται οι συνιστώσες του συστήματος ηλεκτρονικής εκτονώσεως. Η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του ατμοποιητή παρακολουθούνται από έναν αισθητήρα, ο οποίος συνδέεται με μια κεντρική μονάδα ελέγχου. Οι εντολές στη μονάδα ελέγχου για την επιθυμητή υπερθέρμανση δίνονται από ένα χειριστήριο, ενώ η σταθερή τάση που απαιτείται για τη λειτουργία εξασφαλίζεται από μια μονάδα ελέγχου του κινητήρα. Επί πλέον, η μονάδα αυτή δίνει τους ηλεκτρικούς παλμούς που απαιτούνται για τη λειτουργία του βηματικού κινητήρα και για την ενεργοποίηση των πόλων. Τα καλώδια συνδέσεως της βαλβίδας με τη μονάδα ελέγχου είναι τέσσερα και πρέπει να ακολουθείται το πρωτόκολλο συνδέσεως σύμφωνα με τα χρώματα του κατασκευαστή, ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή φορά περιστροφής και το σωστό βήμα περιστροφής.

Στο σχήμα 8.7ε παρουσιάζεται μια ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα, στην οποία το άνοιγμα της ρυθμιστικής βελόνας ρυθμίζεται από παλμούς μεταβλητού εύρους. Κάθε 6 sec στέλνεται ένας παλμός στη βαλβίδα, με τον οποίο καθορίζεται ο χρόνος, στον οποίο αφήνεται να περάσει η παροχή του υγρού. Αν υπάρχει ανάγκη για μεγάλη παροχή η βαλβίδα μένει ανοικτή για όλο αυτό το διάστημα, ενώ αν η ψυκτική ισχύς είναι μειωμένη η βαλβίδα μένει ανοικτή μόνο για ένα τμήμα του χρόνου των 6 sec. Η ψυκτική ισχύς είναι από 25,5 RT έως 64,3 RT για R-22 και η βαλβίδα είναι πιλοτικά ελεγχόμενη, δηλαδή λειτουργεί με τη δράση της υψηλής πίεσης πάνω σε ένα έμβολο.

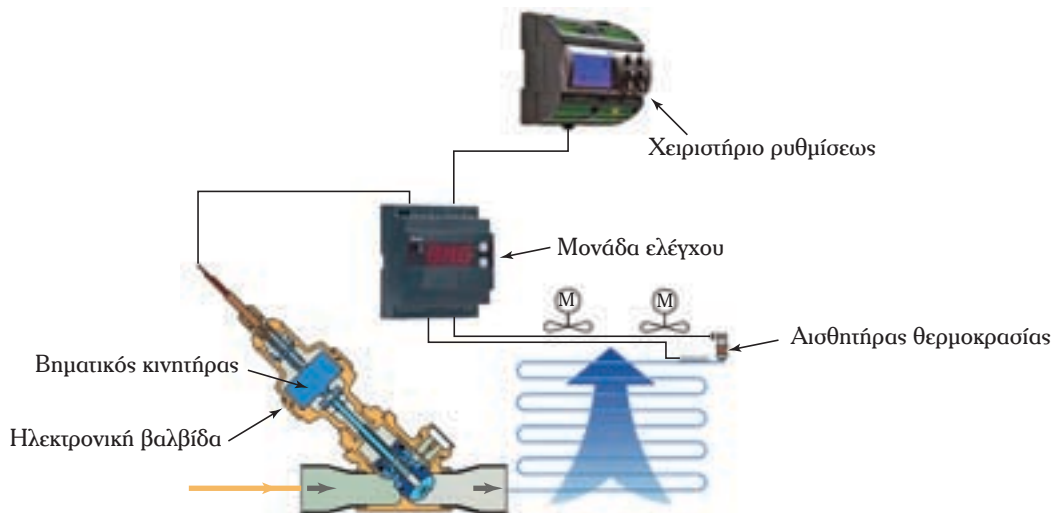
Ο βηματικός κινητήρας μετακινεί μια βελόνα που ελέγχει μια μικρή βαλβίδα, η οποία οδηγεί το ψυκτικό μέσο υψηλής πίεσης στην πάνω μεριά του εμβόλου, στην πλευρά της χαμηλής πίεσης. Όταν στις δύο πλευρές του εμβόλου υπάρχει υψηλή πίεση, αυτό διατηρείται σε κλειστή θέση από την τάση του ελατηρίου. Όταν η πίεση στην πάνω πλευρά πέσει, αυτό ανοίγει από την πίεση στην κάτω του πλευρά και ανοίγει τη δίοδο του υγρού.

8.8 Εκτονωτική βαλβίδα χαμηλής πίεσης με πλωτήρα.

Η εκτονωτική βαλβίδα χαμηλής πίεσης με πλωτήρα (σχ. 8.8) χρησιμοποιείται για τη διατήρηση σταθερής στάθμης ψυκτικού μέσου σε ατμοποιητές υγρού τύπου. Οι βαλβίδες αυτού του τύπου τοποθετούνται έξω από τον ατμοποιητή για να προστατεύονται από παγοφραγμό. Για τον έλεγχο της στάθμης ενώνονται με δύο αγωγούς με το κέλυφος του ατμοποιητή, όπως φαίνεται στο σχήμα. Κατά την κράτηση του συμπιεστή, το υγρό ψυκτικό μέσο συνεχίζει να ρέει μέσα από τη βαλβίδα προς τον ατμοποιητή και ενδεχομένως να εισέλθει στην αναρρόφηση κατά την επανεκκίνηση του συμπιεστή. Γι' αυτόν το λόγο η ροή απομονώνεται από μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα που τοποθετείται πριν τη βαλβίδα πλωτήρα.

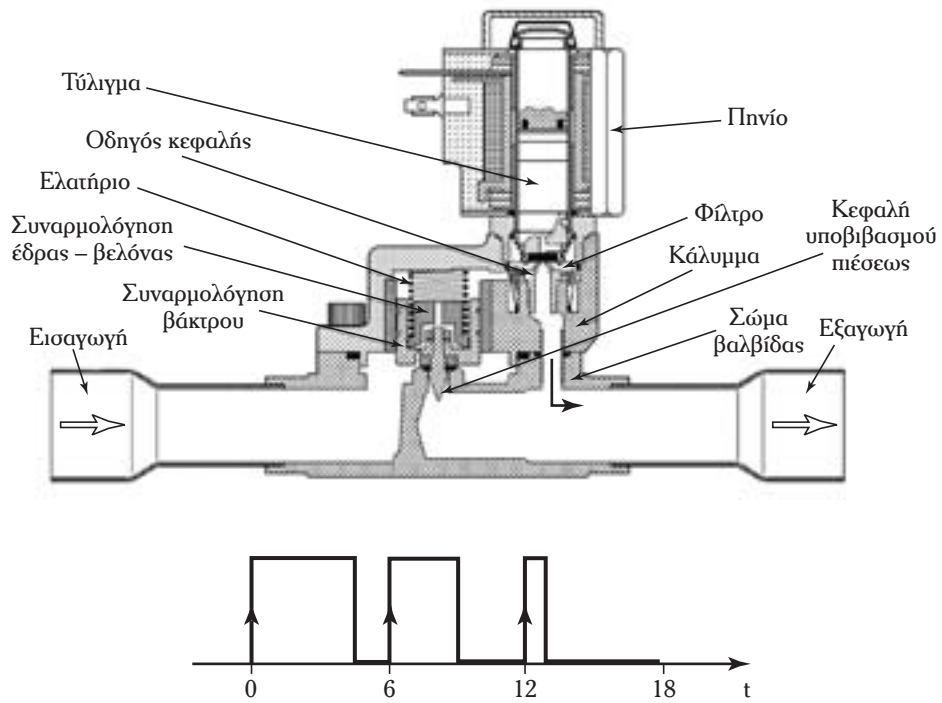
Η βαλβίδα αποτελείται από ένα μεταλλικό πλωτήρα που κινεί μια ρυθμιστική βελόνα. Η ρυθμιστική βελόνα συνήθως ανεβοκατεβαίνει μέσα σ' ένα σωλήνα.

Κατά τη σχεδίαση μιας εγκαταστάσεως με βαλβί-



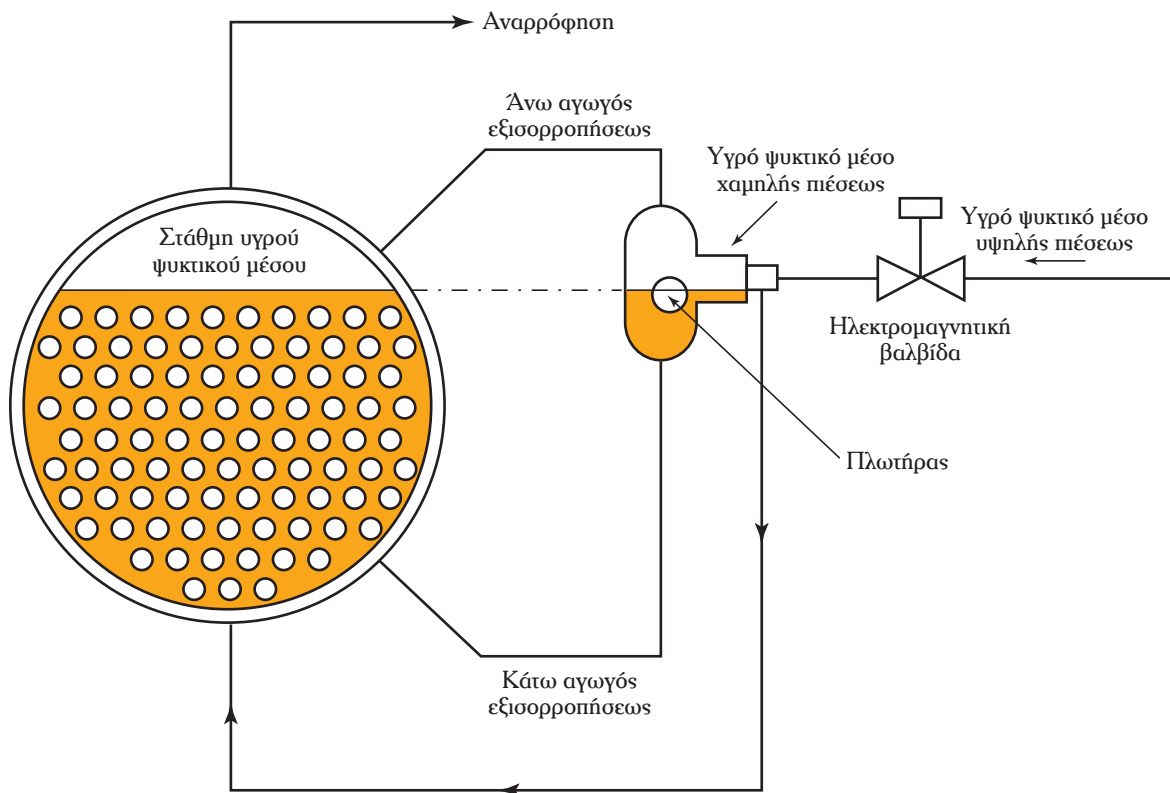
Σχ. 8.7δ.

Συναρμολογία συστήματος ηλεκτρονικής εκτονωτικής βαλβίδας.



Σχ. 8.7ε.

Ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα με βηματική ρύθμιση και ψυκτική ισχύ 25,5 RT–64,3 RT.



Σχ. 8.8.

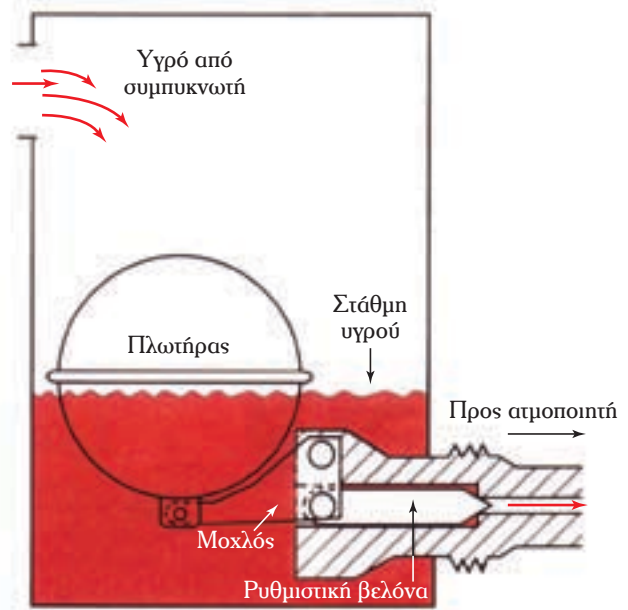
Λειτουργία εκτονωτικής βαλβίδας χαμηλής πίεσης με πλωτήρα.

δα με πλωτήρα χαμηλής πίεσεως πρέπει να δίνεται προσοχή στην επιστροφή του λαδιού προς τον ατμοποιητή. Σε διαφορετική περίπτωση το λάδι συσσωρεύεται στο συμπυκνωτή και προκαλεί διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης.

8.9 Εκτονωτική βαλβίδα υψηλής πίεσεως με πλωτήρα.

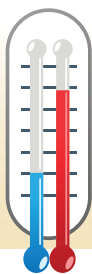
Η εκτονωτική βαλβίδα υψηλής πίεσεως με πλωτήρα (σχ. 8.9) έχει ως σκοπό τη διατήρηση σταθερής στάθμης υγρού στο συλλέκτη υγρού. Μ' αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται ότι η παροχή του υγρού προς τον ατμοποιητή είναι ίση με την παροχή από το συμπιεστή.

Τέτοιες βαλβίδες χρησιμοποιούνται για R-22 και αμμωνία και για ψυκτική ισχύ έως 300 RT. Για μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ η βαλβίδα με πλωτήρα χρησιμοποιείται ως πιλοτική βαλβίδα, που ενεργοποιεί την κύρια βαλβίδα εκτονώσεως.



Σχ. 8.9.

Εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα υψηλής πίεσεως.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Σωληνώσεις – Βαλβίδες – Εξαρτήματα αυτοματισμού ψυκτικών εγκαταστάσεων

9.1 Γενικά.

Σε μια ψυκτική εγκατάσταση μηχανικής συμπίεσης ατμών ψυκτικού μέσου, εκτός από τα κύρια εξαρτήματα που είναι ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής, η εκτονωτική βαλβίδα και ο ατμοποιητής, υπάρχουν και άλλα που εκτελούν κύριες ή βοηθητικές λειτουργίες της εγκαταστάσεως. Αυτά μπορούν να καταταγούν ως εξής:

- α) Εξαρτήματα γραμμής ψυκτικού μέσου:
 - Σωληνώσεις.
 - Αντικραδασμικά εξαρτήματα.
 - Φίλτρα.
 - Αφυγραντήρας.
 - Ενδείκτης ροής.
 - Εναλλάκτης θερμότητας.
- β) Εξαρτήματα ελέγχου ροής ψυκτικού μέσου:
 - Διακόπτες δικτύου.
 - Βαλβίδες αντεπιστροφής.
 - Ασφαλιστικά επιστόμια.
 - Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.
 - Αντλία ψυκτικού μέσου (η αντλία ψυκτικού μέσου περιγράφεται στο Παράρτημα 5.Β).
- γ) Εξαρτήματα αυτοματισμού και ασφαλείας:
 - Θερμοστατικοί και πιεζοστατικοί διακόπτες.
 - Θερμοστάτες με διμεταλλική επαφή.
 - Θερμοστάτες με θερμοστατικό στοιχείο.
 - Ηλεκτρονικοί θερμοστάτες.
 - Πιεζοστάτης υψηλής πίεσεως.
 - Πιεζοστάτης χαμηλής πίεσεως.
 - Διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού.
 - Διακόπτης με πλωτήρα.
- δ) Εξαρτήματα ρυθμίσεως πίεσεως:
 - Βαλβίδα παρακάμψεως θερμού αερίου.
 - Ρυθμιστής πίεσεως ατμοποίησης.
 - Ρυθμιστής πίεσεως στροφαλοθαλάμου.
 - Ρυθμιστής πίεσεως συμπυκνώσεως (χρησιμοποιείται σε αερόψυκτες εγκαταστάσεις και δεν περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο).

Επίσης άλλο ένα βοηθητικό εξάρτημα ρυθμίσεως της πίεσεως είναι η βαλβίδα ρυθμίσεως της κυ-

κλοφορίας του νερού συμπυκνώσεως, η οποία έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 6.

9.2 Σωληνώσεις ψυκτικών εγκαταστάσεων.

9.2.1 Γενικά περί σωληνώσεων – Υλικά και διαστάσεις.

Οι σωληνώσεις των ψυκτικών εγκαταστάσεων επιλέγονται έτσι, ώστε να μην δημιουργείται μεγάλη πτώση πίεσεως κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου, η οποία συνεπάγεται μείωση της αποδόσεως της εγκαταστάσεως. Η ελαχιστοποίηση της πτώσεως πίεσεως γίνεται με αύξηση της διαμέτρου και μείωση της μέσης ταχύτητας του ψυκτικού μέσου. Όμως, με τη μείωση της μέσης ταχύτητας του ψυκτικού μέσου δεν παρασύρονται οι σταγόνες λαδιού και δυσκολεύεται η επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή, ενώ ταυτόχρονα η αύξηση της διαμέτρου σημαίνει αύξηση του κόστους της εγκαταστάσεως. Έτσι, η κατάλληλη διάμετρος της σωληνώσεως στα διάφορα σημεία της εγκαταστάσεως επιλέγεται, ώστε να ικανοποιείται αφενός η μικρή πτώση πίεσεως και αφετέρου η επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή.

Γενικά, οι σωληνώσεις της ψυκτικής εγκαταστάσεως πρέπει να ικανοποιούν τις εξής απαιτήσεις:

- α) Να παρέχουν κανονική παροχή υγρού ψυκτικού μέσου στους ατμοποιητές.
- β) Να έχουν διαστάσεις, οι οποίες διευκολύνουν την κατασκευή.
- γ) Να αποφεύγεται η μεγάλη πτώση πίεσεως του ψυκτικού μέσου.
- δ) Να προλαμβάνουν την παγίδευση μεγάλων ποσοτήτων λιπαντικού λαδιού σε οποιοδήποτε σημείο της εγκαταστάσεως.
- ε) Να προστατεύουν το συμπιεστή από απώλεια λαδιού σε όλες τις καταστάσεις φορτίσεως.
- στ) Να προστατεύουν το συμπιεστή από την είσοδο υγρού ψυκτικού μέσου.
- ζ) Να διατηρούνται καθαρές χωρίς επικαθίσεις ακαθαρσιών και υγρασίας.

Οι σωληνώσεις των ψυκτικών εγκαταστάσεων χωρίζονται στα εξής τμήματα, ανάλογα με τη φάση του ψυκτικού μέσου και την πίεσή του:

α) **Σωλήνωση αναρροφήσεως**, η οποία συνδέει τον ατμοποιητή με το συμπιεστή.

β) **Σωλήνωση καταθλίψεως**, που συνδέει το συμπιεστή με το συμπυκνωτή.

γ) **Σωλήνωση υγρού**, που συνδέει το συμπυκνωτή ή το συλλέκτη υγρού με την εκτονωτική βαλβίδα και

δ) **σωληνώσεις ειδικών χρήσεων**, όπως η σωλήνωση παρακάμψεως θερμού αερίου για την αποκλιόνωση του ατμοποιητή κ.λπ..

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις σωληνώσεις των ψυκτικών εγκαταστάσεων είναι ο χαλκός, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, ο χάλυβας και ο ανοξείδωτος χάλυβας. Τα υλικά αυτά είναι συμβατά με τα συνήθη ψυκτικά μέσα εκτός από το χαλκό που δεν είναι κατάλληλος για τις εγκαταστάσεις με αμμωνία, διότι με την παρουσία υγρασίας, ο χαλκός διαβρώνεται από την αμμωνία. Οι χάλκινοι σωλήνες είναι πιο ανθεκτικοί στη διάβρωση με τα συνήθη ψυκτικά μέσα και είναι πιο ελαφρείς. Επίσης είναι ευκολότεροι στη διαμόρφωση και στη σύνδεση μεταξύ τους και με τα εξαρτήματα του δικτύου. Έτσι, με όλα τα ψυκτικά μέσα, εκτός της αμμωνίας, οι σωληνώσεις με διάμετρο μέχρι 50 mm είναι χάλκινες ή χαλύβδινες. Οι σωληνώσεις με διάμετρο μεγαλύτερη από 50 mm είναι χαλύβδινες. Οι ανοξείδωτοι σωλήνες χρησιμοποιούνται σε λίγες περιπτώσεις αν και είναι δύσκολοι στην κατεργασία, λόγω της καθαρότητας που εξασφαλίζουν στο δίκτυο. Επίσης, περιορισμένη είναι η χρήση των αλουμινένιων σωλήνων με τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα λόγω του υψηλού κόστους τους.

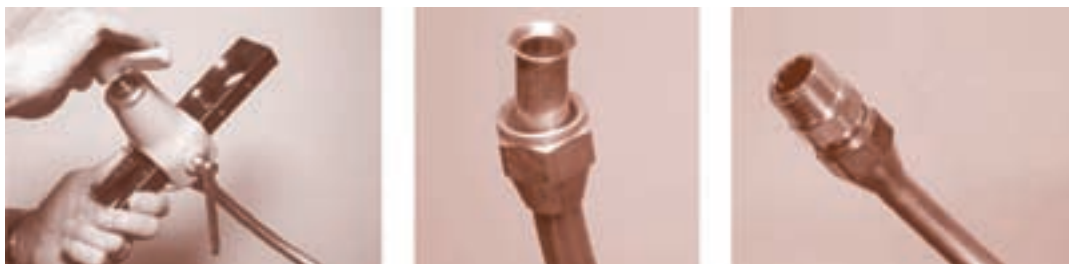
Οι χαλύβδινοι σωλήνες μπορεί να κατασκευάζονται με ραφή ή χωρίς ραφή και να αντέχουν στην πίεση λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Για θερμοκρα-

σίες κάτω από $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ χρησιμοποιείται λεπτόκοκος χάλυβας ειδικών προδιαγραφών. Τα εξαρτήματα και οι βαλβίδες σε χάλκινα δίκτυα είναι κατασκευασμένα από ορείχαλκο, ενώ σε χαλύβδινα από ανοξείδωτο χάλυβα.

Οι σωληνώσεις μπορεί να είναι από σκληρό χαλκό σε βέργες ή ανοπυμένο χαλκό σε κουλούρες. Οι ανοπτούμενοι χαλκοσωλήνες χρησιμοποιούνται για ονομαστική διάμετρο έως 20 mm, όταν απαιτείται καμπύλωση κατά την κατασκευή. Για την καμπύλωση ενός ανοπτούμενου χάλκινου σωλήνα με μικρή διάμετρο πρέπει να γίνεται χρήση ειδικού εξαρτήματος που προστατεύει το σωλήνα από τσάκισμα.

Οι ενώσεις των σωλήνων μπορούν να γίνονται με σκληρή ετερογενή συγκόλληση, με κοχλίωση, με παραμόρφωση των άκρων και χρήση εξαρτημάτων ή με παρεμβύσματα ανάλογα με την ονομαστική διάμετρο και την πίεση λειτουργίας. Για μικρές διαμέτρους και πιέσεις γίνεται σύνδεση με κοχλίωση ή με παραμόρφωση των άκρων και χρήση συνδετηρίων εξαρτημάτων. Όταν στους χάλκινους σωλήνες γίνεται σύνδεση με παραμόρφωση και ορειχάλκινα εξαρτήματα, στο σημείο συνδέσεως τοποθετείται ψυκρέλαιο για τη μείωση της τριβής και τη διατήρηση της στεγανότητας. Στο σχήμα 9.2α φαίνεται μια συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος συνδέσεως χαλκοσωλήνων με παραμόρφωση άκρων και χρήση ορειχάλκινου εξαρτήματος.

Επίσης, όταν γίνεται συγκόλληση χαλκοσωλήνα με κάποιο εξάρτημα (π.χ. εκτονωτική βαλβίδα), το οποίο έχει κατάλληλες υποδοχές συγκολλησεως, το εξάρτημα πρέπει να περιτυλίγεται μ' ένα πανί που διατηρείται υγρό, ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία του. Η συγκόλληση χαλκοσωλήνα απελευθερώνει αέρια οξεία, τα οποία στη συνέχεια κυκλοφορούν στην εγκατάσταση και διαβρώνουν τα μέταλλα. Για να αποφεύγεται αυτό είναι απαραίτητη η σύνδεση



Σχ. 9.2α.

Σύνδεση χαλκοσωλήνα με παραμόρφωση άκρων και χρήση ορειχάλκινου εξαρτήματος.

μιας φιάλης με άζωτο και η κυκλοφορία αζώτου εσωτερικά στη σωλήνωση κατά τη διάρκεια της συγκολλησεως.

Για μεγαλύτερες διαμέτρους, σε σωλήνες από χάλυβα, γίνεται σύνδεση με συγκολλημένες φλάντζες και παρεμβύσματα. Οι φλάντζες έχουν διαμόρφωση που συμπιέζει και συγκρατεί το υλικό στεγανώσεως.

Οι σωληνώσεις πρέπει να ελέγχονται για διαρροές μετά την κατασκευή της εγκαταστάσεως ή μετά από μία επισκευή. Η σωλήνωση αναρροφήσεως πρέπει να μονώνεται, ούτως ώστε να περιορίζεται η υπερθέρμανση, η συμπύκνωση υγρασίας και η δημιουργία πάγου. Το υλικό μονώσεως πρέπει να έχει σκληρή στεγανή επένδυση, ώστε να αποφεύγεται η διάδοση της υγρασίας μέσα σ' αυτήν. Επίσης, μονωμένη πρέπει να είναι και η γραμμή του υγρού ψυκτικού μέσου. Η σωλήνωση καταθλίψεως δεν απαιτείται να είναι μονωμένη, εκτός και αν αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, που είναι επικίνδυνες να προκαλέσουν εγκαύματα.

Για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται χαλκοσωλήνες τύπου L ή DIN 1754, των οποίων οι διαστάσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα 5.A. Οι χαλβδοσωλήνες που χρησιμοποιούνται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι τυποποιημένες κατά τα DIN 2441, 2448, 2385, 2440 ή είναι τύπου Schedule 40.

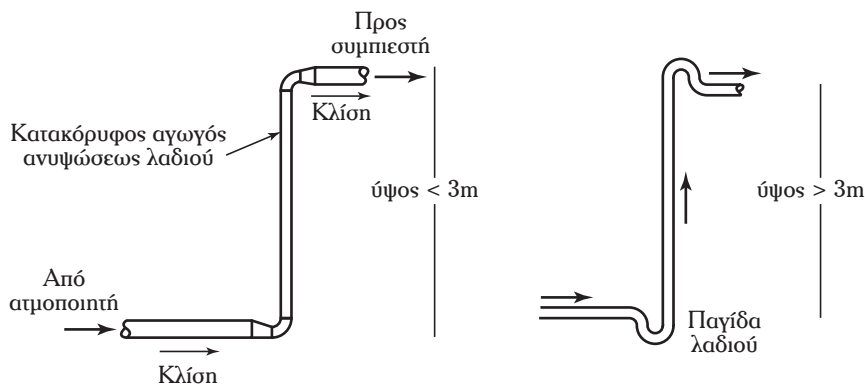
9.2.2 Διαμόρφωση σωληνώσεων για εξασφάλιση επιστροφής λαδιού.

Η επιστροφή του λαδιού που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση, στο συμπιεστή εξαρτάται από την ταχύτητα του ψυκτικού μέσου στις σωληνώσεις. Οι συνιστώμενες ταχύτητες στα διάφορα τμήματα της εγκαταστάσεως δίνονται στο Παράρτημα 5.A.2. Επίσης στο ίδιο παράρτημα δίνονται οι σχέσεις και τα

διαγράμματα υπολογισμού της πτώσεως πίεσεως και της ταχύτητας στις σωληνώσεις για R-134a.

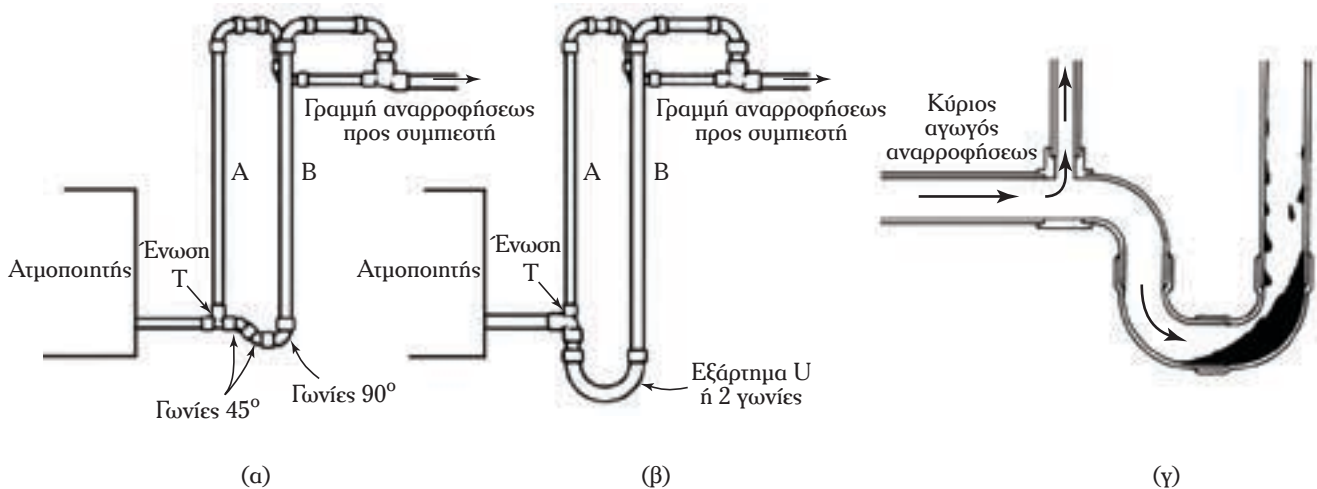
Όταν ο συμπιεστής βρίσκεται χαμηλότερα από τον ατμοποιητή, τότε η επιστροφή του λαδιού εξασφαλίζεται από την κλίση της σωληνώσεως αναρροφήσεως. Όταν όμως ο ατμοποιητής βρίσκεται χαμηλότερα από το συμπιεστή, τότε οι διατομές των κατακόρυφων τμημάτων είναι μικρότερες, ώστε ο ατμός να επιταχύνεται και να παρασύρει το λάδι προς το συμπιεστή. Στο οριζόντιο τμήμα η διάμετρος είναι μεγαλύτερη, ούτως ώστε να υπάρχουν μικρότερες τριβές και να μην υπάρχει μεγάλη αύξηση της ισχύος συμπίεσεως. Η διάμετρος του κατακόρυφου τμήματος υπολογίζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η ταχύτητα του ατμού στο ελάχιστο φορτίο της εγκαταστάσεως να είναι αρκετή για να παρασύρει το λάδι και να το κάνει να ανέβει προς το άνω οριζόντιο τμήμα. Όταν το ύψος του κατακόρυφου σωλήνα είναι μεγαλύτερο από 3 m, για κάθε 3 m υψομετρικής διαφοράς κατασκευάζονται παγίδες λαδιού στα δύο άκρα του σωλήνα ανυψώσεως. Μία διάταξη μονής ανυψώσεως χωρίς παγίδες λαδιού εικονίζεται στο σχήμα 9.2β.

Όταν ο σωλήνας ανυψώσεως έχει μεγάλο ύψος ή το ψυκτικό φορτίο μπορεί να είναι μικρότερο από το 25% του μέγιστου, τότε η διαστασιολόγηση της διαμέτρου με το ελάχιστο φορτίο οδηγεί σε μεγάλη πτώση πίεσεως κατά τη λειτουργία με μεγαλύτερο φορτίο. Στην περίπτωση αυτή κατασκευάζεται η διάταξη με σωλήνες διπλής ανυψώσεως (σχ. 9.2γ). Η διάμετρος του μικρού σωλήνα ανυψώσεως είναι κατάλληλη για τη λειτουργία σε μειωμένο φορτίο. Όταν η εγκατάσταση έχει μειωμένο φορτίο το λάδι που επιστρέφει γεμίζει πρώτα την ελαιοπαγίδα στο μεγάλο σωλήνα ανυψώσεως και εμποδίζει τη ροή του ατμού απ' αυτήν. Ο ατμός περνάει από το μι-



Σχ. 9.2β.

Διάταξη μονού σωλήνα ανυψώσεως λαδιού.



Σχ. 9.2γ.

Διαμόρφωση διπλού σωλήνα ανυψώσεως λαδιού: (α) Με γωνίες 45°, (β) με εξαρτήματα U, (γ) λειπουργία σε μειωμένο φορτίο.

κρό σωλήνα και ανυψώνει το επί πλέον λάδι που επιστρέφει από τον ατμοποιητή προς το συμπιεστή. Όταν το ψυκτικό φορτίο αυξηθεί, αυξάνεται και η ταχύτητα του ατμού στο μικρό σωλήνα και δημιουργείται μεγάλη πτώση πίεσεως και αντίσταση στη ροή. Η πίεση στην ελαιοπαγίδα αυξάνεται και ωθεί το λάδι προς την πάνω μεριά του σωλήνα. Η είσοδος στο μεγάλο σωλήνα ανυψώσεως απελευθερώνεται και η ροή του ατμού τότε γίνεται με μικρότερες τριβές. Η διαμόρφωση του διπλού σωλήνα ανυψώσεως μπορεί να γίνει με γωνίες 45° ή με εξαρτήματα U, ώστε να ελαχιστοποιείται ο όγκος του λαδιού που παγιδεύεται σε συνθήκες μικρού ψυκτικού φορτίου.

9.3 Αντικραδασμικά εξαρτήματα σωληνώσεων.

Οι συμπιεστές και οι αντλίες μεταδίδουν κραδασμούς στις σωληνώσεις της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Οι κραδασμοί καταπονούν μηχανικά τις σωληνώσεις και τις συνδέσεις και έχουν ως αποτέλεσμα τη θραύση σε σημεία συγκεντρώσεως τάσεων ή τη διαρροή ψυκτικού μέσου σε σημεία ενώσεων. Η απομόνωση των κραδασμών του συμπιεστή γίνεται με αντικραδασμικά εύκαμπτα εξαρτήματα που τοποθετούνται στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη του συμπιεστή (σχ. 9.3α). Οι αντικραδασμικοί σύνδεσμοι αποτελούνται από έναν ανοξείδωτο σωλήνα με διαμόρφωση φυσούνας, η οποία προστατεύεται από ένα ανοξείδωτο δικτυωτό πλέγμα και έχει χάλκινα άκρα, ώστε να διευκολύνεται η συγκόλληση. Η πίεση λειτουργίας είναι συνήθως γύρω στα 23 bar και η θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να ποικίλλει

από -40 °C έως 100 °C. Οι σύνδεσμοι αυτοί τοποθετούνται κοντά στο συμπιεστή σ' ένα ευθύ τμήμα της σωληνώσεως, δεδομένου ότι δεν μπορούν να κάμπτονται μόνιμα. Η τοποθέτησή τους γίνεται κάθετα στη διεύθυνση των κραδασμών, ενώ όταν υπάρχουν κραδασμοί σε δύο επίπεδα τοποθετούνται δύο σύνδεσμοι σε κάθετη διάταξη (σχ. 9.3β). Η τοποθέτηση του σταθερού στηρίγματος πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον αντικραδασμικό.

Όταν η θερμοκρασία του σωλήνα αναρροφήσεως είναι χαμηλή και σχηματίζεται πάγος εξωτερικά, ο αντικραδασμικός σύνδεσμος πρέπει να τοποθετείται σε οριζόντια θέση, ώστε να μην γίνεται συγκέντρωση πάγου στο κάτω μέρος του αντικραδασμικού συνδέσμου. Όταν δεν είναι δυνατή η οριζόντια τοποθέτηση, ο σύνδεσμος πρέπει να καλύπτεται από ειδικό μονωτικό υλικό που εμποδίζει την είσοδο και τη συμπύκνωση υδρατμών.

Σε μικρούς συμπιεστές η απομόνωση των κραδασμών μπορεί να γίνει με διαμόρφωση των αγωγών αναρροφήσεως και καταθλίψεως με διαδοχικά S και με τοποθέτηση του σταθερού στηρίγματος μακριά από το συμπιεστή. Συνήθως χρειάζονται τρία S με μήκος 20-πλάσιο της διαμέτρου, στους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως για ικανοποιητική απομόνωση των κραδασμών.

Για την απομόνωση των κραδασμών σε αντλίες άλμης και νερού, αυτές συνδέονται με εύκαμπτα εξαρτήματα ή με ελαστικούς σωλήνες με το κυρίως δίκτυο.

9.4 Φίλτρα ψυκτικού μέσου.

Τα φίλτρα του ψυκτικού μέσου έχουν ως σκοπό τη συγκράτηση των ρινισμάτων και των ρύπων που παρασύρονται και κυκλοφορούν στην εγκατάσταση. Οι ακαθαρσίες αυτές, αν δεν κατακρατηθούν στα φίλτρα του ψυκτικού μέσου, επικάθονται σε διάφορα σημεία της εγκαταστάσεως, όπου προκαλούν ανωμαλίες ή φραγμό. Οι ανωμαλίες είναι πιθανότερο να προκύψουν στα εξαρτήματα, όπου υπάρχει μικρή διατομή όπως στην εκτονωτική και στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Επίσης, τα ρινίσματα είναι δυνατόν να προκαλέσουν φθορές στο συμπιεστή και ρύπανση του λαδιού. Τα φίλτρα αποτελούνται από ένα μεταλλικό (ορειχάλκινο, χαλύβδινο ή ανοξείδωτο) σώμα και περιλαμβάνουν ένα ανοξείδωτο πλέγμα, στο οποίο κατακρατούνται οι ακαθαρσίες. Τα φίλτρα των μεγαλύτερων ψυκτικών εγκαταστάσεων είναι λυόμενα, ώστε να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ενώ ο σχεδιασμός τους σε συνδυασμό με το συχνό καθαρισμό εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση της πώσεως πίεσης. Η επιθεώρηση και ο καθαρισμός των φίλτρων πρέπει να γίνονται συχνότερα όταν τίθεται σε λειτουργία μία νέα εγκατάσταση ή μετά από επισκευή μιας υπάρχουσας εγκαταστάσεως. Η μικρή πώση πίεσης στο φίλτρο είναι απαραίτητη, ώστε να μην δημιουργείται απορρύθμιση των μηχανισμών ελέγχου του ψυκτικού μέσου.

Τα φίλτρα του ψυκτικού μέσου τοποθετούνται σε δύο θέσεις:

α) Στη **γραμμή υγρού** πριν την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και

β) στον **αγωγό αναρροφήσεως**.

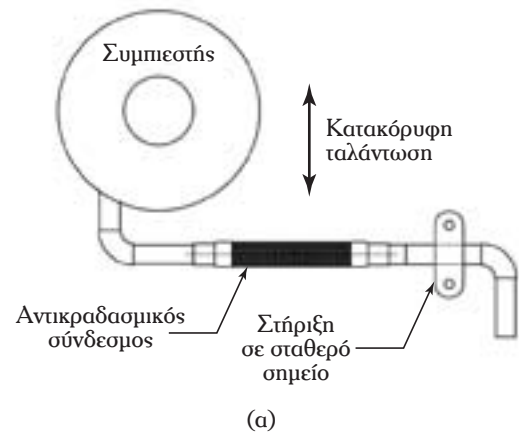
Στο σχήμα 9.4 εικονίζονται φίλτρα ψυκτικού μέσου, με κάθετη και με λοξή διάταξη του πλέγματος συγκρατήσεως. Τα φίλτρα του ψυκτικού μέσου, ανεξάρτητα από το σημείο τοποθετήσεως τοποθετούνται οριζόντια, έτσι ώστε το κάλυμμα του μεταλλικού πλέγματος να είναι προς τα κάτω και να υπάρχει αρκετός χώρος για την εξάρμοσή του. Εάν υπάρχει μόνωση, τότε αυτή θα πρέπει να είναι αφαιρούμενη. Για τον καθαρισμό του, το φίλτρο πρέπει να ανοίγεται μετά την κράτηση από χαμηλή πίεση του συμπιεστή, ώστε να μην υπάρχει μέσα του υγρό ψυκτικό μέσο. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει γραμμή παρακάμψεως, ώστε να μπορεί να γίνεται καθαρισμός του πλέγματος, ενώ ταυτόχρονα να μπορεί να λειτουργεί η εγκατάσταση. Αν δεν υπάρχει γραμμή παρακάμψεως πρέπει να κρατείται ο συμπιεστής κατά τον καθαρισμό. Ο καθαρισμός του μεταλλικού πλέγματος γίνεται με βύθιση σε τετραχλωριούχο άνθρακα και κατόπιν με πεπιεσμένο αέρα. Αφού καθαριστεί το μεταλλικό πλέγμα, αυτό πρέπει να επανατοποθετείται σωστά, ώστε να μην παραμορφωθεί κατά τη

θαρισμό. Ο καθαρισμός του μεταλλικού πλέγματος γίνεται με βύθιση σε τετραχλωριούχο άνθρακα και κατόπιν με πεπιεσμένο αέρα. Αφού καθαριστεί το μεταλλικό πλέγμα, αυτό πρέπει να επανατοποθετείται σωστά, ώστε να μην παραμορφωθεί κατά τη

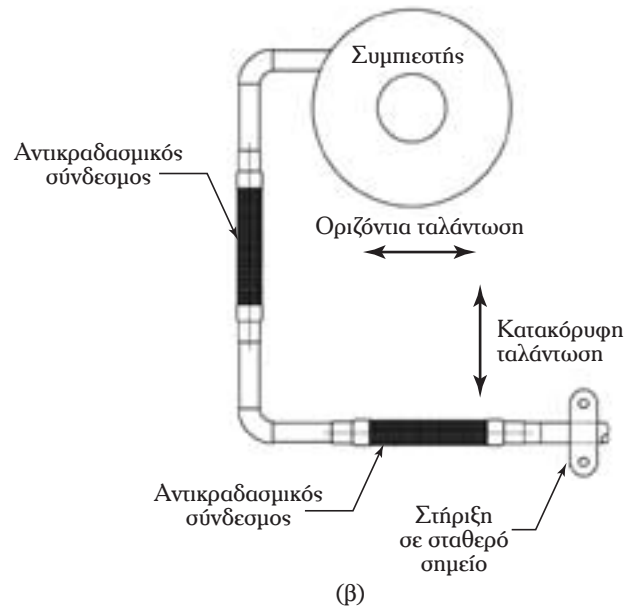


Σχ. 9.3α.

Αντικραδαστικός σύνδεσμος.



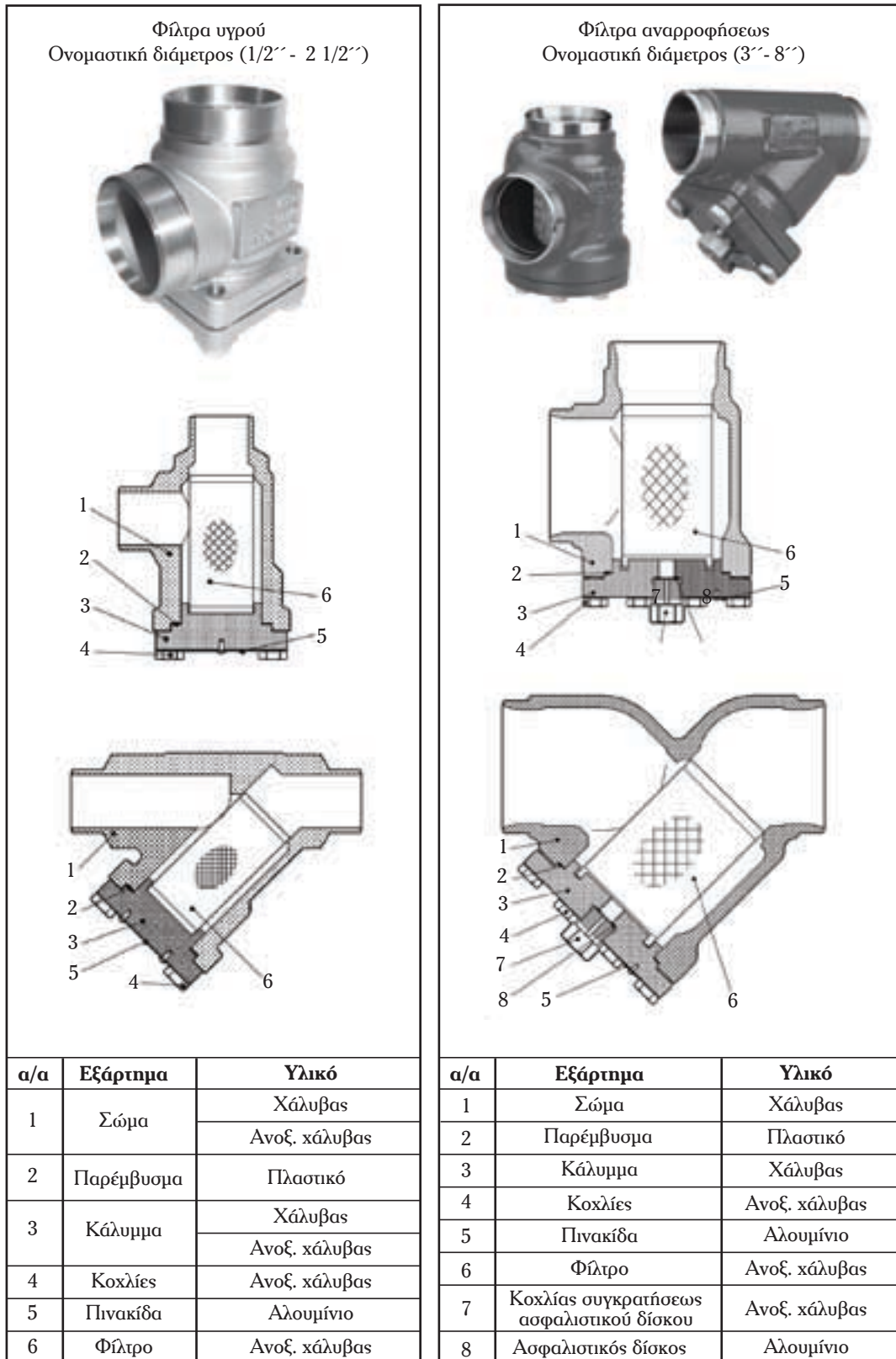
(α)



(β)

Σχ. 9.3β.

Τοποθέτηση αντικραδαστικού εξαρτήματος για απομόνωση κραδασμών: (α) Σε μια κατεύθυνση και (β) σε δύο κατευθύνσεις.



Σχ. 9.4.
Φίλτρα ψυκτικού μέσου.

σύσφιξη. Το παρέμβυσμα πρέπει να λιπανθεί με μία στρώση ψυχρελαίου και ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί στο φίλτρο να εκδιωχθεί με μερικό άνοιγμα του επιστομίου παροχής ψυκτικού μέσου. Αφού εκδιωχθεί ο αέρας, κλείνεται το επιστόμιο παροχής, κοχλιώνεται πλήρως το κάλυμμα και ανοίγονται και τα δύο επιστόμια στα άκρα του φίλτρου. Αν υπάρχει γραμμή παρακάμψεως, αυτή απομονώνεται με κλείσιμο του επιστομίου, ώστε η ροή του ψυκτικού μέσου να περνάει από το φίλτρο. Προσοχή χρειάζεται, ώστε να ανοιχθεί πρώτα το επιστόμιο εισόδου και μετά το επιστόμιο εξόδου. Αν ανοιχθεί πρώτα το επιστόμιο εξόδου, μπορεί να δημιουργηθεί αντίθετη ροή ψυκτικού μέσου και να παραμορφωθεί το μεταλλικό πλέγμα.

Το μεταλλικό πλέγμα είναι τοποθετημένο έτσι, ώστε οι ακαθαρσίες να συγκεντρώνονται στην εσωτερική του πλευρά και να είναι ευκολότερος ο καθαρισμός. Όταν το πλέγμα είναι φραγμένο το μεταλλικό πλέγμα μπορεί να σχιστεί. Το ίδιο μπορεί να συμβεί όταν η ταχύτητα του ψυκτικού μέσου είναι πολύ μεγάλη, οπότε θα πρέπει το φίλτρο να αντικατασταθεί με άλλο μεγαλύτερο.

Και οι δύο τύποι των φίλτρων στο σχήμα 9.4, είναι κατάλληλοι για τοποθέτηση στην υγρή γραμμή και στη γραμμή αναρροφήσεως, ενώ αυτό που αλλάζει είναι η πυκνότητα οπών του μεταλλικού πλέγματος. Η πυκνότητα οπών του μεταλλικού πλέγματος μετρείται με τον **αριθμό mesh**, που αντιστοιχεί στον αριθμό οπών ανά ίντσα ή στην απόσταση σε μ (microns) ($1\text{micron} = 1/1000\text{ mm}$) ανάμεσα σε διαδοχικές οπές. Η συνιστώμενη πυκνότητα οπών είναι:

α) Σε όλες τις σωληνώσεις, για αρχική θέση σε λειτουργία και για τις πρώτες 24 h : 50 μ .

β) Σε γραμμές υγρού ψυκτικού μέσου πριν την εκτονωτική βαλβίδα: 150 μ –250 μ (100 mesh–72 mesh).

γ) Πριν από το ρυθμιστή πίεσεως ατμοποιητή: 250 μ (72 mesh).

δ) Σε γραμμή αναρροφήσεως με κοχλιωτό συμπιεστή: 250 μ (72 mesh).

ε) Σε γραμμή αναρροφήσεως με εμβολοφόρο συμπιεστή: 150 μ (100 mesh).

9.5 Αφυγραντήρας.

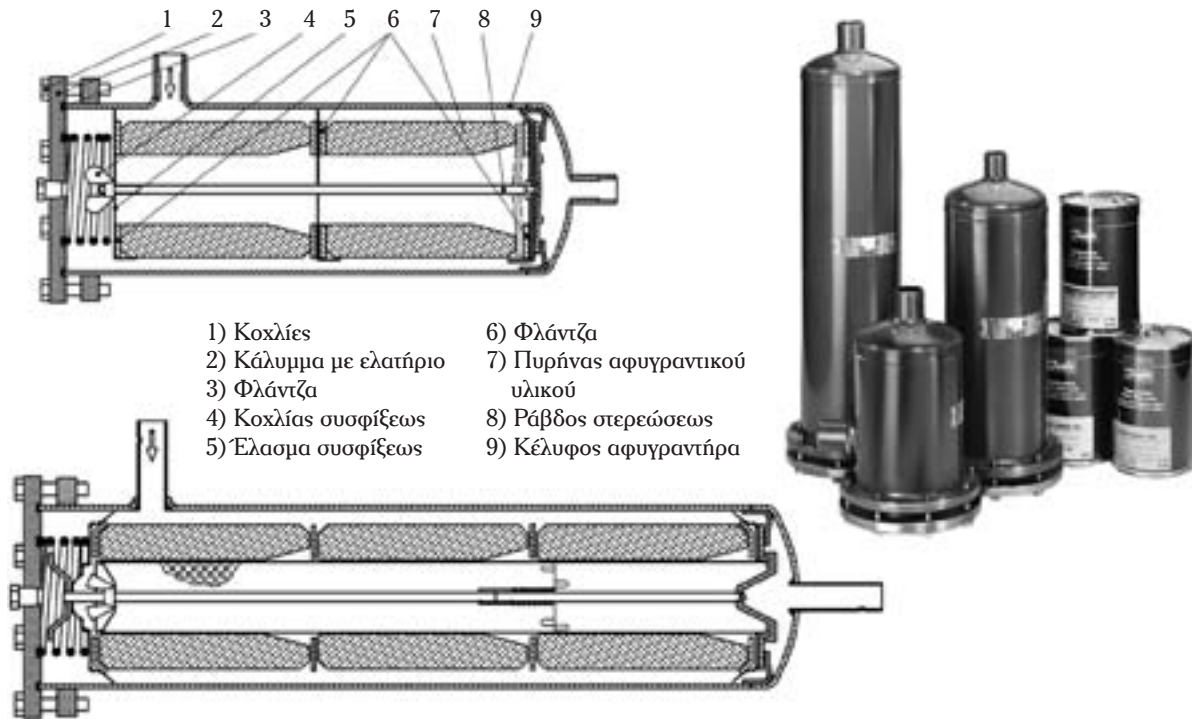
Οι **αφυγραντήρες** (filter dryers) έχουν ως σκοπό αφενός τη συγκράτηση στερεών σωματιδίων και αφετέρου τη συγκράτηση της υγρασίας και των οξέ-

ων που κυκλοφορούν στην ψυκτική εγκατάσταση. Η είσοδος της υγρασίας γίνεται με τη λανθασμένη εκκένωση πριν την πλήρωση με ψυκτικό μέσο και από τυχόν σημεία διαρροής. Επίσης η υγρασία μπορεί να εισέλθει κατά τη συμπλήρωση συνθετικών λιπαντικών πολυεστερικής βάσεως (POE) από μη σφραγισμένα δοχεία στο συμπιεστή. Τα POE, τα οποία χρησιμοποιούνται με τα νέα ψυκτικά μέσα, όταν βρίσκονται σε ανοικτά δοχεία, απορροφούν την υγρασία της ατμόσφαιρας σε μεγαλύτερο ποσοστό από τα ορυκτά λάδια (MO). Η υγρασία στη συνέχεια μπορεί να προκαλέσει παγοφραγμό στην εκτονωτική βαλβίδα και να επιταχύνει τη διάβρωση της εγκαταστάσεως. Επίσης, με την παρουσία υγρασίας υδρολύονται τα συνθετικά λιπαντικά και σχηματίζουν οξέα, τα οποία κυκλοφορούν σε αέρια μορφή και σε μεγάλες συγκεντρώσεις φθείρουν τα ευαίσθητα σημεία. Γι' αυτό, η ελάττωση της υγρασίας είναι βασική για την απόδοση και την προστασία μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως. Η αφαίρεση της υγρασίας πραγματοποιείται με τους αφυγραντήρες, ενώ για τη μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας στο σύστημα, χρησιμοποιούνται οι μετρητές υγρασίας.

Ο αφυγραντήρας τοποθετείται στη σωλήνωση του υγρού ψυκτικού μέσου ανάμεσα σε δύο διακόπτες δικτύου και πριν την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, τον ενδείκτη ροής και την εκτονωτική βαλβίδα. Αποτελείται από ένα καλύβδινο κέλυφος, που περιέχει το αφυγραντικό υλικό, το οποίο συμπιέζεται από ένα ελατήριο. Η συγκράτηση των σωματιδίων γίνεται από ένα λεπτό μεταλλικό φίλτρο, το οποίο επίσης συγκρατεί το αφυγραντικό υλικό, ώστε να μην φύγει προς την εκτονωτική βαλβίδα. Η συγκράτηση των οξέων και της υγρασίας γίνεται από το αφυγραντικό υλικό, που επιλέγεται ανάλογα με το ψυκτικό μέσο και αποτελείται από κρυστάλλους οξειδίου του πυριτίου (SiO_2), χλωριούχο ασβέστιο (Ca_3Cl) ή ενεργό αλουμίνιο. Οι κρύσταλλοι αυτοί απορροφούν την υγρασία ανάλογα με τη θερμοκρασία τους.

Στην περίπτωση που πραγματοποιείται καθαρισμός μίας ψυκτικής εγκαταστάσεως που έχει μολυνθεί από καμένα λάδια του συμπιεστή, τοποθετείται αφυγραντικό φίλτρο και στην αναρρόφηση του συμπιεστή, το οποίο περιέχει ειδικό αφυγραντικό υλικό με μεγαλύτερη δυνατότητα συγκράτησεως οξέων.

Η κατασκευή των αφυγραντήρων που χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις, όταν η διάμετρος του σωλήνα του υγρού ψυκτικού μέσου είναι μεγαλύτερη από 22 mm, είναι λυόμενη, ώστε το αφυγραντικό υλικό να μπορεί να αντικατασταθεί.



Σχ. 9.5α.

Αφυγραντήρες αντικαταστάσεως με διαφορετική αφυγραντική ικανότητα.

Οι αφυγραντήρες αυτοί ονομάζονται τύπου **αντικαταστάσεως**. Στο σχήμα 9.5α φαίνονται αφυγραντήρες αντικαταστάσεως, στους οποίους το αφυγραντικό υλικό τοποθετείται σε μορφή κυλίνδρου. Οι αφυγραντήρες του σχήματος 9.5α έχουν διαφορετική αφυγραντική ικανότητα, δεδομένου ότι έχουν διαφορετική χωρητικότητα σε αφυγραντικό υλικό. Οι αφυγραντήρες αυτού του τύπου επιλέγονται ανάλογα με τη μάζα του ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση και προσεγγίζεται με την ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως. Συνήθως, οι αφυγραντήρες αντικαταστάσεως τοποθετούνται παράλληλα με γραμμή παρακάμψεως, ώστε να μην διακόπτεται η λειτουργία της εγκαταστάσεως κατά την αλλαγή του αφυγραντικού υλικού. Μετά την αντικατάσταση του αφυγραντικού υλικού, πρέπει να απωθείται ο αέρας που έχει εισέλθει στον αφυγραντήρα, πριν την πλήρη σύσφιξη των κοχλιών του καλύμματος

Σε μικρότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται αφυγραντικά φίλτρα τύπου **απορρίψεως**, τα οποία πρέπει να αντικαθίστανται σε κάθε επισκευή και αντικατάσταση κάποιου εξαρτήματος. Οι αφυγραντήρες αυτοί επιτρέπουν τη ροή του ψυκτικού μέσου προς μία μόνο κατεύθυνση [σχ. 9.5β(α)] ή και προς τις δύο κατευθύνσεις [σχ. 9.5(β)]. Οι αφυγραντήρες διπλής κατευθύνσεως χρησιμοποιούνται σε αντλίες θερμότητας, όπου γίνεται αντιστροφή

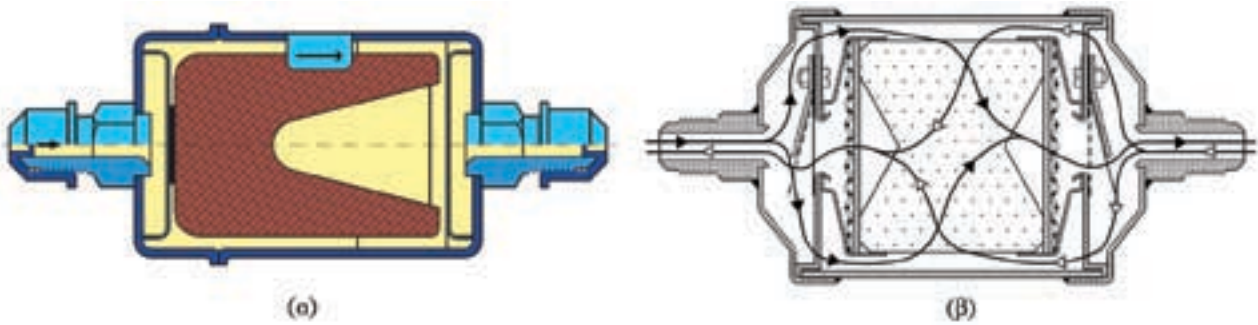
της ροής με τετράοδη βαλβίδα χωρίς την απόρριψη ακαθαρσιών που έχουν συκρατηθεί όταν αναστρέφεται η ροή. Στο σχήμα 9.5γ εικονίζεται φαίνεται ένας αφυγραντήρας απορρίψεως σε τομή. Αυτοί οι αφυγραντήρες σταματούν να κατακρατούν υγρασία όταν το αφυγραντικό υλικό γεμίσει. Στην περίπτωση αυτή διαστέλλεται και αυξάνεται η πύωση πίεσεως, με την οποία προκαλείται μερική εξάτμιση του υγρού ψυκτικού μέσου. Όταν η θερμοκρασία του υγρού στην έξοδο του αφυγραντήρα είναι μικρότερη απ' αυτήν στην είσοδο, μπορούμε να συμπεράνομε την αύξηση της πύωσης πίεσεως και την ανάγκη για αντικατάσταση του αφυγραντήρα.

Η επιλογή ενός αφυγραντήρα γίνεται με βάση τα εξής χαρακτηριστικά του:

α) **Ελάχιστη υγρασία** (Equilibrium Point Dryness-EPD) δηλαδή η ελάχιστη περιεκτικότητα σε υγρασία μίας εγκαταστάσεως, που μπορεί να επιτευχθεί με το συγκεκριμένο αφυγραντήρα. Οι απαιτούμενες τιμές της ελάχιστης υγρασίας, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο είναι:

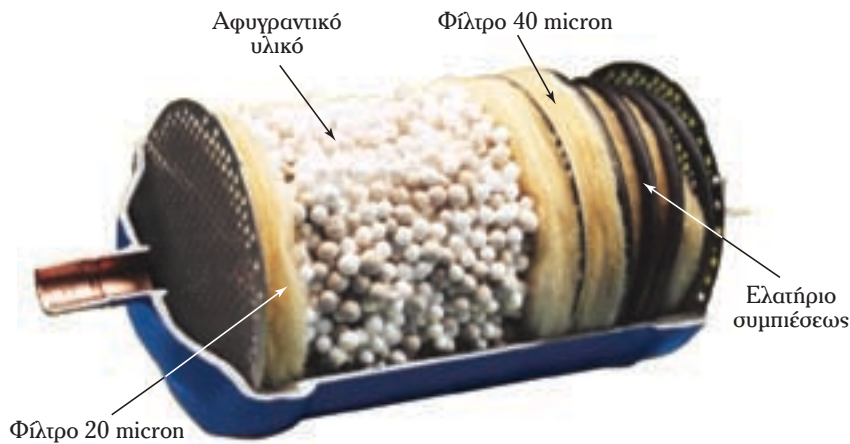
- Για R-12 απαιτείται EPD = 15 ppm.
- Για R-22 απαιτείται EPD = 60 ppm.
- Για R-134a απαιτείται EPD = 75 ppm.
- Για R-404a/R507 απαιτείται EPD = 30 ppm.

(Σημείωση: ppm = parts per milion, 1000 ppm = 1 gr H₂O/ 1 kg ψυκτικού μέσου).



Σχ. 9.5β.

Αφυγραντήρας απορρίψεως: (α) Μονής κατευθύνσεως και (β) διπλής κατευθύνσεως.



Σχ. 9.5γ.

Αφυγραντήρας απορρίψεως σε τομή.

β) **Αφυγραντική ικανότητα** (Drying Capacity–DC), δηλαδή η ποσότητα της υγρασίας που μπορεί να κατακρατήσει ο αφυγραντήρας σε 24 °C και σε 52 °C. Η αφυγραντική ικανότητα δίνεται σε γραμμάρια νερού, σε σταγόνες νερού (drops) ή σε μεταβολή της περιεκτικότητας του ψυκτικού μέσου σε υγρασία. Οι απαιτούμενες τιμές της αφυγραντικής ικανότητας, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο είναι:

- Για R-12 απαιτείται μεταβολή περιεκτικότητας σε υγρασία από 565 ppm σε 15 ppm.
- Για R-22 απαιτείται μεταβολή περιεκτικότητας σε υγρασία από 1050 ppm σε 60 ppm.
- Για R-134a απαιτείται μεταβολή περιεκτικότητας σε υγρασία από 1050 ppm σε 75 ppm.
- Για R-404a/R507 απαιτείται μεταβολή περιεκτικότητας σε υγρασία από 1020 ppm σε 30 ppm.

(Σημείωση: 1gr H₂O = 20 drops).

γ) **Ικανότητα παροχής υγρού** (Liquid Capacity–LC), δηλαδή η παροχή υγρού ψυκτικού μέσου για πτώση πίεσεως 0,07 bar. Η ικανότητα παροχής υγρού εκφράζεται σε lt/min ή σε αντιστοιχία με kW.

9.6 Ενδείκτης ροής και υγρασίας.

Ο ενδείκτης ροής τοποθετείται στη γραμμή του υγρού ψυκτικού μέσου πριν την εκτονωτική βαλβίδα, ώστε να υπάρχει οπτική ένδειξη της καταστάσεως του ψυκτικού μέσου που εισέρχεται σ' αυτήν.

Ο ενδείκτης ροής αποτελείται από ένα καλύβδινο ή ορειχάλκινο κέλυφος, στο οποίο είναι σταθερά προσαρμοσμένη μία ενδεικτική ύαλος. Αν το ψυκτικό μέσο είναι διαυγές, χωρίς φυσαλλίδες ή γαλακτώδη μορφή, αυτό σημαίνει καλή λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Όταν στη ροή του ψυκτικού μέσου εμφανίζονται μικρές ή μεγαλύτερες φυσαλλίδες, αυτές μπορεί να προκαλούνται από:

α) Μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση, ύπαρξη διαρροής και ανάγκη συμπληρώσεως ψυκτικού μέσου.

β) Μεγάλη πτώση πίεσεως στα φίλτρα και στον αφυγραντήρα, η οποία προκαλεί μερική ατμοποίηση και σχηματισμό ατμού (flash gas).

γ) Μικρό αφυγραντήρα ή φίλτρο.

δ) Μη επαρκή υπόψυξη υγρού στον εναλλάκτη θερμότητας.

ε) Δυσλειτουργία στο συμπυκνωτή και μη ικανοποιητική συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου, λόγω μικρής παροχής νερού ή ρυπασμένων επιφανειών συναλλαγής θερμότητας.

Σε μερικούς ενδείκτες ροής υπάρχει και ενδείκτης υγρασίας (σχ. 9.6α), ο οποίος αποτελείται από ένα υλικό που αλλάζει χρώμα, καθώς απορροφά υγρασία από το ψυκτικό μέσο. Το χρώμα του ενδείκτη είναι πράσινο όταν το ψυκτικό κύκλωμα είναι καθαρό, το οποίο μετατρέπεται σε κόκκινο και κατόπιν σε κίτρινο όταν ανιχνεύεται μεγάλη ποσότητα υγρασίας. Η υγρασία συγκεντρώνεται στην εγκατάσταση όταν σταματήσει να απορροφάται από έναν κορεσμένο αφυγραντήρα. Με την παρουσία υγρασίας τα συνθετικά λάδια που χρησιμοποιούνται με τα HFC σχηματίζουν οξέα που επιταχύνουν τις φθορές. Τα επιτρεπόμενα επίπεδα της υγρασίας σε μία ψυκτική εγκατάσταση, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο είναι:

- α) Για R-22 < 60 ppm.
- β) Για R-134a < 50 ppm.
- γ) Για R-404a < 50 ppm.
- δ) Για R-507 < 50 ppm.
- ε) Για R-407c < 50 ppm.
- στ) Για R-410a < 50 ppm.

Οι κατασκευαστές των ενδεικτών υγρασίας δίνουν την περιεχόμενη υγρασία σε ppm ανάλογα με το εργαζόμενο μέσο, τη θερμοκρασία του υγρού και το χρώμα του ενδείκτη (πίν. 9.6). Προσοχή χρειάζεται στο ότι όταν η υγρασία σε μία εγκατάσταση αυξηθεί και κατόπιν τοποθετηθεί νέος αφυγραντήρας, ο ενδείκτης υγρασίας δεν αλλάζει το χρώμα του εκ νέου προς το πράσινο, αλλά πρέπει να αντικατασταθεί.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπου ο σωλήνας



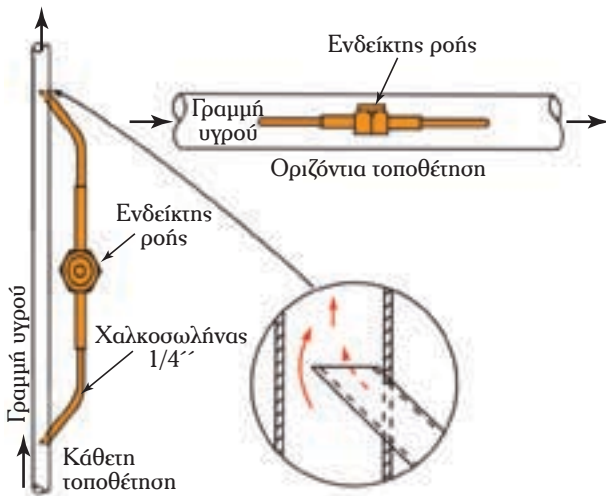
Σχ. 9.6α.
Ενδείκτες ροής και υγρασίας.

υγρού είναι μεγαλύτερος από το μεγαλύτερο διαθέσιμο ενδείκτη ροής, αυτός μπορεί να τοποθετηθεί παράλληλα με τον κύριο σωλήνα του υγρού ψυκτικού μέσου όπως φαίνεται στο σχήμα 9.6β.

Η ανίχνευση φυσαλλίδων στη γραμμή υγρού ή η διαπίστωση του ποσοστού πληρώσεως με ψυκτικό μέσο στη γραμμή αναρροφήσεως μπορεί να γίνει και με **ηλεκτρονικό ενδείκτη ροής** (electronic sight glass) [σχ. 9.6γ(α)]. Ο ηλεκτρονικός ενδείκτης ροής, χρησιμοποιεί υπέρηχους που εκπέμπονται από τα εξαρτήματα που κοχλιώνονται εξωτερικά στο σωλήνα του ψυκτικού μέσου. Η ύπαρξη φυσαλλίδων διαπιστώνεται μ' ένα ηχητικό σήμα και μία οπτική ένδειξη στην οθόνη. Η μέτρηση της υγρασίας με ηλεκτρονικό τρόπο μπορεί να γίνει μ' έναν οπτικό αισθητήρα, που αναγνωρίζει την αλλαγή του χρώματος ενός απορροφητικού υλικού [σχ. 9.6γ(β)]. Ο αισθητήρας μεταβάλλει την αντίστασή του ανάλογα με την

Πίνακας 9.6
Περιεχόμενη υγρασία για έναν τύπο ενδεικτών υγρασίας.

Ψυκτικά μέσα HFC και HCFC	Περιεχόμενη υγρασία – ppm = μέρη στο εκατομμύριο					
	Θερμοκρασία					
	25 °C			43 °C		
	Πράσινο/ στεγνό	Ενδιάμεσο χρώμα	Κίτρινο/ υγρό	Πράσινο/ στεγνό	Ενδιάμεσο χρώμα	Κίτρινο/ υγρό
R-22	< 30	30 – 120	> 120	< 50	50 – 200	> 200
R-134a	< 30	30 – 100	> 100	< 45	45 – 170	> 170
R-404A	< 20	20 – 70	> 70	< 25	25 – 100	> 100
R-407C	< 30	30 – 140	> 140	< 60	60 – 225	> 225
R-507	< 15	15 – 60	> 60	< 30	30 – 110	> 110



Σχ. 9.6β.

Παράλληλη τοποθέτηση ενδείκτη ροής.

περιεχόμενη υγρασία. Έτσι, για μια ξηρή εγκατάσταση δίνει έξοδο 24V DC, ενώ η έξοδος του για μία εγκατάσταση με επικίνδυνα ποσοστά υγρασίας είναι 5V DC.

9.7 Εναλλάκτης θερμότητας.

Ο εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται ανάμεσα στην έξοδο του ατμοποιητή και στην έξοδο από το συλλέκτη υγρού. Με τον εναλλάκτη θερμότητας έρχεται σε θερμική επαφή το συμπυκνωμένο θερμό υγρό ψυκτικό μέσω υψηλής πίεσης, που κατευθύνεται στην εκτονωτική βαλβίδα, με το ψυχρό αέριο μέσο που εξέρχεται από τον ατμοποιητή. Ο εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται:

α) Για την αύξηση της ψυκτικής ισχύος μέσω της υποψύξεως του υγρού ψυκτικού μέσου.

β) Για την υπερθέρμανση του ατμού αναρροφήσεως με την οποία εξασφαλίζεται η μείωση της πιθανότητας εισχωρήσεως υγρού ψυκτικού μέσου στο στροφαλοθάλαμο και στον κύλινδρο.

γ) Για τη μείωση του ποσοστού των ατμών που δημιουργούνται κατά τη διέλευση από την **εκτονωτική βαλβίδα** (flash gas), οι οποίοι μειώνουν την απόδοση του ατμοποιητή.

Ο τύπος εναλλάκτη που εικονίζεται στο σχήμα 9.7 αποτελείται από δύο ομοαξονικούς αγωγούς. Ο ψυχρός



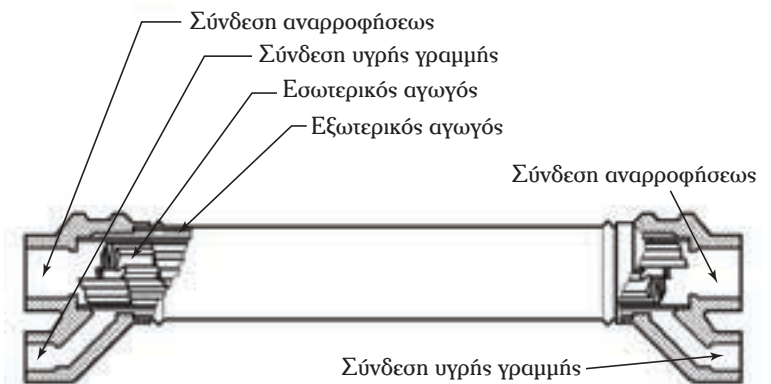
(α)



(β)

Σχ. 9.6γ.

(α) Ηλεκτρονικός ενδείκτης ροής και (β) ηλεκτρονικός μετρητής υγρασίας.



Σχ. 9.7.

Εναλλάκτης θερμότητας.

ατμός ρέει στον εσωτερικό αγωγό που έχει μεγαλύτερη διάμετρο και το θερμό υγρό στο χώρο ανάμεσα στον εσωτερικό και στον εξωτερικό αγωγό. Η ροή του ατμού και του υγρού είναι αντίθετες, ενώ στον εσωτερικό αγωγό υπάρχουν πτερύγια για αύξηση της επιφάνειας μεταδόσεως θερμότητας. Με τη ροή του ατμού απ' τον εσωτερικό αγωγό, που είναι σε ευθεία, επιτυγχάνεται η επιστροφή του λαδιού στο συμπιεστή, καθώς δεν υπάρχουν θύλακες εγκλωβισμού του λαδιού.

Η επιλογή του εναλλάκτη θερμότητας γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι διατομές των δύο αγωγών να είναι αρκετά μεγάλες, προκειμένου να μην υπάρχει πτώση πίεσης. Ενδεικτικά, η πτώση της πίεσης στον εναλλάκτη στη γραμμή αναρροφήσεως δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2 psi (14 kPa). Οι κατασκευαστές δίνουν διαγράμματα επιλογής εναλλακτών, για κάθε ψυκτικό μέσο, ανάλογα με την ψυκτική ισχύ και τη θερμοκρασία ατμοποίησης.

Η ροή θερμότητας στον εναλλάκτη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = k \times A \times \Delta T_m$$

όπου: Q , η ροή θερμότητας σε W, k , ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$, A , η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας σε m^2 και ΔT_m , η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας σε $^\circ C$, που υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)}$$

9.8 Διακόπτες δικτύου.

Οι διακόπτες δικτύου τοποθετούνται για τον έλεγχο της ροής του ψυκτικού μέσου και για να διευκολύνουν τις εργασίες συντηρήσεως και επισκευών στην ψυκτική εγκατάσταση. Τέτοιοι διακόπτες απομονώνουν τη ροή του ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη υγρού, στην εκτονωτική βαλβίδα, στο φίλτρο υγρού, στον αφυγραντήρα, ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα η εξάρμωση και η συντήρησή τους. Επίσης, σε ειδικά σημεία της εγκατάστασης τοποθετούνται διακόπτες, οι οποίοι έχουν υποδοχές για σύνδεση μανομέτρων, για δημιουργία κενού ή για τη συμπλήρωση ή αφαίρεση ψυκτικού μέσου.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες διακοπών δικτύου:

α) Οι διακόπτες με **διάταξη στεγανοποίησης του βάκτρου** (packed valves) και

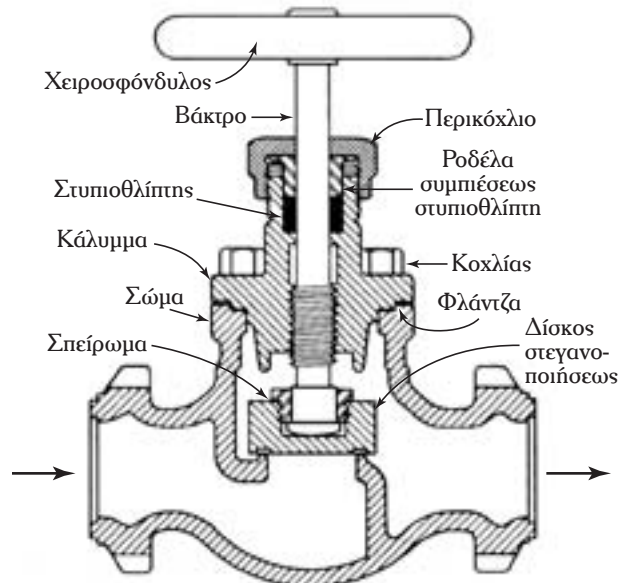
β) οι διακόπτες με **διάφραγμα στεγανοποίησης** (packless valves).

Όταν υπάρχει διάταξη στεγανοποίησης του βάκτρου, αυτή γίνεται με δακτυλίους στεγανότητας (ο-ring) ή με παρεμβύσματα κατάλληλα για το ψυκτικό μέσο της εγκαταστάσεως. Στις βαλβίδες με διάφραγμα δεν υπάρχει διάταξη στεγανοποίησης. Η στεγανοποίηση γίνεται μ' ένα διάφραγμα που απομονώνει το χειροσφόνδυλο και τον κοχλία κινήσεως του βάκτρου απ' το κυρίως σώμα, όπου υπάρχει το βάκτρο στεγανοποίησης.

Παρακάτω περιγράφονται οι κυριότεροι τύποι διακοπών που χρησιμοποιούνται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις.

9.8.1 Χειροκίνητοι διακόπτες απομονώσεως.

Οι **διακόπτες απομονώσεως** (manual shut-off valves) χρησιμοποιούνται για την κράτηση της ροής του ψυκτικού μέσου σε περίπτωση συντηρήσεως ενός εξαρτήματος ή ενός τμήματος της εγκαταστάσεως. Επίσης, τοποθετούνται μετά τους συλλέκτες αερίου στην αναρρόφηση πολλαπλών συμπιεστών, για τον έλεγχο της λειτουργίας των συμπιεστών. Τέλος, χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής του υγρού ψυκτικού μέσου μετά το συλλέκτη υγρού, όταν υπάρχουν περισσότεροι του ενός ατμοποιητές. Ο χειρισμός των διακοπών απομονώσεως γίνεται χειροκίνητα. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις η στεγανοποίηση γίνεται μ' ένα δίσκο από κατάλληλο υλικό που πιέζεται από το βάκτρο άμεσα που ενεργοποιείται από την πίεση στην είσοδο του διακόπτη ή μέσω



Σχ. 9.8α.

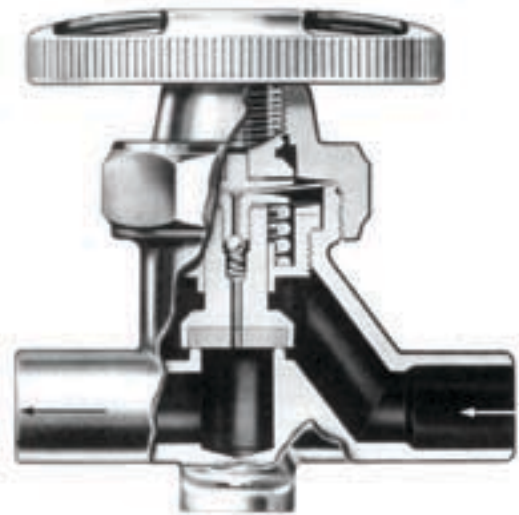
Διακόπτης απομονώσεως με διάταξη στεγανοποίησης βάκτρου.

μιας πιλοτικής διατάξεως. Στο σχήμα 9.8α φαίνεται ένας χειροκίνητος διακόπτης με άμεση μετάδοση κινήσεως και διάταξη στεγανοποιήσεως του βάκτρου. Στο σχήμα 9.8β εικονίζεται ένας χειροκίνητος διακόπτης με πιλοτική μετάδοση κινήσεως, χωρίς διάταξη στεγανοποιήσεως του βάκτρου, όπου η στεγανοποίηση γίνεται μέσω του διαφράγματος. Στις μικρότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται **σφαιρικοί διακόπτες** (ball valves) (σχ. 9.8γ). Το υλικό των διακοπών μπορεί να είναι μπρούντζος, κατάλληλος για χαμηλές θερμοκρασίες ή χάλυβας ανάλογα με το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο.

9.8.2 Διακόπτες συντηρήσεως.

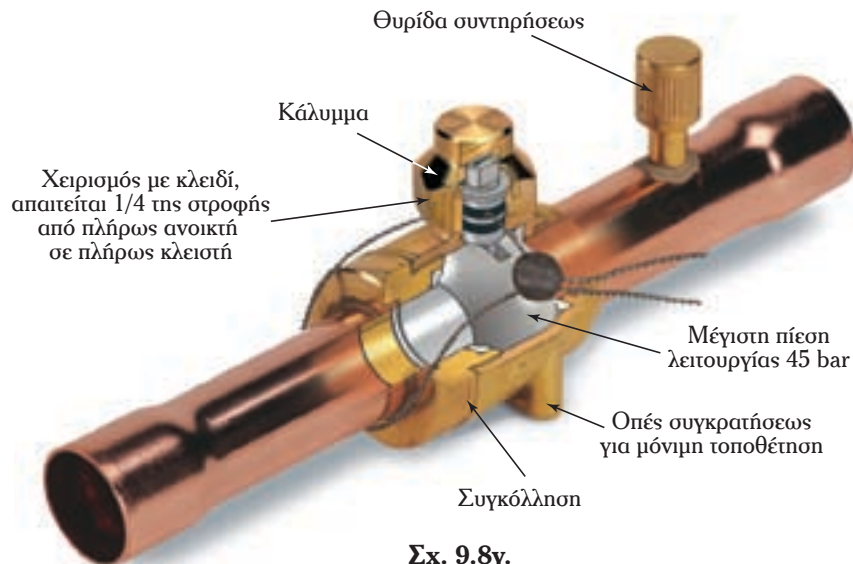
Οι **διακόπτες συντηρήσεως** (service valves) τοποθετούνται στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη του συμπιεστή, καθώς και στο συμπυκνωτή μικρών εγκαταστάσεων που δεν έχουν συλλέκτη υγρού. Οι διακόπτες συντηρήσεως έχουν τρεις διόδους του ψυκτικού μέσου. Οι δύο κύριες δίοδοι συνδέονται με την είσοδο και την έξοδο του ψυκτικού μέσου, ενώ υπάρχει και μία σύνδεση για την πολλαπλή (κάσα)

μανομέτρων, από την οποία γίνεται η μέτρηση της πίεσης και οι εργασίες συντηρήσεως της εγκατάστασης. Οι διακόπτες συντηρήσεως έχουν δύο έδρες (σχ. 9.8δ). Με τη μια έδρα ελέγχεται η ροή



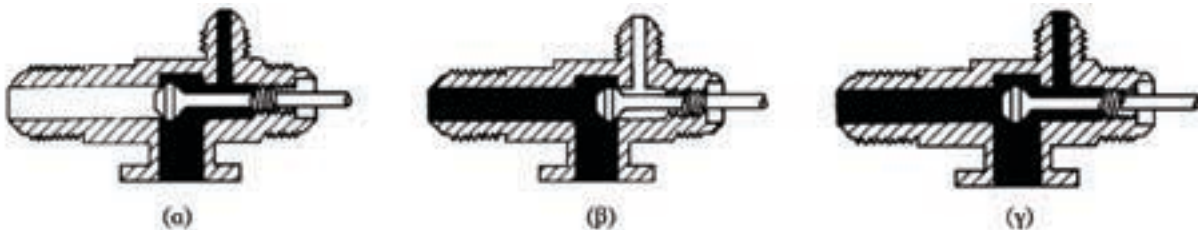
Σχ. 9.8β.

Διακόπτης απομονώσεως με διάφραγμα στεγανοποιήσεως.



Σχ. 9.8γ.

Σφαιρικός διακόπτης.



Σχ. 9.8δ.

Διακόπτης συντηρήσεως: (α) Με κλειστή τη μπροσινή έδρα, (β) με κλειστή την πίσω έδρα, (γ) σε ενδιάμεση θέση.

του ψυκτικού μέσου από και προς το συμπιεστή. Με την άλλη έδρα, ελέγχεται η ροή προς το σύνδεσμο συντηρήσεως. Όταν η βαλβίδα βρίσκεται στο μέσο, υπάρχει ροή από την είσοδο προς την έξοδο, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να λαμβάνεται ένδειξη πίεσεως ή να υπάρχει ροή ψυκτικού μέσου διά μέσου της συνδέσεως συντηρήσεως.

Η κατασκευή των διακοπών συντηρήσεως πραγματοποιείται συνήθως με διάταξη στεγανοποίησης του βάκτρου. Οι απώλειες του ψυκτικού μέσου περιορίζονται, διότι οι διακόπτες αυτοί κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της λειτουργίας της εγκαταστάσεως, έχουν πατημένη τη μπροστινή ή την πίσω έδρα, ενώ το ψυκτικό μέσο εισέρχεται χωρίς εμπόδια στο χώρο του στυπιοθλίπτη του βάκτρου μόνο στην περίπτωση της ενδιάμεσης θέσεως του διακόπτη. Στο σχήμα 9.8ε φαίνονται δύο διαφορετικοί τύποι διακοπών συντηρήσεως για συμπιεστές διαφορετικής ογκομετρικής ικανότητας.

9.8.3 Διακόπτης συλλέκτη υγρού.

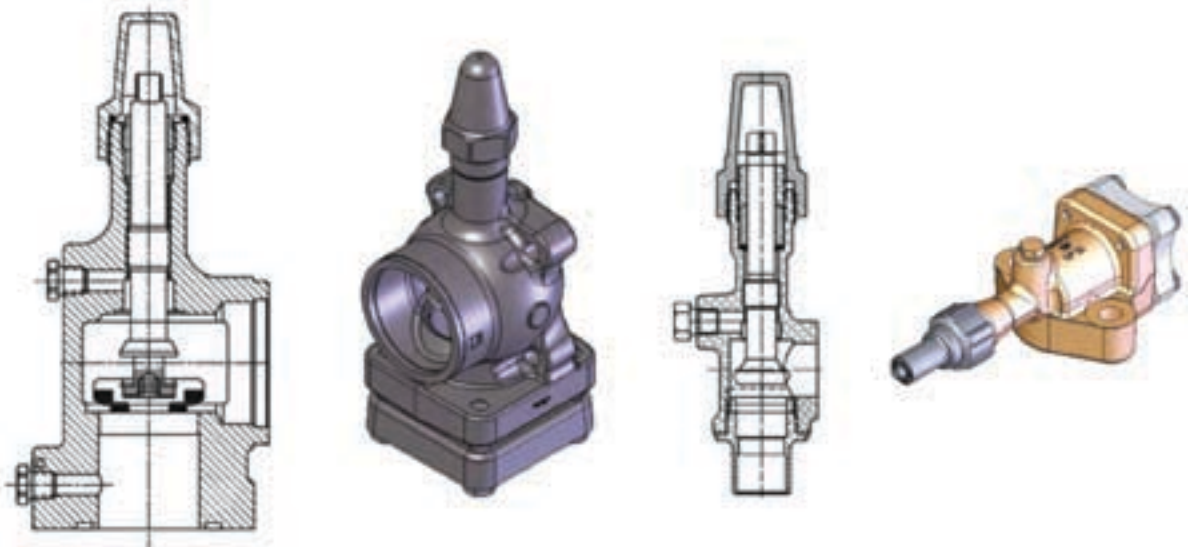
Ο διακόπτης συλλέκτη υγρού τοποθετείται στην έξοδο του συλλέκτη και στην αρχή της γραμμής υγρού. Συνήθως έχει δύο διόδους και μία έδρα, δεν έχει θέση για σύνδεση μανομέτρου και λειτουργεί **ανοικτός** ή **κλειστός** (on-off) (σχ. 9.8στ). Με το διακόπτη υγρού απομονώνεται η παροχή του ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη προς την εκτονωτική βαλβίδα και τον ατμοποιητή. Ο διακόπτης υγρού μπορεί να τοποθετείται στην πάνω ή στην κάτω πλευρά του συλλέκτη. Όταν ο διακόπτης υγρού τοποθετείται

στην πάνω πλευρά του συλλέκτη, στην είσοδο του διακόπτη υπάρχει ένας σωλήνας, ώστε να ανεβαίνει το υγρό που βρίσκεται στην κάτω πλευρά του δοχείου. Η κατασκευή του διακόπτη υγρού για το συλλέκτη περιλαμβάνει συνήθως διάταξη στεγανοποίησης. Για την προστασία από λάθος χειρισμούς και τον περιορισμό των διαρροών, στην άκρη του βάκτρου υπάρχει προστατευτικό μεταλλικό κάλυμμα με παρέμβυσμα στεγανοποίησης, το οποίο πρέπει πάντα να είναι κοκλιωμένο όταν δεν γίνεται χειρισμός του διακόπτη.

9.8.4 Βαλβίδες ερμητικών ψυκτικών εγκαταστάσεων.

Στις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις (ψυγεία, κλιματιστικά), όπου υπάρχουν ερμητικοί συμπιεστές, δεν υπάρχει πρόσβαση στο ψυκτικό μέσο του κυκλώματος. Σε περίπτωση επισκευής μίας βλάβης ή για δημιουργία κενού και συμπλήρωση με ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται **βαλβίδες διατρήσεως** (piercing valves). Αυτές, αποτελούνται συνήθως από ένα διμερές σώμα, το οποίο σφίγγεται με κοκλίες ή συγκολλείται επάνω σ' ένα χάλκινο σωλήνα και από μια βελόνα, η οποία τρυπάει το σωλήνα.

Οι βαλβίδες διατρήσεως τοποθετούνται στην αναρρόφηση ή στην κατάθλιψη του συμπιεστή, όπου δεν υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο, οπότε αν χρειάζεται μπορεί ο σωλήνας να θερμανθεί μέχρι τη θερμοκρασία συγκολλησεως. Στο σχήμα 9.8ζ φαίνεται μια βαλβίδα διατρήσεως, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα που βιδώνονται πάνω στο σωλήνα. Η



Σχ. 9.8ε.

Διακόπτες συντηρήσεως.

στεγανότητα επιτυγχάνεται με ένα παρέμβυσμα που υπάρχει στο εσωτερικό τμήμα. Στο σχήμα 9.8η παρουσιάζονται διάφοροι τύποι βαλβίδων διατρήσεως που τοποθετούνται με συγκόλληση πάνω στο σωλήνα του ψυκτικού μέσου.

Στις μικρές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται επίσης οι βαλβίδες τύπου **αυτοκινήτου** (schrader), οι οποίες λειτουργούν όπως οι βαλβίδες στους αεροθαλάμους των τροχών των αυτοκινήτων (σχ. 9.8θ). Τοποθετούνται με συγκόλληση ή με κοχλίωση και υπό κανονικές συνθήκες είναι κλειστές. Όταν τοποθετηθεί ένα εξάρτημα στη βαλβίδα, αυτή ανοίγει και μπορεί να γίνουν οι εργασίες συντηρήσεως. Στις βαλβίδες αυτού του τύπου, όταν είναι ανοικτές, η δίοδος του ψυκτικού μέσου γίνεται μέσα από ένα μικρό άνοιγμα. Προκειμένου να διευκολύνεται η δημιουργία κενού, ο πυρήνας μπορεί να αφαιρεθεί με ειδικό εργαλείο, χωρίς να υπάρχει απώλεια ψυκτικού μέσου.

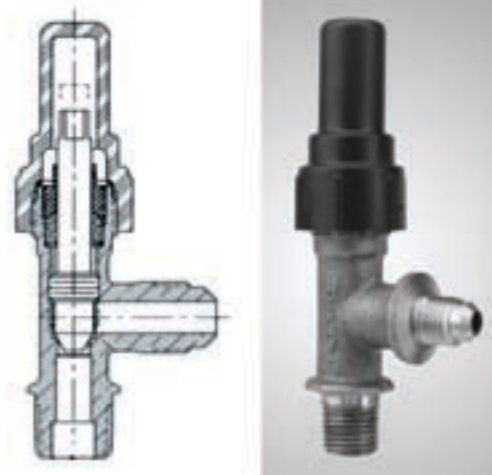
9.9 Βαλβίδες ανεπιστροφής.

Οι βαλβίδες ανεπιστροφής επιτρέπουν τη ροή του ψυκτικού μέσου μόνο προς μία κατεύθυνση. Οι συνθήκες εφαρμογές των βαλβίδων ανεπιστροφής είναι:

α) Στο σωλήνα αναρροφήσεως σε εγκαταστάσεις με κοχλιωτούς και ελκικόμορφους συμπιεστές, όπου δεν επιτρέπουν την είσοδο ατμών από το συμπιεστή προς τον ατμοποιητή κατά την κράτηση της εγκαταστάσεως. Έτσι αποτρέπεται η συμπύκνωση και η δημιουργία υγρού, η οποία αν συμβεί έχει ως αποτέλεσμα τη βλάβη του συμπιεστή κατά την εκκίνηση, λόγω της εισόδου υγρού στο χώρο συμπίεσεως.

β) Σε εγκαταστάσεις με πολλαπλούς ατμοποιητές, οι οποίοι έχουν διαφορετικές πιέσεις και θερμοκρασίες ατμοποίησης. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις τοποθετούνται βαλβίδες ανεπιστροφής στην έξοδο των ψυχρότερων ατμοποιητών, ώστε να αποτραπεί η είσοδος ατμών από τους ατμοποιητές που έχουν υψηλότερη πίεση. Στην περίπτωση που ανοίξει πρώτα η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ενός θερμότερου ατμοποιητή, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου που εξέρχονται απ' αυτόν, αν δεν υπάρχει η ανεπίστροφη βαλβίδα, εισέρχονται στον ψυχρότερο ατμοποιητή. Εκεί συμπυκνώνονται και προκαλούν τη θέρμανσή του, ενώ το υγρό υπάρχει πιθανότητα στη συνέχεια να μπει στο συμπιεστή.

γ) Στην κατάθλιψη του συμπιεστή, προκειμένου να αποτραπεί η επιστροφή του υγρού από το συλλέ-



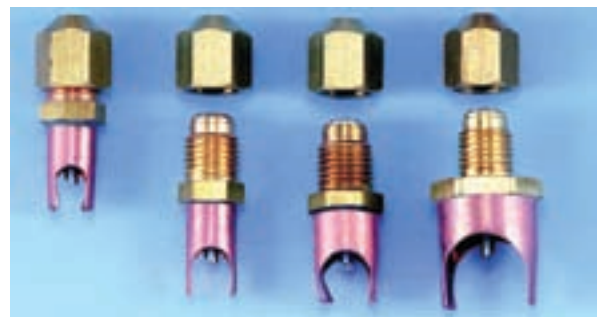
Σχ. 9.8στ.

Διακόπτης συλλέκτη υγρού.



Σχ. 9.8ζ.

Βαλβίδα διατρήσεως που τοποθετείται με σύσφιξη.



Σχ. 9.8η.

Βαλβίδες διατρήσεως που τοποθετούνται με συγκόλληση.



Σχ. 9.8θ.

Βαλβίδα τύπου αυτοκινήτου, που τοποθετείται με συγκόλληση.

κτη προς το συμπιεστή.

δ) Σε γραμμές παρακάμψεως θερμού αερίου, όπου οι βαλβίδες ανεπιστροφής ελέγχουν τη ροή του ψυκτικού μέσου προς τη σωστή κατεύθυνση.

Οι βαλβίδες ανεπιστροφής λειτουργούν με τη διαφορά πίεσεως στα δύο άκρα τους, ενώ υπάρχει ένας μηχανισμός, συνήθως ένα ελατήριο, το οποίο τείνει να τις κρατάει κλειστές. Σημαντικά στοιχεία για τη λειτουργία των βαλβίδων ανεπιστροφής είναι το τέλειο κλείσιμο και η απουσία διαρροών, καθώς επίσης η γρήγορη απόκριση στις μεταβολές της πίεσεως και η μικρή πτώση πίεσεως κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου. Κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου μέσα από τις βαλβίδες ανεπιστροφής και κατά το απότομο κλείσιμό τους, μπορεί σε περιπτώσεις βαλβίδας με λάθος διαστάσεις ή με βλάβη να δημιουργείται θόρυβος. Γι' αυτούς τους λόγους οι βαλβίδες ανεπιστροφής επιλέγονται από πίνακες κατασκευαστών, ανάλογα με το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο και την ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως. Προσοχή χρειάζεται, ώστε κατά την τοποθέτηση, το βέλος που υπάρχει στη βαλβίδα να βρίσκεται στη σωστή κατεύθυνση ροής του ψυκτικού μέσου.

Στις μικρές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται βαλβίδες ανεπιστροφής, οι οποίες απομονώνουν τη ροή μ' ένα δίσκο ή με μία σφαίρα μεταλλική, η οποία κρατιέται σε κλειστή θέση από ένα ελατήριο (σχ. 9.9α) ή από ένα μόνιμο μαγνήτη.

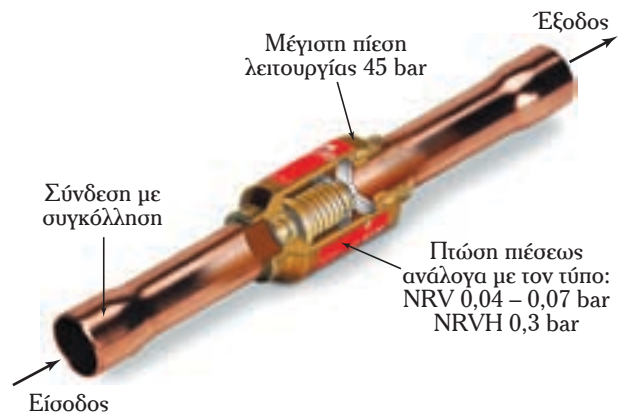
Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις τοποθετούνται βαλβίδες ανεπιστροφής με δίσκο, ελατήριο και διπλό κύλινδρο για μείωση του θορύβου (σχ. 9.9β). Επίσης υπάρχουν βαλβίδες ανεπιστροφής με βάκτρο, έτσι ώστε αν υπάρχει λόγος να μπορούν να μένουν συνέχεια ανοικτές (σχ. 9.9γ). Τέλος υπάρχουν βαλβίδες ανεπιστροφής που είναι και διακόπτες δικτύου (σχ. 9.9δ).

9.10 Ασφαλιστικά επιστόμια.

Τα ασφαλιστικά επιστόμια τοποθετούνται, προκειμένου να αποφεύγονται ζημιές που μπορεί να προκληθούν από την αύξηση της πίεσεως σε μία ψυκτική εγκατάσταση. Η αύξηση της πίεσεως μπορεί να προκληθεί από μία βλάβη ενός εξαρτήματος, από ακραία υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος και μετά από απότομη κράτηση της εγκαταστάσεως. Οι συνέπειες μπορεί να είναι από την δημιουργία ρωγμών έως την έκρηξη σε κάποιο τμήμα ή σε κάποιο εξάρτημα της εγκαταστάσεως. Η ελάττωση της πίεσεως γίνεται με διοχέτευση ψυκτικού μέσου στην

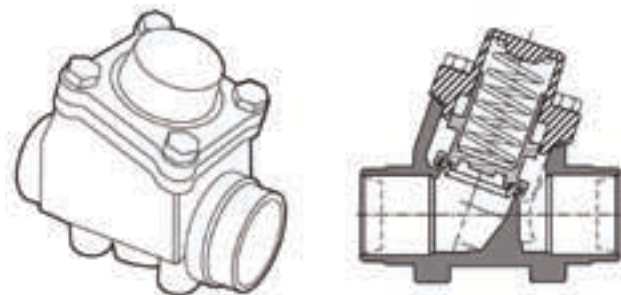
ατμόσφαιρα μέσω των ασφαλιστικών επιστομιών, τα οποία συνήθως τοποθετούνται στο συλλέκτη υγρού. Η πίεση ανοίγματος του ασφαλιστικού επιστομίου, συνήθως ρυθμίζεται να είναι 15% μεγαλύτερη από τη μέγιστη πίεση κατά τη λειτουργία της εγκαταστάσεως.

Η επιλογή των ασφαλιστικών επιστομιών γίνεται ανάλογα με την πίεση ανοίγματος και την ποσότητα του ψυκτικού μέσου, ώστε να μπορεί να γίνει γρήγορη εκτόνωση της πίεσεως. Επίσης, όταν πέσει η πίεση η βαλβίδα πρέπει να κλείνει χωρίς καθυστέρηση, ώστε να μην υπάρχει απώλεια μεγάλης ποσότητας ψυκτικού μέσου. Ανάλογα με το μέγεθος της εγκαταστάσεως, προβλέπεται η τοποθέτηση διπλών ασφαλιστικών επιστομιών, εκ των οποίων το πρώτο ανοίγει σε μικρότερη πίεση. Αν η πίεση συνεχίσει να αυξάνεται, σε μεγαλύτερη πίεση ανοίγει και το δεύτερο ασφαλιστικό. Μ' αυτόν τον τρόπο περιορίζονται οι απώλειες σε ψυκτικό μέσο και υπάρχει ασφάλεια σε περίπτωση κολλήματος κάποιου επιστομίου. Για περιορισμό της εισόδου ακαθαρσιών και την οξείδωση, στην έξοδο της βαλβίδας διαμορφώνεται μια παγίδα σχήματος U, η οποία γεμίζεται με λάδι.



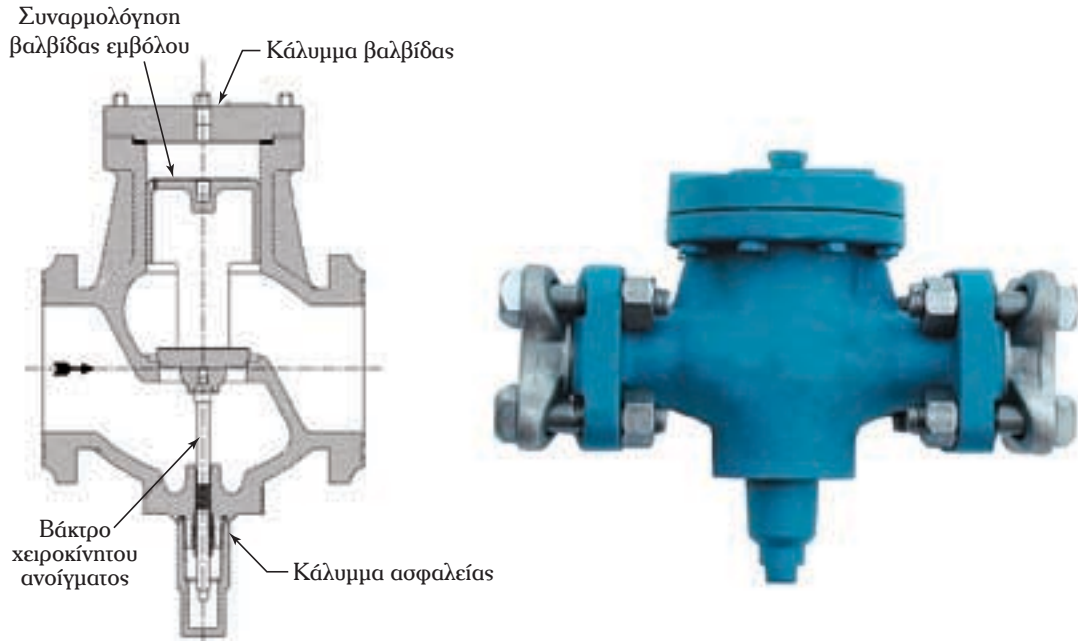
Σχ. 9.9α.

Βαλβίδα ανεπιστροφής για μικρές εγκαταστάσεις με ελατήριο.



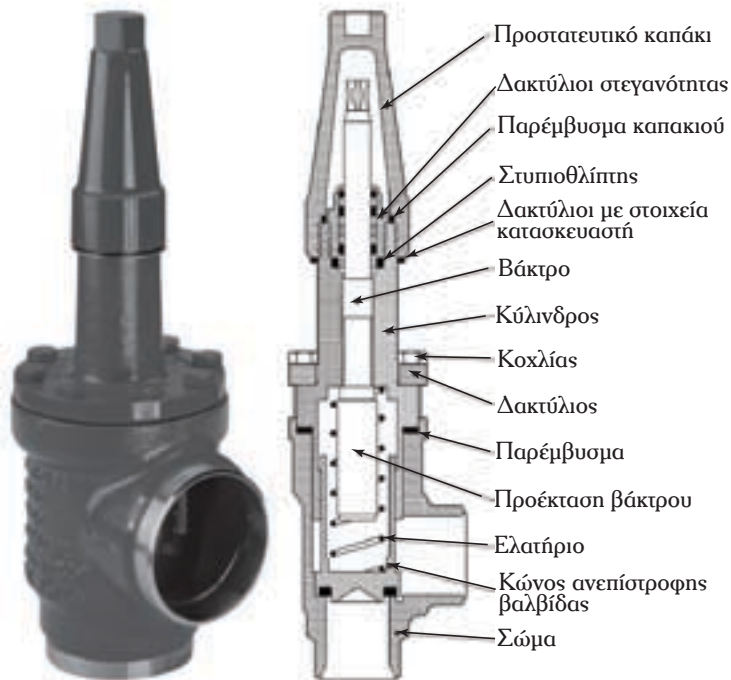
Σχ. 9.9β.

Βαλβίδα ανεπιστροφής για μεγάλες εγκαταστάσεις με ελατήριο και διπλό κύλινδρο.



Σχ. 9.9γ.

Βαλβίδα ανεπιστροφής για μεγάλες εγκαταστάσεις με βάκτρο ανοίγματος.



Σχ. 9.9δ.

Συνδυασμός διακόπτη δικτύου και βαλβίδας ανεπιστροφής.

Τα ασφαλιστικά επιστόμια τοποθετούνται στην πάνω πλευρά του συλλέκτη, ώστε να μην υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο κατά την εκτόνωση. Η θέση τοποθέτησής τους είναι κατακόρυφη. Στην περίπτωση που ανοίξουν τα ασφαλιστικά, αυτά θα πρέπει να αντικατασταθούν. Αυτό γίνεται, ώστε να μην υπάρχει περί-

πτωση επικαθίσεων από σκουριές και άλλα στερεά, που δεν αφήνουν τη βαλβίδα να κλείσει καλά, οπότε υπάρχει διαρροή.

Υπάρχουν τρεις τύποι ασφαλιστικών επιστομιών:

α) Τα **ασφαλιστικά με ελατήριο** (spring loaded relief valves) (σχ. 9.10α) έχουν μία έδρα η οποία

φορτίζεται από την τάση του ελατηρίου. Όταν η πίεση αυξηθεί, η δύναμη πάνω στην έδρα υπερνικά τη δύναμη του ελατηρίου, οπότε η έδρα μετακινείται και η βαλβίδα ανοίγει. Ένα τέτοιο ασφαλιστικό επιστόμιο εικονίζεται στο σχήμα 9.10α. Η ρύθμιση της πρέσεως ανοίγματος γίνεται με την κοχλίωση του καλύμματος στην κεφαλή και γι' αυτό το λόγο υπάρχει σύρμα με ασφάλεια. Η πίεση ανοίγματος εξαρτάται από την τάση του ελατηρίου και την αντίσταση κατά τη ροή στην έξοδο, ενώ μπορεί να ρυθμιστεί από 10 έως 25 bar.

β) Τα **ασφαλιστικά με δίσκο διατήσεως** (rupture disk relief valves) περιλαμβάνουν ένα μεταλλικό εξάρτημα κυκλικού σχήματος, το οποίο είναι σχεδιασμένο, ώστε να σπάει σε μία συγκεκριμένη πίεση. Το ασφαλιστικό αποτελείται από δύο μέρη, ανάμεσα στα οποία τοποθετείται ο δίσκος. Η αποφυγή των διαρροών γίνεται με τη συγκόλληση του δίσκου και των δύο τμημάτων της βαλβίδας [σχ. 9.10β(α)]. Τα ασφαλιστικά με δίσκο διατήσεως μπορεί να τοποθετούνται εν σειρά και πριν τα ασφαλιστικά με ελατήριο, ώστε να διαπιστώνεται αν έχουν ανοίξει.

γ) Τέλος, υπάρχουν τα **ασφαλιστικά με γόμωση** (fusible plug relief valves), τα οποία έχουν μία γόμωση τήξεως, η οποία τήκεται όταν λόγω της αυξημένης πρέσεως, αυξηθεί η θερμοκρασία συμπυκνώσεως [σχ. 9.10β(β)].

9.11 Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.

Η **ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα** (solenoid valve) αποτελείται από ένα πηνίο και ένα μεταλλικό πυρήνα από μαγνητικό υλικό, ο οποίος μετακινείται όταν στο πηνίο υπάρχει τάση και δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο. Στην άκρη του μεταλλικού πυρήνα υπάρχει η έδρα μίας βαλβίδας που ανοίγει ή κλείνει τη ροή του ψυκτικού μέσου.

Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων:

α) Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, οι οποίες είναι **κανονικά κλειστές** (normally closed-NC) και ανοίγουν όταν υπάρχει τάση στο πηνίο [σχ. 9.11α (α)]. Επιλέγονται όταν κατά τη λειτουργία τους, πρέπει να παραμένουν κλειστές για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.

β) Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, οι οποίες είναι **κανονικά ανοικτές** (normally open-NO) και κλείνουν όταν υπάρχει τάση στο πηνίο [σχ. 9.11α (β)]. Επιλέγονται όταν πρέπει να μένουν ανοικτές

κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της λειτουργίας της εγκαταστάσεως.

Εννοείται ότι κατά την επισκευή μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως, μία κανονικά ανοικτή βαλβίδα δεν μπορεί να αντικατασταθεί από μία κανονικά κλειστή και αντίστροφα.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες έχουν συνήθως τις ακόλουθες εφαρμογές στις ψυκτικές εγκαταστάσεις:

α) Απομόνωση παροχής ψυκτικού μέσου στην εκτονωτική βαλβίδα σε κύκλο κενού (rump down cycle).

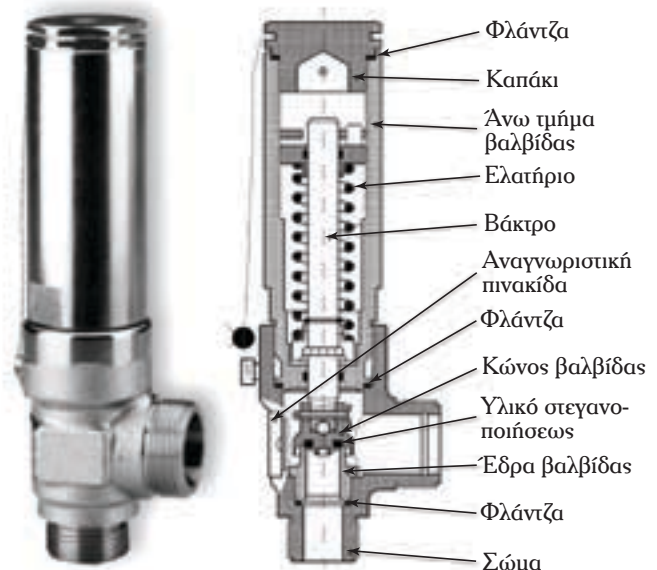
β) Απομόνωση αναρροφήσεως συμπιεστή.

γ) Αποφόρτιση συμπιεστή.

δ) Παράκαμψη θερμού αερίου (hot-gas bypass).

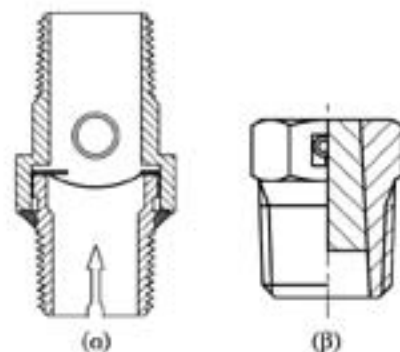
ε) Αποχιόνωση με θερμό αέριο (hot-gas defrost).

Παρακάτω αναλύεται ο τρόπος εφαρμογής των



Σχ. 9.10α.

Ασφαλιστικό επιστόμιο με φόρτιση ελατηρίου.



Σχ. 9.10β.

(α) Ασφαλιστικό επιστόμιο με δίσκο διατήσεως,
(β) ασφαλιστικό επιστόμιο με γόμωση τήξεως.

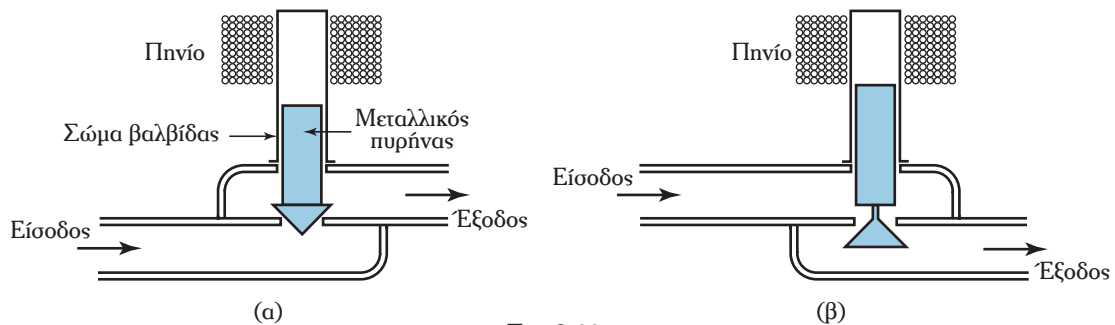
πλεκτρομαγνητικών βαλβίδων στα διάφορα σημεία των ψυκτικών εγκαταστάσεων.

1) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες απομονώσεως υγρού.

Στη λειτουργία της εγκαταστάσεως σε κύκλο κενού υπάρχει μια πλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού, η οποία είναι κανονικά κλειστή και τοποθετείται στη γραμμή του υγρού ψυκτικού μέσου, μετά τον αφυγραντήρα και πριν τον ενδείκτη ροής και την εκτονωτική βαλβίδα (σχ. 9.11β). Η παροχή τάσεως στην πλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχεται από ένα θερμοστάτη, που είναι τοποθετημένος στον ψυκτικό θάλαμο, ενώ η λειτουργία του συμπιεστή ελέγχεται από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως. Όταν ανέβει η θερμοκρασία στον ψυκτικό θάλαμο, δίνει εντολή ο θερμοστάτης και το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα. Η πλεκτρομαγνητική βαλβίδα ανοίγει και το υγρό ψυκτικό μέσο ρέει προς την εκτονωτική βαλβίδα και τον ατμοποιτή. Η πίεση αναρροφήσεως αυξάνεται, ο πιεζοστάτης χαμηλής πίεσεως κλείνει δίνοντας

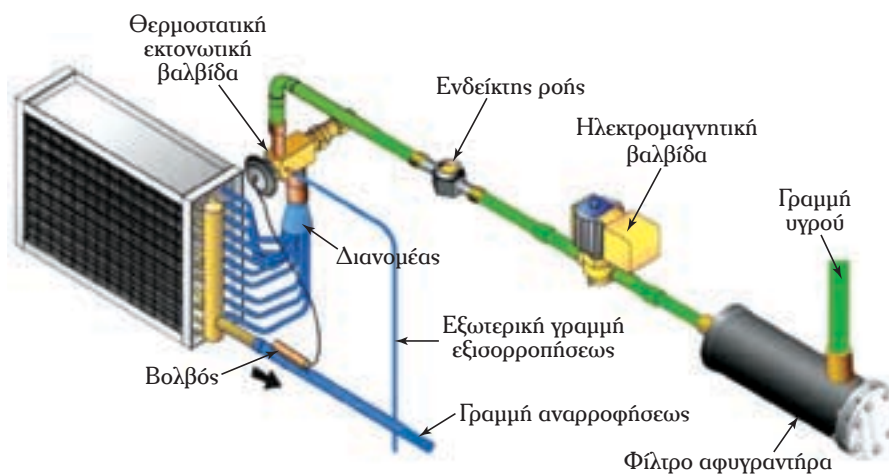
εντολή στον πλεκτρονόμο και ο συμπιεστής ξεκινάει τη λειτουργία του. Όταν πέσει η θερμοκρασία του θαλάμου ο θερμοστάτης κλείνει το ρεύμα στο πηνίο της πλεκτρομαγνητικής βαλβίδας και αυτή επιστρέφει στην κανονικά κλειστή θέση. Η παροχή υγρού ψυκτικού μέσου διακόπτεται, ενώ ο συμπιεστής εξακολουθεί να λειτουργεί. Η πίεση αναρροφήσεως πέφτει μέχρι ο συμπιεστής να κρατηθεί από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως. Με τον κύκλο κενού, εξασφαλίζεται ότι κατά τα διαστήματα κρατήσεως του συμπιεστή, υπάρχει μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου σε διάλυση με το λάδι στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή. Έτσι κατά την εκκίνηση δεν παρατηρείται δημιουργία αφρού στο λάδι της ελαιολεκάνης και μειώνεται ο κίνδυνος βλάβης λόγω εισόδου ασυμπίεστου λαδιού στον κύλινδρο.

Οι πλεκτρομαγνητικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται και για ρύθμιση της παροχής του ψυκτικού μέσου σε περισσότερους από έναν ατμοποιτές, που εξυπηρετούν πολλαπλούς ψυκτικούς θαλάμους με διαφορετικές θερμοκρασίες (σχ. 9.11γ). Στην πε-



Σχ. 9.11α.

Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (α) κανονικά κλειστή (NC) και (β) κανονικά ανοικτή (NO).
(Τα πηνία είναι απενεργοποιημένα).



Σχ. 9.11β.

Τοποθέτηση ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας στη γραμμή υγρού ψυκτικού μέσου.

ρίπτωση αυτή η κάθε ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ενεργοποιείται από διαφορετικούς θερμοστάτες που υπάρχουν σε κάθε θάλαμο και ελέγχει την παροχή του ψυκτικού μέσου ανάλογα με τη θερμοκρασία του κάθε θαλάμου χωριστά.

2) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αναρροφήσεως συμπιεστή.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αναρρόφησης τοποθετούνται πριν την αναρρόφηση του συμπιεστή και χρησιμοποιούνται για την απομόνωσή του, πρώτον για έλεγχο θερμοκρασίας του θαλάμου και δεύτερον κατά την αποχιόνωση του ατμοποιητή με ηλεκτρικές αντιστάσεις ή με θερμό νερό. Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αναρρόφησης είναι συνήθως πιλοτικά ενεργοποιούμενες, ώστε κατά τη ροή του ατμού στην αναρρόφηση του συμπιεστή να υπάρχει μικρή πτώση πίεσης.

3) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αποφορτίσεως συμπιεστή.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αποφορτίσεως του συμπιεστή χρησιμοποιούνται για έλεγχο της ισχύος του με φραγή του οχετού αναρρόφησης.

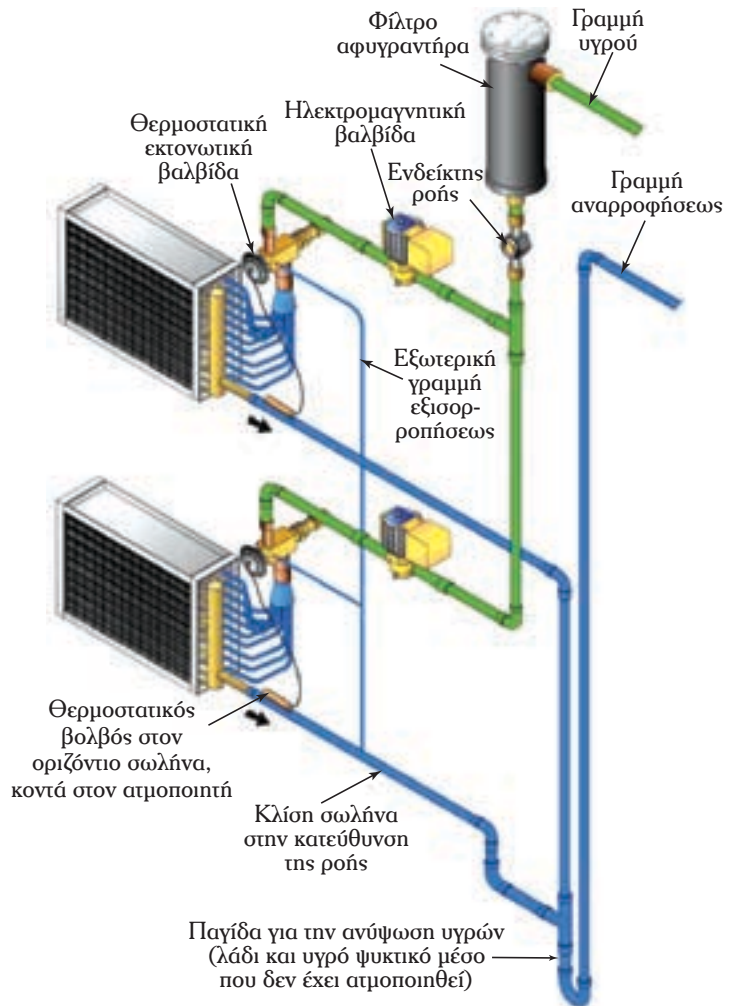
4) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες παρακάμψεως θερμού αερίου.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες παρακάμψεως θερμού αερίου χρησιμοποιούνται για ρύθμιση της ισχύος του συμπιεστή με παράκαμψη θερμού αερίου απ' την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση. Εναλλακτικά, η παράκαμψη του θερμού αερίου μπορεί να γίνει προς την είσοδο του ατμοποιητή, μετά την εκτονωτική βαλβίδα, ώστε να επιτευχθεί ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος της εγκατάστασης. Η παράκαμψη θερμού αερίου γίνεται μετά την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, μέσω μιας βαλβίδας παρακάμψεως θερμού αερίου, η οποία περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.

5) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αποχιονώσεως με θερμό αέριο

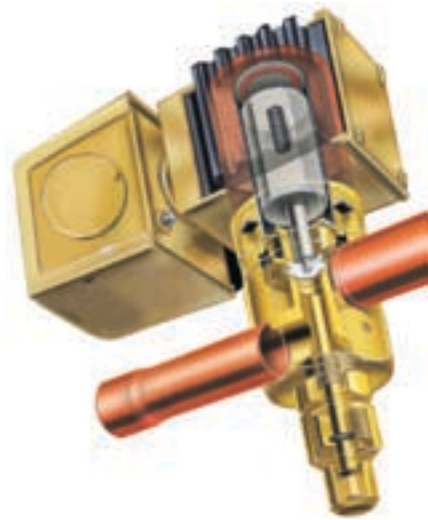
Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες αποχιονώσεως με θερμό αέριο ενεργοποιούνται από χρονοδιακόπτες και μ' αυτές το θερμό αέριο από την κατάθλιψη του συμπιεστή οδηγείται προς τον ατμοποιητή και στη συνέχεια προς το συμπυκνωτή, έτσι ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία των πτερυγίων και να γίνει αποχιόνωση.

Όταν παρατηρήσουμε εξωτερικά μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα δεν είναι δυνατό να συμπεράνουμε αν είναι ανοικτή ή κλειστή. Στο σχήμα 9.11δ πα-



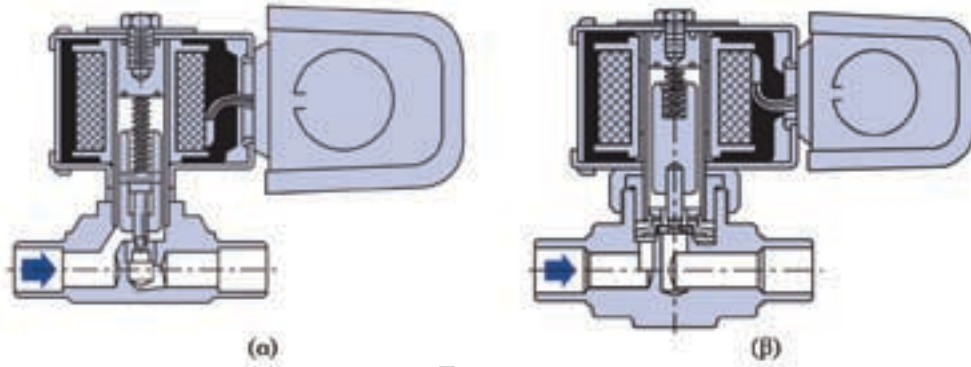
Σχ. 9.11γ.

Ρύθμιση παροχής ψυκτικού μέσου σε δύο ατμοποιητές με διαφορετική θερμοκρασία με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες.



Σχ. 9.11δ.

Κατασκευή ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας με διάφραγμα.



Σχ. 9.11ε.

(α) Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα άμεσps ενέργειας για εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα με ψυκτική ισχύ 1,6 RT (R-22), (β) πιλοτικά ελεγχόμενη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα με ψυκτική ισχύ 8,1 RT (R-22).

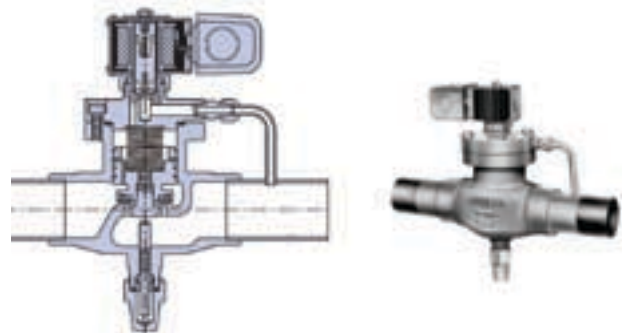
ρουσιάζεται η κατασκευή μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Η τοποθέτησή της γίνεται κατακόρυφα με το πηνίο προς τα πάνω, ώστε να μην εισέρχονται ακαθαρσίες. Για τον έλεγχο υπάρξεως διαρροών με εφαρμογή πίεσεως και δημιουργία κενού σε μία εγκατάσταση που έχει ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, αυτή πρέπει να μείνει σε ανοικτή θέση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή τάσεως, με την ενεργοποίηση ενός μοχλού χειροκίνητου ανοίγματος ή με την τοποθέτηση ειδικού μόνιμου μαγνήτη που παρέχει ο κατασκευαστής της βαλβίδας, στη θέση του πηνίου.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες για μικρή παροχή ψυκτικού μέσου, σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι **άμεσps ενέργειας** (direct acting), δηλαδή το μαγνητικό στοιχείο είναι συνδεδεμένο άμεσα με την έδρα και ανοίγει ή κλείνει τη ροή. Σε μεγαλύτερες ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται **πιλοτικά ελεγχόμενες ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες** (pilot operated). Το μαγνητικό στοιχείο σ' αυτές τις βαλβίδες ελέγχει τη ροή σε μία πιλοτική έδρα, η οποία εξισώνει την πίεση στις δύο πλευρές μιας μεμβράνης, η οποία μεταδίδει την κίνηση στην κύρια έδρα. Η κίνηση της κύριας βαλβίδας εξασφαλίζεται από τη διαφορά πίεσεως στα δύο άκρα της μεμβράνης, δηλαδή στα δύο άκρα της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Για τη λειτουργία των πιλοτικά ελεγχόμενων ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, απαραίτητη είναι η ύπαρξη μιας ελάχιστης πτώσεως πίεσεως, η οποία είναι περίπου 0,05 bar. Όταν η ροή του ψυκτικού μέσου για κάποιο λόγο μειωθεί, αυτές οι βαλβίδες κλείνουν ανεξάρτητα απ' την ύπαρξη τάσεως στο πηνίο. Στην οριακή κατάσταση, η βαλβίδα θα αρχίσει να παλινδρομεί ανάμεσα στην ανοικτή και στην κλειστή θέση, ενώ το ίδιο πρόβλημα δημιουργείται

όταν επιλεγεί μία μεγαλύτερη ηλεκτρομαγνητική, πιλοτικά ελεγχόμενη, βαλβίδα.

Στο σχήμα 9.11ε(α) φαίνονται μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα άμεσps ενέργειας και μια πιλοτικά ελεγχόμενη βαλβίδα [σχ. 9.11ε(β)] για σχετικά μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα, με ισχύ 1,6 RT και 8,1 RT (για ψυκτικό μέσο R-22) αντίστοιχα. Στο σχήμα 9.11στ εικονίζεται μια μεγαλύτερη πιλοτικά ελεγχόμενη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για εγκαταστάσεις με ψυκτική ισχύ 127 RT για R-22. Στο σχήμα 9.11ζ φαίνεται μια πιλοτικά ελεγχόμενη βαλβίδα για εγκαταστάσεις αμμωνίας με ψυκτική ισχύ 126-283 RT.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες χαρακτηρίζονται από τη **μέγιστη διαφορική πίεση λειτουργίας** (maximum operating pressure differential–MOPD), η οποία είναι η μέγιστη διαφορά πίεσεως στα άκρα της βαλβίδας, για την οποία αυτή μπορεί να λειτουργήσει. Η μέγιστη διαφορική πίεση λειτουργίας καθορίζεται από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή εξαρτάται από τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερ-



Σχ. 9.11στ.

Πιλοτικά ελεγχόμενη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για εγκαταστάσεις με αλογονούχα ψυκτικά μέσα και ψυκτική ισχύ 127 RT (R-22).

μοκρασία του πνιίου της κάθε βαλβίδας. Για ασφάλεια, οι τιμές των κατασκευαστών αφορούν στη μέγιστη διαφορά πίεσεως για λειτουργία της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, όταν η θερμοκρασία των τυλιγμάτων είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη και η τάση που εφαρμόζεται είναι το 85% της ονομαστικής. Σε περίπτωση αντικατάστασης ψυκτικού μέσου σε μια εγκατάσταση είναι πιθανό να απαιτείται αντικατάσταση της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας εάν η μέγιστη διαφορική πίεση λειτουργίας της παλιάς βαλβίδας δεν ανταποκρίνεται στη διαφορική πίεση λειτουργίας της εγκαταστάσεως με το νέο ψυκτικό μέσο. Για μικρή μεταβολή της διαφορικής πίεσεως λειτουργίας, ενδεχομένως να είναι αρκετή η αντικατάσταση του πνιίου με άλλο μεγαλύτερης ικανότητας.

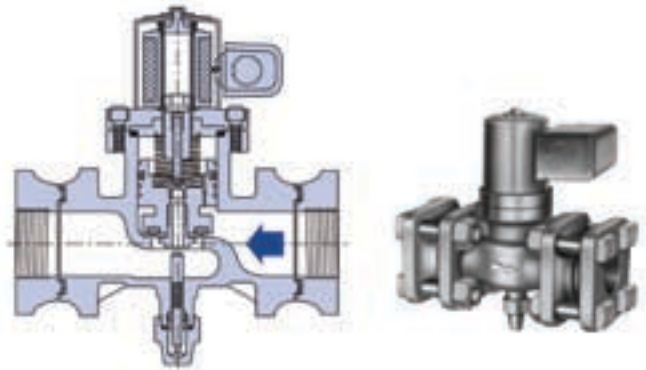
Η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του πνιίου καθορίζεται από την ικανότητα του υλικού της μονώσεως να αντέχει στην υπερθέρμανση. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες πνιίων οι F, H, N με αντίστοιχες ανώτερες θερμοκρασίες που δίνονται στον πίνακα 9.11. Η θερμοκρασία του πνιίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του υγρού μέσα στη βαλβίδα, από την τάση και αν είναι εναλλασσόμενου ρεύματος και από τη συχνότητα του ρεύματος που τη διαρρέει. Ανεξάρτητα απ' την κλάση του πνιίου, η επιφάνειά του μπορεί να είναι πολύ ζεστή, οπότε η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα θα πρέπει να τοποθετείται σε θέση που να μην είναι πιθανή η ακούσια επαφή με τα χέρια.

Πίνακας 9.11
Κλάσεις πνιίων και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας.

Κλάση	Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία πνιίου	
	°F	°C
F	171	95
H	207	115
N	243	135

9.12 Θερμοστατικοί και πιεζοστατικοί διακόπτες.

Οι θερμοστάτες και οι πιεζοστάτες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ψυκτικής ισχύος, ανάλογα με τη θερμοκρασία ή την πίεση σ' ένα σημείο της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος της αποδόσεως της εγκαταστάσεως, ώστε η θερμότητα που αφαιρείται από τον ψυκτικό θάλαμο,



Σχ. 9.11ζ.

Πιλοτικά ελεγχόμενη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για εγκαταστάσεις με αμμωνία και ψυκτική ισχύ 126-283 RT.

να ισούται με την απαίτηση για ψυκτικό φορτίο τη συγκεκριμένη στιγμή.

Εκτός από τον έλεγχο της ψυκτικής ισχύος, με τους θερμοστατικούς και τους πιεζοστατικούς διακόπτες επιτυγχάνεται και η προστασία του συμπιεστή από υπερφόρτιση. Τυπικό διάγραμμα ηλεκτρολογικής συνδέσεως του συμπιεστή μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως φαίνεται στο σχήμα 9.12α.

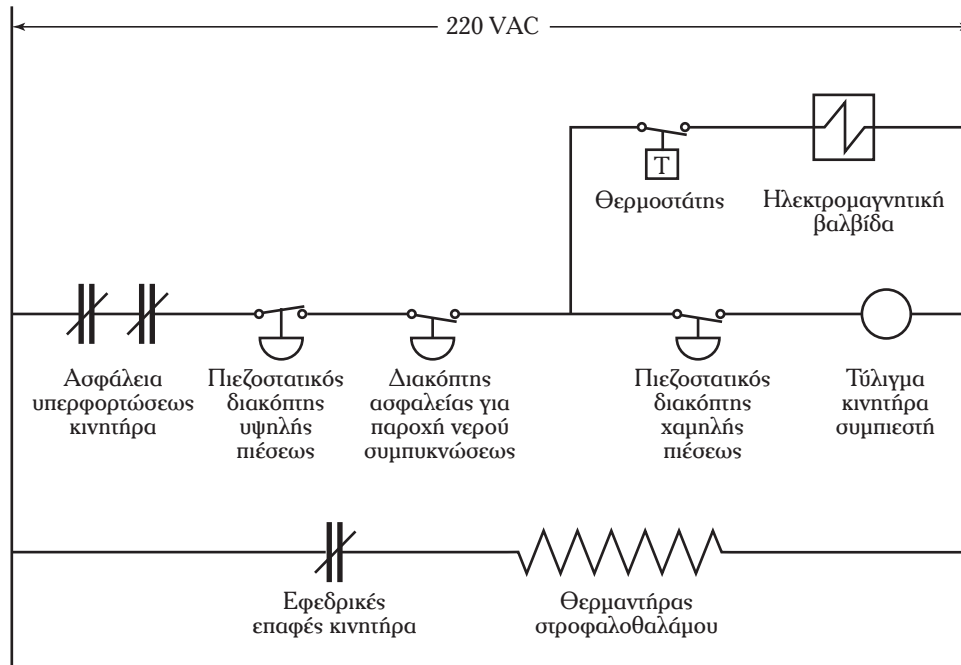
9.12.1 Θερμοστάτες – Γενικά.

Η συνθέςτερη εφαρμογή των θερμοστατών στις ψυκτικές εγκαταστάσεις, είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας του ψυκτικού θαλάμου σε **κύκλο κενού** (pump-down cycle). Ο βολβός του θερμοστάτη χώρου τοποθετείται μέσα στο θάλαμο και ελέγχει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, η οποία με τη σειρά της ελέγχει τη ροή του ψυκτικού μέσου στην εκτονωτική βαλβίδα και στον ατμοποιητή. Εναλλακτικά, για μικρούς μονοφασικούς συμπιεστές, ο θερμοστάτης μπορεί να ελέγχει την παροχή ρεύματος απευθείας στο συμπιεστή ή μέσω ενός ηλεκτρονόμου για μεγαλύτερους και για τριφασικούς συμπιεστές. Επίσης, οι θερμοστάτες χρησιμοποιούνται για έλεγχο της λειτουργίας των ανεμιστήρων κυκλοφορίας αέρα σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις, σε αερόψυκτους συμπυκνωτές και σε ατμοποιήτες ψύξεως αέρα.

Ανάλογα με το είδος του αισθητήριου μηχανισμού υπάρχουν τα εξής τρία είδη θερμοστατών:

1) Θερμοστάτες με διμεταλλική επαφή.

Οι θερμοστάτες με διμεταλλική επαφή έχουν μία διμερή ράβδο που κατασκευάζεται από δύο διαφορετικά μέταλλα, στην άκρη της οποίας υπάρχουν δύο επαφές, από τις οποίες περνάει το ηλεκτρικό ρεύμα,



Σχ. 9.12α.

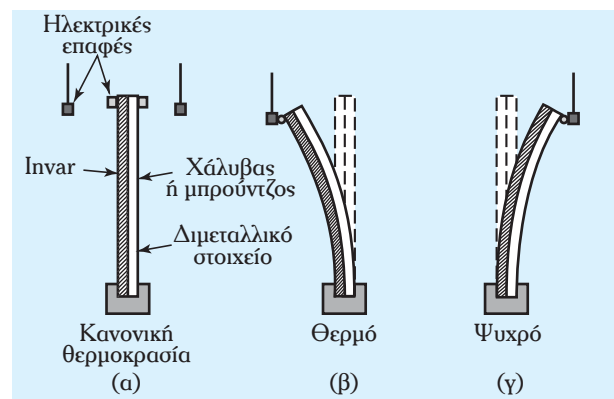
Τυπικό διάγραμμα ηλεκτρολογικής συνδέσεως μονοφασικού συμπιεστή.

ενώ οι άλλες δύο είναι σταθερά τοποθετημένες στο κέλυφος. Τα μέταλλα, από τα οποία αποτελείται η ράβδος έχουν διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής. Συνήθως χρησιμοποιείται το *invar*, που είναι κράμα σιδήρου και νικελίου, και έχει σχεδόν μηδενική διαστολή, και ο χαλκός, ο οποίος έχει μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής. Όταν το διμεταλλικό στοιχείο θερμανθεί, παραμορφώνεται προς την πλευρά του invar, ενώ όταν μειωθεί η θερμοκρασία του παραμορφώνεται προς την πλευρά του χαλκού (σχ. 9.12β). Οι ηλεκτρικές συνδέσεις γίνονται ανάλογα με το αν θέλουμε να ανοίγει ή να κλείνει το κύκλωμα όταν η διμεταλλική επαφή θερμαίνεται ή ψύχεται.

Στους θερμοστάτες με διμεταλλική επαφή μπορεί να ρυθμιστεί μόνο μία θερμοκρασία λειτουργίας, στην οποία γίνεται διακοπή ή αποκατάσταση του ηλεκτρικού κυκλώματος και δεν μπορεί να ρυθμιστεί η διαφορά θερμοκρασιών για την οποία γίνεται εκκίνηση ή διακοπή αντίστοιχα.

2) Θερμοστάτες χώρου με θερμοστατικό στοιχείο (βολβό).

Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις οι θερμοστάτες χώρου πρέπει να έχουν καθορισμένες **θερμοκρασίες εκκινήσεως** (cut-in temperature) και **διακοπής** (cut-out temperature) του ηλεκτρικού κυκλώματος,



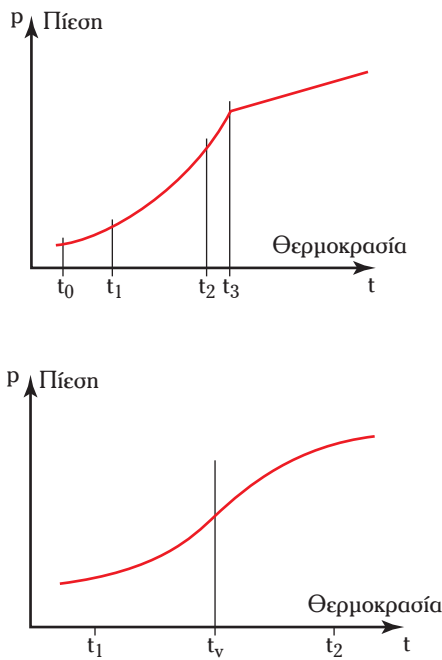
Σχ. 9.12β.

Θερμοστάτης με διμεταλλική επαφή.

ώστε να ελέγχεται το χρονικό διάστημα ακινησίας του συμπιεστή. Η διαφορά θερμοκρασίας εκκινήσεως και διακοπής ονομάζεται **διαφορική** (differential). Η διαφορική θερμοκρασία ρυθμίζεται με τους θερμοστάτες με θερμοστατικό βολβό και φυσούνα.

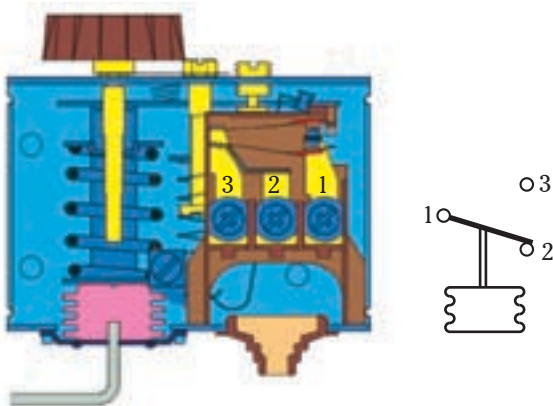
Σ' αυτούς τους θερμοστάτες η ελεγχόμενη θερμοκρασία γίνεται αντιληπτή από ένα θερμοστατικό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από ένα θερμοστατικό βολβό, όμοιας κατασκευής μ' αυτόν που έχουν οι θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες. Ο βολβός περιέχει ένα **αέριο** (gas charged) ή ένα **υγρό** (liquid charged) ή ένα αέριο και ένα **υλικό απορροφήσε-**

ws (absorption charged) ανάλογα με τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του βολβού προκαλεί αύξηση της πίεσης του αερίου. Η μεταβολή της πίεσης στο βολβό, ανάλογα με το είδος γομώσεώς του, φαίνεται στο σχήμα 9.12γ. Η πίεση του βολβού μεταδίδεται μ' έναν τριχοειδή σωλήνα σ' έναν πτυχωτό σωλήνα (φυσούνα), ο οποίος κινεί μια ηλεκτρική επαφή, εναλλακτικά, αντί για τη φυσούνα μπορεί η πίεση να μεταδίδεται σ' ένα διάφραγμα. Ένας θερμοστάτης με βολβό έχει τρεις ηλεκτρικές επαφές και δύο σημεία ρυθμίσεως (σχ.



Σχ. 9.12γ.

Μεταβολή πίεσης ανάλογα με τη θερμοκρασία του θερμοστατικού βολβού: (α) Για πλήρωση με γρήγο και αέριο, (β) με πλήρωση απορροφίσεως.



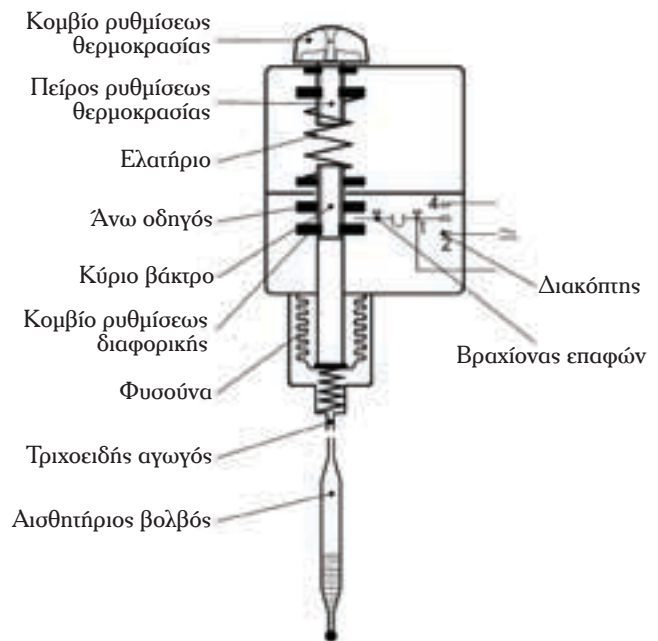
Σχ. 9.12δ.

Ηλεκτρικές επαφές θερμοστάτη με βολβό.

9.12δ). Το ηλεκτρικό κύκλωμα κλείνει ανάμεσα σε μία κινητή και σε μία σταθερή επαφή, η οποία είναι σταθερά προσαρμοσμένη στο κέλυφος του θερμοστάτη. Η μετατόπιση των επαφών επιταχύνεται από ένα εύκαμπτο έλασμα, ώστε να είναι απότομη και να μην σχηματίζεται ηλεκτρικό τόξο κατά την κράτηση και κατά την εκκίνηση του συμπιεστή, ώστε να επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής του θερμοστάτη. Η απότομη μετατόπιση των επαφών μπορεί να γίνει και με την έλξη της κινητής επαφής από ένα μόνιμο μαγνήτη. Η αρχή λειτουργίας του θερμοστάτη με βολβό εικονίζεται στο σχήμα 9.12ε.

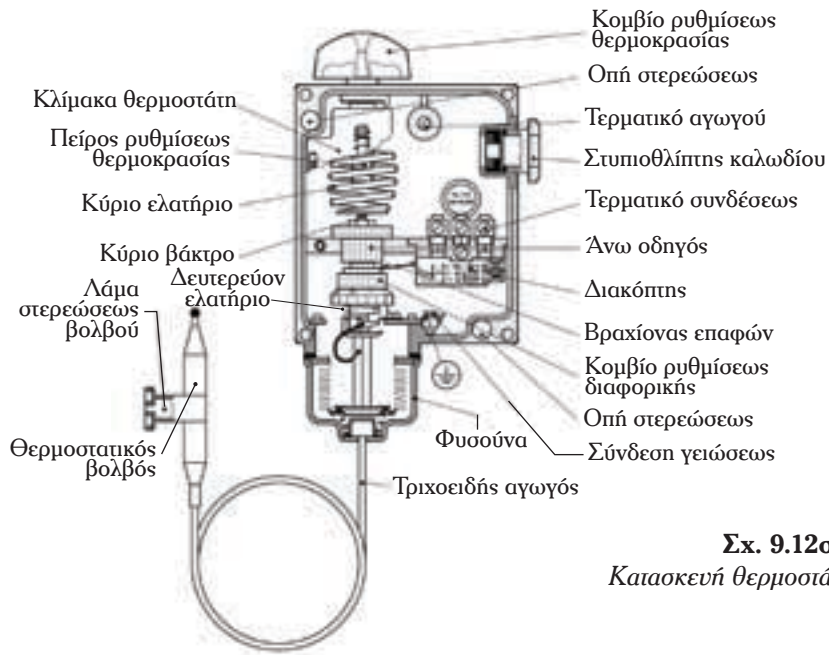
Στο σχήμα 9.12στ παρουσιάζεται η κατασκευή ενός τύπου θερμοστάτη με θερμοστατικό στοιχείο (βολβό). Η πίεση του βολβού, μεταβιβάζεται με τον τριχοειδή σωλήνα στην εξωτερική πλευρά της φυσούνας. Η μετατόπιση του πτυχωτού σωλήνα καθορίζεται από την τάση του ελατηρίου, η οποία ρυθμίζεται με το κομβίο. Η αύξηση της θερμοκρασίας του βολβού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και τη μετακίνηση του άνω οδηγού προς τα πάνω, μέχρι η δύναμη της φυσούνας να εξισορροπηθεί με την τάση του κυρίου ελατηρίου. Η ρύθμιση της διαφορικής θερμοκρασίας γίνεται μέσω ενός κομβίου, που συμπιέζει το δευτερεύον ελατήριο του οδηγού, ο οποίος μετακινείται με τον κύριο δίσκο και μετακινεί το βραχίονα επαφών οριζόντια, που ανοίγει και κλείνει τις ηλεκτρικές επαφές.

Στο σχήμα 9.12ζ εικονίζονται δύο θερμοστάτες

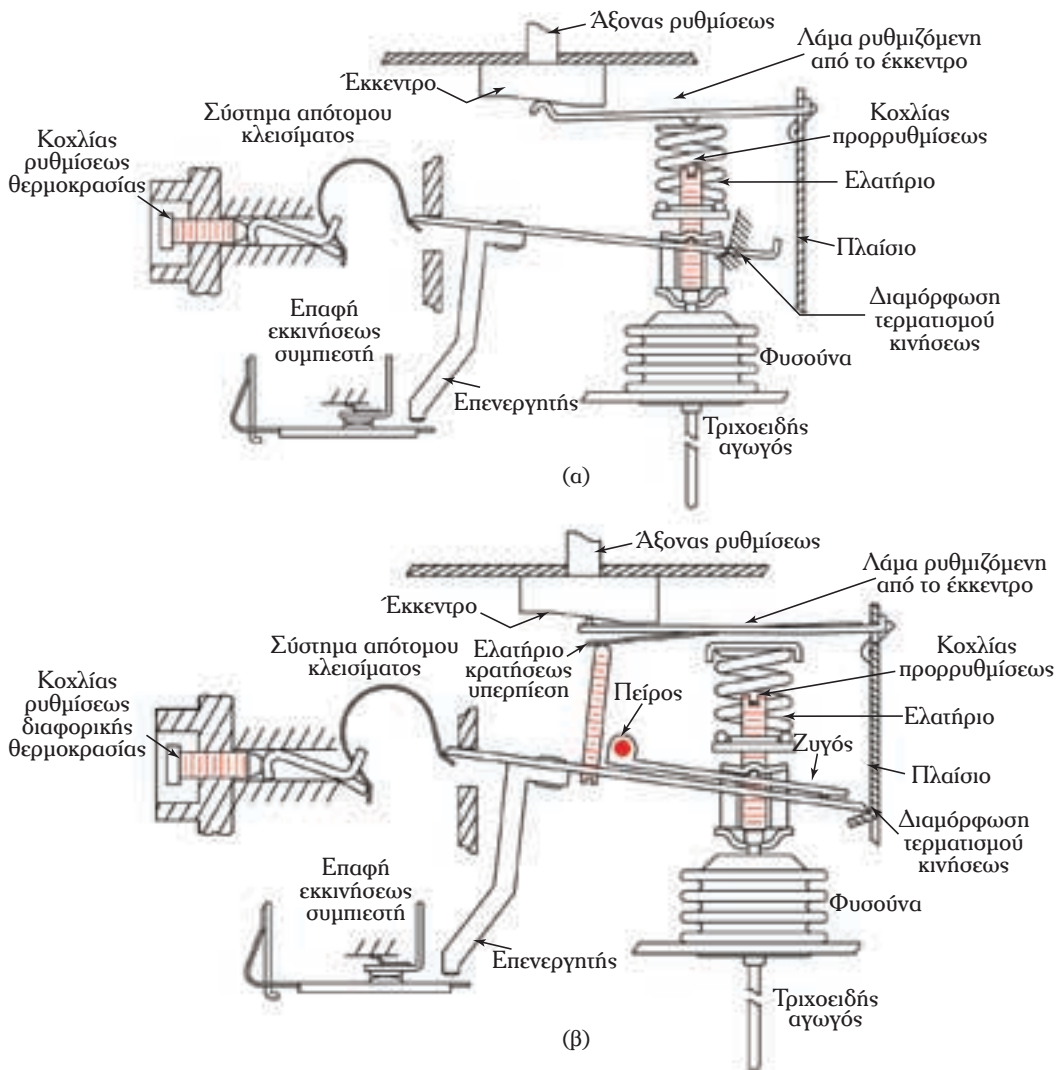


Σχ. 9.12ε.

Αρχή λειτουργίας θερμοστάτη με βολβό.



Σχ. 9.12στ.
 Κατασκευή θερμοστάτη με βολβό.



Σχ. 9.12ζ.
 Θερμοστάτες μικρών ψυκτικών και κλιματιστικών εγκαταστάσεων:
 (α) Με ρυθμιζόμενη θερμοκρασία εκκινήσεως και σταθερή διαφορική θερμοκρασία, και (β) με ρυθμιζόμενη διαφορική θερμοκρασία και σταθερή θερμοκρασία εκκινήσεως.

για μικρές ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις: ο πρώτος με ρύθμιση της θερμοκρασίας εκκινήσεως και σταθερή διαφορική θερμοκρασία, και ο δεύτερος με ρύθμιση της διαφορικής θερμοκρασίας και με σταθερή θερμοκρασία εκκινήσεως. Ο δεύτερος θερμοστάτης έχει ρυθμισμένη τη θερμοκρασία εκκινήσεως λίγο πιο χαμηλά από τη θερμοκρασία σχηματισμού πάγου, ώστε κατά την περίοδο κρατήσεως του συμπιεστή να γίνεται αποχιόνωση του ατμοποιητή.

Στο σχήμα 9.12η παρουσιάζονται οι θερμοστάτες ενός κατασκευαστή, οι οποίοι μπορούν να ελεγχουν

άμεσα συμπιεστές μέχρι 2,7 hr ή μεγαλύτερους μέσω ηλεκτρονόμου.

– **Ρύθμιση και τοποθέτηση θερμοστάτη με θερμοστατικό στοιχείο.**

Οι θερμοστάτες έχουν δύο κλίμακες, τις εξής:






α) Την κλίμακα θερμοκρασίας **εκκινήσεως** (cut-in) ή **διακοπής** (cut-out), η οποία για συντομία ονομάζεται **περιοχή** (range) και

β) την κλίμακα της **διαφορικής θερμοκρασίας** (differential).

ΠΛΗΡΩΣΗ ΒΟΛΒΟΥ	ΤΥΠΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΒΟΛΒΟΥ	ΕΥΡΟΣ ΡΥΘΜΙΣΕΩΣ	ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ		ΕΠΑΝΑΤΑΞΗ	ΜΗΚΟΣ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥ		ΚΩΔΙΚΟΣ P/N
				Στη χαμηλότερη θερμοκρασία °F	Στην ψηλότερη θερμοκρασία °F		In.	ft	
Ατμός	KP 61	B	-20 → 55	8 → 40	2.2 → 13	Auto.	80	6.5	60L2002
	KP 62	C	-20 → 60	10 → 40	2.7 → 13	Auto.			60L2015
	KP 63	A	-60 → 15	18 → 125	4.9 → 15	Auto.	80	6.5	60L2007
Πλήρωση †	KP 69	B	25 → 95	8 → 45	3.2 → 13	Auto.	80	6.5	60L2009
	KP 71	E2	25 → 70	4.5 → 18	4 → 18	Auto.	80	6.5	60L2010
	KP 71	E2	25 → 70	Fixed 5.4	Fixed 5.4	Man., Min.**	80	6.5	60L2011
	KP 73	D	-15 → 60	8 → 36	6.3 → 36	Auto.	80	6.5	60L2017
	KP 73	E1	0 → 80	10 → 35	10 → 35	Auto.	80	6.5	60L2029††
KP 98	E2	On: 30 to 90 HT: 210 to 330	On: fixed 22 HT: fixed 45	On: fixed 22 HT: fixed 45	Man., Max.	40	3.2	60L2025	

† Ο βολβός μπορεί να μπει σε θέση με χαμηλότερη ή ψηλότερη θερμοκρασία από τον τριχοειδή αγωγό.
 ** Στους θερμοστάτες με χειροκίνητη επανάταξη χαμηλής θερμοκρασίας, η θερμοκρασία αποκοπής είναι ίση με τη χαμηλή θερμοκρασία του εύρους λειτουργίας.
 Η επανάταξη γίνεται μετά από αύξηση θερμοκρασίας κατά 5,4 °F
 †† ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ
 Cut-In: 60 °F
 Cut-Out: 25 °F

ΤΥΠΟΙ ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

A		Μήκος με ευθύ τριχοειδή αγωγό: 15 in από 80 in.
B		Διάμετρος: 3/8 in x 2 - 3/4 in. Τοποθέτηση για απομακρυσμένο ψύκτη αέρα.
C		Διάμετρος: 1 - 9/16 in x 1 in. Ενσωματωμένος στο θερμοστάτη.
D		Διάμετρος: 3/8 in x 2 - 3/4 in. Εξωτερικός βολβός με δύο σημεία επαφής. Δεν τοποθετείται σε υποδοχή βολβού.
E		E1: Διάμετρος 1/4 in. x 3 - 3/8 in, εξωτερικός βολβός. E2: Διάμετρος 3/8 in x 4 in, εξωτερικός βολβός.

Σχ. 9.12n.

Σειρά θερμοστατών με θερμοστατικό στοιχείο.

Η διαφορική θερμοκρασία ορίζεται ως η διαφορά των θερμοκρασιών εκκινήσεως και διακοπής:

$$T_{\text{differential}} = T_{\text{cut-in}} - T_{\text{cut-out}}$$

Η μέση θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου είναι:

$$T_m = \frac{T_{\text{cut-in}} + T_{\text{cut-out}}}{2}$$

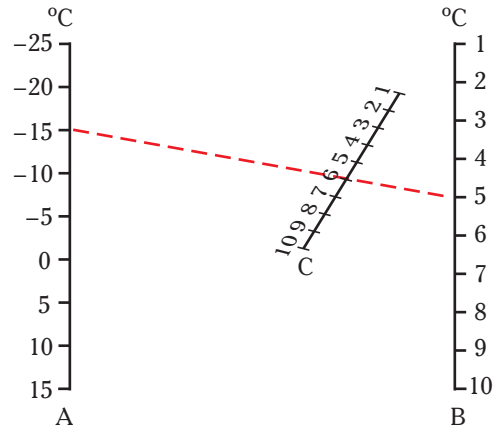
Η ρύθμιση της διαφορικής θερμοκρασίας γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή και τη θέση τοποθέτησής του θερμοστατικού στοιχείου. Γενικά, η διαφορική θερμοκρασία καθορίζεται εμπειρικά σε κάθε ψυκτική εγκατάσταση. Όταν ο θερμοστατικός βολβός τοποθετείται στο ρεύμα ροής που εξέρχεται από τον ψύκτη αέρα, η διαφορική ρυθμίζεται περίπου σε 3–4 K. Όταν ο βολβός τοποθετείται μέσα στο θάλαμο, μακριά από τον ψύκτη αέρα και ελέγχει τη θερμοκρασία των προϊόντων, απευθείας η διαφορική ρυθμίζεται περίπου σε 1–2 K. Σε μερικές περιπτώσεις ο θερμοστατικός βολβός του θερμοστάτη τοποθετείται πάνω στον ατμοποιητή ή στον ψύκτη αέρα με σφικτήρες, ώστε να ελέγχει έμμεσα τη θερμοκρασία των προϊόντων του θαλάμου. Σ' αυτήν την περίπτωση η διαφορική παίρνει μεγαλύτερες τιμές, της τάξεως των 8–12 K.

Με τη ρύθμιση της κλίμακας περιοχής (T_{range}) ρυθμίζεται η περιοχή θερμοκρασιών, που λειτουργεί ο θερμοστάτης. Η θερμοκρασία περιοχής μπορεί να είναι η θερμοκρασία εκκινήσεως ή διακοπής, ανάλογα με τη σύνδεση των ακροδεκτών του θερμοστάτη, συνήθως όμως ως θερμοκρασία περιοχής αναφέρεται η υψηλή θερμοκρασία εκκινήσεως.

Για τη ρύθμιση του εύρους και της διαφορικής θερμοκρασίας πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή του θερμοστάτη. Παραδείγματος χάριν, για το θερμοστάτη του σχήματος 9.12στ, η διαφορική ρυθμίζεται με περιστροφή του κομβίου, το οποίο έχει κλίμακα από το 1 έως το 10. Η κατάλληλη θέση του κομβίου ρυθμίσεως της διαφορικής επιλέγεται με νομογράφημα που δίνεται από τον κατασκευαστή του θερμοστάτη (σχ. 9.12θ). Η κλίμακα Α είναι η θερμοκρασία εύρους, η κλίμακα Β είναι η διαφορική και η κλίμακα C είναι η θέση του κομβίου ρυθμίσεως.

Για παράδειγμα, για cut-in θερμοκρασία $T = -15^\circ\text{C}$ και διαφορική $\Delta T = 5^\circ\text{C}$, οπότε η cut-out θερμοκρασία θα είναι -20°C , από το νομογράμμα του σχήματος 9.12θ προκύπτει ότι το κομβίο ρυθμίσεως της διαφορικής θερμοκρασίας θα πρέπει να είναι στη θέση 6.

Στους θερμοστάτες με θερμοστατικό βολβό, η ρύθμιση του εύρους και της διαφορικής θερμοκρασίας παρουσιάζεται σε κλίμακες που βρίσκονται στο κέλυφος του θερμοστάτη (σχ. 9.12ι).



Σχ. 9.12θ.

Νομογράφημα καθορισμού διαφορικής θερμοκρασίας, ανάλογα με τη θέση του κομβίου ρυθμίσεως διαφορικής θερμοκρασίας.



Σχ. 9.12ι.

Θερμοστάτης με κλίμακες ρυθμίσεως θερμοκρασιών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη ρύθμιση των θερμοστατών θα πρέπει οι ενδείξεις των θερμοκρασιών να επαληθεύονται από ένα θερμόμετρο, ώστε να είναι αξιόπιστες. Σε περίπτωση που η λειτουργία του θερμοστάτη πραγματοποιείται σε διαφορετική θερμοκρασία από την επιθυμητή, θα πρέπει η ρύθμιση να επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες λειτουργίας.

Παράδειγμα ρυθμίσεως: Η θερμοκρασία σ' έναν ψυκτικό θάλαμο ελέγχεται μ' ένα θερμοστάτη και οι θερμοκρασίες εκκινήσεως και διακοπής είναι:

$$T_{cut-in} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cut-out} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Η ρύθμιση στην κλίμακα περιοχής θα είναι:

$$T_{range} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Η ρύθμιση στην κλίμακα διαφορικής θα είναι:

$$T_{diferential} = T_{cut-in} - T_{cut-out} = -18 - (20) = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Εάν ο θερμοστάτης ελέγχει τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσω της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, τότε η ρύθμισή του γίνεται παράλληλα με τη ρύθμιση του πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως που ελέγχει τη λειτουργία του συμπιεστή. Ο πιεζοστάτης θα πρέπει να είναι έτσι ρυθμισμένος, ώστε κατά τη λειτουργία του συμπιεστή, να μπορεί να επιτευχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας του ατμοποιητή και να μην γίνεται προσπάθεια επιτεύξεως μεγάλου κενού κατά την κράτηση, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.

– Οδηγίες τοποθετήσεως θερμοστάτη.

Για την ορθή τοποθέτηση του θερμοστάτη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

α) Ο θερμοστάτης δεν θα πρέπει να τοποθετείται σε χώρο με χαμηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία του χώρου που ελέγχει [σχ. 9.12ια(α)]. Η θερμοκρασία του χώρου τοποθετήσεως του θερμοστάτη θα πρέπει να είναι 2–3 °C υψηλότερη απ' αυτήν του ψυκτικού θαλάμου.

β) Ο τριχοειδής αγωγός δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή ή να είναι κοντά στον αγωγό αναρροφήσεως [σχ. 9.12ια(β)].

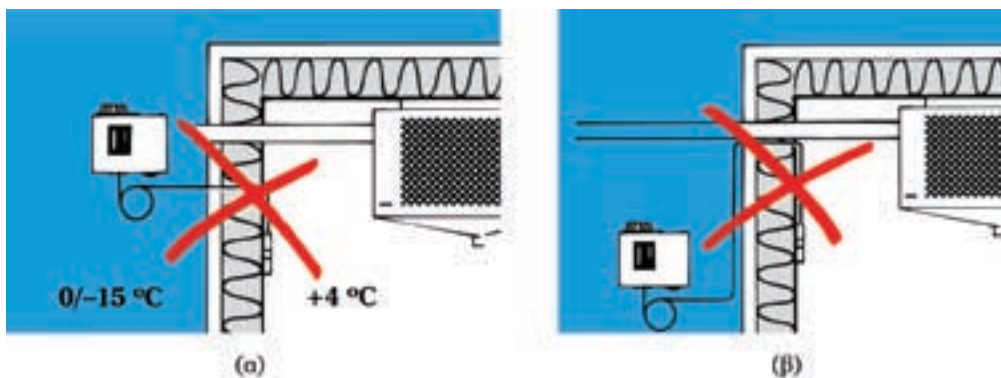
γ) Εάν υπάρχει πιθανότητα εισόδου σταγονιδίων νερού ή σκόνης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται θερμοστάτης με κατάλληλη στεγανότητα (IP 55 έως 66) και κατάλληλο προστατευτικό κάλυμμα.

δ) Ο τριχοειδής αγωγός θα πρέπει να στερεώνεται κατάλληλα, ώστε να έχει ελεύθερο μήκος και να μην ταλαντεύεται από κραδασμούς.

ε) Ο τριχοειδής σωλήνας δεν πρέπει να κάμπεται άσκοπα και δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με μεταλλικά εξαρτήματα και κατασκευαστικά στοιχεία του θαλάμου.

3) Ηλεκτρονικοί θερμοστάτες.

Οι ηλεκτρονικοί θερμοστάτες λειτουργούν μέσω μιας **θερμοαντιστάσεως** (thermistor) και χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται ρύθμιση της διαφορικής θερμοκρασίας, που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τους κλασικούς μηχανικούς θερμοστάτες. Επί πλέον έχουν το πλεονέκτημα της ακρίβειας, καθώς είναι σωστά ρυθμισμένοι και οι ενδείξεις τους είναι αξιόπιστες. Περιλαμβάνουν μια οθόνη κι ένα ηλεκτρονικό πίνακα, με τα οποία γίνεται η ρύθμιση των θερμοκρασιών λειτουργίας και η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του χώρου (σχ. 9.12ιβ). Ο αισθητήρας τοποθετείται στο ρεύμα του ψυχρού αέρα μετά τον ατμοποιητή. Υπάρχουν συνδέσεις για το συμπιεστή ή την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, για την



Σχ. 9.12ια.

Οδηγίες τοποθετήσεως θερμοστάτη.

αποχιώνωση και για συναγερμό υψηλής θερμοκρασίας, οπότε είναι ευκολότερος ο προγραμματισμός της αποχιονώσεως και ο έλεγχος της λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις.

9.12.2 Πιεζοστάτες – Γενικά.

Οι πιεζοστατικοί διακόπτες μπορεί να είναι:

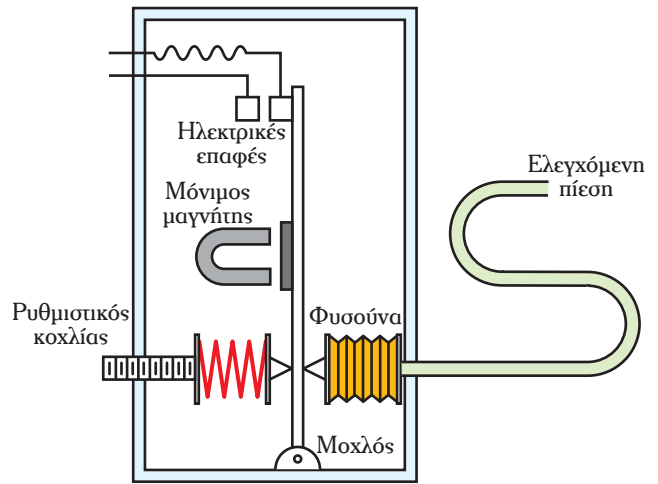
- α) **Πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως** (high pressure switch).
- β) **Πιεζοστάτες χαμηλής πίεσεως** (low pressure switch).
- γ) **Δίδυμοι πιεζοστάτες** (dual pressure switch) και
- δ) **διαφορικοί πιεζοστάτες λαδιού** (oil differential pressure switch)

Οι πιεζοστάτες χαμηλής πίεσεως συνδέονται στη χαμηλή πλευρά της πίεσεως της εγκαταστάσεως, συνήθως στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Οι πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως συνδέονται στην πλευρά της υψηλής πίεσεως και συνήθως στην κατάθλιψη του συμπιεστή. Η κατασκευή των πιεζοστατών χαμηλής και υψηλής πίεσεως είναι παρόμοια μ' αυτήν των θερμοστατικών διακοπών με βολβό, με τη διαφορά ότι η πίεση για τη λειτουργία τους προέρχεται από την πίεση του ψυκτικού μέσου, αντί για την πίεση που αναπτύσσεται στο βολβό. Η αρχή λειτουργίας του πιεζοστατικού διακόπτη φαίνεται στο σχήμα 9.12ιγ.

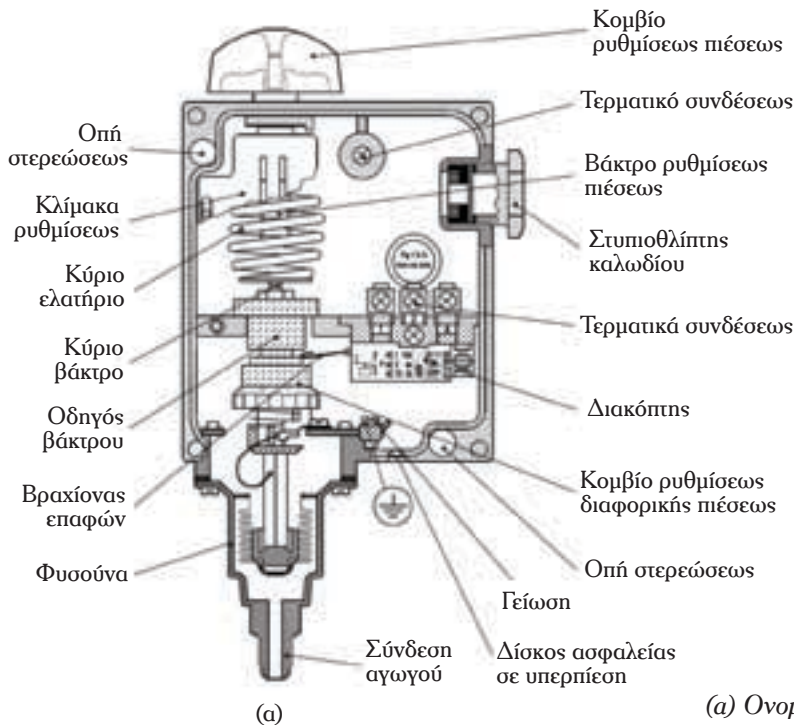
Στο σχήμα 9.12ιδ παρουσιάζονται τα μέρη απ'



Σχ. 9.12ιβ.
Ηλεκτρονικοί θερμοστάτες.



Σχ. 9.12ιγ.
Αρχή λειτουργίας πιεζοστάτη.



Σχ. 9.12ιδ.
(α) Ονοματολογία πιεζοστάτη και (β) πιεζοστάτης.

τα οποία αποτελείται ένας πιεζοστάτη, στον οποίο ρυθμίζεται η **πίεση διακοπής** (range) και η **διαφορική πίεση** (differential). Η λειτουργία του είναι παρόμοια με τη λειτουργία του θερμοστάτη που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Ανάλογα με τη χρήση του πιεζοστάτη και το εργαζόμενο μέσο, επιλέγεται διαφορετικός τύπος με κατάλληλο εύρος και προρρυθμισμό των πιέσεων λειτουργίας, από τον πίνακα που παρουσιάζεται στο σχήμα 9.12ιε.

1) Πιεζοστάτης υψηλής πίεσεως.

Οι πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως χρησιμοποιούνται ως διατάξεις ασφαλείας και διακόπτουν τη λειτουργία του συμπιεστή όταν η πίεση καταθλίψεως υπερβεί τη μέγιστη πίεση λειτουργίας. Αυτό γίνεται για προστασία του εξοπλισμού που βρίσκεται στην πλευρά της υψηλής πίεσεως της εγκαταστάσεως. Μία υπερπίεση θεωρείται έκτακτο γεγονός σε μία εγκατάσταση και όταν συμβεί ο πιεζοστάτης διακόπτει την παροχή ισχύος στο συμπιεστή. Στη συνέχεια, θα πρέπει να αναζητηθεί η αιτία της βλάβης που προκάλεσε την υπερπίεση στο κύκλωμα.

Επίσης, οι πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της λειτουργίας των ανεμιστήρων ενός αερόψυκτου συμπυκνωτή, ανάλογα με την πίεση συμπυκνώσεως. Όταν υπάρχουν περισσότεροι του ενός ανεμιστήρες, ελέγχονται από διαφορετικούς πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως, που είναι ρυθμισμένοι σε διαφορετικές πιέσεις. Όταν υπάρχει χαμηλή πίεση συμπυκνώσεως δεν

λειτουργούν όλοι οι ανεμιστήρες, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται έλεγχος της ισχύος του συμπυκνωτή.

Οι πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως ανάλογα με τη διαδικασία που απαιτείται για την επαναλειτουργία της εγκαταστάσεως, χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

α) **Πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως με αυτόματη επανάταξη** (automatic reset), οι οποίοι επανεκκινούν αυτόματα το συμπιεστή, όταν η πίεση καταθλίψεως πέσει στα κανονικά επίπεδα.

β) **Πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως με χειροκίνητη επανάταξη** (manual reset), οι οποίοι επανεκκινούν το συμπιεστή, όταν η πίεση καταθλίψεως πέσει στα κανονικά επίπεδα και εφόσον πατηθεί ένα πλήκτρο επανατάξεως, ώστε να ενημερωθεί ο τεχνικός για την υπερπίεση του συστήματος.

γ) **Πιεζοστάτες υψηλής πίεσεως με χειροκίνητη επανάταξη με ειδικό εργαλείο** (manual reset by tool), στους οποίους η επανάταξη γίνεται με ειδικό εργαλείο.

Η πίεση διακοπής και επανεκκινήσεως ρυθμίζεται και εξαρτάται από την πίεση συμπυκνώσεως του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου.

2) Πιεζοστάτης χαμηλής πίεσεως.

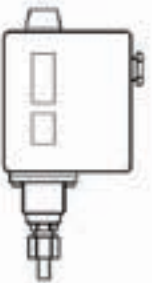
Οι πιεζοστάτες χαμηλής πίεσεως χρησιμοποιούνται ως διατάξεις ασφαλείας και διακόπτουν τη λειτουργία του συμπιεστή όταν η πίεση αναρροφήσεως πέσει κάτω από μια ελάχιστη πίεση ασφαλείας. Αυτό γίνεται για την προστασία του συμπιεστή από υπερθέρμανση σε περίπτωση απώλειας του ψυκτικού

Πιεζοστάτες για κλωροφθοράνθρακες.



Πίεση	Τύπος	Εύρος ρυθμίσεως bar	Διαφορική bar	Επανάταξη	Μέγιστη πίεση bar	Πίεση δοκιμής bar
Χαμηλή	RT 1	-0,8→5	0,5→1,6	αυτόματη	22	25
		-0,8→5	fixed 0,5	χειροκίνητη	22	25
	RT 200	0,2→6	0,25→1,2	αυτόματη	22	25
Υψηλή	RT 117	10→30	1→4	αυτόματη	42	47

Πιεζοστάτες ή πιεζοστάτες ασφαλείας για αμμωνία ή κλωροφθοράνθρακες.



Πίεση	Τύπος	Εύρος ρυθμίσεως bar	Διαφορική bar	Επανάταξη	Μέγιστη πίεση bar	Πίεση δοκιμής bar
Χαμηλή	RT 1A	-0,8→5	0,5→1,6	αυτόματη	22	25
		-0,8→5	fixed 0,5	χειροκίνητη	22	25
		-0,8→5	1,3→2,4	αυτόματη	22	25
Υψηλή	RT 5A	4→17	1,2→4	αυτόματη	22	25
		4→17	fixed 1,2	χειροκίνητη	22	25

Σχ. 9.12ιε.

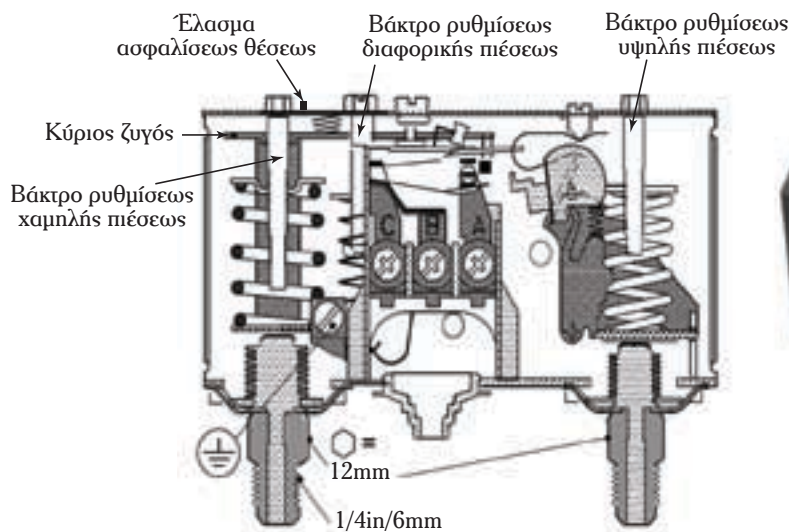
Πίνακας επιλογής πιεζοστάτη.

μέσου. Επί πλέον, η απώλεια του ψυκτικού μέσου, συνεπάγεται απώλεια σημαντικής ποσότητας του λιπαντικού λαδιού που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση, οπότε η προληπτική διακοπή της λειτουργίας του συμπιεστή, τον προστατεύει από φθορά και κόλλημα λόγω μη επαρκούς λιπάνσεως. Η χαμηλή πίεση αναρροφήσεως μπορεί επίσης να οφείλεται σε φραγμένα εξαρτήματα στη γραμμή του υγρού ψυκτικού μέσου ή σε φραγμένες σωληνώσεις του ατμοποιητή.

Οι πιεζοστάτες χαμηλής πίεσεως μπορούν επίσης να χρησιμοποιούνται και ως διατάξεις αυτοματισμού της λειτουργίας της εγκαταστάσεως, όταν αυτή λειτουργεί σε **κύκλο κενού** (rump-down cycle). Στην περίπτωση αυτή, η ροή του υγρού ψυκτικού μέσου ελέγχεται από το θερμοστάτη του ψυκτικού θαλάμου και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, ενώ ο συμπιεστής, μέσω του πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως, εκκινεί όταν ανέβει η πίεση αναρροφήσεως και κρατείται όταν αυτή πέσει.

Άλλος τρόπος αυτοματισμού μίας ψυκτικής εγκαταστάσεως με τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως, είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε εμπορικά ψυγεία τροφίμων. Η θερμοκρασία ατμοποίησης καθορίζεται απ' την πίεση ατμοποίησης, που είναι σχεδόν ίση με την πίεση αναρροφήσεως που ελέγχεται από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως. Σε περίπτωση υπάρξεως σημαντικών τριβών στο σωλήνα αναρροφήσεως, αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη ρύθμιση του πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως για την επίτευξη της κατάλληλης θερμοκρασίας ατμοποίησης.

Ρύθμιση πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως σε



Σχ. 9.12ιστ.
Δίδυμος πιεζοστάτης.

κύκλο κενού. Η θερμοκρασία σ' έναν ψυκτικό θάλαμο ελέγχεται μ' ένα θερμοστάτη και οι θερμοκρασίες εκκινήσεως και διακοπής είναι:

$$T_{cut-in} = -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cut-out} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Όπως είδαμε η ρύθμιση του θερμοστάτη χώρου είναι:

$$T_{range} = -18 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ και } T_{differential} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Αν το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο είναι το R-404a, η πίεση εκκινήσεως στον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως, θα πρέπει να αντιστοιχεί στη θερμοκρασία που ανοίγει ο θερμοστάτης και η οποία είναι $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Για το R-404a, η πίεση εύρους ή εκκινήσεως θα πρέπει να είναι:

$$P_{range} = P_{cut-in} = 2,2 \text{ bar } (T = -18 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

Η πίεση διακοπής δεν θα πρέπει να είναι πολύ μικρή, ώστε να γίνεται προσπάθεια επιτεύξεως μεγάλου κενού κατά την κράτηση. Συνήθως η πίεση διακοπής ρυθμίζεται κοντά στην ατμοσφαιρική, ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα εισροής αέρα στην εγκατάσταση. Έτσι επιλέγεται:

$$P_{cut-out} = 0,9 \text{ bar } (T = -32 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

Κατά συνέπεια, η ρύθμιση της διαφορικής πίεσεως θα είναι:

$$P_{differential} = P_{cut-in} - P_{cut-out} = 2,2 - 0,9 = 1,3 \text{ bar}$$

3) Δίδυμος πιεζοστάτης.

Ένας **δίδυμος πιεζοστάτης** (dual pressure control) (σχ. 9.12ιστ) περιλαμβάνει σ' ένα κέλυφος τον



πιεζοστάτη χαμηλής και υψηλής πίεσης. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τριχοειδείς σωλήνες, δύο φυσούνες και ο συμπιεστής συνδέεται σ' ένα ζεύγος ακροδεκτών, οπότε απλοποιείται η διαδικασία της συνδέσεως. Οι δίδυμοι πιεζοστάτες χρησιμοποιούνται συνήθως στις **μονάδες συμπυκνώσεως** (condensing units), οι οποίες σ' ένα πλαίσιο περιλαμβάνουν έναν ερμητικό συμπιεστή και έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή.

4) Διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού.

Ο διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού είναι μία διάταξη ασφαλείας που προστατεύει το συμπιεστή. Ενεργοποιείται από τη διαφορά της πίεσης του λαδιού λιπάνσεως και της πίεσης αναρροφήσεως του ψυκτικού μέσου. Η πίεση στο κύκλωμα λιπάνσεως του συμπιεστή εξασφαλίζεται απ' την αντλία λαδιού, η οποία αυξάνει την πίεση του λαδιού από την πίεση αναρροφήσεως στην πίεση λιπάνσεως. Η πίεση αναρροφήσεως μεταβάλλεται στις διάφορες φάσεις λειτουργίας της εγκαταστάσεως και καθορίζεται από τη ρύθμιση εκκινήσεως και κρατήσεως του πιεζοστάτη χαμηλής πίεσης. Έτσι, με την παρακολούθηση της διαφοράς της πίεσης λαδιού και της πίεσης αναρροφήσεως, ελέγχεται η σωστή λειτουργία της αντλίας λαδιού. Η μείωση της διαφοράς σημαίνει μη ικανοποιητική απόδοση του συστήματος λιπάνσεως και μπορεί να οφείλεται σε χαλασμένη αντλία λαδιού ή σε μειωμένη ποσότητα λαδιού στην ελαστολεκάνη. Η πίεση του λαδιού λιπάνσεως και η πίεση αναρροφήσεως μεταδίδονται σε δύο αντίθετα τοποθετημένους πυκνωτούς σωλήνες (φυσούνες). Η μία φυσούνα συνδέεται με την πίεση του λαδιού του συμπιεστή και η άλλη με την πίεση αναρροφήσεως του ψυκτικού μέσου. Αν η πίεση του λαδιού λιπάνσεως για κάποιο λόγο πέσει, η διαφορά των πιέσεων θα μειωθεί και ο διαφορικός πιεζοστάτης θα σταματήσει το συμπιεστή, ώστε να μην καταστραφεί. Η διαφορά πιέσεως, για την οποία ενεργοποιείται ο διαφορικός πιεζοστάτης και η διαφορική πίεση μπορεί να είναι σταθερές ή ρυθμιζόμενες, ανάλογα με τον τύπο του πιεζοστάτη.

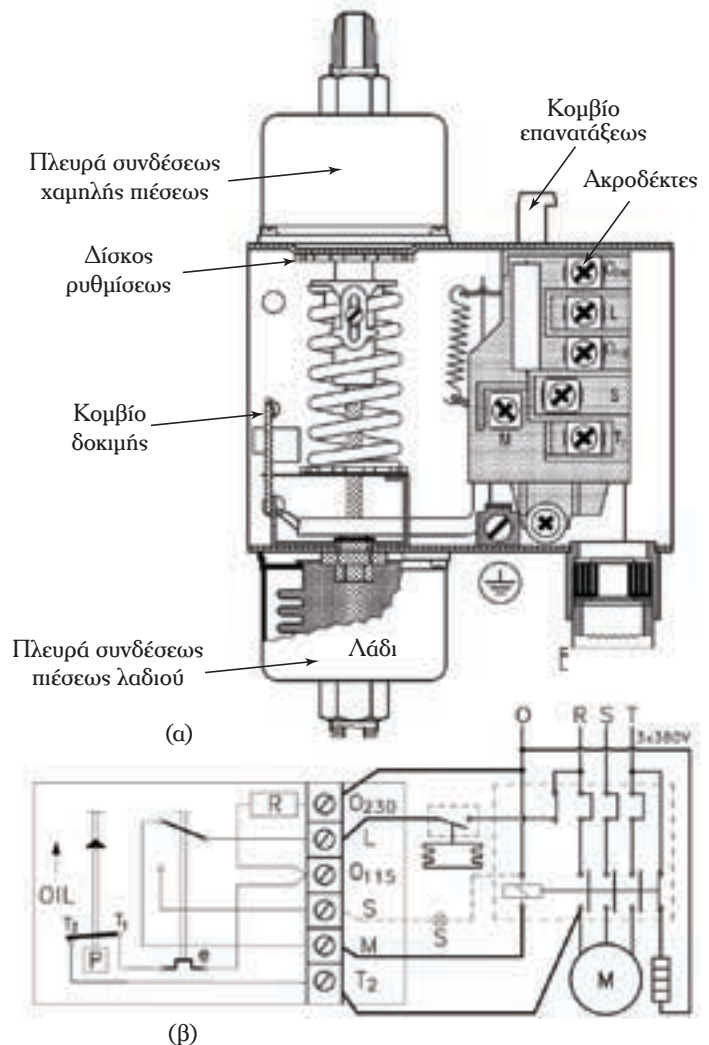
Ο πιεζοστάτης έχει διάταξη χρονοκαθυστερήσεως, συνήθως κατά 45 sec, ώστε να μην ενεργοποιείται κατά την εκκίνηση του συμπιεστή, όταν δεν έχει ακόμα ανέβει η πίεση του λαδιού. Λόγω του συστήματος χρονοκαθυστερήσεως, όταν η διαφορά των πιέσεων λαδιού και αναρροφήσεως αυξηθεί κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συμπιεστή, πάνω από το

όριο ενεργοποιήσεως του διαφορικού πιεζοστάτη, αυτός δεν θα ενεργοποιηθεί πριν την παρέλευση του χρονικού διαστήματος των 45 sec. Ο διαφορικός πιεζοστάτης απενεργοποιείται όταν η διαφορά της υψηλής και της χαμηλής πίεσης ισουται με την πίεση ενεργοποιήσεώς του συν τη διαφορική. Επίσης υπάρχει **διακόπτης χειροκίνητης επανατάξεως** (reset button), ο οποίος πρέπει να πατηθεί, προκειμένου να τεθεί ο συμπιεστής σε λειτουργία μετά από κράτησή του.

Ένας διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού φαίνεται στο σχήμα 9.12ιζ(α), ενώ στο σχήμα 9.12ιζ(β), φαίνεται το ηλεκτρολογικό του κύκλωμα.

9.13 Διακόπτης με πλωτήρα.

Ο διακόπτης με πλωτήρα χρησιμοποιείται για



Σχ. 9.12ιζ.

(α) Διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού,
(β) ηλεκτρολογικό κύκλωμα πιεζοστάτη λαδιού.

έλεγχο της στάθμης του υγρού ψυκτικού μέσου στο συλλέκτη για τον έλεγχο της ροής του ψυκτικού μέσου σε *υγρούς ψύκτες υγρών* (flooded liquid chillers) και για έλεγχο λειτουργίας της αντλίας του ψυκτικού μέσου, αν υπάρχει τέτοια στην ψυκτική εγκατάσταση. Επίσης, χρησιμοποιείται ως διάταξη ασφαλείας για την επισήμανση υψηλής ή χαμηλής στάθμης υγρού ψυκτικού μέσου.

Η λειτουργία του διακόπτη βασίζεται στην ανύψωση ενός πλωτήρα που μετακινεί ένα βάκτρο, το οποίο έχει διάταξη στεγανότητας, ώστε να μην υπάρχει διαρροή του ψυκτικού μέσου. Με τη μετακίνηση του βακτρού κινούνται οι ηλεκτρικές επαφές, οι οποίες είναι ξηρού τύπου ή υδραργυρικές και ανοίγει ή κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι ηλεκτρικές επαφές τοποθετούνται σ' ένα διάφανο κέλυφος, ώστε να μπορεί να διαπιστωθεί η κατάσταση και η λειτουργία τους.

Στο σχήμα 9.13α φαίνεται ένας διακόπτης με πλωτήρα, ο οποίος έχει μέγιστη πίεση λειτουργίας 28 bar και είναι κατάλληλος για όλα τα μη εκρηκτικά ψυκτικά μέσα. Οι ηλεκτρικές επαφές είναι μηχανικού τύπου και η μέγιστη ένταση ρεύματος είναι 10 A/220 V. Όταν η στάθμη ανέβει ο πλωτήρας (1) σπρώχνει προς τα πάνω το βάκτρο, το οποίο ανοίγει ή κλείνει τις ηλεκτρικές επαφές. Η διαφορική στάθμη ρυθμίζεται πριν τη συναρμολόγηση του διακόπτη με το δακτύλιο (12). Το περιθώριο ρυθμίσεως της διαφορικής στάθμης είναι από 12,5 – 50 mm, σε βήματα των 12,5 mm.

Στο σχήμα 9.13β φαίνεται ένας άλλος τύπος διακόπτη με πλωτήρα. Με μέγιστη πίεση λειτουργίας 40

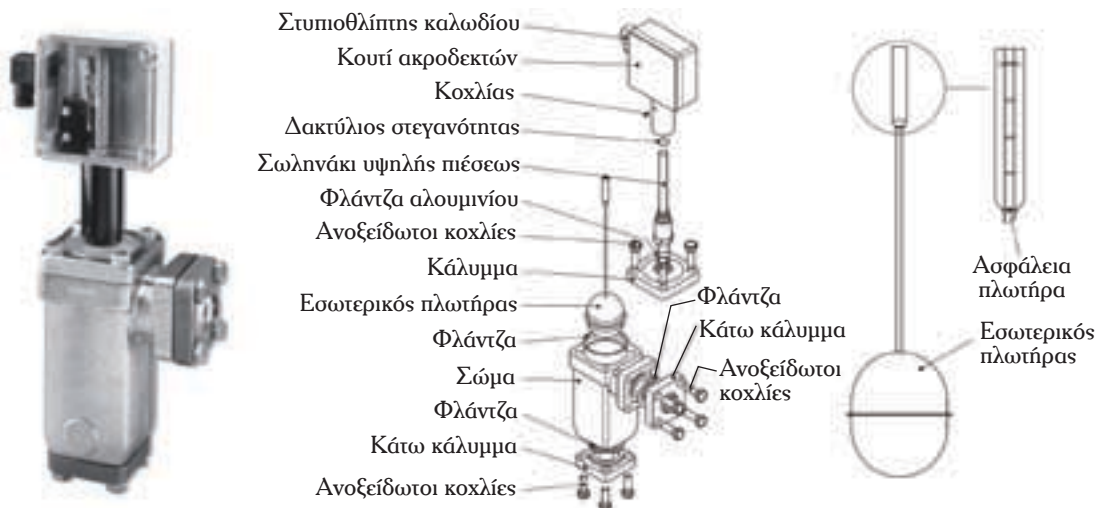
bar και μέγιστη ένταση ρεύματος 10 A/120–240 V.

Το υγρό εισέρχεται απ' την κάτω πλευρά. Στην άνω και στην κάτω πλευρά υπάρχουν ελατήρια προστασίας του πλωτήρα στην περίπτωση απότομης μεταβολής της στάθμης. Η κίνηση του πλωτήρα μεταδίδεται στο βάκτρο, το οποίο μετακινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στο μαγνητικό πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη, ο οποίος έλκεται και μετακινεί την κινητή επαφή. Ο μαγνήτης υπάρχει για να γίνεται γρήγορα η μετακίνηση και να αποφεύγεται η δημιουργία σπινθήρων. Για την αποφυγή των σπινθήρων στο κέλυφος των επαφών υπάρχει πλήρωση με αδρανές αέριο. Η διαφορική στάθμη είναι προκαθορισμένη στα 50 mm και δεν ρυθμίζεται.

Στους διακόπτες με πλωτήρα η θέση του πλωτήρα μεταβάλλεται ανάλογα με την πυκνότητα του ψυκτικού μέσου. Το μέγιστο και το ελάχιστο ύψος του πλωτήρα, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο της εγκαταστάσεως αναγράφεται σε μία πινακίδα πάνω στο διακόπτη (σχ. 9.13γ). Η τοποθέτηση του διακόπτη γίνεται στην κορυφή μιας κατακόρυφης στήλης, έτσι ώστε το επιθυμητό ύψος του υγρού να συμπίπτει με το μέσο ύψος του πλωτήρα στην πινακίδα.

9.14 Βαλβίδα παρακάμψεως θερμού αερίου.

Οι *βαλβίδες παρακάμψεως θερμού αερίου* (hot gas bypass valves—HGBP) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής του θερμού αερίου που παρακάμπτει τη ροή από την κατάθλιψη του συμπιεστή προς το συμπυκνωτή. Η παράκαμψη θερμού αερίου γίνεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:



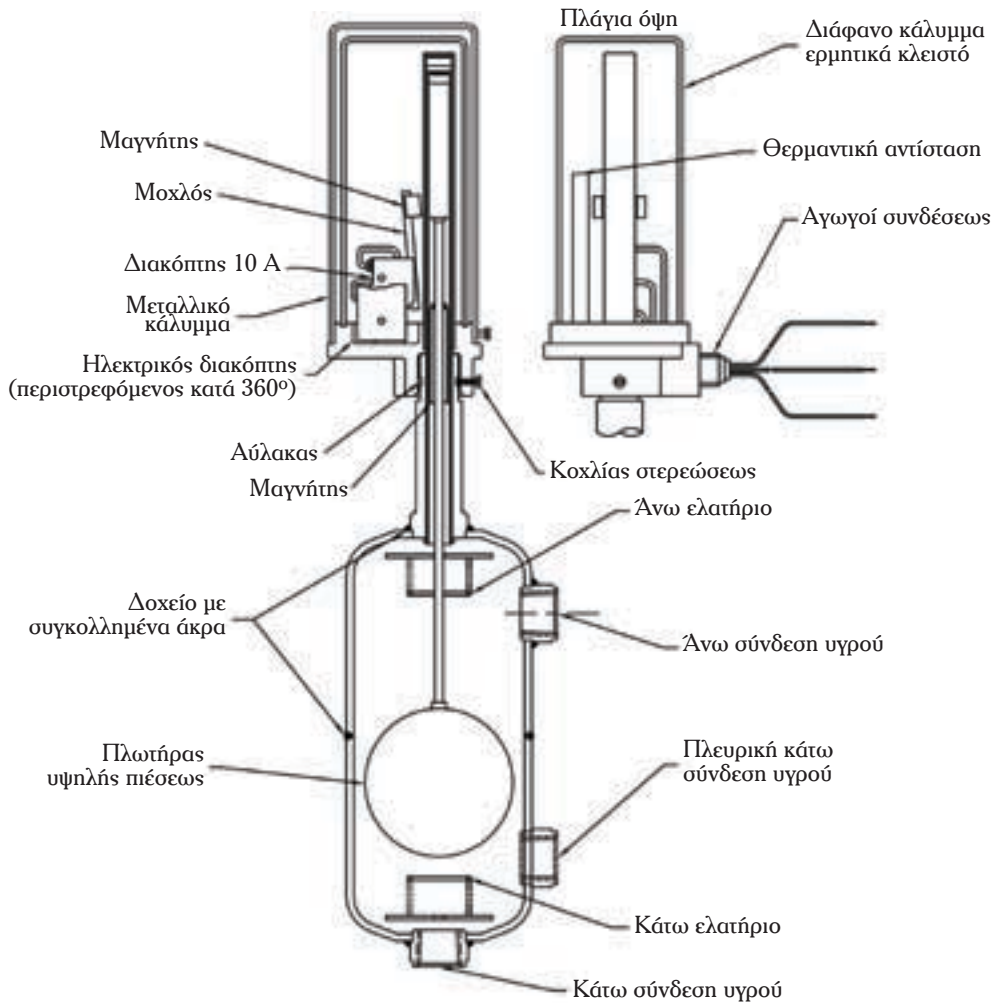
Σχ. 9.13α.

Διακόπτης με πλωτήρα.

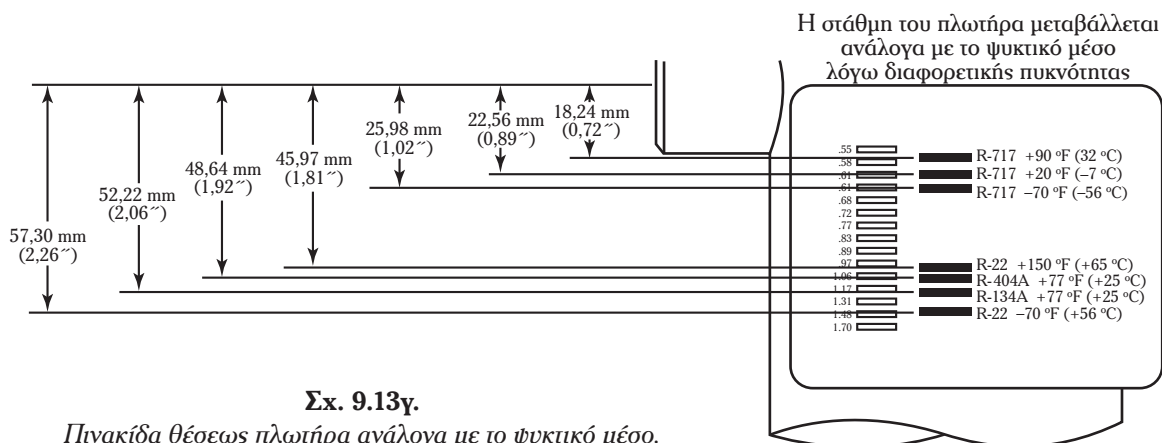
α) **Για τη ρύθμιση της ισχύος του συμπιεστή.**
 Η ρύθμιση με παρακάμψη θερμού αερίου είναι οικονομικά ασύμφορη, καθώς επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης και πραγματοποιείται όταν ο συμπιεστής δεν έχει άλλο τρόπο ρυθμίσε-

ως της αποδόσεώς του αντί της διακοπόμενης λειτουργίας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται βαλβίδες παρακάμψεως που ελέγχονται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.

β) **Για την αποχιόνωση του ατμοποιητή,** όπου



Σχ. 9.13β.
 Διακόπτης με πλωτήρα.



Σχ. 9.13γ.
 Πινακίδα θέσεως πλωτήρα ανάλογα με το ψυκτικό μέσο.

το θερμό αέριο από την κατάθλιψη μέσω μιας βαλβίδας παρακάμψεως οδηγείται στον ατμοποιητή. Εκεί τον θερμαίνει, έτσι ώστε να λιώσει ο πάγος που έχει σχηματιστεί στα περύγια. Η αποχιόνωση ενεργοποιείται με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που ελέγχουν τη ροή του ψυκτικού μέσου.

γ) **Για τη ρύθμιση της αποδόσεως του ατμοποιητή.** Το θερμό αέριο λαμβάνεται από την κατάθλιψη του συμπιεστή και μέσω μιας βαλβίδας παρακάμψεως οδηγείται στην είσοδο του ατμοποιητή, όπου αναμειγνύεται με το υγρό χαμηλής πίεσεως που βγαίνει από την εκτονωτική βαλβίδα. Μ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ενθαλπία του ψυκτικού μέσου στην είσοδο του ατμοποιητή. Δεδομένου ότι η υπερθέρμανση των ατμών στην έξοδο του ατμοποιητή είναι σταθερή λόγω της υπάρξεως της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας, η αύξηση της ενθαλπίας στην είσοδο, συνεπάγεται ελάττωση της ψυκτικής ισχύος. Μία διάταξη ρυθμίσεως της ψυκτικής ισχύος με παράκαμψη θερμού αερίου φαίνεται στο σχήμα 9.14α.

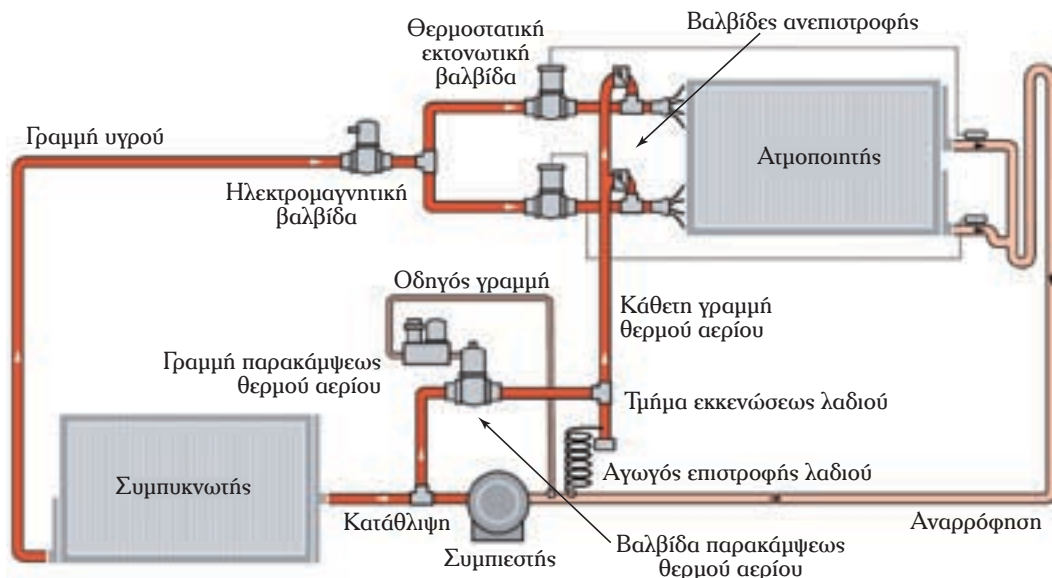
Με τις βαλβίδες παρακάμψεως θερμού αερίου μπορεί να επιτευχθεί ελάττωση της ψυκτικής ισχύος μέχρι το 10% της ονομαστικής. Οι βαλβίδες παρακάμψεως είναι πιεζοστατικές και κατασκευάζονται με εσωτερική ή με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσεως. Οι βαλβίδες παρακάμψεως με εσωτερική εξισορρόπηση διατηρούν σταθερή την πίεση στο σημείο εξόδου τους, ενώ οι βαλβίδες με εξωτερική εξισορρόπηση τοποθετούνται σε ατμοποιήτες με μεγάλη πώση πι-

έσεως και διατηρούν σταθερή την πίεση στο σημείο συνδέσεως του σωλήνα εξισορροπήσεως πίεσεως. Όταν η πίεση ατμοποιήσεως πέσει, η βαλβίδα παρακάμψεως ανοίγει και τροφοδοτεί τον ατμοποιητή με αέριο. Η πίεση ατμοποιήσεως αυξάνεται, ενώ η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα δίνει τη ροή του υγρού που απαιτείται για την ψύξη του θερμού αερίου και για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως στην έξοδο του ατμοποιητή. Για την κράτηση του **συμπιεστή σε κύκλο κενού** (rump down cycle) πριν τη βαλβίδα παρακάμψεως τοποθετείται μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που ελέγχεται από το θερμοστάτη του ψυκτικού θαλάμου.

Στο σχήμα 9.14β εικονίζεται μια βαλβίδα παρακάμψεως θερμού αερίου με εσωτερική εξισορρόπηση πίεσεων. Ο βολβός χρησιμοποιείται για αποθήκευση του αερίου πληρώσεως, το οποίο επενεργεί στη μια πλευρά του διαφράγματος και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, πρέπει να τοποθετείται σ' ένα κώρο με σταθερή θερμοκρασία, συνήθως στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η ρύθμιση της πίεσεως ατμοποιήσεως γίνεται με τη βίδα που βρίσκεται στο πλάι και μεταβάλλει την ένταση του ελατηρίου.

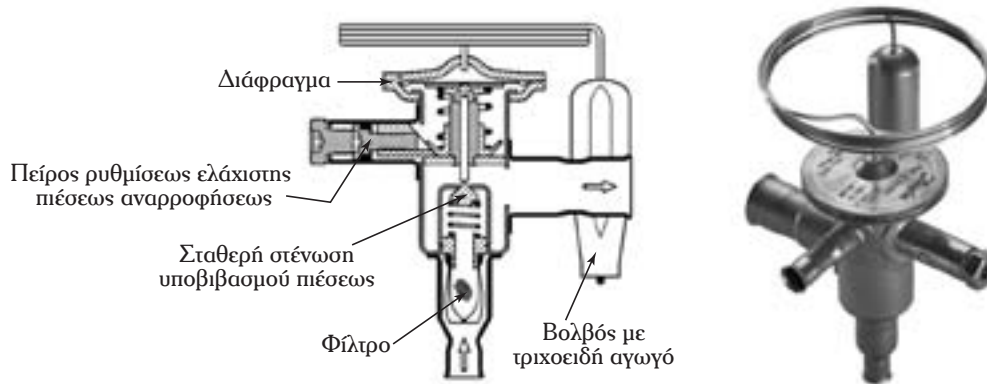
Στο σχήμα 9.14γ παρουσιάζεται μία βαλβίδα παρακάμψεως με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσεων. Στη βαλβίδα υπάρχει ενσωματωμένη μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και η πίεση ρυθμίζεται με τον κοχλία στην κορυφή.

Σε μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπου απαι-



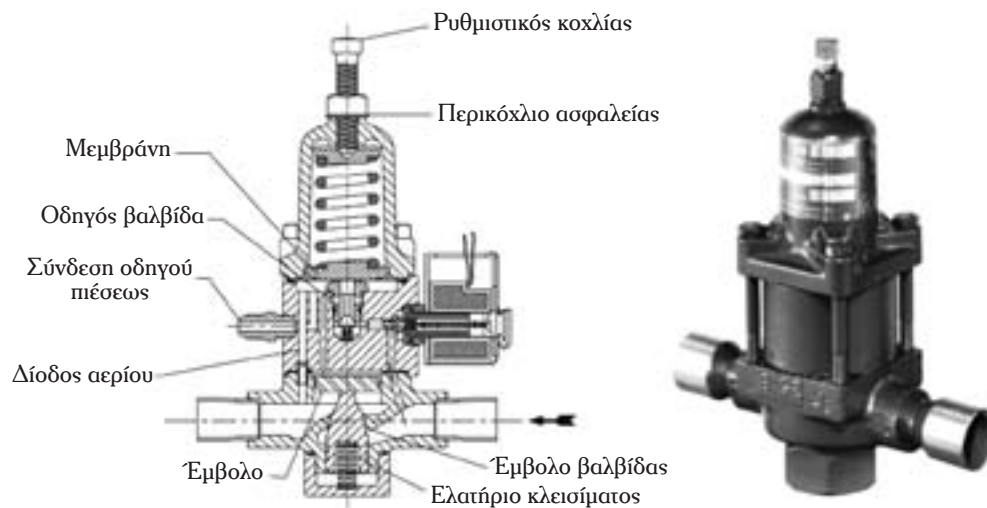
Σχ. 9.14α.

Διάταξη ρυθμίσεως ψυκτικής ισχύος με βαλβίδα παρακάμψεως θερμού αερίου.



Σχ. 9.14β.

Βαλβίδα παρακάμφσεως θερμού αερίου με εσωτερική εξισορρόπηση πίεσης.



Σχ. 9.14γ.

Βαλβίδα παρακάμφσεως θερμού αερίου με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσης.

τούνται μεγάλες παροχές θερμού αερίου χρησιμοποιούνται βαλβίδες παρακάμφσεως ελεγχόμενες από βαλβίδα-πiloto (σχ. 9.14δ).

9.15 Ρυθμιστής πίεσης ατμοποιήσεως.

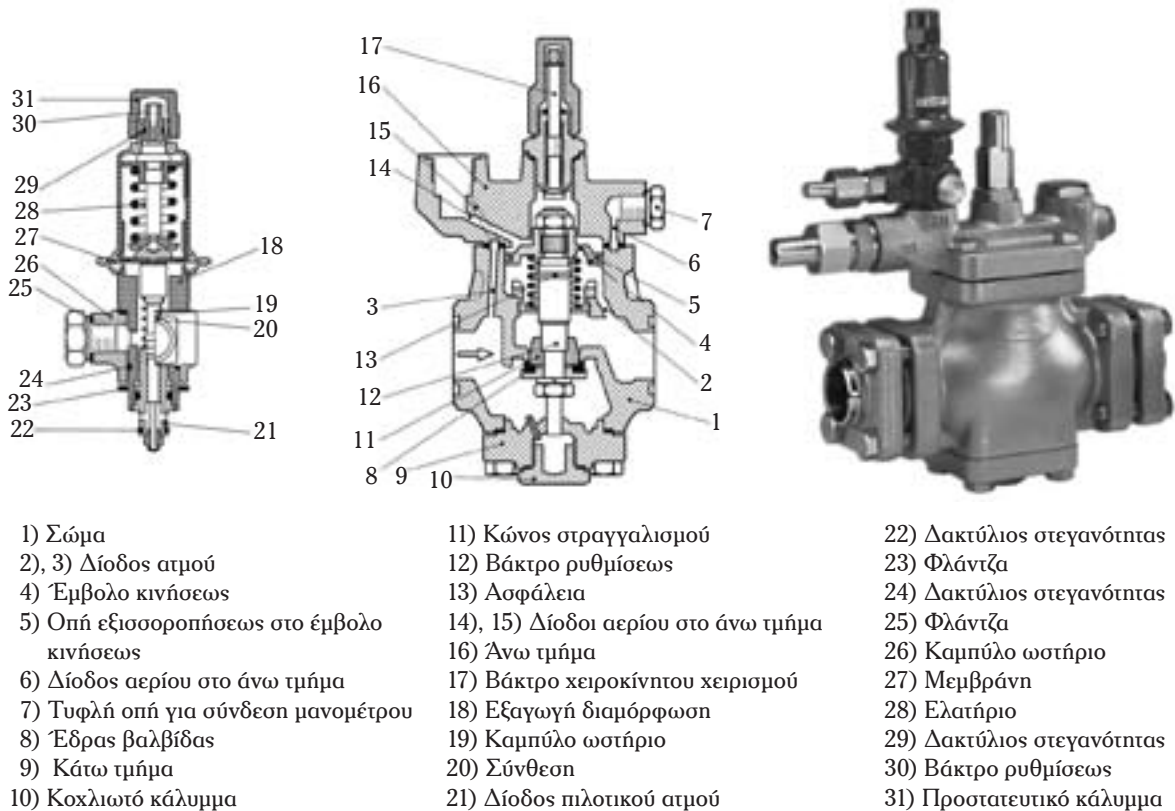
Οι ρυθμιστές πίεσης ατμοποιήσεως χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση σταθερής πίεσης και κατά συνέπεια σταθερής θερμοκρασίας ατμοποιήσεως. Σε ψυκτικές εγκαταστάσεις με περισσότερους από έναν ατμοποιήτες που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποιήσεως τοποθετούνται στη γραμμή αναρροφήσεως μετά από όλους τους ατμοποιήτες, οι οποίοι δεν έχουν τη χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Επίσης, οι ρυθμιστές πίεσης ατμοποιήσεως τοποθετούνται σε εγκαταστάσεις όπου είναι πιθανή η αύξηση της πίεσης ατμοποιήσεως,

η οποία αυξάνει το ρεύμα εκκινήσεως και προκαλεί υπερφόρτωση του συμπιεστή. Μία ακόμα εφαρμογή τους είναι σε ατμοποιήτες ψύξεως υγρών, όπου τοποθετούνται προκειμένου να διατηρούν την πίεση και τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως υψηλότερες από τη θερμοκρασία τήξεως του υγρού που ψύχεται, ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός πάγου.

Ο ρυθμιστής πίεσης ατμοποιήσεως είναι ένας πιεζοστατικός μηχανισμός που περιορίζει την ελάχιστη πίεση ατμοποιήσεως. Υπάρχουν δύο τύποι ρυθμιστών πίεσης ατμοποιήσεως:

α) Οι ρυθμιστές πίεσης ατμοποιήσεως που λειτουργούν με **στραγγαλισμό** (throttling type). Αυτοί περιορίζουν τη ροή του ψυκτικού μέσου όταν πέσει η πίεση στην είσοδό τους, μέχρι η πίεση να ανέβει και να πάρει την επιθυμητή τιμή.

β) Οι ρυθμιστές πίεσης ατμοποιήσεως που έχουν



- | | | |
|--|--------------------------------------|----------------------------|
| 1) Σώμα | 11) Κώνος στραγγαλισμού | 22) Δακτύλιος στεγανότητας |
| 2), 3) Δίοδος ατμού | 12) Βάκτρο ρυθμίσεως | 23) Φλάντζα |
| 4) Έμβολο κινήσεως | 13) Ασφάλεια | 24) Δακτύλιος στεγανότητας |
| 5) Οπή εξισοροπήσεως στο έμβολο κινήσεως | 14), 15) Δίοδοι αερίου στο άνω τμήμα | 25) Φλάντζα |
| 6) Δίοδος αερίου στο άνω τμήμα | 16) Άνω τμήμα | 26) Καμπύλο ωστήριο |
| 7) Τυφλή οπή για σύνδεση μανομέτρου | 17) Βάκτρο χειροκίνητου χειρισμού | 27) Μembrάνη |
| 8) Έδρας βαλβίδας | 18) Εξαγωγή διαμόρφωση | 28) Ελατήριο |
| 9) Κάτω τμήμα | 19) Καμπύλο ωστήριο | 29) Δακτύλιος στεγανότητας |
| 10) Κοκλιωτό κάλυμμα | 20) Σύνθεση | 30) Βάκτρο ρυθμίσεως |
| | 21) Δίοδος πιλοτικού ατμού | 31) Προστατευτικό κάλυμμα |

Σχ. 9.14δ.

Βαλβίδα παρακάμφεως θερμού αερίου ελεγχόμενη από βαλβίδα-πιλότο.

δύο θέσεις και είναι **ανοικτοί** ή **κλειστοί** (fully open or fully closed), οι οποίοι ανοίγουν ή κλείνουν τελείως ανάλογα με την πίεση ατμοποίησης.

Μια εγκατάσταση καταψύξεως-συντηρήσεως τροφίμων με τρεις ατμοποιήτες φαίνεται στο σχήμα 9.15α. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει σύστημα αποχιονώσεως με παράκαμψη θερμού αερίου, το οποίο τοποθετείται στους ατμοποιήτες που έχουν θερμοκρασία ατμοποίησης μικρότερη από τη θερμοκρασία σχηματισμού πάγου. Η αποχιόνωση στους ατμοποιήτες γίνεται με τη σειρά, οπότε το υγρό ψυκτικό μέσο που σχηματίζεται σ' αυτούς οδηγείται στην σωλήνωση υγρού και στη συνέχεια στους άλλους ατμοποιήτες, οι οποίοι εργάζονται σε φάση ψύξεως του θαλάμου. Οι βαλβίδες ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποίησης τοποθετούνται σε όλους τους ατμοποιήτες, ώστε, αφενός να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία ατμοποίησης, αφετέρου να περιορίζεται η πίεση αναρροφήσεως και το φορτίο του συμπιεστή μετά από έναν κύκλο αποχιονώσεως. Όταν τελειώνει η αποχιόνωση ενός ατμοποιητή, ενδεχομένως να υπάρχει σ' αυτόν συγκεντρωμένο υγρό ψυκτικό μέσο. Αυτό θα ατμοποιηθεί με την έναρξη της κανο-

νικής λειτουργίας, οπότε αυξάνεται απότομα η πίεση ατμοποίησης και η πίεση αναρροφήσεως. Η πίεση ατμοποίησης γι' αυτόν το λόγο ρυθμίζεται από μία βαλβίδα ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποίησης. Οι βαλβίδες ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποίησης, που τοποθετούνται στους ατμοποιήτες, στους οποίους γίνεται αποχιόνωση ελέγχονται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, ώστε κατά την αποχιόνωση να κλείνουν όταν ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική θερμού αερίου που είναι τοποθετημένη σε παράλληλη γραμμή.

Στο σχήμα 9.15β φαίνεται μία βαλβίδα ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποίησης, η οποία κατασκευάζεται για ψυκτική ισχύ 4,0–8,6 kW για R-22 και 2,8–6,1 kW για R-134a. Η πίεση στην είσοδο της βαλβίδας επενεργεί στον πτυχωτό σωλήνα, στον οποίο επενεργεί το ρυθμιστικό ελατήριο. Έτσι, η βαλβίδα ανοίγει όταν αυξηθεί η πίεση ατμοποίησης τόσο, ώστε να υπερνικήσει την πίεση από το ελατήριο, με αποτέλεσμα η πίεση στην είσοδό της να παραμένει σταθερή. Η λειτουργία της βαλβίδας δεν επηρεάζεται από την πίεση στην έξοδό της. Για την απόσβεση των κρούσεων που μπορεί να προ-

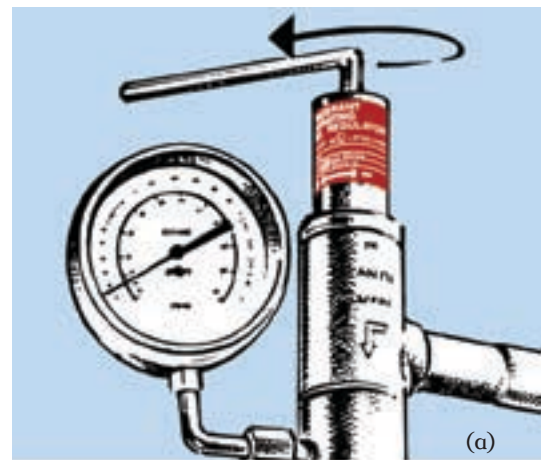


Σχ. 9.15β.

Βαλβίδα ρυθμίσεως πίεσεως ατμοποιήσεως.

κληθούν απ' τις απότομες μεταβολές της πίεσεως ατμοποιήσεως, υπάρχει ένας αποσβέστης κραδασμών, με τον οποίο επιμηκύνεται η ωφέλιμη ζωή της βαλβίδας. Η ρύθμιση της πίεσεως ατμοποιήσεως γίνεται με το ρυθμιστικό κοχλίο μ' ένα κλειδί αλεν με εσωτερικό εξάγωνο, με τη βοήθεια ενός μανόμετρου που συνδέεται σε μία υποδοχή στο κάτω μέρος της βαλβίδας [σχ. 9.15γ(α)]. Κατά τη ρύθμιση της βαλβίδας πρέπει να τίθεται εκτός λειτουργίας ο ανεμιστήρας του ατμοποιητή, ώστε να μειώνεται η πίεση ατμοποιήσεως. Οι βαλβίδες αυτές έχουν από το εργοστάσιο προρρυθμισμένα στα 2 bar ή στα 10 bar, ενώ η ρύθμισή τους μπορεί να γίνει και με τη μέτρηση της αποστάσεως του ελατηρίου από το κάλυμμα. Στον πίνακα του σχήματος 9.15γ(β) παρουσιάζεται η μέτρηση της αποστάσεως του κοχλίου από το κάλυμμα, ενώ φαίνεται, ανάλογα με τον τύπο της βαλβίδας, η εργοστασιακή ρύθμιση της πίεσεως ατμοποιήσεως, η αρχική απόσταση και η μεταβολή της πίεσεως ανά περιστροφή του κοχλίου.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπου υπάρχουν πολλοί ατμοποιητές οι οποίοι έχουν την ίδια θερμοκρασία ατμοποιήσεως, τοποθετείται μια βαλβίδα ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποιήσεως, η οποία ελέγχεται από βαλβίδα-πilotό, ώστε να έχει μεγαλύτερη παροχή αερίου. Μία τέτοια βαλβίδα φαίνεται στο σχήμα 9.15δ. Η βαλβίδα αυτή είναι κανονικά ανοικτή και κλείνει όταν ενεργοποιείται από τη διαφορά των πιέσεων, όταν η πίεση στην έξοδο γίνει μικρότερη από την πίεση στην είσοδό της. Η πίεση ατμοποιήσεως p_e μεταδίδεται στην κάτω πλευρά του διαφράγματος και εξισορροπείται με τη διαφορά των πιέσεων του σταθερού ελατηρίου p_3 και του ρυθμιστικού ελα-



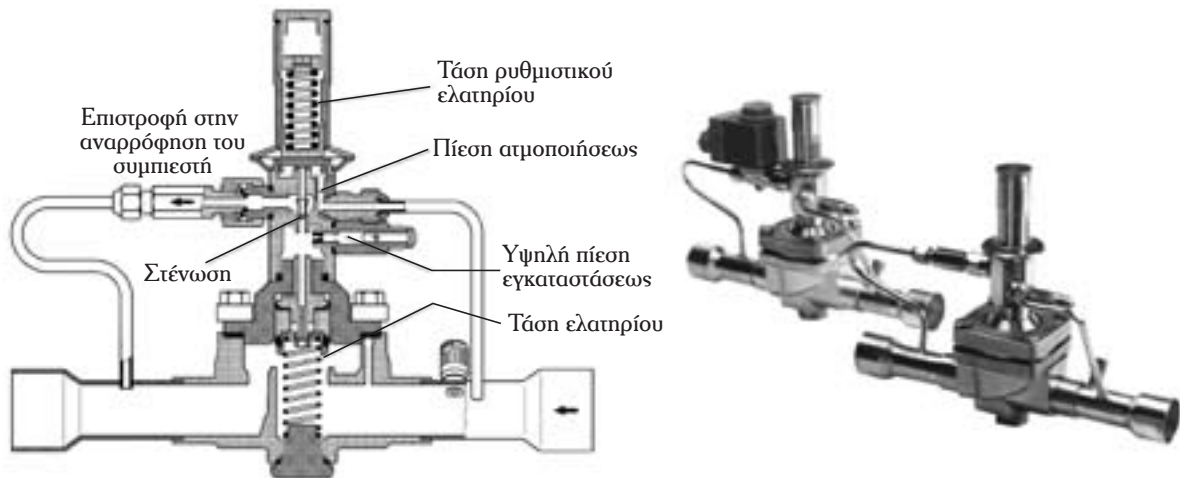
(α)

Τύπος	Εργοστασιακή ρύθμιση	Μήκος X	bar/περιστροφή
KVP 12 - 15 - 22	2	13	0,45
KVP 28 - 35	2	19	0,30
KVL 12 - 15 - 22	2	22	0,45
KVL 28 - 35	2	32	0,30
KVR 12 - 15 - 22	10	13	2,5
KVR 28 - 35	10	15	1,5
KVD 12 - 15	10	21	2,5
KVD 12 - 15 - 22	2	13	0,45

(β)

Σχ. 9.15γ.

Ρύθμιση πίεσεως ατμοποιήσεως: (α) Με μανόμετρο, (β) με παχύμετρο.



Σχ. 9.156.

Βαλβίδα ρυθμίσεως πίεσης ατμοποίησης ελεγχόμενη από βαλβίδα-πυλίο.

τηρίου p_1 . Με τη ρύθμιση της πίεσης p_1 του ρυθμιστικού ελατηρίου μπορεί να καθοριστεί η πίεση ατμοποίησης. Όταν πέσει η πίεση ατμοποίησης, η στένωση Α κλείνει λόγω της μετακινήσεως του διαφράγματος. Η πίεση p_c από την πλευρά του συμπιεστή είναι υψηλότερη και μεταδίδεται στην πάνω πλευρά της εμβολοβαλβίδας, οπότε αυτή κλείνει.

9.16 Ρυθμιστής πίεσης στροφαλοθαλάμου.

Κατά την επανεκκίνηση της λειτουργίας της ψυκτικής εγκαταστάσεως μετά από έναν κύκλο αποκλιώσεως με θερμό αέριο, μπορεί να προκληθεί αύξηση της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο του συμπιεστή. Λόγω της αυξήσεως της πίεσης μπορεί να προκληθεί υπερφόρτιση και αύξηση του ρεύματος εκκινήσεως. Επίσης, σε ακραίες περιπτώσεις προκαλείται βλάβη στον ηλεκτρικό κινητήρα, λόγω της μεγάλης εντάσεως του ρεύματος. Για να αποφευχθεί το παραπάνω πρόβλημα, μπορεί ο συμπιεστής να εκκινήσει σε μειωμένο φορτίο, όταν έχει σύστημα αποφορτίσεως των κυλίνδρων. Σε ερμητικούς και ημιερμητικούς συμπιεστές, όταν δεν αποφορτίζονται οι κύλινδροι, χρησιμοποιείται μια **βαλβίδα ρυθμίσεως της πίεσης του στροφαλοθαλάμου** (crankcase pressure regulator).

Η βαλβίδα αυτή τοποθετείται στην αναρρόφηση του συμπιεστή και κλείνει την παροχή του αερίου όταν η πίεση ανέβει πάνω από την πίεση ρυθμίσεως. Μ' αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η πίεση αναρροφήσεως κάτω από ένα όριο.

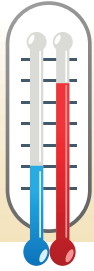
Στο σχήμα 9.16 φαίνεται μία βαλβίδα, στην

οποία η πίεση του στροφαλοθαλάμου επενεργεί στον πτυχωτό σωλήνα και εξισορροπείται από την πίεση του ελατηρίου. Όταν η πίεση του στροφαλοθαλάμου γίνει μεγαλύτερη απ' την πίεση του ελατηρίου, ο πτυχωτός σωλήνας μετακινεί το στέλεχος προς τα πάνω και η βαλβίδα κλείνει την παροχή του ατμού από τον ατμοποιητή προς το συμπιεστή. Όταν η πίεση αναρροφήσεως πέσει, ο πτυχωτός σωλήνας μετακινείται προς τα κάτω και η βαλβίδα ανοίγει. Για την απόσβεση των κρούσεων που προκαλούνται από απότομες μεταβολές της πίεσης του στροφαλοθαλάμου, υπάρχει το ελατήριο αποσβέσεως στην κάτω πλευρά του στελέχους. Η εργοστασιακή ρύθμιση της πίεσης είναι 29 psig, ενώ μεταβάλλοντας την τάση του ελατηρίου από το ρυθμιστικό κοχλίας, η πίεση του στροφαλοθαλάμου μπορεί να ρυθμιστεί από 3 έως 85 psig.



Σχ. 9.16.

Βαλβίδα ρυθμίσεως πίεσης στροφαλοθαλάμου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Λειτουργία – Συντήρηση – Βλάβες ψυκτικών εγκαταστάσεων

10.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι μέθοδοι και οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τη συντήρηση των ψυκτικών εγκαταστάσεων, καθώς επίσης οι βλάβες που εμφανίζονται συνήθως, τα συμπτώματα και η διάγνυσή τους και τέλος η μέθοδος αποκατάστασής τους.

Για την κατανόηση των διαδικασιών που περιγράφονται σ' αυτό το κεφάλαιο, είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί μελέτη της δομής και της λειτουργίας των επί μέρους συστημάτων, από τα οποία αποτελείται η ψυκτική εγκατάσταση. Επίσης, πρέπει να έχει γίνει κατανοητή η λειτουργία των αυτοματισμών που εμπλέκονται στη λειτουργία και στην ασφάλεια της εγκατάστασής τους.

Η βλαβερή επίδραση των ψυκτικών μέσων στην ατμόσφαιρα έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 4. Ανακεφαλαιώνοντας, τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις οικογένειες: τα CFCs, τα HCFCs και τα HFCs. Οι δύο πρώτες βλάπτουν την εξωτερική στοιβάδα όζοντος της ατμόσφαιρας που φιλτράρει τις υπεριώδεις ακτινοβολίες, ενώ αποτελούν και αέρια θερμοκηπίου. Τα ψυκτικά μέσα της τρίτης οικογένειας αποτελούν μόνο αέρια θερμοκηπίου. Η διαφυγή των ψυκτικών μέσων και των τριών κατηγοριών απαγορεύεται, σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία και το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Η απώλεια του ψυκτικού μέσου δικαιολογείται μόνο σε περίπτωση βλάβης, όταν έχουν γίνει οι απαραίτητες ενέργειες για την ανάκτηση, σε διαδικασίες συντηρήσεως και όπου δεν είναι δυνατόν να αποφευχθεί μία μικρή απώλεια (π.χ. απαερίωση).

Η εμπειρία έχει δείξει ότι τα περισσότερα προβλήματα στις ψυκτικές και στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις των πλοίων σχετίζονται με την έλλειψη ψυκτικού μέσου που προκαλείται από μία διαρροή. Επίσης, σημαντικός είναι ο καθαρισμός του συμπυκνωτή με χημικά ή με μηχανικά μέσα, ώστε να μένει η πίεση συμπυκνώσεως χαμηλή. Σημαντική για τη

λειτουργία των ψυκτών αέρα σε ψυκτικές εγκαταστάσεις όπου η θερμοκρασία του θαλάμου είναι μικρότερη από 5 °C, είναι η αποχιόνωση του ατμοποιητή και η απομάκρυνση του πάγου που σχηματίζεται στα περύγιά του. Επίσης, σε εγκαταστάσεις κλιματισμού είναι σημαντικός ο καθαρισμός των φίλτρων αέρα.

Οι περισσότερες απ' τις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω έχουν ως σκοπό τη βελτιστοποίηση της αποδόσεως της εγκατάστασής και τον περιορισμό της απώλειας του ψυκτικού μέσου στο περιβάλλον από τα πλοία που προβλέπονται το Προσάρτημα VI της ΔΣ MARPOL και από τους κανονισμούς των Νπογωνμόνων.

Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου περιγράφονται:

α) Γενικές αρχές συντηρήσεως ψυκτικών εγκαταστάσεων.

β) Επιθεώρηση και συντήρηση συμπιεστή. Συμπλήρωση με λάδι. Ευθυγράμμιση συνδέσμου κινητήρα.

γ) Ανίχνευση διαρροών ψυκτικού μέσου.

δ) Εργαλεία ψυκτικού.

ε) Αποθήκευση ψυκτικού μέσου.

στ) Εκκένωση της εγκατάστασής – Ανάκτηση ψυκτικού μέσου.

ζ) Εκκένωση του ατμοποιητή και της γραμμής υγρού.

η) Καθαρισμός της εγκατάστασής.

θ) Δημιουργία κενού – Αφύγρανση της εγκατάστασής.

ι) Πλήρωση με ψυκτικό μέσο.

ια) Έλεγχος για ύπαρξη αέρα στο συμπυκνωτή – απαερίωση

ιβ) Αντικατάσταση ψυκτικών μέσων.

ιγ) Διάγνωση και αποκατάσταση βλαβών ψυκτικών εγκαταστάσεων.

ιδ) Ρύθμιση θερμοστατικής βαλβίδας, βλάβες και αποκατάσταση.

Κατά την εργασία με αλογονούχα ψυκτικά μέσα, αν και δεν είναι τοξικά, πρέπει να λαμβάνονται τα

εξής μέτρα προφυλάξεως:

α) Απαιτείται καλός αερισμός του χώρου, δεδομένου ότι τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα είναι αέρια βαρύτερα από τον αέρα. Έτσι, σε κλειστό χώρο αντικαθιστούν τον αέρα και τον κάνουν φτωχό σε οξυγόνο. Όταν το ψυκτικό μέσο είναι η αμμωνία, κατά τη διάρκεια της εργασίας πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στον εξοπλισμό που διαθέτει ο τεχνίτης και αναπνευστική συσκευή.

β) Δεν πρέπει να εισέρχεται κάποιος μόνος του σε χώρο που δεν αερίζεται επαρκώς. Ένα δεύτερο άτομο πρέπει πάντα να βρίσκεται στην είσοδο του χώρου και να επιτηρεί την καλή φυσική κατάσταση του εργαζόμενου ατόμου.

γ) Είναι απαραίτητη η χρήση γαντιών, γυαλιών και ολόσωμης φόρμας για την αποφυγή άμεσης επαφής με το δέρμα και τα μάτια. Η πολύ χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν γίνονται εργασίες συμπλήρωσης και αφαιρέσεως ψυκτικού μέσου.

δ) Απαιτείται προσοχή, ώστε να μην γεμίζει παραπάνω από την κανονική στάθμη του ο κύλινδρος του ψυκτικού μέσου.

ε) Οι κύλινδροι του ψυκτικού μέσου δεν πρέπει να θερμαίνονται με φλόγα ή να εκτίθενται στον ήλιο.

στ) Πρέπει να αποφεύγεται η εκκένωση της εγκαταστάσεως κοντά σε συσκευές που λειτουργούν με ανοικτή φλόγα ή έχουν θερμές ηλεκτρικές αντιστάσεις.

ζ) Πρέπει να αποφεύγεται η άμεση επαφή με το χρησιμοποιημένο λάδι των συμπιεστών. Αυτό μπορεί να είναι πολύ τοξικό και καρκινογόνο.

η) Πρέπει πάντα να είστε σίγουροι για το είδος του ψυκτικού μέσου της εγκαταστάσεως και γι' αυτό που συμπληρώνετε.

10.2 Γενικές αρχές συντηρήσεως ψυκτικών εγκαταστάσεων.

Η προγραμματισμένη συντήρηση μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως έχει ως σκοπό τη διατήρησή της σε καλή κατάσταση. Γι' αυτόν το λόγο τηρούνται διαδικασίες επιθεωρήσεως και ελέγχου, που προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή της εγκαταστάσεως και την κλάση του πλοίου. Ενδεικτικά ένα πρόγραμμα επιθεωρήσεως και συντηρήσεως περιλαμβάνει εργασίες όπως οι ακόλουθες:

α) Κάθε 4-ωρη βάρδια:

– Καταγραφή των θερμοκρασιών και πιέσεων

λειτουργίας σ' ένα μπρώ που περιλαμβάνει: την ώρα του ελέγχου, τη θερμοκρασία του ψυχοστασίου, τις πιέσεις και θερμοκρασίες αναρροφήσεως και καταθλίψεως, την πίεση λαδιού, τη στάθμη λαδιού, τη θερμοκρασία του στροφαλοθαλάμου, τη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού συμπυκνώσεως, τη θερμοκρασία του υγρού ψυκτικού μέσου, την ύπαρξη φυσαλλίδων στον ενδείκτη ροής και τέλος τη θερμοκρασία των ψυκτικών θαλάμων.

– Έλεγχος κινητήρων για υπερθέρμανση.

β) Κάθε ημέρα:

– Συγκριτικός έλεγχος μπρώου λειτουργίας της εγκαταστάσεως.

– Έλεγχος στάθμης ψυκτικού μέσου. Η συνεχής πτώση δηλώνει σημεία διαρροής που πρέπει να επισκευαστούν.

– Έλεγχος καταστάσεως αφυγραντήρα.

γ) Κάθε εβδομάδα:

– Έλεγχος για διαρροές ψυκτικού μέσου.

– Έλεγχος για ύπαρξη αέρα στο συμπυκνωτή.

– Έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων.

δ) Κάθε μήνα:

– Λίπανση εδράνων κινητήρων.

– Απομάκρυνση σκόνης από κινητήρες.

– Έλεγχος και καθαρισμός ηλεκτρικών επαφών στους θερμοστάτες και πιεζοστάτες.

– Καθαρισμός φίλτρων νερού συμπυκνώσεως.

– Έλεγχος ανοδίων συμπυκνωτή και αντικατάστασή τους αν απαιτείται.

– Έλεγχος πυκνότητας άλμης (για εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως).

ε) Κάθε τρεις μήνες:

– Καθαρισμός αυλών συμπυκνωτή.

– Έλεγχος πυκνωτών εκκινήσεως ηλεκτρικών κινητήρων.

– Καθαρισμός φίλτρων υγρού ψυκτικού μέσου.

– Έλεγχος ευθυγραμμίσεως άξονα και κινητήρα συμπιεστή.

– Σύσφιξη όλων των κοχλιών συγκρατήσεως του εξοπλισμού.

στ) Κάθε χρόνο:

– Έλεγχος κλίμακας θερμοστατών και πιεζοστατών.

– Έλεγχος υπάρξεως αναλωσίμων υλικών.

10.3 Επιθεώρηση και συντήρηση συμπιεστή.

Για την απρόσκοπτη λειτουργία του συμπιεστή είναι σημαντικό να τηρούνται οι διαδικασίες συντηρήσεως στα προβλεπόμενα χρονικά διαστήματα που ορίζει ο κατασκευαστής του. Σε γενικά πλαίσια, τα ακόλουθα σημεία απαιτούν περιοδική επιθεώρηση και συντήρηση:

α) **Εμβολοφόροι συμπιεστές:**

- Βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως.
- Κουζινέτα πείρων εμβόλων.
- Έμβολα, ελατήρια, χιτώνια.

β) **Ελικοειδείς συμπιεστές:**

- Κατάσταση αρσενικού και θηλυκού στροφείου.

γ) **Φυγοκεντρικοί συμπιεστές:**

- Κατάσταση λαβύρινθου στεγανοποίησης άξονα.
- Κατάσταση στροφείων.

δ) Για **όλους τους τύπους συμπιεστών:**

- Φίλτρο αναρροφήσεως.
- Αντλία λαδιού, φίλτρο λαδιού, ρυθμιστής πίεσεως λαδιού, έλεγχος ποιότητας λαδιού.
- Ψυγείο λαδιού.
- Σύνδεσμος με κινητήρα, ιμάντες ή οδοντωτοί τροχοί.
- Πιεζοστατικοί διακόπτες και θερμοστάτες.
- Κατάσταση εδράνων.
- Στεγανοποίηση άξονα.
- Ηλεκτρικός θερμαντήρας λαδιού και ηλεκτρικά εξαρτήματα ελέγχου του.

Η πίεση καταθλίψεως πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Αυτό πραγματοποιείται με τον τακτικό καθαρισμό των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας στο συμπυκνωτή και με τακτική απαέρωση. Επίσης, για τη βέλτιστη λειτουργία του συμπιεστή οι βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως πρέπει να μην έχουν διαρροές και το διάκενο να είναι το ελάχιστο δυνατόν. Επίσης, σημαντική είναι η λειτουργία του μηχανισμού αποφορτίσεως των κυλίνδρων.

Η πίεση του λαδιού λιπάνσεως πρέπει να βρίσκεται στα όρια που ορίζει ο κατασκευαστής και να αναπτύσσεται στα πρώτα λεπτά της ενάρξεως της λειτουργίας του συμπιεστή. Χαμηλή πίεση λαδιού, εφόσον υπάρχει επαρκής ποσότητα λαδιού στην ελαιολεκάνη, μπορεί να οφείλεται σε κακή λειτουργία του ρυθμιστή πίεσεως του λαδιού, σε φραγμένα φίλτρα, σε φθαρμένη αντλία λαδιού ή σε ύπαρξη μεγάλης ποσότητας ψυκτικού μέσου μέσα στο λάδι που προκαλεί αφρισμό κατά την εκκίνηση. Ο συμπι-

εστής πρέπει να κρατείται σε χαμηλή πίεση λαδιού, όταν η πίεση του λαδιού δεν είναι τουλάχιστον 15 psig μεγαλύτερη από την πίεση αναρροφήσεως.

Η απόδοση των εμβολοφόρων συμπιεστών εξαρτάται από την κατάσταση των βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Η κατάσταση των βαλβίδων αναρροφήσεως μπορεί να διαπιστωθεί από το ύψος του κενού που επιτυγχάνει ο συμπιεστής, όταν το επιστόμιο αναρροφήσεως είναι κλειστό. Η κατάσταση των βαλβίδων καταθλίψεως μπορεί να διαπιστωθεί από το χρόνο που απαιτείται για την εξισορρόπηση των πιέσεων αναρροφήσεως και καταθλίψεως μετά την κράτηση του συμπιεστή και το κλείσιμο των επιστομίων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Η επισκευή των βαλβίδων γίνεται με εξάρμοση και αντικατάσταση όλων των φθαρμένων κινητών τμημάτων. Η εργασία αυτή πρέπει να πραγματοποιείται με προσοχή, ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα εισόδου μεταλλικών τμημάτων στον κύλινδρο κατά την επανεκκίνηση λειτουργίας.

Τα λάθη ευθυγραμμίσεως κινητήρα και συμπιεστή δημιουργούν καταπόνηση και υπερβολική φθορά των εδράνων. Στην περίπτωση άμεσης μεταδόσεως κινήσεως με σύνδεσμο μεταξύ του ηλεκτρικού κινητήρα και του άξονα του συμπιεστή, πρέπει να ελέγχεται η ύπαρξη λάθους ευθυγραμμίσεως και γωνιακής μετατόπισεως στη φλάντζα συνδέσεως. Στην περίπτωση μεταδόσεως κινήσεως με ιμάντες πρέπει να ελέγχεται η γωνιακή μετατόπιση και η παράλληλη μετατόπιση των τροχαλιών, καθώς και η τάνυση των ιμάντων. Η διόρθωση των λαθών ευθυγραμμίσεως γίνεται με μετατόπιση του κινητήρα και σύσφιξη των κοχλιών βάσεως. Όταν υπάρχει υπερβολική φθορά οι ιμάντες κινήσεως πρέπει να αντικαθίστανται όλοι μαζί και όχι ένας κάθε φορά.

Η συντήρηση του συμπιεστή μπορεί να διαχωριστεί σε καθημερινή και σε περιοδική συντήρηση, σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών και την εμπειρία των τεχνικών. Οι κυριότερες εργασίες επιθεώρησης και συντηρήσεως σ' ένα συμπιεστή μιας εγκαταστάσεως ψύξεως με R-22 είναι οι εξής:

1) **Ημερήσια συντήρηση.**

α) Έλεγχος πιέσεων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Έλεγχος πτώσεως πίεσεως στο φίλτρο λαδιού.

β) Επιθεώρηση του συμπιεστή και έλεγχος για μη κανονική ή θορυβώδη λειτουργία.

γ) Έλεγχος θερμοκρασιών αναρροφήσεως και

καταθλίψεως. Η μέγιστη θερμοκρασία καταθλίψεως εξαρτάται από το είδος του συμπιεστή και το ψυκτικό μέσο. Παραδείγματος χάριν, με R-22, η μέγιστη θερμοκρασία καταθλίψεως για παλινδρομικό συμπιεστή είναι 130 °C, ενώ για ελικοειδή συμπιεστή είναι 105 °C. Η θερμοκρασία αναρροφήσεως δεν πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία κορεσμού στην πίεση αναρροφήσεως. Η θερμοκρασία του λαδιού δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30 °C απ' τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία λαδιού δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 60 °C. Επίσης, η θερμοκρασία του λαδιού δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα στο χώρο του συμπιεστή. Χαμηλή θερμοκρασία λαδιού μπορεί να επιφέρει είσοδο υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή.

δ) Έλεγχος στάθμης λαδιού στο συμπιεστή.

ε) Έλεγχος διαρροής από τη στεγανοποίηση του άξονα. Η διαρροή ψυκτικού μέσου μπορεί να εντοπιστεί από τη διαρροή λαδιού. Αν η στάθμη λαδιού έχει κατέβει, ελέγχουμε αν γίνεται επιστροφή από το διαχωριστήρα λαδιού.

2) Περιοδική συντήρηση.

Η περιοδική συντήρηση γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, ανάλογα με τον τύπο του συμπιεστή. Σε γενικές γραμμές από τους κατασκευαστές προδιαγράφονται οι ακόλουθες εργασίες περιοδικής συντηρήσεως:

α) Για παλινδρομικούς συμπιεστές 1450–1750 rpm.

– Για κάθε 5000 h λειτουργίας πραγματοποιείται:

- Έλεγχος βαλβίδων και αντικατάσταση φθαρμένων τμημάτων.
- Αλλαγή λαδιών, καθαρισμός στροφαλοθαλάμου, καθαρισμός ενδεικτικής υάλου και μεταλλικού φίλτρου λαδιού.
- Έλεγχος μηχανισμού αποφορτίσεως κυλίνδρων, αντικατάσταση δακτυλίων στεγανότητας.
- Επιθεώρηση κυλίνδρων και έλεγχος για γρατσουνιές και φθορά. Έλεγχος εμβόλων και ελατηρίων εάν υπάρχει πρόβλημα στον κύλινδρο.
- Έλεγχος αυτοματισμών.

– Για κάθε 10.000 h λειτουργίας πραγματοποιείται:

- Αντικατάσταση βαλβίδων.

- Επιθεώρηση κουζινέτων.
- Μέτρηση χάρης στα ελατήρια εμβόλων.

Για παλινδρομικούς συμπιεστές με ταχύτητα μικρότερη από 1200 rpm, τα διαστήματα μεταξύ επιθεωρήσεων επιμηκύνονται σε 7000 h και 14.000 h. Για συμπιεστές που βρίσκονται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις ψύξεως χώρων φορτίου, πρέπει να ακολουθείται το πρόγραμμα συντηρήσεως που απαιτεί η κλάση του πλοίου.

β) Για κοκλιωτούς συμπιεστές.

- Για κάθε 1000 h λειτουργίας πραγματοποιείται έλεγχος των αυτοματισμών λειτουργίας.
- Για κάθε 2500 h λειτουργίας πραγματοποιείται έλεγχος ευθυγραμμίσεως άξονα-κινητήρα, καθαρισμός φίλτρων, λίπανση εδράνων ηλεκτρικού κινητήρα.
- Για κάθε 5000 h λειτουργίας πραγματοποιείται έλεγχος εδράνων αντλίας λαδιού.
- Για κάθε 10.000 h λειτουργίας πραγματοποιείται αλλαγή λαδιών, έλεγχος ελαστικού συνδέσμου άξονα-κινητήρα και αντικατάστασή του αν διαπιστωθούν ρωγμές.
- Για κάθε 40.000 h λειτουργίας πραγματοποιείται αποσυναρμολόγηση συμπιεστή, έλεγχος ελευθεριών, αντικατάσταση εδράνων αξόνων.

10.3.1 Συμπλήρωση με λάδι.

Το λάδι του συμπιεστή κυκλοφορεί στην ψυκτική εγκατάσταση. Η ποσότητα που βρίσκεται στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή μειώνεται όταν το λάδι που έχει παρασυρθεί μετά τον ελαιοδιαχωριστήρα δεν μπορεί να επιστρέψει, κυρίως λόγω της χαμηλής ταχύτητας ροής του ψυκτικού μέσου. Η στάθμη του λαδιού μειώνεται όταν λειτουργεί ο συμπιεστής, ενώ αυξάνεται όταν το λάδι αναμειγνύεται με ψυκτικό μέσο.

Όταν η εγκατάσταση τίθεται για πρώτη φορά σε λειτουργία ή μετά από μία επισκευή, η στάθμη του λαδιού πρέπει να παρακολουθείται συχνά από την ενδεικτική ύαλο. Η συμπλήρωση με λάδι στο στροφαλοθάλαμο γίνεται όταν η στάθμη πέσει κάτω από τη μέση της ενδεικτικής υάλου. Μετά τη συμπλήρωση με λάδι πρέπει να αφήνεται αρκετός χρόνος, ώστε η παροχή λαδιού να ισορροπήσει και η στάθμη να σταθεροποιηθεί. Εάν η στάθμη εξακολουθεί να πέφτει, αυτό σημαίνει ότι το λάδι δεν επιστρέφει στο στροφαλοθάλαμο. Η πτώση της στάθμης του λαδιού προκαλείται από τις εξής αιτίες:

α) Η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι χαμηλή ή το ψυκτικό φορτίο είναι μικρό. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μειωμένη παροχή μάζας και τη μικρή ταχύτητα του ψυκτικού μέσου στις σωληνώσεις. Το λάδι επιστρέφει δύσκολα στο συμπιεστή και συγκεντρώνεται στον ατμοποιητή.

β) Υπάρχει μικρή ποσότητα ή διαρροή του ψυκτικού μέσου από την εγκατάσταση.

γ) Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως είναι πολύ χαμηλή και το λάδι έχει χαμηλό ιξώδες, οπότε ρέει με μεγαλύτερη δυσκολία.

δ) Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα έχει λάθος ρύθμιση.

Με τους χειρισμούς συμπληρώσεως και αφαιρέσεως ψυκτικού λαδιού ρυθμίζεται η στάθμη του λαδιού, ώστε να είναι στο μέσο ή λίγο χαμηλότερα απ' το μέσο της ενδεικτικής υάλου, όταν ο συμπιεστής λειτουργεί.

Η αφαίρεση λαδιού γίνεται ως εξής:

α) Κλείνεται το επιστόμιο παροχής υγρού ψυκτικού μέσου και ο συμπιεστής κρατείται από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως.

β) Χαλαρώνεται η τάπα εξαγωγής του λαδιού. Το λάδι αρχίζει να ρέει από το στροφαλοθάλαμο μέσα από το σπείρωμα, διότι η πίεση είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

γ) Όταν αφαιρεθεί η επιθυμητή ποσότητα λαδιού κοχλιώνεται η τάπα εξαγωγής του λαδιού και ανοίγεται το επιστόμιο παροχής υγρού ψυκτικού μέσου.

Η προσθήκη λαδιού στο συμπιεστή γίνεται με μέριμνα, ώστε να μην εισέλθει ατμοσφαιρικός αέρας στην εγκατάσταση. Το λάδι πρέπει να λαμβάνεται από σφραγισμένο δοχείο, διότι διαφορετικά απορροφάει υγρασία. Η συμπλήρωση λαδιού χωρίς αντλία μπορεί να γίνει, δεδομένου ότι το ψυκτικό μέσο είναι βαρύτερο απ' τον αέρα. Έτσι, με το άνοιγμα του πώματος συμπληρώσεως λαδιού και την εξισορρόπηση της πίεσεως του στροφαλοθαλάμου με την ατμοσφαιρική, δεν εισέρχεται αέρας, αλλά στην ελαιολεκάνη μένουν οι ατμοί του ψυκτικού μέσου. Συνήθως όμως για τη διασφάλιση της απομονώσεως του αέρα χρησιμοποιείται μία χειραντλία, ως εξής:

α) Κλείνεται το επιστόμιο παροχής υγρού ψυκτικού μέσου και ο συμπιεστής κρατείται από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως. Πιέζεται ο διακόπτης κρατήσεως του συμπιεστή.

β) Γεμίζεται η αντλία λαδιού με λάδι από ένα σφραγισμένο δοχείο.

γ) Συνδέεται η αντλία και ανοίγεται το επιστόμιο στη θέση συνδέσεως.

δ) Το λάδι αντλείται στην ελαιολεκάνη, το επιστόμιο κλείνεται και η αντλία αποσυνδέεται.

10.4 Ανίχνευση διαρροών ψυκτικού μέσου.

Η ανίχνευση των διαρροών και ο εντοπισμός των σημείων διαρροής σε μία εγκατάσταση είναι σημαντικές διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται στην έναρξη της λειτουργίας, ούτως ώστε να αποφεύγονται βλάβες και απώλεια του ψυκτικού μέσου. Η λειτουργία μιας εγκαταστάσεως με μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου συνεπάγεται μικρότερη ψυκτική ικανότητα και πιθανότητα βλάβης του συμπιεστή λόγω ανεπαρκούς λιπάνσεως και ψύξεως. Η ανεπαρκής λίπανση προκαλείται από την αδυναμία επιστροφής του λαδιού λόγω της μικρότερης παροχής του ψυκτικού μέσου. Επί πλέον, η πλήρης φόρτιση της εγκαταστάσεως με ψυκτικό μέσο είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή ρύθμιση των αυτοματισμών λειτουργίας.

Γενική επιθεώρηση της ψυκτικής εγκαταστάσεως για ανίχνευση διαρροών πρέπει να γίνεται κάθε 1000 h λειτουργίας. Ειδικά, πρέπει να ελέγχονται τα σημεία όπου υπάρχουν συγκολλήσεις, παρεμβύσματα, η μηχανική στεγανοποίηση του άξονα του συμπιεστή, βαλβίδες και γενικά όλα τα σημεία, στα οποία υπάρχει διαρροή λαδιού. Ο έλεγχος διαρροών στην πλευρά της υψηλής πίεσεως μπορεί να γίνει όταν λειτουργεί ο συμπιεστής. Για τον έλεγχο διαρροών στην πλευρά της χαμηλής πίεσεως πρέπει να γίνει κράτηση της εγκαταστάσεως και να περάσει κάποιος χρόνος για την εξισορρόπηση των πιέσεων στις δύο πλευρές, έτσι ώστε η πίεση να γίνει ανώτερη της ατμοσφαιρικής. Επίσης, η ύπαρξη σημείων διαρροής μπορεί να διαπιστωθεί από τη συνεχή πτώση της στάθμης του υγρού στο συλλέκτη.

Οι μέθοδοι ανιχνεύσεως διαρροών ποικίλλουν ανάλογα με το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται. Οι κυριότερες διαδικασίες ανιχνεύσεως διαρροών πραγματοποιούνται με: **οπτική επιθεώρηση** και **φθορίζοντα πρόσθετα, σαπουνόνερο, λυχνία Halide, ηλεκτρονικό ανιχνευτή, πίεση αδρανούς αερίου και με κενό.**

1) Ανίχνευση διαρροών με οπτική επιθεώρηση και φθορίζοντα πρόσθετα.

Οι διαρροές εντοπίζονται με οπτική επιθεώρηση,

όταν στο ψυκτικό μέσο έχει προστεθεί ένα φθορίζον συστατικό. Στην περίπτωση αυτή, τα σημεία διαρροής εμφανίζονται σαν φωτεινές πηγές. Χωρίς τη χρήση πρόσθετου, τα σημεία διαρροής μπορούν να εντοπιστούν απ' την εναπόθεση λαδιού.

2) Ανίχνευση διαρροών με σαπουνόνερο.

Όταν δεν υπάρχει κάποιο ειδικό όργανο ανιχνεύσεως διαρροής, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαπουνόνερο. Σε νερό διαλύεται σαπούνι και το διάλυμα περνιέται με πινέλο πάνω από τα πιθανά σημεία διαρροής. Σε περίπτωση υπάρξεως διαρροής σε κάποιο σημείο του δικτύου, παρατηρείται η δημιουργία φουσαλλίδων. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να εντοπίσει μόνο μεγάλες διαρροές. Η αμμωνία απορροφάται από το νερό και συνήθως μπορεί να ανιχνευθεί μ' αυτήν την μέθοδο.

3) Ανίχνευση διαρροών με λυχνία Halide.

Η λυχνία Halide αποτελείται από έναν καυστήρα, ο οποίος τροφοδοτείται απ' τη φιάλη του καυσίμου που συνήθως είναι προπάνιο. Ο καυστήρας περιλαμβάνει ένα σωλήνα Venturi και ένα θάλαμο καύσεως, στον οποίο ο αέρας που αναρροφάται από το σωλήνα Venturi συμμετέχει με την καύση. Στο θάλαμο καύσεως υπάρχει ένα χάλκινο σύρμα ή μία χάλκινη ροδέλα. Η φλόγα που σχηματίζεται μπορεί να παρατηρηθεί από ένα γυάλινο κάλυμμα. Ο σωλήνας Venturi αναρροφάει αέρα από τα πιθανά σημεία διαρροής μ' έναν εύκαμπτο αγωγό. Σε αέρα χωρίς ίχνη αλογονούχων ψυκτικών μέσων η φλόγα είναι γαλάζια ή άχρωμη. Όταν στον αέρα υπάρχει μία μικρή ποσότητα αλογονούχου ψυκτικού μέσου, το οποίο περιέχει χλώριο (CFC, HCFC), το χρώμα της φλόγας γίνεται πράσινο, ενώ για μεγαλύτερη ποσότητα η φλόγα γίνεται μπλε ή ιώδης. Μια μεγάλη διαρροή μπορεί να σβήσει τη φλόγα. Έτσι, η λυχνία Halide δεν μπορεί εντοπίσει διαρροές ψυκτικών μέσων που δεν περιέχουν χλώριο, όπως τα νέα ψυκτικά μέσα HFC.

Ο έλεγχος διαρροής γίνεται όταν στην εγκατάσταση υπάρχει ψυκτικό μέσο και ο εύκαμπτος αγωγός πρέπει να περάσει από όλα τα πιθανά σημεία διαρροής. Με τη λυχνία Halide μπορεί να ανιχνευτεί διαρροή της τάξεως των 170 gr το χρόνο.

4) Ανίχνευση διαρροών με ηλεκτρονικό ανιχνευτή.

Οι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές είναι οι πιο ευαίσθη-

τοι και μπορούν να εντοπίσουν διαρροές της τάξεως των 15 gr ανά έτος. Κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία τύπων, στους οποίους συνήθως η ύπαρξη ψυκτικού μέσου ανιχνεύεται με την παρουσία ιόντων που επιδρούν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του αέρα. Τα ηλεκτρονικά όργανα εντοπισμού διαρροών λειτουργούν με μπαταρίες και σ' αυτά ο αέρας αντλείται μέσα από έναν εύκαμπτο αγωγό, περνάει από ένα φίλτρο και πηγαίνει στον αισθητήρα. Το φίλτρο πρέπει να αντικαθίσταται περιοδικά, ώστε να μην υπάρχει λανθασμένη ένδειξη διαρροής. Η διαπίστωση της διαρροής γίνεται από ένα ηχητικό σήμα, το οποίο επιταχύνεται όταν υπάρχει ψυκτικό μέσο στον αέρα (σχ. 10.4α). Σε άλλους τύπους υπάρχει μια οθόνη, στην οποία αναγράφεται ο τύπος του ψυκτικού μέσου και η ποσότητα της διαρροής.

Η ανίχνευση γίνεται με την τοποθέτηση του εύκαμπτου σωλήνα πάνω από το πιθανό σημείο διαρροής. Το μειονέκτημα των ηλεκτρονικών οργάνων είναι ότι λόγω της μεγάλης ευαισθησίας τους μπορεί να δίνουν ένδειξη διαρροής ακόμα και όταν βρίσκονται μακριά από το σημείο αυτής. Έτσι, για τον εντοπισμό του σημείου χρειάζεται εμπειρία από το χειριστή. Όταν γίνεται έλεγχος διαρροής με ηλεκτρονικό όργανο, τα συστήματα κυκλοφορίας του αέρα πρέπει να σταματούν τη λειτουργία τους και η άκρη του εύκαμπτου σωλήνα να τοποθετείται κάτω από το πιθανό σημείο διαρροής.

Σε μερικούς τύπους ηλεκτρονικών ανιχνευτών απαιτείται η πλήρωση της εγκαταστάσεως μ' ένα αδρανές αέριο, π.χ. ήλιο, στο οποίο είναι ευαίσθητος ο αισθητήρας. Σε άλλους τύπους δημιουργείται



Σχ. 10.4α.

Ηλεκτρονικός ανιχνευτής διαρροών.

κενό και το αέριο ήλιο ρέει πάνω απ' την εγκατάσταση. Στα σημεία διαρροής το ήλιο εισέρχεται στην εγκατάσταση και ανιχνεύεται κατόπιν από ένα ευαίσθητο όργανο, το οποίο μπορεί να υπολογίσει και το μέγεθος της διαρροής.

Μερικοί ηλεκτρονικοί αισθητήρες λειτουργούν με υπέρηχους. Οι ανιχνευτές αυτοί εντοπίζουν το θόρυβο που προκαλείται από τα σημεία διαρροής και είναι ευαίσθητοι στο θόρυβο του χώρου, στον οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση. Δεν επηρεάζονται όμως από τη ροή του αέρα στο χώρο. Υπάρχουν και σύνθετοι φωτοακουστικοί ανιχνευτές, όπου δείγμα αέρα που οδηγείται σ' ένα θάλαμο, δέχεται υπέρυθρη ακτινοβολία και μία δέσμη υπερήχων. Η αντανάκλασή τους μετρείται από δύο αισθητήρες και έτσι καθορίζεται η ύπαρξη ψυκτικού μέσου. Τέτοιοι αισθητήρες μπορούν να εντοπίσουν ίχνη ψυκτικού μέσου της τάξεως του 1 ppm.

5) Ανίχνευση διαρροών με πίεση αδρανούς αερίου.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε νέες ψυκτικές εγκαταστάσεις ή σε εγκαταστάσεις που είναι κενές από ψυκτικό μέσο πριν ή μετά από μία επισκευή. Σε περίπτωση επισκευής, η δοκιμή με πίεση είναι προτιμότερο να γίνεται πριν την εκκένωση της εγκαταστάσεως, ώστε να μην εισέλθει υγρασία στη νέα εγκατάσταση. Η δοκιμή γίνεται με αέριο άζωτο ή με διοξείδιο του άνθρακα που δεν περιέχουν υγρασία. Και οι δύο αυτές ουσίες είναι σε κανονικές συνθήκες αέρια και φυλάσσονται σε φιάλες με υψηλή πίεση. Η μανομετρική πίεση στη φιάλη του αζώτου είναι περίπου 2000 psig (138 bar), ενώ στη φιάλη του διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου 800 psig (55 bar). Οι πιέσεις αυτές είναι πολύ μεγάλες και κατά συνέπεια η φιάλη του αζώτου ή του διοξειδίου του άνθρακα δεν μπορεί να συνδεθεί απευθείας με την εγκατάσταση. Δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται οξυγόνο ή ασετιλίνη για δοκιμή με πίεση της εγκαταστάσεως, διότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος εκρήξεως.

Η σύνδεση της φιάλης με την ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να γίνεται μ' ένα ρυθμιστή πίεσεως που περιλαμβάνει μια διάταξη ρυθμίσεως της πίεσεως και ένα ασφαλιστικό. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί ρυθμιστής πίεσεως, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εκρήξεως της εγκαταστάσεως και προκλήσεως ατυχήματος. Επίσης πρέπει να υπάρχει και μία βαλβίδα απομονώσεως της φιάλης. Η μανομετρική

πίεση, στην οποία γίνεται η δοκιμή πρέπει να είναι της τάξεως των 5–30 psig (bar) και σταθερή σ' όλη την εγκατάσταση. Εάν στη χαμηλή πίεση δοκιμής δεν εντοπιστούν διαρροές, η δοκιμή πρέπει να επαναλαμβάνεται σε πίεση ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την πίεση συμπυκνώσεως της εγκαταστάσεως. Πριν τη δοκιμή ο συμπιεστής απομονώνεται με κλείσιμο της βαλβίδας συντηρήσεως στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη. Σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να προκληθεί βλάβη στις βαλβίδες ή στο σύστημα στεγανοποιήσεως του άξονα. Επίσης, η εκτονωτική βαλβίδα και όλοι οι πιεζοστατικοί μηχανισμοί (π.χ. πιεζοστατικοί διακόπτες), οι οποίοι έχουν διαφράγματα ή φυσούνες απομονώνονται ή αφαιρούνται, ώστε να μην προκληθεί βλάβη από υπέρβαση της πίεσεως λειτουργίας τους. Η φιάλη με τη ρυθμιστική βαλβίδα και το επιστόμιο συνδέονται στη βαλβίδα συντηρήσεως στην κατάθλιψη του συμπιεστή, η οποία έχει την έδρα στη μέση της διαδρομής. Μετά τη δημιουργία της πίεσεως δοκιμής, η βαλβίδα της φιάλης κλείνεται και η πίεση στην εγκατάσταση παρακολουθείται για αρκετό χρόνο. Η διατήρηση σταθερής πίεσεως αποκλείει την ύπαρξη σημείων διαρροής. Η διάταξη των συνδέσεων των εξαρτημάτων για δοκιμή διαρροής με πίεση αδρανούς αερίου παρουσιάζεται στο σχήμα 10.4β.

Ένας εναλλακτικός τρόπος δημιουργίας πίεσεως είναι η πλήρωση του δικτύου πρώτα με αέριο ψυκτικό μέσο (συνήθως R-22), στο οποίο στη συνέχεια προστίθεται μεγάλη πίεση με άζωτο. Το πλεονέκτημα είναι ότι η διαρροή του ψυκτικού μέσου μπορεί να εντοπιστεί με λυχνία ή με ηλεκτρονικό αισθητήρα, ενώ δεν υπάρχει μεγάλη απώλεια ψυκτικού μέσου.

6) Ανίχνευση διαρροών με κενό.

Η δοκιμή κενού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νέες εγκαταστάσεις ή μετά από μία επισκευή. Η ανικανότητα της εγκαταστάσεως να διατηρήσει το κενό που δημιουργείται από την αντλία κενού σε μεγάλη χρονική διάρκεια είναι ένδειξη υπάρξεως σημείων διαρροής. Αντίθετα, η διατήρηση κενού δεν είναι απολύτως ασφαλή ένδειξη για καλή στεγανότητα της εγκαταστάσεως. Αν παρατηρείται απότομη αύξηση και στη συνέχεια σταθεροποίηση της πίεσεως μετά τη δημιουργία κενού, αυτό μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχει νερό, το οποίο εξατμίζεται. Η αντλία κενού στην περίπτωση αυτή πρέπει να αφήνεται να λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Εκτός από τις παραπάνω μεθόδους υπάρχουν

η μέθοδος του αντιδραστήριου Nessler και η μέθοδος του κεριού θείου για τον εντοπισμό διαρροών αμμωνίας. Η αμμωνία στον αέρα εντοπίζεται με την όσφρηση σε συγκεντρώσεις 3-5 ppm. Στα 15 ppm η αμμωνία είναι τοξική και για πάνω από 30 ppm απαιτείται η χρήση συσκευής αναπνευστήρα. Στα 50 ppm ο μέγιστος χρόνος παραμονής είναι 5 min, ενώ στα 5000 ppm το μείγμα προκαλεί ακαριαίο θάνατο. Επίσης, σε συγκεντρώσεις 150.000–270.000 ppm είναι εκρηκτική. Στο νερό υδροψύκτων συμπυκνωτών ή ατμοποιπτών που λειτουργούν με αμμωνία, η ανίχνευσή της μπορεί να πραγματοποιηθεί με το αντιδραστήριο Nessler, με το οποίο, όταν υπάρχει αμμωνία, το νερό παίρνει καφέ χρώμα. Η ανίχνευση της αμμωνίας στον αέρα μπορεί να γίνει με κεριό θείου. Αυτό, όταν καίγεται αναδύονται καπνοί διο-

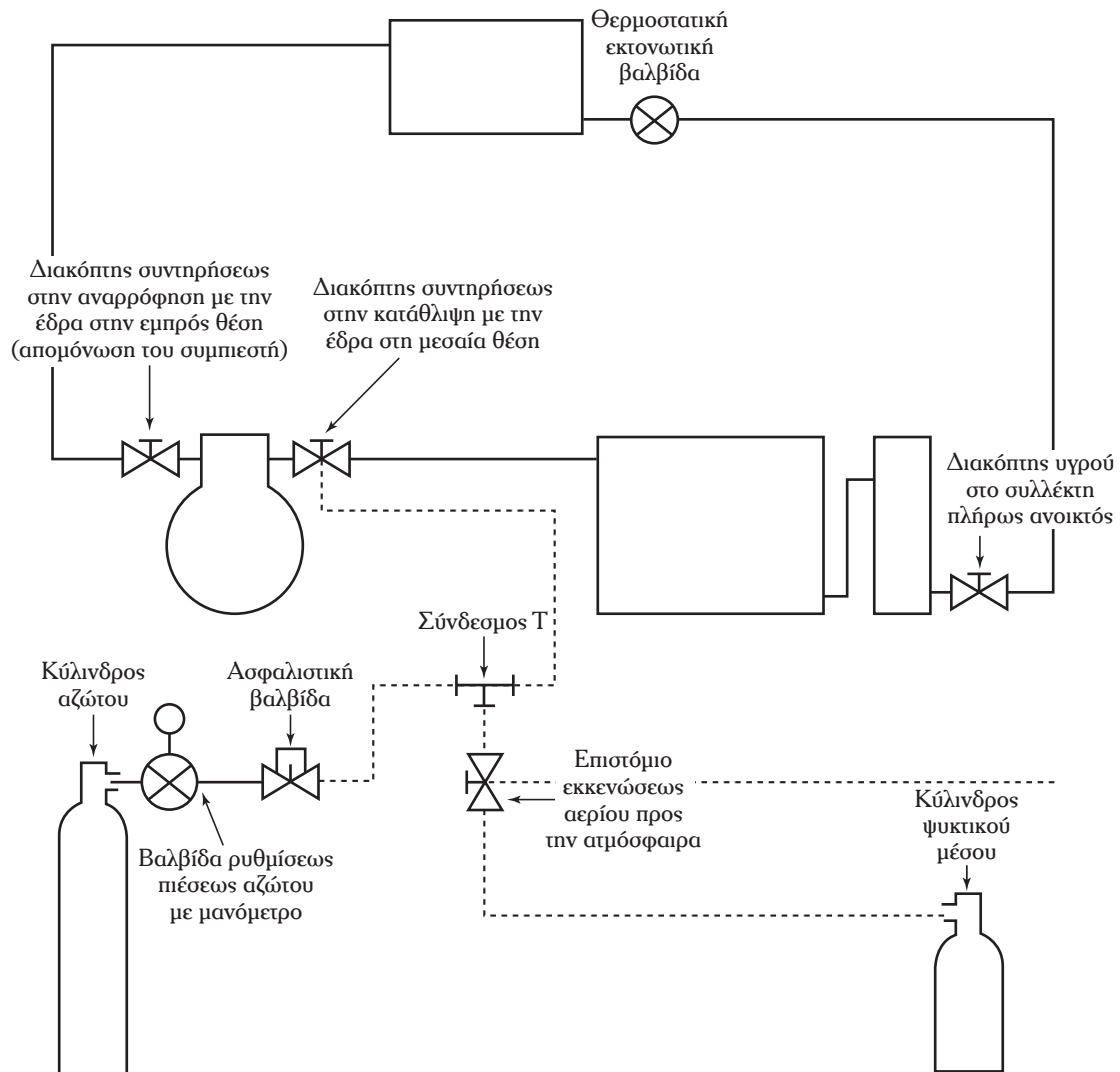
ξειδίου του θείου, οι οποίοι με την ύπαρξη αμμωνίας γίνονται λευκοί. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή και καλός εξαερισμός του χώρου, διότι οι θειώδεις καπνοί, όπως και η αμμωνία είναι τοξικοί και δεν πρέπει να εισπνέονται.

10.5 Εργαλεία τεχνικού ψύξεως-κλιματισμού.

Για την εκτέλεση των εργασιών ρυθμίσεως και συντηρήσεως μιας ψυκτικής ή μιας κλιματιστικής εγκαταστάσεως, εκτός από τα συνηθισμένα εργαλεία μηχανικού και σωληνουργού, είναι απαραίτητα ορισμένα ειδικά εργαλεία, τα κυριότερα από τα οποία είναι:

α) Η **αντλία κενού**, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία κενού.

β) Η **κάσα μανομέτρων**, που χρησιμοποιείται



Σχ. 10.4β.

Συνδέσεις για δοκιμή διαρροών με πίεση αδρανούς αερίου.

για την παρακολούθηση των πιέσεων και την υλοποίηση εργασιών συντηρήσεως στη χαμηλή και υψηλή πίεση.

γ) Ο **φορτιστής ψυκτικού μέσου**. Ηλεκτρονικό όργανο το οποίο μετράει την ποσότητα συμπλήρωσεως ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση.

δ) Η **ηλεκτρονική ζυγαριά φορτίσεως**, που μετράει το βάρος της φιάλης κατά τη διάρκεια της συμπλήρωσεως του ψυκτικού μέσου.

ε) Το **υδραργυρικό μανόμετρο κενού**, με το οποίο μετράμε το κενό με ακρίβεια 0,5 mmHg. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ηλεκτρονικός μετρητής κενού με ακρίβεια 0,001 mmHg = 1 micron. Το ακριβές κενό δεν μπορεί να μετρηθεί με την κάσα μανομέτρων, διότι δεν παρέχεται μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση.

Σχετικά με τη δημιουργία και τη μέτρηση κενού, λεπτομέρειες αναφέρονται παρακάτω στην παράγραφο 10.10.

στ) Τα **θερμόμετρα**, που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας στα διάφορα σημεία της εγκαταστάσεως.

ζ) Ο **σταθμός συλλογής ψυκτικού μέσου**, δηλαδή το μηχανήμα που περιλαμβάνει μικρή ψυκτική εγκατάσταση για τη συμπύκνωση των ατμών του ψυκτικού μέσου, το οποίο στη συνέχεια αποθηκεύεται σε μία φιάλη, ώστε να ξαναχρησιμοποιηθεί. Με το σταθμό συλλογής αποφεύγεται η εκκένωση του μέσου στην ατμόσφαιρα.

η) Η **αντλία συμπλήρωσεως λαδιού στο συμπιεστή**, που χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση λαδιού στην ελαιολεκάνη, όπου η πίεση είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

λύτερη από την ατμοσφαιρική.

θ) Τα **πιστολάκια θερμάνσεως**, που χρησιμοποιούνται για την τοπική θέρμανση διαφόρων τμημάτων της εγκαταστάσεως, χωρίς τη χρήση φλόγας.

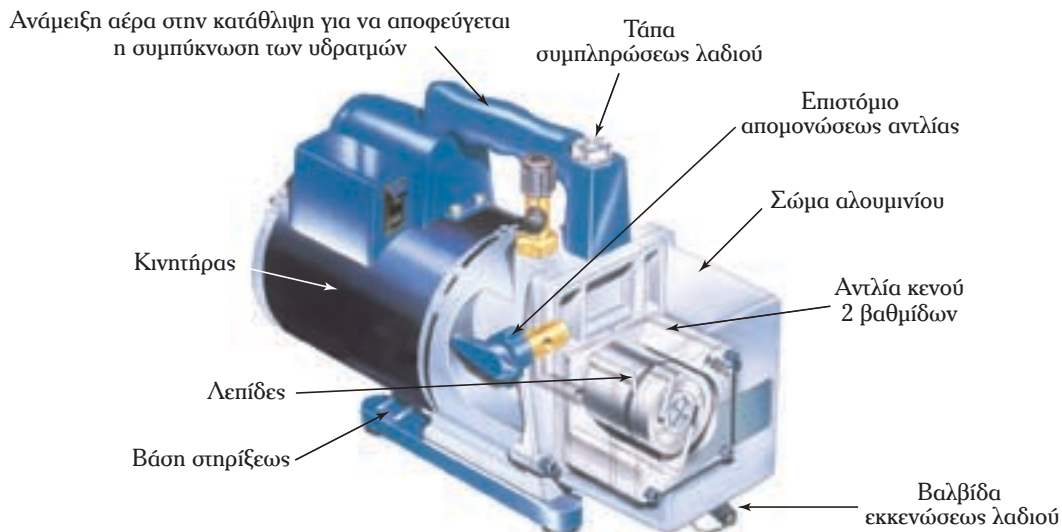
ι) Το **ανεμόμετρο**, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα από στόμια κλιματισμού. Όταν το όργανο μετατίθεται μπροστά από την περιοχή της ροής, μπορεί να υπολογίζει τη μέση ταχύτητα του αέρα.

ια) Το **θερμόμετρο ξηρού και υγρού βολβού**, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της υγρασίας του αέρα ενός κλιματιζόμενου χώρου.

Τα σημαντικότερα από τα παραπάνω όργανα και αυτά των οποίων η λειτουργία δεν είναι ήδη γνωστή, περιγράφονται παρακάτω.

1) Αντλία κενού.

Η αντλία κενού είναι τύπου περιστρεφόμενων λεπίδων. Υπάρχουν μονοβάθμιες και διβάθμιες αντλίες κενού. Με τις μονοβάθμιες επιτυγχάνεται κενό της τάξεως των 50-80 microns ($50-80 \times 10^{-3}$ mm Hg), ενώ το κενό που επιτυγχάνουν οι διβάθμιες είναι της τάξεως των 20-50 microns ($20-50 \times 10^{-3}$ mm Hg). Ο σκοπός της δημιουργίας κενού είναι η εκκένωση της εγκαταστάσεως από αέρα και υδρατμούς πριν την πλήρωση με ψυκτικό μέσο. Με τη δημιουργία κενού, ατμοποιείται το νερό και η υγρασία που υπάρχουν στις σωληνώσεις και απομακρύνονται μέσα απ' την αντλία κενού. Στο σχήμα 10.5α εικονίζεται μία διβάθμια αντλία κενού, η οποία έχει δύο στροφεία σε σειρά. Το σώμα είναι από χάλυβα και τα στροφεία και οι λεπίδες αλουμινένια.



Σχ. 10.5α.
Αντλία κενού.

Για τη στεγανοποίηση των λεπίδων πάνω στο κέλυφος, η αντλία πρέπει να έχει λιπαντικό λάδι, ανάλογα με το μέγεθός της. Κατά τη λειτουργία της αντλίας το λάδι μένει στο κέλυφος. Μπορεί όμως το λάδι να φύγει από την αντλία και να μπει στην ψυκτική εγκατάσταση, όταν η αντλία χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κενού, στη συνέχεια διακοπεί η λειτουργία της και δεν απομονωθεί από την ψυκτική εγκατάσταση. Το κενό που υπάρχει στην εγκατάσταση θα τραβήξει το λάδι της αντλίας και θα το φέρει μέσα στην εγκατάσταση. Το λάδι στην αντλία παρακολουθείται από την ύαλο στο πλάι της αντλίας και πρέπει να αντικαθίσταται περιοδικά, ώστε να μην απορροφάει υγρασία. Το λάδι της αντλίας κενού συνιστάται να αντικαθίσταται πριν την εκκένωση της ψυκτικής εγκατάστασης. Η αντλία μπορεί να δοκιμαστεί με σύνδεσή της με την κάσα μανομέτρων. Αν επιτυγχάνει κενό 20 microns η αντλία εργάζεται ικανοποιητικά, ενώ σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να αντικατασταθεί το λάδι.

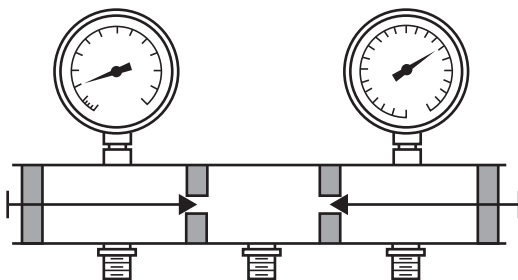
2) Κάσα μανομέτρων.

Αποτελείται από ένα ορειχάλκινο ή αλουμινένιο σώμα, στο οποίο υπάρχουν δύο μανόμετρα, ένα χαμηλής πίεσης-κενού και ένα υψηλής πίεσης. Στην κάτω πλευρά υπάρχουν τρεις θέσεις συνδέσεως με εύκαμπτους αγωγούς και σε κάθε πλευρή υπάρχει ένα επιστόμιο. Στο σώμα δημιουργούνται τρεις χώροι: ο μεσαίος συνδέεται με την κεντρική θέση συνδέσεως και οι πλευρικοί με τις πλευρικές θέσεις συνδέσεως. Τα δύο πλευρικά επιστόμια απομονώνουν τους πλευρικούς χώρους από τον κεντρικό. Η θέση συνδέσεως αριστερά συνδέεται με τον εύκαμπτο αγωγό στη **θυρίδα επισκευής στην αναρρόφηση** του συμπιεστή (suction service

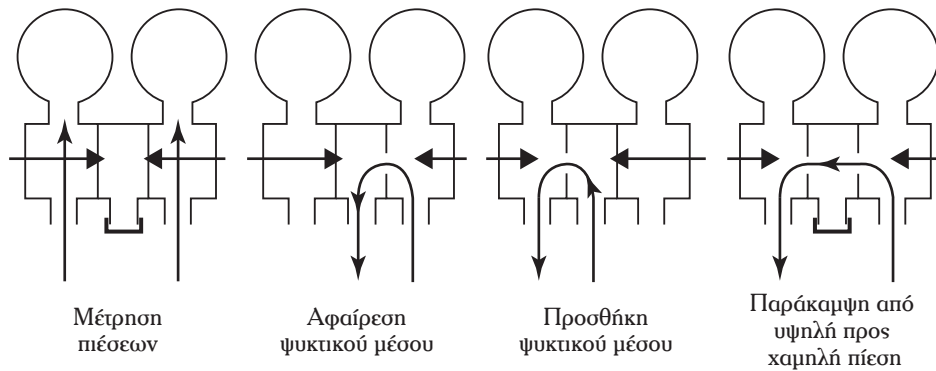
valve–SSV), ενώ η θέση συνδέσεως αριστερά συνδέεται με τη **θυρίδα επισκευής στην κατάθλιψη** του συμπιεστή (discharge service valve–DSV) ή με τη βαλβίδα επισκευής στην πλευρά του υγρού ψυκτικού μέσου. Ο κεντρικός αγωγός της κάσας μανομέτρων συνδέεται με τον κύλινδρο του ψυκτικού μέσου ή με την αντλία κενού, προκειμένου να εκτελεστούν οι εργασίες πληρώσεως και δημιουργίας κενού. Η πίεση στον αριστερό χώρο χαμηλής πίεσης παρακολουθείται από το μανόμετρο χαμηλής πίεσης-κενού. Η πίεση στο δεξιό χώρο υψηλής πίεσης παρακολουθείται από το μανόμετρο υψηλής πίεσης. Τα μανόμετρα χαμηλής και υψηλής πίεσης εκτός από τις κλίμακες πίεσης, συνήθως έχουν και τις κλίμακες θερμοκρασίας κορεσμού για τη μετρούμενη πίεση για το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση. Τα μανόμετρα και οι αγωγοί συνδέσεως έχουν χρώματα ώστε να αποφευχθεί το λάθος κατά τη σύνδεση: Ο αγωγός και το μανόμετρο χαμηλής πίεσης είναι μπλε, ο αγωγός και το μανόμετρο υψηλής πίεσης κόκκινα και ο κεντρικός αγωγός κίτρινος. Η κατασκευή της κάσας μανομέτρων φαίνεται στο σχήμα 10.5β.

Στο σχήμα 10.5γ παρουσιάζονται οι κυριότεροι τρόποι χρήσεως της κάσας μανομέτρων για τη μέτρηση των πιέσεων αναρροφήσεως και καταθλίψεως, την προσθήκη και την αφαίρεση ψυκτικού μέσου και την παράκαμψη του συμπιεστή.

Μετά τη σύνδεση των αγωγών πρέπει να εκδιωχθεί ο αέρας που περιέχουν, ώστε να μην εισέλθει στην ψυκτική εγκατάσταση. Αυτό γίνεται με το κλείσιμο των πλευρικών βαλβίδων, τη σύνδεση του αγωγού στη βαλβίδα και τη χαλαρή σύνδεση στην πλευρά της κάσας μανομέτρων. Στη συνέχεια, η



Σχ. 10.5β.
Κάσα μανομέτρων.



Σχ. 10.5γ.

Τρόποι χρήσεως κάσας μανομέτρων.

βαλβίδα ανοίγεται ελαφρά, ώστε το αέριο ψυκτικό μέσο να διώξει τον αέρα από τον αγωγό. Η βαλβίδα συντηρήσεως κλείνει και ο αγωγός σφίγγεται στη θέση συνδέσεως με την κάσα.

3) Σταθμός συλλογής ψυκτικού μέσου.

Για την πλήρη απάντληση του ψυκτικού μέσου ενός συστήματος είναι απαραίτητη η χρήση ενός σταθμού συλλογής ψυκτικού μέσου. Με τη χρήση μονάδας συλλογής μπορεί να γίνει σχεδόν πλήρης ανάκτηση του ψυκτικού μέσου μίας εγκαταστάσεως. Η μονάδα συλλογής περιλαμβάνει μία αντλία κενού, φίλτρο λαδιού που απομονώνει το λάδι, το οποίο περιέχει το ψυκτικό μέσο, μια ηλεκτρονική ζυγαριά και έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή. Η αντλία κενού λειτουργεί, όπως ο συμπιεστής μιας μικρής ψυκτικής εγκαταστάσεως. Στο σχήμα 10.5δ(α) φαίνεται μία μονάδα συλλογής, η οποία περιλαμβάνει θέση για τον κύλινδρο του ψυκτικού μέσου. Επίσης, στο σχήμα 10.5δ(β) φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα μιας τυπικής μονάδας συλλογής ψυκτικού μέσου. Το ψυκτικό μέσο αφαιρείται σε αέρια ή σε υγρή μορφή και αποθηκεύεται σε κυλίνδρους, οι οποίοι όταν περιέχουν μεταχειρισμένο ψυκτικό μέσο στην κάτω τους πλευρά έχουν γκρι χρώμα.

Η σύνδεση της μονάδας συλλογής σε μικρές μονάδες γίνεται για ανάκτηση των ατμών του ψυκτικού μέσου [σχ. 10.5ε(α)]. Για ταχύτερη συλλογή σε μεγαλύτερες μονάδες συλλέγεται και το υγρό μέσο [σχ. 10.5ε(β)].

Δεδομένου ότι στα πλοία δεν γίνεται συχνά εκκένωση των ψυκτικών εγκαταστάσεων, συχνά στα εργαλεία του ψυκτικού που υπάρχουν στο πλοίο δεν περιλαμβάνεται σταθμός συλλογής ψυκτικού μέσου. Η συλλογή του μέσου γίνεται με την πίεση του συμπιεστή και με χρήση της κάσας μανομέτρων, όπως

θα περιγραφεί παρακάτω (βλ. παράγρ. 10.7), αν και με τη μέθοδο αυτή δεν μπορεί να ανακτηθεί το 20% της ποσότητας του ψυκτικού μέσου που περιλαμβάνεται σε μία εγκατάσταση.

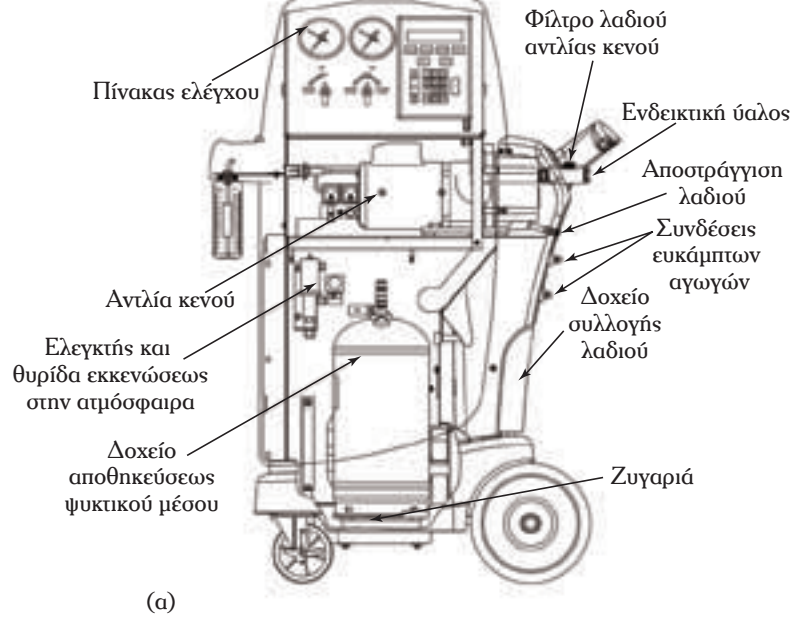
10.6 Αποθήκευση ψυκτικού μέσου.

Το ψυκτικό μέσο συλλέγεται και αποθηκεύεται σε δοχεία πιέσεως. Το ψυκτικό μέσο που έχει συλλεχθεί από μία εγκατάσταση δεν μπορεί να πωληθεί στο εμπόριο, παρά μόνο να ξαναχρησιμοποιηθεί στην ίδια ή σε άλλη ψυκτική εγκατάσταση του ίδιου ιδιοκτήτη. Για την πλήρη ανακύκλωση και τη διάθεση στο εμπόριο πρέπει πρώτα να γίνουν έλεγχοι και βελτιώσεις, ώστε να μην περιέχονται στερεά κατάλοιπα, η περιεκτικότητα σε αέρα να είναι μικρότερη από 1,5% κατά όγκο, η περιεκτικότητα σε υγρασία να είναι μικρότερη από 10 ppm και η περιεκτικότητα σε οξέα να είναι μικρότερη από 1 ppm.

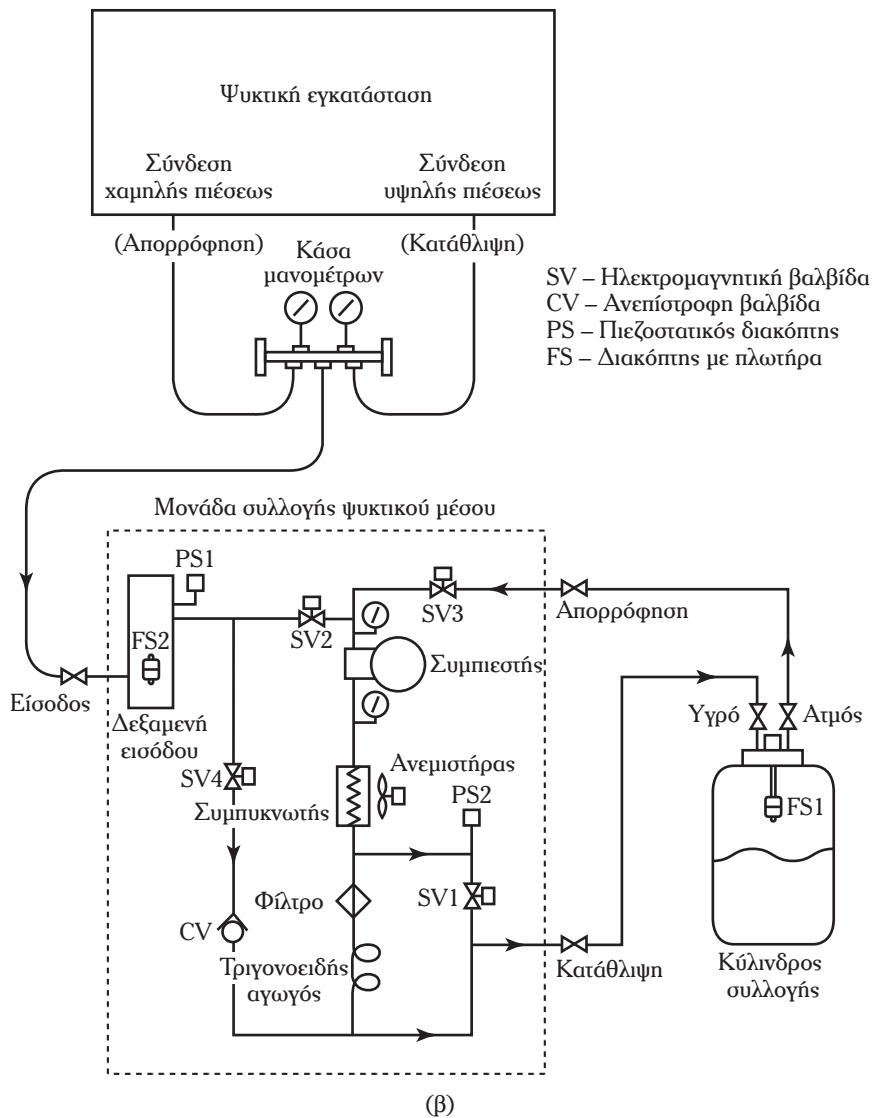
Εάν το ψυκτικό μέσο προέρχεται από συλλογή από κάποια εγκατάσταση, το δοχείο είναι χρωματισμένο κατά το κάτω μισό με γκρι χρώμα. Το χρώμα του δοχείου δηλώνει το ψυκτικό μέσο που περιέχει (σχ. 10.6α), σύμφωνα με την τυποποίηση των χρωμάτων των ψυκτικών μέσων που ισχύει και έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4.

Υπάρχουν τρία είδη δοχείων αποθηκείσεως των ψυκτικών μέσων: τα μιας χρήσεως, τα επαναχρησιμοποιούμενα και τα δοχεία συλλογής. Αναλυτικότερα:

α) Τα **δοχεία μιας χρήσεως** έχουν χωρητικότητα μέχρι 15 kg, και απαγορεύεται να ξαναχρησιμοποιηθούν, ενώ όταν αδειάσουν είναι άχρηστα και πετιούνται. Έχουν μία βαλβίδα στην κορυφή από όπου βγαίνει αέριο ψυκτικό μέσο. Για να πάρουμε υγρό ψυκτικό μέσο από το δοχείο, αυτό τοποθετείται ανάποδα στις λαβές του.

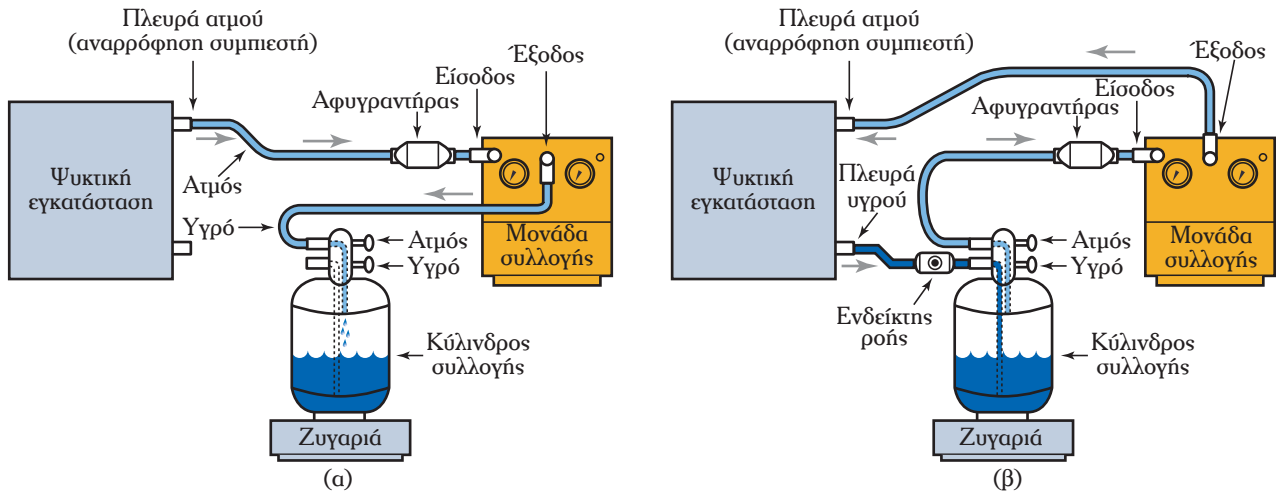


(α)



Σχ. 10.56.

(α) Μονάδα συλλογής ψυκτικού μέσου, (β) λειτουργικό διάγραμμα τυπικής μονάδας.



Σημείωση: Σε περίπτωση συνδέσεως της γραμμής υγρού με τη μονάδα συλλογής είναι πιθανή βλάβη στο συμπιεστή.

Σχ. 10.5ε.

Σύνδεση μονάδας συλλογής ψυκτικού μέσου: (α) Για συλλογή ατμών και (β) για συλλογή υγρού ψυκτικού μέσου.

β) Τα **επαναχρησιμοποιήσιμα δοχεία** είναι μεγαλύτερης χωρητικότητας, περίπου 60 kg, και έχουν μια σύνθετη βαλβίδα με δύο εξόδους: μια υγρού και μια αερίου ψυκτικού μέσου. Η βαλβίδα του υγρού συνδέεται εσωτερικά μ' έναν αγωγό που φτάνει σχεδόν μέχρι τον πάτο του δοχείου, ενώ η βαλβίδα του αερίου συλλέγει το αέριο απ' την κορυφή του δοχείου. Υπάρχει μία θέση συνδέσεως με την κάσα μανομέτρων, ενώ τα επιστόμια έχουν στην ένδειξη «liquid» ή «vapor». Συνήθως το επιστόμιο του υγρού είναι στο πλάι, ενώ το επιστόμιο του ατμού στην κορυφή.

γ) Τα **δοχεία συλλογής** είναι βαμμένα κατά το ήμισυ με γκρι χρώμα και κατά το ήμισυ με κίτρινο και έχουν δύο ξεχωριστά επιστόμια για το υγρό και το αέριο ψυκτικό μέσο (σχ. 10.6β). Επίσης, έχουν έναν πλωτήρα που αποτρέπει την πλήρωση σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 80% της χωρητικότητάς τους.

Πριν την αποστολή οποιουδήποτε δοχείου με ψυκτικό μέσο, πρέπει στην εξωτερική του πλευρά να τοποθετείται πινακίδα που αναγράφει το είδος του μέσου που περιέχει. Επίσης, τα επαναχρησιμοποιήσιμα δοχεία και τα δοχεία συλλογής πρέπει κάθε 5 χρόνια να ελέγχονται με υδραυλική δοκιμή. Ο χρόνος δοκιμής και το εργαστήριο που πραγματοποίησε τη δοκιμή σημαίνονται ανάγλυφα στην πάνω πλευρά του δοχείου.

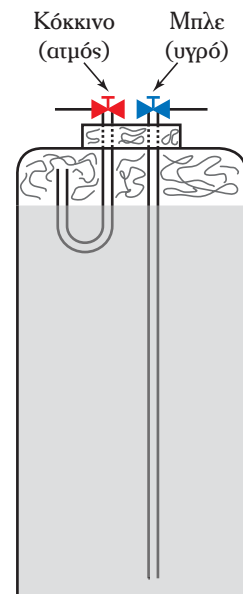
10.7 Εκκένωση της εγκαταστάσεως – Ανάκτηση ψυκτικού μέσου.

Η εκκένωση της εγκαταστάσεως πραγματοποιείται



Σχ. 10.6α.

Δοχεία αποθηκεύσεως χρωματισμένα ανάλογα με το ψυκτικό μέσο που περιέχουν.



Σχ. 10.6β.

Δοχεία συλλογής ψυκτικών μέσων.



είται για την επισκευή ή την αντικατάσταση του συμπυκνωτή ή της υγρής γραμμής. Επί πλέον χειρισμοί εκκενώσεως της εγκαταστάσεως γίνονται στην περίπτωση φορτίσεως με μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου. Για την πλήρη εκκένωση είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση μονάδας εκκενώσεως, ενώ μερική εκκένωση μπορεί να γίνει με το συμπιεστή της εγκαταστάσεως. Το ψυκτικό μέσο αποθηκεύεται σ' ένα δοχείο πίεσεως (κύλινδρο ψυκτικού μέσου). Το δοχείο πρέπει να διατηρείται βυθισμένο σε πάγο, έτσι ώστε το ψυκτικό μέσο να συμπυκνώνεται και να μην ανεβαίνει η πίεση στο δοχείο. Η διάταξη της μερικής εκκενώσεως με το συμπιεστή της εγκαταστάσεως φαίνεται στο σχήμα 10.7.

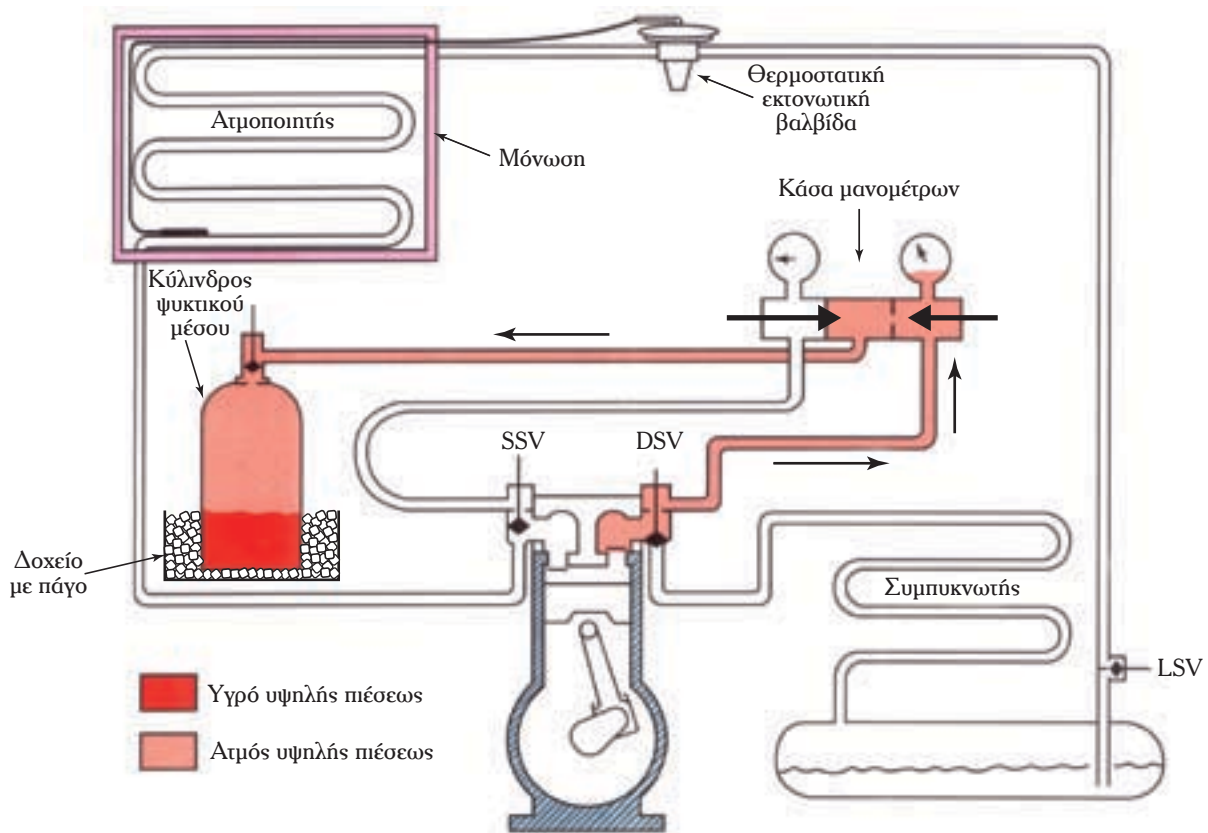
Η σειρά των χειρισμών μερικής εκκενώσεως (με το συμπιεστή της εγκαταστάσεως) έχει ως εξής:

α) Κλείνομε το επιστόμιο υγρού από το συλλέκτη προς τον ατμοποιτή.

β) Ζυγίζομε τον κύλινδρο αποθηκεύσεως και βεβαιωνόμαστε ότι χωράει την ποσότητα που θέλομε να αφαιρέσομε, χωρίς να φτάσει το 80% της χωρητικότητάς του. Ο κύλινδρος διατηρείται βυθισμένος σ' ένα

δοχείο με πάγο, ώστε να μην αυξηθεί η πίεσή του.

γ) Οι αγωγοί χαμηλής και υψηλής πίεσεως της κάσας μανομέτρων συνδέονται στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη του συμπιεστή αντίστοιχα. Ο κεντρικός αγωγός συνδέεται με το δοχείο συλλογής. Σε περίπτωση που ο συλλέκτης της εγκαταστάσεως δεν έχει βλάβη, κλείνομε τη βαλβίδα απομονώσεως της ροής προς την εκτονωτική βαλβίδα, ώστε να μην περνάει υγρό ψυκτικό μέσο προς τον ατμοποιτή. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν πρέπει να εκκενωθεί ο συλλέκτης, η βαλβίδα υγρού μένει ανοικτή. Η βαλβίδα συντηρήσεως στην αναρρόφηση (SSV) μένει στο μέσο της διαδρομής της και η αντίστοιχη βαλβίδα στην κάσα μανομέτρων είναι κλειστή, ώστε να παρακολουθείται η πίεση αναρροφήσεως. Ο αέρας στον εύκαμπο αγωγό από τη βαλβίδα συντηρήσεως στην κατάθλιψη (DSV) απομακρύνεται με τη μερική κοχλίωση του αγωγού στην κάσα μανομέτρων και με μικρό άνοιγμα της DSV. Στη συνέχεια η DSV κλείνει, ώστε οι ατμοί του μέσου να μην περνάνε προς το συμπιεστή, ενώ ανοίγει η βαλβίδα υψηλής πίεσεως στην κάσα μανομέτρων, ώστε οι ατμοί υψηλής πρέ-



Σχ. 10.7.

Σύνδεση κάσας μανομέτρων για εκκένωση της εγκαταστάσεως.

σεως μετά το συμπιεστή να πηγαίνουν στο δοχείο συλλογής.

δ) Εναλλακτικά στο βήμα (γ). Συνδέουμε την κάσα μανομέτρων ανάμεσα στον κύλινδρο αποθηκεύσεως και στη γραμμή του υγρού ψυκτικού μέσου στο συλλέκτη, στη **βαλβίδα επισκευής υγρού** (liquid service valve–LSV). Ο αέρας πρέπει να διώχνεται από τον αγωγό πριν τη σύσφιξη της συνδέσεως.

ε) Ανοίγουμε τη βαλβίδα του κυλίνδρου και της κάσας μανομέτρων στην υψηλή πίεση. Ο συμπιεστής ξεκινάει αυτόματη λειτουργία και το ψυκτικό μέσο αρχίζει να συσσωρεύεται μέσα στον κύλινδρο. Συνεχίζουμε ζυγίζοντας τον κύλινδρο, προσέχοντας να μην υπερβούμε το 80% της χωρητικότητας.

στ) Όταν αφαιρεθεί η επιθυμητή ποσότητα κλείνουμε την DSV ή την LSV και γίνεται κράτηση του συμπιεστή. Αφήνουμε το υγρό που έχει μείνει στον αγωγό να μπει στο δοχείο. Αποσυνδέουμε την κάσα μανομέτρων και ανοίγουμε το επιστόμιο παροχής υγρού από το συλλέκτη προς την εκτονωτική βαλβίδα.

Ο συμπιεστής κατά τη διάρκεια του χειρισμού πρέπει να εργάζεται με ενδιάμεσα διαστήματα παύσεως, ώστε να ψύχεται. Η συνεχής λειτουργία του συμπιεστή δεν συνιστάται, διότι δεν υπάρχει επαρκής ψύξη λόγω της απουσίας μεγάλης παροχής ατμών του ψυκτικού μέσου. Για ανάκτηση μεγαλύτερης ποσότητας ψυκτικού μέσου, ο κύλινδρος πρέπει στην αρχή να είναι κενός. Επίσης, μερικά σημεία της εγκαταστάσεως μπορεί να θερμαίνονται με ηλεκτρικές αντιστάσεις ή πιστολάκια θερμού αέρα. Η θερμοκρασία του συμπιεστή πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς, προκειμένου να μην υπάρξει υπερθέρμανση και βλάβη. Με τη μέθοδο αυτή δεν μπορεί να ελαττωθεί η πίεση στα απαιτούμενα επίπεδα, ώστε να ανακτηθεί πλήρως το ψυκτικό μέσο.

Για πλήρη ανάκτηση πρέπει να χρησιμοποιείται μια μονάδα ανακτήσεως μετά την ανάκτηση με το συμπιεστή της εγκαταστάσεως. Η σύνδεση της μονάδας ανακτήσεως γίνεται στον κεντρικό αγωγό της κάσας μανομέτρων (σχ. 10.5ε). Στην αρχή είναι καλύτερα να γίνεται ανάκτηση από την πλευρά του υγρού και στη συνέχεια από την πλευρά του ατμού, ώστε η διαδικασία να είναι πιο σύντομη. Η αλλαγή από συλλογή υγρού σε συλλογή αερίου γίνεται αυτόματα από τη μονάδα χωρίς παρέμβαση του χειριστή.

Επαναλαμβάνουμε ότι ο κύλινδρος του ψυκτικού μέσου δεν πρέπει να γεμίζεται πάνω από το 80% της χωρητικότητάς του, για την αποφυγή ατυχημάτων

από υπερπίεση. Κατά τη συλλογή του ψυκτικού μέσου πρέπει πάντα ο τεχνικός να φοράει προστατευτικά γυαλιά και γάντια.

10.8 Εκκένωση του ατμοποιητή και της γραμμής υγρού.

Για την επισκευή του τμήματος της εγκαταστάσεως από το συμπυκνωτή μέχρι και τον ατμοποιητή, συνδέεται η κάσα μανομέτρων στις βαλβίδες συντηρήσεως στην αναρρόφηση (SSV) και στην κατάθλιψη (DSV) του συμπιεστή. Η παροχή υγρού από τον συλλέκτη απομονώνεται και ξεκινάει η λειτουργία του. Επίσης πρέπει να απομονώνεται η παροχή υγρού στην αναρρόφηση του συμπιεστή, αν υπάρχει, με κλείσιμο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Η λειτουργία του συμπιεστή συνεχίζεται μέχρι την επίτευξη σταθερής χαμηλής πίεσεως. Για την πλήρη ατμοποίηση του υγρού ψυκτικού μέσου απ' τον ατμοποιητή, αυτός πρέπει να θερμαίνεται χωρίς τη χρήση φλόγας με ηλεκτρικές λάμπες ή με ζεστό νερό. Όταν η πίεση στο μανόμετρο χαμηλής πλευράς γίνει σχεδόν μηδενική κλείνεται η βαλβίδα επισκευής στην αναρρόφηση (SSV) και στη συνέχεια στην κατάθλιψη (DSV). Η διαδικασία εκκενώσεως του ατμοποιητή και της γραμμής υγρού φαίνεται στο σχήμα 10.8.

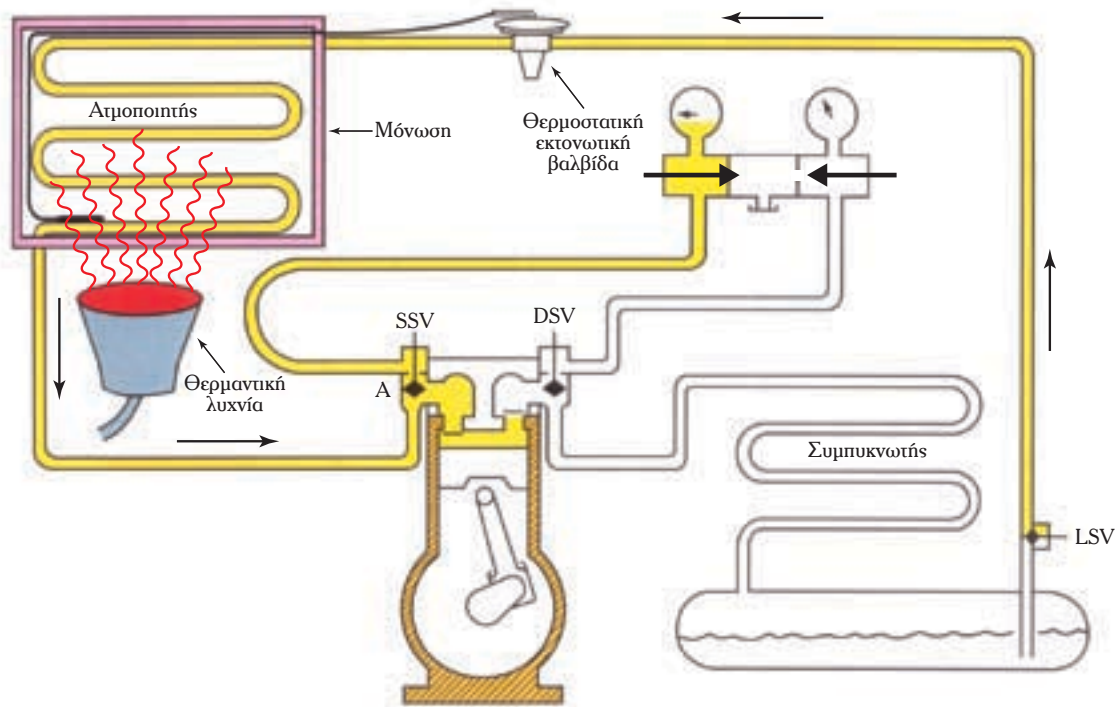
10.9 Καθαρισμός της εγκαταστάσεως.

Στις σωληνώσεις μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως μπορεί να έχουν συσσωρευτεί ακαθαρσίες, που οποίες δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τη δημιουργία κενού, όπως απομακρύνονται ο αέρας και η υγρασία. Τέτοιες ακαθαρσίες προέρχονται από τη διάσπαση του λιπαντικού λαδιού ή και του ψυκτικού μέσου λόγω της θερμότητας που αναπτύσσεται στο συμπιεστή. Για τον καθαρισμό της ψυκτικής εγκαταστάσεως από τέτοια κατάλοιπα ακολουθούνται τα εξής βήματα:

α) Αφαιρείται το ψυκτικό μέσο από την εγκατάσταση, όπως έχει περιγραφεί στη παράγραφο 10.7.

β) Όταν στην εγκατάσταση υπάρχει ερμητικός συμπιεστής, αυτός αντικαθίσταται μ' ένα νέο. Όταν υπάρχει ανοικτός ή ημιερμητικός γίνεται αντικατάσταση του λαδιού λιπάνσεως. Ο συμπιεστής δεν τίθεται σε λειτουργία.

γ) Με αποσυνδεδεμένους το συμπιεστή και το συμπυκνωτή, συνδέουμε τη φιάλη αζώτου στην υγρή



Σχ. 10.8.

Εκκένωση ατμοποιητή και γραμμής υγρού.

γραμμή πριν την εκτονωτική βαλβίδα. Ανοίγουμε τη φιάλη σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση συμπυκνώσεως. Οι ακαθαρσίες απομακρύνονται προς την πλευρά του συμπιεστή. Κατόπιν, αν ο συμπυκνωτής είναι αερόψυκτος, συνδέουμε τη φιάλη του αζώτου στην κατάθλιψη του συμπιεστή, οπότε οι ακαθαρσίες του συμπυκνωτή φεύγουν προς την πλευρά της εκτονωτικής βαλβίδας. Εάν η ροή του αζώτου επιβραδύνεται από την εκτονωτική βαλβίδα αυτή πρέπει να παρακάμπεται.

δ) Τοποθετούμε νέο φίλτρο-αφυγραντήρα και συνδέουμε τις σωλίνες της εγκατάστασης.

ε) Δημιουργούμε κενό της τάξεως των 250 microns στο σύστημα, ελέγχουμε για διαρροή και φορτίζουμε με ψυκτικό μέσο.

στ) Στην εγκατάσταση τώρα ενδεχομένως να υπάρχουν επιβλαβείς ουσίες σε στερεή μορφή, όπως αιθάλη και λάδι που έχουν διασπασθεί. Η εγκατάσταση αφήνεται να λειτουργήσει, ώστε να κυκλοφορήσει το ψυκτικό μέσο από το φίλτρο. Αν διαπιστωθεί μεγάλη πώση πίεσεως στο φίλτρο ή εάν παρατηρείται μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του φίλτρου, το φίλτρο χρειάζεται αντικατάσταση. Η πώση πίεσεως για την οποία απαιτείται αντικατάσταση του φίλτρου ορίζεται από τον κατασκευαστή του φίλτρου.

10.10 Δημιουργία κενού – Αφύγρανση της εγκατάστασης.

Μετά από κάποια επισκευή ή αντικατάσταση κάποιου μεγάλου εξαρτήματος του δικτύου, η δημιουργία κενού πριν την πλήρωση με ψυκτικό μέσο, είναι απαραίτητη για την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων. Με τη δημιουργία συνθηκών κενού γίνεται εξάτμιση της υγρασίας που βρίσκεται σε μορφή συμπυκνώματος στις σωληνώσεις και οι υδρατμοί που σχηματίζονται απομακρύνονται προς την ατμόσφαιρα από την αντλία κενού. Σε περίπτωση που η υγρασία μείνει μέσα στην εγκατάσταση προκαλεί αλλοίωση του λιπαντικού λαδιού και παγοφραγμό στην εκτονωτική βαλβίδα. Επίσης, η συγκέντρωση υγρασίας διαβρώνει τα μεταλλικά μέρη και προκαλεί φθορές στις διάφορες βαλβίδες της ψυκτικής εγκατάστασης. Επίσης, λόγω της υγρασίας και του αέρα που περιέχεται σε μία εγκατάσταση πραγματοποιείται μεταφορά μορίων του χαλκού από τις σωληνώσεις στο λάδι που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση. Ο χαλκός στη συνέχεια επικάθεται στα μεταλλικά μέρη και τα καταστρέφει.

Η συγκράτηση της υγρασίας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης γίνεται από τα αφυγραντικά φίλτρα. Τέτοια φίλτρα όσο χαμηλότε-

ρη θερμοκρασία έχουν τόσο περισσότερη υγρασία συγκρατούν και γι' αυτόν το λόγο πρέπει να τοποθετούνται όσο πιο κοντά γίνεται στην εκτονωτική βαλβίδα. Τα αφυγραντικά φίλτρα όταν απορροφούν υγρασία θερμαίνονται ελαφρά. Επί πλέον, απελευθερώνουν μέρος της υγρασίας που έχουν συγκρατήσει όταν θερμανθούν.

Η απόλυτη ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας είναι κατά μέσο όρο $14,696 \text{ psia} (= 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar} = 29,92 \text{ inHg} = 760 \text{ mmHg})$. Αυτό σημαίνει ότι η στήλη του υδραργύρου στο υδραργυρικό μανόμετρο έχει ύψος 760 mm , όταν η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Όταν η πίεση είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική τότε έχουμε κενό. Το ύψος της στήλης του υδραργύρου μειώνεται όταν μειώνεται η πίεση και μετρείται ως η διαφορά ύψους κάτω από το αρχικό ύψος των 760 mm . Αυτό σημαίνει ότι το πλήρες κενό, όπου η στήλη υδραργύρου έχει ύψος 0 mm , αντιστοιχεί σε μετακίνηση της στήλης κατά 760 mmHg . Η ένδειξη αυτή είναι και η ένδειξη του υδραργυρικού μανομέτρου είναι το ύψος της στήλης από τη στάθμη του υδραργύρου (σχ. 10.10α). Στον πίνακα 10.10 φαίνονται οι μονάδες μετρήσεως του κενού σε psia , inHg , bar και mmHg κατά το αγγλοσαξονικό και κατά το ευρωπαϊκό σύστημα. Το κάθε mmHg αντιστοιχεί σε 1000 microns ή αλλιώς:

$$1 \text{ micron} = 10^{-3} \text{ mmHg}$$

Όταν πρόκειται να μετρήσουμε βαθύ κενό, τότε η μετακίνηση κατά 1 mm του υδραργυρικού μανομέτρου αντιστοιχεί σε 1000 microns . Έτσι, για την επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας χρησιμοποιείται ηλεκτρονικό όργανο, το οποίο περιλαμβάνει ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο και μία οθόνη, στην οποία διαβάζουμε το κενό σε microns . Όταν χρησιμοποιεί-

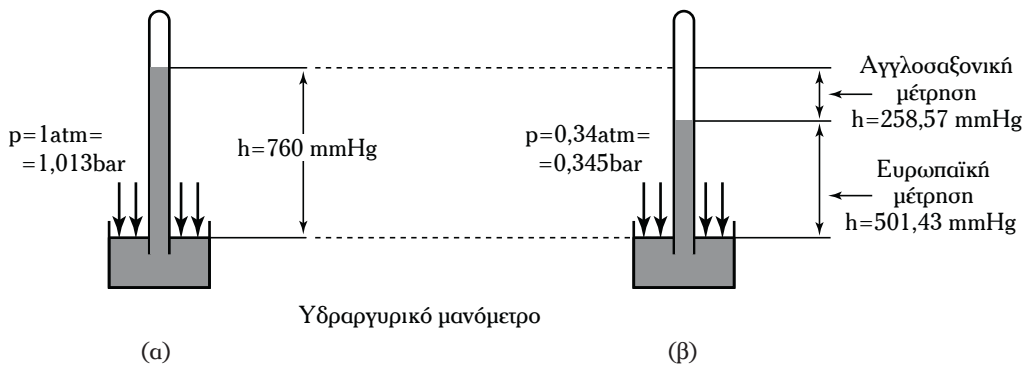
ται υδραργυρικό μανόμετρο, η ένδειξή του πρέπει να μετασχηματίζεται με βάση τον πίνακα 10.10.

Από τον πίνακα 10.10 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το νερό γίνεται ατμός σε συνήθεις θερμοκρασίες για κενό της τάξεως των 15.000 microns . Στην πράξη, με τις σύγχρονες αντλίες κενού επιτυγχάνεται κενό της τάξεως των $20\text{--}50 \text{ microns}$, ενώ κενό της τάξεως των 500 microns πρέπει να δημιουργηθεί για να γίνει αφύγρανση από όλα τα σημεία της εγκαταστάσεως. Έτσι στην πράξη είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός ηλεκτρονικού μετρητή κενού, που όπως εξηγήσαμε δίνει πολύ καλύτερη ακρίβεια από το υδραργυρικό μανόμετρο. Η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται η εγκατάσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$, ώστε να είναι δυνατή η εξάτμιση του νερού. Για την ταχεία δημιουργία κενού σε όλη την εγκατάσταση είναι βασική η μη ύπαρξη στενώσεων που δημιουργούνται από βαλβίδες και επιστόμια. Αν υπάρχουν, αυτές θα πρέπει να ανοίγονται ή να παρακάμπτονται. Επίσης, οι εύκαμπτοι σωλήνες της κάσας μανομέτρων πρέπει να είναι όσο πιο μεγάλης διαμέτρου και όσο μικρότερου μήκους γίνεται. Η δημιουργία κενού στην εγκατάσταση γίνεται έτσι, ώστε να επιτευχθεί πλήρης αφύγρανση. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

α) Αφαιρούμε το ψυκτικό μέσο από την εγκατάσταση (παράγρ. 10.7).

β) Αφαιρούμε το λάδι από την ελαιολεκάνη του συμπιεστή. Η συμπλήρωση με λάδι θα γίνει μετά την αφύγρανση της εγκαταστάσεως. Γεμίζουμε την εγκατάσταση με άζωτο και δοκιμάζουμε με πίεση για την ύπαρξη διαρροών.

γ) Απελευθερώνουμε την πίεση από την εγκατάσταση. Συνδέουμε την κάσα μανομέτρων και την αντλία κενού. Αν έχουμε, συνδέουμε τον ηλεκτρονικό μετρητή κενού.



Σχ. 10.10α.

Υδραργυρικό μανόμετρο: (α) σε ατμοσφαιρική πίεση, (β) σε πίεση κενού $0,34 \text{ atm}$ όπου φαίνεται ο ευρωπαϊκός και ο αγγλοσαξονικός τρόπος μετρήσεως.

Πίνακας 10.10
Μέτρηση κενού και σημείο ατμοποίησης του νερού κατά το ευρωπαϊκό
και κατά το αγγλοσαξονικό σύστημα μετρήσεως.

Απόλυτη πίεση				Ένδειξη υδραργυρικού μανομέτρου		Θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού	
				αγγλοσαξονικό σύστημα	ευρωπαϊκό σύστημα		
<i>psia</i>	<i>inHg</i>	<i>bar</i>	<i>microns</i>	<i>mmHg</i>	<i>mmHg</i>	°C	°F
14,7	29,92	1,013	759.999	760	0	100	212
14	28,5	0,965	724.006	724,01	35,99	98,64	209,56
13	26,47	0,896	672.291	672,29	87,71	96,6	205,88
12	24,43	0,827	620.576	620,58	139,42	94,42	201,96
11	22,4	0,758	568.862	568,86	191,14	92,08	197,75
10	20,36	0,689	517.147	517,15	242,85	89,56	193,21
9	18,32	0,621	465.432	465,43	294,57	86,82	188,28
8	16,29	0,552	413.717	413,72	346,28	83,81	182,86
7	14,25	0,483	362.003	362	398	80,47	176,85
6	12,22	0,414	310.288	310,29	449,71	76,7	170,06
5	10,18	0,345	258.573	258,57	501,43	72,36	162,24
4	8,14	0,276	206.859	206,86	553,14	67,21	152,97
3	6,11	0,207	155.144	155,14	604,85	60,82	141,48
2	4,07	0,138	103.429	103,43	656,57	52,27	126,08
1	2,04	0,069	51.715	51,71	708,28	38,74	101,74
0,9	1,83	0,062	46.543	46,54	713,46	36,8	98,24
0,8	1,63	0,055	41.372	41,37	718,63	34,66	94,38
0,7	1,43	0,048	36.200	36,2	723,8	32,27	90,08
0,6	1,22	0,041	31.029	31,03	728,97	29,56	85,21
0,5	1,02	0,034	25.857	25,86	734,14	26,43	79,58
0,4	0,81	0,028	20.686	20,69	739,31	22,7	72,86
0,3	0,61	0,021	15.514	15,51	744,48	18,04	64,47
0,2	0,41	0,014	10.343	10,34	749,66	11,74	53,14
0,1	0,2	0,007	5.171	5,17	754,83	1,67	35

δ) Ανοίγουμε τις βαλβίδες συντηρήσεως του συμπιεστή και όλα τα επιστόμια υγρού, τα οποία πρέπει να είναι ανοικτά, ώστε να επιταχυνθεί η αφαίρεση του αέρα. Ανοίγουμε τις σωληνοειδείς βαλβίδες και κλείνουμε όλες τις βαλβίδες στα σημεία εξαγωγής προς την ατμόσφαιρα. Επίσης, ανοίγουμε όλες τις χειροκίνητες εκτονωτικές βαλβίδες και γενικά όλες τις βαλβίδες που συνδέουν τις πλευρές υψηλής και χαμηλής πίεσεως. Μία κλειστή βαλβίδα ενδεχομένως να δημιουργήσει έναν χώρο απ' όπου δεν είναι δυ-

νατή η απομάκρυνση του αέρα (π.χ. ανάμεσα στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα στη γραμμή του υγρού και στην εκτονωτική). Αν δεν υπάρχει γραμμή παρακάμψεως ανάμεσα στην υψηλή και στη χαμηλή πίεση, πρέπει να κατασκευαστεί μία τέτοια.

ε) Ανοίγουμε τη βαλβίδα στην αντλία κενού και την εκκινούμε. Ανοίγουμε τη βαλβίδα υγρού.

στ) Ανοίγουμε τη βαλβίδα της κάσας μανομέτρων στο μανόμετρο χαμηλής πίεσεως και διαβάζουμε την πίεση, η οποία αρχίζει να πέφτει. Η αντλία κενού

αφήνεται να λειτουργεί μέχρι η πίεση να φτάσει τα 15.000 microns. Το στάδιο αυτό διαρκεί 18 έως 72 ώρες, ανάλογα με το μέγεθος της εγκαταστάσεως και την υγρασία που περιέχει. Η αδυναμία επιτεύξεως κενού 15.000 microns σ' αυτό το στάδιο μπορεί να οφείλεται: **πρώτον** σε διαρροή, **δεύτερον** σε κλειστή βαλβίδα υγρού, **τρίτον** σε ελαττωματική αντλία κενού, **τέταρτον** σε ελαττωματικό όργανο μετρήσεως κενού και **πέμπτον** σε θερμοκρασία της εγκαταστάσεως χαμηλότερη από 15 °C. Όταν η πίεση αυξάνεται στην αρχή απότομα και μετά μένει σταθερή, αυτό οφείλεται στην ύπαρξη νερού στις σωληνώσεις. Όταν η πίεση συνεχίζει να αυξάνεται γραμμικά με το χρόνο, σημαίνει ότι υπάρχει διαρροή.

ζ) Κλείνουμε το επιστόμιο στην υγρή γραμμή, το επιστόμιο χαμηλής πιέσεως στην κάσα μανομέτρων και σταματάμε την αντλία κενού. Συνδέουμε τη φιάλη ξηρού αζώτου με το ρυθμιστή και δίνουμε μανομετρική πίεση περίπου 1 bar.

η) Αφαιρούμε τη φιάλη του αζώτου και αφήνουμε την υπερπίεση της εγκαταστάσεως στην ατμόσφαιρα. Ανοίγουμε τα επιστόμια της κάσας μανομέτρων και ξεκινάμε τη λειτουργία της αντλίας κενού. Ανοίγουμε τη βαλβίδα στην υγρή γραμμή και επαναλαμβάνουμε τη δημιουργία κενού μέχρι τα 500 microns.

θ) Κλείνουμε τα επιστόμια της κάσας μανομέτρων και σταματάμε την αντλία κενού. Παρακολουθούμε το κενό για τουλάχιστον 15 min. Αν το κενό διατηρείται, τότε η εγκατάσταση είναι έτοιμη για πλήρωση (βλ. παράγρ. 10.11).

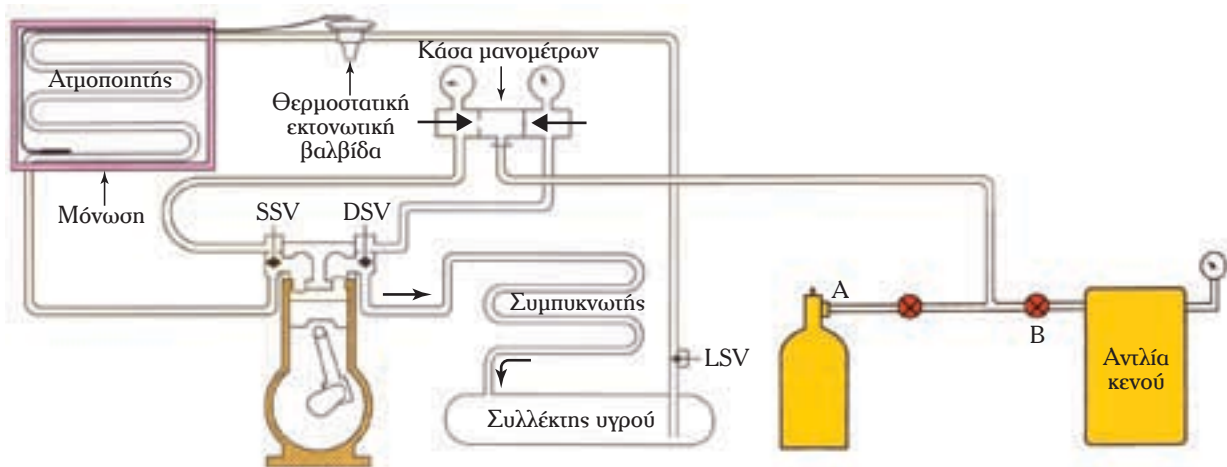
Μετά την πλήρωση της εγκαταστάσεως με ψυκτικό μέσο και πριν τη λειτουργία της πρέπει να βάλω-

με νέο λάδι στο συμπιεστή. Η διαδικασία της δημιουργίας κενού παρουσιάζεται στο σχήμα 10.10β. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι σε περίπτωση ανάγκης όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη αντλία κενού στο πλοίο, η δημιουργία κενού μπορεί να επιτευχθεί με σύνδεση της εγκαταστάσεως με το βραστήρα παραγωγής αποσταγμένου νερού. Οι χειρισμοί πρέπει σ' αυτήν την περίπτωση να γίνονται με προσοχή και ακατάλληλο χειρισμό των επιστομίων που θα τοποθετηθούν στην άκρη της γραμμής συνδέσεως, ώστε να μην υπάρχει είσοδος νερού από το βραστήρα στην εγκατάσταση. Αυτό εξασφαλίζεται αν η πίεση στην εγκατάσταση είναι πάντα κατά τι μεγαλύτερη από την πίεση στο βραστήρα.

10.11 Πλήρωση με ψυκτικό μέσο.

Η απαραίτητη ποσότητα ψυκτικού μέσου που πρέπει να προστεθεί στην εγκατάσταση όταν είναι τελείως κενή, καθορίζεται στο εγχειρίδιο της εγκαταστάσεως. Η αναγραφόμενη ποσότητα πάντως έχει προκύψει από υπολογισμούς και συνήθως διαφέρει από την ποσότητα που απαιτείται στην πραγματικότητα. Η πραγματική ποσότητα του ψυκτικού μέσου καθορίζεται με δοκιμές. Η φόρτιση της εγκαταστάσεως με μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου προκαλεί αύξηση της πιέσεως καταθλίψεως και της θερμοκρασίας υποψύξεως του υγρού στον εναλλάκτη. Η πλήρωση με μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου προκαλεί ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα συμπτώματα:

- Πτώση πιέσεως καταθλίψεως.
- Χαμηλή στάθμη υγρού στο συλλέκτη.
- Φυσαλίδες στο δείκτη ροής.



Σχ. 10.10β.

Δημιουργία κενού και αφύγρανση της εγκαταστάσεως.

δ) Μη διακοπόμενη ή μικρής διάρκειας λειτουργία του συμπιεστή.

ε) Σφύριγμα στην εκτονωτική βαλβίδα.

Εάν μία εγκατάσταση χρειάζεται συνεχώς συμπλήρωση με ψυκτικό μέσο, τότε πρέπει το συντομότερο να προσδιοριστεί και να επισκευαστεί το σημείο διαρροής. Όσο μικρότερη είναι η εγκατάσταση, τόσο πιο γρήγορα πρέπει να επισκευαστούν οι διαρροές, έτσι ώστε να αποφευχθούν μελλοντικά προβλήματα.

Η συμπλήρωση του ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση μπορεί να γίνει:

α) Με συμπλήρωση αερίου ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή και

β) με συμπλήρωση υγρού ψυκτικού μέσου στην υγρή γραμμή μετά το συλλέκτη.

Η συμπλήρωση αερίου προτιμάται να γίνεται σε μικρές εγκαταστάσεις, ενώ η συμπλήρωση υγρού είναι ταχύτερη και γίνεται για αρχική πλήρωση με ψυκτικό μέσο σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Επίσης, συμπλήρωση υγρού γίνεται όταν το ψυκτικό μέσο είναι αζεotropικό μείγμα σειράς R-400 ή R-500, ώστε να μην αλλάξει η σύσταση του μείγματος στην εγκατάσταση.

10.11.1 Συμπλήρωση αερίου ψυκτικού μέσου.

Η συμπλήρωση αερίου ψυκτικού μέσου γίνεται από την πλευρά της αναρροφήσεως του συμπιεστή. Γι' αυτόν το σκοπό συνδέεται η κάσα μανομέτρων στις βαλβίδες επισκευής στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη του συμπιεστή. Η φιάλη του ψυκτικού μέσου συνδέεται από τη βαλβίδα του αερίου με τη μεσαία θέση συνδέσεως της κάσας μανομέτρων. Αν η φιάλη έχει μία μόνο βαλβίδα, τοποθετείται σε όρθια θέση, ώστε να δίνει αέριο ψυκτικό μέσο. Για την ακριβή παρακολούθηση της ποσότητας του ψυκτικού μέσου που εισέρχεται στην εγκατάσταση, η φιάλη πρέπει να τοποθετείται σε μία ηλεκτρονική ζυγαριά. Πριν την πλήρη σύσφιξη των συνδέσεων της κάσας μανομέτρων πρέπει να διωχθεί ο ατμοσφαιρικός αέρας με μία μικρή ροή ψυκτικού μέσου. Ο συμπιεστής τίθεται σε λειτουργία και ανοίγεται η βαλβίδα της φιάλης, οπότε αέριο μέσο αρχίζει να εισέρχεται στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η συμπλήρωση συνεχίζεται μέχρι την επίτευξη της επιθυμητής πίεσεως καταθλίψεως ή μέχρι να παρατηρήσουμε την επιθυμητή στάθμη στο συλλέκτη υγρού ή μέχρι να σταματήσουν τα συμπώματα υπάρξεως μικρής ποσότητας ψυκτικού μέσου που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η διαδικασία της συμπληρώσεως αερίου ψυκτικού μέσου παρουσιάζεται στο σχήμα 10.11α.

10.11.2 Συμπλήρωση υγρού ψυκτικού μέσου.

Η συμπλήρωση υγρού ψυκτικού μέσου γίνεται στην υγρή γραμμή μετά το συλλέκτη και πριν το αφυγραντικό φίλτρο. Σε μία εγκατάσταση που λειτουργεί, η θερμοκρασία και η πίεση στο συλλέκτη υγρού είναι μεγαλύτερη από την πίεση και τη θερμοκρασία της φιάλης του ψυκτικού μέσου. Έτσι, η φιάλη του ψυκτικού μέσου δεν μπορεί να συνδεθεί στο συλλέκτη, διότι θα υπάρξει ροή από το συλλέκτη προς τη φιάλη. Γι' αυτόν το λόγο η φιάλη του ψυκτικού μέσου συνδέεται μετά το συλλέκτη και πριν τον αφυγραντήρα της εγκαταστάσεως και ο συλλέκτης υγρού απομονώνεται από το συμπυκνωτή κλείνοντας το επιστόμιό του. Για τη συμπλήρωση υγρού ψυκτικού μέσου στην υγρή γραμμή τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

α) Κλείνουμε τη γραμμή παρακάμψεως του αφυγραντήρα και ανοίγουμε τις βαλβίδες στην είσοδο και στην έξοδο του. Βεβαιωνόμαστε ότι η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα προς την εκτονωτική είναι ανοικτή.

β) Τοποθετούμε τον κύλινδρο του ψυκτικού μέσου σε μία ζυγαριά και την οποία μηδενίζουμε.

γ) Συνδέουμε τον κύλινδρο με τη βαλβίδα πληρώσεως στην πλευρά του υγρού. Πριν την πλήρη σύσφιξη του αγωγού απομακρύνουμε τον αέρα που περιέχει μ' ένα μικρό άνοιγμα της φιάλης του ψυκτικού μέσου.

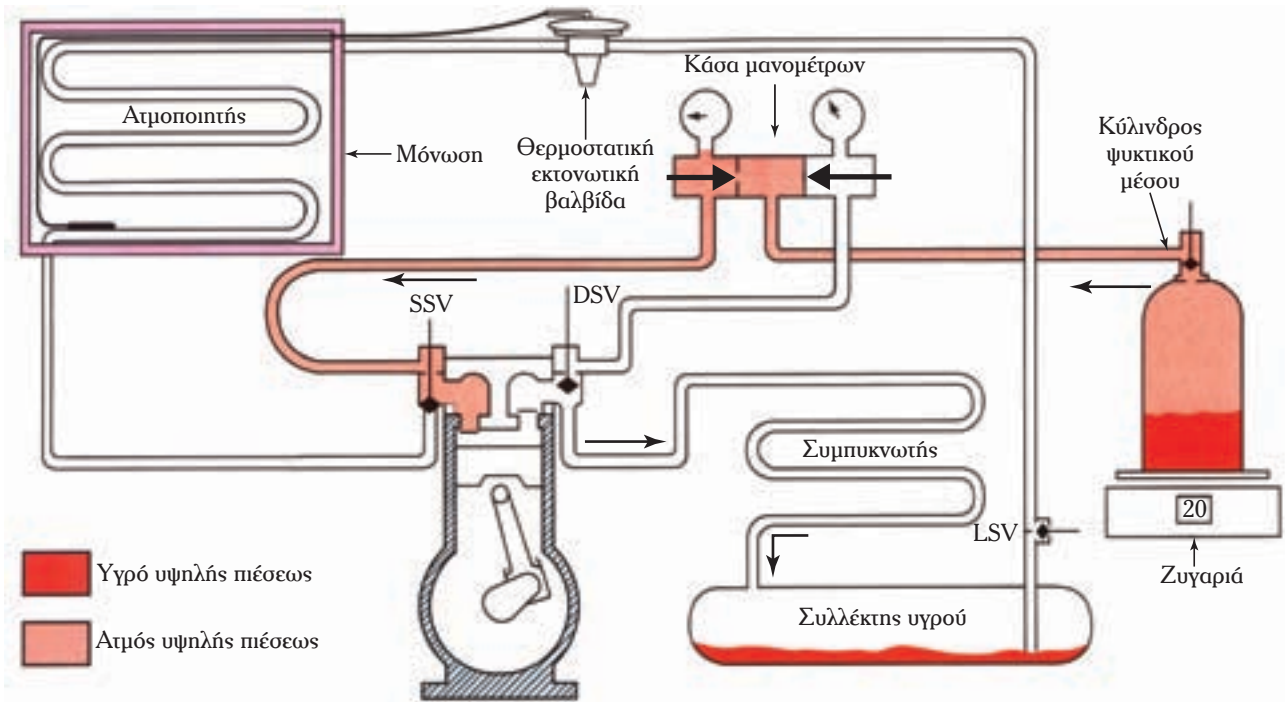
δ) Κλείνουμε τη βαλβίδα υγρού από το συμπυκνωτή, προς το συλλέκτη και αφήνουμε το συμπιεστή να λειτουργήσει μέχρι την κράτησή του από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως.

ε) Ανοίγουμε τη βαλβίδα συμπληρώσεως και τη βαλβίδα της φιάλης. Το υγρό ψυκτικό μέσο αρχίζει να ρέει προς την εκτονωτική βαλβίδα, οπότε ο συμπιεστής θα ξεκινήσει να λειτουργεί.

στ) Η πλήρωση συνεχίζεται μέχρι την επίτευξη της επιθυμητής στάθμης στο συλλέκτη ή μέχρι τη μεταφορά επιθυμητού βάρους ψυκτικού μέσου. Η ύπαρξη φυσαλλίδων στο δείκτη ροής και η χαμηλή στάθμη στο συλλέκτη σημαίνουν την ανάγκη για περαιτέρω πλήρωση. Με τη συμπλήρωση της επιθυμητής ποσότητας, κλείνουμε τη βαλβίδα της φιάλης και ο συμπιεστής αφήνεται να λειτουργήσει μέχρι την κράτησή του από χαμηλή πίεση.

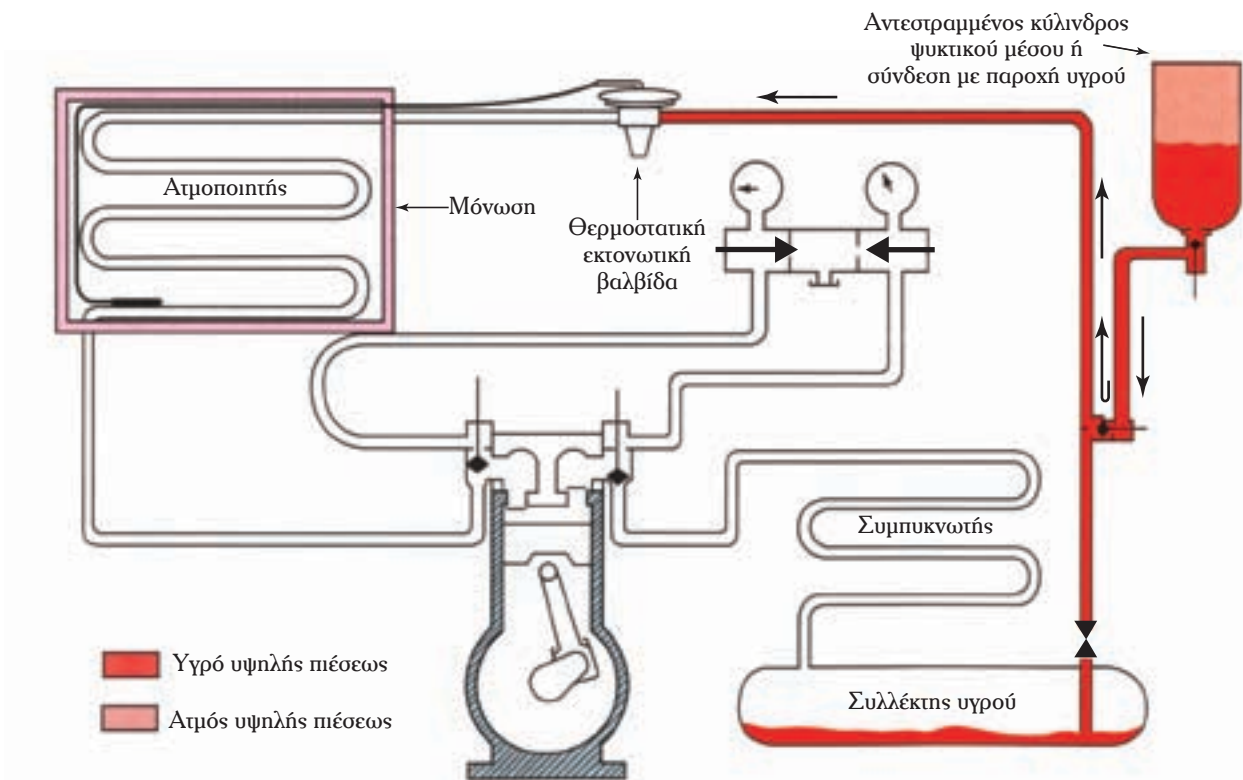
ζ) Κλείνουμε τη βαλβίδα συμπληρώσεως υγρού και αποσυναρμολογούμε τη φιάλη του ψυκτικού μέσου. Ανοίγουμε τη βαλβίδα υγρού στο συλλέκτη.

Η διαδικασία της συμπληρώσεως υγρού ψυκτικού μέσου φαίνεται στο σχήμα 10.11β.



Σχ. 10.11α.

Συμπλήρωση αερίου ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή.



Σχ. 10.11β.

Συμπλήρωση υγρού ψυκτικού μέσου στην υγρή γραμμή.

10.12 Έλεγχος για ύπαρξη αέρα στο συμπυκνωτή – Απαερίωση.

Ο αέρας και τα αέρια που υπάρχουν στην εγκατάσταση και δεν συμπυκνώνονται, τελικά συγκεντρώνονται στο συμπυκνωτή και στο συλλέκτη υγρού. Εκεί, δημιουργούν αύξηση της πίεσεως συμπυκνώσεως και αύξηση της καταναλώσεως ενέργειας από το συμπιεστή.

Η ύπαρξη αέρα μπορεί να διαπιστωθεί με την ακόλουθη δοκιμή, η οποία μπορεί να γίνει εφόσον υπάρχει κανονική ποσότητα ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση. Για τη διαπίστωση της υπάρξεως αέρα πρέπει να ακολουθηθούν τα εξής βήματα:

α) Κλείνομε τη βαλβίδα παροχής υγρού από το συλλέκτη και αφήνομε να λειτουργήσει ο συμπιεστής μέχρι την κράτησή του από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως.

β) Κλείνομε την ηλεκτρική παροχή στο συμπιεστή και στη βαλβίδα αναρροφήσεως.

γ) Ανοίγομε τη ροή του νερού στο συμπυκνωτή και παρατηρούμε την πτώση της πίεσεως του ψυκτικού μέσου. Αν δεν υπάρχει μανόμετρο στο συμπυκνωτή, η παρακολούθηση της πίεσεως συμπυκνώσεως γίνεται με την κάσα μανομέτρων. Αφού πέσει η πίεση συμπυκνώσεως, στη συνέχεια σταθεροποιείται. Αυτή είναι η πίεση συμπυκνώσεως. Ταυτόχρονα με την πίεση συμπυκνώσεως μετρούμε τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου. Πρέπει να τονισθεί ότι η μετρούμενη πίεση συμπυκνώσεως είναι η μανομετρική. Η απόλυτη πίεση συμπυκνώσεως υπολογίζεται με πρόσθεση της ατμοσφαιρικής πίεσεως, η οποία είναι προσεγγιστικά 15 psi. Εναλλακτικά, για επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας μπορεί για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσεως να χρησιμοποιηθεί βαρόμετρο.

δ) Συγκρίνομε τη μετρούμενη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου με τη θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στην απόλυτη πίεση συμπυκνώσεως. Η θερμοκρασία κορεσμού λαμβάνεται από τα διαγράμματα ιδιοτήτων των ψυκτικού μέσου. Όταν η μετρούμενη θερμοκρασία είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία κορεσμού, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει αέρας στην εγκατάσταση. Όταν η διαφορά των δύο θερμοκρασιών είναι μεγαλύτερη από 3 °C, πρέπει να γίνει απαερίωση.

Η απαερίωση γίνεται ανάλογα με το είδος του απαεριωτήρα που υπάρχει στην εγκατάσταση, όπως

έχει περιγραφεί (Κεφ. 6). Η πιο απλή μέθοδος απαερίωσης είναι η χειροκίνητη, όταν δεν υπάρχει κάποιος απαεριωτήρας. Στην περίπτωση αυτή το νερό ψύξεως αφήνεται να κρυώσει το συμπυκνωτή για 15 min μετά την κράτηση του συμπιεστή και στη συνέχεια ανοίγεται για λίγα δευτερόλεπτα η βαλβίδα στην κορυφή του συμπυκνωτή. Η πίεση συμπυκνώσεως μειώνεται και ελέγχεται μετά από κάθε απαερίωση. Οι διαδοχικές απαερίώσεις συνεχίζονται μέχρι η διαφορά της θερμοκρασίας κορεσμού και της μετρούμενης θερμοκρασίας να γίνει μικρότερη από 3 °C.

10.13 Αντικατάσταση ψυκτικών μέσων.

Η ανάγκη για την αντικατάσταση του εργαζόμενου ψυκτικού προκύπτει σε παλιές εγκαταστάσεις, όταν το μέσο για το οποίο έχει σχεδιαστεί η εγκατάσταση είναι δυσεύρετο ή ακριβό. Αυτό συμβαίνει σε εγκαταστάσεις που εργάζονται με χλωροφθοράνθρακες (CFC), οι οποίοι περιέχουν χλώριο και είναι βλαβεροί για την ατμόσφαιρα. Οι πιο συνηθισμένοι χλωροφθοράνθρακες που χρησιμοποιούνται εδώ και σχεδόν 70 χρόνια στις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι: R-11, R-12, R-113, R-114 και R-115. Λόγω του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ που ψηφίστηκε το 1987, έχει σταματήσει η παραγωγή των CFC, οπότε αυτά τα ψυκτικά μέσα είναι διαθέσιμα μόνο σε μικρές ποσότητες και είναι ακριβά. Τα CFC στις παλιές εγκαταστάσεις αντικαθίστανται από υδροφθοράνθρακες (HFC), όταν υπάρχει κατάλληλη τέτοια ουσία αντικαταστάσεως. Όταν δεν υπάρχει κατάλληλο ψυκτικό μέσο χωρίς χλώριο (HFC) για την αντικατάσταση του CFC που υπάρχει σε μία εγκατάσταση, η αντικατάσταση γίνεται με υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC), οι οποίοι περιέχουν μεν χλώριο, αλλά είναι άτομα λιγότερο σταθερά και γι' αυτό λιγότερο επιβλαβή για τη στοιβάδα του όζοντος. Εκτός από τη βλάβη στην εξωτερική στοιβάδα του όζοντος που προκαλεί ένα ψυκτικό μέσο που επιλέγεται να αντικαταστήσει ένα CFC, λαμβάνεται υπόψη και η συνεισφορά του στη θέρμανση του πλανήτη μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη και η συμβατότητά του με το λιπαντικό που χρησιμοποιείται στην ψυκτική εγκατάσταση. Συνήθως, όλα τα HFC έχουν μεγαλύτερες πιέσεις λειτουργίας από τα CFC που αντικαθιστούν. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη καταπόνηση του συμπιεστή, ο οποίος ίσως χρειαστεί να αλλάξει.

Όταν χρησιμοποιούνται CFC η λίπανση γίνεται με ορυκτό λάδι (ΜΟ), το οποίο όπως έχουμε πει κυκλοφορεί σ' όλη την εγκατάσταση. Με τα ΗFC δεν είναι δυνατή η χρήση ορυκτού λιπαντικού λαδιού, καθώς αυτό δεν διαλύεται από τα νέα ψυκτικά μέσα. Έτσι για τα ΗFC έχουν αναπτυχθεί νέα συνθετικά λάδια με πολυεστερική βάση (ΡΟΕ). Η μη συμβατότητα των παλαιών λιπαντικών με τα νέα ψυκτικά μέσα συνεπάγεται την ανάγκη συλλογής και αντικατάστασής τους και του λιπαντικού λαδιού, όταν γίνεται αντικατάσταση του ψυκτικού μέσου.

Η δυνατότητα αντικατάστασής τους εξαρτάται από την κατάσταση των εξαρτημάτων της εγκατάστασής τους και τη συμβατότητά τους με το νέο ψυκτικό μέσο και το νέο λιπαντικό λάδι. Επί πλέον, θα πρέπει οι πιέσεις λειτουργίας με το νέο ψυκτικό μέσο να ανταποκρίνονται στις πιέσεις σχεδίασής τους. Γι' αυτούς τους λόγους οι εταιρείες παραγωγής ψυκτικών μέσων έχουν αναπτύξει ψυκτικά μέσα ή μείγματα ψυκτικών μέσων, τα οποία προορίζονται να αντικαταστήσουν τα CFC.

Το R-22 που χρησιμοποιείται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις θα αρχίσει να αντικαθίσταται, σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, κυρίως λόγω της επιδράσεώς του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι ημερομηνίες αποσύρσεως του R-22 θα διαφέρουν από χώρα σε χώρα, αλλά από το 2010 δεν παράγεται εξοπλισμός για ψυκτικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αυτό το ψυκτικό μέσο, ενώ από το 2020 θα απαγορευτεί η κατασκευή νέων ψυκτικών εγκαταστάσεων ξηράς και πλοίων με R-22. Το 2030 προβλέπεται η οριστική απόσυρση του R-22. Το R-22 είναι ένα ψυκτικό μέσο υψηλής πίεσεως με μεγάλη ειδική ψυκτική ικανότητα και η αντικατάστασή του δεν είναι εύκολο να γίνει από το R-134a, αν και το τελευταίο θεωρείται ότι είναι ένα εναλλακτικό ψυκτικό μέσο για το R-22. Εναλλακτικά μέσα για το R-22 είναι επίσης τα μείγματα R-404a, R410a, R-407C, καθώς και το προπάνιο και η αμμωνία. Με τη χρήση των μειγμάτων επιτυγχάνονται παρόμοιες ιδιότητες που έχει το R-22, αλλά υπάρχει ο κίνδυνος της μεταβολής της συστάσεως του μείγματος, όταν υπάρχει απώλεια σε σημεία της εγκατάστασής όπου γίνεται μερική ατμοποίηση ή υγροποίηση. Η αμμωνία είναι τοξική και το προπάνιο είναι εκρηκτικό και έτσι η αναζήτηση ψυκτικών μέσων καταλλήλων για την αντικατάσταση του R-22 συνεχίζεται.

Για την αντικατάσταση του ψυκτικού μέσου μίας

εγκαταστάσεως, πρέπει πρώτα να συμβουλευτούμε το σχεδιαστή της εγκαταστάσεως, ο οποίος θα καθορίσει το κατάλληλο μέσο αντικατάστασής και τα μέρη του εξοπλισμού που δεν είναι συμβατά και πρέπει να αλλάξουν. Συνήθως απαιτείται αλλαγή σε στεγανωτικά παρεμβύσματα και στεγανωτικούς δακτυλίους (O-ring), ώστε να μην υπάρχει διαρροή από βαλβίδες και εξαρτήματα. Επίσης, συνήθως αντικαθίσταται ή ρυθμίζεται και η εκτονωτική διάταξη.

Για υπάρχουσες ψυκτικές εγκαταστάσεις που εργάζονται με R-12, αντικατάσταση του ψυκτικού μέσου μπορεί να γίνει με R-134a ή με R-22. Το R-134a έχει παρόμοιες θερμοκρασίες και πιέσεις λειτουργίας με το R-12, αλλά μπορεί να μην είναι συμβατό με διάφορα μέρη της εγκατάστασής και απαιτείται να γίνει προσεκτική εκκένωση του παλιού λιπαντικού λαδιού. Το R-22 μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για το R-12, με τη διαφορά ότι η πίεση συμπακνώσεως θα είναι μεγαλύτερη και η παροχή του ψυκτικού μέσου μέσα από τις σωληνώσεις θα είναι μικρότερη. Λόγω της μεγαλύτερης πίεσεως συμπακνώσεως θα πρέπει να ελεγχθεί ο συμπακνωτής και ο συλλέκτης και να αντικατασταθούν η εκτονωτική βαλβίδα και τα ασφαλιστικά. Επίσης, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του R-22 αυξάνεται η ισχύς συμπίεσεως και χρειάζεται να γίνει αντικατάσταση των τροχαλιών του συμπιεστή, ώστε να περιστρέφεται πιο αργά.

Η αντικατάσταση του R-12 με R-134a σε μία εγκατάσταση με παλινδρομικό συμπιεστή, γίνεται με τα εξής βήματα:

α) Καθορίζουμε σε συνεννόηση με τον κατασκευαστή τις αλλαγές εξαρτημάτων που είναι απαραίτητες και τον τύπο του λαδιού που θα χρησιμοποιηθεί.

β) Ελέγχουμε για ύπαρξη διαρροών και επισκευάζουμε τυχόν διαρροές.

γ) Κλείνουμε τη βαλβίδα παροχής υγρού και μαζεύουμε το R-12 στο συλλέκτη. Αλλάζουμε τα φίλτρα και τον αφυγραντήρα.

δ) Αντικαθιστούμε το ορυκτό λάδι με λάδι αντικατάστασής, το οποίο είναι συνθετικό πολυεστερικής βάσεως και έχει την ιδιότητα να διαλύει το ορυκτό λάδι και τις ακαθαρσίες που υπάρχουν στην εγκατάσταση. Η αλλαγή λαδιού γίνεται στο συμπιεστή όταν ακόμα αυτός εργάζεται με R-12. Το νέο λάδι αφήνεται να λειτουργήσει στην εγκατάσταση για χρονικό διάστημα που ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασής ποικίλλει από μερικές ώρες έως μία εβδομάδα. Το συνθετικό λάδι, το οποίο αφαιρείται στην πρώτη αλλαγή, έχει σκούρο γκρι χρώμα.

ε) Αλλάζουμε με νέο συνθετικό λάδι, για όσες φορές χρειαστεί, μέχρι αυτό να βγαίνει καθαρό και διαυγές με περιεκτικότητα σε ορυκτό λάδι μικρότερη από 5%. Για μία συνήθη ψυκτική εγκατάσταση σ' ένα πλοίο θα πρέπει να γίνουν τουλάχιστον τρεις αλλαγές λαδιών.

στ) Συνδέουμε τη μονάδα συλλογής του R-12 και αφαιρούμε το παλιό ψυκτικό μέσο. Το R-12 τοποθετείται σε μία φιάλη, η οποία ζυγίζεται, ώστε να γνωρίζουμε το βάρος του R-134a που πρέπει να προστεθεί στη συνέχεια.

ζ) Δημιουργούμε κενό στην εγκατάσταση και φορτίζουμε με ξηρό άζωτο.

η) Αντικαθιστούμε ή ρυθμίζουμε την εκτονωτική βαλβίδα. Αντικαθιστούμε τον αφυγραντήρα, τη μηχανική στεγανοποίηση του άξονα του συμπιεστή και τις φλάντζες και τα εξαρτήματα, που δεν είναι συμβατά με το R-134a.

θ) Ρυθμίζουμε τους αυτοματισμούς λειτουργίας στις πιέσεις και στις θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στο R-134a.

ι) Δημιουργούμε κενό στην εγκατάσταση μέχρι τα 500 microns και φορτίζουμε με R-134a στο 80% της ποσότητας του R-12 που αφαιρέσαμε. Εκκινούμε την εγκατάσταση.

ια) Συμπληρώνουμε με R-134a έως ότου να παρατηρήσουμε τη μέση στάθμη στο συλλέκτη υγρού. Παρακολουθούμε την εγκατάσταση τις επόμενες ημέρες και αν χρειάζεται ξανασυμπληρώνουμε με R-134a.

ιβ) Μετά από 2 μήνες αντικαθιστούμε τον αφυγραντήρα και το μεταλλικό φίλτρο υγρού.

10.14 Διάγνωση και αποκατάσταση βλαβών ψυκτικών εγκαταστάσεων.

Οι δυσλειτουργίες στις ψυκτικές εγκαταστάσεις μπορεί να οφείλονται σε βλάβες στο μηχανολογικό εξοπλισμό ή στο ηλεκτρολογικό τμήμα της εγκατάστασης. Οι πιο συχνές είναι οι ηλεκτρολογικές βλάβες, οι οποίες μπορούν να εντοπιστούν μ' ένα πολύμετρο όταν υπάρχει το ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης. Για τον εντοπισμό των ηλεκτρικών προβλημάτων είναι βασική η γνώση των αυτοματισμών λειτουργίας και των αυτοματισμών ασφαλείας που έχει η εγκατάσταση. Με τη χρήση του πολυμέτρου μπορεί να εντοπιστούν τα μέρη που βρίσκονται υπό τάση και τα μέρη που διακόπτουν το κύκλωμα και είναι υπεύθυνα για τη δυσλειτουργία. Τα ηλεκτρολογικά εξαρτήματα που προκαλούν

δυσλειτουργίες, όταν εντοπίζονται συνήθως αντικαθίστανται με νέα.

Για τη διαπίστωση βλαβών στο μηχανολογικό εξοπλισμό είναι απαραίτητη η συστηματική παρατήρηση της εγκαταστάσεως. Επίσης, είναι απαραίτητο να διαπιστωθούν κατάστασεις, οι οποίες είναι εκτός της κανονικής λειτουργίας και έχουν επίδραση στην απόδοση της εγκαταστάσεως. Τέτοιες καταστάσεις μπορούν να είναι μεταβολές φορτίου και θερμοκρασίας νερού συμπυκνώσεως και μπορούν να διαπιστωθούν όταν οι τιμές πιέσεως και θερμοκρασίας, στις οποίες λειτουργεί η εγκατάσταση, συγκριθούν με τις τιμές σχεδιασμού.

Οι κυριότερες βλάβες στο μηχανολογικό εξοπλισμό μίας εγκαταστάσεως μπορούν να εντοπιστούν στην εκτονωτική βαλβίδα, στον ατμοποιητή, στο συμπιεστή και στο συμπυκνωτή ή στο συλλέκτη υγρού. Όταν υπάρχει βλάβη στην εκτονωτική βαλβίδα και χρειάζεται αποσυναρμολόγησή της, η λειτουργία της εγκαταστάσεως μπορεί να συνεχίζεται από την εφεδρική γραμμή που έχει τη χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα. Για επισκευή βλάβης στον ατμοποιητή και στο συμπιεστή, κλείνεται το επιστόμιο παροχής υγρού και το ψυκτικό μέσο συγκεντρώνεται στο συλλέκτη υγρού, προκειμένου να περιοριστεί η απώλεια του ψυκτικού μέσου. Η βλάβη στο συμπυκνωτή ή στο συλλέκτη είναι πιο σοβαρή διότι υπάρχει πιθανότητα να μην υπάρχει τρόπος αποθηκείσεως του ψυκτικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή θα υπάρχει μεγάλη απώλεια ψυκτικού μέσου. Για τον περιορισμό της απώλειας κλείνουμε την παροχή νερού συμπυκνώσεως και ανοίγουμε τη χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα, ώστε η συμπύκνωση να γίνεται στον ατμοποιητή. Στην αρχή λειτουργεί ο συμπιεστής με κλειστό το επιστόμιο καταθλίψεως, μέχρι να αρχίσει το υγρό να εισέρχεται στην ελαιολεκάνη. Αφού κρατηθεί ο συμπιεστής, η μετακίνηση του υγρού από το συμπυκνωτή προς τον ατμοποιητή γίνεται με ροή ζεστού νερού εξωτερικά από το συμπιεστή και με ροή ψυχρού νερού εξωτερικά του ατμοποιητή. Για τον περιορισμό των απωλειών ταυτόχρονα γίνεται ανάκτηση ψυκτικού μέσου σε φιάλη, η οποία είναι εμβαπτισμένη σε πάγο.

Οι μικρότερες βλάβες εντοπίζονται από τις δυσλειτουργίες που προκαλούν στη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Δεδομένου ότι μία δυσλειτουργία μπορεί να προκαλείται από έναν αριθμό αιτιών, ο εντοπισμός της βλάβης γίνεται με το διαδοχικό αποκλεισμό των πιθανών αιτιών που την προκαλούν.

Πρώτα πρέπει να ερευνώνται τα πιθανότερα αίτια και εφόσον διαπιστωθούν πρέπει να γίνεται άμεσα η αποκατάσταση της βλάβης, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή ή σύμφωνα με γενικούς πίνακες βλαβών. Οι πίνακες που παρουσιάζονται παρακάτω, έχουν γενική μορφή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση και την αποκατάσταση των βλαβών που μπορεί να εμφανιστούν σε μία ψυκτική ή κλιματιστική εγκατάσταση ενός πλοίου, στην οποία υπάρχει εμβολοφόρος συμπιεστής και η οποία λειτουργεί σε **κύκλο κενού** (rump-down cycle). Όταν

υπάρχουν πίνακες διαγνώσεως βλαβών του κατασκευαστή, τότε πρέπει να ακολουθούνται, καθώς περιέχουν τις πληροφορίες σχεδιάσεως και λειτουργίας της συγκεκριμένης ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Για την ταχεία διάγνωση των βλαβών μίας ψυκτικής εγκαταστάσεως, οι κατασκευαστές δίνουν πίνακες, στους οποίους γίνεται μια πρώτη διάγνωση ανάλογα με τα συμπτώματα της βλάβης. Ένας τέτοιος πίνακας διαγνώσεως, ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί σε συνήθεις ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων, παρουσιάζεται στο πίνακα 10.14.1.

Πίνακας 10.14.1
Πίνακας διαγνώσεως βλαβών ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Δυσλειτουργία:	Υψηλή θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Δυσλειτουργία των αυτοματισμών παροχής υγρού ψυκτικού μέσου.	α) Έλεγχος θερμοστάτη χώρου, σωληνοειδούς βαλβίδας υγρού, ηλεκτρικού κυκλώματος και ασφαλειών. β) Έλεγχος εκτονωτικής βαλβίδας. γ) Έλεγχος βαλβίδας ρυθμίσεως πιέσεως ατμοποιητή.
β) Συσσώρευση πάγου στον ατμοποιητή.	α) Έλεγχος λειτουργίας συστήματος και αυτοματισμών αποχιονώσεως. β) Κράτηση εγκαταστάσεως και χειροκίνητη αποχιόνωση ατμοποιητή με ζεστό νερό.
γ) Φόρτωση θαλάμου με θερμά προϊόντα.	α) Αναμονή για πώση θερμοκρασίας των προϊόντων που υπάρχουν στο θάλαμο. β) Αύξηση παροχής νερού στο συμπυκνωτή.
δ) Είσοδος θερμού αέρα στον ψυκτικό θάλαμο.	Έλεγχος στεγανοποιήσεως θυρών ψυκτικού θαλάμου.
ε) Αναμμένα φώτα ή ηλεκτρική αντίσταση.	Έλεγχος των ηλεκτρικών φορτίων.
Δυσλειτουργία:	Χαμηλή θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Μόνιμα ανοικτή ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού.	α) Έλεγχος παροχής ρεύματος στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, έλεγχος ρυθμίσεως και λειτουργίας θερμοστάτη χώρου, ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας υγρού, ηλεκτρικού κυκλώματος και ασφαλειών. β) Έλεγχος ρυθμίσεως και λειτουργίας θερμοστάτη χώρου.
β) Ανοικτή χειροκίνητη εφεδρική εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος για ανοικτή χειροκίνητη εκτονωτική και κλείσιμο. Αντικατάσταση φθαρμένης έδρας αν απαιτείται.
γ) Συνεχής λειτουργία συμπιεστή.	Έλεγχος αυτοματισμών.
Δυσλειτουργία:	Υψηλή πίεση καταθλίψεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Μερικώς κλειστό επιστόμιο καταθλίψεως.	Έλεγχος και πλήρες άνοιγμα επιστομίου καταθλίψεως.

(συνεχίζεται)

Δυσλειτουργία:	Υψηλή πίεση καταθλίψεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
β) Ύπαρξη αέρα στο συμπυκνωτή.	Έλεγχος για ύπαρξη αέρα και απαερίωση αν απαιτείται.
γ) Ανεπαρκής παροχή νερού στο συμπυκνωτή, η βλάβη σε ανεμιστήρες αεροψύκτων συμπυκνωτών.	α) Έλεγχος πίεσεως νερού συμπυκνώσεως. Έλεγχος για πλήρως ανοικτές βαλβίδες νερού. β) Έλεγχος για φραγμένο φίλτρο νερού συμπυκνώσεως. γ) Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδας ρυθμίσεως νερού συμπυκνώσεως.
δ) Επικαθίσεις αλάτων στο συμπυκνωτή.	Έλεγχος καταστάσεως αυλών συμπυκνωτή και καθαρισμός.
ε) Φόρτιση με μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου.	Έλεγχος στάθμης υγρού ψυκτικού μέσου. Αφαίρεση μέσου σε φιάλη ανακτίσεως αν η στάθμη είναι υπερβολικά υψηλή.
στ) Κλειστή βαλβίδα καταθλίψεως συμπιεστή.	Έλεγχος βαλβίδας καταθλίψεως και συναρμολογήσεως κεφαλής ασφαλείας.
Δυσλειτουργία:	Χαμηλή πίεση καταθλίψεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Μερικώς κλειστό επιστόμιο αναρροφήσεως.	Έλεγχος και πλήρες άνοιγμα επιστομίου αναρροφήσεως.
β) Μεγάλη παροχή νερού συμπυκνώσεως.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδας ρυθμίσεως παροχής νερού συμπυκνώσεως. Μείωση παροχής νερού συμπυκνώσεως.
γ) Μεγάλη παροχή υγρού ψυκτικού μέσου.	α) Έλεγχος λειτουργίας εκτονωτικής βαλβίδας. β) Έλεγχος για ανοικτή χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα.
δ) Κλειστές βαλβίδες αναρροφήσεως.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδων αναρροφήσεως και συστήματος αποφορτίσεως κυλίνδρων.
ε) Διαρροή από τις βαλβίδες του συμπιεστή.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Αποσυναρμολόγηση και αντικατάσταση αν απαιτείται.
στ) Διαρροή από τα ελατήρια των εμβόλων ή από φθαρμένα χιτώνια συμπιεστή.	Έλεγχος και μέτρηση χάρης ελατηρίων-εμβόλων. Αντικατάσταση αν απαιτείται.
ζ) Μεγάλος συμπυκνωτής.	Έλεγχος μεγέθους συμπυκνωτή.
Δυσλειτουργία:	Υψηλή πίεση αναρροφήσεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου από τον ατμοποιητή στο συμπιεστή.	Έλεγχος ρυθμίσεως θερμοστατικής βαλβίδας, σωστή ρύθμιση υπερθερμάνσεως ψυκτικού μέσου.
β) Διαρροή από βαλβίδες καταθλίψεως.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδων καταθλίψεως. Αν υπάρχει διαρροή, αντικατάσταση κινητών τμημάτων.
γ) Λανθασμένη ρύθμιση μηχανισμού αποφορτίσεως κυλίνδρων.	Έλεγχος για αποφόρτιση σε υψηλή πίεση στροφαλοθαλάμου. Σωστή ρύθμιση μηχανισμού αποφορτίσεως.
δ) Απώλεια αερίου υψηλής πίεσεως από διαχωριστήρα λαδιού προς το στροφαλοθάλαμο.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδας πλωτήρα στο διαχωριστήρα λαδιού.
ε) Μικρός συμπιεστής ή μεγάλος ατμοποιητής.	Έλεγχος της ισχύος του συμπιεστή και του ατμοποιητή.

(συνεχίζεται)

Δυσλειτουργία:	Χαμηλή πίεση αναρροφήσεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Η ρύθμιση του πιεζοστάτη κρατήσεως του συμπιεστή είναι λανθασμένη.	Έλεγχος ρυθμίσεως πιεζοστάτη για χαμηλή πίεση διακοπής.
β) Λανθασμένη ρύθμιση μηχανισμού αποφορτίσεως κυλίνδρων.	Έλεγχος ρυθμίσεως μηχανισμού αποφορτίσεως.
γ) Μικρή παροχή υγρού ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή.	α) Έλεγχος ρυθμίσεως εκτονωτικής βαλβίδας. β) Έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. γ) Έλεγχος φίλτρου γραμμής υγρού. δ) Έλεγχος καταστάσεως αφυγραντήρα και ενδείκτη υγρασίας.
δ) Μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση.	Έλεγχος στάθμης υγρού στο συλλέκτη. Αν η στάθμη είναι χαμηλή, έλεγχος διαρροών. Επισκευή και συμπλήρωση ψυκτικού μέσου.
ε) Υπερθέρμανση αντλίας λαδιού.	Έλεγχος, και αν χρειάζεται, αντικατάσταση αντλίας λαδιού.
στ) Χαμηλή στάθμη λαδιού λιπάνσεως.	Ανατρέξτε στη σχετική δυσλειτουργία.
Δυσλειτουργία:	Κρύος ή παγωμένος στροφαλοθάλαμος συμπιεστή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή.	Έλεγχος ρυθμίσεως εκτονωτικής βαλβίδας.
β) Υπερβολική ανακυκλοφορία λαδιού λιπάνσεως.	Έλεγχος στάθμης λαδιού στην ελαιολεκάνη και αφαίρεση λαδιού αν απαιτείται.
Δυσλειτουργία:	Ζεστός στροφαλοθάλαμος συμπιεστή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Μικρή παροχή ατμού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή.	Φραγμένο φίλτρο υγρού. Έλεγχος και καθαρισμός φίλτρου.
β) Αυξημένη θερμοκρασία ατμού ψυκτικού μέσου στην είσοδο του συμπιεστή.	Έλεγχος ρυθμίσεως εκτονωτικής βαλβίδας.
γ) Αυξημένη θερμοκρασία ατμού στην κατάθλιψη του συμπιεστή.	Μεγάλη υπερθέρμανση στον εναλλάκτη θερμότητας. Παράκαμψη του εναλλάκτη θερμότητας.
δ) Διαρροή από τις βαλβίδες του συμπιεστή.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Αποσυναρμολόγηση και αντικατάσταση αν απαιτείται.
Δυσλειτουργία:	Αδυναμία εκκινήσεως συμπιεστή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Δεν υπάρχει τάση στον κινητήρα.	Έλεγχος ηλεκτρικού κυκλώματος και ασφαλειών.
β) Έχει οπλίσει η ασφάλεια υπερταχύνσεως.	Επαναφορά και έλεγχος για την αιτία της υπερταχύνσεως.
γ) Έχει διακοπεί το κύκλωμα από το σύστημα ασφαλείας του συμπιεστή.	Έλεγχος ασφαλείας υψηλής και χαμηλής πίεσεως λαδιού λιπάνσεως. Καθαρισμός ηλεκτρικών επαφών.
δ) Λάθος ρύθμιση θερμοστάτη χώρου.	Υψηλή θερμοκρασία στο θερμοστάτη του ψυκτικού θαλάμου.

(συνεχίζεται)

Δυσλειτουργία:	Αδυναμία εκκινήσεως συμπιεστή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
ε) Κλειστή σωληνοειδής βαλβίδα.	Έλεγχος υπάρξεως τάσεως στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Αν υπάρχει τάση και η βαλβίδα δεν ανοίγει, τότε ανατρέξτε σε επόμενη δυσλειτουργία.
Δυσλειτουργία:	Συνεχής λειτουργία συμπιεστή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Ύπαρξη λίγου ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση.	Έλεγχος στάθμης υγρού στο συλλέκτη. Εάν είναι χαμηλή, έλεγχος για διαρροές. Επισκευή και συμπλήρωση με ψυκτικό μέσο.
β) Διαρροή υγρού από τη σωληνοειδή βαλβίδα.	Κλείσιμο βαλβίδας παροχής υγρού και λειτουργία συμπιεστή μέχρι την κράτηση από χαμηλή πίεση. Αποσυναρμολόγηση ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας και έλεγχος λειτουργίας της.
γ) Διαρροή από τις βαλβίδες του συμπιεστή.	Έλεγχος λειτουργίας βαλβίδων αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Αποσυναρμολόγηση και αντικατάσταση αν απαιτείται.
δ) Φθαρμένα ελατήρια εμβόλων ή φθαρμένα χιτώνια συμπιεστή.	Έλεγχος και μέτρηση ελευθεριών ελατηρίων-εμβόλων. Αντικατάσταση αν απαιτείται.
Δυσλειτουργία:	Επαναλαμβανόμενη κράτηση συμπιεστή από υψηλή πίεση καταθλίψεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Ρύθμιση πιεσοστάτη υψηλής σε μικρή πίεση κρατήσεως.	Έλεγχος πιέσεως κρατήσεως στον πιεζοστάτη και ρύθμιση αυτού.
β) Αυξημένη πίεση καταθλίψεως.	Ανατρέξτε σε σχετική προηγούμενη βλάβη.
Δυσλειτουργία:	Επαναλαμβανόμενη κράτηση συμπιεστή από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Χαμηλή πίεση αναρροφήσεως.	Ανατρέξτε σε σχετική προηγούμενη βλάβη.
β) Μειωμένη μεταφορά θερμότητας στον ατμοποιητή.	α) Έλεγχος για ύπαρξη πάγου. Έλεγχος λειτουργίας συστήματος αποιονώσεως. β) Έλεγχος λειτουργίας ανεμιστήρων ατμοποιητή και αυτοματισμών τους.
γ) Διαρροή στην ασφαλιστική βαλβίδα.	Έλεγχος ασφαλιστικού και αντικατάσταση.
δ) Διαρροή εσωτερικά στον εναλλάκτη θερμότητας.	Έλεγχος και αντικατάσταση εναλλάκτη θερμότητας.
Δυσλειτουργία:	Απώλεια λαδιού από ελαιολεκάνη συμπιεστή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Λανθασμένη ρύθμιση εκτονωτικής βαλβίδας.	Έλεγχος ρυθμίσεως εκτονωτικής βαλβίδας. Μικρή παροχή ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή έχει ως αποτέλεσμα τη δυσκολία επιστροφής του λαδιού.

β) Κολλημένη ανεπίστροφη βαλβίδα στην επιστροφή λαδιού από τον ελαιοδιαχωριστήρα.	Κλείσιμο βαλβίδας παροχής υγρού και λειτουργία συμπιεστή μέχρι την κράτηση από χαμηλή πίεση. Αποσυναρμολόγηση ανεπίστροφης βαλβίδας λαδιού και έλεγχος λειτουργίας της.
γ) Φθαρμένα ελατήρια εμβόλων ή φθαρμένα χιτώνια συμπιεστή.	Έλεγχος και μέτρηση ελευθεριών ελατηρίων-εμβόλων. Αντικατάσταση αν απαιτείται.
δ) Διαρροή στο σύστημα ρυθμίσεως φορτίου συμπιεστή.	Έλεγχος και αντικατάσταση χιτωνίου συστήματος ρυθμίσεως.
Δυσλειτουργία:	<i>Χαμηλή πίεση λαδιού λιπάνσεως συμπιεστή</i>
<i>Πιθανές αιτίες</i>	<i>Ενέργειες αποκαταστάσεως</i>
α) Χαμηλή στάθμη λαδιού στην ελαιολεκάνη.	Έλεγχος στάθμης και συμπλήρωση λαδιού.
β) Φραγμένο φίλτρο λαδιού.	Κράτηση συμπιεστή από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως. Έλεγχος καταστάσεως φίλτρου λαδιού και αντικατάστασή του εάν απαιτείται. Καθαρισμός μεταλλικού φίλτρου στην ελαιολεκάνη.
γ) Φθαρμένη ή ελαττωματική αντλία λαδιού.	Έλεγχος φοράς περιστροφής και καταστάσεως γραναζιών. Αντικατάσταση φθαρμένων τμημάτων.
δ) Μεγάλες ανοχές στα κουζινέτα στροφάλου.	Κράτηση συμπιεστή από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως. Αποσυναρμολόγηση και μέτρηση ελευθεριών κουζινέτων. Αντικατάσταση αν απαιτείται.
Δυσλειτουργία:	<i>Θορυβώδης λειτουργία συμπιεστή</i>
<i>Πιθανές αιτίες</i>	<i>Ενέργειες αποκαταστάσεως</i>
α) Κακή στήριξη των σωληνώσεων.	Σύσφιξη στηριγμάτων, τοποθέτηση αντικραδασικών εξαρτημάτων.
β) Χαλαροί κοκλίες στην έδραση του συμπιεστή.	Έλεγχος και σύσφιξη κοκλιών εδράσεως συμπιεστή.
γ) Λάθη ευθυγραμμίσεως συνδέσμου κινητήρα και συμπιεστή.	Έλεγχος ευθυγραμμίσεως και χαλαρότητας ιμάντων.
δ) Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή.	Έλεγχος ρυθμίσεως εκτονωτικής βαλβίδας.
ε) Κυκλοφορία μεγάλης ποσότητας λαδιού στην εγκατάσταση.	Έλεγχος στάθμης λαδιού στην ελαιολεκάνη και αφαίρεση αν απαιτείται. Έλεγχος για είσοδο υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή που προκαλεί αφρισμό του λαδιού και μεγάλη κυκλοφορία λαδιού στην εγκατάσταση.
στ) Ελαττωματική λειτουργία ηλεκτρικού κινητήρα.	Έλεγχος και επισκευή του κινητήρα.
ζ) Φθαρμένα ελατήρια και χιτώνια συμπιεστή. Μεγάλες ελευθερίες στα κουζινέτα βάσεως.	Κράτηση συμπιεστή από χαμηλή πίεση αναρροφήσεως. Άνοιγμα και επιθεώρηση συμπιεστή. Αντικατάσταση φθαρμένων τμημάτων.
Δυσλειτουργία:	<i>Αυτόματος ασφαλειοδιακόπτης υπερφορτίσεως συμπιεστή ανοικτός</i>
<i>Πιθανές αιτίες</i>	<i>Ενέργειες αποκαταστάσεως</i>
α) Ελαττωματικός αυτόματος υπερφορτίσεως.	Έλεγχος και αντικατάσταση αυτόματου ασφαλειοδιακόπτη υπερφορτίσεως.

Δυσλειτουργία:	Αυτόματος ασφαλειοδιακόπτης υπερφορτίσεως συμπιεστή ανοικτός
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
β) Πτώση τάσεως κατά τη λειτουργία του συμπιεστή.	Έλεγχος συστήματος παροχής ρεύματος.
γ) Υπερβολική μηχανική αντίσταση συμπιεστή.	Έλεγχος αν ο συμπιεστής στρέφεται ελεύθερα. Επισκευή αν απαιτείται.
δ) Ελαττωματικός κινητήρας.	Έλεγχος για βραχυκυκλωμένο κινητήρα. Αντικατάσταση ή επισκευή κινητήρα.
ε) Υψηλή πίεση συμπυκνώσεως.	Ανατρέξτε στη σχετική δυσλειτουργία.
Δυσλειτουργία:	Ροή υγρού ψυκτικού μέσου μ' έντονο σφύριγμα στις σωληνώσεις
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση.	Έλεγχος στάθμης υγρού στο συλλέκτη. Αν η στάθμη είναι χαμηλή, έλεγχος διαρροών. Επισκευή και συμπλήρωση ψυκτικού μέσου.
β) Φραγμένη γραμμή υγρού ψυκτικού μέσου.	α) Έλεγχος για μερικώς ανοικτά επιστόμια. β) Έλεγχος λειτουργίας σωληνοειδούς βαλβίδας. γ) Έλεγχος φίλτρου γραμμής υγρού.
Δυσλειτουργία:	Μικρή παροχή υγρού ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Λανθασμένη ρύθμιση εκτονωτικής βαλβίδας.	Έλεγχος για μεγάλη ρύθμιση υπερθερμάνσεως στην εκτονωτική βαλβίδα. Ρύθμιση εκτονωτικής βαλβίδας.
β) Φραγμένη εκτονωτική βαλβίδα.	Αποσυαρμολόγηση και καθαρισμός φίλτρου και οπής εκτονωτικής βαλβίδας.
γ) Χαμηλή πίεση καταθλίψεως.	Έλεγχος πίεσεως καταθλίψεως. Έλεγχος για αυξημένη παροχή νερού στο συμπυκνωτή.
δ) Φραγμένος σωλήνας εξισορροπήσεως πίεσεως από τον ατμοποιητή στην εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος για φραγμό σωλήνα εξισορροπήσεως και καθαρισμός αν απαιτείται.
Δυσλειτουργία:	Μεγάλη παροχή υγρού ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή
Πιθανές αιτίες	Ενέργειες αποκαταστάσεως
α) Λανθασμένη ρύθμιση εκτονωτικής βαλβίδας.	Έλεγχος για μεγάλη ρύθμιση υπερθερμάνσεως στην εκτονωτική βαλβίδα. Ρύθμιση εκτονωτικής βαλβίδας.
β) Λανθασμένη τοποθέτηση θερμοστατικού βολβού.	Έλεγχος για σωστή θέση τοποθετήσεως θερμοστατικού βολβού και σύσφιξη κοχλιών συγκρατήσεως.
γ) Απώλεια υγρού πληρώσεως του θερμοστατικού βολβού.	Έλεγχος αποκρίσεως βαλβίδας σε διαφορετικές θερμοκρασίες βολβού. Αντικατάσταση θερμοστατικού στοιχείου βαλβίδας αν απαιτείται.

(συνεχίζεται)

δ) Φραγμένος σωλήνας εξισορροπίσεως πίεσεως από τον ατμοποιητή στην εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος για φραγμό σωλήνα εξισορροπίσεως και καθαρισμός αν απαιτείται.
ε) Ύπαρξη πάγου στην εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος για ύπαρξη πάγου που δεν επιτρέπει το κλείσιμο της έδρας της βαλβίδας. Θέρμανση της βαλβίδας και παρακολούθηση λειτουργίας.
στ) Φθαρμένη έδρα εκτονωτικής βαλβίδας.	Απουναρμολόγηση και έλεγχος για ύπαρξη ακαθαρσιών στην έδρα και για φθαρμένη έδρα. Αντικατάσταση αν απαιτείται.
Δυσλειτουργία:	<i>Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα δεν ανοίγει</i>
<i>Πιθανές αιτίες</i>	<i>Ενέργειες αποκαταστάσεως</i>
α) Δεν υπάρχει τάση.	Έλεγχος θερμοστάτη και ηλεκτρικού κυκλώματος. Έλεγχος επαφών και ασφαλειών.
β) Το πνίο είναι καμένο.	Έλεγχος ηλεκτρικής αντιστάσεως πνιού. Εάν είναι καμένο ανατρέξτε σε επόμενη δυσλειτουργία.
γ) Υπάρχει μεγάλη διαφορά πίεσεως στα άκρα της σωληνοειδούς βαλβίδας.	Ελέγξτε εάν η διαφορά πιέσεων στα άκρα της βαλβίδας υπερβαίνει τη μέγιστη διαφορική πίεση λειτουργίας.
δ) Δεν κινείται το έμβολο.	Έλεγχος για ύπαρξη ακαθαρσιών ή για παραμορφωμένο έμβολο που εμποδίζει την κίνησή του.
Δυσλειτουργία:	<i>Καμένο πνίο ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας</i>
<i>Πιθανές αιτίες</i>	<i>Ενέργειες αποκαταστάσεως</i>
α) Λανθασμένη τάση ρεύματος.	Μέτρηση της τάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος στην άκρη της βαλβίδας. Εάν είναι μικρότερη από την κανονική, βρείτε την αιτία πτώσεως τάσεως στο ηλεκτρικό κύκλωμα.
β) Υψηλή θερμοκρασία χώρου, όπου βρίσκεται η σωληνοειδής βαλβίδα.	Έλεγχος εάν η θερμοκρασία στο χώρο που βρίσκεται η βαλβίδα είναι υψηλότερη από 45 °C. Εάν ναι φροντίστε για καλύτερο αερισμό του χώρου.
γ) Δεν κινείται το έμβολο της σωληνοειδούς βαλβίδας.	Έλεγχος για ύπαρξη ακαθαρσιών ή για παραμορφωμένο έμβολο που εμποδίζει την κίνησή του.
Δυσλειτουργία:	<i>Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα δεν κλείνει</i>
<i>Πιθανές αιτίες</i>	<i>Ενέργειες αποκαταστάσεως</i>
α) Ο μοχλός χειροκίνητης λειτουργίας είναι σε ανοικτή θέση.	Ελέγξτε τη θέση του μοχλού και τοποθετήστε τον στη θέση αυτόματης λειτουργίας.
β) Δεν κινείται το έμβολο.	Έλεγχος για ύπαρξη ακαθαρσιών ή για παραμορφωμένο έμβολο που εμποδίζει την κίνησή του.
γ) Δεν μηδενίζεται η ηλεκτρική τάση.	Μέτρηση τάσεως στο πνίο. Εάν υπάρχει τάση ελέγξτε τη λειτουργία του θερμοστάτη. Κατόπιν ελέγξτε εάν υπάρχει τάση από άλλη πηγή.

Στην πίνακα 10.14.2 δίνεται ένας χάρτης διαγνωσεως βλαβών, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον αρχικό εντοπισμό της αιτίας της βλάβης, εφόσον πρώτα διαπιστωθεί ότι υπάρχει κανονική ποσότητα ψυκτικού μέσου του συλλέκτη υγρού.

1						
2						
3	●					
4		●				
5		●				
6	●	●				
7	●	●				
8						
9						
10						
11		●				
12		●				
13		●				
14		●				
15		●				
16	●	●				
17	●	●				
18	●	●				
19	●	●				
20	●	●				
21		●				
22		●				
23	●	●				
	Λάδι	Ψυκτικό μέσο	Συμπυκνωτής	Εκτονωτική βαλβίδα	Εξαρτήματα γραμμής υγρού	Συμμιεστής
14	Μικρή ποσότητα λαδιού στην ελαστολεκάνη					
15	Δεν γίνεται αποφόρτιση ή δεν γίνεται εξίσωση των πιέσεων στο συμμιεστή κατά την εκκίνηση					
16	Χαμηλή πίεση λαδιού, απαιτείται ρύθμιση της ρυθμιστικής βαλβίδας πίεσεως λαδιού					
17	Γίνεται αφρισμός του λαδιού στο στροφαλοθάλαμο					
18	Μεγάλη ποσότητα λαδιού στην εγκατάσταση					
19	Δεν γίνεται επιστροφή λαδιού, το λάδι συγκεντρώνεται στον ατμοποιητή					
20	Υπάρχει φραγμός στη γραμμή υγρού					
21	Μικρή ποσότητα ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση					
22	Υπάρχει ατμός του ψυκτικού μέσου στη γραμμή υγρού					
23	Η εγκατάσταση έχει σημείο διαρροής					
24	Μεγάλη ποσότητα ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση					
25	Υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο στη γραμμή αναρροφήσεως					
26	Σε χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης, γεμίζει υγρό η κάθετη σωλήνα ανυψώσεως λαδιού του ατμοποιητή					
27	Ανεπαρκής παροχή νερού ή αέρα ψύξεως στο συμπυκνωτή					
28	Υψηλή θερμοκρασία νερού ή αέρα ψύξεως στο συμπυκνωτή					
29	Υπάρξει αέρα στο συμπυκνωτή					
30	Διάβρωση ή επικάλυψη αλάτων στους αγωγούς του συμπυκνωτή					
31	Μεγάλη παροχή νερού ή αέρα ψύξεως στο συμπυκνωτή					
32	Δεν λειτουργεί η βαλβίδα ρυθμίσεως του νερού συμπυκνώσεως					
33	Η βαλβίδα εξισορροπίσεως πίεσεως ή εκτονωτική βαλβίδα είναι κλειστή					
34	Η εκτονωτική βαλβίδα είναι μερικώς φραγμένη από ακαθαρσίες ή πάγο					
35	Ο βολβός της εκτονωτικής βαλβίδας έχει χάσει την πλήρωσή του					
36	Ο βολβός της εκτονωτικής βαλβίδας είναι τοποθετημένος λανθασμένα					
37	Η εκτονωτική βαλβίδα έχει διαρροή					
38	Η εκτονωτική βαλβίδα δίνει μικρή υπερθέρμανση					
39	Η εκτονωτική βαλβίδα δίνει μεγάλη υπερθέρμανση					
40	Τα φίλτρα αναρροφήσεως υγρής γραμμής είναι φραγμένα					
41	Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα στη γραμμή υγρού ή στη γραμμή αναρροφήσεως είναι κλειστή					
42	Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα έχει διαρροή					
43	Ο ατμοποιητής έχει πάγο ή είναι φραγμένη η διόδος του αέρα					
44	Ο ψυχρός αέρας ανακυκλώνεται στον ατμοποιητή					
45	Η ψυκτική εγκατάσταση δέχεται μεγάλο ψυκτικό φορτίο					
46	Το ψυκτικό μέσο συγκεντρώνεται στον ψυχρό συμπυκνωτή					
47	Κακή ρύθμιση μάντων ή συνδετήριας φλάντζας ή χαλαροί μάντες συνδέσεως με κινητήρα					
48	Ελαττωματική αντλία λαδιού					
49	Ελαττωματικά ή φραγμένα έδρανα					
50	Ελαττωματικά ή φραγμένα ελατήρια εμβόλου ή κύλινδρος					
51	Ελαττωματικές ή φραγμένες βαλβίδες καταβλήσεως					
52	Ελαττωματικές ή φραγμένες βαλβίδες αναρροφήσεως					
53	Ανοικτή βαλβίδα παρακάμψεως συμμιεστή ή διαρροή στο ασφαλιστικό υπερπίεσεως					
54	Φραγμένο φίλτρο λαδιού					
55	Ελαττωματικός ρυθμιστής ισχύος συμμιεστή					
56	Δεν γίνεται αποφόρτιση ή δεν γίνεται εξίσωση των πιέσεων στο συμμιεστή κατά την εκκίνηση					
57	Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα επιστροφής λαδιού είναι φραγμένη ή ελαττωματική					
58	Φραγμένο φίλτρο στην επιστροφή λαδιού					
59	Υψηλή ισχύς συμμιεστή					
60	Χαμηλή ισχύς συμμιεστή					
61	Ελαττωματική θερμομανική αντίσταση στροφαλοθαλάμου					

10.15 Ρύθμιση θερμοστατικής βαλβίδας – Βλάβες και αποκατάσταση.

Κάθε θερμοστατική βαλβίδα είναι προρρυθμισμένη στην εργοστασιακή τιμή της υπερθερμάνσεως του ψυκτικού μέσου. Αυτή συνήθως είναι περίπου 4 K και επαρκεί για τη σωστή λειτουργία του ατμοποιητή. Αν η τοποθέτηση του βολβού είναι σωστή και πρέπει να αλλάξει η ρύθμιση της υπερθερμάνσεως, αυτό πραγματοποιείται με το ρυθμιστικό κοχλία.

Με τη δεξιόστροφη περιστροφή του ρυθμιστικού κοχλία, το ελατήριο συμπιέζεται και η υπερθέρμανση του ατμού αυξάνεται. Με την αριστερόστροφη περιστροφή η υπερθέρμανση μειώνεται. Οι βαθμοί Κελσίου που αντιστοιχούν σε μια στροφή του κοχλία ποικίλλουν από βαλβίδα σε βαλβίδα και θα πρέπει να λαμβάνονται από τα εγχειρίδια του κατασκευαστή. Συνήθως για τις μικρές βαλβίδες, που δεν είναι λυόμενες, μια πλήρης περιστροφή του ρυθμιστικού κοχλία αντιστοιχεί σε μεγάλη μεταβολή της υπερθερμάνσεως, η οποία συνήθως είναι 4 K. Στις μεγάλες λυόμενες βαλβίδες μια πλήρης περιστροφή του ρυθμιστικού κοχλία αντιστοιχεί περίπου σε 0,5 K μεταβολή υπερθερμάνσεως. Η ρύθμιση της υπερθερμάνσεως πρέπει να γίνεται σε μικρά βήματα, ώστε η βαλβίδα να προλαβαίνει να ισορροπεί. Μεταξύ των βημάτων ρυθμίσεως θα πρέπει να αφήνεται αρκετός χρόνος (τουλάχιστον μισή ώρα) και να μην αυξάνεται η υπερθέρμανση που μετρείται από τον τεχνικό.

Η υπερθέρμανση υπολογίζεται από τη διαφορά της θερμοκρασίας στο βολβό και της θερμοκρασίας κορεσμού που αντιστοιχεί στην πίεση που υπάρχει στον ατμοποιητή. Σε μικρές εγκαταστάσεις, η πίεση ατμοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ίση με την πίεση αναρροφήσεως, οπότε λαμβάνεται με σύνδεση ενός μανομέτρου χαμηλής πιέσεως στη βαλβίδα συντηρήσεως που βρίσκεται στην πλευρά της αναρροφήσεως του συμπιεστή. Στη μανομετρική πίεση αναρροφήσεως πρέπει να προστεθεί η ατμοσφαιρική

πίεση, οπότε υπολογίζεται η απόλυτη πίεση αναρροφήσεως. Με βάση την πίεση αυτή, από τους πίνακες ιδιοτήτων του ψυκτικού μέσου, μπορεί να ληφθεί η θερμοκρασία κορεσμού. Η διαφορά της θερμοκρασίας που λαμβάνεται από το εξωτερικό θερμομέτρο στη θέση του βολβού με τη θερμοκρασία κορεσμού είναι η υπερθέρμανση του μέσου στον ατμοποιητή.

Αν η υπερθέρμανση είναι αυξημένη, αυτό μπορεί να οφείλεται σε ατμοποίηση μεγάλου τμήματος υγρού στην εκτονωτική βαλβίδα και σε δημιουργία μεγάλου μέρους ατμού. Αυτό μπορεί να προληφθεί με την υπόψυξη του μέσου μετά τη βαλβίδα με έναν εναλλάκτη υποψύξεως.

Η επιλογή μιας μεγάλης βαλβίδας ή μιας ρυθμιστικής βελόνας που δίνει μεγάλη παροχή έχει ως αποτέλεσμα την περιοδική πλήρωση και τη στέρση του ατμοποιητή από υγρό ψυκτικό μέσο. Αυτό έχει ως συνέπεια τη συνεχή αύξηση και μείωση της πιέσεως αναρροφήσεως εναλλασσόμενα. Αυτό μπορεί να διορθωθεί με την τοποθέτηση μικρότερης έδρας βαλβίδας (orifice) στην εκτονωτική βαλβίδα.

Όταν η βαλβίδα δεν δίνει παροχή υγρού, ενδεχομένως να έχει μαζευτεί το υγρό του βολβού στο διάφραγμα. Αυτό συμβαίνει όταν η εκτονωτική βαλβίδα είναι πιο ψυχρή από το βολβό. Η συγκέντρωση του υγρού στη θερμοστατική κεφαλή της βαλβίδας έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει αρκετή πίεση του αερίου που θερμαίνεται στο βολβό, διότι δεν υπάρχει ατμοποίηση. Για τη διαπίστωση του προβλήματος αυτού μπορεί η θερμοστατική κεφαλή της βαλβίδας να θερμανθεί ελαφρά. Αν το πρόβλημα εξαφανιστεί, τότε αυτό σημαίνει ότι το υγρό έχει επιστρέψει στο βολβό, ενώ αν όχι τότε αυτό σημαίνει απώλεια του αερίου από το βολβό και απαιτείται αντικατάσταση του θερμοστατικού στοιχείου.

Οι κυριότερες βλάβες που παρουσιάζονται στις θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες, οι αιτίες τους και οι κατάλληλες ενέργειες αποκαταστάσεως δίνονται στον πίνακα 10.15.

Πίνακας 10.15
Βλάβες θερμοστατικών εκτονωτικών βαλβίδων και ενέργειες αποκαταστάσεως.

Βλάβη	Πιθανή αιτία	Αποκατάσταση
Υψηλή θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου	Μεγάλη πτώση πιέσεως στον ατμοποιητή.	Αντικατάσταση εκτονωτικής βαλβίδας με βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση πιέσεως. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Ανεπαρκής υπόψυξη υγρού.	Έλεγχος υποψύξεως υγρού πριν την εκτονωτική βαλβίδα. Ρύθμιση μεγαλύτερης υποψύξεως.

(συνεχίζεται)

<i>Βλάβη</i>	<i>Πιθανή αιτία</i>	<i>Αποκατάσταση</i>
Υψηλή θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου.	Πτώση πίεσεως στην εκτονωτική βαλβίδα μικρότερη από την πώση πίεσεως που προτείνεται από τον κατασκευαστή της βαλβίδας.	Έλεγχος πτώσεως πίεσεως στην εκτονωτική βαλβίδα. Αντικατάσταση της στενώσεως της βαλβίδας με μεγαλύτερη ή τοποθέτηση μεγαλύτερης εκτονωτικής βαλβίδας. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Λανθασμένη τοποθέτηση θερμοστατικού βολβού μετά τον εναλλάκτη ή κοντά σε μεγάλα επιστόμια, φλάντζες κ.λπ..	Έλεγχος θέσεως βολβού, τοποθέτηση μακριά από επιστόμια και φλάντζες.
	Εκτονωτική βαλβίδα φραγμένη από πάγο, από κηρώδη κατάλοιπα λαδιού ή από άλλες ακαθαρσίες.	Αποσυναρμολόγηση και καθαρισμός εκτονωτικής βαλβίδας. Έλεγχος ενδείκτη υγρασίας για αλλαγή χρώματος σε πράσινο, το οποίο σημαίνει υψηλό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Αντικατάσταση αφυγραντήρα εάν απαιτείται. Έλεγχος λαδιού στο συμπιεστή. Σε περίπτωση μείωσης στάθμης ή αλλοιώσεως αντικατάσταση λαδιού. Καθαρισμός φίλτρου λαδιού.
	Μικρή εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος ψυκτικής ικανότητας εγκαταστάσεως και ψυκτικής ικανότητας της εκτονωτικής βαλβίδας. Αντικατάσταση με μεγαλύτερη οπή ή με μεγαλύτερη βαλβίδα. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Απώλεια πληρώσεως από θερμοστατικό βολβό.	Έλεγχος βολβού και αντικατάσταση βολβού ή βαλβίδας αν απαιτείται. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Μετατόπιση πληρώσεως θερμοστατικού βολβού.	Έλεγχος βολβού θερμοστατικής βαλβίδας. Προσδιορισμός και αντιμετώπιση αιτίας μετατοπίσεως πληρώσεως βολβού (το αέριο επανυγροποιείται στην πλευρά της βαλβίδας αν αυτή έχει χαμηλότερη θερμοκρασία). Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
Χαμηλή θερμοκρασία χώρου.	Κακή επαφή θερμοστατικού βολβού με το σωλήνα αναρροφήσεως.	Έλεγχος τοποθετήσεως για καλή επαφή βολβού με το σωλήνα. Αν απαιτείται μόνωση βολβού.
	Μερικός ή πλήρης παγοφραγμός ατμοποιητή.	Αποχιόνωση ατμοποιητή.
Ο συμπιεστής επανεκκινεί συχνά.	Η εκτονωτική βαλβίδα έχει ρυθμιστεί σε μικρή υπερθέρμανση	Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως.
	Μεγάλη εκτονωτική βαλβίδα.	Αντικατάσταση εκτονωτικής βαλβίδας ή της στενώσεώς της με άλλη μικρότερη. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
Ο συμπιεστής επανεκκινεί συχνά, ενώ η θερμοκρασία χώρου είναι μεγάλη.	Λανθασμένη τοποθέτηση θερμοστατικού βολβού π.χ. μετά από το συλλέκτη ατμών, μετά από κάθετο σωλήνα ανυψώσεως λαδιού, κοντά σε μεγάλες βαλβίδες και φλάντζες.	Αλλαγή θέσεως βολβού σε σημείο που παίρνει αξιόπιστη ένδειξη θερμοκρασίας ατμών. Έλεγχος συσφίξεως βολβού πάνω στο σωλήνα. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
Υψηλή πίεση αναρροφήσεως.	Μεγάλη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα. Λανθασμένη ρύθμιση εκτονωτικής βαλβίδας.	Σύγκριση ψυκτικής ικανότητας εγκαταστάσεως και ψυκτικής ικανότητας της εκτονωτικής βαλβίδας. Αντικατάσταση με μικρότερη οπή βαλβίδας ή με μικρότερη βαλβίδα. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Απώλεια πληρώσεως θερμοστατικού βολβού.	Έλεγχος βολβού και αντικατάσταση βολβού ή βαλβίδας αν απαιτείται. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.

(συνεχίζεται)

Βλάβη	Πιθανή αιτία	Αποκατάσταση
Υψηλή πίεση αναρροφήσεως.	Μετατόπιση πληρώσεως θερμοστατικού βολβού.	Έλεγχος βολβού θερμοστατικής βαλβίδας. Προσδιορισμός και αντιμετώπιση αιτίας μετατόπισης πληρώσεως βολβού (το αέριο επανυγροποιείται στην πλευρά της βαλβίδας αν αυτή έχει χαμηλότερη θερμοκρασία). Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Λανθασμένη ρύθμιση βαλβίδας διατηρήσεως πίεσεως ατμοποίησης.	Έλεγχος βαλβίδας και επαναρρύθμιση αν απαιτείται.
Μικρή πίεση αναρροφήσεως	Μεγάλη πτώση πίεσεως στον ατμοποιητή.	Αντικατάσταση εκτονωτικής βαλβίδας με βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσεως. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Μικρή υποψύξη υγρού πριν την εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος υποψύξεως υγρού πριν την εκτονωτική βαλβίδα. Ρύθμιση μεγαλύτερης υποψύξεως.
	Μεγάλη υπερθέρμανση ατμών στον ατμοποιητή.	Έλεγχος υπερθερμάνσεως. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως στην εκτονωτική βαλβίδα.
	Πτώση πίεσεως στην εκτονωτική βαλβίδα μικρότερη από την πτώση πίεσεως που προτείνεται από τον κατασκευαστή της βαλβίδας.	Έλεγχος πτώσεως πίεσεως στην εκτονωτική βαλβίδα. Αντικατάσταση της στενώσεως της βαλβίδας με μεγαλύτερη ή τοποθέτηση μεγαλύτερης εκτονωτικής βαλβίδας. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Λανθασμένη τοποθέτηση βολβού σε ρεύμα κρύου αέρα ή κοντά σε μεγάλες βαλβίδες και φλάντζες.	Αλλαγή θέσεως βολβού σε σημείο που παίρνει αξιόπιστη ένδειξη θερμοκρασίας ατμών. Έλεγχος συσφίξεως βολβού πάνω στο σωλήνα. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Μικρή εκτονωτική βαλβίδα.	Έλεγχος ψυκτικής ικανότητας εγκαταστάσεως και ψυκτικής ικανότητας της εκτονωτικής βαλβίδας. Αντικατάσταση με μεγαλύτερη οπή ή με μεγαλύτερη βαλβίδα. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Εκτονωτική βαλβίδα φραγμένη από πάγο, από κηρώδη κατάλοιπα λαδιού ή από άλλες ακαθαρσίες.	Αποσυναρμολόγηση και καθαρισμός εκτονωτικής βαλβίδας. Έλεγχος ενδείκτη υγρασίας για αλλαγή χρώματος σε πράσινο, το οποίο σημαίνει υψηλό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Αντικατάσταση αφυγραντήρα εάν απαιτείται. Έλεγχος λαδιού στο συμπιεστή. Σε περίπτωση χαμηλής στάθμης ή αλλοιώσεως, αντικατάσταση λαδιού. Καθαρισμός φίλτρου λαδιού.
	Απώλεια πληρώσεως από θερμοστατικό βολβό.	Έλεγχος βολβού και αντικατάσταση βολβού ή βαλβίδας αν απαιτείται. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Μετατόπιση πληρώσεως θερμοστατικού βολβού.	Έλεγχος βολβού θερμοστατικής βαλβίδας. Προσδιορισμός και αντιμετώπιση αιτίας μετατόπισης πληρώσεως βολβού. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
Μερικός ή πλήρης παγοφραγμός ατμοποιητή	Αποχιόνωση ατμοποιητή.	
Είσοδος υγρού στο συμπιεστή.	Μεγάλη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα.	Σύγκριση ψυκτικής ικανότητας εγκαταστάσεως και ψυκτικής ικανότητας της εκτονωτικής βαλβίδας. Αντικατάσταση με μικρότερη οπή βαλβίδας ή με μικρότερη βαλβίδα. Επαναρρύθμιση της υπερθερμάνσεως αν απαιτείται.
	Η εκτονωτική βαλβίδα έχει ρυθμιστεί σε μικρή υπερθέρμανση.	Επαναρρύθμιση και αύξηση της υπερθερμάνσεως.
	Κακή επαφή θερμοστατικού βολβού με το σωλήνα αναρροφήσεως.	Έλεγχος τοποθετήσεως για καλή επαφή βολβού με το σωλήνα. Αν απαιτείται μόνωση βολβού.
	Λανθασμένη τοποθέτηση βολβού σε ζεστή θέση ή κοντά σε μεγάλες βαλβίδες και φλάντζες.	Αλλαγή θέσεως βολβού σε σημείο που παίρνει αξιόπιστη ένδειξη θερμοκρασίας ατμών. Έλεγχος συσφίξεως βολβού πάνω στο σωλήνα.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

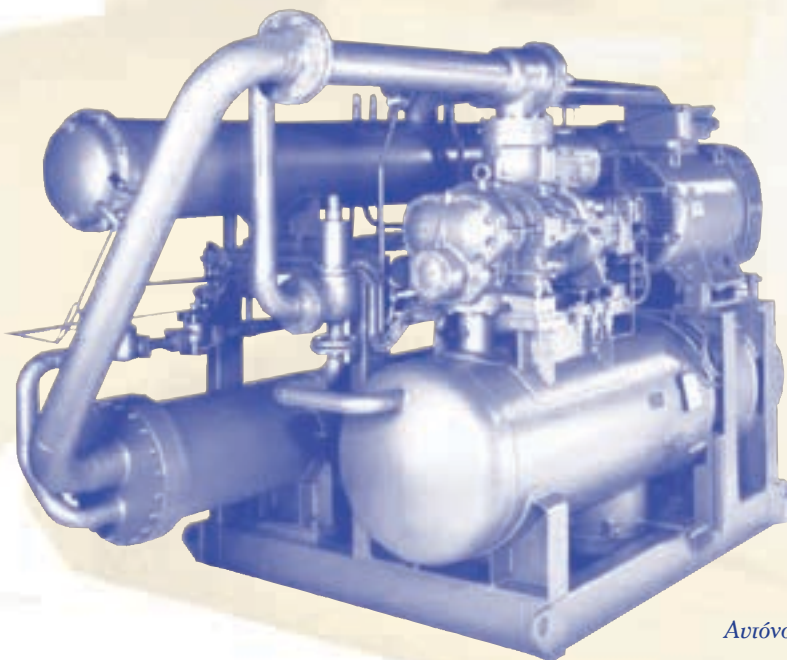
ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 Ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 Βασικές αρχές κλιματισμού – Κλιματιστικές εγκαταστάσεις πλοίων

Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις στα πλοία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στη συντήρηση και στη μεταφορά τροφίμων, αλλά και στη μεταφορά υγροποιημένων υδρογονανθράκων. Οι συνήθεις ψυκτικές μηχανές που συναντώνται σε όλα τα πλοία είναι κυρίως η ψυκτική εγκατάσταση συντηρήσεως και καταψύξεως τροφίμων και η ψυκτική εγκατάσταση κλιματισμού. Στο μέρος αυτό περιγράφονται οι ψυκτικές εγκαταστάσεις των πλοίων ψυγείων, καθώς και η κατασκευή των ψυκτικών θαλάμων τους. Ακόμα γίνεται αναφορά στην κατασκευή των εμπορευματοκιβωτίων μεταφοράς προϊόντων υπό ψύξη και στη διαμόρφωση των πλοίων μεταφοράς τους. Παρουσιάζονται επίσης οι βασικές αρχές λειτουργίας μικρών ψυκτικών μηχανών, που υπάρχουν σε όλα τα πλοία, όπως οι ψυκτικοί αφυγραντήρες, τα οικιακά ψυγεία, οι οικιακοί καταψύκτες και οι παγομηχανές.

Το βιβλίο ολοκληρώνεται με τις βασικές αρχές του κλιματισμού και του αερισμού των χώρων ενδιαίτησης των πλοίων, την ανάλυση της ουσιάσεως του υγρού αέρα, την περιγραφή της λειτουργίας της εγκαταστάσεως αερισμού κλιματισμού-θερμάνσεως ενός πλοίου και με την περιγραφή της λειτουργίας μιας ειδικής κατηγορίας κλιματιστικών μηχανών, των αντλιών θερμότητας.



Αυτόνομη μονάδα ψύξεως άλμης.

πλοίων έχει ως σκοπό τη διατήρηση των τροφίμων που προορίζονται για κατανάλωση από το πλήρωμα και από τους επιβάτες και είναι σχεδιασμένα, ώστε το πλοίο να μπορεί να είναι αυτόνομο για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς ανεφοδιασμό. Η ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να μπορεί να λειτουργεί κάτω από ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες, ενώ σημαντική είναι η δυνατότητα αποθηκείωσης κατεψυγμένων προϊόντων. Γι' αυτόν το λόγο προβλέπεται η επάρκεια χώρων αποθηκείωσης και ο υπολογισμός της ψυκτικής ισχύος γίνεται, ώστε να μπορεί να διατηρείται η θερμοκρασία στην επιθυμητή τιμή.

Τα τρόφιμα διατηρούνται σε ψυκτικούς θαλάμους ανάλογα με τη θερμοκρασία συντηρήσεώς τους. Συνήθως, υπάρχουν τρεις ψυκτικοί θάλαμοι εκ των οποίων οι δύο είναι θάλαμοι καταψύξεως και έχουν θερμοκρασία $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$) και ο ένας είναι θάλαμος συντηρήσεως και έχει θερμοκρασία $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($33\text{ }^{\circ}\text{F}$) έως $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($39,2\text{ }^{\circ}\text{F}$). Από τους θαλάμους καταψύξεως χρησιμοποιείται ο ένας για **αποθήκευση ψαριών** (fish room) και ο άλλος για **αποθήκευση κρεάτων** (meat room), ενώ στο θάλαμο συντηρήσεως τοποθετούνται τα **χορταρικά** (vegetable room). Οι τρεις αυτοί ψυκτικοί θάλαμοι έχουν έναν κοινό **χώρο εισόδου** (lobby), ο οποίος ψύχεται από ανεξάρτητο ατμοποιητή και διατηρείται σε θερμοκρασία συντηρήσεως. Ο χώρος εισόδου χρησιμοποιείται για την πρόψυξη των εφοδίων, όταν αυτά προμηθεύονται από ζεστά κλίματα και έχουν υψηλή θερμοκρασία. Σε περιπτώσεις ανεφοδιασμού μεγάλου όγκου εφοδίων, τα οποία έχουν υψηλή θερμοκρασία, η τοποθέτησή τους απευθείας στους θαλάμους καταψύξεως μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και την αλλοίωση των προϊόντων των θαλάμων. Επίσης, δημιουργείται υπερφόρτιση στην ψυκτική εγκατάσταση, δεδομένου ότι αυξάνονται κατακόρυφα οι ανάγκες για απομάκρυνση μεγάλων ποσών θερμότητας. Στα πλοία νέας ναυπηγήσεως, όπου η διάρκεια των ταξιδιών μειώνεται, για λόγους οικονομίας πολλές φορές υπάρχει μόνο ένας θάλαμος καταψύξεως και ένας συντηρήσεως, ενώ ο χώρος εισόδου δεν ψύχεται με ξεχωριστό ατμοποιητή.

Οι ψυκτικοί θάλαμοι τοποθετούνται συνήθως κάτω από το χώρο του μαγειρείου, ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση σ' αυτούς. Η μία τους μεριά βρίσκεται στην πλευρά του πλοίου, όπου και υπάρχουν θύρες φορτώσεως, για να διευκολύνεται ο ανεφοδιασμός. Η απαιτούμενη επιφάνεια των ψυκτικών θαλάμων υπολογίζεται ανάλογα με την απαιτούμενη

ποσότητα τροφίμων, το συντελεστή στοιβασίας και το ωφέλιμο ύψος φορτώσεως, με προσεγγιστικούς τύπους. Στον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη η διαφορά μεταξύ των ανεφοδιασμών και ο αριθμός των μελών του πληρώματος και των επιβατών που εξυπηρετούνται. Το ωφέλιμο ύψος των ψυκτικών θαλάμων περιορίζεται από τη συσκευασία των τροφίμων και τη στοιβασία τους. Όταν το ύψος του θαλάμου είναι $2,10\text{ m}$, το ωφέλιμο ύψος λαμβάνεται ίσο με $1,80\text{ m}$, ώστε να είναι σταθερή η στοιβασία των τροφίμων. Ο συντελεστής στοιβασίας που επιτυγχάνεται είναι περίπου $2,8\text{ m}^3/\text{ton}$, οπότε ο συνολικός απαιτούμενος όγκος των ψυκτικών θαλάμων μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$V = \frac{N \cdot P \cdot D \cdot F}{1000}$$

όπου: V , ο συνολικός απαιτούμενος όγκος των θαλάμων σε m^3 , N , ο αριθμός των μελών πληρώματος και επιβατών, P , η ποσότητα εφοδίων ανά άτομο, ανά ημέρα, η οποία λαμβάνεται $4,5\text{ kg}$ για εμπορικά πλοία και $6,1\text{ kg}$ για επιβατηγά, D , ο αριθμός των ημερών ανάμεσα σε ανεφοδιασμούς και F , ο συντελεστής στοιβασίας, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με $2,8\text{ m}^3/\text{ton}$.

Στον όγκο που προκύπτει από τον παραπάνω τύπο, δεν υπολογίζεται ο όγκος των ατμοποιητών και των καναλιών του αέρα.

Η μόνωση των ψυκτικών θαλάμων είναι τέτοια, ώστε με το ψυκτικό φορτίο που προκύπτει, η εγκατάσταση να μπορεί να λειτουργήσει σε ακραίες συνθήκες. Τυπικές συνθήκες υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου είναι οι εξής:

- α) Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα: $38\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- β) Θερμοκρασία γειτονικών χώρων μηχανοστασίου: $38\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- γ) Θερμοκρασία γειτονικών χώρων πλυν μηχανοστασίου: $29\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- δ) Θερμοκρασία θάλασσας: $29\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ε) Συνολικός συντελεστής στοιβασίας: $2,2\text{ m}^3/\text{ton}$.
- στ) Φόρτιση εγκαταστάσεως σε γεμάτο θάλαμο συντηρήσεως: 75% .
- ζ) Φόρτιση εγκαταστάσεως σε γεμάτο θάλαμο καταψύξεως: 25% .
- η) Θερμοκρασία παραλαβής προϊόντων συντηρήσεως: $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- θ) Θερμοκρασία παραλαβής προϊόντων καταψύ-

ξεως: -4°C .

1) Θερμοκρασία θαλάμων συντηρήσεως: 1°C .

ια) Θερμοκρασία θαλάμων καταψύξεως: -18°C

ιβ) Ποσοστό συμπληρώσεως με εξωτερικό αέρα με 29°C ξηρού βολβού, 24°C υγρού βολβού: 3%/

Οι ατμοποιητές των ψυκτικών θαλάμων είναι συνήθως εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ή πιο σπάνια φυσικής κυκλοφορίας αέρα. Οι περισσότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις των ψυκτικών θαλάμων συντηρήσεως των εφοδίων των εμπορικών πλοίων, συνήθως αποτελούνται από δύο όμοιες **ανεξάρτητες μονάδες συμπυκνώσεως** (condensing units). Η κάθε μονάδα συμπυκνώσεως περιλαμβάνει έναν εμβολοφόρο συμπιεστή, υδροψυκτο συμπυκνωτή, συλλέκτη υγρού, εναλλάκτη υποψύξεως και τις απαραίτητες βαλβίδες και εξαρτήματα αυτοματισμού. Η κάθε μία μονάδα μπορεί να εξυπηρετήσει το πλήρες ψυκτικό φορτίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, οπότε με την ύπαρξη δύο μονάδων η μία λειτουργεί και η άλλη μπορεί να επισκευάζεται χωρίς να υπάρχει κίνδυνος αλλοιώσεως των εφοδίων. Στην περίπτωση παραλαβής θερμών εφοδίων, τα οποία πρέπει να έρθουν σε θερμοκρασίες καταψύξεως και συντηρήσεως, το ψυκτικό φορτίο μεγιστοποιείται, οπότε λειτουργούν και οι δύο μονάδες συμπυκνώσεως. Το μέγεθος των μονάδων συμπυκνώσεως επιλέγεται, ώστε μετά από τον ανεφοδιασμό να μπορεί η θερμοκρασία των τροφίμων να πέσει στους -18°C για την κατάψυξη και στους $0,5^{\circ}\text{C}$ για τη συντήρηση, σε χρονικό διάστημα δύο ημερών.

Στους ατμοποιητές των θαλάμων καταψύξεως, λόγω της χαμηλής τους θερμοκρασίας, συσσωρεύεται πάγος, οπότε υπάρχει κατάλληλο σύστημα αποπαγήσεως. Αυτή γίνεται συνήθως με ηλεκτρικές αντιστάσεις, ενώ χρησιμοποιείται και η μέθοδος της αποχιονώσεως με παράκαμψη θερμού αερίου από το συμπιεστή.

11.2.2 Περιγραφή ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως εφοδίων πλοίου.

Στο σχήμα 11.2 φαίνεται μια ψυκτική εγκατάσταση συντηρήσεως προμηθειών ενός εμπορικού πλοίου που περιλαμβάνει τρεις ψυκτικούς θαλάμους και δύο μονάδες συμπυκνώσεως. Τα σχέδια των μονάδων συμπυκνώσεως, οι οποίες περιλαμβάνουν δύο συμπιεστές και συλλέκτη υγρού που δίνονται στο Παράρτημα 6.Α. Οι ψυκτικοί θάλαμοι καταψύξεως είναι δύο: ο **θάλαμος κρεάτων** (meat room) και ο **θάλαμος ψαρικών** (fish room) και έχουν θερ-

μοκρασία -18°C . Ο θάλαμος κρεάτων έχει όγκο φορτώσεως 25 m^3 , ενώ ο θάλαμος ψαρικών 15 m^3 . Υπάρχει κι ένας θάλαμος **συντηρήσεως χορταρικών** (vegetable room), ο οποίος έχει όγκο 25 m^3 και θερμοκρασία 4°C και είναι εφοδιασμένος με μία γεννήτρια όζοντος. Οι θερμοκρασίες υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου είναι 45°C για τον εξωτερικό αέρα και 36°C για το νερό συμπυκνώσεως. Όταν τα συντηρούμενα τρόφιμα έχουν τις κανονικές θερμοκρασίες καταψύξεως και συντηρήσεως, το ψυκτικό φορτίο μπορεί να εξυπηρετείται με τη λειτουργία της μίας μονάδας συμπυκνώσεως, ενώ η άλλη βρίσκεται σε **αναμονή** (stand-by). Η μονάδα συμπυκνώσεως που λειτουργεί έχει μεγαλύτερη ισχύ, προκειμένου να εργάζεται 18 ώρες το 24-ωρο.

Η ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με ψυκτικό μέσο R-407C. Για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως προβλέπονται 48 kg αυτού του ψυκτικού μέσου.

Η λειτουργία γίνεται με **κύκλο κενού** (rump down cycle). Αυτό σημαίνει ότι οι συμπιεστές ελέγχονται από τον **πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως** (low pressure control), ενώ για να αποτραπεί η δημιουργία υπερβολικά μεγάλης πίεσεως καταθλίψεως, υπάρχει και ένας πιεζοστάτης υψηλής πίεσεως. Έτσι, ο πιεζοστάτης χαμηλής πίεσεως είναι διάταξη αυτοματισμού, ενώ αντίστοιχα ο υψηλής είναι διάταξη ασφαλείας. Επί πλέον, υπάρχει ένας διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού, ο οποίος είναι και αυτός διάταξη ασφαλείας και διακόπτει τη λειτουργία του συμπιεστή σε περίπτωση χαμηλής πίεσεως λαδιού στο κύκλωμα λιπάνσεως.

Δεδομένου ότι η ψυκτική εγκατάσταση δεν είναι σχεδιασμένη για συνεχή παράλληλη λειτουργία και των δύο μονάδων συμπυκνώσεως, μετά από κάθε συμπιεστή υπάρχει ένας διαχωριστήρας λαδιού, του οποίου η έξοδος λαδιού συνδέεται με την ελαιολεκάνη. Έτσι, σε συνθήκες συνεχούς παράλληλης λειτουργίας των μονάδων συμπυκνώσεως, είναι δυνατόν να εμφανιστεί έλλειψη λαδιού στον ένα από τους δύο συμπιεστές, δεδομένου ότι το λάδι που διαφεύγει απ' τον ένα συμπιεστή, μπορεί να επιστρέφει στον άλλο. Γι' αυτό, θα πρέπει σε συνεχή παράλληλη λειτουργία να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα η στάθμη λαδιού στην ελαιολεκάνη των συμπιεστών. Η παράλληλη λειτουργία γίνεται μόνο τις δύο πρώτες ημέρες μετά από τον ανεφοδιασμό, οπότε υπάρχει μεγάλο φορτίο, προκειμένου να μειωθεί ο ενδιάμεσος χρόνος μέχρι την πτώση της θερμοκρασίας των τροφίμων. Μία λύση στο πρόβλημα της με-

ταβολής της στάθμης λαδιού στους συμπιεστές είναι η εξαγωγή των ελαιοδιαχωριστήρων σε μια κοινή δεξαμενή λαδιού και η συμπλήρωση του λαδιού στους συμπιεστές από τη δεξαμενή μέσω βαλβίδων ρυθμίσεως στάθμης του λαδιού στην ελαιολεκάνη (βλ. Κεφ. 5).

Η επιλογή της μονάδας συμπυκνώσεως που λειτουργεί δεν γίνεται αυτόματα, αλλά χειροκίνητα με την απομόνωση της άλλης μονάδας συμπυκνώσεως. Η απομόνωση μιας μονάδας συμπυκνώσεως γίνεται με το κλείσιμο της βαλβίδας υγρού από την έξοδο του συμπυκνωτή και της βαλβίδας στην αναρρόφησή του, ενώ στη συνέχεια ο κινητήρας του κρατείται από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως. Η απομόνωση της μίας μονάδας συμπυκνώσεως δεν πρέπει να γίνεται με το κλείσιμο της ηλεκτρικής παροχής στο συμπιεστή. Αν δεν κλείσουν οι βαλβίδες απομονώσεως της μονάδας συμπυκνώσεως που δεν λειτουργεί, το ψυκτικό μέσο θα συσσωρευτεί στο συμπυκνωτή της όπου υπάρχει μικρότερη θερμοκρασία και πίεση. Ως αποτέλεσμα, η μονάδα συμπυκνώσεως που λειτουργεί θα σταματήσει από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως αναρροφήσεως, διότι οι σωληνώσεις θα αδειάσουν από ψυκτικό μέσο, πράγμα που δημιουργεί τον κίνδυνο ο συμπιεστής να αδειάσει από λάδι.

Ο κάθε ψυκτικός θάλαμος διαθέτει έναν ατμοποιητή και η θερμοκρασία του ελέγχεται από ένα θερμοστάτη, ο οποίος ενεργοποιεί την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Αυτή ανοίγει και κλείνει την παροχή του υγρού ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη προς τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα που υπάρχει πριν από κάθε ατμοποιητή. Στη γραμμή αναρροφήσεως μετά τον ατμοποιητή του θαλάμου χορταρικών υπάρχει μια βαλβίδα ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποίησης. Ο ρόλος αυτής της βαλβίδας είναι να διατηρεί υψηλότερη την πίεση και τη θερμοκρασία ατμοποίησης στο θάλαμο των χορταρικών, ο οποίος έχει την υψηλότερη θερμοκρασία.

Η αποχιόνωση ελέγχεται από ένα προγραμματιζόμενο ελεγκτή (PLC).

Η αποχιόνωση στους ατμοποιητές των θαλάμων ψαριών και κρεάτων (θάλαμοι καταψύξεως) γίνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις, οι οποίες είναι τοποθετημένες στα περύγια του ατμοποιητή και στο δίσκο απορροής. Η συχνότητα των αποχιονώσεων ρυθμίζεται μ' έναν προγραμματιζόμενο ελεγκτή, ο οποίος εικονίζεται στο Παράρτημα 6 (σχ. 6.Αδ). Όταν από τον ελεγκτή δοθεί η εντολή ενάρξεως ενός κύκλου αποχιονώσεως συμβαίνουν τα εξής:

α) Κρατείται ο συμπιεστής και κλείνει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα του υγρού.

β) Οι ανεμιστήρες των θαλάμων καταψύξεως κρατούνται. Ταυτόχρονα, ο ανεμιστήρας του θαλάμου συντηρήσεως συνεχίζει να λειτουργεί για να στέλνει τον αέρα των 4 °C του θαλάμου συντηρήσεως στα περύγια του ατμοποιητή, ώστε να αποτραπεί ο σχηματισμός πάγου.





































γ) Δίνεται ρεύμα στις ηλεκτρικές αντιστάσεις αποχιονώσεως.

δ) Όσο υπάρχει πάγος στα περύγια των ατμοποιητών των θαλάμων καταψύξεως, η θερμοκρασία τους διατηρείται κοντά στους 0 °C, διότι όλη η θερμότητα από τις αντιστάσεις απορροφάται από τον πάγο που λιώνει. Όταν η θερμοκρασία αρχίσει να αυξάνεται πάνω από 4 °C σημαίνει ότι ο πάγος έχει λιώσει. Η θερμοκρασία των περυγίων μετρείται από έναν **αισθητήρα αποπαγώσεως** (defrost thermo sensor), ο οποίος δίνει εντολή για το σταμάτημα του ρεύματος στις αντιστάσεις όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 10 °C.

ε) Ο συμπιεστής εκκινεί και ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού.

στ) Όταν η θερμοκρασία των περυγίων του ατμοποιητή γίνει μικρότερη από τη θερμοκρασία καταψύξεως, εκκινεί ο ανεμιστήρας του ατμοποιητή, οπότε η εγκατάσταση βρίσκεται σε κανονική λειτουργία ψύξεως.

Οι συμπυκνωτές των μονάδων συμπυκνώσεως είναι οριζόντιοι, τύπου **κελύφους-αυλών** (shell and tube). Το νερό συμπυκνώσεως είναι γλυκό και ψύχεται από θάλασσα, μέσω ενός ενδιάμεσου εναλλάκτη. Η παροχή του νερού στο παράδειγμα αυτό είναι 4,3 m³/h και οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου 36 °C και 37,9 °C αντίστοιχα. Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως του R-407C είναι 41,4 °C. Οι αυλοί των συμπυκνωτών είναι χάλκινοι, ενώ το κέλυφος και τα ακριανά καλύμματα χαλύβδινα. Ο κάθε συμπυκνωτής έχει αρκετό όγκο, ώστε σ' αυτόν να συγκεντρώνεται το υγρό ψυκτικό μέσο της εγκαταστάσεως (συνολικά 48 kg). Έτσι, δεν υπάρχει συλλέκτης υγρού και το ρόλο του έχουν αναλάβει οι συμπυκνωτές. Σε κάθε συμπυκνωτή υπάρχει ασφαλιστικό και ενδεικτική ύαλος για τη μέτρηση της στάθμης. Επίσης, υπάρχει γραμμή και βαλβίδα εξισώσεως της πίεσεως από τους δύο συμπυκνωτές. Στη γραμμή υγρού υπάρχει ένα αφυγραντικό φίλτρο και γραμμή και επιστόμια παρακάμψεως, ενώ μετά το φίλτρο υπάρχει ένας ενδείκτης ροής και υγρασίας.

	Διακοπής δικτύου		Πιεζοστάτης χαμηλής πίεσης		Διαφοριστήρας λαδιού με πλωτήρα
	Διακοπής δικτύου		Διακόπτης χαμηλής πίεσης για ανεπαρκή παροχή νερού φυγής		Συμπεστές
	Ασφαλιστικό επιστόμιο		Θερμοστάτης χώρου		Συμπυκνωτής
	Χειροκίνητη ρυθμιστική βαλβίδα		Θερμόμετρο		Συλλέκτης υγρού
	Ανεπίστροφη βαλβίδα		Ενδεικτική ύαλος στάθμης		Εναλλάκτης θερμότητας
	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα		Ενδεικτής ροής		Ψύκτης αέρα
	Βαλβίδα διατήρησης σταθερής πίεσης		Φίλτρο και αφυγραντήρας		Ανεμιστήρας
	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα		Φίλτρο		Φυγοκεντρική αντλία
	Αυτόματη βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού		Μανόμετρο		Μονωμένος αγωγός
	Πιεζοστατικός διακόπτης πίεσεως λαδιού		Διανομέας υγρού		Τριόδη βαλβίδα
	Πιεζοστάτης υψηλής και χαμηλής πίεσεως		Αποχωριστήρας υγρού		Διαφορικός πιεζοστάτης
	Πιεζοστάτης υψηλής πίεσεως		Διαφοριστήρας λαδιού		Εύκαμπος αγωγός

(β)

Σχ. 11.2.

(α) Ψυκτική εγκατάσταση συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου και (β) υπήνημα διαγράμματος.

Το ανάπτυγμα του συμπιεστή δίνεται στο Παράρτημα 6 (σχ. Π.6.Αα).

Οι συμπιεστές του παραδείγματος είναι εμβολοφόροι 4-κύλινδροι με 60 mm διάμετρο και 40 mm διαδρομή, ενώ η ταχύτητα περιστροφής είναι 1250 rpm. Οι βαλβίδες τους είναι τύπου εύκαμπτης λάμας και η ρύθμιση της ισχύος γίνεται με φράξιμο του οχετού αναρροφήσεως. Κάθε συμπιεστής περιλαμβάνει δύο βαλβίδες συντηρήσεως στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη, τους θερμοστάτες υψηλής, χαμηλής πίεσεως και λαδιού, φίλτρο αναρροφήσεως και φίλτρο λαδιού, ελαιοδιαχωριστήρα με πλωτήρα και ένα θερμαντικό στοιχείο στην ελαιολεκάνη.

Οι πιεζοστάτες των συμπιεστών είναι ρυθμισμένοι ως εξής:

α) Πιεζοστάτης υψηλής πίεσεως:

- πίεση διακοπής (cut-out): 19,5 bar
- πίεση εκκινήσεως (cut-in): χειροκίνητη επανάταξη (manual reset)

β) Πιεζοστάτης χαμηλής πίεσεως:

- πίεση διακοπής (cut-out): 0,5 bar
- πίεση εκκινήσεως (cut-in): 1,5 bar

γ) Πιεζοστάτης λαδιού:

- πίεση διακοπής (cut-out): 0,4 bar
- πίεση εκκινήσεως (cut-in): χειροκίνητη επανάταξη (manual reset)
- χρονοκαθυτέρηση (time delay): 60 sec.

Οι βαλβίδες υγρού και αναρροφήσεως των τριών ψυκτικών θαλάμων είναι τοποθετημένες σ' έναν **κοινό συλλέκτη** (common valve board). Αυτός περιλαμβάνει τις χειροκίνητες βαλβίδες υγρού και αερίου, προς και από τους ατμοποιητές, τις τρεις θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες, δύο ανεπίστροφες βαλβίδες αερίου για τους θαλάμους καταψύξεως και τη βαλβίδα ρυθμίσεως της πίεσεως ατμοποίησης του θαλάμου συντηρήσεως.

11.3. Κλιματιστική εγκατάσταση εμπορικού πλοίου.

11.3.1 Γενικά.

Η κλιματιστική εγκατάσταση των εμπορικών πλοίων έχει ως σκοπό την επίτευξη του αισθήματος της θερμικής ανέσεως για τους ανθρώπους που ζουν και εργάζονται στο πλοίο. Αυτό γίνεται με τη ρύθμιση

της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας του αέρα που κυκλοφορεί στους χώρους ενδωπιήσεως. Οι αρχές του κλιματισμού, οι ιδιότητες του υγρού αέρα, ο οποίος είναι το εργαζόμενο μέσο στον κλιματισμό και οι μεταβολές του υγρού αέρα μέσα σε μία κλιματιστική μονάδα περιγράφονται στο Κεφάλαιο 12. Σ' αυτήν την παράγραφο περιγράφεται η λειτουργία της κλιματιστικής μονάδας και τα κύρια μέρη του συστήματος διανομής αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους του πλοίου.

Με τον όρο **κλιματισμός** εννοείται η δημιουργία καταλλήλων συνθηκών κλίματος διαβιώσεως και σ' αυτόν συμπεριλαμβάνεται και η θέρμανση κατά το χειμώνα. Συνήθως όμως η λέξη κλιματισμός χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγραφεί η λειτουργία της ψύξεως και της αφυγράνσεως του αέρα κατά το καλοκαίρι. Σημειωτέον ότι οι λέξεις χειμώνας και καλοκαίρι στην περίπτωση των πλοίων δεν δηλώνουν διαφορετικές ημερολογιακές εποχές, αλλά διαφορετικές ημερολογιακές συνθήκες εξωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας, στις οποίες το πλοίο μπορεί να βρίσκεται κατά τη διάρκεια των πλόων του.

Μια **κύρια κλιματιστική εγκατάσταση** πλοίου αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

α) Τις **μονάδες επεξεργασίας αέρα** (air handling units), όπου ο αέρας που επιστρέφει από τους χώρους ενδωπιήσεως, αναμειγνύεται μ' ένα ποσοστό εξωτερικού αέρα, φιλτράρεται και στη συνέχεια κατά περίπτωση θερμαίνεται ή ψύχεται και υγραίνεται ή αφυγραίνεται. Οι μονάδες επεξεργασίας αέρα βρίσκονται σε ξεχωριστό χώρο στο κατάστρωμα και σ' αυτές καταλήγουν και ξεκινούν οι αεραγωγοί διανομής και επιστροφής του αέρα. Στις μονάδες επεξεργασίας αέρα δίνεται παροχή ατμού για τη θέρμανση και την ύγρανση. Η ψύξη του αέρα, όπως έχουμε πει, συνήθως γίνεται με **ατμοποιητές άμεσης εκτονώσεως** (direct expansion), οι οποίοι τροφοδοτούνται με σωλήνες παροχής και επιστροφής ψυκτικού μέσου από τις μονάδες συμπυκνώσεως που βρίσκονται στο μηχανοστάσιο.

β) Το **σύστημα διανομής αέρα**, το οποίο αποτελείται από τους ανεμιστήρες, τους αεραγωγούς προσαγωγής και επιστροφής (αν υπάρχουν), τα στόμια, τους αυτοματισμούς κ.λπ.. Με το σύστημα αυτό εξασφαλίζεται η ανανέωση του αέρα ανάλογα με τις ανάγκες των κλιματιζομένων χώρων και ρυθμίζεται η ταχύτητά του στους χώρους ενδωπιήσεως, που είναι ο τρίτος παράγοντας επιτεύξεως της θερμικής ανέσεως (μετά τη θερμοκρασία και την υγρασία).

γ) Την **ψυκτική εγκατάσταση** που αποτελείται από δύο ή περισσότερες μονάδες συμπυκνώσεως που βρίσκονται στο μηχανοστάσιο. Η κάθε μία αποτελείται από συμπιεστή, υδρόψυκτο συμπυκνωτή, συλλέκτη υγρού και εάν η ψύξη του αέρα είναι έμμεση υπάρχει και ψύκτης άλμης.

Εκτός από τις κύριες κλιματιστικές εγκαταστάσεις που περιγράφηκαν παραπάνω και χρησιμοποιούνται για τον κλιματισμό και τη διανομή αέρα στους χώρους ενδιαίτησεως, υπάρχουν και τοπικές μικρές **αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες** που τοποθετούνται σε ειδικούς χώρους, όπως το μαγειρείο. Αυτό γίνεται για μην αναμειχθεί ο αέρας των χώρων αυτών που έχει οσμές με τον αέρα που ανακυκλοφορεί στους χώρους ενδιαίτησεως. Οι μικρές αυτές μονάδες ονομάζονται **τύπου κασέτας** (package type).

Μια τυπική κύρια κλιματιστική εγκατάσταση περιλαμβάνει μια ψυκτική μονάδα, η οποία είναι παρόμοια μ' αυτήν που υπάρχει στους ψυκτικούς θαλάμους των αποθηκών των τροφίμων και που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Και στην περίπτωση του κλιματισμού υπάρχουν περισσότερες από μία (συνήθως δύο) ξεχωριστές μονάδες συμπυκνώσεως, ώστε να μπορούν να γίνονται εργασίες συντηρήσεως και επισκευής σε κάποια απ' αυτές. Η κάθε μία μονάδα συμπυκνώσεως δεν μπορεί να ικανοποιήσει ολόκληρο το ψυκτικό φορτίο, όπως στην περίπτωση των μονάδων συμπυκνώσεως των ψυκτικών θαλάμων συντηρήσεως των τροφίμων. Έτσι, οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις διαφέρουν από τις ψυκτικές εγκαταστάσεις των αποθηκών του πλοίου στο ότι δεν υπάρχει εφεδρική μονάδα συμπυκνώσεως. Το μέγεθος των μονάδων συμπυκνώσεως επιλέγεται με βάση το μέγιστο φορτίο όταν όλοι οι χώροι κλιματίζονται και οι θερμικές απώλειες είναι οι μέγιστες.

Μία άλλη διαφορά των ψυκτικών μονάδων κλιματισμού και συντηρήσεως τροφίμων, είναι ότι στην ψυκτική μονάδα του κλιματισμού η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι υψηλότερη και το ψυκτικό φορτίο είναι κατά πολύ μεγαλύτερο. Οι ατμοποιητές έχουν θερμοκρασία ελαφρώς μεγαλύτερη από 0 °C και συνήθως είναι του **τύπου άμεσης εκτονώσεως** (direct expansion), δηλαδή ο αέρας ψύχεται με την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου στις σωλίνες του ατμοποιητή. Σε μεγάλες κλιματιστικές εγκαταστάσεις που υπάρχουν στα επιβατηγά πλοία η ψυκτική εγκατάσταση μπορεί να είναι **έμμεση** (indirect/brine type), όπου ο ατμοποιητής είναι ψύκτης άλμης, η οποία μεταφέρεται στους ψύκτες αέρα των κλιματιζο-

μένων χώρων. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως χρησιμοποιούνται ψύκτες άλμης που περιλαμβάνουν έναν εμβολοφόρο, περιστροφικό με λοβούς ή φυγοκεντρικό συμπιεστή, έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, εκτονωτική βαλβίδα και έναν ψύκτη άλμης, ο οποίος ψύχει την άλμη σε θερμοκρασία 7–10 °C.

11.3.2 Κύρια κλιματιστική εγκατάσταση εμπορικού πλοίου.

Η κύρια κλιματιστική εγκατάσταση περιλαμβάνει δύο όμοιες μονάδες επεξεργασίας αέρα, η κάθε μία απ' τις οποίες μπορεί να εξυπηρετεί το 60% της μέγιστης συνολικής παροχής κλιματιζόμενου αέρα στους χώρους ενδιαίτησεως. Οι δύο μονάδες επεξεργασίας αέρα είναι τοποθετημένες στο ανώτερο κατάστρωμα δεξιά και αριστερά του μέσου του πλοίου, για συμμετρική κατανομή του βάρους τους.

Ο υπολογισμός του θερμικού φορτίου πραγματοποιείται με τις ακόλουθες συνθήκες:

α) **Συνθήκες θέρους** (πρώτη κατάσταση υπολογισμού):

- Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα: 45 °C
- Σχετική υγρασία εξωτερικού αέρα: 40%
- Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα: 27 °C
- Σχετική υγρασία εσωτερικού αέρα: 50%

β) **Συνθήκες θέρους** (δεύτερη κατάσταση υπολογισμού για τροπικό κλίμα):

- Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα: 32 °C
- Σχετική υγρασία εξωτερικού αέρα: 70%
- Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα: 24 °C
- Σχετική υγρασία εσωτερικού αέρα: 50%
- Ποσοστό αέρα ανακυκλοφορίας: 35,5%
- Ποσοστό εξωτερικού αέρα: 64,5%

γ) **Συνθήκες χειμώνα:**

- Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα: –20 °C
- Σχετική υγρασία εξωτερικού αέρα: 0%
- Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα: 20 °C
- Σχετική υγρασία εσωτερικού αέρα: 50%
- Ποσοστό αέρα ανακυκλοφορίας: 35,5%
- Ποσοστό εξωτερικού αέρα: 64,5%

Για την ψύξη του αέρα υπάρχουν δυο μονάδες συμπυκνώσεως στο μηχανοστάσιο. Το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο είναι το R-407C και η συμπύκνωσή του γίνεται με γλυκό νερό θερμοκρασίας 36 °C.

Οι μονάδες επεξεργασίας αέρα τοποθετούνται προκατασκευασμένες σ' ένα καλύβδινο σκελετό, μέσα σ' ένα κάλυμμα από γαλβανοσιμεντή λαμαρίνα, το οποίο προσφέρει θερμική προστασία και αντοχή

στην οξείδωση. Ο όγκος αέρα που μπορεί να επεξεργάζεται κάθε μονάδα είναι συνήθως 15.819 m³/h. Όλη η παροχή του αέρα διέρχεται από διαδοχικά στάδια επεξεργασίας που πραγματοποιούνται στα ακόλουθα τμήματα:

M – FI – H – C – HU – WE – FA – S

Αυτές είναι οι συντομογραφίες για τα εξής τμήματα επεξεργασίας αέρα:

α) είναι το **τμήμα αναμείξεως** (mixing section) του εσωτερικού αέρα ανακυκλοφορίας και του εξωτερικού αέρα. Ο εξωτερικός αέρας μπορεί να έχει αναλογία μέχρι 44,8%, η οποία ρυθμίζεται με δύο **διαφράγματα** (dampers). Χαρακτηριστικές διαστάσεις των διαφραγμάτων είναι 1000 x 1000 mm για τον εξωτερικό αέρα και 1000 x 650 mm για τον εσωτερικό αέρα ανακυκλοφορίας. Επίσης, υπάρχουν υποδοχές για την τοποθέτηση θερμοστατών.

β) **FI** είναι το **τμήμα φίλτραρίσματος** (filter section) του αέρα που προκύπτει από την ανάμειξη. Το φίλτρο αέρα είναι καθαριζόμενο από πολυαμίδιο με διαστάσεις 755 x 585 mm.

γ) **H** είναι το **τμήμα θερμάνσεως** (heating section), η οποία γίνεται με ατμό 7 atm. Η θερμική ισχύς του τμήματος θερμάνσεως μπορεί να είναι 258.000 kcal/h (300 kW) και η κατανάλωση του ατμού 529 kg/h. Με τη λειτουργία του τμήματος θερμάνσεως μπορεί η θερμοκρασία του αέρα να αυξάνεται από τους -7,8°C στους 49,2°C.

δ) **C** είναι το **τμήμα ψύξεως** του αέρα (cooling section) που διαθέτει έναν ατμοποιητή άμεσης εκτονώσεως, ο οποίος λειτουργεί με R-407C, η ροή του οποίου ελέγχεται από μία ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα. Επίσης, υπάρχει λεκάνη απορροής της υγρασίας που συμπυκνώνεται στα περύγια του ατμοποιητή. Η μεταβολή της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας του αέρα στο τμήμα ψύξεως μπορεί να είναι από τους 39,3 °C/43,2% στους 13,5 °C/95%.

ε) **HU** είναι το **τμήμα υγράνσεως** (humidifying section) με νερό 4 bar, το οποίο προστίθεται με **προστόμια** (nozzles). Και στο τμήμα υγράνσεως υπάρχει λεκάνη απορροής. Η κατανάλωση νερού μπορεί να είναι 221 kg/h.

στ) **WE** είναι το τμήμα **εξαλείψεως σταγόνων νερού** (water eliminator section), που ενδεχομένως να έχουν δημιουργηθεί από τα προηγούμενα τμήματα και τοποθετείται, προκειμένου να μην παρασυρθούν σταγόνες νερού στους αεραγωγούς. Η

παγίδευση των σταγόνων γίνεται με τις διαδοχικές αλλαγές κατευθύνσεως, μέσα από μεταλλικές περσίδες που ονομάζονται **νεροπαγίδες**.

ζ) **FA** είναι το **τμήμα του ανεμιστήρα** (fan section), ο οποίος δίνει την κίνηση στον αέρα που κυκλοφορεί στους χώρους ενδιστάσεως. Ο ανεμιστήρας είναι φυγοκεντρικός, λειτουργεί στις 2336 rpm και παίρνει κίνηση με ιμάντες από έναν ηλεκτρικό τριφασικό κινητήρα 10,86 kW/1752 rpm, όταν το πλοίο έχει δίκτυο 60 Hz.

η) **S** είναι το τμήμα **απομονώσεως ήχου** (sound trap), που περιλαμβάνει μια ηχοπαγίδα, ένα **διάφραγμα** (damper) με διαστάσεις 1000 x 650 mm και τη σύνδεση με τους αεραγωγούς προσαγωγής.

Οι μονάδες επεξεργασίας αέρα παρουσιάζονται στο σχήμα 11.3α. Τέλος, φαίνονται οι διαστάσεις των σωληνώσεων και τα εξαρτήματα συνδέσεως των μονάδων επεξεργασίας αέρα με ατμό και με το δίκτυο αποχετεύσεων των συμπυκνωμάτων από τους δίσκους απορροής.

Για την ψύξη του αέρα κλιματισμού υπάρχει στο μηχανοστάσιο μια ψυκτική εγκατάσταση (σχ. 11.3β), που αποτελείται από δύο μονάδες συμπυκνώσεως, παρόμοιες μ' αυτές του συστήματος ψύξεως των τροφίμων. Το εργαζόμενο μέσο είναι R-407C και οι μονάδες συμπυκνώσεως είναι σχεδιασμένες για τροπικές συνθήκες έτσι, ώστε να μπορούν να ψύχουν τον κλιματιζόμενο αέρα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία του είναι 45 °C και η θερμοκρασία του νερού συμπυκνώσεως 36 °C. Το φορτίο της κάθε μονάδας συμπυκνώσεως είναι το 60% του μέγιστου, ώστε η μία μονάδα συμπυκνώσεως να μπορεί να εξυπηρετήσει τη μονάδα επεξεργασίας αέρα.

Οι συμπιεστές είναι 6-κύλινδροι εμβολοφόροι και έχουν κεφαλή ασφαλείας με δισκοειδείς βαλβίδες (σχ. 11.3γ). Η διάμετρος του εμβόλου είναι 100 mm και η διαδρομή 60 mm, ενώ οι στροφές λειτουργίας 1399 rpm. Η ψυκτική ισχύς είναι 279,2 kW, για θερμοκρασία ατμοποίησης 8,1 °C και θερμοκρασία νερού συμπυκνώσεως 36 °C, ενώ η ηλεκτρική ισχύς που απορροφάει ο συμπιεστής είναι 75,1 kW. Η ρύθμιση της ισχύος συμπιέσεως γίνεται με ανύψωση των βαλβίδων αναρροφήσεως με την πίεση του λαδιού λιπάνσεως και ενεργοποιείται από την πίεση αναρροφήσεως.

Οι συμπυκνωτές είναι οριζόντιοι, τύπου κελύφους-αυλών και ψύχονται με γλυκό νερό με παροχή 59,5m³/h. Η θερμοκρασία του νερού συμπυκνώσεως στο μέγιστο φορτίο αυξάνεται από 36 °C σε 41,2 °C.

Πίνακας συνδέσεων

No.	Σύνδεση	Μέγεθος	Ποσότητα	Παρατηρήσεις
N-1	Είσοδος υγρού R-407C	1 3/8"	2	Τμήμα ψύξεως
N-2	Έξοδος αριών R-407C	2 5/8"	2	Τμήμα ψύξεως
N-3	Είσοδος αριού	10K - 50A	1	Τμήμα θερμάνσεως
N-4	Έξοδος συμπυκνωτή	10K - 40A	1	Τμήμα θερμάνσεως
N-5	Είσοδος αριού	PT 1"	1	Τμήμα υγρανώσεως
N-6	Έξοδος νερού	PT 1"	1	Τμήμα ψύξεως
N-7	Έξοδος νερού	PT 1"	1	Τμήμα ψύξεως
N-8	Έξοδος νερού	PT 1"	1	Τμήμα υγρανώσεως
N-9	Έξοδος νερού	PT 1"	1	Τμήμα ανεμιστήρων
N-10	Συμπλοκίτης καλωδίου	PG 16	1	Τμήμα ανεμιστήρων
N-11	Κουτί ηλεκτρολογικής συνδέσεως	-	1	

Σημειώσεις:

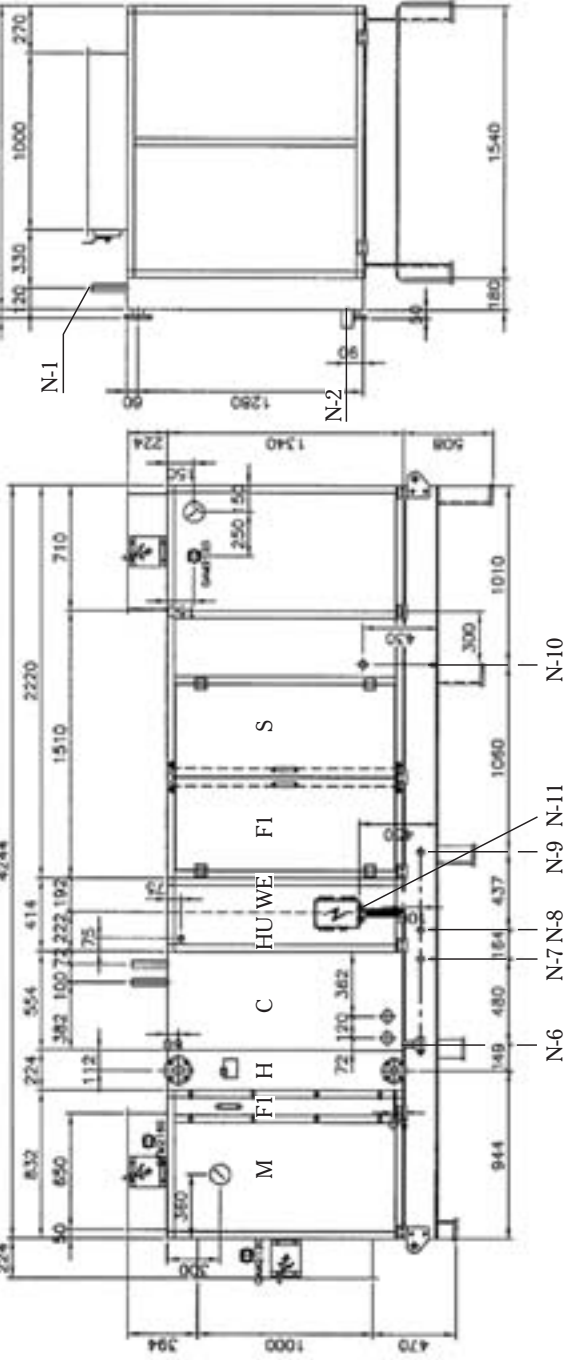
Τροχαλία κινητήρα: SPB - 200 - 3 (2517, Ø42)

Τροχαλία ανεμιστήρα: SPB - 150 - 3 (2517, Ø40)

Ιδιάντας κινητήρα: SPB - 2000 - 3

*Συνολικό βάρος μονάδας: 1400 kg

Παροχή τάσεως: 220V, 60Hz, μονοφασική



Σχ. 11.3α.

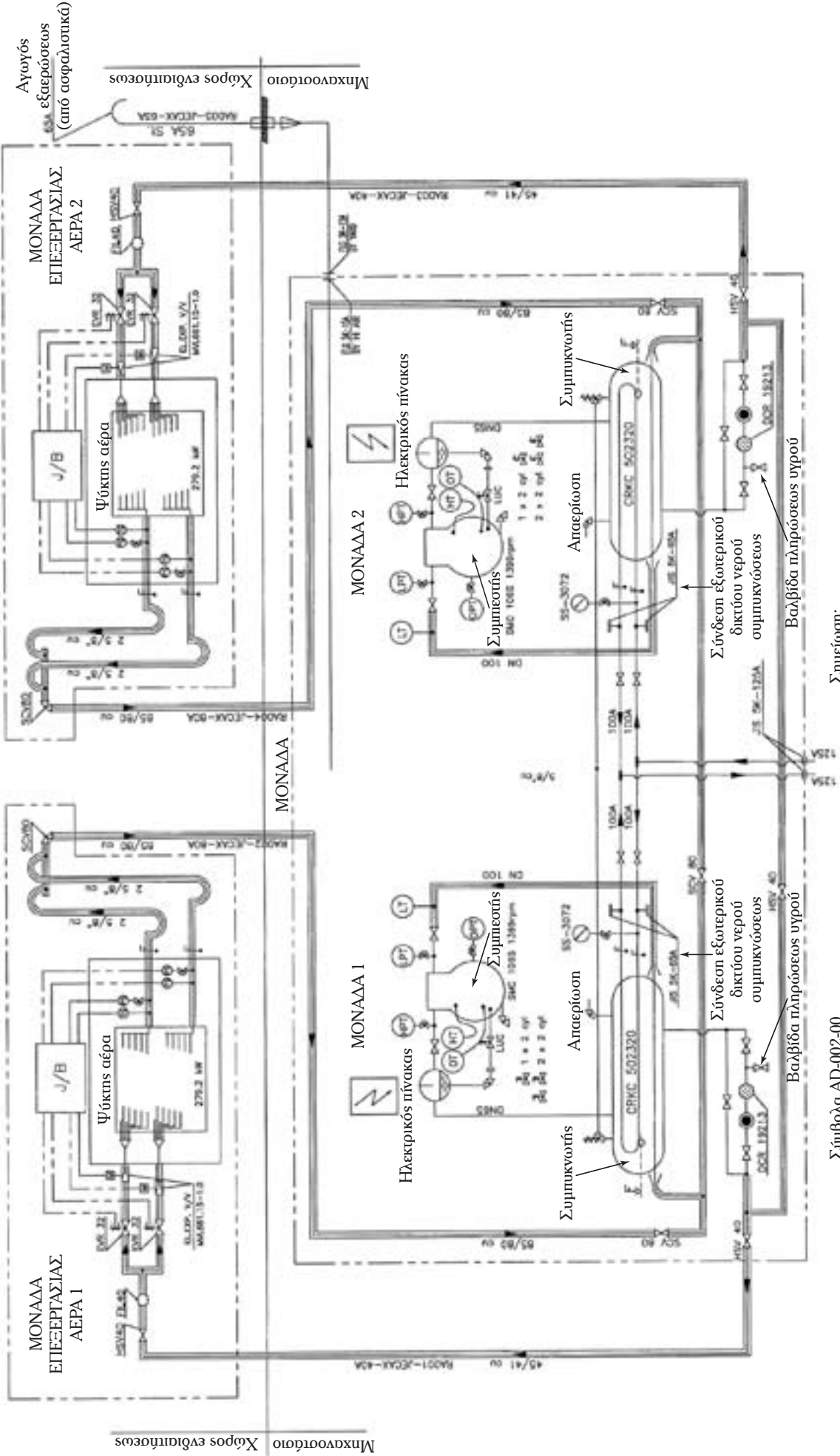
Μονάδα επεξεργασίας αέρα κύριας κλιματιστικής εγκαταστάσεως εμπορικού πλοίου.

Σύμβολο	Περιγραφή	Σχολίο
☐	Θερμοστάτης παραγωγικού	KP-61
Φ	Αισθητήρας θερμοκρασίας	QFM 2160
Φ	Αισθητήρας θερμοκρασίας	QAM 2120
⊙	Θερμόμετρο	-20°C ~ +80°C
S	Ηχοπαγίδα	J/D 1000 × 650
F	Τμήμα ανεμιστήρων	HLZ - 500 with motor
WE	Παγίδα σταγόνων	
HU	Τμήμα υγρανώσεως	F 11003 (5EA)
C	Τμήμα ψύξεως	1 εναλλάκτης ψύξεως/14 σειρές αγωγών
H	Τμήμα θερμάνσεως	2 εναλλάκτες θερμάνσεως 2 σειρές αγωγών
F1	Τμήμα φίλτρου αέρα	25 × 755 × 585 × 4
M	Τμήμα αναμειξεύσεως	J/D 1000 × 1000, 1000 × 650

LS

CO₂ Αισθητήρας CO₂ (τοποθετείται στο κανάλι αέρα επιστροφής)

Διακόπτης αποκοπής παροχής (τοποθετείται στο διάφραγμα εξωτερικού αέρα)












































- Σύμβολο AD-002-00
- Πίεση πίεσεως στο συμπυκνωτή 0,44 bar
- Παροχή νερού συμπυκνώσεως 119 m³/h
- Ποσότητα ψυκτικού μέσου R-407C 446 kg

- Σημείωση:
- 2 Μονάδες επεξεργασία αέρα X 60%=279,2 kw
- 2 Μονάδες συμπιεστών αέρα X 60%=279,2 kw

(α)

Σχ. 11.3β.

	Διακόπτης δικτύου		Αισθητήρας θερμοκρασίας καταθλίψεως		Διαχωριστήρας λαδιού
	Διακόπτης δικτύου		Αισθητήρας θερμοκρασίας λαδιού		Διαχωριστήρας λαδιού με πλωτήρα
	Ασφαλιστικό επιστόμιο		Αισθητήρας θερμοκρασίας		Συμμεσστής
	Χειροκίνητη ρυθμιστική βαλβίδα		Αισθητήρας πίεσως		Συμπυκνωτής
	Ανεπίστροφη βαλβίδα		Διακόπτης ασφαλείας χαμηλής παροχής νερού ψύξεως		Συλλέκτης υγρού
	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα		Θερμόμετρο		Ψύκτης αέρα
	Βαλβίδα διατήρησης σταθερής πίεσως		Ενδεικτική ύαλος στάθμης		Ανεμιστήρας
	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα		Ενδείκτης ροής		Φυγοκεντρική αντλία
	Ηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα		Φίλτρο και αφυγραντήρας		Μονωμένος αγωγός
	Αυτόματη βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού		Φίλτρο		Τρίοδη βαλβίδα
	Αισθητήρας πίεσως αναρροφήσεως		Μανόμετρο		Διαφορικός πιεζοστάτης
	Αισθητήρας πίεσως καταθλίψεως		Διανομέας υγρού		Εύκαμπτος αγωγός
	Αισθητήρας πίεσως λαδιού		Ελαιοδιαχωριστήρας υγρού		(β)
	Αισθητήρας θερμοκρασίας αναρροφήσεως				

Σχ. 11.3β.

(α) Διάγραμμα ψυκτικής εγκαταστάσεως κλιματισμού πλοίου και (β) υπόλημμα διαγράμματος.

Ο όγκος του συμπυκνωτή είναι αρκετά μεγάλος, ώστε να χρησιμοποιείται και ως συλλέκτης υγρού. Στη γραμμή υγρού υπάρχει εναλλάκτης υποψύξεως για τη μείωση του ατμού στην εκτονωτική βαλβίδα και για την αποφυγή εισόδου υγρού στο συμπιεστή. Η ροή του υγρού ψυκτικού μέσου προς την εκτονωτική βαλβίδα ελέγχεται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που ενεργοποιείται από ένα θερμοστάτη, ο οποίος βρίσκεται στην είσοδο του ατμοποιητή, στη μονάδα επεξεργασίας αέρα.

Η λειτουργία του συμπιεστή ελέγχεται από τον πιεζοστάτη χαμηλής πίεσεως (διάταξη αυτοματισμού), ενώ οι διατάξεις ασφαλείας είναι ο πιεζοστάτης υψηλής πίεσεως, ο διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού και ένας θερμοστάτης στην αναρρόφηση του συμπιεστή, ο οποίος διακόπτει τη λειτουργία του συμπιεστή όταν ο ατμός στην αναρρόφηση έχει πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Όλοι οι αυτοματισμοί είναι

ενσωματωμένοι σ' έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC), του οποίου οι ρυθμίσεις φαίνονται στο πίνακα 11.3.



Σχ. 11.3γ.

Συμπιεστής μονάδας συμπυκνώσεως.

Πίνακας 11.3
Ρυθμίσεις PLC μονάδας συμπυκνώσεως.

<i>Περιγραφή</i>	<i>Τιμή</i>		<i>Σχόλιο</i>
Πίεση αναρροφήσεως (BAR)	εκκίνηση κράτηση (χαμηλή)	3,8 2,6	
Πίεση καταθλίψεως (BAR)	υψηλή πίεση συναγερμού υψηλή πίεση προειδοποιήσεως	22,0 21,0	
Πίεση λαδιού (BAR)	χαμηλή πίεση συναγερμού υψηλή πίεση προειδοποιήσεως	– 3,5	
Θερμοκρασία αναρροφήσεως (°C)	χαμηλή θερμοκρασία συναγερμού χαμηλή θερμοκρασία προειδοποιήσεως	– 6,0	
Θερμοκρασία καταθλίψεως (°C)	υψηλή θερμοκρασία συναγερμού υψηλή θερμοκρασία προειδοποιήσεως	125,0 –	
Θερμοκρασία λαδιού (°C)	υψηλή θερμοκρασία κρατήσεως υψηλή θερμοκρασία προειδοποιήσεως	80,0 –	
Υπερθέρμανση ατμού στην αναρρόφηση (K)	χαμηλή θερμοκρασία προειδοποιήσεως χαμηλή θερμοκρασία κρατήσεως	– 3,5	
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα	έναρξη πέρας ψύξεως	23,0 20,0	θέρος (έναρξη ψύξεως)
Θερμοκρασία ψυχρού αέρα προσαγωγής	επιθυμητή τιμή (°C)	14,0	ψύξη
Θερμοκρασία θερμού αέρα προσαγωγής	επιθυμητή τιμή (°C)	37,0	θέρμανση
Αισθητήρας θερμοκρασίας/υγρασίας αέρα επιστροφής	επιθυμητή τιμή RH (%)	40,0	

11.3.3 Αυτόνομη κλιματιστική μονάδα εμπορικού πλοίου.

Σε μερικές περιπτώσεις κλιματισμού πλοίων είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται μικρές αυτόνομες κλιματιστικές εγκαταστάσεις, σε χώρους που έχουν ιδιαίτερες ανάγκες κλιματισμού. Τέτοιοι χώροι είναι κυρίως το **μαγειρείο** (galley) και το **δωμάτιο ελέγχου** (control room) του μηχανοστασίου. Επίσης, ιδιαίτερες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας χρειάζεται να υπάρχουν στο δωμάτιο ασυρμάτου ή σε άλλους χώρους με ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Οι αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες μπορούν να είναι το κύριο σύστημα κλιματισμού ή να λειτουργούν σε εφεδρεία με το κεντρικό σύστημα κλιματισμού του πλοίου. Στην περίπτωση του μαγειρείου, ο χώρος του κλιματίζεται με αυτόνομη μονάδα, έτσι ώστε ο αέρας επιστροφής, ο οποίος έχει οσμές, να μην αναμειγνύεται με τον αέρα που κυκλοφορεί στο πλοίο. Το δωμάτιο ελέγχου κλιματίζεται αυτόνομα, ώστε να μην αναμειγνύονται οσμές πετρελαίου από το χώρο του μηχανοστασίου στους χώρους ενδιαίτησης.

Μία αυτόνομη κλιματιστική μονάδα ενός εμπορικού πλοίου είναι μία μικρογραφία της κύριας κλιματιστικής εγκατάστασης και περιλαμβάνει μια μικρή μονάδα επεξεργασίας αέρα με ενσωματωμένη την ψυκτική μηχανή και κανάλια προσαγωγής και επιστροφής του αέρα. Ο συμπιεστής της αυτόνομης κλιματιστικής μονάδας, συνήθως, είναι ερμητικού τύπου, ώστε να απλοποιείται η εγκατάσταση και οι αυτοματισμοί, ενώ η ρύθμιση της ισχύος του γίνεται με διακοπόμενη λειτουργία, μέσω του θερμοστάτη του αέρα επιστροφής. Ο συμπυκνωτής είναι υδρόψυκτος και ολόκληρη η μονάδα είναι κλεισμένη σ' ένα κέλυφος από λαμαρίνα, το οποίο συνδέεται με τα κανάλια εξαερισμού.

Στο σχήμα 11.3δ παρουσιάζεται μία αυτόνομη κλιματιστική μονάδα που χρησιμοποιείται στο μαγειρείο ενός εμπορικού πλοίου. Το εργαζόμενο μέσο είναι R-404A και η ψυκτική ισχύς 22.000 kcal/h. Στο πάνω τμήμα βρίσκεται ο ανεμιστήρας και ο ατμοποιητής, ενώ στο κάτω υπάρχει εγκατεστημένος ένας ερμητικός τριφασικός συμπιεστής και ο συμπυκνωτής, ο οποίος είναι τύπου κελύφους-αυλών με διάμετρο 216 mm και μήκος 800 mm. Η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι 5 °C, ενώ η θερμοκρασία του νερού συμπυκνώσεως 36 °C. Για τη θέρμανση του χώρου σε συνθήκες χειμώνα υπάρχουν ηλεκτρικές αντιστάσεις με θερμική ισχύ 17.200 kcal/h. Η πο-

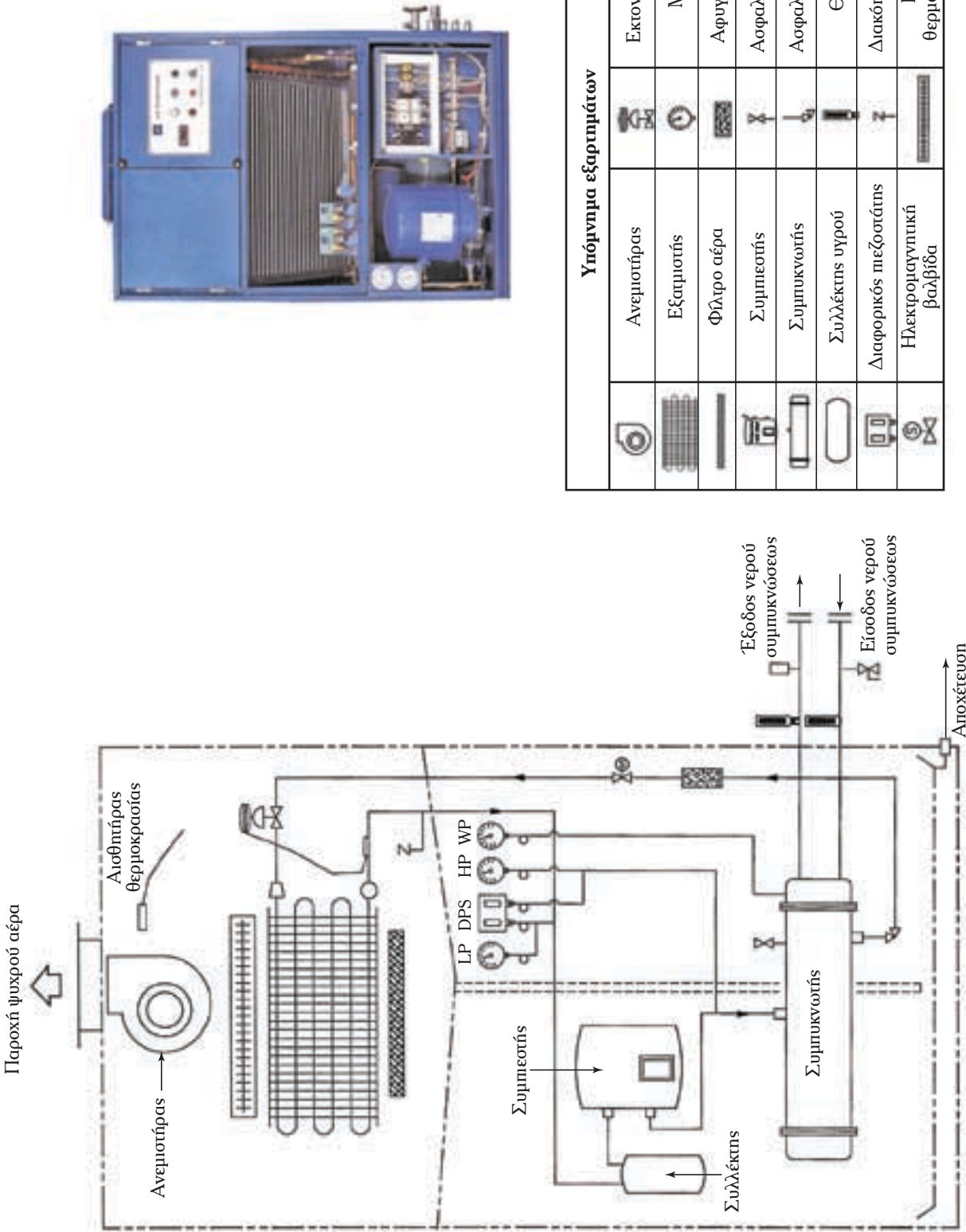
σότητα του R-404A είναι 8 kg, ενώ η ποσότητα του λαδιού είναι 2 lt του τύπου polyester 160POE.

11.4 Πλοία ψυγεία.

11.4.1 Περιγραφή πλοίου ψυγείου.

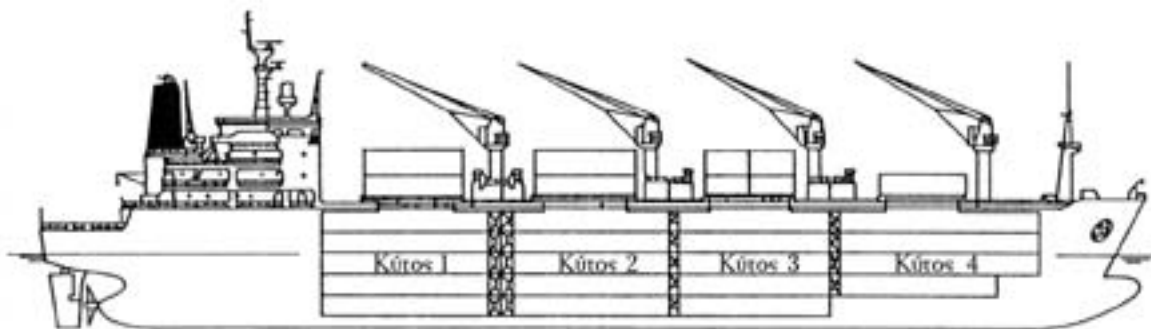
Τα **πλοία ψυγεία** (reefer ships) χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ευαίσθητων προϊόντων υπό ψύξη. Είναι σχεδιασμένα έτσι, ώστε να μπορούν να διατηρούν σταθερή θερμοκρασία στα κύπη τους και να μπορούν να φορτωθούν με φορτία χύδην ή σε παλέτες. Είναι εφοδιασμένα με ψυκτικές εγκαταστάσεις, με τις οποίες μπορούν να διατηρούν τη θερμοκρασία των κυτών τους από -30 έως 13 °C. Τα κύρια φορτία που μεταφέρονται με τα πλοία ψυγεία είναι μπανάνες, λοιπά φρούτα, λαχανικά και κατεψυγμένο κρέας. Επί πλέον, τα πλοία ψυγεία μπορούν να μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια ψυγεία στο κατάστρωμά τους και έχουν γερανούς για τη φόρτωση των κυτών και των εμπορευματοκιβωτίων. Οι ταχύτητες που αναπτύσσουν κυμαίνονται από 19–22 km, έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος μεταφοράς.

Ένα τυπικό πλοίο ψυγείο με όγκο φορτώσεως 450.000 ft³ έχει τέσσερα κύπη, τα οποία χωρίζονται κατά το ύψος σε τέσσερα ή πέντε διαμερίσματα φορτίου. Από αυτά το καθένα έχει καθαρό ύψος φορτώσεως περίπου 2,2 m, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.4α. Τα διαμερίσματα φορτίου έχουν μόνωση και αγωγούς κυκλοφορίας ψυχρού αέρα, ο οποίος ψύχεται σ' έναν ξεχωριστό χώρο που βρίσκεται ανάμεσα στον ψυκτικό θάλαμο και στις **φρακτές** (bulkheads) του πλοίου. Στο χώρο αυτό είναι τοποθετημένοι οι ψύκτες αέρα, πάνω από τους οποίους βρίσκονται οι ανεμιστήρες που έχουν μεταβλητή ταχύτητα περιστροφής. Μέσω των ανεμιστήρων, αναρροφάται αέρας από την πάνω πλευρά του ψυκτικού θαλάμου, καταθλίβεται στις επιφάνειες του ψύκτη και στη συνέχεια οδηγείται προς το δάπεδο του ψυκτικού θαλάμου. Από εκεί, μέσω οπών που υπάρχουν στο δάπεδο, κυκλοφορεί κατακόρυφα ανάμεσα από τα προϊόντα του θαλάμου προς την οροφή, απ' όπου επιστρέφει στους ανεμιστήρες. Εκτός από την κατακόρυφη κυκλοφορία του αέρα, όπως θα δούμε παρακάτω, υπάρχουν και άλλα συστήματα κυκλοφορίας που έχουν ως στόχο την ομοιόμορφη διανομή του αέρα στον ψυκτικό θάλαμο και τη μεγιστοποίηση του χώρου φορτώσεως. Οι ψυκτικοί θάλαμοι εσωτερικά έχουν ορθογώνια διαμόρφωση και το δάπεδο έχει ισχυρή κατασκευή χωρίς εμπόδια, ώστε να



Σχ. 11.36.
Αιτιόνομη κλιματιστική μονάδα εμπορικού πλοίου.

Υπόμνημα εξαρτημάτων		
	Ανεμιστήρας	Εκτονωτική βαλβίδα
	Εξατμιστής	Μανόμετρο
	Φίλτρο αέρα	Αφυγραντικό φίλτρο
	Συμπιεστής	Ασφαλιστικό επιστόμιο
	Συμπυκνωτής	Ασφαλιστικό επιστόμιο
	Συλλέκτης υγρού	Θερμόμετρο
	Διαφορικός πιεζοστάτης	Διακόπτης πλήρωσεως
	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα	Ηλεκτρικό θερμαντικό στοιχείο



Σχ. 11.4α.

Γενική διάταξη τυπικού πλοίου ψυγείου.

διευκολύνεται η ομοιόμορφη φόρτωση και ο χειρισμός του φορτίου με παλετοφόρα οχήματα. Επίσης, με την ομοιόμορφη πυκνότητα του φορτίου στο θάλαμο επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη κυκλοφορία του αέρα και αποφεύγεται η δημιουργία ψυχρών και θερμών ζωνών φορτίου. Για την ευκολότερη φόρτωση μπορεί να υπάρχουν αναβατόρια φορτίου ή πλαϊνά ανοίγματα στα κύπη του πλοίου.

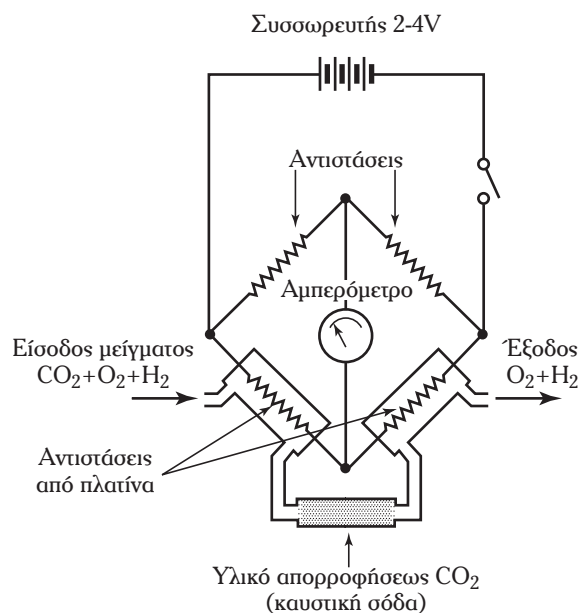
Κατά τη μεταφορά φρούτων και λαχανικών, μέσω της λειτουργίας της αναπνοής τους, παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και αιθυλένιο, το οποίο προκαλεί περαιτέρω επιτάχυνση της φθοράς τους. Υπάρχει αυτόματο σύστημα μετρήσεως της συγκεντρώσεως αυτών των αερίων. Όταν η συγκέντρωση αυξηθεί, εισάγεται από τους ανεμιστήρες εξωτερικός αέρας, που αναμειγνύεται με τον αέρα ανακυκλοφορίας. Η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των βλαβερών αερίων καταγράφονται σ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού, δεδομένου ότι η ακριβής τους ρύθμιση αποτελεί προϋπόθεση για την ελαχιστοποίηση του ποσοστού του φορτίου που αλλοιώνεται.

Η μέτρηση της περιεκτικότητας του αέρα σε CO_2 γίνεται με μια γέφυρα Wheatstone, η λειτουργία της οποίας βασίζεται στο γεγονός ότι το CO_2 είναι καλύτερος αγωγός θερμότητας από τον αέρα (σχ. 11.4β). Ένα δείγμα αέρα που περιέχει CO_2 εισέρχεται σ' ένα χώρο όπου υπάρχει μια αντίσταση από πλατίνα, στη συνέχεια περνάει από ένα φίλτρο καυστικής σόδας που αφαιρεί το CO_2 και μπαίνει σ' ένα χώρο όπου υπάρχει μια δεύτερη όμοια αντίσταση. Από τις δύο αντιστάσεις περνάει σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα οπότε θερμαίνονται. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του αέρα σε CO_2 , τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαφορά θερμοκρασίας των αντιστάσεων. Η διαφορά θερμοκρασίας που δημιουργείται, ανιχνεύεται από το γαλβανόμετρο, το οποίο είναι βαθμονομημένο σε % περιεκτικότητα σε CO_2 .

Εκτός από τον αερισμό των κυτών και τον έλεγχο της θερμοκρασίας τους υπάρχουν γεννήτριες όζοντος. Οι ιδιότητες και η χρήση του όζοντος στους ψυκτικούς θαλάμους των πλοίων περιγράφεται στην παράγραφο 11.4.6. Τα τελευταία χρόνια, η μεταφορά γίνεται σε αδρανοποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου, η οποία έχει ένα μικρό ελεγχόμενο ποσοστό οξυγόνου, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η αναπνοή των φρούτων και των λαχανικών.

11.4.2 Συστήματα κυκλοφορίας αέρα.

Η κυκλοφορία του αέρα στα πλοία ψυγεία γίνεται μέσω ανεμιστήρων που εξασφαλίζουν 90-120 εναλλαγές την ώρα. Αυτό σημαίνει ότι η παροχή όγκου των ανεμιστήρων είναι 120 φορές ο καθαρός όγκος του ψυκτικού θαλάμου, ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη ψύξη. Για τη μείωση του ποσοστού CO_2



Σχ. 11.4β.

Μέτρηση περιεκτικότητας σε CO_2 με γέφυρα Wheatstone.

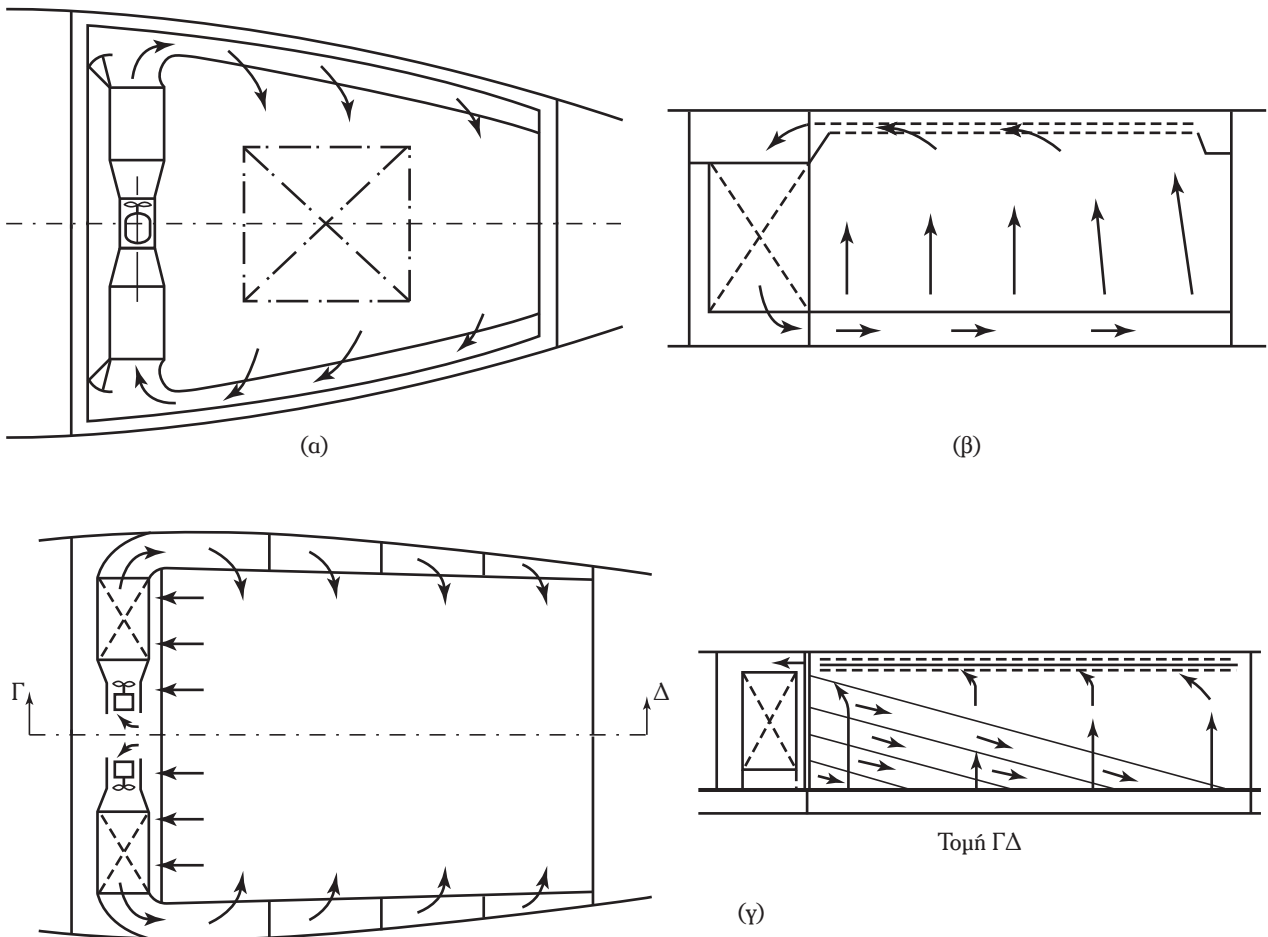
και αιθυλενίου, ο αέρας που ανακυκλοφορεί στον ψυκτικό θάλαμο μπορεί να αντικαθίσταται με εξωτερικό αέρα σε αναλογία 2-3 φορές τον όγκο του θαλάμου ανά ώρα. Η πρόψυξη του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στον ψυκτικό θάλαμο, γίνεται με την εκμετάλλευση της χαμηλής θερμοκρασίας του μολυσμένου αέρα που αφαιρείται μέσω εναλλακτών ή αναγεννητών.

Οι ανεμιστήρες είναι τοποθετημένοι στη μία πλευρά του ψυκτικού θαλάμου και βρίσκονται πριν ή μετά τη σερπαντίνα ψύξεως. Ο χώρος των ανεμιστήρων χωρίζεται από τον ψυκτικό θάλαμο με μία εγκάρσια φρακτή, στην πάνω πλευρά της οποίας υπάρχουν οι αεραγωγοί ή τρία ανοίγματα επιστροφής του αέρα του θαλάμου. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με μία από τις εξής μεθόδους:

α) **Οριζόντια κυκλοφορία αέρα.** Στην περίπτωση αυτή ο αέρας καταθλίβεται σε αεραγωγούς που βρίσκονται πλευρικά του θαλάμου, απ' όπου

μέσω στομιών εισέρχεται ο αέρας σ' αυτόν. Στην απέναντι πλευρά του ψυκτικού θαλάμου υπάρχουν αεραγωγοί αναρρόφησης, απ' όπου ο αέρας επιστρέφει στην αναρρόφηση του ανεμιστήρα. Ο αέρας ρέει σε οριζόντια ανοδική διεύθυνση μέσα στο θάλαμο, ανάμεσα στα ανοίγματα προσαγωγής και επιστροφής που βρίσκονται στις πλευρές. Το σύστημα οριζόντιας κυκλοφορίας σήμερα δεν χρησιμοποιείται, διότι η κατανομή του αέρα στο θάλαμο εξαρτάται απ' τη στοιβάση του φορτίου και διότι, λόγω των πλευρικών αεραγωγών, μειώνονται οι ωφέλιμες διαστάσεις φορτώσεως. Επίσης, η κατανομή του αέρα κατά το μήκος του θαλάμου τείνει να είναι πυκνότερη όσο πιο κοντά στον ανεμιστήρα είναι τα πλευρικά ανοίγματα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ζώνες με διαφορετική θερμοκρασία μέσα στον ψυκτικό θάλαμο [σχ. 11.4γ(α)].

β) **Κατακόρυφη κυκλοφορία αέρα.** Η κυκλοφορία του ψυχρού αέρα πραγματοποιείται από το



Σχ. 11.4γ.

Συνοτήματα κυκλοφορίας αέρα: (α) Οριζόντια κυκλοφορία, (β) κατακόρυφη κυκλοφορία, (γ) μείκτη κυκλοφορία κατά Robson.

δάπεδο προς την οροφή μέσα από οχετούς κυκλοφορίας που υπάρχουν στο δάπεδο και στην οροφή. Επιτυγχάνεται κατανομή του αέρα που δεν επηρεάζεται από τη στοιβασία του φορτίου, αλλά λόγω της πώσεως πίεσεως στους αεραγωγούς και πάλι υπάρχει το μειονέκτημα της πυκνότερης ροής του αέρα κοντά στους ανεμιστήρες. Επί πλέον, το κόστος κατασκευής του ψυκτικού θαλάμου και των αεραγωγών είναι αυξημένο [σχ. 11.4γ(β)].

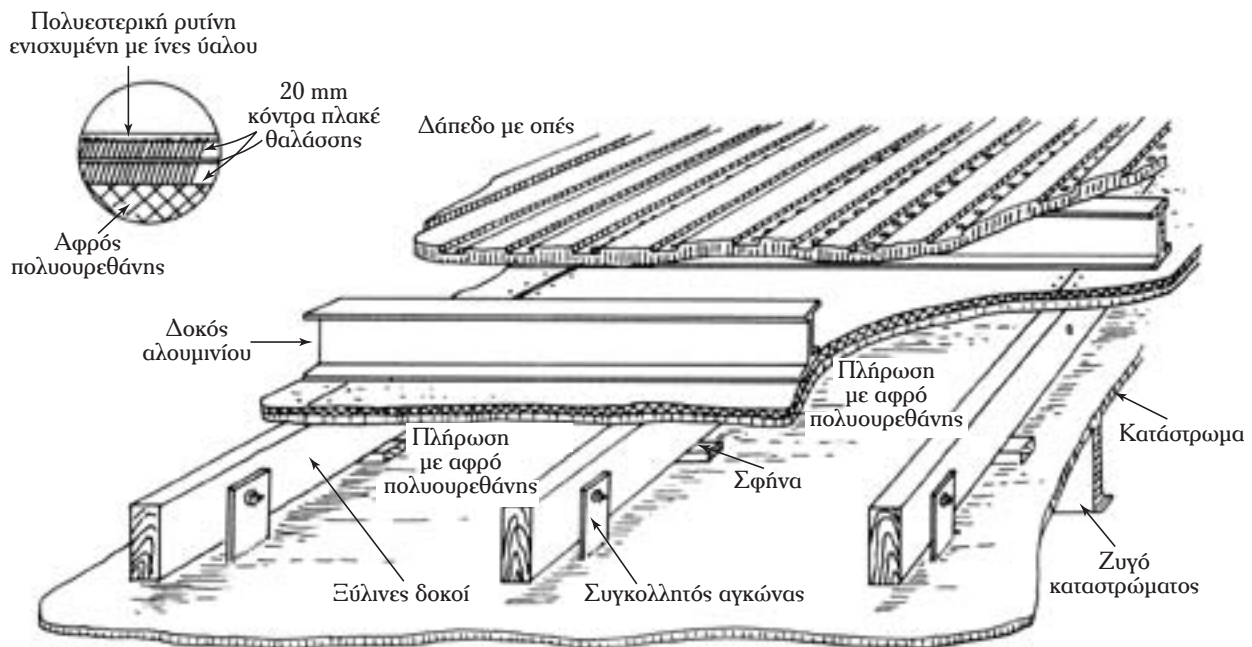
γ) **Μεικτό σύστημα κυκλοφορίας κατά Robson.** Στο μεικτό σύστημα κυκλοφορίας, ο αέρας μετά τον ανεμιστήρα διανέμεται σε αεραγωγούς (συνήθως τέσσερεις), τα οποία είναι τοποθετημένα το ένα πάνω από το άλλο και βρίσκονται και στις δύο πλευρές του θαλάμου με κατεύθυνση προς το δάπεδο. Οι πλευρικοί αεραγωγοί διανομής έχουν διατομή, η οποία σταδιακά μικραίνει, ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή κατά το μήκος του δαπέδου. Από τους αεραγωγούς ο αέρας εισέρχεται στο δάπεδο από όπου κυκλοφορεί στο θάλαμο από ανοίγματα. Μέσα στο θάλαμο η κυκλοφορία του αέρα είναι κυρίως κατακόρυφη με διεύθυνση προς τα πάνω, όπου υπάρχουν αεραγωγοί επιστροφής προς την αναρρόφηση του συμπιεστή. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ίση κατανομή του στις οπές του δαπέδου. Έτσι, με την πλευρική ροή και τη ροή μέσα από το δάπεδο, το μεικτό σύστημα κυκλοφορίας κατά Robson επι-

τυγχάνει την καλύτερη κατανομή του αέρα, ανεξάρτητα από τη στοιβασία του φορτίου και τις τοπικές αντιστάσεις κατά τη ροή και είναι αυτό που συνήθως χρησιμοποιείται σήμερα [σχ. 11.4γ(γ)].

11.4.3 Κατασκευή ψυκτικών θαλάμων.

Η κατασκευή ενός ψυκτικού θαλάμου πρέπει να εξασφαλίζει την καλή θερμική μόνωση, η οποία επιτυγχάνεται με μονωτικό υλικό κατάλληλου πάχους. Το μονωτικό υλικό πρέπει να προστατεύεται από μηχανικές καταπονήσεις και κτυπήματα και από την είσοδο υγρασίας, η οποία συμπυκνώνεται σε νερό ή πάγο και προκαλεί αύξηση της μεταδόσεως θερμότητας και του ψυκτικού φορτίου του θαλάμου και μηχανικές βλάβες. Επί πλέον, σε θάλαμο με σύστημα κυκλοφορίας αέρα κατά Robson, το δάπεδο πρέπει να έχει κατάλληλα ανοίγματα για τη ροή του αέρα και επίσης να είναι αρκετά ανθεκτικό, ώστε να αντέχει το βάρος του φορτίου και το χειρισμό του με παλετοφόρα μηχανήματα. Επίσης, το δάπεδο πρέπει να έχει σύστημα απορροής των συμπυκνωμάτων, τα οποία σχηματίζονται από την υγρασία και από την αναπνοή του φορτίου και να είναι ανθεκτικό στο χρόνο.

Στο σχήμα 11.4δ φαίνεται μια κατασκευή δαπέδου των ψυκτικών θαλάμων των πλοίων ψυγείων. Στο έλασμα καταστρώματος στερεώνονται ξύλινοι δοκοί διατάσεων 5 x 15 mm, σε απόσταση 610 mm.



Σχ. 11.4δ.

Κατασκευή δαπέδου ψυκτικού θαλάμου πλοίου ψυγείου.

Ο χώρος ανάμεσά τους γεμίζεται με μονωτικό υλικό, το οποίο συνήθως είναι αφρός πολυουρεθάνης. Πάνω από τη μόνωση τοποθετείται ένα στρώμα από δύο φύλλα κόντρα πλακέ, τα οποία ενισχύονται και αδιαβροχοποιούνται με στρώσεις πολυεστερικής ρητίνης, ενισχυμένης με ίνες υάλου (GRP), ώστε η πολυουρεθάνη να εγκλωβίζεται και να μην χάνει εύκολα το μονωτικό αέριο που περιέχεται στις φυσαλλίδες της και να στεγανοποιείται και έναντι των συμπυκνωμάτων νερού που πέφτουν. Πάνω στο δάπεδο που σχηματίζεται τοποθετούνται αλουμιένιες δοκοί με ύψος 10 cm σε απόσταση 50 cm η μία από την άλλη, ανάμεσα στις οποίες διοχετεύεται ο αέρας από τους ψύκτες και τα πλευρικά κανάλια. Πάνω απ' τις δοκούς τοποθετείται το δάπεδο του θαλάμου, το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από φύλλα κόντρα πλακέ θαλάσσης και έχει οπές, από τις οποίες ο αέρας εισέρχεται στο θάλαμο. Η κατασκευή της πλευράς και της οροφής είναι παρόμοια, με τη διαφορά ότι συνήθως αντί για κόντρα πλακέ θαλάσσης, στο στρώμα προστασίας της μόνωσης τοποθετούνται φθηνότερα υλικά. Επίσης, αντί του διάτρητου δαπέδου, ο σχηματισμός των αεραγωγών του αέρα γίνεται με φύλλα αλουμινίου.

11.4.4 Ψυκτική εγκατάσταση πλοίου ψυγείου.

Μία τυπική εγκατάσταση ενός πλοίου ψυγείου περιλαμβάνει συνήθως τέσσερις παλινδρομικούς ή κοκλιωτούς συμπιεστές. Στο σχήμα 11.4ε εικονίζεται το **πρωτεύον** κύκλωμα ψύξεως άλμης ενός πλοίου που περιλαμβάνει τέσσερις μονάδες ψύξεως άλμης με ισάριθμους κοκλιωτούς συμπιεστές και συμπυκνωτές κελύφους-αυλών. Η ψυχρή άλμη κυκλοφορεί στους ψύκτες αέρα, που βρίσκονται σε κάθε ψυκτικό θάλαμο, μέσω ενός **δευτερεύοντος** δικτύου, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 11.4στ.

Η κυκλοφορία του αέρα στους ψυκτικούς θαλάμους γίνεται διαγώνια με το σύστημα Robson. Μέσα στο θάλαμο ο αέρας εισέρχεται απ' το δάπεδο και επιστρέφει στους ψύκτες από κανάλια που βρίσκονται στην οροφή.

Η θερμοκρασία των ψυκτικών θαλάμων ρυθμίζεται με μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής και με κατάλληλη ρύθμιση της παροχής της άλμης στον ψύκτη. Η ρύθμιση της παροχής της άλμης γίνεται με μία τρίοδη βαλβίδα που ανοίγει τη δίοδο σ' ένα σωλήνα παρακάμψεως του ατμοποιητή, ανάλογα με τη θερμοκρασία της άλμης που εισέρχεται

στον ψύκτη. Το σύστημα ρυθμίσεως της θερμοκρασίας των θαλάμων ελέγχεται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, με τον οποίο επίσης καταγράφονται οι ενδείξεις των θερμοκρασιών.

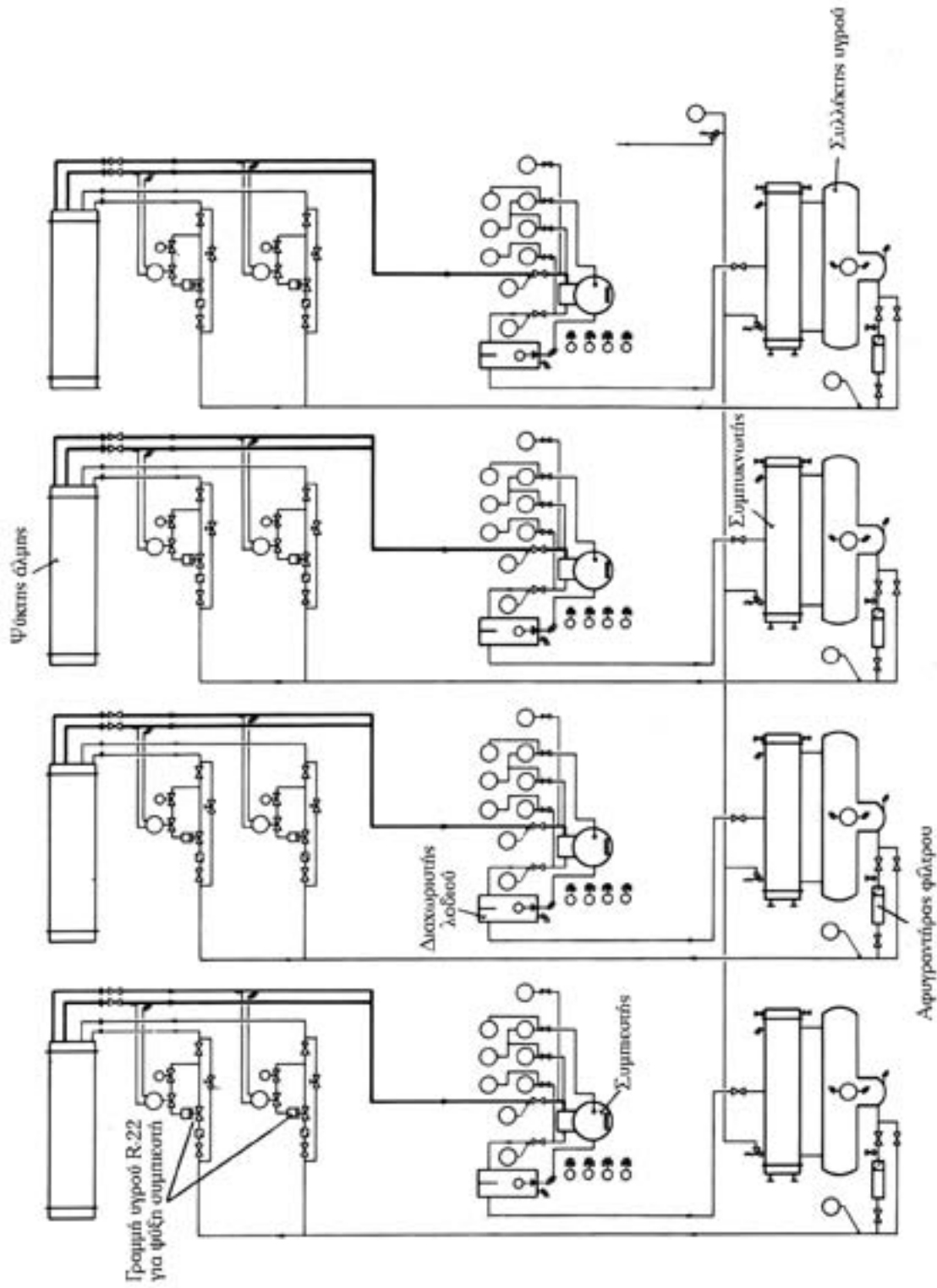
Η αποξίνωση των ψυκτών αέρα γίνεται με κυκλοφορία θερμής άλμης στον ατμοποιητή. Η θερμή άλμη δημιουργείται σ' έναν εναλλάκτη με ατμό και αποθηκεύεται σ' ένα μονωμένο δοχείο, απ' όπου αντλείται προς τους ψύκτες, ενώ η ρύθμιση των επιστομίων γίνεται χειροκίνητα.

Ο εξωτερικός αέρας που εισέρχεται στον ψυκτικό θάλαμο για να πραγματοποιηθεί η ανανέωση του αέρα και η μείωση των ποσοστών αιθυλενίου και διοξειδίου του άνθρακα, πριν την είσοδό του στον ψύκτη, διέρχεται από έναν εναλλάκτη θερμότητας. Εκεί ψύχεται από τον ψυχρό αέρα που απορρίπτεται στο περιβάλλον, ώστε να γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας και να μειώνεται το λειτουργικό κόστος της εγκαταστάσεως.

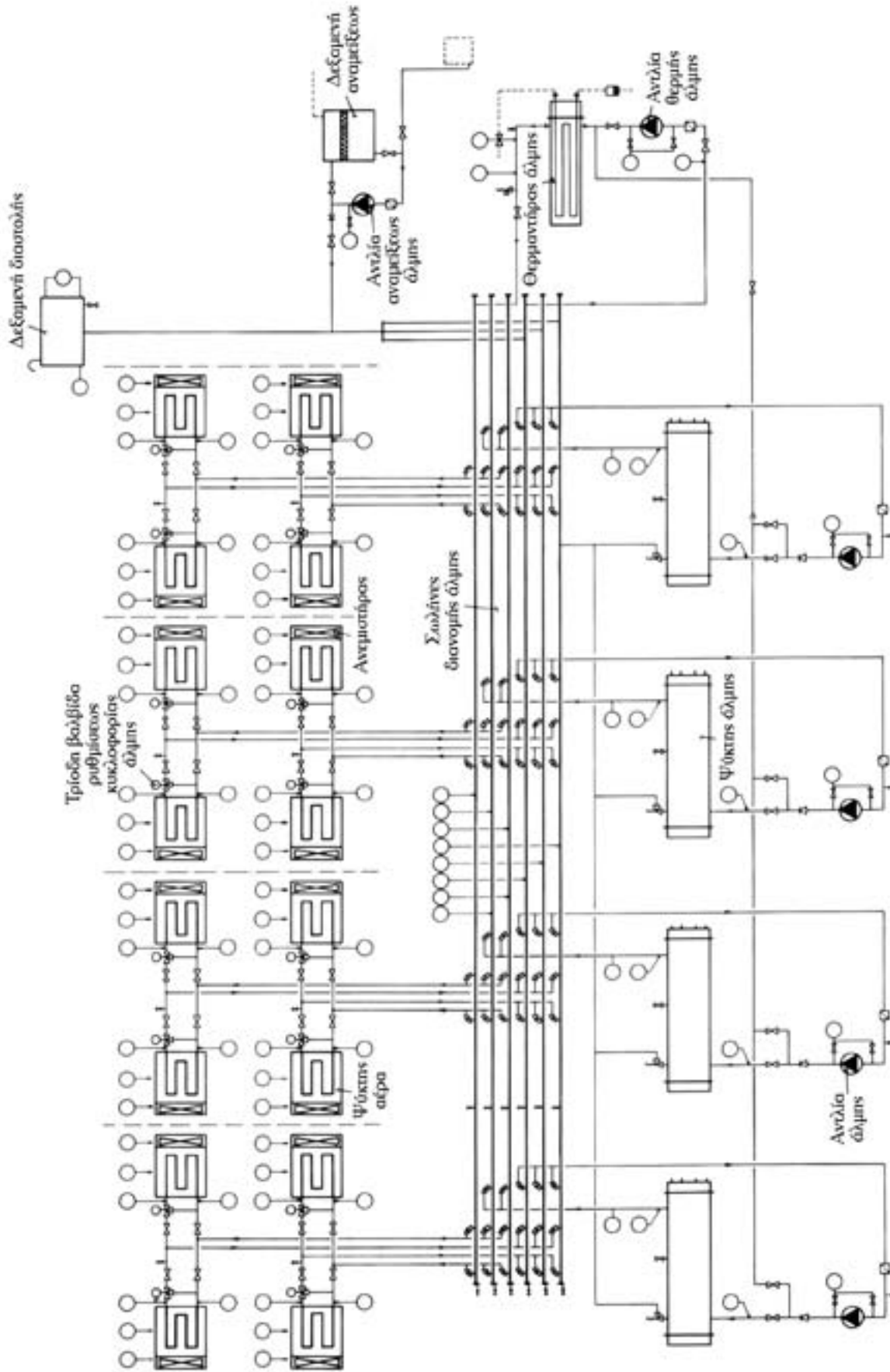
Η ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με R-22 και έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να μπορεί να διατηρήσει τις κατάλληλες θερμοκρασίες μεταφοράς των φορτίων του πλοίου. Συγκεκριμένα, κατά το σχεδιασμό της εγκαταστάσεως έχουν ληφθεί υπόψη οι θερμοκρασίες και οι αλλαγές αέρα οι οποίες ανάλογα με το φορτίο δίνονται στον πίνακα 11.4

Το πλοίο έχει τέσσερα κύττα, μέσα στα οποία διαμορφώνονται 15 ψυκτικοί θάλαμοι. Οι ψυκτικοί θάλαμοι χωρίζονται σε 8 θερμικά μονωμένες ζώνες, οι οποίες μπορεί να έχουν διαφορετικές μεταξύ τους θερμοκρασίες. Η κάθε θερμική ζώνη μπορεί να έχει θερμοκρασία από $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Στο σχήμα 11.4ζ παρουσιάζεται το διάγραμμα μιας μονάδας ψύξεως άλμης, εκ των τεσσάρων που διαθέτει το πλοίο. Η μονάδα περιλαμβάνει έναν κοκλιωτό συμπιεστή, ο οποίος αναρροφάει το αέριο R-22 μετά τον ψύκτη άλμης. Οι ατμοί του R-22 υψηλής πίεσεως από την κατάθλιψη εισέρχονται σ' έναν ελαιοδιαχωριστήρα, όπου διαχωρίζονται από το λάδι λιπάνσεως και οδηγούνται στο συμπυκνωτή όπου υγροποιούνται και οδηγούνται στο συλλέκτη. Το υγρό R-22 από το συλλέκτη, αφού περάσει από το αφυγραντικό φίλτρο, πηγαίνει στον εναλλάκτη θερμότητας και στον οικονομητήρα. Ο οικονομητήρας είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου το υγρό R-22 ψύχεται, έτσι ώστε να αυξηθεί η ψυκτική ισχύς. Αυτό επιτυγχάνεται με ατμοποίηση μιας μικρής παροχής υγρού, η οποία στη συνέχεια δίνει ατμούς που οδηγούνται στην αναρρόφηση. Ο οικονομητήρας



Σχ. 11.4ε.
 Διάγραμμα φρκτικής εγκαταστάσεως πλοίου φρυγείου.



Σχ. 11.4στ.
Διάγραμμα δικτύου αλάμης πλοίου ψυγείου.

Πίνακας 11.4
Συνθήκες υπολογισμού ψυκτικού φορτίου πλοίου-ψυγείου.

		<i>Μπανάνες</i>	<i>Λοιπά Φρούτα</i>	<i>Κατεψυγμένα φορτία</i>	<i>Τυρί - Βούτυρο</i>
Θερμοκρασία μεταφοράς	°C	-13	4	-30	-20
Θερμοκρασία φορτώσεως	°C	-30	30	-20	-15
Συντελεστής στοιβασίας	kg/m ³	326	422	552	854
Χρόνος ψύξεως	hr	24	72	72	72
Αριθμός αλλαγών αέρα κατά την αρχική ψύξη	αλλαγές/hr	90	60	45	45
Παροχή εξωτερικού αέρα κατά την αρχική ψύξη	αλλαγές/hr	0	0	0	0
Παροχή εξωτερικού αέρα κατά τη μεταφορά	αλλαγές/hr	3	2	0	0
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα	35 °C με 70% σχετική υγρασία				
Θερμοκρασία νερού θάλασσας	°C	32			

χρησιμοποιείται μόνο όταν η θερμοκρασία των ψυκτικών θαλάμων είναι χαμηλή, δηλαδή όταν μεταφέρονται κατεψυγμένα φορτία. Από τον οικονομηπτήρα το υγρό R-22 εισέρχεται μέσω της ρυθμιστικής βαλβίδας στον ψύκτη άλμς, ο οποίος είναι υγρού τύπου (flooded type). Ο κοκλιωτός συμπιεστής ψύχεται με υγρό R-22, το οποίο εισέρχεται στους κοκλίες, όπου εξατμίζεται και αναμειγνύεται με το R-22 που έχει συμπιεστεί από την αναρρόφηση. Επίσης, το υγρό R-22 χρησιμοποιείται για την ψύξη του λαδιού στο ψυγείο που υπάρχει μετά τον ελαιοδιαχωριστήρα. Τα δίκτυα συνδέσεως του συμπιεστή με την εγκατάσταση παρουσιάζονται στο σχήμα 11.4n.

Η λειτουργία της εγκαταστάσεως εξαρτάται από τη θερμοκρασία των θαλάμων. Για τη μεταφορά μπανανών τίθεται σε ισχύ η λειτουργία **υψηλής θερμοκρασίας** (high temperature operation), για τη μεταφορά φρούτων **μέσης θερμοκρασίας** (medium temperature operation), ενώ για τη μεταφορά κατεψυγμένων φορτίων **χαμηλής θερμοκρασίας** (low temperature operation).

Κατά την έναρξη του ταξιδιού, γίνεται η αρχική ψύξη του φορτίου, οπότε λειτουργούν και οι τέσσερις ψυκτικές μονάδες. Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, ο αριθμός των μονάδων που είναι απαραίτητες για τη διατήρησή της κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, εξαρτάται από τη θερμοκρασία μεταφοράς στους διάφορους θαλάμους και τις ανάγκες για ανανέωση του αέρα. Όταν όλοι οι θάλαμοι περι-

έχουν φορτίο σε κατάψυξη, απαιτείται η λειτουργία και των τεσσάρων μονάδων.

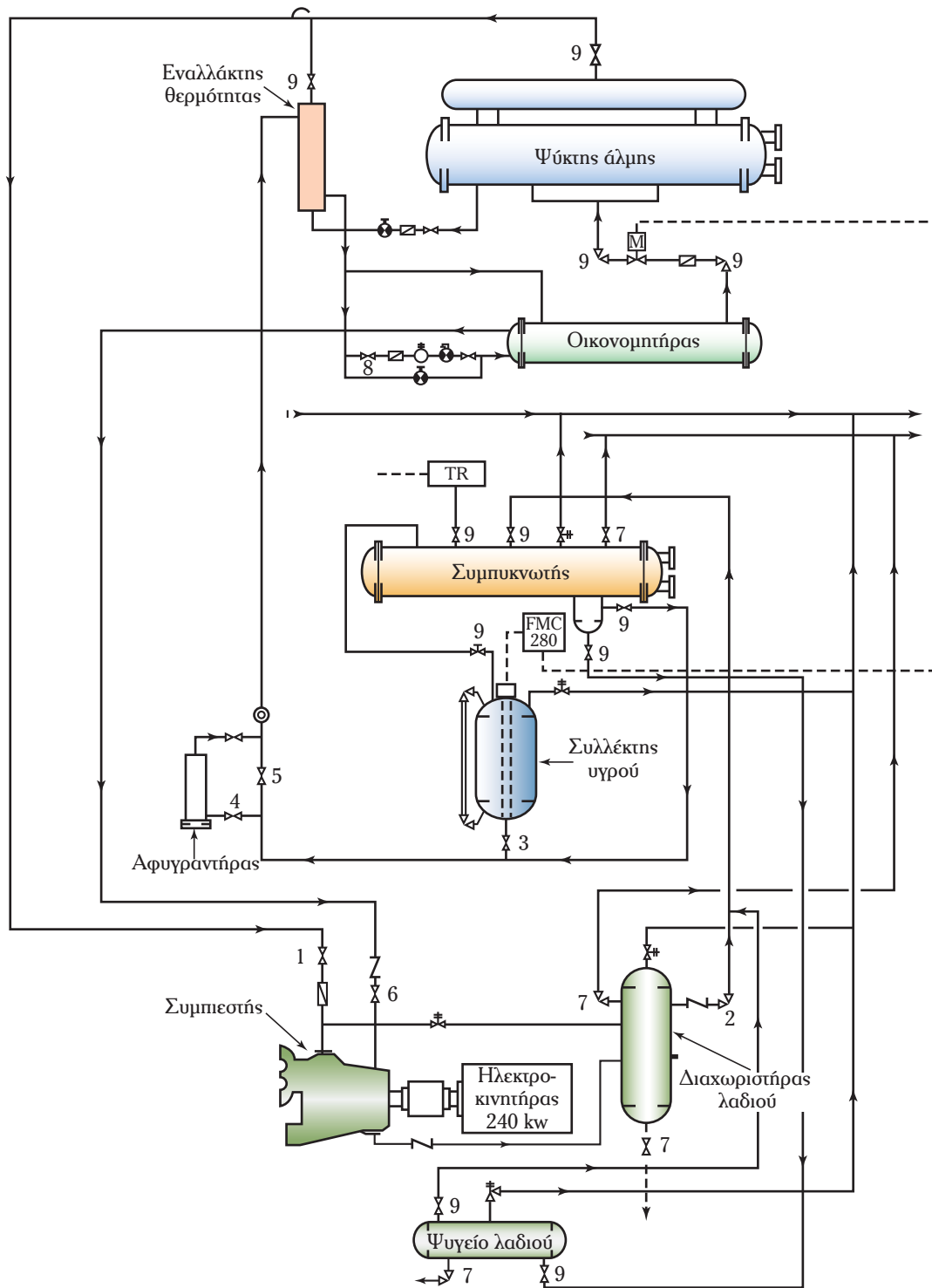
Τα **στάδια** για τη **λειτουργία της εγκαταστάσεως** σε χαμηλή, μέση και υψηλή θερμοκρασία είναι:

α) **Προετοιμασία για θέση σε χαμηλή, λειτουργία μετά από μακρά περίοδο ακινησίας (σχ. 11.4n).**

- Άνοιγμα της βαλβίδας (8).
- Κλείσιμο της βαλβίδας (7).
- Παρατήρηση της στάθμης του λαδιού και ρύθμισή της μέσω των βαλβίδων (1) και (2).
- Θέση σε λειτουργία της μονάδας ελέγχου.
- Παρατήρηση της στάθμης του R-22 στο συλλέκτη και της στάθμης της άλμς στη δεξαμενή αναμείξεως και στη δεξαμενή εκτονώσεως.

β) **Θέση σε λειτουργία μετά από μακρά περίοδο ακινησίας (σχ. 11.4ζ).**

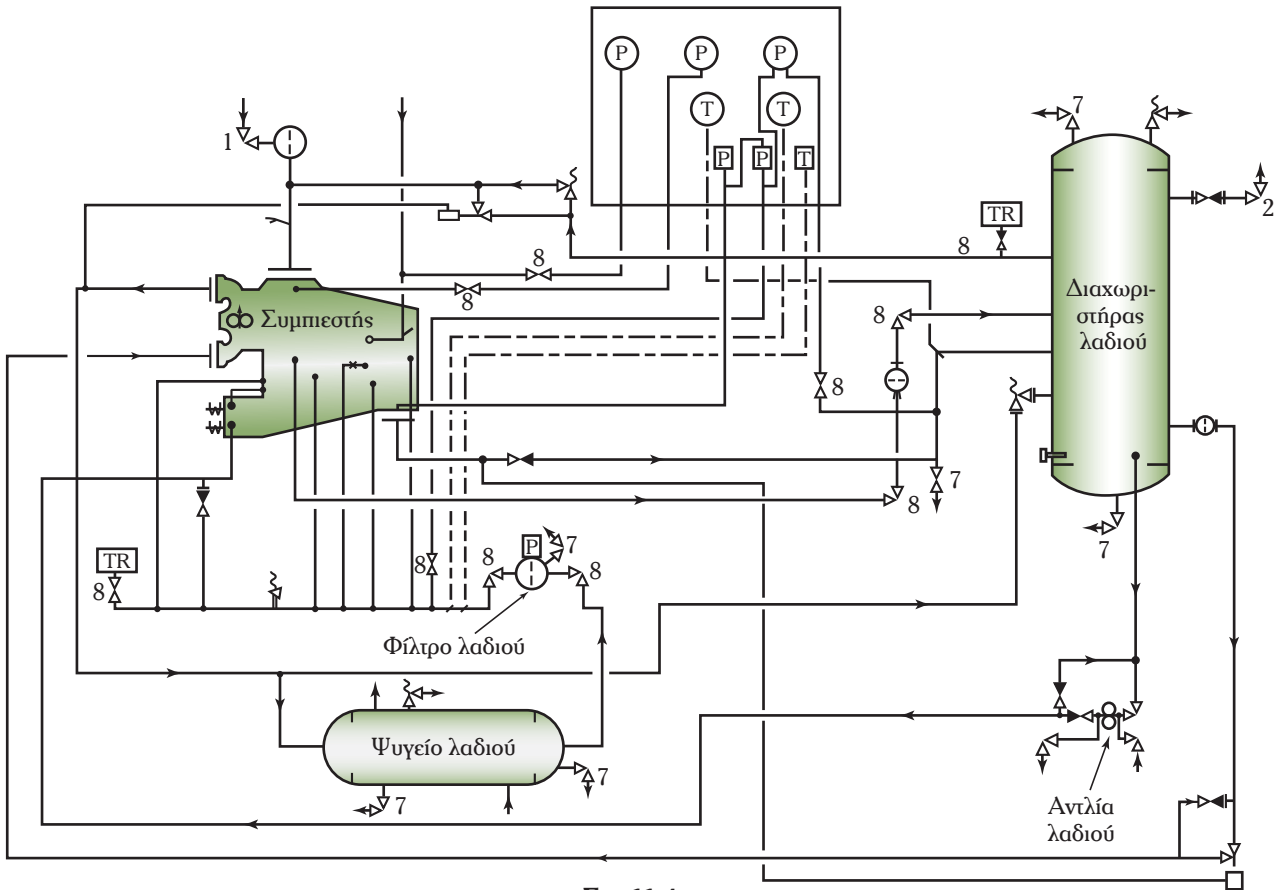
- Άνοιγμα των βαλβίδων ροής άλμς.
- Εκκίνηση της αντλίας νερού συμπυκνώσεως.
- Θέση σε λειτουργία των ανεμιστήρων στους ψυκτικούς θαλάμους σε πλήρη ταχύτητα.
- Θέση σε λειτουργία της αντλίας άλμς.
- Κλείσιμο της βαλβίδας (7).
- Θέση των αυτοματισμών άλμς και θερμοκρασίας στο AUTO.
- Άνοιγμα της βαλβίδας (2).
- Άνοιγμα των βαλβίδων (3), (6) (8), μόνο για τη χαμηλή θερμοκρασία και (9). Κλείσιμο των βαλβίδων (5), (7) και (8), μόνο για τη μέση και



- | | |
|--|-----------------------------------|
| ▷ ✕ Διακόπτης | ○# Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα |
| ∟ Ανεπίστροφη βαλβίδα | ⊗ Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα |
| ⊠ Ρυθμιστική βαλβίδα με ηλεκτρικό κινητήρα | ⊗ Χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα |
| ✕ Βαλβίδα αποκοπής | ⊙ Ενδείκτης ροής |
| ⊕ Βαλβίδα ασφαλιστική | ⊠ Φίλτρο |

Σχ. 11.4ζ.

Διάγραμμα ψυκτικής μονάδας πλοίου ψυγείου.



Σχ. 11.4n.

Δίκτυα κοχλιωτού συμπιεστή ψυκτικής μονάδας.

υψηλή θερμοκρασία).

- Εκκίνηση του συμπιεστή.
- Σταδιακό άνοιγμα της βαλβίδας (1) και κλείσιμο της αν παρατηρηθεί κάποια ανωμαλία.
- Άνοιγμα της βαλβίδας υγρού (4).
- Διακοπή λειτουργίας του συμπιεστή σε περίπτωση κραδασμών ή αυξημένου θορύβου.

γ) Συνεχής λειτουργία.

Μετά την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας των ψυκτικών θαλάμων, αρχίζει η συνεχής λειτουργία σε συνθήκες ταξιδιού. Κατά τη συνεχή λειτουργία γίνεται ανανέωση του αέρα του θαλάμου με εξωτερικό και ανάλογα με τον αριθμό των εμφόρτων θαλάμων και τη θερμοκρασία τους, ορισμένες από τις τέσσερις ψυκτικές μονάδες τίθενται εκτός λειτουργίας. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται είναι:

- Εκκίνηση των ανεμιστήρων εξωτερικού αέρα (ισχύει μόνο για τη μέση και υψηλή θερμοκρασία).
- Για τους συμπιεστές που πρόκειται να κρατηθούν, κλείσιμο της βαλβίδας υγρού.
- Για τις ψυκτικές μονάδες που πρόκειται να κρα-

τηθούν, μετά την ελάττωση της στάθμης του υγρού R-22 στον ατμοποιητή, κράτηση του συμπιεστή και της αντλίας άλμης.

- Για τις ψυκτικές μονάδες που πρόκειται να κρατηθούν, κράτηση της αντλίας νερού συμπυκνώσεως.
- Σε περίπτωση που το φορτίο είναι φρούτα, οι ανεμιστήρες κυκλοφορίας αέρα στους ψυκτικούς θαλάμους θα πρέπει να λειτουργούν σε μέση ταχύτητα από υψηλή που είχαν προηγουμένως.
- Προγραμματισμός της επιθυμητής θερμοκρασίας στο σύστημα ελέγχου. Η διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στους ψυκτικούς θαλάμους γίνεται αυτόματα με την παράκαμψη της άλμης από τον ψύκτη αέρα, μέσω του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου και της τρίοδης βαλβίδας.

11.4.5 Μεταφορά σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα.

Η μείωση της θερμοκρασίας των κυτών των πλοίων ψυγείων, στην περίπτωση μεταφοράς νωπών φρούτων και λαχανικών, έχει ως σκοπό την

επιβράδυνση της λειτουργίας της αναπνοής τους, η οποία συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της μεταφοράς και της αποθηκείωσης. Με την αναπνοή εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα και αιθυλένιο, τα οποία με τη σειρά τους επιταχύνουν τη διαδικασία της αλλοιώσεως και υποβιβάζουν την ποιότητα των προϊόντων.

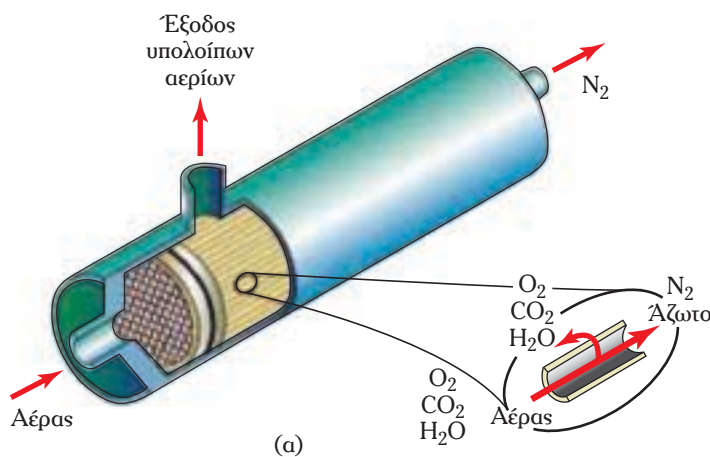
Η επιβράδυνση της αναπνοής μπορεί να επιτευχθεί μόνο με διατήρηση σε μειωμένη θερμοκρασία, αλλά και σε ατμόσφαιρα με μειωμένο ποσοστό οξυγόνου. Η μεταφορά των τροφίμων σε ατμόσφαιρα με σύνθεση που διαφέρει από τη φυσιολογική (79% N_2 , 21% O_2), ονομάζεται **μεταφορά σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα** (controlled atmosphere). Στα πλοία ψυγεία εφαρμόζεται η μεταφορά σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με τη μεταφορά σε συνθήκες μειωμένης θερμοκρασίας. Μέσα σε μία ατμόσφαιρα με μειωμένο ποσοστό οξυγόνου, η αναπνοή των φρούτων και των λαχανικών μειώνεται, οπότε αυξάνεται ο χρόνος μεταφοράς τους, χωρίς να επιβαρύνεται η ποιότητα. Για παράδειγμα, ο μέγιστος χρόνος αποθηκείωσης μπανανών υπό ψύξη από 2–4 εβδομάδες επιμηκύνεται σε 4–6 εβδομάδες, όταν χρησιμοποιείται ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Στα μήλα, ο χρόνος αποθηκείωσης σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, μπορεί να υπερβεί τους έξι μήνες έως ένα έτος. Στα πλοία ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο κυμαίνεται από 1–4%, ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτωτή.

Για τη δημιουργία ελεγχόμενης ατμόσφαιρας με μειωμένη περιεκτικότητα οξυγόνου, συνήθως χρησιμοποιείται άζωτο. Το άζωτο διαχωρίζεται από τον αέρα, καθώς αυτός ρέει μέσα από μεμβράνες. Στην αρχή, ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται και περ-

νάει από αφυγραντικά φίλτρα που αφαιρούν την υγρασία του. Κατόπιν, περνά από έναν οσμωτικό διαχωριστήρα που αποτελείται από πολλούς λεπτούς αγωγούς, τα τοιχώματα των οποίων είναι μεμβράνες που επιτρέπουν την έξοδο του οξυγόνου (σχ. 11.4θ). Το άζωτο συνεχίζει να ρέει μέσα στον αγωγό, οπότε συλλέγεται στην έξοδο και αποθηκεύεται για να διοχετευτεί στους ψυκτικούς θαλάμους.

Η περιεκτικότητα του αέρα των θαλάμων σε οξυγόνο και σε άζωτο παρακολουθείται και ρυθμίζεται συνεχώς. Ατμόσφαιρα με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο έχει ως αποτέλεσμα το πλήρες σταμάτημα της αναπνοής και τη ραγδαία επιδείνωση της ποιότητας των φρούτων. Η εγκατάσταση δημιουργίας ελεγχόμενης ατμόσφαιρας βρίσκεται στο κατάστρωμα, απ' όπου ο αέρας υψηλής περιεκτικότητας σε άζωτο που δημιουργείται στέλνεται με αεραγωγούς στους ψυκτικούς θαλάμους. Η περιεκτικότητα του αέρα προσαγωγής σε άζωτο ρυθμίζεται ανάλογα με τη σύσταση του αέρα επιστροφής από τον ψυκτικό θάλαμο, η οποία παρακολουθείται από μια ηλεκτρονική μονάδα, για την άμεση αντικατάσταση της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας.

Σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα προκαλείται άμεση ασφυξία και θάνατος στους ανθρώπους. Γι' αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντική η τήρηση διαδικασιών ασφαλείας πριν την είσοδο σε κάποιο θάλαμο. Αυτό συμβαίνει διότι το ποσοστό οξυγόνου που περιέχεται είναι πολύ κάτω από το 20% του εξωτερικού αέρα και συνήθως κάτω από το 5%. Σε περιεκτικότητα οξυγόνου κάτω από 17% σβήνει η φλόγα του κεριού και σε περιεκτικότητα κάτω από 12–16% προκαλείται δυσκολία στην αναπνοή και ταχυκαρδία. Στο



Σχ. 11.4θ.

Οσμωτικός διαχωριστήρας αζώτου: (α) Αρχή λειτουργίας, (β) μηχανή διαχωρισμού αζώτου.

6–10% δεν είναι δυνατό το άτομο να περπατήσει και να κινηθεί, ενώ στο 6% έρχεται η λιποθυμία. Για την είσοδο σε θαλάμους με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα απαιτείται προηγουμένως η αναπλήρωση του αέρα του θαλάμου με εξωτερικό αέρα και η λειτουργία των ανεμιστήρων εξωτερικού αέρα σε μέγιστη ταχύτητα σε όλη τη διάρκεια των εργασιών. Επίσης, απαιτείται η εργασία με ζεύγη ατόμων υπό εξωτερική παρακολούθηση και η παρακολούθηση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο με φορητό μετρητή.

Η μεταφορά υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, όπως περιγράφηκε παραπάνω, εφαρμόζεται και στα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία, τα οποία είναι εφοδιασμένα με μικρές γεννήτριες αζώτου.

11.4.6 Προστασία προϊόντων με τη χρήση όζοντος.

Το όζον (O_3) είναι μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου και παράγεται στη φύση κυρίως μέσω των ηλεκτρικών εκκενώσεων. Το όζον υπάρχει στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου φιλτράρει τις υπεριώδεις ακτίνες της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις το όζον είναι ρύπος, δηλαδή είναι επικίνδυνο για την υγεία. Η συγκέντρωση 0,1 ppm είναι το ανώτερο όριο ασφαλείας για παραμονή 8 ωρών, ενώ για 24ωρη παραμονή ασφαλής θεωρείται συγκέντρωση όζοντος μικρότερη από 0,01 ppm. Η συγκέντρωση του όζοντος μετρείται με ειδικές συσκευές.

Λόγω της υπάρξεως ενός ελεύθερου ατόμου οξυγόνου στο μόριο του όζοντος, αυτό είναι πολύ ενεργό χημικά. Όταν ένα μόριο όζοντος οξειδώνει άλλα στοιχεία απελευθερώνεται ένα μόριο οξυγόνου (O_2). Έτσι, το όζον χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας και την αφαίρεση οσμών από κλειστούς χώρους όπως είναι οι ψυκτικοί θάλαμοι.

Το όζον στους ψυκτικούς θαλάμους παράγεται σε μηχανές οι οποίες ονομάζονται **γεννήτριες όζοντος**. Αυτές περιέχουν δύο ηλεκτρόδια από διηλεκτρικό υλικό, στα οποία διοχετεύεται υψηλή τάση 800–50.000 V με συχνότητα από 50–20.000 Hz. Οι γεννήτριες όζοντος συνδέονται με τους ψύκτες αέρα και τοποθετούνται στην αναρρόφηση των ανεμιστήρων. Η παραγωγή όζοντος μιας γεννήτριας μειώνεται όταν η υγρασία του αέρα του θαλάμου είναι αυξημένη.

Η χρήση του όζοντος έχει δύο βασικούς σκοπούς:

α) Την **προστασία των προϊόντων**, δηλαδή τη διατήρηση της οσμής και της υφής των τροφίμων. Η

χρήση του όζοντος απομακρύνει το αιθυλένιο που παράγεται από τα «ζωντανά» τρόφιμα. Στην περίπτωση μεταφοράς κρέατος και βουτύρου η χρήση όζοντος ενδείκνυται μόνο εφόσον υπάρχουν οσμές από άλλα φορτία ή από καυσαέρια στον ψυκτικό θάλαμο, διότι με την παρατεταμένη επαφή τους με το όζον οξειδώνονται και η γεύση τους αλλοιώνεται.

β) Την **θεραπεία των προϊόντων**, δηλαδή την απομάκρυνση οσμών από τρόφιμα που έχουν απορροφήσει οσμές και είναι ακατάλληλα για κατανάλωση.

Σε κάθε περίπτωση η λειτουργία της γεννήτριας όζοντος αποτρέπει τη δημιουργία οσμών και την εισχώρησή τους στη μόνωση του ψυκτικού θαλάμου. Η προστασία ή η θεραπεία των φρούτων και των λαχανικών και των ψαριών μπορεί να γίνεται με συνεχή λειτουργία της γεννήτριας όζοντος. Η λειτουργία της γεννήτριας όζοντος για κρέας, για βούτυρο και για μπανάνες πρέπει να είναι διακοπτόμενη ανά 12 ώρες το 24ωρο και μόνο όταν είναι απαραίτητο. Όταν τα τρόφιμα περιέχουν μεγάλη ποσότητα λιπαρών η λειτουργία της γεννήτριας όζοντος θα πρέπει να περιορίζεται στις 8 ώρες ανά 24ωρο

11.5 Εμπορευματοκιβώτια ψυγεία (Refrigerated containers).

11.5.1 Τύποι εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων.

Η μεταφορά φορτίων υπό ψύξη, πραγματοποιείται όχι μόνο με τα πλοία ψυγεία, αλλά και με ειδικά εμπορευματοκιβώτια ψυγεία, τα οποία έχουν τυποποιημένες διαστάσεις. Το μήκος τους είναι 20 ft ή 40 ft, ενώ το πλάτος και το ύψος τους 8 ft ή 8,5 ft. Στις μέρες μας, με την εξέλιξη του διεθνούς εμπορίου και την ανάπτυξη των γραμμών μεταφοράς, σε συνδυασμό με τη σύγχρονη τεχνολογία ψύξεως, η μεταφορά φορτίων υπό ψύξη σε εμπορευματοκιβώτια έχει εκτοπίσει τα πλοία ψυγεία, τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο για φορτία (π.χ. μπανάνες) που φορτώνονται τακτικά και σε μεγάλες ποσότητες. Τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς των ευπαθών φορτίων σε εμπορευματοκιβώτια είναι η ευχέρεια φορτώσεως και χειρισμού του φορτίου και η αποφυγή συνθηκών αυξημένης θερμοκρασίας κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση.

Υπάρχουν δύο τύποι εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων, οι οποίοι έχουν τις ίδιες εξωτερικές διαστάσεις και συμμορφώνονται με την προδιαγραφή ISO 1492/2, οι εξής:

α) Τα **μονωμένα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία** (insulated containers ή porthole containers), τα οποία είναι μονωμένοι ψυκτικοί θάλαμοι. Οι θάλαμοι αυτοί έχουν δύο θέσεις συνδέσεως για την προσαγωγή και την επιστροφή του ψυχρού αέρα, ο οποίος παρέχεται από εξωτερική πηγή (το πλοίο). Κατά την αναμονή των μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι, σε αυτά συνδέονται εξωτερικές ψυκτικές μονάδες που κινούνται από το ηλεκτρικό ρεύμα μίας νηπζελογεννήτριας. Οι **εξωτερικές ψυκτικές μονάδες** (clip-on units) αποσυνδέονται πριν τη φόρτωση και τα μονωμένα εμπορευματοκιβώτια συνδέονται με το σύστημα παραγωγής ψυχρού αέρα του πλοίου.

β) Τα **αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία** (integral containers), τα οποία έχουν ενσωματωμένη τη δική τους ψυκτική μονάδα, που μπορεί να τροφοδοτείται από εξωτερική πηγή ηλεκτρικού ρεύματος ή από νηπζελογεννήτρια. Η νηπζελογεννήτρια χρησιμοποιείται, ώστε να εξασφαλίζεται η παροχή ηλεκτρικής ισχύος, ανεξάρτητα από την τάση και τη συχνότητα του τοπικού δικτύου και μπορεί να απομακρύνεται όταν δεν χρειάζεται.

Τα μονωμένα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία δεν έχουν απώλεια ωφέλιμου χώρου φορτώσεως, διότι δεν έχουν ψυκτική εγκατάσταση και έτσι μπορούν να μεταφέρουν περισσότερο φορτίο από τα αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία. Το μειονέκτημά τους είναι η πολυπλοκότητα των χειρισμών τους και η ανάγκη συνεχούς συνδέσεως με κάποια εξωτερική ψυκτική εγκατάσταση.

Τα αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία εξασφαλίζουν σταθερές συνθήκες μεταφοράς, ανεξάρτητα από τις εγκαταστάσεις του πλοίου ή του λιμανιού. Το μειονέκτημά τους είναι ότι πρέπει να τοποθετούνται στο κατάστρωμα, διότι η ψυκτική τους εγκατάσταση εκπέμπει μεγάλα ποσά θερμότητας που προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας των κυτών. Γι' αυτόν το λόγο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη κλίμακα, παρά μόνο για μερική φόρτωση του πλοίου με ευπαθή προϊόντα. Σε πλοία που μεταφέρουν μεγάλο αριθμό από αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία κάτω από το κατάστρωμα, αυτά πρέπει να διαθέτουν και έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, ο οποίος τροφοδοτείται με νερό συμπυκνώσεως από το πλοίο. Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα των αυτόνομων εμπορευματοκιβωτίων είναι ότι κατά τη διάρκεια του ταξιδιού έχουν ανάγκη επιτηρήσεως και συντηρήσεως και εμφανίζουν αυξημένο ποσοστό

απωλειών φορτίου λόγω βλάβης.

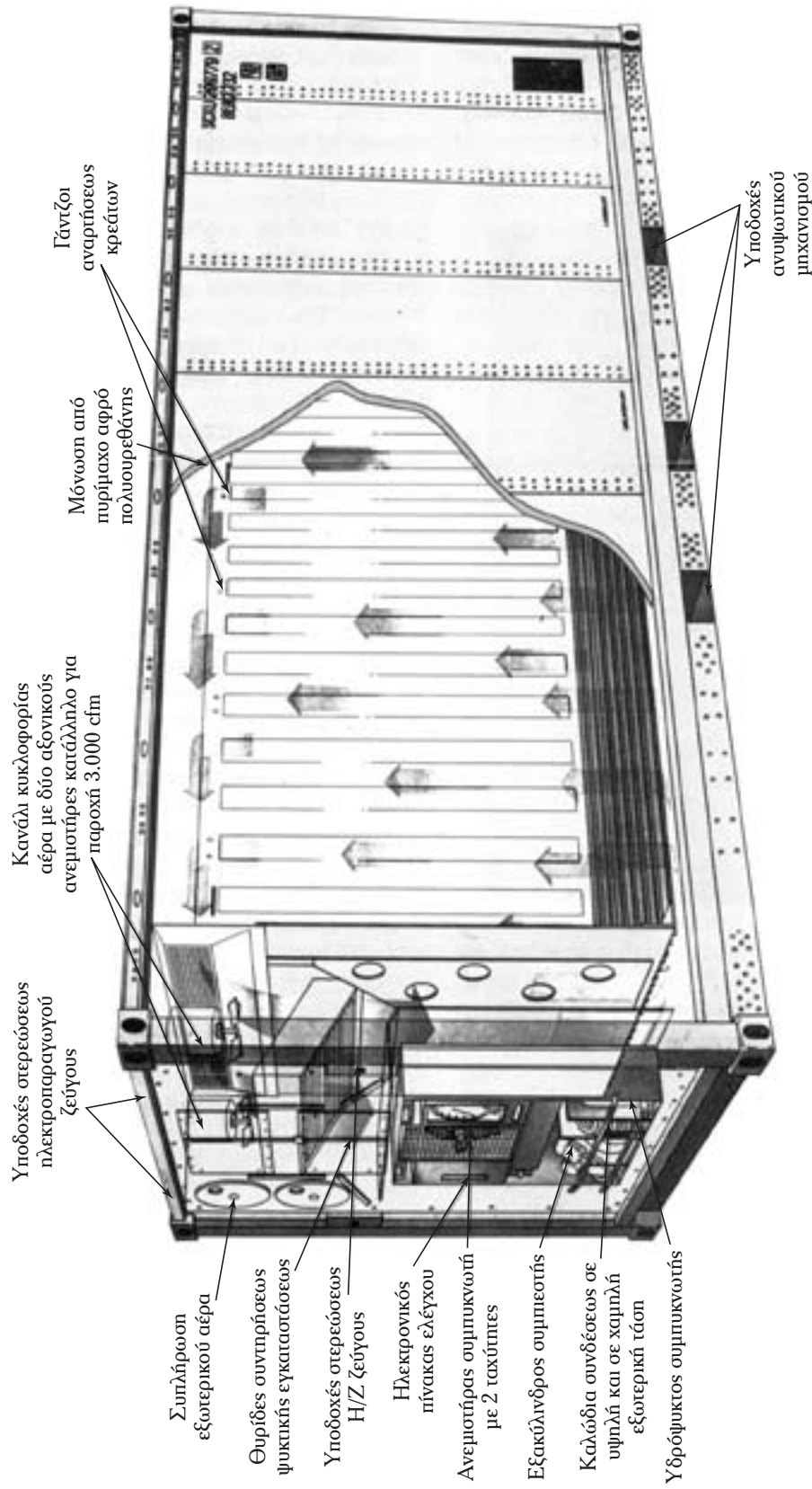
Για τους παραπάνω λόγους, σήμερα έχουν επικρατήσει τα αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια, όταν αυτά χρησιμοποιούνται σποραδικά μαζί με εμπορευματοκιβώτια γενικού φορτίου. Μ' αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται το 80% της μεταφοράς των ευπαθών προϊόντων που διακινούνται με εμπορευματοκιβώτια ψυγεία. Το υπόλοιπο 20% διακινείται με μονωμένα εμπορευματοκιβώτια σε πλοία, τα οποία είναι κατάλληλα σχεδιασμένα και έχουν ψυκτικές εγκαταστάσεις, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν εξ ολοκλήρου τέτοιου τύπου εμπορευματοκιβώτια ψυγεία.

Η κατασκευή ενός εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου αποτελείται από ένα στιβαρό καλύβδινο σκελετό, του οποίου οι κατακόρυφοι δοκοί μπορούν να αντέξουν το βάρος των άλλων κιβωτίων που φορτώνονται από πάνω του. Στα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία η μόνωση τοποθετείται εσωτερικά της εξωτερικής καλύβδινης επενδύσεως και προστατεύεται από ένα στιβαρό αδιάβροχο στρώμα. Στα πρώτα εμπορευματοκιβώτια η προστατευτική επένδυση ήταν από κόντρα πλακέ θαλάσσης επενδυμένο με πολυεστέρα (GRP), ενώ σήμερα η μόνωση είναι σκληρός αφρός πολυουρεθάνης και προστατεύεται από ελάσματα αλουμινίου ή ανοξείδωτου χάλυβα για να μην χάνει το μονωτικό αέρα. Το πάχος της μόνωσης στα πλευρικά τοιχώματα και στην οροφή είναι 75 mm, ενώ στο δάπεδο και στην πόρτα είναι 100 mm. Ο συντελεστής θερμικών απωλειών που επιτυγχάνεται είναι περίπου 27 W/K για ένα εμπορευματοκιβώτιο με μήκος 20 ft.

Το δάπεδο στηρίζεται με δοκούς σχήματος T, κάτω από τις οποίες σχηματίζονται τα κανάλια ροής του αέρα. Ο αέρας μπορεί να έχει κατεύθυνση από το δάπεδο προς την οροφή ή αντίστροφα. Επίσης, σε μερικά εμπορευματοκιβώτια η ροή του αέρα είναι συμμετρική από τη μια πλευρά προς την άλλη. Η κατασκευή ενός αυτόνομου εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου φαίνεται στο σχήμα 11.5α.

Το μέγιστο βάρος ενός έμφορτου κιβωτίου περιορίζεται στους 20 t, κυρίως για λόγους ασφαλείας κατά την οδική μεταφορά. Γι' αυτόν το λόγο για τη μεταφορά βουτύρου και συσκευασμένου κρέατος χρησιμοποιούνται τα κιβώτια με μήκος 20 ft. Στην περίπτωση που φορτωθούν τεμάχια κρέατος ή φρούτα με μέγιστο βάρος από 9 έως 13 t, τότε χρησιμοποιούνται τα κιβώτια μήκους 40 ft.

Η θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί από ένα αυτόνομο εμπορευματοκιβώτιο ψυγείο είναι από $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, όταν η εξωτερική θερμοκρα-



Σχ. 11.5α.

Αυτόνομο εμπνευματικό βώλο ψυγείο.

σία του αέρα είναι 40 °C. Η θερμοκρασία ρυθμίζεται με ακρίβεια της τάξεως των 0,5 °C, ενώ οι ανεμιστήρες μπορούν να επιτύχουν 80 αλλαγές του αέρα ανά ώρα. Ο αριθμός των εναλλαγών του αέρα εξαρτάται από τη στοιβασία του φορτίου, η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια που να εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κυκλοφορία και να υπάρχει κενό στην οροφή για τον αέρα επιστροφής. Η παροχή του εξωτερικού αέρα είναι ισοδύναμη με μια αλλαγή κάθε 4 h. Η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής και επιστροφής και η υγρασία του εμπορευματοκιβωτίου, καταγράφονται συνεχώς όλο το 24-ωρο σε ειδικά καταγραφικά χαρτιά (σχ. 11.5β). Αυτό γίνεται γιατί η εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών για τη μεταφορά των ευπαθών προϊόντων, κατά την διάρκεια του ταξιδιού γίνεται με ευθύνη του μεταφορέα, δηλαδή του πλοίου. Με τα σύγχρονα συστήματα παρακολουθήσεως, τα δεδομένα του φορτίου και η θέση του κατά τη διάρκεια της μεταφοράς στέλνονται δορυφορικά στον ιδιοκτήτη του φορτίου.

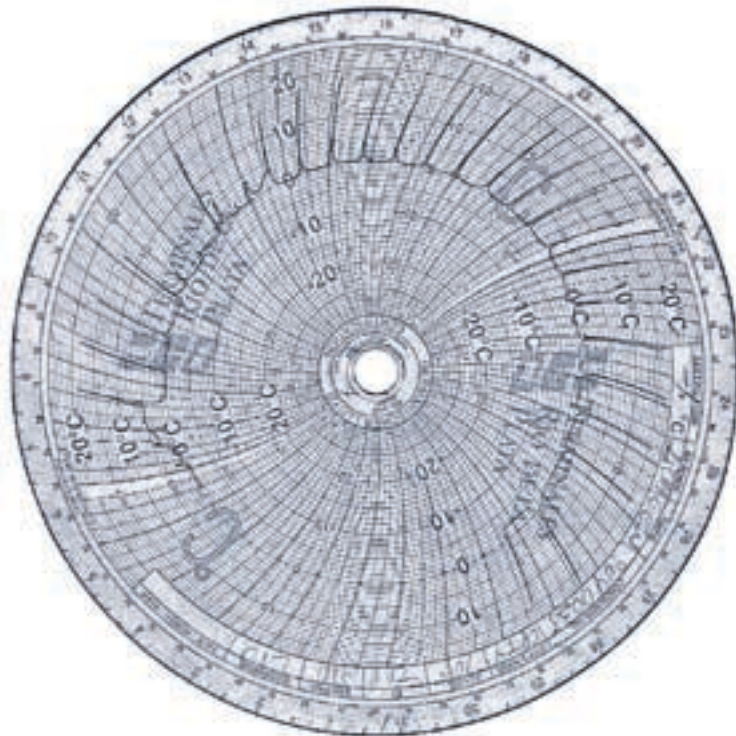
11.5.2 Ψυκτική αυτόνομη εγκατάσταση εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου.

Η ψυκτική εγκατάσταση ενός αυτόνομου εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου περιλαμβάνει έναν **ημιεργ-**

τικό παλινδρομικό ή περιστροφικό ελικόμορφο (scroll) ή **περιστροφικό ελικοειδή** (screw) συμπιεστή. Επίσης, υπάρχει ένας αερόψυκτος συμπυκνωτής, η γραμμή υγρού με το αφυγραντικό φίλτρο, τον ενδείκτη ροής και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και ο ατμοποιητής, ο οποίος είναι ψύκτης αέρα και βρίσκεται ανάμεσα στα κανάλια επιστροφής και προσαγωγής αέρα (σχ. 11.5γ). Η αποχιόνωση του ατμοποιητή γίνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις. Τα αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία έχουν θέση συνδέσεως 440 V ή 220 V, ενώ η μέση ισχύς ηλεκτρικού ρεύματος ενός κιβωτίου είναι περίπου 5–6 kW.

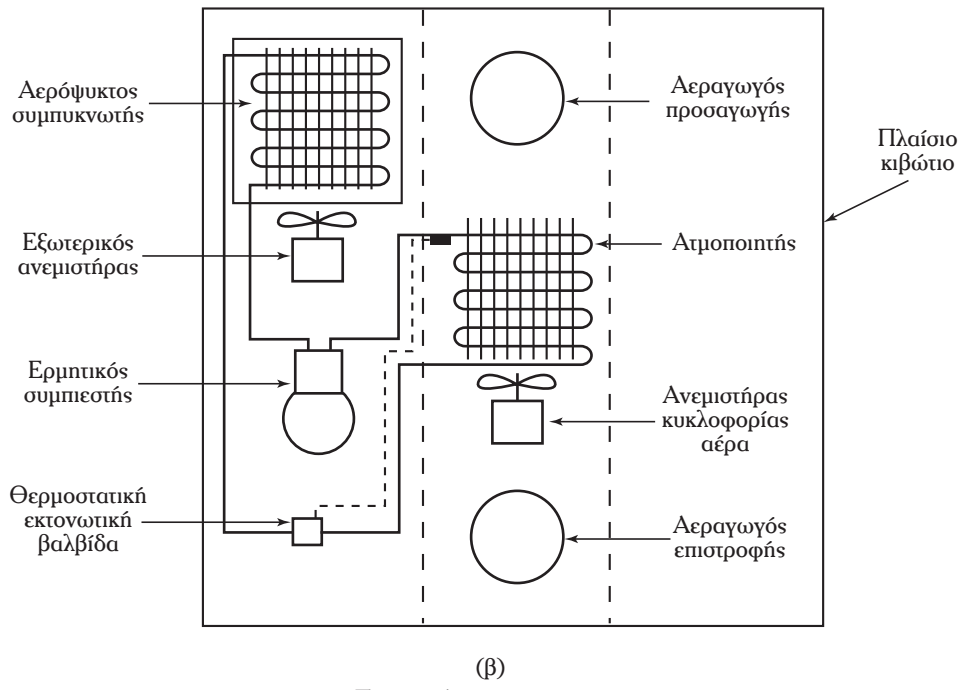
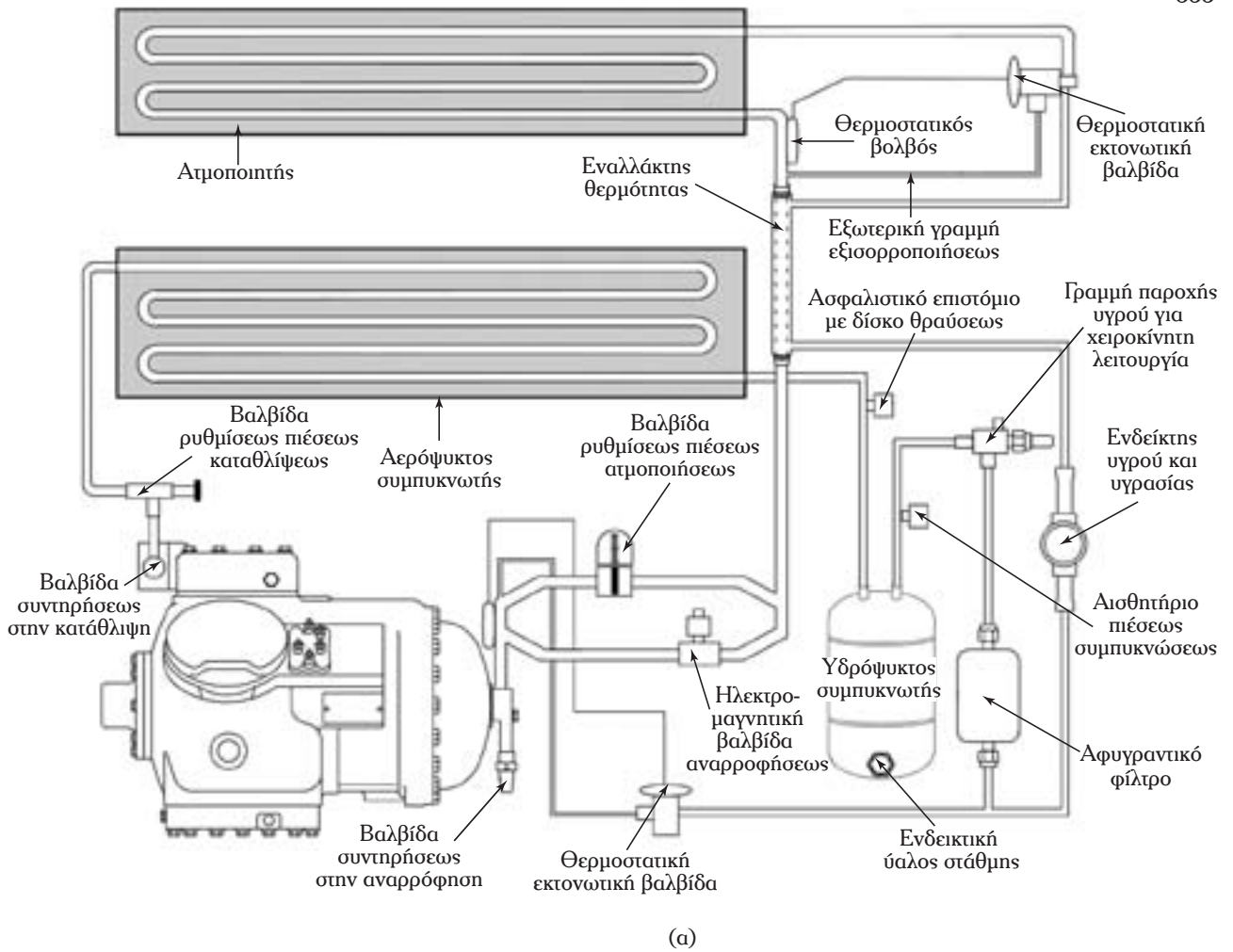
Η ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος μπορεί να πραγματοποιείται με αποφόρτιση κυλίνδρων του συμπιεστή, με εισαγωγή θερμού αερίου στον ατμοποιητή ή με παράκαμψη θερμού αερίου από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Στο σχήμα 11.5δ φαίνεται η διάταξη της ψυκτικής εγκαταστάσεως ενός αυτόνομου εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου, στις περιπτώσεις ρυθμίσεως της ψυκτικής ισχύος με παράκαμψη θερμού αερίου από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση και με εισαγωγή θερμού αερίου στον ατμοποιητή.

Τα αυτόνομα κιβώτια, όπως έχομε αναφέρει,



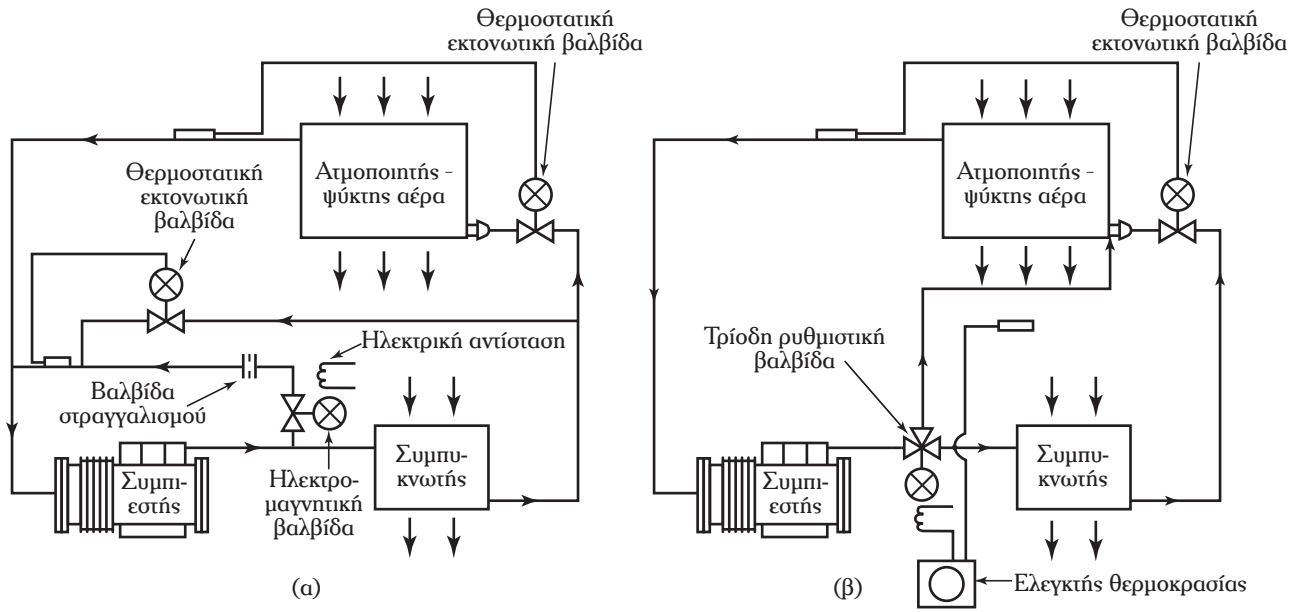
Σχ. 11.5β.

Καταγραφικό χαρτί θερμοκρασίας και υγρασίας εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου.



Σχ. 11.5γ.

(α) Ψυκτική εγκατάσταση αυτόνομου εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου και (β) διάταξη εξαρτημάτων ψυκτικής εγκαταστάσεως αυτόνομου εμπορευματοκιβωτίου).



Σχ. 11.58.

Ρύθμιση ψυκτικής ισχύος: (α) Με παράκαμψη θερμού αερίου από την καιάθλιψη στην αναρρόφηση, (β) με εισαγωγή θερμού αερίου στον ατμοποιητή.

έχουν το μειονέκτημα ότι απορρίπτουν μεγάλα ποσά θερμότητας στον αέρα από τον αερόψυκτο συμπυκνωτή τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από το κατάστρωμα, διότι προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι, σε αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια που προορίζονται για μεταφορά με πλοία και πρόκειται να φορτωθούν κάτω από το κατάστρωμα, τοποθετούνται διπλοί συμπυκνωτές. Εκτός από τον αερόψυκτο συμπυκνωτή που λειτουργεί κατά την παραμονή στο λιμάνι και τη μεταφορά στην ξηρά, υπάρχει και ένα υδρόψυκτος, ο οποίος συνδέεται με το κύκλωμα γλυκού νερού ψύξεως από τους εναλλάκτες του πλοίου. Μ' αυτόν τον τρόπο η θερμότητα που απορρίπτεται από το συμπυκνωτή παραλαμβάνεται από το νερό και δεν αυξάνει τη θερμοκρασία των κυτών.

Η ταχύτητα των ανεμιστήρων κυκλοφορίας του αέρα είναι ρυθμιζόμενη συνήθως σε δύο διαβαθμίσεις. Η χαμηλή ταχύτητα χρησιμοποιείται όταν μεταφέρονται κατεψυγμένα είδη, ενώ η υψηλή όταν μεταφέρονται φρούτα, όπως μπανάνες. Στη χαμηλή ταχύτητα επιτυγχάνονται 40 εναλλαγές αέρα την ώρα, ενώ στην υψηλή 80 εναλλαγές την ώρα.

11.5.3 Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων.

Τα μονωμένα εμπορευματοκιβώτια ψυγεία εξαρτώνται από μια εξωτερική ψυκτική εγκατάσταση, η

οποία συνδέεται στις θέσεις προσαγωγής και επιστροφής του ψυχρού αέρα. Στο λιμάνι και κατά τη μεταφορά στην ξηρά, η ψύξη παρέχεται από τις **πρόσθετες εξωτερικές μονάδες** (clip-on units), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούνται και για μεταφορά με πλοίο μονωμένων κιβωτίων. Για τη θαλάσσια μεταφορά μεγάλου αριθμού μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων έχουν κατασκευαστεί πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μονωμένα ή με μερικώς μονωμένα κύττα. Αντίθετα, για τη μεταφορά αυτόνομων εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων, ειδικά όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός από αυτά, έχουν σχεδιαστεί ειδικά πλοία που διαθέτουν ισχυρά συστήματα αερισμού των κυτών τους και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη με μεγάλη δυναμικότητα. Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχουν οι εξής κατηγορίες πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων:

α) Πλοία μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων.

- Με μονωμένα κύττα και
- με κύττα χωρίς μόνωση ή μερικώς μονωμένα.

β) Πλοία μεταφοράς αυτόνομων εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων.

Αναλυτικότερα:

1) Πλοία μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων με μονωμένα κύττα.

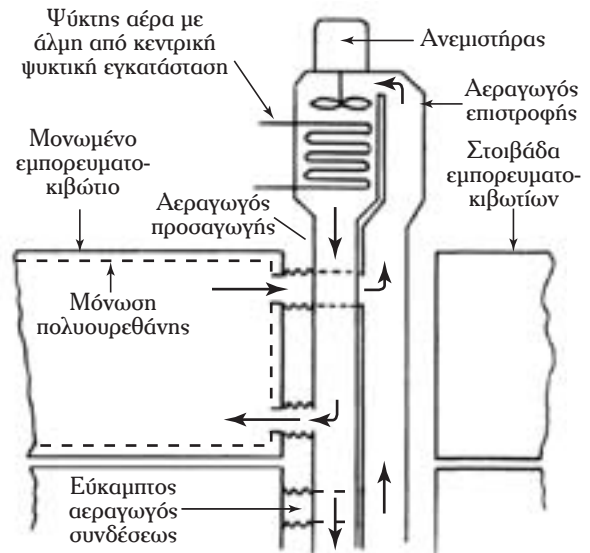
Οι πλευρές και οι φρακτές των πλοίων αυτών είναι μονωμένες με πολυουρεθάνη πάχους 50 mm, η

οποία προστατεύεται από ελάσματα αλουμινίου. Τα καλύμματα των κυτών είναι μονωμένα με πολυουρεθάνη πάχους 120 mm, η οποία βάφεται με δύο στρώσεις χρώματος που επιβραδύνει την εξαπλωση της φωτιάς. Ο συνολικός συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας που επιτυγχάνεται είναι της τάξεως των $1,4 \text{ W/m}^2\text{k}$. Τα πλοία αυτά διαθέτουν αεραγωγούς, με τους οποίους γίνεται η προσαγωγή και η επιστροφή του ψυχρού αέρα στα μονωμένα εμπορευματοκιβώτια. Οι αεραγωγοί μπορεί να είναι κατακόρυφοι ή οριζόντιοι. Συνήθως προτιμάται η κατακόρυφη διάταξη των αεραγωγών και τα κιβώτια στοιβάζονται σε στήλες, ανάλογα με τα ευπαθή προϊόντα που περιέχουν. Η κάθε στήλη ψύχεται από ανεξάρτητους ψύκτες αέρα που τοποθετούνται στο κατάστρωμα και μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η κατάλληλη θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής, ανάλογα με τα προϊόντα που βρίσκονται στα κιβώτια της κάθε στήλης.

Στο σχήμα 11.5ε εικονίζεται η εγκατάσταση διανομής αέρα σε ένα πλοίο μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων. Η κάθε στήλη κιβωτίων συνήθως έχει εννέα κιβώτια κατά το ύψος και το κάθε κιβώτιο συνδέεται με τον αγωγό προσαγωγής και επιστροφής αέρα. Η σύνδεση πραγματοποιείται με εύκαμπους αυτόματους συνδέσμους που εξασφαλίζουν τη στεγανότητα και λειτουργούν με την πίεση του αέρα στα κανάλια. Στα πρώτα πλοία αυτού του τύπου οι συνδέσεις των αεραγωγών που δεν χρησιμοποιούνταν έκλειναν χειροκίνητα με διαφράγματα, ενώ στα νέα, υπάρχει ένα αυτόματος σύνδεσμος, ο οποίος δεν επιτρέπει τη ροή του αέρα όταν δεν συνδέεται σ' αυτόν κάποιο κιβώτιο. Ο ψύκτες αέρα βρίσκεται στο κατάστρωμα και διαθέτει έναν ανεμιστήρα, ο οποίος αναρροφά τον αέρα που επιστρέφει από τα κιβώτια. Ο αέρας ψύχεται από μια σερπαντίνα με άλμη, η οποία με τη σειρά της ψύχεται από μία κεντρική ψυκτική εγκατάσταση στο μηχανοστάσιο. Στον ψύκτη αέρα υπάρχει σύστημα παρακολούθησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα προσαγωγής και του περιεχόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης εκεί, γίνεται η ανάμειξη με τον εξωτερικό αέρα, ενώ σε μερικές στήλες υπάρχει σύστημα ελεγχόμενης ατμόσφαιρας, με το οποίο μειώνεται η αναπνοή των φρούτων και των λαχανικών. Η διάταξη του κύτους ενός πλοίου μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων φαίνεται στο σχήμα 11.5στ.

Τα μονωμένα κύτη έχουν έναν ή δύο ψύκτες αέρα, με τους οποίους η θερμοκρασία εξωτερικά

των εμπορευματοκιβωτίων διατηρείται σε μια προκαθορισμένη τιμή, συνήθως στους 0°C . Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι απώλειες θερμότητας από τα κιβώτια και εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ψύξη. Ο αέρας στο χώρο των κυτών εναλλάσσεται 6–10 φορές ανά ώρα, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη θερμοκρασία έξω από όλα τα κιβώτια. Στην πράξη, η θερμοκρασιακή διαφορά σε διαφορετικά σημεία του κύτους είναι περίπου 1°C για εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα και $2\text{--}4^\circ\text{C}$ για φυσική κυκλοφο-



Σχ. 11.5ε.

Εγκατάσταση διανομής αέρα σε πλοίο μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων.



Σχ. 11.5στ.

Κύτη πλοίου μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων.

ρία ή κυκλοφορία με ελκυσμό. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των πλοίων με μονωμένα κύττα είναι ότι δεν υπάρχει μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία από τα τοιχώματα των εμπορευματοκιβωτίων προς το φορτίο, διότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας. Αυτό είναι σημαντικό, ιδιαίτερα στην περίπτωση μεταφοράς φρούτων, διότι μ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο χρόνος μεταφοράς και αποθηκεύσεως.

Η ψυκτική εγκατάσταση ενός πλοίου μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων είναι παρόμοια μ' αυτήν ενός πλοίου ψυγείου. Αποτελείται από τέσσερις ψυκτικές μονάδες, η κάθε μία από τις οποίες μπορεί να μεταφέρει το 25% του συνολικού ψυκτικού φορτίου. Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο, το οποίο συνήθως είναι το R-22, ψύχει άλμη, η οποία μεταφέρεται στους ψύκτες αέρα. Η θερμοκρασιακή διαφορά της άλμης και του αέρα διατηρείται περίπου στους 3–4 °C, ώστε να μην υπάρχει μεγάλη συμπύκνωση υδρατμών και να υπάρχει σχετική υγρασία, περίπου 90%, μέσα στα εμπορευματοκιβώτια. Η αποχιόνωση των ψυκτών αέρα πραγματοποιείται με την κυκλοφορία θερμής άλμης, ανά διαστήματα της μισής ώρας.

2) Πλοία μεταφοράς μονωμένων εμπορευματοκιβωτίων χωρίς μονωμένα ή με μερικάς μονωμένα κύττα.

Τα κύττα των πλοίων αυτών έχουν ένα σύστημα αεραγωγών διανομής αέρα στα εμπορευματοκιβώτια, το οποίο είναι παρόμοιο μ' αυτό των πλοίων που έχουν μονωμένα κύττα. Η διαφορά τους είναι ότι δεν έχουν πλήρη μόνωση ή έχουν κύττα που δεν είναι θερμικώς μονωμένα. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για περισσότερες εναλλαγές αέρα μέσα στα εμπορευματοκιβώτια και έτσι τα πλοία αυτά έχουν μεγαλύτερους ανεμιστήρες και ισχυρότερη ψυκτική εγκατάσταση με μεγαλύτερους ψύκτες αέρα.

Ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας που επιτυγχάνεται από το κιβώτιο στο κύτος κυμαίνεται από περίπου 6 έως 7 W/m²K και εξαρτάται από την κατασκευή του πυθμένα και των πλευρών του πλοίου καθώς και από τον αριθμό των κιβωτίων που βρίσκονται μέσα στο κύτος. Η θερμοκρασία του αέρα στα κύττα είναι περίπου ίση μ' αυτήν της ατμόσφαιρας, οπότε είναι γενικά χαμηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία, στην οποία βρίσκονταν τα εμπορευματοκιβώτια πριν τη φόρτωσή τους στο πλοίο.

3) Πλοία μεταφοράς αυτόνομων εμπορευματοκιβωτίων.

Τα κύττα των πλοίων μεταφοράς αυτόνομων εμπο-

ρευματοκιβωτίων δεν είναι μονωμένα. Για διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικά των κυτών στην τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας, υπάρχουν δυνατοί ανεμιστήρες στην προραία και στην πρυμναία φρακτί του κύτους. Η διανομή του αέρα γίνεται με κανάλια, με τα οποία ο εξωτερικός αέρας προσάγεται ομοιόμορφα στις πλευρές όλων των εμπορευματοκιβωτίων. Επίσης, για την εξυπηρέτηση των ψυκτικών μηχανών των αυτόνομων εμπορευματοκιβωτίων, υπάρχουν μεγάλες ηλεκτρογεννήτριες και σύστημα ψύξεως του γλυκού νερού συμπυκνώσεως σε κεντρικό εναλλάκτη.

Τα αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια, μετά τη φόρτωσή τους σε στοίβες των έξι μέσα στους κατάλληλους οδηγούς, συνδέονται με το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής του πλοίου. Κατά τον υπολογισμό του μεγέθους των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών λαμβάνεται ένας συντελεστής ετεροχρονισμού ίσος με 0,8, δηλαδή γίνεται η υπόθεση ότι ένα 80% των ψυκτικών μηχανών των εμπορευματοκιβωτίων λειτουργούν ταυτόχρονα. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού παρακολουθείται η κατανάλωση ενέργειας και η θερμοκρασία κάθε εμπορευματοκιβωτίου και τα δεδομένα μπορούν να αποστέλλονται δορυφορικά στους ναυλωτές.

Όσα εμπορευματοκιβώτια έχουν υδρόψυκτους συμπυκνωτές συνδέονται με τους αγωγούς παροχής και επιστροφής γλυκού νερού συμπυκνώσεως. Το γλυκό νερό, δεδομένου ότι ψύχεται από θάλασσα σ' έναν κεντρικό εναλλάκτη, έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη κατά 4–5 °C απ' αυτήν του θαλασσινού νερού.

Όταν υπάρχει και υδρόψυκτος συμπυκνωτής εκτός από τον αερόψυκτο, αυτός είναι συνδεδεμένος παράλληλα. Η απομόνωση του αερόψυκτου συμπυκνωτή γίνεται με την κράτηση του ανεμιστήρα του, ενώ συνεχίζεται η ροή του θερμού αερίου από το συμπιεστή.

Με τη χρήση των υδροψύκτων συμπυκνωτών δεν γίνεται απόρριψη της θερμότητας συμπυκνώσεως των εγκαταστάσεων των κιβωτίων στα κύττα. Εντούτοις, η θερμοκρασία των κυτών αυξάνεται, διότι υπάρχει ροή θερμότητας από τα θερμά σημεία των ψυκτικών εγκαταστάσεων (σωληνώσεις κ.λπ.) στον αέρα του κύτους. Επίσης, ροή θερμότητας υπάρχει στους σωλήνες θερμού αερίου του αερόψυκτου συμπυκνωτή, του οποίου ο ανεμιστήρας δεν λειτουργεί.

Μερικά πλοία μπορεί να μεταφέρουν μέχρι 600 αυτόνομα εμπορευματοκιβώτια κάτω από το κατάστρωμα, πράγμα το οποίο δημιουργεί αυξημένες

απαιτήσεις παρακολούθησης, ρυθμίσεως και συντηρήσεως από το πλήρωμα. Οι απαιτήσεις αυτές αυξάνονται αν ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές θερμοκρασίες, οι διαφορετικοί τύποι και η διαφορετική ηλικία του κάθε εμπορευματοκιβωτίου.

11.6 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένων υδρογονανθράκων.

11.6.1 Γενικά.

Με την έναρξη της μεταφοράς υγροποιημένων υδρογονανθράκων από πλοία στις αρχές της δεκαετίας του '70, προέκυψε η ανάγκη εξελίξεως κανονισμών που διέπουν τη ναυπήγηση ειδικών πλοίων.

Σήμερα, η κατασκευή των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένων υδρογονανθράκων διέπεται από κανονισμούς του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (International Maritime Organization-IMO), που είναι γνωστοί ως Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό Πλοίων Μεταφοράς Υγροποιημένων Αερίων Χύδν (International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Liquefied Gases in Bulk-IGC).

Ο κώδικας IGC εφαρμόζεται σε πλοία που ναυπηγούνται μετά το 1986, ενώ πριν τη χρονολογία αυτή προβλέφθηκαν μεταβατικοί κανονισμοί. Σύμφωνα με τον κώδικα IGC, τα υγροποιημένα αέρια πρέπει να μεταφέρονται σε δεξαμενές, οι οποίες αντέχουν την πίεση των ατμών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή θα πρέπει τα πλοία να έχουν άλλα μέσα, με τα οποία η θερμοκρασία του φορτίου να διατηρείται χαμηλή. Στην περίπτωση που το φορτίο μεταφέρεται υπό ψύξη, ο κώδικας IGC προβλέπει ότι η πίεση των ατμών θα πρέπει να μπορεί να διατηρείται χαμηλή για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 21 ημερών. Το φορτίο του υγροποιημένου αερίου μπορεί να διατηρείται σε χαμηλή θερμοκρασία με εξωτερική ψυκτική εγκατάσταση ή με ελεγχόμενη εξάτμιση και καύση των ατμών σε λέβητα ή με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.

Ανάλογα με την πίεση των ατμών του φορτίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έχουν εξελιχθεί δυο κατηγορίες πλοίων μεταφοράς υγροποιημένων υδρογονανθράκων. Αυτές είναι οι εξής:

α) **Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου** (Liquefied Natural Gas-LNG) και

β) **πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων παραγωγών πετρελαίου** (Liquefied Petroleum Gas-LPG).

Το LNG υγροποιείται σε ατμοσφαιρική πίεση στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ το LPG στην ίδια πίεση υγροποιείται από τους $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως τους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, σύμφωνα με την αναλογία του σε προπάνιο και βουτάνιο. Έτσι, η μεταφορά του LNG είναι πιο δύσκολη και απαιτεί πλοία με ειδική τεχνολογία.

Γενικά, για τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων με πλοία, υπάρχουν οι εξής τύποι δεξαμενών:

α) **Ενιαίες δεξαμενές** (integral tanks), οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστο κατασκευαστικό τμήμα του πλοίου, που φορτίζεται μαζί με τη γάστρα. Οι ενιαίες δεξαμενές χρησιμοποιούνται για φορτία με πίεση ατμών μικρότερη από 0,25 bar και σημείο ατμοποίησης όχι μικρότερο από $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Κατά συνέπεια, οι δεξαμενές αυτού του τύπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταφορά LNG και LPG.

β) **Δεξαμενές μεμβράνης** (membrane tanks), οι οποίες αποτελούνται από ένα εσωτερικό λεπτό στρώμα (μεμβράνη), το οποίο στηρίζεται στη μόνωση και στην εξωτερική γάστρα. Η μεμβράνη αποτελείται από ένα ειδικό υλικό που παρέχει στεγανότητα και μειώνει τις θερμικές συστολές που δημιουργούνται από τη μειωμένη θερμοκρασία. Οι δεξαμενές μεμβράνης χρησιμοποιούνται για υγροποιημένα αέρια με πίεση ατμών μικρότερη από 0,25 bar, με οποιοδήποτε σημείο ατμοποίησης και είναι κατάλληλες για τη μεταφορά LNG και LPG. Ένας τροποποιημένος τύπος δεξαμενών μεμβράνης είναι οι **τροποποιημένες δεξαμενές μεμβράνης** (semi-membrane tanks), οι οποίες έχουν παρόμοια κατασκευή με τις **δεξαμενές μεμβράνης** (membrane tanks), αλλά στις γωνίες έχουν μέρη που μπορούν να συστέλλονται για να απορροφούν τις θερμικές τάσεις.

γ) **Ανεξάρτητες δεξαμενές** (independent tanks), οι οποίες δεν αποτελούν κατασκευαστικό τμήμα του πλοίου και έχουν την αντοχή που χρειάζεται για να αντιστέκονται στο βάρος του φορτίου. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:

– Τις **δεξαμενές τύπου «Α»** (type «A» independent tanks), οι οποίες έχουν κατασκευή και ενισχύσεις παρόμοιες μ' αυτές ενός πλοίου και είναι φτιαγμένες από επίπεδα ελάσματα. Οι δεξαμενές αυτές χρησιμοποιούνται για υγροποιημένα αέρια με πίεση ατμών μικρότερη από 0,7 bar, με οποιοδήποτε σημείο ατμοποίησης.

– Τις **δεξαμενές τύπου «Β»** (type «B» independent tanks), οι οποίες είναι παρόμοιας κατασκευής με τις τύπου «Α», αλλά μελετώνται έτσι,

ώστε να αντέχουν σε τυχόν υπερπίεσεις.

- Τις **δεξαμενές τύπου «C»** (type «C» independent tanks), οι οποίες είναι κατασκευασμένες και μελετημένες σαν δοχεία πίεσης. Η μέγιστη πίεση του φορτίου είναι συνάρτηση της πυκνότητάς του, των διαστάσεων της δεξαμενής και του υλικού κατασκευής της. Οι δεξαμενές αυτές δεν χρησιμοποιούνται για LNG παρά μόνο για LPG.

δ) **Δεξαμενές με εσωτερική μόνωση** (internal insulation tanks), οι οποίες δεν είναι αυτοϋποστηριζόμενες και περιλαμβάνουν μόνωση που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας του φορτίου. Οι δεξαμενές αυτές χρησιμοποιούνται για υγροποιημένα αέρια με πίεση ατμών μικρότερη από 0,25 bar. Υπάρχουν δύο τύποι δεξαμενών με εσωτερική μόνωση:

- Οι **δεξαμενές τύπου 1** (type 1 tanks), στις οποίες η εσωτερική πλευρά της μόνωσης έρχεται σε επαφή με το φορτίο.
- Οι **δεξαμενές τύπου 2** (type 2 tanks), στις οποίες η εσωτερική πλευρά της μόνωσης διαχωρίζεται από το φορτίο από μία στρώση αδιαπέραστου υλικού. Στην περίπτωση αυτή η μόνωση αποτελεί το **πρωτεύον φράγμα** (primary barrier) και το αδιαπέραστο υλικό είναι το **δευτερεύον φράγμα** του φορτίου (secondary barrier). Η απαίτηση που υπάρχει για τα δύο φράγματα είναι να μπορούν να συγκρατήσουν τυχόν διαρροή του φορτίου για τουλάχιστον 15 ημέρες.

Παρακάτω περιγράφονται οι τύποι πλοίων μεταφοράς LNG και LPG. Στα πλοία μεταφοράς LNG δίνεται μεγαλύτερη έμφαση, δεδομένου ότι αποτελούν ένα νέο είδος πλοίων, το οποίο έχει εμφανιστεί δυναμικά και έχει προστεθεί στα πλοία ελληνικών συμφερόντων. Οι μεταφορές με πλοία LNG αναμένεται να αυξηθούν, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας και των φιλικών ιδιοτήτων του LNG προς το περιβάλλον.

11.6.2 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

Το φυσικό αέριο είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων, το οποίο είναι ορυκτό καύσιμο και εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με αυτόν του πετρελαίου. Μεταφέρεται στην ξηρά προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας. Η μεταφορά του στην ξηρά

πραγματοποιείται με αγωγούς στους οποίους βρίσκεται σε αέρια μορφή υπό υψηλή πίεση. Σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία. Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση μ' αυτήν άλλων καυσίμων όπως ο γαιάνθρακας ή το πετρέλαιο, έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον, διότι παράγονται μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Λόγω της ιδιότητάς του αυτής, το φυσικό αέριο θεωρείται οικολογικό καύσιμο και η ζήτησή του αναμένεται να αυξηθεί στα επόμενα χρόνια.

Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σ' αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, ήλιο και θειικό οξύ. Η χημική σύσταση του φυσικού αερίου, κατά μέσο όρο, παρουσιάζεται στον πίνακα 11.6. Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59. Είναι άχρωμο και άοσμο, ενώ για να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές, του δίνεται τεχνητά μια χαρακτηριστική οσμή ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές.

Το φυσικό αέριο σε πίεση μιας ατμόσφαιρας, υγροποιείται στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Σ' αυτήν τη θερμοκρασία μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για το σκοπό αυτό. Σε υγρή μορφή, η πυκνότητα του φυσικού αερίου είναι περίπου 550 kg/m^3 ενώ 1 m^3 υγρού, αντιστοιχεί σε 600 m^3 αερίου ατμοσφαιρικής πίεσης.

Ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, στις οποίες μεταφέρεται το φυσικό αέριο υπάρχουν οι εξής κατηγορίες πλοίων LNG:

α) **Πλοία με δεξαμενές μεμβράνης**. Στα πλοία αυτά το LNG μεταφέρεται σε πίεση μιας ατμόσφαιρας υπό πλήρη ψύξη, δηλαδή στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα πλοία μεμβράνες αποτελούν το 68% των πλοίων μεταφοράς LNG (σχ. 11.6α). Οι μεμβράνες των πλοίων αυτών που είναι το πρωτεύον και το δευτερεύον

Πίνακας 11.6
Χημική σύσταση φυσικού αερίου.

Συστατικά	% κατά όγκο
Μεθάνιο (CH_4)	70–90
Αιθάνιο (C_2H_6)	5–15
Προπάνιο (C_3H_8) και βουτάνιο (C_4H_{10})	< 5
CO_2 , N_2 , H_2S κ.λπ.	μικρότερες ποσότητες

φράγμα, είναι κατασκευασμένες από ένα νικελιούχο κράμα χάλυβα (Ni: 36%, C: 0,04%, Fe: 63,5%), που ονομάζεται INVVAR, το οποίο έχει μικρή θερμική διαστολή. Στο σχήμα 11.6β φαίνεται η τομή ενός πλοίου μεταφοράς LNG με δεξαμενές μεμβράνης. Υπάρχουν δύο διαδοχικά στρώματα από INVVAR και μόνωση, τα οποία στηρίζονται στη γάστρα του πλοίου. Εσωτερικά, οι δεξαμενές μεμβράνης εικονίζονται στο σχήμα 11.6γ. Πλευρικά των δεξαμενών φορτίου υπάρχουν δεξαμενές έρματος και κενοί χώροι, οι οποίοι ψύχονται και διατηρούνται σε υψηλή πίεση με άζωτο, ώστε να μην εισχωρεί σε αυτούς αέριο σε περίπτωση διαρροής. Οι σωληνώσεις για το χειρισμό του φορτίου είναι συγκεντρωμένες στο κέντρο της δεξαμενής, όπου κατεβαίνουν από το κατάστρωμα προς τον πυθμένα.

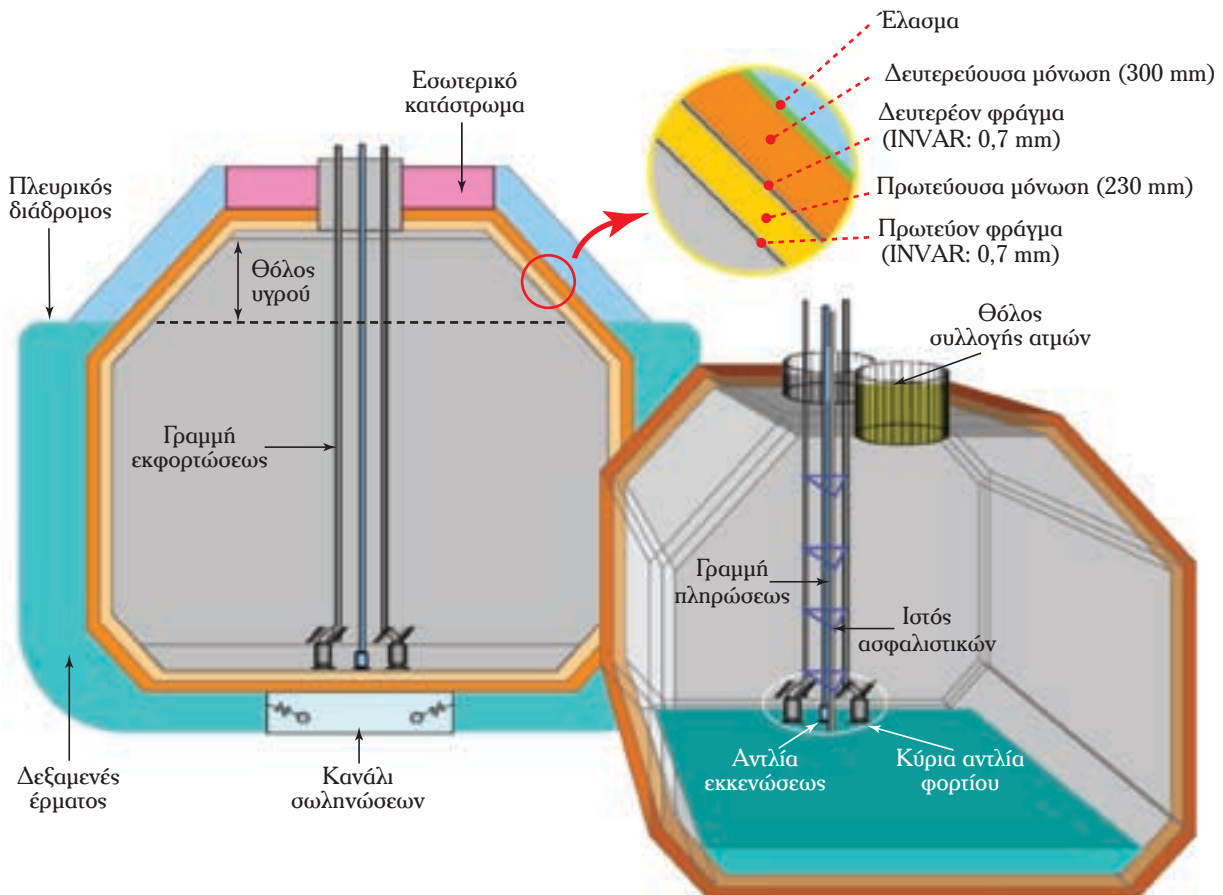
β) **Πλοία με σφαιρικές και πρισματικές δεξαμενές τύπου «B».** Οι δεξαμενές αυτές είναι δοχεία πίεσης και στα πλοία αυτά το LNG μεταφέρεται υπό πίεση και μερική ψύξη. Τα περισσότερα πλοία αυτής της κατηγορίας έχουν σφαιρικές δεξαμενές



Σχ. 11.6α.

Πλοίο μεταφοράς LNG με δεξαμενές μεμβράνης.

(σχ. 11.6δ), ενώ τα λιγότερα πρισματικές. Στο σχήμα 11.6ε φαίνεται μια τομή ενός πλοίου με ανεξάρτητες σφαιρικές δεξαμενές, οι οποίες αντέχουν σε πίεση της τάξεως των 18 bar. Στον καθαρό άξονα της σφαίρας υπάρχει ένα πύργος που περιέχει τις σωληνώσεις και την αντλία φορτίου στο κάτω μέρος του. Εξαιτίας του σχεδιασμού τους, οι δεξαμενές τους είναι βαρύτερες από τις δεξαμενές μεμβράνης, οπότε μπορούν να μεταφέρουν λιγότερο φορτίο.



Σχ. 11.6β.

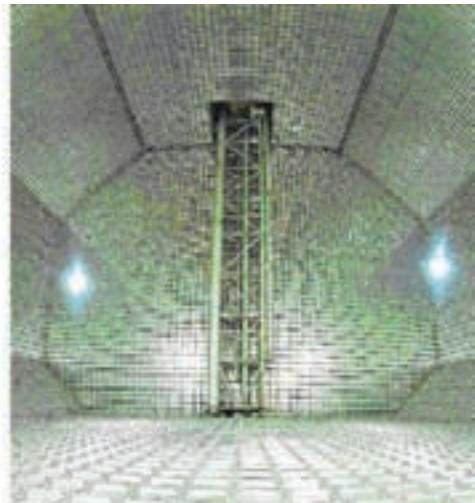
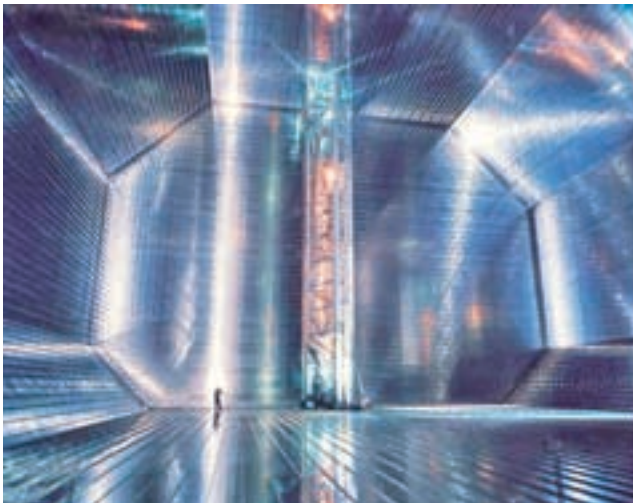
Τομή πλοίου μεταφοράς LNG με δεξαμενές μεμβράνης.

Επίσης στο παρελθόν, έχουν χρησιμοποιηθεί δεξαμενές τύπου «Α» και τύπου «C». Τα πλοία με δεξαμενές τύπου «Α» ναυπηγήθηκαν τη δεκαετία του '60 και του '70, αλλά σήμερα χρησιμοποιούνται μόνο στα πλοία LPG. Αυτό γίνεται διότι στα πλοία μεταφοράς LNG απαιτείται η ύπαρξη δευτερεύοντος φράγματος, το οποίο αυξάνει το κόστος. Τα πλοία με δεξαμενές τύπου «C» έχουν μικρή χωρητικότητα, δεδομένου ότι οι δεξαμενές αυτές είναι δοχεία πύεσης, οπότε το μέγεθός τους πρέπει να είναι μικρό.

- Μηχανήματα και δίκτυο φορτίου - Χειρισμοί φορτίου.

Το φυσικό αέριο (LNG) φορτώνεται στο πλοίο σε υγρή μορφή και αποθηκεύεται στις δεξαμενές. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, λόγω της μονώσε-

ως των δεξαμενών, η ατμοποίηση του φορτίου είναι αργή, ενώ μέσω της ατμοποίησης παρέχεται η απαραίτητη ψύξη για το υπόλοιπο φορτίο. Οι ατμοί του φορτίου οδηγούνται σε έναν λέβητα που παράγει ατμό για την πρόωση. Ο παραγόμενος ατμός κινεί ένα ατμοστρόβιλο σε μια τυπική εγκατάσταση ατμού. Όταν η εξάτμιση του φορτίου δεν επαρκεί για την κίνηση του πλοίου, αυτή επιταχύνεται με τη θέρμανση των δεξαμενών φορτίου με ατμό (forced vaporization). Συνήθως οι δεξαμενές φορτίου είναι πάντα γεμάτες κατά ένα μέρος (περίπου 10%), ώστε να υπάρχει φυσικό αέριο για την κίνηση του πλοίου και να διατηρούνται συνεχώς σε αδρανή ατμόσφαιρα και χαμηλή θερμοκρασία. Το φυσικό αέριο που ατμοποιείται συλλέγεται σ' έναν **θόλο** (vapor dome)



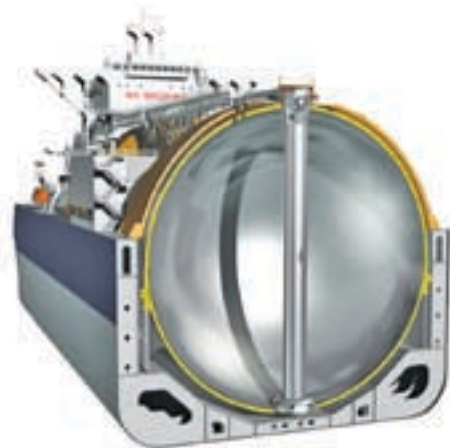
Σχ. 11.6γ.

Φωτογραφίες κυτών πλοίων μεταφοράς LNG με δεξαμενές μεμβράνης.



Σχ. 11.6δ.

Πλοίο μεταφοράς LNG με σφαιρικές δεξαμενές τύπου «B».



Σχ. 11.6ε.

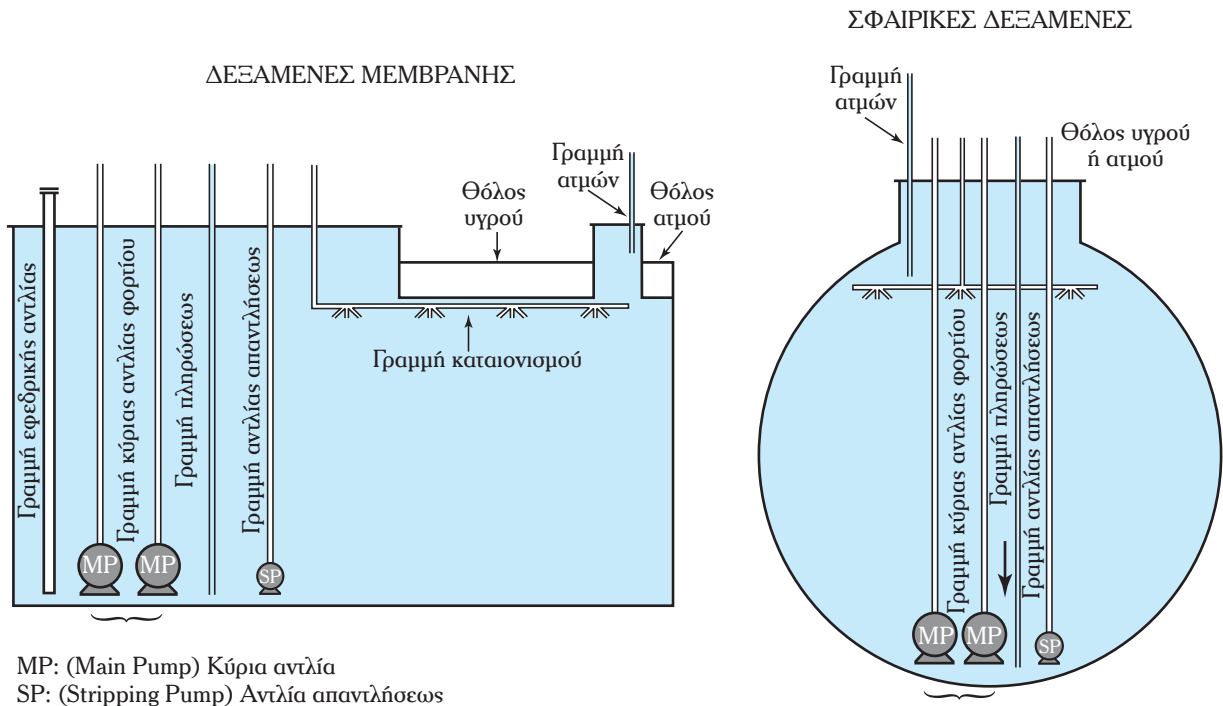
Τομή πλοίου μεταφοράς LNG με σφαιρικές δεξαμενές τύπου «B».

που βρίσκεται στην πάνω πλευρά, προκειμένου να οδηγηθεί στο λέβητα προώσεως. Στον αγωγό συλλογής ατμών συνδέονται και τα ασφαλιστικά επιστόμια, από τα οποία οι ατμοί των φυσικού αερίου απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, και τα οποία ανοίγουν σε υπερπίεση 250 mbar και σε πίεση κενού -10 mbar. Η διαφυγή των ατμών γίνεται από έναν ιστό, όταν αυξηθεί ο ρυθμός ατμοποίησης, προκειμένου να μην αυξηθεί η πίεση και υπάρξει ρήγμα στη δεξαμενή.

Η φόρτωση του LNG πραγματοποιείται από δύο συνδέσμους που υπάρχουν δεξιά και αριστερά του πλοίου, με αντλίες που βρίσκονται στην ξηρά. Οι σωλήνες φορτίου που βρίσκονται στο κατάστρωμα, καθώς και οι μάνικες φορτώσεως έχουν ισχυρή κατασκευή και χοντρή μόνωση, ώστε να αποφεύγεται η θέρμανση και η ατμοποίηση του φορτίου. Από τους συνδέσμους του καταστρώματος το φορτίο μοιράζεται στα κύπη (συνήθως τέσσερα) μέσω της **γραμμής πληρώσεως** (filling line). Κατά τη διάρκεια της φορτώσεως, οι ατμοί του φυσικού αερίου που δημιουργούνται, επιστρέφονται στην εγκατάσταση της ξηράς όπου επανυγροποιούνται. Η γραμμή πληρώσεως χρησιμοποιείται για την αδρανοποίηση της δεξαμενής και για τον καθαρισμό της από τον ατμοσφαιρικό αέρα με αδρανές αέριο ή άζωτο. Η εκφόρτωση γίνεται με μια **κύρια αντλία φορτίου**

(main cargo pump), η οποία είναι ηλεκτροκίνητη και βρίσκεται βυθισμένη στον πυθμένα κάθε δεξαμενής. Συνήθως για λόγους ασφαλείας, υπάρχει και δεύτερη αντλία φορτίου με χωριστή γραμμή καταθλίψεως. Επί πλέον, σε περίπτωση βλάβης ή παγοφραγμού και των δύο αντλιών φορτίου, η εκφόρτωση μπορεί να γίνει από μια **εφεδρική γραμμή** (emergency pump pipe), με εξωτερική αντλία, η οποία τοποθετείται στο κατάστρωμα.

Εκτός από τις γραμμές υγρού και αερίου φυσικού αερίου, σε κάθε δεξαμενή υπάρχει μια **αντλία απαντλήσεως** (stripping pump), η οποία καταθλίβει σε μια **γραμμή πλήρους εκκενώσεως** (stripping line). Αυτή χρησιμοποιείται σε περίπτωση πλήρους απαντλήσεως για να μην υπάρχει πιθανότητα λειτουργίας της κύριας αντλίας φορτίου με αέριο. Επίσης, υπάρχει μια **γραμμή καταιονισμού υγρού** (spray line), η οποία χρησιμοποιείται για την ψύξη των δεξαμενών όταν είναι άδειες, πριν τη φόρτωση του LNG. Για τον καταιονισμό των δεξαμενών μπορεί να χρησιμοποιηθεί LNG από την εγκατάσταση ξηράς, ή από τη δεξαμενή φορτίου μέσω της αντλίας απαντλήσεως. Μια σχηματική διάταξη του δικτύου φορτίου ενός πλοίου μεταφοράς LNG με δεξαμενές μεμβράνης και με σφαιρικές δεξαμενές φαίνεται στο σχήμα 11.6στ.



Σχ 11.6στ.

Σχηματική διάταξη δικτύου φορτίου πλοίου LNG: (α) Με δεξαμενές μεμβράνης και (β) Με σφαιρικές δεξαμενές.

Όταν μια δεξαμενή περιέχει υγρό ατμοσφαιρικό αέρα και βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προκειμένου να φορτωθεί με LNG ακολουθούνται τυποποιημένες διαδικασίες που προβλέπονται στο εγχειρίδιο χειρισμών φορτίου του πλοίου.

Οι διαδικασίες αυτές έχουν ως σκοπό αφενός την απομάκρυνση της υγρασίας, προκειμένου να μην υπάρχει παγοφραγμός και αφετέρου τη δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας και τη σταδιακή ελάττωση της θερμοκρασίας της δεξαμενής, ώστε να μην υπάρχουν θερμικές καταπονήσεις στις μεμβράνες. Όλοι οι χειρισμοί γίνονται με το δίκτυο φορτίου και ελέγχονται από έναν κεντρικό πίνακα απ' όπου παρακολουθούνται οι θερμοκρασίες σε διάφορα σημεία των δεξαμενών και δίνονται οι εντολές τηλεχειρισμού των επιστομιών.

Για το χειρισμό των ατμών του φορτίου, του αδρανούς αερίου και του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα, το πλοίο διαθέτει **συμπιεστές φορτίου** (cargo compressors), οι οποίοι είναι φυγοκεντρικού τύπου και ανάλογα με την παροχή μπορεί να χωρίζονται σε **μεγάλης παροχής** (heavy duty) και **μικρής παροχής** (low duty).

Οι συμπιεστές υπάρχουν σε ζεύγη για μεγαλύτερη παροχή και αξιοπιστία και βρίσκονται σε ειδικό χώρο στο κατάστρωμα. Στον ίδιο χώρο βρίσκονται οι εναλλάκτες ατμοποίησης του LNG για πρόωση και οι θερμαντήρες των ατμών.

Σε γενικές γραμμές οι διαδικασίες χειρισμού φορτίου που ακολουθούνται για την αδρανοποίηση, ψύξη και φόρτωση μιας δεξαμενής, είναι οι εξής:

α) **Αφύγρυνση** (drying), η οποία γίνεται με συνεχή ανακυκλοφορία του αέρα της δεξαμενής σε έναν εναλλάκτη που είναι ο ατμοποιητής μιας ψυκτικής εγκατάστασης, όπου συμπυκνώνεται η υγρασία [σχ. 11.6ζ(α)].

β) **Αδρανοποίηση** (inerting), η οποία γίνεται με πλήρωση με άζωτο ή ξηρό αδρανές αέριο, το οποίο παράγεται απ' την καύση ελαφρού πετρελαίου και την αφύγρυνση των καυσαερίων [σχ. 11.6ζ(β)].

γ) **Εκκένωση-πλήρωση με αέριο** (purging), που επιτυγχάνεται με πλήρωση φυσικού αερίου, το οποίο εκτοπίζει το αδρανές αέριο. Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο, αυτό εισέρχεται από την πάνω πλευρά της δεξαμενής και το αδρανές εκδιώχνεται από την κάτω πλευρά [σχ. 11.6η(α)].

δ) **Ψύξη** (cooling down) της δεξαμενής, που γίνεται με καταιονισμό υγρού φυσικού αερίου (σχ. 11.6η(β)).

ε) **Φόρτωση** (loading) από τη γραμμή υγρού.

στ) **Εμφορτο ταξίδι** [σχ. 11.6θ(α)], οπότε οι ατμοί οδηγούνται στο λέβητα προώσεως.

ζ) **Εκφόρτωση** [σχ. 11.6θ(β)], με ταυτόχρονη υγροποίηση των ατμών στην ξηρά.

Για την αύξηση της ωφέλιμης χωρητικότητας των δεξαμενών LNG, σε νέα πλοία τοποθετείται εγκατάσταση υγροποίησης των ατμών που διαφεύγουν. Τα πλοία αυτά κινούνται με πετρέλαιο οπότε δεν χρειάζεται να μεταφέρουν μια ελάχιστη ποσότητα αερίου για δική τους πρόωση. Η αρχή λειτουργίας μιας εγκατάστασης επανυγροποίησης φυσικού αερίου περιγράφεται στο Παράρτημα Π.6.Β.1.

- **Τυπικό πλοίο LNG.**

Ένα τυπικό πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου με δεξαμενές μεμβράνης δίνονται στο σχήμα 11.6ι.

Το δίκτυο φορτίου του πλοίου φαίνεται στο σχήμα 11.6ια.

11.6.3 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων παραγώγων πετρελαίου (LPG).

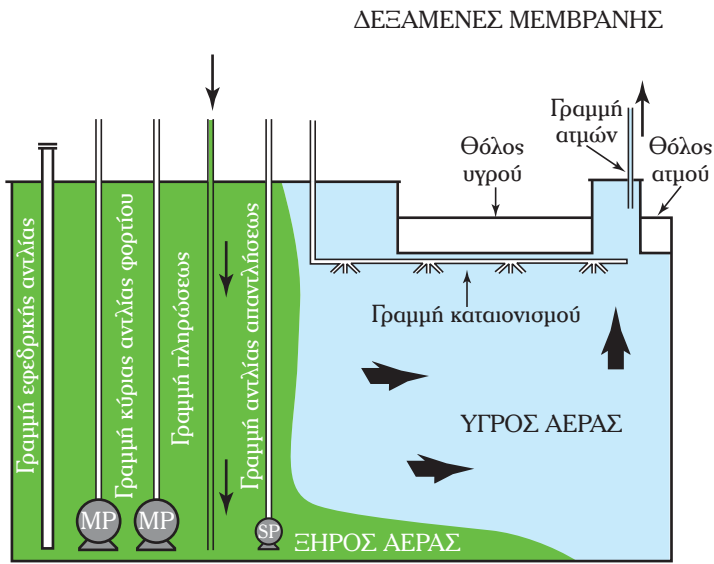
Τα αέρια παράγωγα του πετρελαίου παράγονται με την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Στην υγρή τους μορφή τα αέρια αυτά ονομάζονται **υγροποιημένα αέρια παραγώγων πετρελαίου** (Liquefied Petroleum Gases—LPG) και μεταφέρονται με ειδικά πλοία. Το LPG είναι μείγμα υδρογονανθράκων, το οποίο σε κανονικές συνθήκες είναι αέριο. Για να διατηρηθεί σε υγρή μορφή πρέπει να βρίσκεται σε συνθήκες πίεσης ή ψύξεως ή σε συνδυασμό των δύο.

Τα αέρια παραγώγων πετρελαίου είναι μείγματα που δεν έχουν σταθερή σύσταση. Τα συστατικά του μείγματος είναι το προπάνιο και το βουτάνιο σε αναλογίες 60% και 40% αντίστοιχα, ενώ σε μικρότερες υπάρχουν το προπυλένιο και το βουτυλένιο. Για την ανίχνευση υπέρξεως LPG με οσμές προστίθεται αιθανεθύλη ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$), η οποία προσδίδει ισχυρή οσμή στο μείγμα.

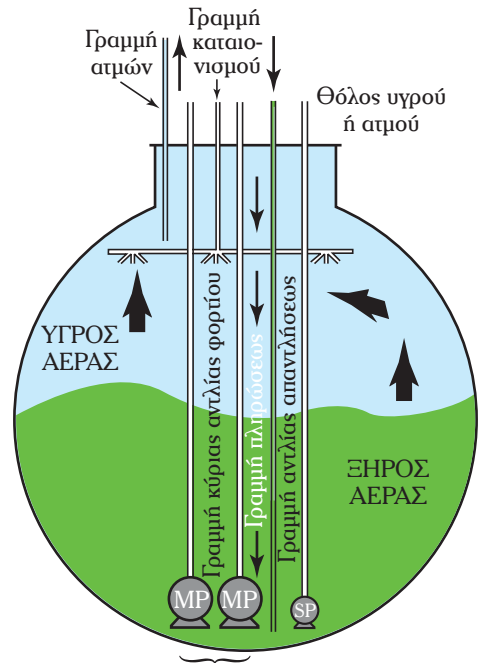
Λόγω του ότι η σύνθεση του LPG μπορεί να ποικίλλει, οι φυσικές ιδιότητες του μείγματος μεταβάλλονται, οπότε αντίστοιχα μεταβάλλονται οι απαιτήσεις από τα πλοία μεταφοράς.

Τα πλοία μεταφοράς LNG και LPG, ανήκουν στην ίδια κατηγορία μεταφοράς υγροποιημένων υδρογονανθράκων, έχουν όμως μερικές σημαντικές διαφορές:

ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ

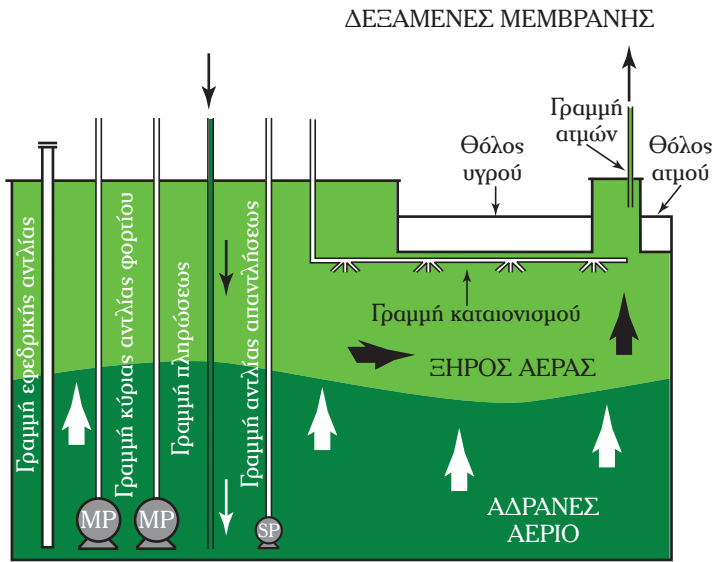


ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

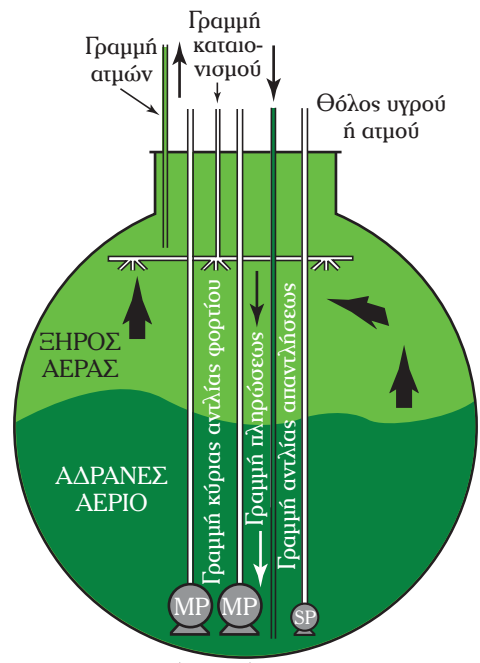


(α)

ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ



ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

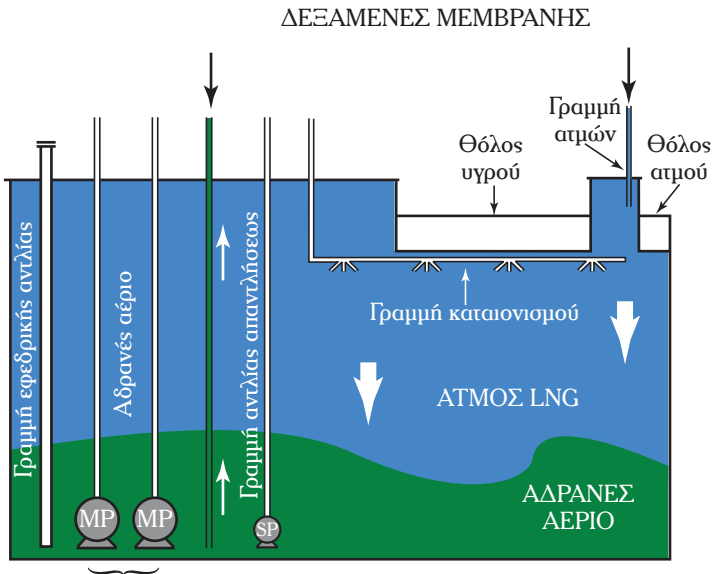


(β)

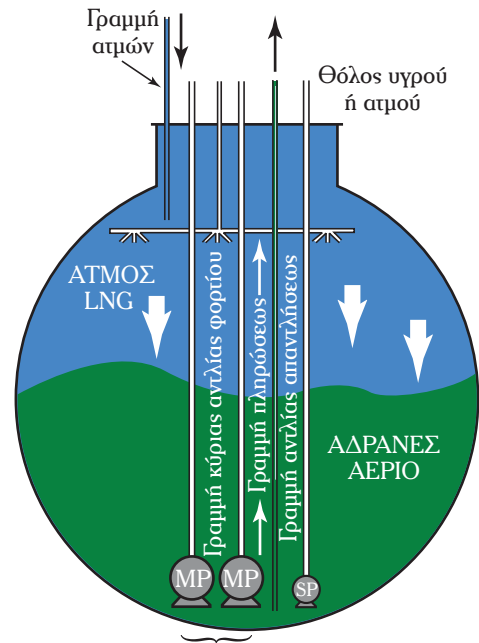
Σχ. 11.6ζ.

Χειρισμοί φορτίου σε δεξαμενόπλοιο υγροποιημένου φυσικού αερίου:
 (α) Αφύγρανση, (β) αδρανοποίηση.

ΕΚΚΕΝΩΣΗ
(Πλήρωση με αέριο)

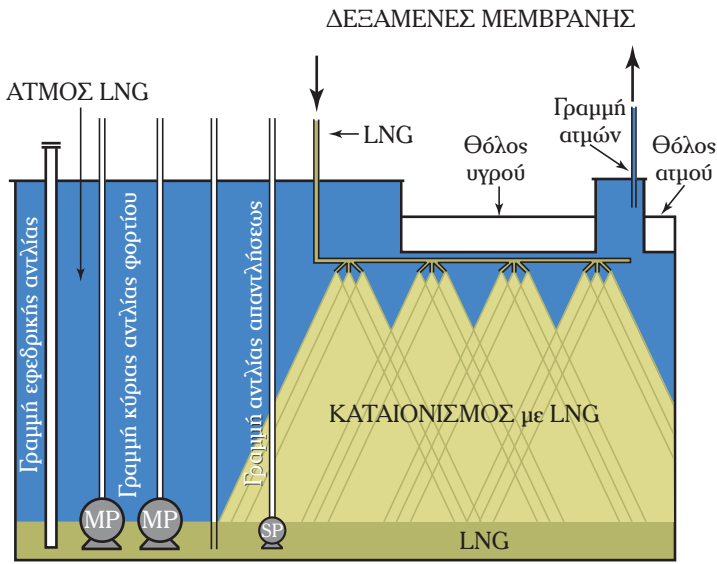


ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

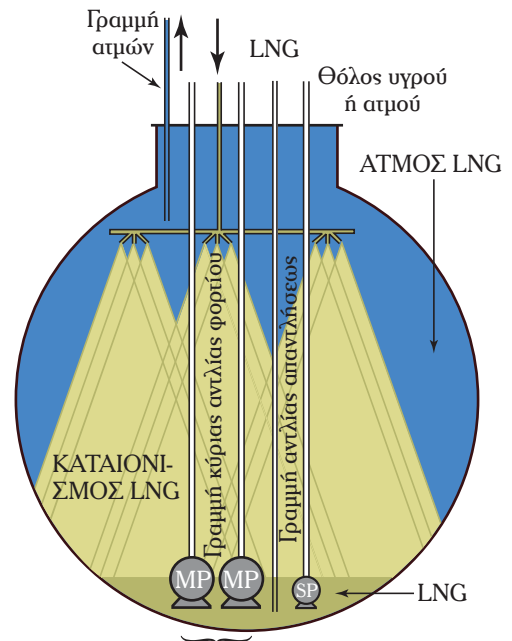


(α)

ΨΥΞΗ



ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

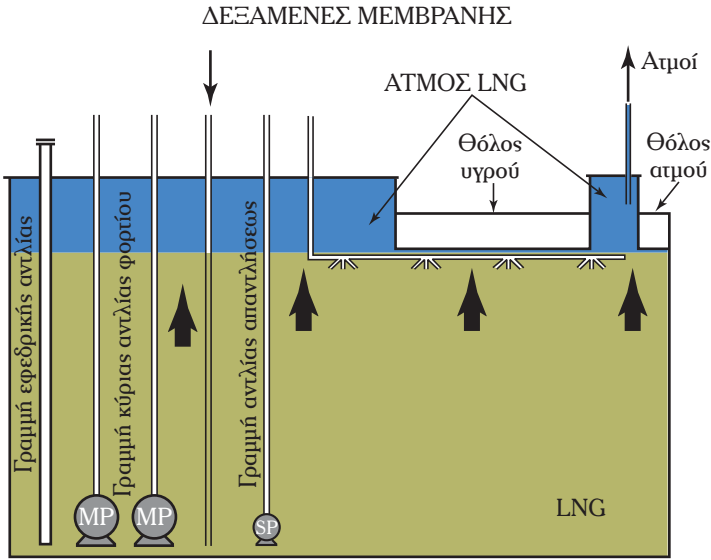


(β)

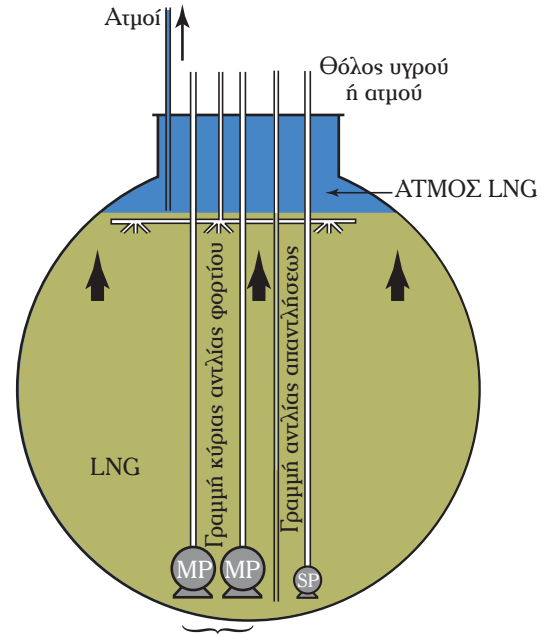
Σχ. 11.6n.

Χειρισμοί φορτίου σε δεξαμενόπλοιο υγροποιημένου φυσικού αερίου:
(α) Εκκένωση και (β) ψύξη.

ΕΜΦΟΡΤΟ ΤΑΞΙΔΙ

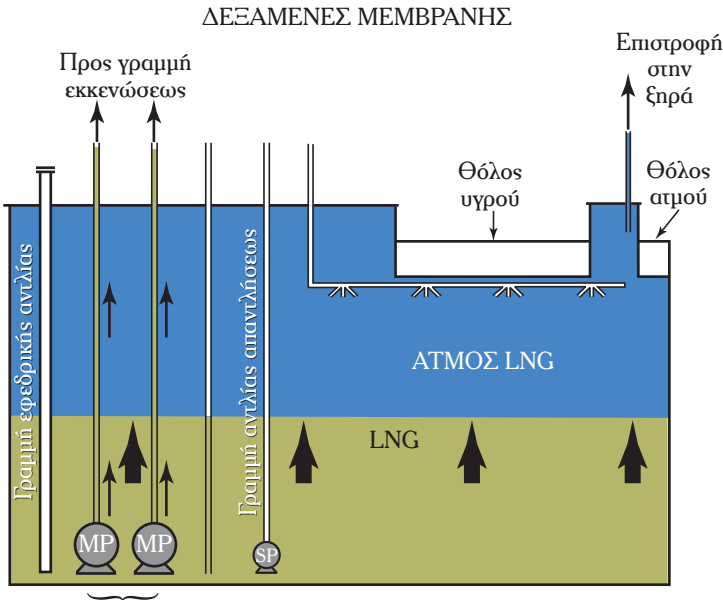


ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

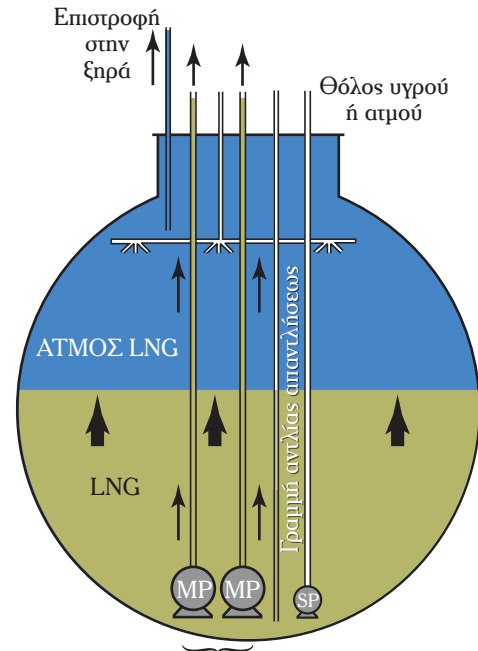


(α)

ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ



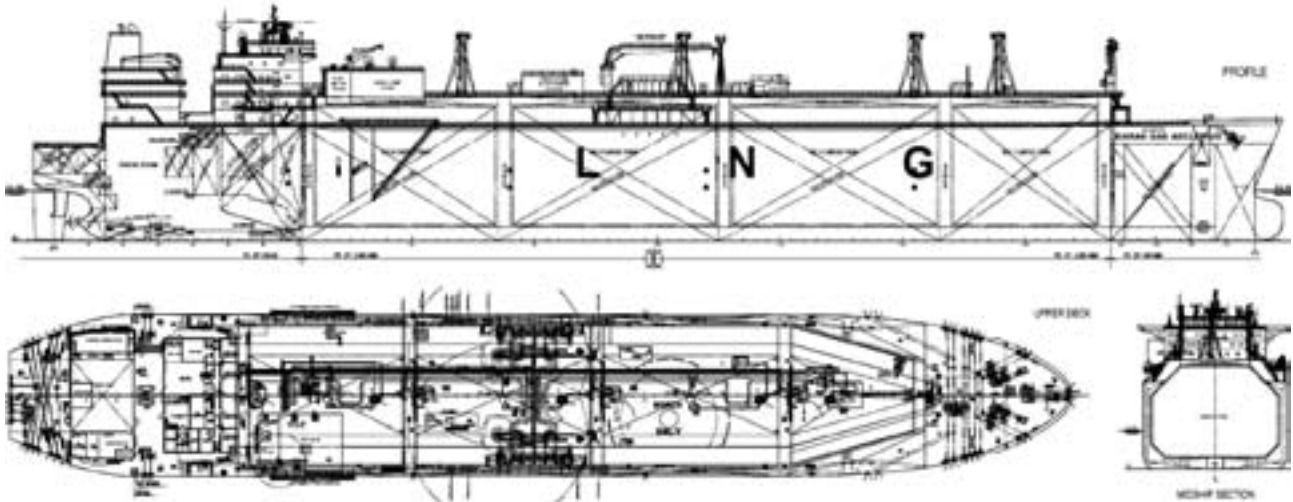
ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ



(β)

Σχ. 11.60.

Χειρισμοί φορτίου σε δεξαμενόπλοιο υγροποιημένου φυσικού αερίου:
(α) Έμφορτο ταξίδι και (β) εκφόρτιση.



Σχ. 11.6i.

Σχέδιο γενικής διατάξεως πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

α) Τα πλοία μεταφοράς LNG είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν ένα είδος φορτίου, ενώ τα LPG μπορούν να μεταφέρουν εύρος από υγροποιημένα αέρια, τα οποία μπορεί να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετική επικινδυνότητα.

β) Ενώ το LNG μεταφέρεται πάντα υπό ψύξη, το LPG μπορεί να μεταφέρεται υπό ψύξη ή υπό αυξημένη πίεση ή σε συνδυασμό συνθηκών υπερπίεσης και ψύξεως.

γ) Τα πλοία μεταφοράς LNG είναι μεγαλύτερα και έχουν μεταφορική ικανότητα από 125.000 m³ έως 200.000 m³. Αντίθετα, τα πλοία μεταφοράς LPG είναι σημαντικά μικρότερα και συνήθως η μεταφορική τους ικανότητα κυμαίνεται από 1500 m³ – 2000 m³, ενώ μπορεί να φτάνει έως τα 100.000 m³.

Υπάρχουν τρεις τύποι πλοίων μεταφοράς LPG:

α) **Πλοία υπερπίεσεως** (fully pressurized ships), τα οποία έχουν δεξαμενές ειδικά σχεδιασμένες για πίεση ατμοποίησης της τάξεως των 18 bar. Είναι τα πιο απλά από τα πλοία μεταφοράς αερίων και μπορούν να μεταφέρουν φορτία LPG και αμμωνίας, που έχουν πίεση ατμοποίησης μικρότερη από 19,03 bar στους 45 °C. Δεν μπορούν να μεταφέρουν μεθάνιο, αιθάνιο και αιθυλένιο. Εξαιτίας του σχεδιασμού τους, οι δεξαμενές τους είναι πολύ βαριές και έτσι τα πλοία υπερπίεσεως έχουν μέγιστη χωρητικότητα των 4000–6000 m³.

β) **Πλοία ημιπίεσεως** και **ψύξεως** (semi-pressurized and fully refrigerated), με τα οποία είναι δυνατή η μεταφορά της ευρύτερης ποικιλίας αερίων, όπως LPG, προπυλένιο και βουταδιένιο. Οι δεξαμενές τους είναι τύπου C με τη μόνωση τοποθετημένη

εξωτερικά. Έχουν σωληνώσεις και αντλίες φορτίου, με τις οποίες μπορούν να φορτώνουν και να ξεφορτώνουν σε εγκαταστάσεις ξηράς, στις οποίες το αέριο βρίσκεται υπό πίεση ή υπό πλήρη ψύξη.

γ) **Πλοία ψύξεως** (fully refrigerated), στα οποία το φορτίο διατηρείται σε υγρή μορφή σε κατάσταση ψύξεως και σε πίεση περίπου ίση με την ατμοσφαιρική. Είναι σχεδιασμένα έτσι, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν LPG και αμμωνία, οι δεξαμενές τους είναι από χάλυβα που αντέχει σε χαμηλές θερμοκρασίες και είναι μονωμένες. Το φορτίο διατηρείται στους –45 °C και η μεταφορική τους ικανότητα είναι από 10.000 m³ έως 100.000 m³.

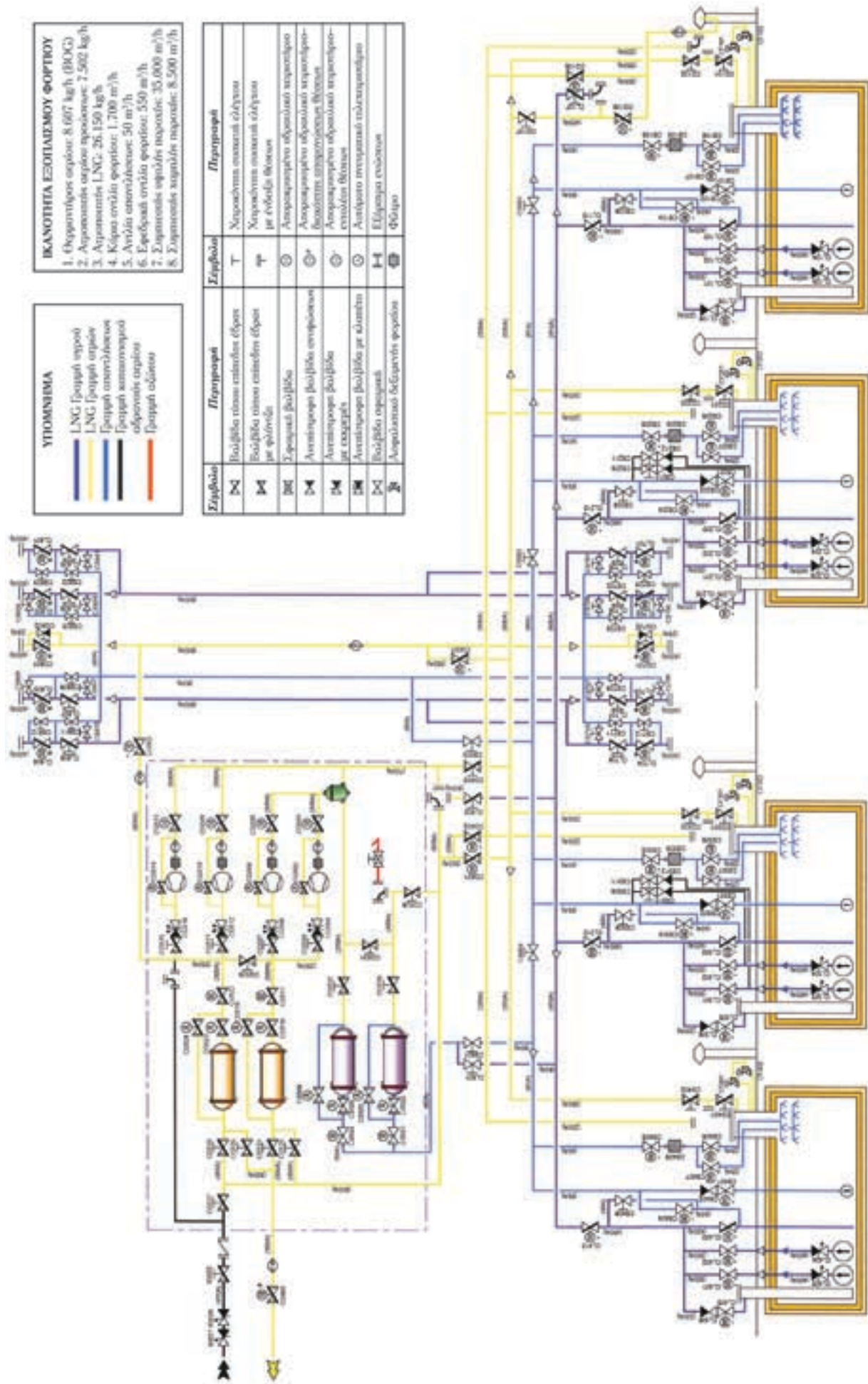
Η ψύξη του φορτίου ενός πλοίου μεταφοράς LPG γίνεται με δύο τρόπους:

α) Με **ψύξη σε εναλλάκτη**, ο οποίος είναι ο ατμοποιητής μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως με R-22 ή υποκατάστατό του και

β) με **τη μερική ατμοποίηση του φορτίου**. Στην περίπτωση αυτή, το φορτίο που μεταφέρεται χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο. Οι ατμοί συλλέγονται από τις δεξαμενές φορτίου, συμπιέζονται, συμπυκνώνονται και εισάγονται εκ νέου στις δεξαμενές. Μία τέτοια εγκατάσταση εικονίζεται στο σχήμα 11.6ιβ.

11.7 Ψυκτικές εγκαταστάσεις αλιευτικών πλοίων.

Τα αλιεύματα είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και έχουν μεγάλα ποσά υγρασίας. Οι παράγοντες αυτοί επιταχύνουν την αλλοίωσή τους και έτσι είναι ανα-



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

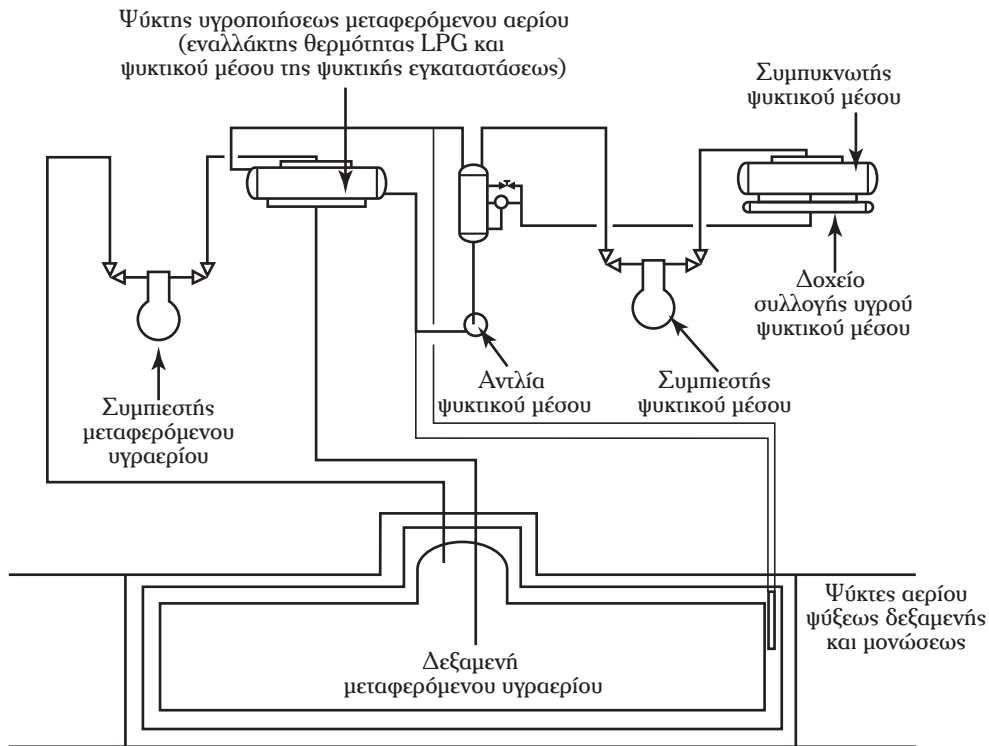
- LNG (Γραμμή υγρού)
- LNG (Γραμμή αερίων)
- Γραμμή αναρρόφησης
- Γραμμή καταστολής αερίων
- Γραμμή αέριου

ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

1. Ολοκληρωθείς αερίου: 8.667 kg/h (BDC)
2. Απορρυπαντής αερίου αραιώσεως: 7.502 kg/h
3. Απορρυπαντής LNG: 26.150 kg/h
4. Κάβα αντίλη φορτίου: 1.700 m³/h
5. Αντίλη απορρυπαντή: 50 m³/h
6. Επεξεργαστή αντίλη φορτίου: 550 m³/h
7. Συστήματα υφώδης παροχής: 35.000 m³/h
8. Συστήματα κυρτών παροχής: 8.500 m³/h

Συμβολή	Περιγραφή	Συμβολή	Περιγραφή
X	Βαλβίδα τάντα εισόδου εδάφους	T	Χημικότα εισαγωγή εδάφους
X	Βαλβίδα τάντα εισόδου εδάφους με φλόγα	W	Χημικότα εισαγωγή εδάφους με ένοδη θύρα
X	Συμμετρική βαλβίδα	⊙	Απορρυπαντή αερίου
X	Αντιρροπική βαλβίδα αναρρόφησης	⊕	Απορρυπαντή αερίου
X	Αντιρροπική βαλβίδα με καταρτή	⊖	Απορρυπαντή αερίου
X	Βαλβίδα παροχής με κλάσμα	⊗	Αντίλη αναρροπική
X	Βαλβίδα παροχής	⊘	Είδημα εισόδου
X	Απορρυπαντή εδάφους φορτίου	⊙	Φύλο

Σχ. 11.6α.
Δίκτυο φορτίου πλοίου LNG.



Σχ. 11.6ιβ.

Ψυκτική εγκατάσταση επανυγροποίησης LPG σε πλοίο υπερψύξεως.

γκαία η ψύξη τους εν πλω. Η ψύξη των αλιευμάτων σε μικρά σκάφη γίνεται με τη στοιβασία τους σε στρώματα, στα οποία ενδιάμεσα τοποθετείται πάγος νερού. Σε μεγάλα αλιευτικά σκάφη, τα ψάρια καταψύχονται γρήγορα και μετά διατηρούνται σε θερμοκρασία καταψύξεως. Μ' αυτόν τον τρόπο επιμηκύνεται η περίοδος αποθηκείωσης. Ο ρυθμός της αλλοίωσης των ψαριών εκτός από τη θερμοκρασία εξαρτάται από το περιεχόμενο λίπους και επιταχύνεται όταν αυτά περιέχουν μεγάλη ποσότητα λίπους.

Η κατάψυξη των ψαριών πρέπει να γίνεται σύντομα, διότι έτσι αποφεύγεται η δημιουργία κρυστάλλων στα κύτταρά τους. Αυτοί σχηματίζονται από 0 °C μέχρι τη θερμοκρασία των -7 °C, οπότε τα αλιεύματα πρέπει να ψύχονται σε όλη τους τη μάζα, πολύ σύντομα, κάτω από τους -7 °C. Επίσης, με την ταχεία κατάψυξη αποφεύγεται η ξήρασή τους και η αλλοίωση της υφής και του βάρους τους.

Η κατάψυξη των αλιευμάτων πραγματοποιείται με τις εξής μεθόδους:

α) **Εμβάπτιση σε άλμη.** Το πλοίο είναι εφοδιασμένο με μία ψυκτική εγκατάσταση, η οποία ψύχει άλμη από θαλασσινό νερό και αλάτι. Η ψυχρή άλμη έχει θερμοκρασία -20 °C και βρίσκεται σε μία δεξαμενή, μέσα στην οποία ρίχνονται τα ψάρια.

β) **Ψεκασμός με άλμη.** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για μικρές ποσότητες αλιευμάτων, της τάξεως των 2 τόνων ανά ημέρα. Τα ψάρια τοποθετούνται σ' ένα δίσκο, πάνω από τον οποίο ψεκάζεται ψυχρή άλμη, με τη βοήθεια μιας αντλίας. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μια τέτοια εγκατάσταση έχει μικρότερες διαστάσεις, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρότερα πλοία.

γ) **Ψύξη με ρεύμα ψυχρού αέρα.** Η ψυκτική εγκατάσταση ψύχει τον αέρα, ο οποίος κυκλοφορεί με τη βοήθεια ενός ισχυρού ανεμιστήρα σ' ένα τούνελ. Στο τούνελ αυτό βρίσκεται μια μεταφορική ταινία, πάνω στην οποία φορτώνονται τα ψάρια. Τα ψάρια εξέρχονται σε θερμοκρασία -20 °C, αφού η ταινία κάνει όλη τη διαδρομή από τη θέση φορτώσεως στη θέση εκφορτώσεως. Εναλλακτικά για μεγάλα είδη ψαριών (π.χ. τόνοι), τα ψάρια αναρτώνται σε γάντζους που μεταφέρονται μέσα στο τούνελ. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αυτής είναι ότι τα ψάρια διατηρούν το αρχικό τους σχήμα και δεν απαιτείται παρακολούθηση της πυκνότητας της άλμης. Το μειονέκτημά της είναι ότι η εγκατάσταση καταλαμβάνει αυξημένο χώρο και η κατάψυξη είναι αργή, διότι το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι ο αέρας. Για τη μείωση του χρόνου καταψύξεως απαι-

τείται η μείωση της θερμοκρασίας του ψυχρού αέρα στους $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η αύξηση της ταχύτητας κυκλοφορίας του σε $6\text{--}8\text{ m/s}$, πράγμα που προκαλεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

δ) **Ψύξη με επαφή σε ψυχρές πλάκες.** Τα ψάρια καταψύχονται καθώς έρχονται σε επαφή με ψυχρές χαλύβδινες ή αλουμιένιες πλάκες, εσωτερικά των οποίων ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως. Υπάρχουν μηχανές καταψύξεως με οριζόντιες και κατακόρυφες πλάκες. Για την τοποθέτηση των ψαριών οι πλάκες ανοίγουν και το διάκενο ανάμεσά τους αυξάνεται. Τα ψάρια τοποθετούνται σε σάκους από πολυαιθυλένιο με πάχος 10 cm . Μετά τη φόρτωσή τους, οι πλάκες κλείνουν μ' έναν υδραυλικό μηχανισμό και παραμένουν κλειστές για προκαθορισμένο διάστημα. Η δυναμικότητα των πλακών εξαρτάται απ' το είδος των ψαριών, τη θερμοκρασία τους και το χρόνο ψύξεως. Για την ψύξη της μάζας των αλιευμάτων, ο χρόνος που απαιτείται είναι περίπου $3\frac{1}{2}\text{ h}$. Μία τέτοια ψυκτική μηχανή με οριζόντιες πλάκες, που εργάζεται με R-404A εικονίζεται στο σχήμα 11.7.

11.8 Ψυκτικοί αφυγραντήρες αέρα ελέγχου (control air refrigerated dehydrators).

Για τη λειτουργία του πνευματικού συστήματος ελέγχου ενός πλοίου, είναι σημαντικό ο αέρας ελέγχου (control air) να μην περιέχει υγρασία. Στην αντίθετη περίπτωση, η υγρασία συμπυκνώνεται στα κρύα σημεία του δικτύου του αέρα ελέγχου και συσσωρεύεται στα όργανα και στις πνευματικές βαλβίδες. Το αποτέλεσμα είναι ότι αυξάνεται η διάβρωση, δημιουργούνται αποφράξεις οργάνων, βλάβες και ανάγκη για συνεχή συντήρηση.

Η απομάκρυνση της υγρασίας από το δίκτυο του αέρα ελέγχου πραγματοποιείται με ψυκτικούς αφυγραντήρες. Αυτοί τοποθετούνται μετά τον αεροσυμπιεστή και το αεροφυλάκιο και περιλαμβάνουν μια μικρή ψυκτική μονάδα. Το εργαζόμενο μέσο είναι το R-134a ή το R-404A και ο ατμοποιητής της εγκαταστάσεως χρησιμοποιείται για την ψύξη του αέρα, με αποτέλεσμα η υγρασία να συμπυκνώνεται στα περύγιά του και να απομακρύνεται σε μορφή υγρού.

Ένας ψυκτικός αφυγραντήρας εικονίζεται στο σχήμα 11.8. Ο υγρός συμπιεσμένος αέρας εισέρχεται από το αεροφυλάκιο στη θέση (1) και ψύχεται σ' έναν εναλλάκτη θερμότητας από τον αέρα που εξέρχεται (2). Στη συνέχεια, εισέρχεται στον ατμο-

ποιητή (3) της ψυκτικής εγκαταστάσεως, όπου ψύχεται μέχρι τους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η περιεχόμενη υγρασία στη θερμοκρασία αυτή συμπυκνώνεται και διαχωρίζεται σε μορφή νερού σε μία υδατοπαγίδα (4). Από εκεί απομακρύνεται με μία βαλβίδα (5), η οποία ανοίγει αυτόματα όταν αυξηθεί η στάθμη. Κατόπιν, ο ψυχρός και ξηρός αέρας περνάει από τον εναλλάκτη (2) και οδηγείται προς την κατανάλωση. Το ψυκτικό μέσο που ατμοποιείται στον ψύκτη (3), συλλέγεται στην πάνω πλευρά (13) και συμπιέζεται από έναν ερμητικό παλινδρομικό συμπιεστή (7). Στη συνέχεια, συμπυκνώνεται σ' έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή (9) και αφού περάσει από ένα αφυγραντικό φίλτρο (10), εκτονώνεται σ' έναν τριχοειδή σωλήνα (11). Κατόπιν, εισέρχεται στον ψύκτη (3), όπου ατμοποιείται και ψύχει τον αέρα ελέγχου. Η ρύθμιση της ισχύος του συμπιεστή γίνεται με ανακυκλοφορία θερμού αερίου από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση, η οποία ελέγχεται από τη βαλβίδα θερμού αερίου (8), που διατηρεί σταθερή την πίεση στην αναρρόφηση του συμπιεστή.

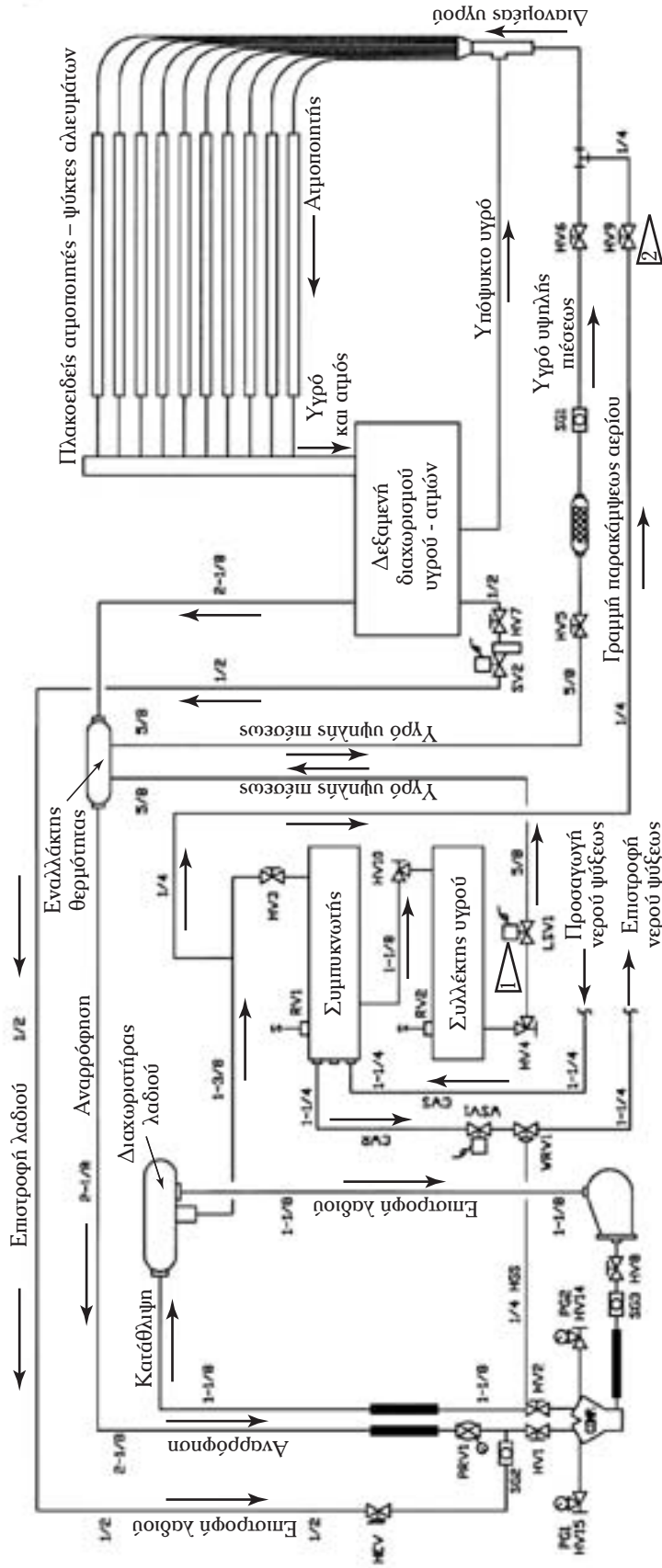
Μετά τον ψυκτικό αφυγραντήρα, είναι απαραίτητο ο αέρας ελέγχου να διέρχεται από ένα μεταλλικό φίλτρο, το οποίο μπορεί να συγκρατήσει σωματίδια και σταγόνες με διάμετρο 1 micron ($=10^{-3}\text{ mm}$). Με το φίλτρο αυτό, η περιεκτικότητα του αέρα σε λάδι είναι μικρότερη από $0,01\text{ mg/m}^3$ σε θερμοκρασία αέρα $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

11.9 Μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Στα πλοία εκτός από τις κύριες ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις, συναντώνται πολύ συχνά και μικρές φορητές συσκευές του εμπορίου. Αυτές είναι:

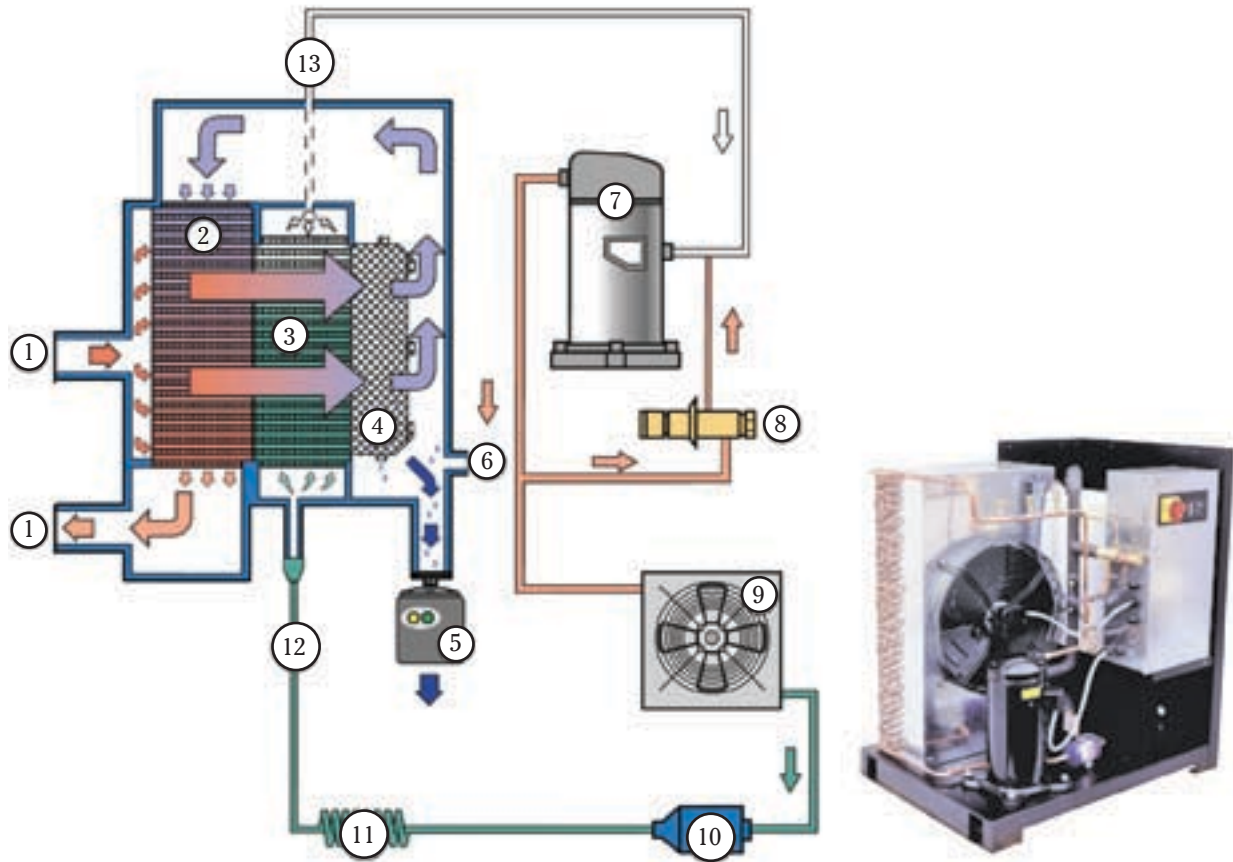
1) Οικιακά ψυγεία.

Τα οικιακά ψυγεία στην πιο απλή τους μορφή, περιλαμβάνουν ένα μονωμένο ψυκτικό θάλαμο, ο οποίος έχει μια πόρτα στην εμπρός πλευρά (σχ. 11.9a). Η πόρτα κλείνει περιμετρικά αεροστεγώς με λάστιχα, τα οποία θα πρέπει να διατηρούνται σε καλή κατάσταση, έτσι ώστε να μην υπάρχει αερισμός του θαλάμου, αύξηση του ψυκτικού φορτίου και υπερφόρτιση του συμπιεστή. Στην πάνω πλευρά του ψυκτικού θαλάμου υπάρχει ο ατμοποιητής, ο οποίος είναι διαμορφωμένος από φύλλα αλουμινίου (σχ. 7.3β). Στην κάτω πλευρά του ψυκτικού θαλάμου είναι τοποθετημένος ένας ερμητικός συμπιεστής. Ο ατμός μετά το συμπιεστή οδηγείται στο συμπυκνωτή,



- 1 Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υγρού
- 2 Βαλβίδα παρακάμφσεως αερίου. Παρμένει ανοικτή κατά την κράτηση λόγω χαμηλής πίεσης για αποφυγή συχνών επανεκκινήσεων

Σχ. 11.7.
Ψυκτική μηχανή καταψύξεως ψαριών με οριζόντιες πλάκες.

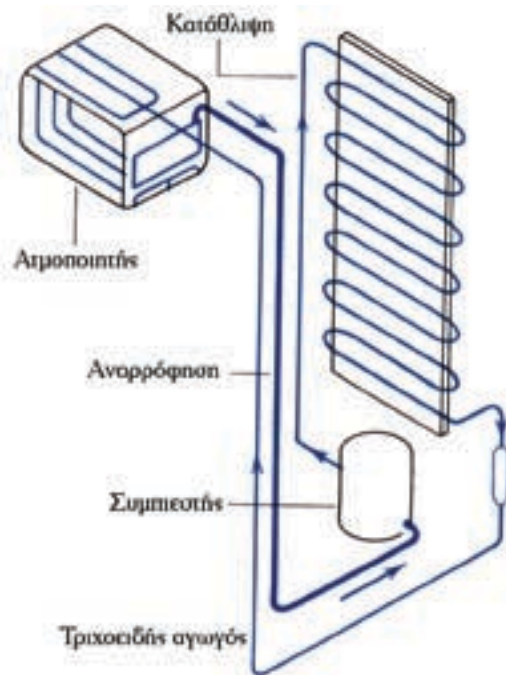


Σχ. 11.8.

Ψυκτικός αφυγραντήρας αέρα ελέγχου.

ο οποίος είναι αερόψυκτος με φυσική κυκλοφορία του αέρα και βρίσκεται τοποθετημένος εξωτερικά του ψυκτικού θαλάμου στην πίσω του πλευρά (σχ. 6.2ιγ). Στη συνέχεια το υγρό ψυκτικό μέσο διέρχεται απ' την εκτονωτική διάταξη, η οποία είναι ένας τριχοειδής σωλήνας. Ο τριχοειδής σωλήνας συνήθως βρίσκεται σε επαφή με το σωλήνα αναρρόφησης, έτσι ώστε να υπάρχει εναλλαγή θερμότητας και υπόψυξη του υγρού ψυκτικού μέσου (σχ. 8.2β). Μετά τον τριχοειδή αγωγό το υγρό ψυκτικό μέσο εισέρχεται στην πάνω πλευρά του ατμοποιητή, όπου παράγεται η ψύξη.

Ο ψυκτικός θάλαμος με ένα κάλυμμα χωρίζεται σε δύο μέρη: την **κατάψυξη** και τη **συντήρηση**. Ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος περιμετρικά στον θάλαμο της καταψύξεως και σ' αυτόν αναπτύσσονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η κυκλοφορία του αέρα προς το θάλαμο συντήρησης γίνεται φυσικά λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους του ψυχρού αέρα. Το μειονέκτημα της παραπάνω διαμορφώσεως των οικιακών ψυγείων είναι η διατάραξη της κυκλοφορίας του αέρα ανάλογα με τη στοιβασία



Σχ. 11.9α.

Διάγραμμα ψυκτικής εγκαταστάσεως μικρού οικιακού ψυγείου.

των τροφίμων και η ανάγκη για **χειροκίνητη αποπάγωση**, δηλαδή την απομάκρυνση του πάγου που συσσωρεύεται στην εξωτερική πλευρά του ατμοποιτητή. Ο πάγος προκαλείται από τους υδρατμούς που προέρχονται από τη φυσική αναπνοή των τροφίμων και απ' την υγρασία της ατμόσφαιρας που εισέρχεται με κάθε άνοιγμα της εξωτερικής πόρτας. Η χειροκίνητη αποπάγωση, γίνεται με κράτηση του συμπιεστή για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται μέχρι να λιώσει ο πάγος και να απομακρυνθεί μέσω της λεκάνης που υπάρχει στην κάτω πλευρά του ατμοποιτητή.

Για να μην υπάρχει η ανάγκη για χειροκίνητη αποπάγωση, υπάρχουν οι εξής διαμορφώσεις των οικιακών ψυγείων, με τις οποίες εξασφαλίζεται η **αυτόματη αποπάγωση**:

α) Με **ηλεκτρικές αντιστάσεις** (electric defrost).

β) Με **θερμό αέριο** (hot gas defrost) και

γ) **διαμόρφωση χωρίς δημιουργία πάγου** (frost free)

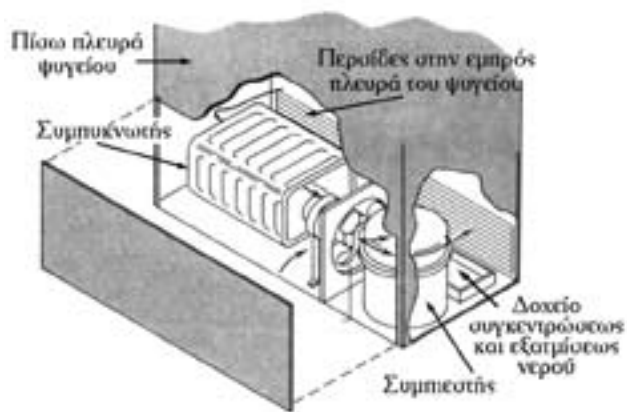
Με τις δύο πρώτες διαμορφώσεις, όπως θα δούμε παρακάτω γίνεται αυτόματη αποπάγωση του ατμοποιτητή, ενώ με την τρίτη διαμόρφωση ο ατμοποιτητής και ο ψυκτικός θάλαμος είναι διαμορφωμένοι έτσι, ώστε να μην συγκεντρώνεται πάγος.

Σε όλες τις παραπάνω διαμορφώσεις των οικιακών ψυγείων που δεν χρειάζονται χειροκίνητη αποπάγωση, ο συμπυκνωτής δεν είναι τοποθετημένος εξωτερικά στην πίσω πλευρά του θαλάμου. Οι σπείρες του συμπυκνωτή βρίσκονται στην κάτω πλευρά του θαλάμου, δίπλα από τον ερμητικό συμπιεστή, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.9β. Η κυκλοφορία του αέρα είναι εξαναγκασμένη και γίνεται μέσω ενός ανεμιστήρα. Αυτό γίνεται διότι τέτοια ψυγεία είναι συνήθως μεγάλου μεγέθους οπότε ένας συμπυκνωτής φυσικής κυκλοφορίας θα ήταν πολύ μεγάλου μεγέθους. Επί πλέον με τη διάταξη αυτή, υπάρχει η δυνατότητα εξωτερικής ψύξεως του συμπιεστή, ο οποίος τοποθετείται στο ρεύμα καταθλίψεως του ανεμιστήρα.

Για να μην υπάρχει η ανάγκη για απομάκρυνση του συμπυκνώματος εσωτερικά από τον ψυκτικό θάλαμο, ο ατμοποιτητής βρίσκεται εξωτερικά. Η ψύξη μεταφέρεται μέσω του αέρα, ο οποίος κυκλοφορεί μέσω ενός ανεμιστήρα. Στο σχήμα 11.9γ(α) φαίνεται ένα ψυγείο με **ηλεκτρική απόψυξη**, όπου η συντήρηση και η κατάψυξη βρίσκονται σε δύο ξεχωριστούς ψυκτικούς θαλάμους. Ο αέρας που επιστρέφει από τους θαλάμους διέρχεται από τον ατμοποιτητή,

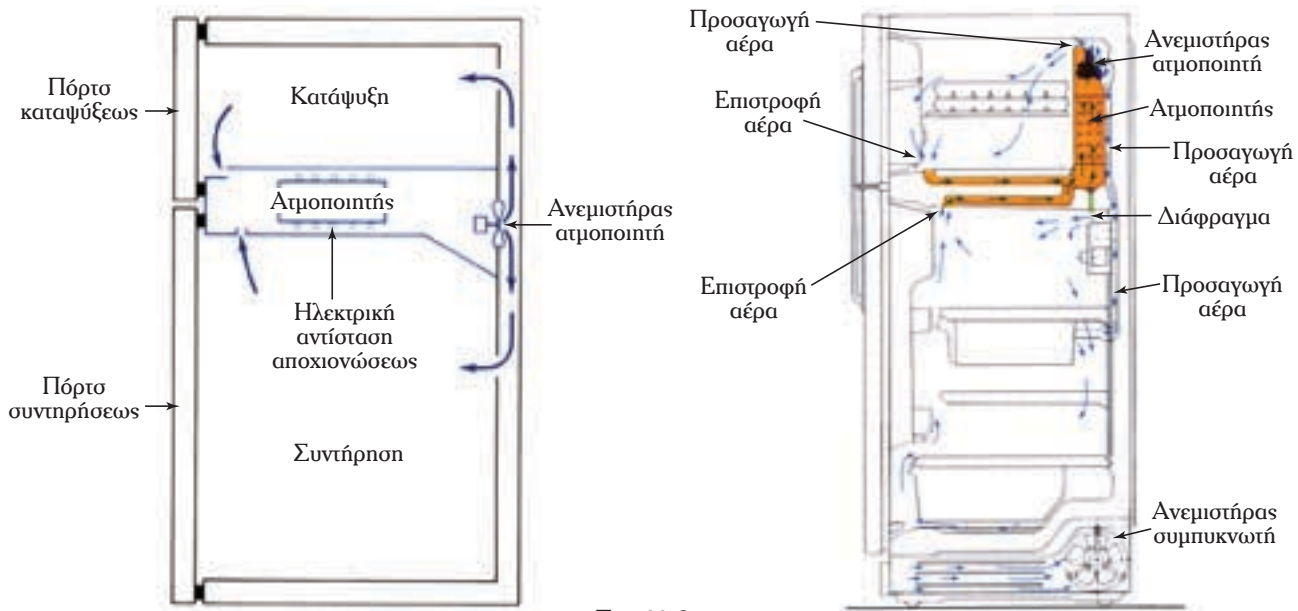
όπου ψύχεται και οδηγείται με κανάλια προς τους θαλάμους. Οι θερμοκρασίες των θαλάμων ρυθμίζονται με διαφράγματα που βρίσκονται στα κανάλια ροής. Κατά την απόψυξη, η οποία γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα από έναν αυτόματο ηλεκτρονόμο, κρατείται ο συμπιεστής και περνάει ρεύμα από τις αντιστάσεις που βρίσκονται στον ατμοποιτητή. Το νερό που δημιουργείται από το λωμένο πάγο οδηγείται με βαρύτητα σε μια λεκάνη, η οποία βρίσκεται στη βάση του ψυγείου δίπλα στο συμπυκνωτή. Εκεί το νερό εξατμίζεται με το ρεύμα του ζεστού αέρα που υπάρχει κατά τη φάση της λειτουργίας σε ψύξη, όταν στο συμπυκνωτή αποβάλλεται θερμότητα. Η ροή του αέρα από και προς τη συντήρηση και την κατάψυξη γίνεται με τα κανάλια, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.9γ(β)

Στο σχήμα 11.9δ φαίνεται το ψυκτικό κύκλωμα ενός οικιακού ψυγείου, όπου η αποπάγωση γίνεται αυτόματα με **ροή θερμού αερίου**. Στο ψυγείου υπάρχουν δύο ατμοποιτητές, ο ατμοποιτητής της καταψύξεως και ο ατμοποιτητής της συντηρήσεως ο οποίος περιλαμβάνει και το συλλέκτη ατμών αναρροφήσεως. Η ροή του ψυκτικού μέσου κατά την κανονική λειτουργία ψύξεως σημαίνεται στο σχήμα 11.9δ με μπλε βέλη. Το θερμό αέριο μετά το συμπιεστή οδηγείται σ' έναν πρώτο εναλλάκτη, που βρίσκεται στην κάτω πλευρά του ψυγείου. Εκεί ψύχεται και στη συνέχεια οδηγείται εκ νέου μέσα στο συμπιεστή όπου με τη διέλευσή του ψύχει το λάδι. Μετά την έξοδο από το συμπιεστή, το θερμό αέριο περνάει από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα θερμού αερίου, η οποία στη λειτουργία ψύξεως είναι κλειστή και στη συνέχεια οδηγείται στο συμπυκνωτή, στον τριχοειδή σω-



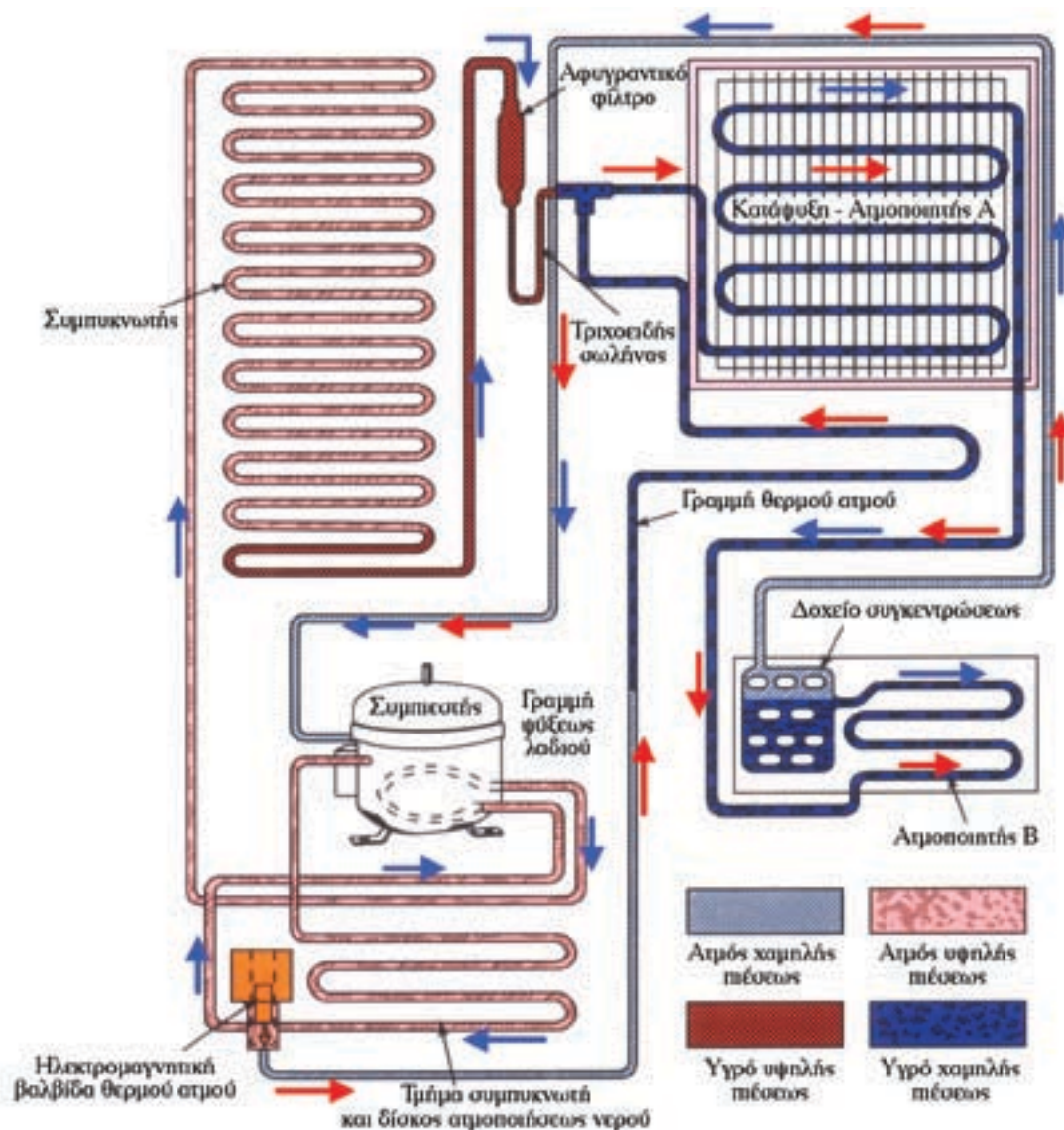
Σχ. 11.9β.

Συμπυκνωτής εξαναγκασμένης κυκλοφορίας οικιακού ψυγείου.



Σχ. 11.9γ.

(α) Οικιακό ψυγείο με αυτόματη απόψυξη με ηλεκτρικές αντιστάσεις και (β) ροή του αέρα μέσω καναλιών.



Σχ. 11.9δ.

Οικιακό ψυγείο με αυτόματη απόψυξη με ροή θερμού αερίου.

λίνα και τους ατμοποιητές. Η ροή κατά τη λειτουργία αποπαγώσεως σημαίνεται με τα κόκκινα βέλη. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα θερμού ατμού οδηγεί το αέριο μετά το συμπιεστή προς τους ατμοποιητές, οι οποίοι θερμαίνονται. Το υγρό ψυκτικό μέσο που δημιουργείται απ' τους ατμούς του ψυκτικού μέσου που υγροποιούνται, συγκεντρώνεται στο δοχείο του δεύτερου ατμοποιητή συντήρησης, έτσι ώστε να μην εισέλθει στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Η λειτουργία της αποπαγώσεως γίνεται περιοδικά και ελέγχεται από έναν αυτόματο ηλεκτρονόμο.

2) Καταψύκτες οικιακού τύπου.

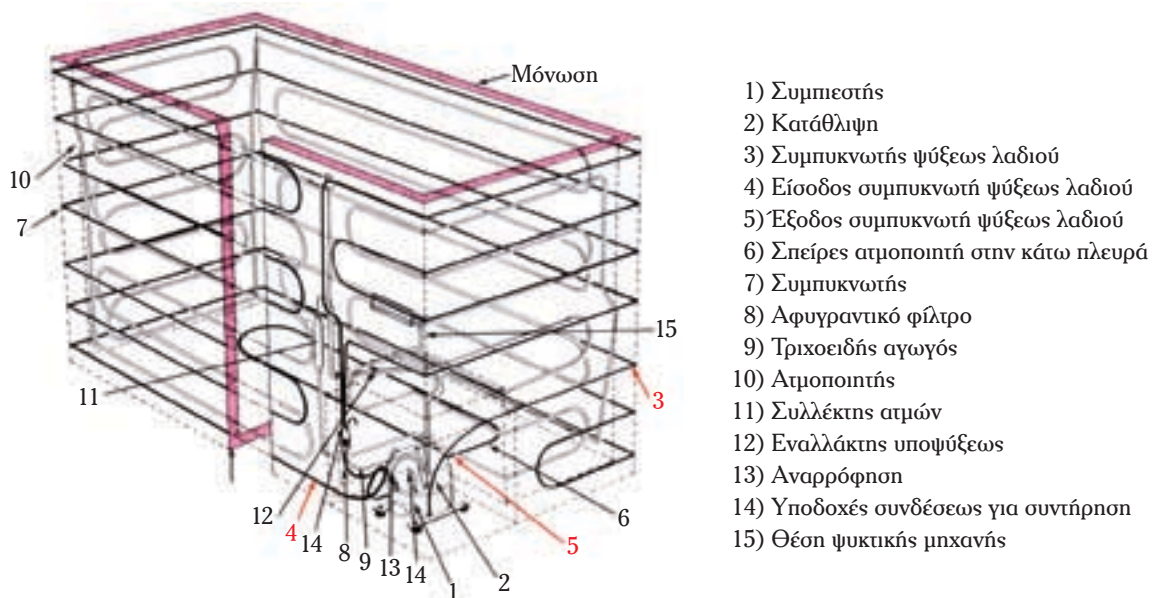
Οι οικιακοί καταψύκτες αποτελούνται από ένα μονωμένο ψυκτικό θάλαμο (σχ. 11.9ε). Στην κάτω πλευρά του θαλάμου υπάρχει ένας ερμητικός συμπιεστής, ενώ οι σπείρες συμπυκνώσεως και ατμοποίησης είναι τοποθετημένες στην εξωτερική και την εσωτερική πλευρά των τοιχωμάτων της μονώσεως αντίστοιχα. Στον καταψύκτη του σχήματος 11.9ε υπάρχει ένα πρώτος συμπυκνωτής ψύξεως λαδιού, όπου οι ατμοί μετά το συμπιεστή σε πρώτο στάδιο υπερθερμαίνονται και εισέρχονται πάλι στο συμπιεστή για να ψύξουν το λάδι. Επίσης, στο συμπιεστή υπάρχουν θέσεις συνδέσεως της εισόδου και της εξόδου του ατμού από το συμπυκνωτή ψύξεως λαδιού. Η αποπάγωση στους καταψύκτες είναι πάντα χειροκίνητη και το νερό απομακρύνεται από οπή που υπάρχει στον πυθμένα του θαλάμου.

3) Ψύκτες νερού.

Οι ψύκτες νερού είναι μηχανές σχεδιασμένες έτσι, ώστε να παρέχουν κρύο πόσιμο νερό. Περιλαμβάνουν μία ψυκτική μηχανή, η οποία αποτελείται από ερμητικό συμπιεστή, αερόψυκτο συμπυκνωτή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, εκτονωτική διάταξη (συνήθως τριχοειδή αγωγό ή αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα) και ατμοποιητή σπειρών (σχ. 11.9στ). Το νερό εισέρχεται απ' το δίκτυο και ψύχεται σε πρώτο στάδιο σ' έναν εναλλάκτη απ' το κρύο νερό που φεύγει προς την αποχέτευση. Στη συνέχεια το νερό ψύχεται και αποθηκεύεται σ' ένα δοχείο. Ο ατμοποιητής μπορεί να είναι τοποθετημένος εξωτερικά του δοχείου αποθηκείσεως.

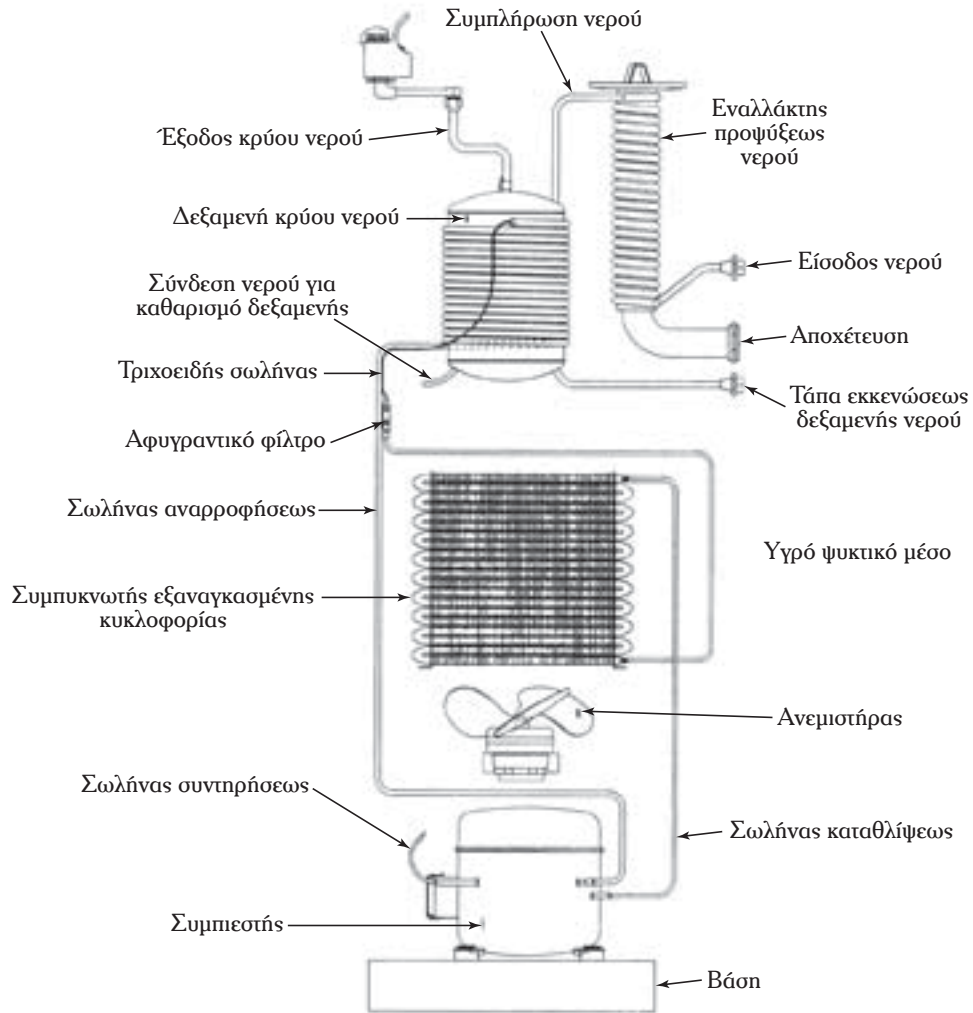
4) Παγομηχανές.

Οι παγομηχανές έχουν ως σκοπό τη δημιουργία παγοκύβων και συναντώνται κυρίως σε επιβατηγά πλοία και σε κρουαζιερόπλοια. Οι παγοκύβοι συσσωρεύονται σ' ένα μονωμένο κάδο, στον οποίο η στάθμη του πάγου παρακολουθείται από έναν αισθητήρα υπερήχων ή από έναν πλωτήρα. Η λειτουργία της παγομηχανής είναι συνεχής μέχρι να γεμίσει ο κάδος αποθηκείσεως. Το ψυκτικό κύκλωμα μίας παγομηχανής φαίνεται στο σχήμα 11.9ζ και περιλαμβάνει ερμητικό συμπιεστή, ατμοποιητή, αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα και αερόψυκτο συμπυκνωτή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας. Ο ατμοποιητής είναι

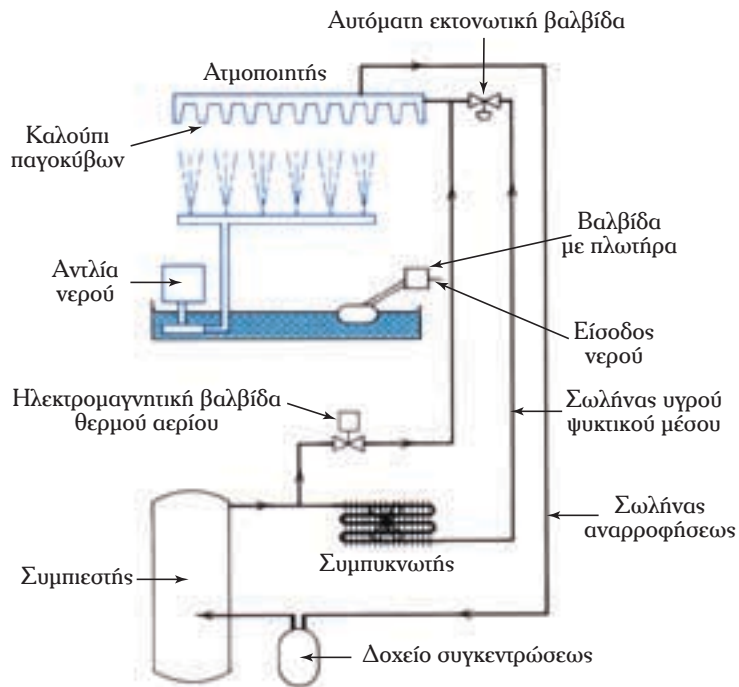


Σχ. 11.9ε.

Καταψύκτης οικιακού τύπου.



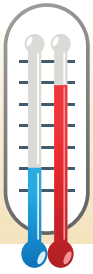
Σχ. 11.9στ.
Ψυκτική διάταξη ψύκτη νερού.



Σχ. 11.9ζ.
Ψυκτική διάταξη παγομηχανής.

διαμορφωμένος έτσι, ώστε να αποτελεί το καλούπι για τους παγοκύβους. Το νερό για τους παγοκύβους αντλείται από μία δεξαμενή και μέσω μιας αντλίας ψεκάζεται κάτω απ' τα καλούπια του ατμοποιητή. Σταδιακά δημιουργούνται παγοκύβοι, οι οποίοι αποκολλούνται όταν ανοίξει η ηλεκτρομαγνητική βαλ-

βίδα θερμού ατμού, που ελέγχεται από ένα χρονοδιακόπτη. Τότε ο θερμός ατμός μετά το συμπεσθή οδηγείται στον ατμοποιητή, ο οποίος θερμαίνεται. Οι παγοκύβοι πέφτουν στον κάδο συγκεντρώσεως, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα θερμού ατμού κλείνει και αρχίζει ένας νέος κύκλος δημιουργίας παγοκύβων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

Βασικές αρχές κλιματισμού – Κλιματιστικές εγκαταστάσεις πλοίων

12.1 Εισαγωγή.

Ο **κλιματισμός** χώρων είναι ένας τομέας που βρίσκουν εφαρμογή οι ψυκτικές μηχανές. Με τον κλιματισμό ρυθμίζονται οι συνθήκες που επικρατούν σ' ένα χώρο με το θερμικό τους περιβάλλον.

Τα εμπορικά πλοία ταξιδεύουν σε περιοχές με συνεχώς μεταβαλλόμενες εξωτερικές συνθήκες και διαφορετικά κλίματα. Επίσης διαθέτουν χώρους όπου παράγονται η θερμότητα και η υγρασία με διαφορετικούς ρυθμούς (π.χ. μηχανοστάσιο, μαγειρείο, καμπίνες) και συνεπώς έχουν διαφορετικές απαιτήσεις κλιματισμού και αερισμού. Έτσι, όλα τα πλοία πλέον διαθέτουν κλιματισμό ως εγκατάσταση ουσιώδους σημασίας για την άνετη διαβίωση του πληρώματος.

Η γνώση των αρχών του κλιματισμού αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για τον Αξιοματικό Μηχανικό, ο οποίος πολλές φορές καλείται να αντιμετωπίσει προβλήματα λειτουργίας και συντηρήσεως της εγκατάστασεως κλιματισμού του πλοίου.

Προκειμένου να επιτευχθεί άνετη διαβίωση σε ένα χώρο, απαιτείται η ψύξη του αέρα το καλοκαίρι και η θέρμανσή του το χειμώνα. Αναγκαία είναι επίσης και η ρύθμιση της υγρασίας του αέρα με ύγρανση ή αφύγρανση. Εκτός από τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, μια κλιματιστική εγκατάσταση πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες του αερισμού, με εισαγωγή στο χώρο νωπού εξωτερικού αέρα, ώστε να υπάρχει αέρας επαρκής σε οξυγόνο και απαλλαγμένος από οσμές. Επί πλέον του κλιματισμού χώρων διαβιώσεως, η ρύθμιση των ιδιοτήτων του αέρα με εφαρμογή των αρχών του κλιματισμού εφαρμόζεται στα πλοία, στους χώρους φορτίου. Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζονται οι ιδιότητες του αέρα που είναι επιθυμητές για τη συντήρηση του φορτίου.

Ο αέρας που μας περιβάλλει, εκτός από τα αέρια, περιέχει και σημαντικό ποσοστό υδρατμών. Το μείγμα αέρα-υδρατμών ονομάζεται **υγρός αέρας** και αποτελεί το εργαζόμενο μέσο στον κλιματισμό.

Η μελέτη των ιδιοτήτων και των μεταβολών του υγρού αέρα ονομάζεται **ψυχομετρία**.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ιδιότητες του υγρού αέρα, οι βασικές μεταβολές του και το γενικό πρόβλημα του κλιματισμού από την πλευρά της ψυχομετρίας. Κατόπιν, περιγράφονται οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται στα πλοία και η λειτουργία των κλιματιστικών συσκευών που με αντιστροφή ροής του ψυκτικού μέσου μπορεί να χρησιμοποιηθούν για ψύξη και για θέρμανση.

Τέλος, για την πληρέστερη κατανόηση της ύλης σε κάθε ενότητα παρατίθενται αριθμητικά παραδείγματα, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου υπάρχουν ασκήσεις για λύση. Τα μεγέθη και οι ιδιότητες του υγρού αέρα περιγράφονται στο διεθνές σύστημα μονάδων. Επειδή στις εφαρμογές κλιματισμού χρησιμοποιείται ευρέως και το αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων, οι ιδιότητες του υγρού αέρα δίνονται και σ' αυτό σε σχετικό διάγραμμα.

12.2 Γενικά περί κλιματισμού.

Με τον όρο **κλιματισμό** εννοούμε τις διεργασίες που πραγματοποιούνται στον αέρα ενός χώρου, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητές του, έτσι ώστε αυτές να διατηρούν τις επιθυμητές τιμές τους ανεξάρτητα από τις επικρατούσες εξωτερικές συνθήκες.

Ο κλιματισμός ορίζεται ως η διάταξη που:

- Ελέγχει τη θερμοκρασία του αέρα, με θέρμανση ή ψύξη του.
- Έλέγχει την υγρασία του αέρα με την ύγρανση ή την αφύγρανσή του και τέλος
- ανακυκλώνει και αναμειγνύει τον αέρα με εξωτερικό νωπό αέρα.

Η πρώτη συσκευή που ήταν παρόμοια με τα σύγχρονα κλιματιστικά κατασκευάστηκε το 1902 από τον Αμερικανό Willis Carrier.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο εμφανίσθηκαν οι οικιακές κλιματιστικές μονάδες. Η εξέλιξη των κλιματιστικών μονάδων γίνεται μέχρι σήμερα στην

κατεύθυνση της αύξησης της αποδόσεως και στη φιλικότερη προς το περιβάλλον λειτουργία τους.

Τα κύρια μέρη μιας κλιματιστικής εγκαταστάσεως είναι:

α) Η **κλιματιστική μονάδα**, που μπορεί να ψύχει, να θερμαίνει, να υγραίνει και να αφυγραίνει τον αέρα και να ανανεώνει μέρος του αναλόγως με τις επιθυμητές ιδιότητες του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο. Για τον κλιματισμό πλοίων η κλιματιστική μονάδα τοποθετείται στο μηχανοστάσιο ή συννηθέστερα στο άνω κατάστρωμα, σε ειδικό χώρο.

β) Οι **αεραγωγοί (κανάλια) προσαγωγής**, διανέμουν τον κλιματισμένο αέρα μέσω στομιών στο χώρο και ανάλογα με την εγκατάσταση είναι δυνατόν να υπάρχουν και **αγωγοί επιστροφής** του αέρα.

Το εργαζόμενο μέσο στον κλιματισμό είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, που είναι μείγμα ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα και υδρατμών. Ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται κυρίως από άζωτο σε αναλογία 76,5% και από οξυγόνο σε αναλογία 23,5% κατά βάρος. Οι βιολογικές ανάγκες καύσεως του ανθρώπου εξυπηρετούνται από το οξυγόνο του αέρα, το οποίο όμως σε μεγάλη αναλογία επιφέρει υπεροξυγόνωση και δρα δυσμενώς.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που μας περιβάλλει περιέχει υδρατμούς. Οι υδρατμοί είναι σημαντικοί, γιατί η ποσότητά τους επηρεάζει έμμεσα τη λειτουργία των πνευμόνων και του αναπνευστικού συστήματος και την άνεση που αισθάνονται η άνθρωποι μέσω της επιδράσεώς τους σ' αυτό και στην ταχύτητα εξατίσεως του ιδρώτα.

Τα κλιματιστικά συστήματα, ως προς τη μεταφορά της θερμότητας, μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

α) Σε **συστήματα αέρα**, όπου ο κλιματιζόμενος αέρας υφίσταται επεξεργασία σε κεντρική κλιματιστική μονάδα και μεταφέρεται μέσω αεραγωγών στα διάφορα δωμάτια. Επειδή η ψύξη του αέρα είναι άμεση στην κλιματιστική μονάδα, τα συστήματα αέρα ονομάζονται και συστήματα **άμεσης ψύξεως**. Η ρύθμιση της εγκαταστάσεως γίνεται κεντρικά. Το σύστημα αυτό είναι το επικρατέστερο σήμερα στα εμπορικά πλοία. Η καθαριότητα των αεραγωγών είναι σημαντικός παράγοντας λειτουργίας των συστημάτων αέρα.

β) Σε **συστήματα άλμης-αέρα**, στα οποία η θέρμανση και η ψύξη του αέρα γίνονται σε τοπικούς μικρούς εναλλάκτες κρύας και ζεστιάς άλμης που τροφοδοτούνται από την κεντρική εγκατάστα-

ση θέρμανσεως και ψύξεως. Λόγω της έμμεσης ψύξεως του αέρα με ενδιάμεσο μέσο την άλμη, τα συστήματα άλμης-αέρα ονομάζονται και συστήματα **έμμεσης ψύξεως**. Συστήματα έμμεσης ψύξεως χρησιμοποιούνται σε παλιές εγκαταστάσεις πλοίων, καθώς είναι πολυπλοκότερα και ακριβότερα. Έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν τη δυνατότητα εύκολου καθαρισμού και εύκολης τοπικής ρυθμίσεως της θερμοκρασίας του κάθε χώρου.

γ) Σε **αυτόνομες μονάδες**, στις οποίες ολόκληρη η κλιματιστική διαδικασία γίνεται στο εσωτερικό κάθε δωματίου και στον εξωτερικό τοίχο, έτσι ώστε ο νωπός αέρας να μπορεί να τροφοδοτήσει τις μονάδες, μέσω ενός κοντού αεραγωγού τοποθετημένου στον τοίχο. Χρησιμοποιείται σε πλοία που μετασκευάζονται ή ναυπηγούνται όπου τοποθετείται κλιματισμός χωρίς να υπάρχουν δίκτυα αεραγωγών. Οι επί μέρους μονάδες μπορεί να είναι επίτοιχες, οροφής ή διαιρούμενες που χωρίζονται σε εξωτερικό και εσωτερικό τμήμα.

Στο πλέον διαδεδομένο σύστημα αέρα, οι **κεντρικές μονάδες κλιματισμού** ή **μονάδες επεξεργασίας του αέρα**, είναι το τμήμα της κλιματιστικής εγκαταστάσεως, στο οποίο πραγματοποιούνται οι επεξεργασίες του κλιματιζόμενου αέρα, οι οποίες είναι:

- α) Η κυκλοφορία του αέρα.
- β) Το φιλτράρισμα.
- γ) Η ανάμειξη.
- δ) Η ψύξη.
- ε) Η θέρμανση.
- στ) Η ύγρανση.
- ζ) Η αφύγρανση.

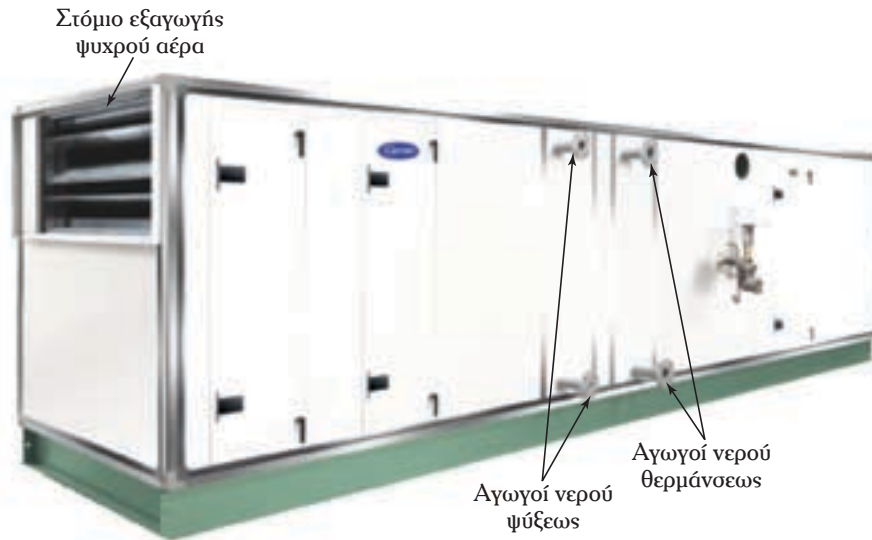
Οι κλιματιστικές μονάδες, ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για τη συμπύκνωση του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου χωρίζονται σε:

- α) Αερόψυκτες και
- β) υδρόψυκτες.

Στις εφαρμογές πλοίων χρησιμοποιούνται κυρίως υδρόψυκτες κλιματιστικές μονάδες, ενώ στα κτήρια αερόψυκτες.

Παράδειγμα κεντρικής υδρόψυκτης κλιματιστικής μονάδας για κτήρια παρουσιάζεται στο σχήμα 12.2α. Στο αριστερό τμήμα εικονίζεται το στόμιο εξαγωγής του ψυχρού αέρα, ενώ στο κέντρο φαίνονται οι αγωγοί συνδέσεως με τον ψυκτικό πύργο συμπυκνώσεως και με το κύκλωμα παροχής ζεστού νερού ή ατμού για τη λειτουργία της θέρμανσεως.

Οι κλιματιστικές μονάδες συναντώνται σε ορι-



Σχ. 12.2α.

Εξωτερική υδρόψυκτη κεντρική κλιματιστική μονάδα.

ζόντια και κατακόρυφη διάταξη και αποτελούνται από τρία ή και περισσότερα ανεξάρτητα κομμάτια, τα οποία (αναλόγως του μεγέθους της κλιματιστικής μονάδας) συναρμολογούνται στο εργοστάσιο ή στο χώρο που θα τοποθετηθεί η μονάδα. Επίσης, οι κλιματιστικές μονάδες, αναλόγως της θέσεως του ανεμιστήρα (ή των ανεμιστήρων) διακρίνονται σε μονάδες αναρροφήσεως, όταν ο ανεμιστήρας βρίσκεται στην έξοδο του αέρα (στο τέλος της μονάδας) και σε μονάδες καταθλίψεως, όταν ο ανεμιστήρας βρίσκεται στην είσοδο του αέρα (στην αρχή της μονάδας κλιματισμού).

Οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες διακρίνονται επίσης σε μονάδες απλές, σε μονάδες δύο ζωνών και σε μονάδες πολλών ζωνών, αναλόγως του πόσοι κεντρικοί αεραγωγοί συνδέονται με τη μονάδα.

Η μεταλλική κατασκευή της κλιματιστικής μονάδας, που ονομάζεται **κέλυφος**, κατασκευάζεται από υλικά ισχυρής μηχανικής αντοχής, ώστε να είναι δυνατή η στερέωση των εδρανών των ανεμιστήρων και η αποφυγή κραδασμών. Αποτελείται από ένα σιδερένιο σκελετό που περιβάλλεται από τα πλευρικά θερμικά μονωμένα καλύμματα. Τα καλύμματα αυτά μπορούν εύκολα να αφαιρούνται, προκειμένου να επιθεωρήσουμε τους χώρους που περικλείουν. Οι μεταλλικές επιφάνειες που περιβάλλουν το σκελετό φέρουν εσωτερικώς μόνωση, συνήθως από υαλοβάμβακα, που κολλιέται με ειδική κόλλα. Κατόπιν, η εξωτερική επιφάνεια του υαλοβάμβακα επικαλύπτεται με επίστρωση ειδικού υλικού που κάνει τη μονωτική επένδυση αδιάβροχη και στέρεα.

Στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις πλοίων έμμεσης ψύξεως, που το ενδιάμεσο εργαζόμενο μέσο μεταφοράς ψύξεως είναι η άλμη, χρησιμοποιούνται πολλές φορές **αυτόνομες ψυκτικές μονάδες άλμης** (chilled water units) (σχ. 12.2β). Οι μονάδες αυτές περιλαμβάνουν συμπιεστή (συνήθως ελικοειδή), διαχωριστή λαδιού, ψύκτη και αντλία λαδιού, συμπυκνωτή, συλλέκτη, φίλτρο και αφυγραντήρα και τέλος εξατμιστή όπου ψύχεται η άλμη. Είναι αυτόνομες και συνδέονται μόνο με ηλεκτρική παροχή, παροχή νερού ψύξεως και παροχή άλμης.

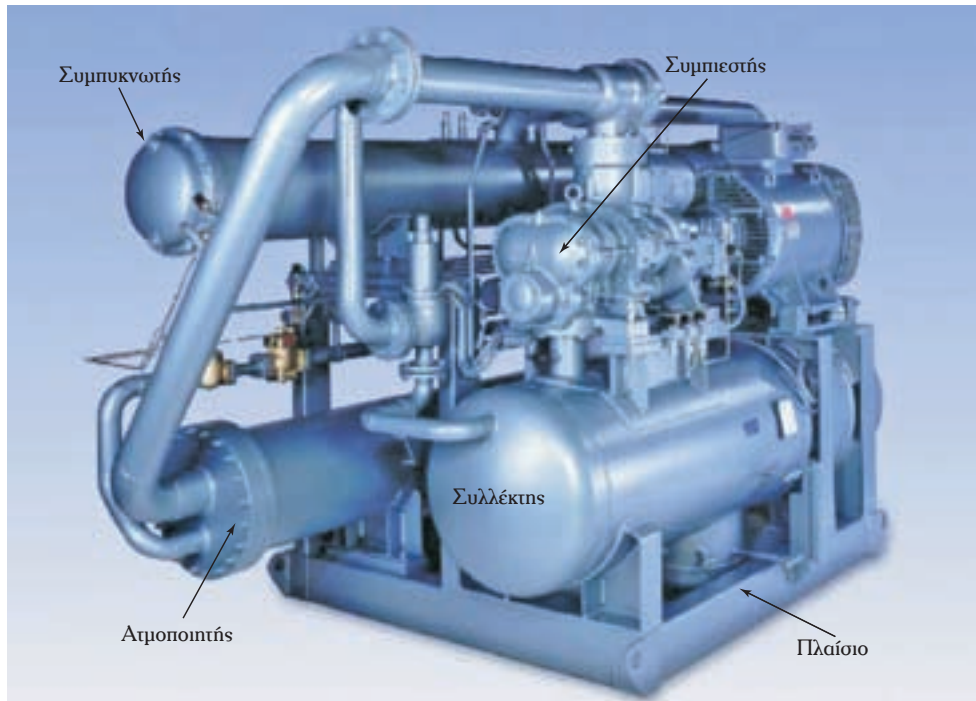
Ο κλιματισμός μικρών χώρων πραγματοποιείται από μικρές αερόψυκτες κλιματιστικές μονάδες. Η διάταξη των μικρών αεροψυκτών κλιματιστικών μονάδων μπορεί να είναι ενιαία ή διαχωρισμένου τύπου (split unit). Στις τελευταίες, ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής είναι τοποθετημένοι εξωτερικά (σχ. 12.2γ), ενώ ο ατμοποιητής εσωτερικά (σχ. 12.2δ).

12.3 Το αίσθημα της θερμοκρασιακής ανέσεως.

Ως **θερμοκρασιακή άνεση** (thermal comfort) ορίζεται η κατάσταση του ανθρώπου, στην οποία αυτός είναι ευχαριστημένος με το θερμικό του περιβάλλον. Η θερμοκρασιακή άνεση εξαρτάται εκτός από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, από την ένταση της δραστηριότητας και τα ρούχα που φορά ο κάθε άνθρωπος.

Ο ορισμός των συνθηκών κλιματικής ανέσεως έγινε μετά από μελέτες που διεξήχθησαν το 1970.

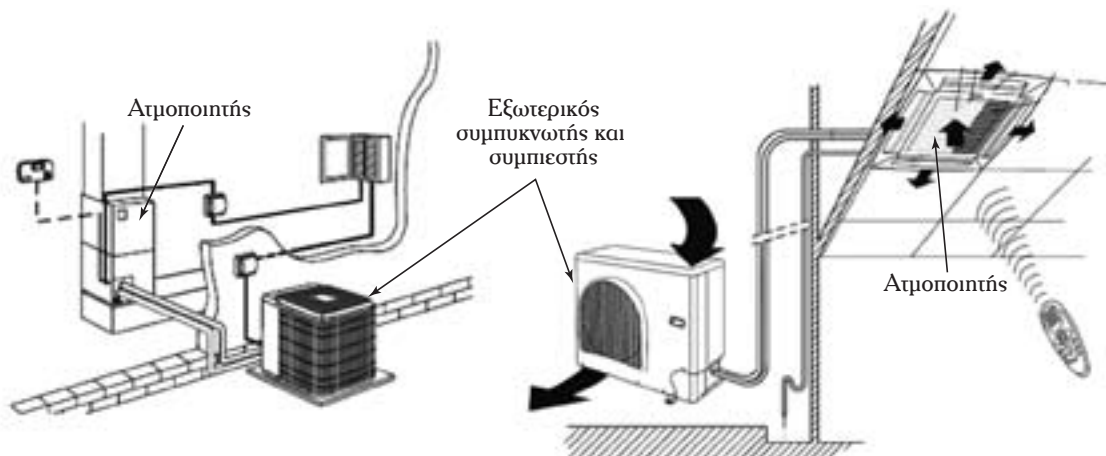
Δεδομένου ότι η κλιματική άνεση είναι υποκει-



Σχ. 12.2β.
Αυτόνομη μονάδα ψύξεως άλμης.



Σχ. 12.2γ.
Εξωτερικός αερόψυκτος συμπυκνωτής και συμπιεστής.



Σχ. 12.2δ.
Διάταξη διαχωρισμένης κλιματιστικής μονάδας με εξωτερικό συμπυκνωτή και συμπιεστή και εσωτερικό ατμοποιτή-ψύκτη αέρα.

μενικό αίσθημα, δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί 100% ικανοποίηση όλων των διαβιούντων σ' ένα χώρο. Όμως με την κατάλληλη ρύθμιση των κλιματικών συνθηκών μπορούν να επιτευχθούν ποσοστά ικανοποιήσεως από 80% έως 95%.

Για την κατανόηση του τρόπου που ο κλιματισμός κρατά το σώμα σε κατάσταση ανέσεως είναι σημαντική η κατανόηση του τρόπου που το σώμα επιτυγχάνει τη βέλτιστη θερμοκρασία. Η κανονική θερμοκρασία δέρματος ή επιφάνειας του ανθρώπινου σώματος είναι 36,7 °C ή 98,6 °F. Το ανθρώπινο σώμα, μέσω της καύσεως παράγει θερμότητα και υδατμούς, τα οποία συνεχώς αποβάλλει με κατάλληλο ρυθμό, ώστε να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία. Όταν η θερμότητα μπορεί να αποβάλλεται από το ανθρώπινο σώμα με το σωστό ρυθμό, τότε υπάρχει το αίσθημα της άνεσης. Σε αντίθετη περίπτωση, υπάρχει **αίσθημα δυσφορίας**.

Οι κύριοι τρόποι αποβολής της ανθρώπινης θερμότητας είναι τρεις και αποτελούν φυσικές διαδικασίες που συνήθως γίνονται συγχρόνως:

α) Με **αγωγή** (μετάδοση θερμότητας μεταξύ στερεών σωμάτων) και με **συναγωγή** (μετάδοση θερμότητας μεταξύ στερεού και ρευστού).

β) Με **ακτινοβολία** και

γ) με **εξάτμιση** (διαπνοή δέρματος και αναπνοή).

Οι δύο πρώτοι τρόποι σχετίζονται με τη θερμότητα που συναλλάσσεται λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του σώματος και του αέρα. Ο τρίτος τρόπος αποβολής θερμότητας είναι η εξάτμιση, το νερό γίνεται ατμός, ενώ ταυτόχρονα παίρνει από το περιβάλλον μας τη **λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης**. Έτσι, καθώς η υγρασία εξατμίζεται, απορροφά θερμότητα από τη θερμή επιφάνεια, πάνω στην οποία βρίσκεται και ως αποτέλεσμα η επιφάνεια αυτή ψύχεται. Αυτό συμβαίνει στην επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος με την αποβολή ιδρώτα. Όταν ο άνθρωπος νιώθει ζέστη ενεργοποιείται ο μηχανισμός ψύξεως του σώματος, που είναι η αποβολή ιδρώτα μέσω των πόρων του δέρματος. Καθώς ο ιδρώτας εξατμίζεται απορροφά τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το σώμα και το ψύχει. Αυτή η ρύθμιση θερμοκρασίας είναι συνεχής σε όλο το 24-ωρο, ενώ ο ιδρώτας σε υγρή μορφή γίνεται εμφανής σε περίπτωση θερμικής δυσφορίας, όταν οι απαιτήσεις ψύξεως και αποβολής θερμότητας είναι μεγάλες.

Η ταχύτητα της εξάτμισης εξαρτάται από την

υγρασία του περιβάλλοντος αέρα. Όταν ο αέρας βρίσκεται σε χαμηλή σχετικά υγρασία, είναι εξαιρετικά ξηρός και μπορεί να απορροφήσει ευκολότερα υγρασία. Όταν όμως η υγρασία είναι χαμηλότερη από το κανονικό, η εξάτμιση επιταχύνεται υπερβολικά και υπάρχει αίσθημα ψύχους. Αντίθετα, μια υψηλή σχετικά υγρασία έχει τα αντίθετα αποτελέσματα και καθυστερεί τη διαδικασία της εξάτμισης. Οι καταλληλότερες συνθήκες (συνθήκες άνεσης) για το ανθρώπινο σώμα είναι γενικώς 20 °C (68 °F) έως 27 °C (80 °F) και 45% έως 50% σχετική υγρασία. Αναλυτικότερα, το εύρος θερμοκρασιακής άνεσης το χειμώνα είναι από 23 °C έως 27 °C και το καλοκαίρι από 20 °C – 23 °C.

Επί πλέον, η ταχύτητα της εξάτμισης εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα. Αύξηση της ταχύτητας του αέρα συνεπάγεται αύξηση της μετατόπισης του περιρρέοντος αέρα. Η αύξηση της μετατόπισης αυξάνει το ποσό της θερμότητας που αποβάλλεται από το σώμα λόγω αυξήσεως της ποσότητας του ιδρώτα που εξατμίζεται και λόγω αυξήσεως της θερμότητας που μεταδίδεται με συναγωγή.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση ιδρώτα είναι ο ρουχισμός που φέρει ο κάθε άνθρωπος και η έντονη ή όχι δραστηριότητά του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι παράγοντες που επηρεάζουν το αίσθημα θερμικής άνεσης είναι:

α) Η θερμοκρασία του αέρα.

β) Η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του χώρου (ακτινοβολία).

γ) Η υγρασία του αέρα.

δ) Η ταχύτητα του αέρα.

ε) Ο ρουχισμός και

ζ) ο βαθμός δραστηριότητας του ατόμου.

Από τους παραπάνω παράγοντες οι τέσσερεις πρώτοι είναι χαρακτηριστικά του αέρα και ρυθμίζονται με τον κλιματισμό, ενώ οι δύο τελευταίοι είναι υποκειμενικοί και διαφέρουν από άτομο σε άτομο. Λεπτομερής διαχωρισμός των συνθηκών άνεσης για χειμώνα και καλοκαίρι γίνεται παρακάτω, αφού αναλυθούν οι ιδιότητες του υγρού αέρα και παρουσιαστεί το ψυχομετρικό διάγραμμα.

12.4 Θερμότητα – Θερμοκρασία ξηρού βολβού.

Η θερμότητα είναι μία μορφή μεταφοράς ενέργειας, η οποία ορίζεται από την ενέργεια των μορίων της ύλης λόγω της θερμικής τους κινήσεως. Η

θερμότητα είναι η αιτία της μεταβολής της θερμικής καταστάσεως των σωμάτων. Όπως και άλλες μορφές ενέργειας (κινητική, δυναμική, χημική), έτσι και η θερμότητα μπορεί να μετασχηματιστεί σε κάποια άλλη μορφή.

Η θερμότητα ως ποσό ενέργειας συνήθως μετρείται σε μετρικές και αγγλοσαξονικές μονάδες (Παράρτημα 7).

Η θερμοκρασία είναι το μέτρο που χαρακτηρίζει τη κατάσταση ενός σώματος για συναλλαγή θερμότητας με άλλα σώματα. Έτσι, όταν σε ένα σώμα προστίθεται ενέργεια με μορφή θερμότητας, η θερμοκρασία του αυξάνεται αν δεν αλλάζει φάση. Αντίστροφα, όταν αφαιρείται θερμότητα η θερμοκρασία, αν δεν αλλάζει φάση, μειώνεται.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται όργανα μετρήσεως που ονομάζονται **θερμόμετρα**. Ένα είδος θερμομέτρων αποτελείται από ένα βολβό που περιέχει ένα διαστελλόμενο υγρό και μια κλίμακα, πάνω στην οποία διαβάζουμε τη θερμοκρασία. Οι θερμομετρικές κλίμακες που χρησιμοποιούμε είναι κυρίως:

- α) Η κλίμακα Κελσίου και
- β) η κλίμακα Φαρενάιτ.

Η σχέση μετασχηματισμού από βαθμούς Κελσίου σε βαθμούς Φαρενάιτ δίνεται στο Παράρτημα 7.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας ενός σώματος γίνεται θέτοντας σε θερμική επαφή το βολβό του θερμομέτρου με το σώμα. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, όταν το νερό αλλάζει φάση από υγρό σε υδρατμό παίρνει λανθάνουσα θερμότητα από το περιβάλλον. Έτσι, αν ο βολβός του θερμομέτρου είναι υγρός εξωτερικά και υπάρχει εξάτμιση, η ένδειξη θερμοκρασίας είναι μικρότερη απ' αυτών του περιβάλλοντος χώρου. Η θερμοκρασία που μετρείται όταν ο βολβός του θερμομέτρου είναι εξωτερικά **ξηρός** ονομάζεται **θερμοκρασία ξηρού βολβού** (Dry-Bulb temperature – T_{DB}).

12.5 Ειδική υγρασία.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει υγρασία σε μορφή υδρατμών. Στη μελέτη των ιδιοτήτων του υγρού αέρα (ψυχομετρία) όλα τα θεμελιώδη μεγέθη (που εξαρτώνται από τη μάζα όπως όγκος, ενθαλπία κ.λπ.) ανάγονται στη μονάδα μάζας 1 kg ή 1 lb **ξηρού αέρα**.

Ως ειδική υγρασία αέρα w ορίζεται ο λόγος της μάζας των περιεχομένων υδρατμών m_w προς τη

μάζα του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα m_a που τους περιέχει

$$w = \frac{m_{H_2O}}{m_{\xi.a.}} \quad (1)$$

Μεγάλες τιμές ειδικής υγρασίας αντιστοιχούν σε αέρα με μεγάλη ποσότητα υδρατμών, ενώ μικρές τιμές αντιστοιχούν σε αέρα με μικρότερη ποσότητα υδρατμών.

Μονάδες μετρήσεως της ειδικής υγρασίας είναι στο διεθνές σύστημα μονάδων ο λόγος $\frac{kg_{H_2O}}{kg_{\xi.a.}}$ ή ο λόγος $\frac{gr_{H_2O}}{kg_{\xi.a.}}$.

As πάρουμε για παράδειγμα ένα χώρο που περιέχει 20 kg αέρα (περίπου 20 m³ σε πίεση 1 atm, στο επίπεδο της θάλασσας). Αν στο χώρο περιέχονται συνολικά 300 gr υδρατμών, τότε ο λόγος της ειδικής υγρασίας είναι:

$$w = \frac{300 \text{ gr}_{H_2O}}{20 \text{ kg}_{\xi.a.}} = \frac{0,3 \text{ kg}_{H_2O}}{20 \text{ kg}_{\xi.a.}} = 0,015 \frac{\text{kg}_{H_2O}}{\text{kg}_{\xi.a.}} = 15 \frac{\text{gr}_{H_2O}}{\text{kg}_{\xi.a.}}$$

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων, μονάδα μετρήσεως της ειδικής υγρασίας w είναι ο λόγος $\frac{lb_{H_2O}}{lb_{\xi.a.}}$. Η ειδική υγρασία μετρούμενη σε lg/kg ή σε

lb/lb έχει φυσικά την ίδια αριθμητική τιμή. Επίσης, χρησιμοποιείται ο λόγος $\frac{\text{grains}_{H_2O}}{lb_{\xi.a.}}$, όπου ένας κόκκος (1 grain) ορίζεται ως:

$$1 \text{ grain} = \frac{1}{7000} \text{ lb}$$

Η αναλογία lb και kg είναι: 1 lb = 0,454 kg.

$$\text{Άρα: } 1 \frac{\text{grain}_{H_2O}}{\text{lb}_{\xi.a.}} = \frac{1}{7} \frac{\text{gr}_{H_2O}}{\text{kg}_{\xi.a.}}$$

12.6 Κορεσμένος αέρας.

Η ποσότητα του υδρατμού (υγρασίας) στον ξηρό αέρα, όπως περιγράφεται από την ειδική υγρασία, μπορεί να μεταβάλλεται από μηδέν για τον **ξηρό αέρα** μέχρι μια μέγιστη τιμή, όπου ο αέρας ονομάζεται **κορεσμένος**. Ο κορεσμός εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα. Ο κορεσμένος αέρας περιέχει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα υδρατμών. Στις εφαρμογές κλιματισμού η πίεση του αέρα μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Οι τιμές όμως των με-

γεθών αλλάζουν με την πίεση. Έτσι για μια εγκατάσταση σε κτήρια επάνω στο βουνό για παράδειγμα όπου η πίεση είναι μικρότερη, απαιτούνται άλλα διαγράμματα για τις αντίστοιχες πιέσεις. Η μέγιστη τιμή της ειδικής υγρασίας όπου εμφανίζεται συμπύκνωση εξαρτάται από τη θερμοκρασία ξηρού βολβού και την πίεση. Στο σχήμα 12.6 δίνεται η μέγιστη τιμή της ειδικής υγρασίας, για την οποία ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή.

Από το σχήμα 12.6 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μέγιστη ειδική υγρασία και η θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι μεγέθη ανάλογα, δηλαδή ο αέρας με μεγαλύτερη θερμοκρασία μπορεί να συκρατήσει περισσότερη υγρασία.

12.7 Απόλυτη υγρασία.

Απόλυτη υγρασία ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών του μείγματος αέρα-υδρατμών προς τον όγκο του μείγματος:

$$d_v = \frac{m_{H_2O}}{V_{\text{μείγμα_αέρα-υδρατμών}}} \quad (2)$$

Μονάδες μετρήσεως της απόλυτης υγρασίας είναι στο διεθνές σύστημα μονάδων:

$$\frac{kg_{H_2O}}{m^3_{\text{μείγμα_αέρα-υδρατμών}}} \text{ και}$$

στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων:

$$\frac{lb_{H_2O}}{ft^3_{\text{μείγμα_αέρα-υδρατμών}}}.$$

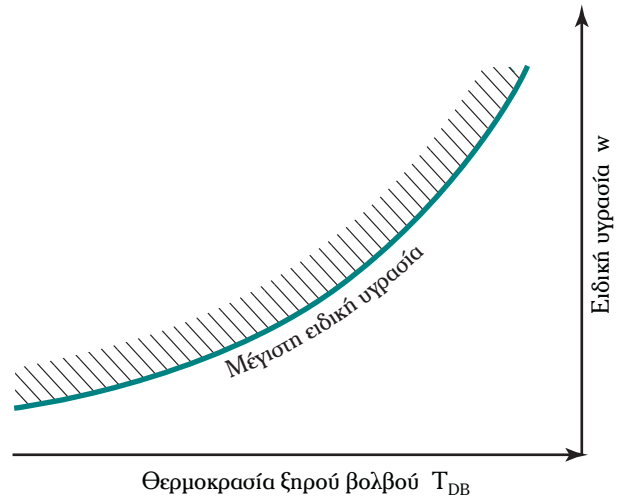
12.8 Σχετική υγρασία.

Όταν ο αέρας δεν βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού, δεν περιέχει τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών αλλά κάποια μικρότερη.

Ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχει το μείγμα αέρα-υδρατμών προς τη μάζα των υδρατμών που μπορεί να συκρατήσει το μείγμα στην κατάσταση κορεσμού στην ίδια θερμοκρασία, ονομάζεται **σχετική υγρασία**:

$$\varphi = \frac{kg_{H_2O}}{kg_{H_2O \text{ κορεσμού}}} \quad (3)$$

Ο λόγος της σχετικής υγρασίας εκφράζεται ως ποσοστό %. Σχετική υγρασία $\varphi=100\%$ ισοδυναμεί



Σχ. 12.6.

Άνω όριο ειδικής υγρασίας – Σημείο δρόσου για σταθερή πίεση.

με κατάσταση κορεσμού, σχετική υγρασία $\varphi=100\%$ ισοδυναμεί με απολύτως ξηρό αέρα, ενώ σχετική υγρασία $\varphi=50\%$ ισοδυναμεί με μάζα υδρατμών στο μείγμα αέρα-υδρατμών ίσο με τη μισή μάζα υδρατμών μείγματος στην ίδια θερμοκρασία και σε κατάσταση κορεσμού.

Στην περίπτωση που ένα σώμα, το οποίο περιέχει υγρασία, βρίσκεται σε ένα χώρο ίδιας θερμοκρασίας που περιέχει αέρα με σχετική υγρασία μικρότερη από 100% , τότε η περιεχόμενη υγρασία του σώματος τείνει να εξατμιστεί και να απορροφηθεί από τον αέρα σε μορφή υδρατμών. Η εξάτμιση του νερού γίνεται τόσο γρηγορότερα, όσο ξηρότερος είναι ο αέρας του χώρου, ενώ όταν ο αέρας βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού δεν μπορεί πλέον να γίνει εξάτμιση υδρατμών. Έτσι, η σχετική υγρασία επηρεάζει την ευκολία ή τη δυσκολία, με την οποία μπορεί να εξατμίζεται νερό από την υγρή φάση.

Όσον αφορά στους ανθρώπους, η σχετική υγρασία επηρεάζει την ευκολία ή τη δυσκολία, με την οποία γίνεται η εξάτμιση ιδρώτα. Δεδομένου ότι η κλιματική άνεση που αισθάνονται οι άνθρωποι σχετίζεται με την ευκολία ή τη δυσκολία εξάτμισης ιδρώτα προς το περιβάλλον, ο λόγος σχετικής υγρασίας είναι παράμετρος που σχετίζεται με το αίσθημα ανέσεως.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, συνθήκες αέρα με μεγαλύτερη θερμοκρασία και μικρότερη σχετική υγρασία είναι ανετότερες από συνθήκες αέρα μικρότερης θερμοκρασίας, που έχει μεγαλύτερο λόγο σχετικής υγρασίας. Για έναν κλιματιζόμενο χώρο, η σχετική

υγρασία πρέπει να κυμαίνεται από 40% – 60% το καλοκαίρι και από 20% – 30% το χειμώνα. Η ρύθμιση της σχετικής υγρασίας σ' ένα χώρο είναι ένας από τους στόχους του κλιματισμού.

Στο σχήμα 12.8 παρουσιάζονται οι καμπύλες σταθερής σχετικής υγρασίας ϕ στο διάγραμμα θερμοκρασίας ξηρού βολβού T_{DB} – ειδικής υγρασίας w .

12.9 Θερμοκρασία υγρού βολβού.

Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι ένα μέτρο της ικανότητας του μείγματος αέρα-υδρατμών να απορροφήσει επί πλέον υδρατμούς μέσω της εξατμίσεως. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας υγρού βολβού χρησιμοποιείται ένα **θερμόμετρο υγρού βολβού**, το οποίο είναι ένα κανονικό θερμόμετρο που έχει το βολβό του τυλιγμένο σε μια γάζα υγρή με απεσταγμένο νερό. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα θερμόμετρα υγρού και ξηρού βολβού είναι τοποθετημένα σε μια ενιαία βάση, όπου υπάρχει και ένα δοχείο, προκειμένου να συμπληρώνεται αποσταγμένο νερό για τις ανάγκες της εξατμίσεως (σχ. 12.9).

Καθώς εξατμίζεται το νερό που έχει η γάζα, ο βολβός του θερμομέτρου ψύχεται ως συνάρτηση της σχετικής υγρασίας και έτσι λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της εξατμίσεως. Η μέτρηση που παίρνουμε ονομάζεται **θερμοκρασία υγρού βολβού** (wet-bulb temperature) T_{DW} και είναι πάντοτε μικρότερη από τη **θερμοκρασία ξηρού βολβού** T_{DB} .

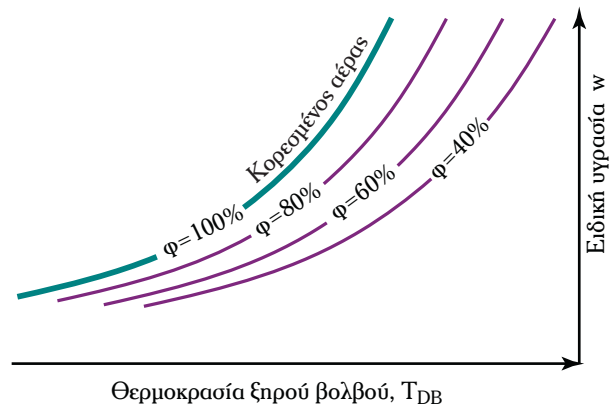
Στην περίπτωση που ο αέρας είναι κορεσμένος, οπότε δεν είναι δυνατή η εξάτμιση, η θερμοκρασία υγρού βολβού ισούται με τη θερμοκρασία ψυχρού βολβού:

$$\text{Εάν } \phi = 100\%, \text{ τότε } T_{WB} = T_{DB}$$

Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής που περιβάλλει τη γάζα. Εάν τοποθετηθεί θερμό νερό στη δεξαμενή, αυτό στο βολβό θα συνεχίζει να εξατμίζεται και θα ψυχθεί μέχρι να φτάσει τη θερμοκρασία υγρού βολβού του περιβάλλοντος ατμοσφαιρικού αέρα.

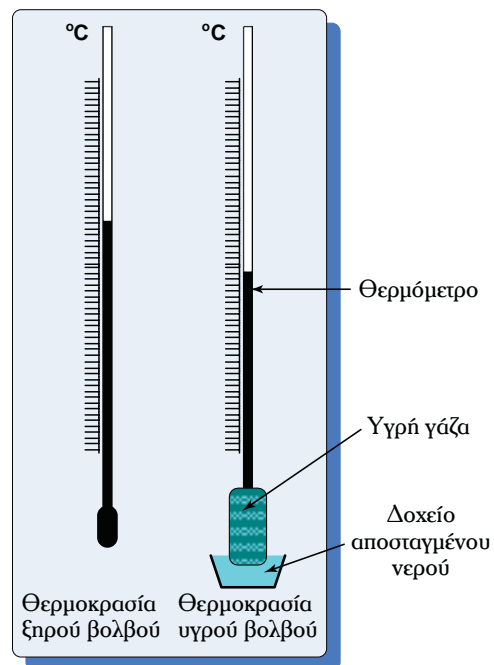
Για να επιτευχθεί μέγιστη εξάτμιση και ακρίβεια στη μέτρηση, ορισμένα θερμόμετρα είναι εφοδιασμένα με αλυσίδα απ' όπου αναρτώνται και περιστρέφονται με το χέρι. Μ' αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται το ρεύμα του αέρα γύρω από το βολβό. Όταν η ένδειξη του θερμομέτρου δεν κατεβαίνει άλλο, έχουμε την ακριβή θερμοκρασία υγρού βολβού.

Με δεδομένα τις θερμοκρασίες υγρού και ξηρού



Σχ. 12.8.

Καμπύλες σταθερής σχετικής υγρασίας.



Σχ. 12.9.

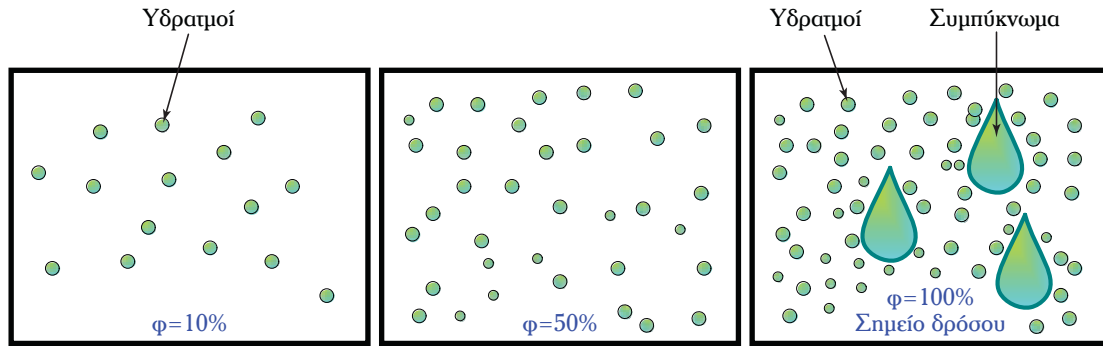
Θερμόμετρα ξηρού και υγρού βολβού.

βολβού, όπως θα δούμε παρακάτω μπορούν να προσδιοριστούν όλες οι ιδιότητες του υγρού αέρα με χρήση του ψυχομετρικού χάρτη.

12.10 Θερμοκρασία δρόσου.

Η συγκέντρωση υδρατμών πάνω από το όριο κορεσμού έχει ως αποτέλεσμα τη **συμπύκνωση υδρατμών** σε σταγόνες.

Όπως φαίνεται γραφικά στο σχήμα 12.10 με την αύξηση της σχετικής υγρασίας στο χώρο, τα σταγονίδια των υδρατμών έρχονται πλησιέστερα, με αποτέλεσμα να συμπυκνώνονται και να σχηματίζουν στα-



Σχ. 12.10.

Συμπύκνωση υδρατμών.

γόνες. Έτσι, στην κατάσταση κορεσμού συνυπάρχει νερό σε αέρια φάση (υδρατμοί) και σε υγρή φάση (συμπύκνωμα).

Όταν ο αέρας περνάει από έναν ψυχρό εναλλάκτη, ο σχηματισμός των σταγόνων συμπύκνωματος πραγματοποιείται πάνω στην ψυχρότερη επιφάνεια, που συνήθως είναι η επιφάνεια του ψύκτη αέρα. Η θερμοκρασία της ψυχρής επιφάνειας, για την οποία αρχίζει η συμπύκνωση των υδρατμών ονομάζεται **θερμοκρασία ή σημείο δρόσου**. Στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις η ιδιότητα των υδρατμών να συμπυκνώνονται στην κατάσταση κορεσμού, όπως θα δούμε παρακάτω, χρησιμοποιείται στις κλιματιστικές μονάδες όταν θέλουμε να γίνει αφύγρανση του αέρα σ' ένα χώρο.

12.11 Ειδικός όγκος.

Όπως έχουμε αναφέρει, στην ψυχομετρία τα θεμελιώδη μεγέθη ανάγονται ως προς τη μάζα του ξηρού αέρα. Έτσι, αν σ' ένα χώρο ο αέρας έχει όγκο V , τότε ο **ειδικός όγκος** του **υγρού αέρα** v θα είναι:

$$v = \frac{V}{m_{\xi.a.}} \quad (4)$$

όπου $m_{\xi.a.}$ η μάζα του **ξηρού** αέρα στο χώρο αυτό.

Ο ειδικός όγκος μετρείται σε m^3/kg στο διεθνές σύστημα μονάδων ή σε ft^3/lb στο αμερικανικό σύστημα μονάδων.

Ο ειδικός όγκος μπορεί να αναχθεί και στη μάζα του μείγματος αέρα-υδρατμών. Αν m_{H_2O} είναι η μάζα των υδρατμών και $m_{v.a.}$ η μάζα του υγρού αέρα. Τότε $m_{v.a.} = m_{\xi.a.} + m_{H_2O}$. Μπορούμε να ορίσουμε τον **ειδικό όγκο ανά μονάδα μάζας υγρού αέρα** u ως:

$$u = \frac{V}{m_{v.a.}} \quad (5)$$

Από τον ορισμό της ειδικής υγρασίας [σχέση (1)] προκύπτει:

$$w = \frac{m_{H_2O}}{m_{\xi.a.}} \Rightarrow 1 + w = \frac{m_{H_2O} + m_{\xi.a.}}{m_{\xi.a.}} \quad (6)$$

η σχέση (6) γίνεται:

$$1 + w = \frac{m_{v.a.}}{m_{\xi.a.}} \Rightarrow m_{\xi.a.} = \frac{m_{v.a.}}{1 + w} \quad (7)$$

Αντικαθιστώντας την (7) στην (4) προκύπτει:

$$\begin{aligned} v &= \frac{V}{m_{\xi.a.}} \Rightarrow v = \frac{V}{\frac{m_{v.a.}}{1 + w}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow v = \frac{V}{m_{v.a.}} \cdot (1 + w) \end{aligned} \quad (8)$$

Δεδομένου ότι ο όγκος του υγρού αέρα είναι ίσος με τον όγκο του ξηρού αέρα, ο όρος $\frac{V}{m_{v.a.}}$ στη (8) εκφράζει τον ειδικό όγκο ανά μονάδα μάζας υγρού αέρα, $u = \frac{V}{m_{v.a.}}$.

Από την (8) προκύπτει η σχέση των v και u :

$$v = u \cdot (1 + w) \quad (9)$$

Αν λάβουμε υπόψη ότι η τιμή του λόγου της ειδικής υγρασίας είναι μικρή, παρατηρούμε ότι η διαφορά των v και u είναι κι αυτή μικρή.

12.12 Ειδική ενθαλπία.

Για ένα αέριο η ενθαλπία είναι η ενέργεια που περιέχει, με μορφή εσωτερικής ενέργειας m και έργου εξωθήσεως $P \cdot v$:

$$h = u + P \cdot v \quad (10)$$

Αντίστοιχα, η ενθαλπία του αερίου μείγματος αέρα και υδρατμών $h_{v,a}$ υπολογισμένη ανά 1kg ξηρού αέρα ή h ορίζεται ως το άθροισμα από τις ενθαλπίες των αερίων που το αποτελούν:

$$h = h_{\xi,a} + w \cdot h_{H_2O} \quad (11)$$

όπου: $h_{\xi,a}$ η ενθαλπία 1 kg ξηρού αέρα, w ο λόγος ειδικής υγρασίας και h_{H_2O} η ενθαλπία του κορεσμένου υδρατμού στη θερμοκρασία του μείγματος.

Η ενθαλπία του υγρού αέρα εκφράζει πόση θερμότητα περιέχει ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα. Μετρείται σε kJ/kg στο διεθνές σύστημα μονάδων ή σε Btu/lb στο αμερικανικό σύστημα μονάδων.

Η τιμή της ενθαλπίας του υγρού αέρα λαμβάνεται από τον ψυχομετρικό χάρτη [παράγρ. (12.13)]. Στην ψυχομετρία ενδιαφέρουν οι διαφορές της ενθαλπίας κατά τη μεταβολή των ιδιοτήτων του αέρα. Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων, η ψυκτική ισχύς που αντιστοιχεί στη μεταβολή ενθαλπίας κατά $12 Btu/lb$ ενός ρεύματος αέρα υγρού αέρα με παροχή μάζας $1000 \frac{lb}{h}$ υγρού αέρα ισοδυναμεί με

έναν ψυκτικό τόνο. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι πρέπει να ψύξουμε $1000 lb$ ανά ώρα υγρού αέρα με ενθαλπία $34,0 Btu/lb$ σε μία κατάσταση που η ενθαλπία θα είναι $22,0 Btu/lb$. Σ' αυτήν την περίπτωση η κλιματιστική εγκατάσταση θα πρέπει να αφαιρεί ποσό θερμότητας ίσο με:

$$1000 lb/hr \cdot (34,0 - 22,0) Btu/lb = 12,000 Btu/hr$$

Η ποσότητα αυτή της ψυκτικής ισχύος ονομάζεται **1 ψυκτικός τόνος** (refrigerant tone—R.T.):

$$1 R.T. = 12,000 Btu/hr$$

12.13 Ο ψυχομετρικός χάρτης.

Οι ιδιότητες του υγρού αέρα παρουσιάζονται γραφικά στον ψυχομετρικό χάρτη. Η κατανόηση του χάρτη είναι σημαντική για την κατανόηση των διεργασιών και των μεταβολών του αέρα στα συστήματα κλιματισμού και αερισμού. Δεδομένου ότι στις εφαρμογές του κλιματισμού η πίεση του αέρα είναι σταθερή, ο ψυχομετρικός χάρτης αναφέρεται σε υγρό αέρα σταθερής πίεσεως. Η πίεση του αέρα, για την οποία είναι κατασκευασμένο κάθε διάγραμμα αναγράφεται στο υπόμνημα.

Στο σχήμα 12.13α παρουσιάζεται η βάση του ψυχομετρικού διαγράμματος. Το διάγραμμα έχει

άξονες την ειδική υγρασία και την ενθαλπία. Η γωνία των αξόνων δεν είναι ορθή. Είναι τέτοια τιμή, ώστε σε έναν οριζόντιο άξονα να εμφανίζεται η θερμοκρασία ξηράς σφαίρας ως μεταβλητή, ενώ στον κατακόρυφο φαίνεται η ειδική υγρασία. Οι γραμμές σταθερής ειδικής υγρασίας (κόκκινο χρώμα) είναι οριζόντιες ευθείες, παράλληλες μεταξύ τους. Οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας ξηρού βολβού (μπλε χρώμα) είναι ευθείες όχι ακριβώς κάθετες στον οριζόντιο άξονα και όχι παράλληλες μεταξύ τους. Η καμπύλη γραμμή στο αριστερό άκρο του διαγράμματος (πράσινο χρώμα) δείχνει το μέγιστο ποσό υγρασίας που μπορεί ο αέρας να συγκρατήσει και αντιστοιχεί στη γραμμή κορεσμού ή αλλιώς στο σημείο δρόσου. Έτσι, τα σημεία πάνω στην καμπύλη αυτή έχουν σχετική υγρασία $w = 100\%$.

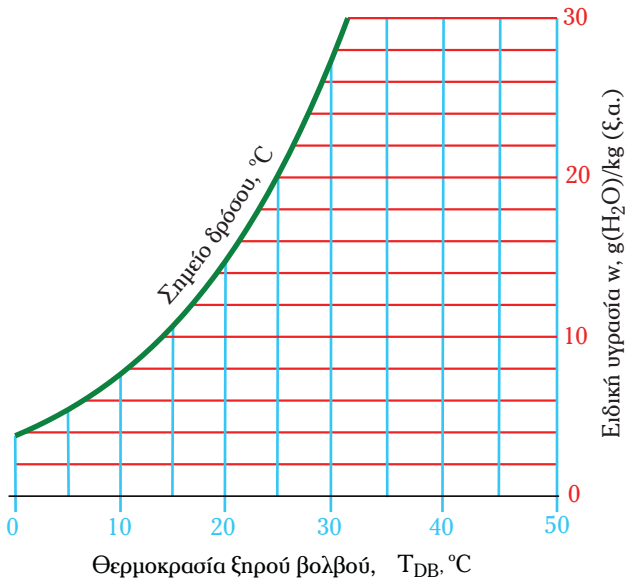
Στο σχήμα 12.13β με κόκκινο χρώμα έχουν προστεθεί οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας υγρού βολβού T_{WB} . Όπως φαίνεται, οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας υγρού βολβού είναι κεκλιμένες περίπου ευθείες. Μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε ότι οι θερμοκρασίες ξηρού και υγρού βολβού είναι ίσες πάνω στη γραμμή κορεσμού.

Στο σχήμα 12.13γ παρουσιάζεται το διάγραμμα, όπου προστίθενται οι καμπύλες $\langle \phi = \text{σταθ} \rangle$ σταθερής σχετικής υγρασίας. Οι καμπύλες σταθερής σχετικής υγρασίας ϕ σημαίνονται με γαλάζιο χρώμα και είναι καμπύλες που απομακρύνονται με τη γραμμή κορεσμού.

Στο σχήμα 12.13δ το διάγραμμα ολοκληρώνεται με την προσθήκη γραμμών σταθερής ειδικής ενθαλπίας $\langle h = \text{σταθ} \rangle$, οι οποίες σημαίνονται με μπλε χρώμα και οι γραμμές σταθερού ειδικού όγκου $\langle v = \text{σταθ} \rangle$, οι οποίες σημαίνονται με πράσινο χρώμα. Επίσης έχει προστεθεί ο κεκλιμένος άξονας μετρήσεως των ενθαλπιών. Οι γραμμές σταθερής ενθαλπίας είναι κεκλιμένες ευθείες, παράλληλες μεταξύ τους, δεδομένου ότι ο κεκλιμένος άξονας των ενθαλπιών αποτελεί το δεύτερο άξονα του διαγράμματος. Οι γραμμές σταθερού ειδικού όγκου, δηλαδή όγκου ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα είναι πρακτικά ευθείες κεκλιμένες, μη παράλληλες μεταξύ τους.

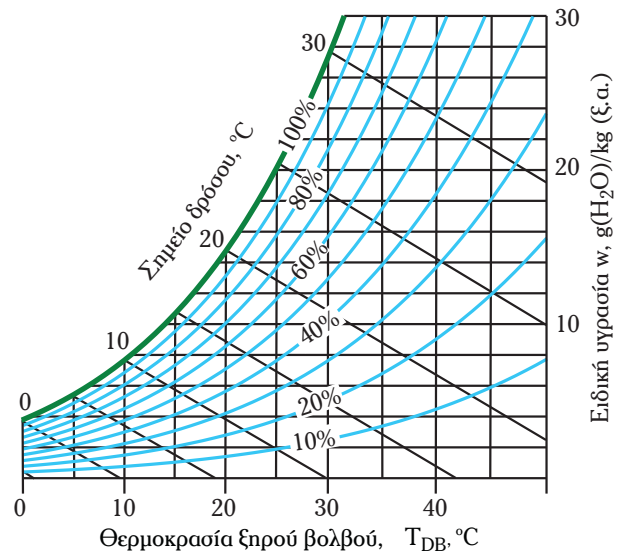
Όπως έχομε αναφέρει, η πίεση του αέρα σε κάθε διάγραμμα είναι σταθερή. Έχουν κατασκευαστεί πέντε συνολικά ψυχομετρικά διαγράμματα, σε περιοχές θερμοκρασιών ξηρού βολβού και υψομέτρων που δίνονται στον πίνακα 12.13.

Σε παλαιότερες εκδόσεις υπήρχαν ψυχομετρικοί χάρτες και για άλλες πιέσεις.



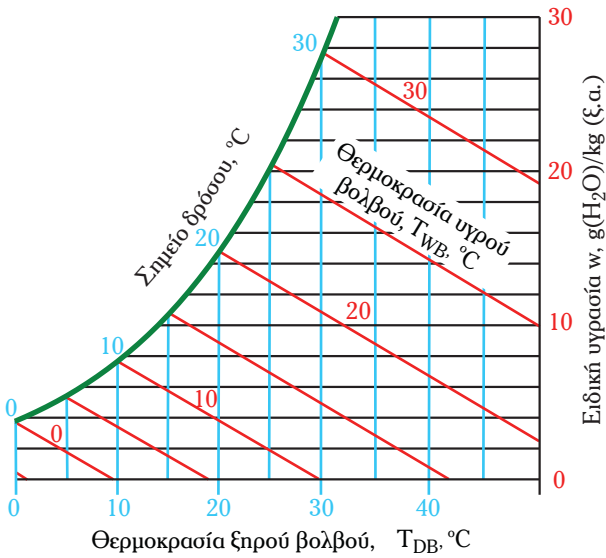
Σχ. 12.13α.

Γραμμές σταθερής θερμοκρασίας ξηρού βολβού (μπλε), σταθερής ειδικής υγρασίας (κόκκινη) και καμπύλη κορεσμού (σημείου δρόσου).



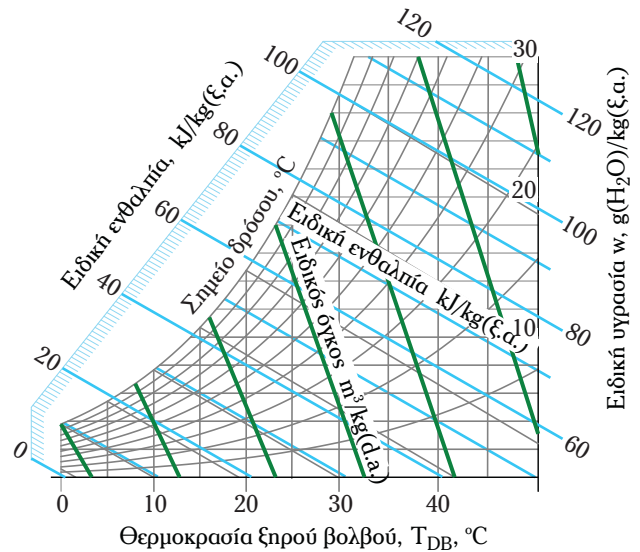
Σχ. 12.13γ.

Καμπύλες σταθερής σχετικής υγρασίας.



Σχ. 12.13β.

Γραμμές σταθερής θερμοκρασίας υγρού βολβού.



Σχ. 12.13δ.

Γραμμές σταθερής ειδικής ενθαλπίας και σταθερού ειδικού όγκου ξηρού αέρα.

Πίνακας 12.13
Περιοχές ψυχομετρικών διαγραμμάτων ASHRAE.

Διάγραμμα	1	2	3	4	5
Εύρος θερμοκρασιών °F	32 – 120	–40 – 50	60 – 250	32 – 120	32 – 120
Εύρος θερμοκρασιών °C	0 – 48,8	–40 – 10	15,5 – 121,1	0 – 48,88	0 – 48,88
Πίεση mm Hg	760	760	760	24,89	22,65
Υψόμετρο ft	0	0	0	5000	7500
Υψόμετρο m	0	0	0	1524	2286

Τα διαγράμματα 1, 2, 3 είναι κατασκευασμένα για κανονική πίεση που αντιστοιχεί στο υψόμετρο της θάλασσας και για θερμοκρασίες κανονικές, χαμηλές και υψηλές αντίστοιχα. Τα διαγράμματα 4, 5 είναι κατασκευασμένα για κανονικές θερμοκρασίες και για μεγάλα υψόμετρα.

Στις εφαρμογές κλιματισμού πλοίων μάς ενδιαφέρει η πίεση στο υψόμετρο της θάλασσας και σε κανονικές θερμοκρασίες. Για κανονικό εύρος θερμοκρασιών και για πίεση που αντιστοιχεί στο υψόμετρο της θάλασσας, σε πίεση 101,325 kPa, το ψυχομετρικό διάγραμμα σε διεθνές σύστημα μονάδων δίνεται στο σχήμα 12.13ε, ενώ στο αγγλοσαξονικό στο σχήμα 12.13στ.

Με τον ψυχομετρικό χάρτη μπορούμε να κατατάξουμε τις κλιματικές συνθήκες. Όπως φαίνεται από το σχήμα 12.13ζ το αίσθημα ανέσεως υπάρχει για τις συνθήκες αέρα που δίνονται παρακάτω:

Συνθήκες Κλιματικής Ανέσεως (άνετο κλίμα)

Θερμοκρασία ξηρού βολβού (T_{DB})

από **20 °C** έως **27 °C**

Ειδική υγρασία (w) από **5 gr H₂O /m³ d.a.**

έως **13 gr H₂O/m³ d.a.**

Σχετική υγρασία (ϕ) από **20%** έως **70%**

Στον ψυχομετρικό χάρτη μπορούμε να απεικονίσουμε τις μεταβολές του αέρα κατά τον κλιματισμό, τον αερισμό και τη θέρμανση ενός χώρου.

Οι μεταβολές αυτές γίνονται, προκειμένου να εξασφαλίσουν συνθήκες ανέσεως στους ανθρώπους που διαβιούν στο χώρο αυτόν (π.χ. αίθουσες συγκεντρώσεως, χώροι διαβίωσης), να εξασφαλίσουν ειδικές συνθήκες διατηρήσεως προϊόντων (π.χ. χώροι συντηρήσεως τροφίμων) ή χρήσεως ειδικού εξοπλισμού (π.χ. μαγειρεία, αίθουσες με ηλεκτρονικό εξοπλισμό κ.λπ.).

12.14 Αερισμός χώρων – Περιγραφή λειτουργίας εγκαταστάσεως αερισμού-κλιματισμού.

Όπως είδαμε στις παραπάνω παραγράφους και στο σχήμα 12.13ζ, οι συνθήκες κλιματικής ανέσεως εξαρτώνται όχι μόνο από τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του χώρου, αλλά και από την περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία. Επί πλέον, σε προβλήματα

ψύξεως-θερμάνσεως και υγράνεως-αφυγράνεως προστίθενται και οι ανάγκες αερισμού του χώρου, δηλαδή η απαίτηση για ανανέωση του αέρα. Οι ανάγκες αερισμού προδιαγράφονται ανάλογα με την κατηγορία του χώρου σε αριθμό εναλλαγών του αέρα ανά ώρα και ενδεικτικά δίνονται στον πίνακα 12.14.

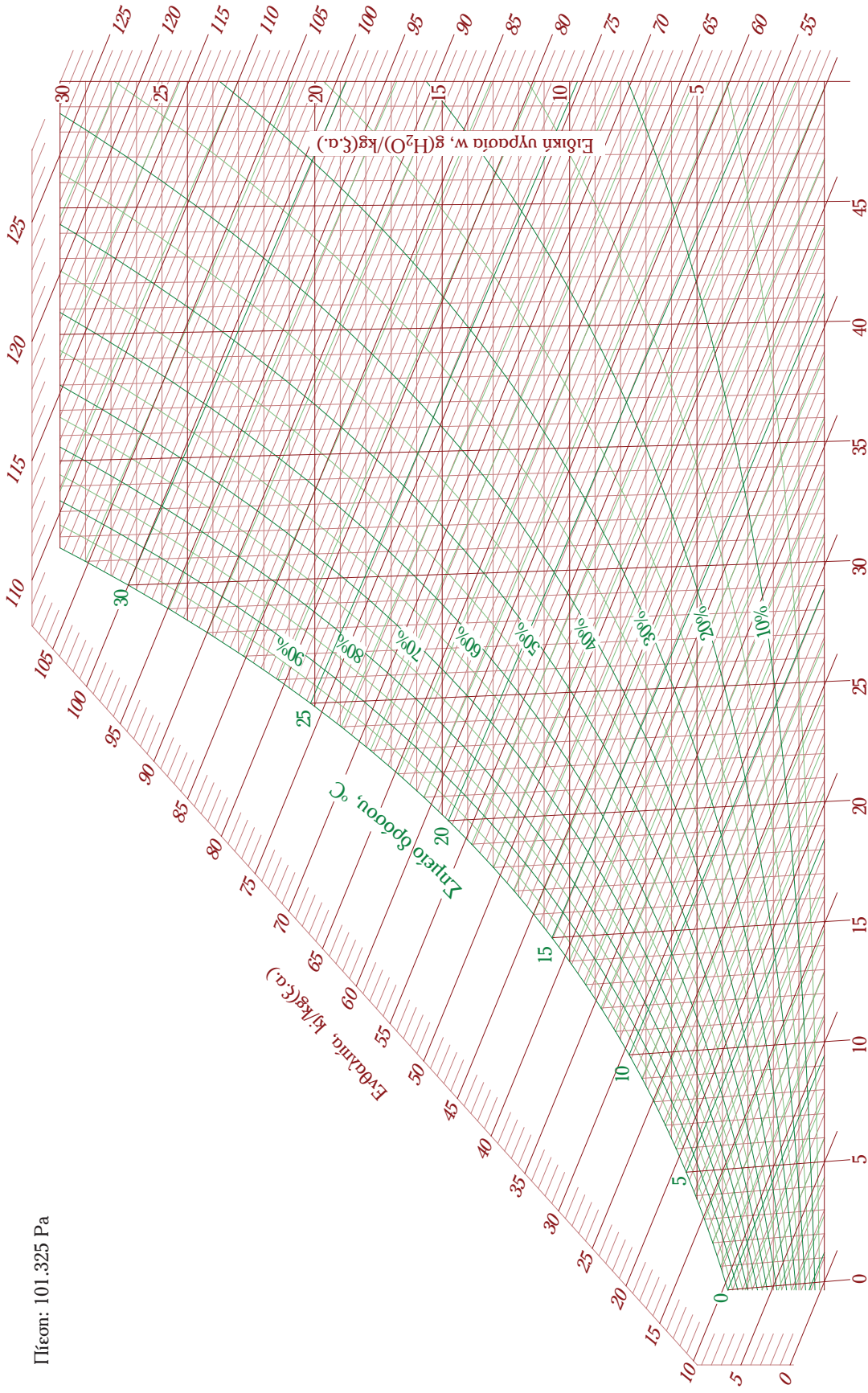
Για παράδειγμα, σε ένα σαλόνι επιβατών με όγκο αέρα 300 m³ το σύστημα αερισμού θα πρέπει να προσάγει 15 x 300 m³ = 4500 m³ εξωτερικού αέρα ανά ώρα.

Σε έναν κλιματιζόμενο χώρο το παραγόμενο θερμικό φορτίο που πρέπει να απομακρυνθεί, αποτελείται από τη θερμότητα που παράγεται στο χώρο από ανθρώπους, φώτα, μηχανήματα που λειτουργούν μέσα σ' αυτόν κ.λπ. και από τη θερμότητα που εισέρχεται στο χώρο από το περιβάλλον διά μέσου της μόνωσης των χωρισμάτων και διά μέσου της ακτινοβολίας από τα ανοίγματα (π.χ. παράθυρα). Επίσης, θερμικό φορτίο προς απομάκρυνση από το χώρο είναι και η παραγόμενη υγρασία μέσα σ' αυτόν.

Ας πάρουμε για παράδειγμα το χώρο του σχήματος 12.14. Στην κλιματιστική εγκατάσταση αυτού του σχήματος 12.14 δεν υπάρχει δίκτυο αεραγωγών απαγωγής που ενδεχομένως απαιτείται για τον κλιματισμό χώρων με σύνθετη γεωμετρία. Ο χώρος ψύχεται και αερίζεται μέσω μιας εξωτερικά τοποθετημένης κεντρικής κλιματιστικής μονάδας. Ο αέρας εισέρχεται στην κατάσταση προσαγωγής, και λαμβάνει το παραγόμενο φορτίο (θερμότητα και υγρασία) του χώρου. Έτσι, ο αέρας ανακυκλοφορίας και ο αέρας απαγωγής από τα ανοίγματα έχουν διαφορά ενθαλπίας από τον αέρα προσαγωγής, που αντιστοιχεί στο αισθητό και λανθάνον φορτίο του χώρου. Επί πλέον το ρεύμα αέρα ανακυκλοφορίας μεταφέρει υγρασία στην κλιματιστική μονάδα. Ο αερισμός γίνεται μέσω του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στην εισαγωγή της κλιματιστικής και αναμειγνύεται με τον αέρα ανακυκλοφορίας. Δεδομένου ότι στο χώρο υπάρχει ελαφριά υπερπίεση, ο πλεονάζων αέρας απάγεται προς το περιβάλλον μέσω ανοιγμάτων. Έτσι ένα τμήμα του αέρα του χώρου παραλαμβάνει θερμικό φορτίο και ανακυκλοφορεί μέσω της κλιματιστικής εγκαταστάσεως, ενώ ένα άλλο τμήμα απορρίπτεται προς το περιβάλλον και συμπληρώνεται με νωπό εξωτερικό αέρα για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αερισμού.

Η αναλογία του αέρα επιστροφής και του εξωτερικού αέρα ρυθμίζεται από διαφράγματα στους αγωγούς.

Πίεση: 101.325 Pa

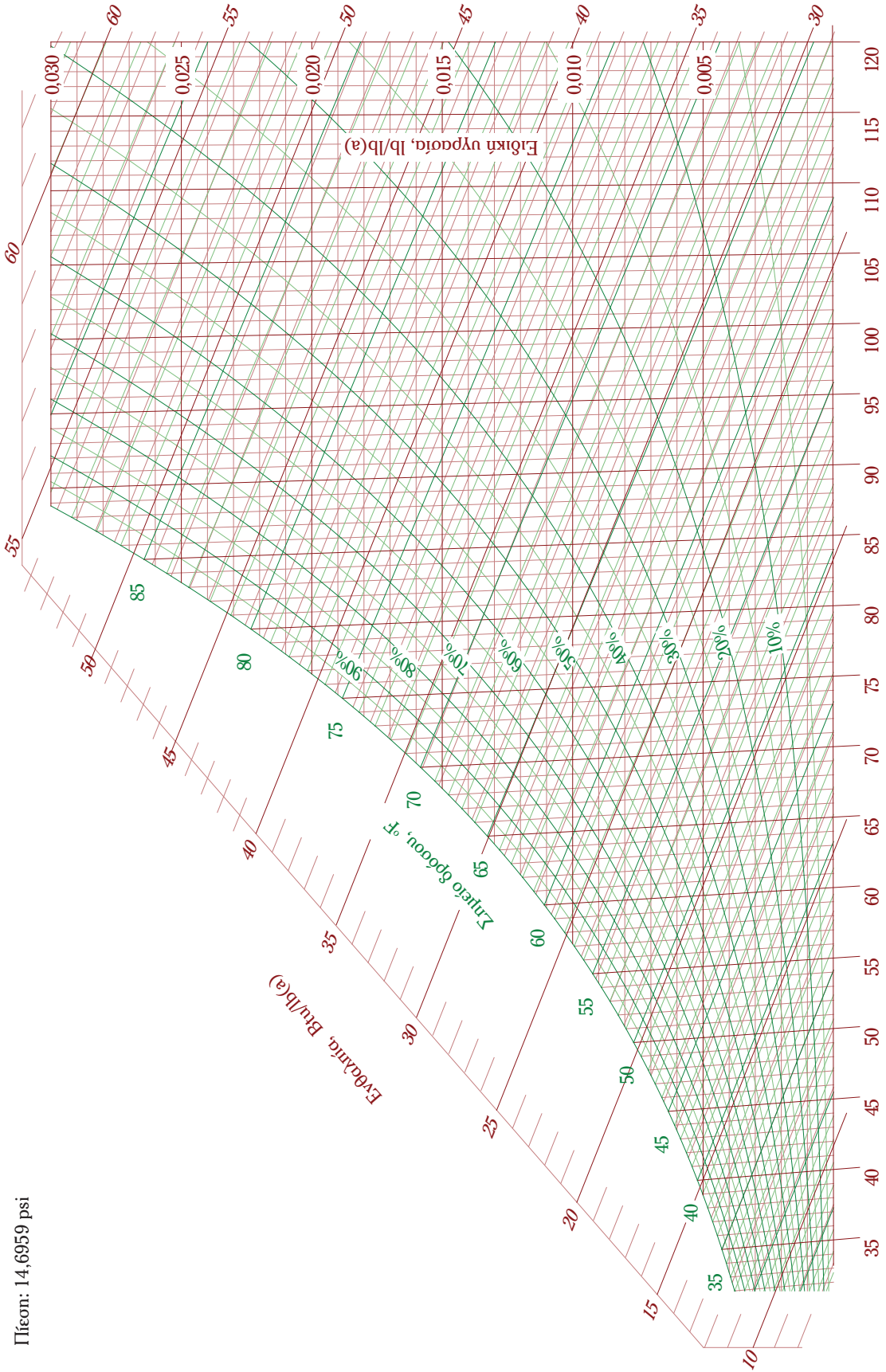


Θερμοκρασία ξηρού βολβού, TW, °C

Σχ. 12.13ε.

Ψυχομετρικός χάρτης ιδιοτήτων υγρού αέρα σε κανονικές θερμοκρασίες στο επίπεδο θάλασσας (διεθνές σύστημα μονάδων).

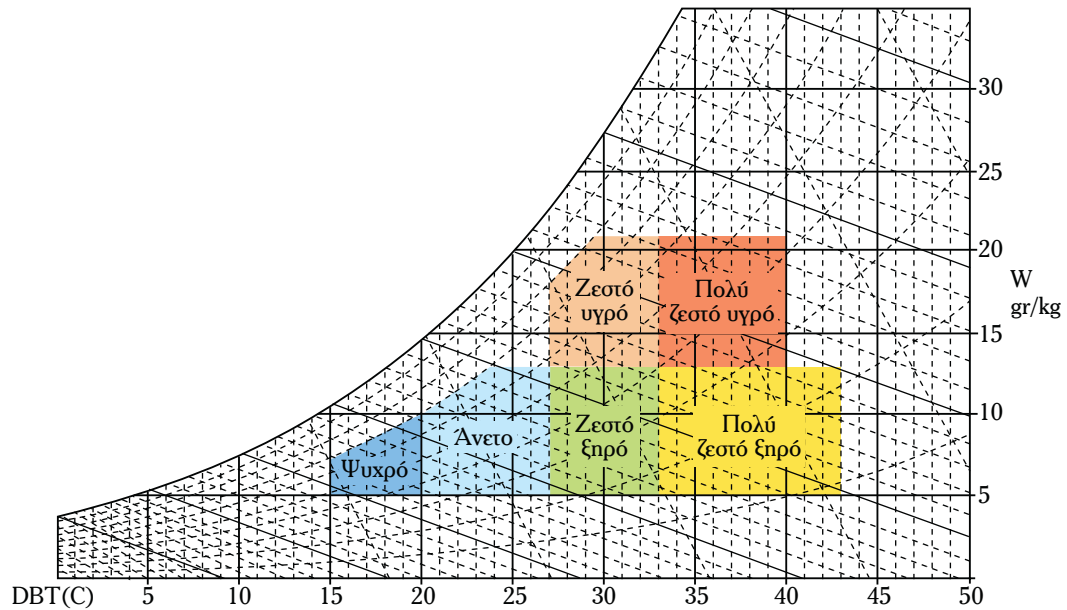
Πίεση: 14,6959 psi



Θερμοκρασία ξηρού βολβού, °F

Σχ. 12.13στ.

Ψυχομετρικός χάρτης ιδιοτήτων υγρού αέρα – κανονικές θερμοκρασίες – επίπεδο θάλασσας (αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων).



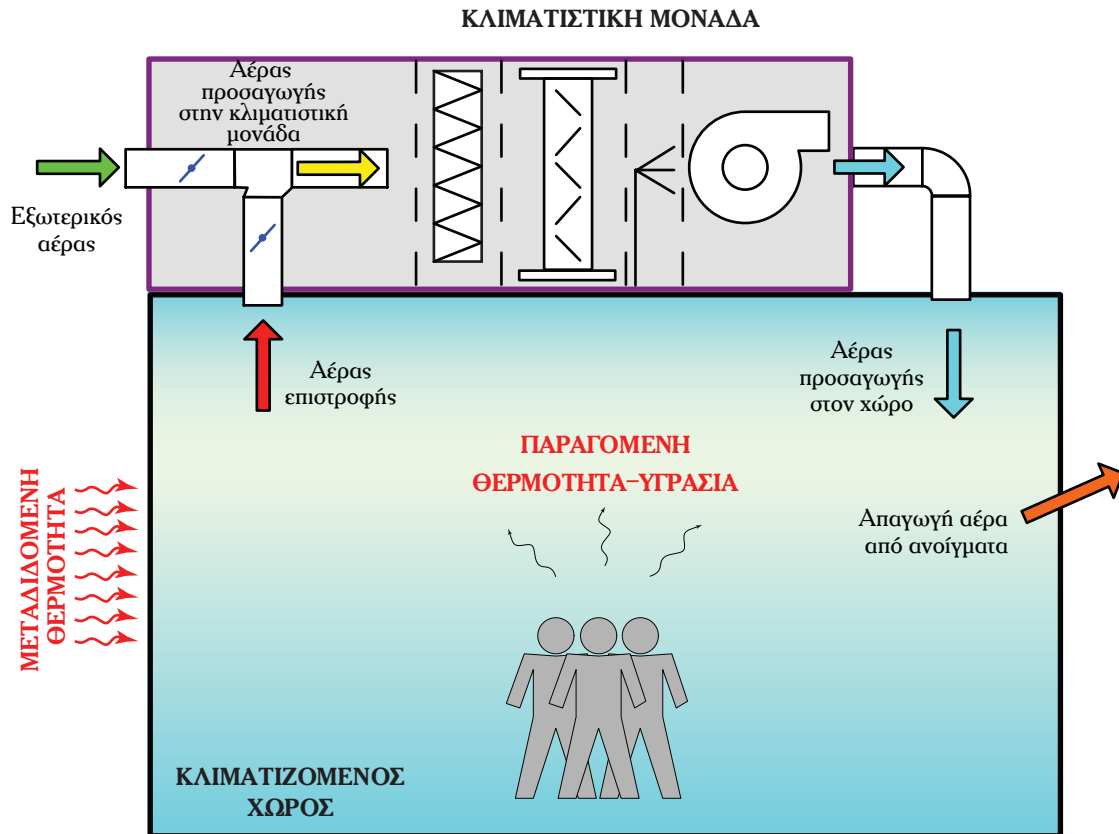
Σχ. 12.13ζ.

Κατάταξη κλιματικών συνθηκών στον ψυχομετρικό χάρτη.

Πίνακας 12.14

Απαιτήσεις χώρων σε αερισμό.

	Χώρος	Απαιτούμενος αέρας ανά άτομο m^3/h	Απαιτούμενες αλλαγές του αέρα του χώρου ανά ώρα
Εγκαταστάσεις πλοίων	Κυρίως μηχανοστάσιο ανά PS μηχανής: – Μηχανές Ντιζελ. – Αεριοστρόβιλοι.		10 – 20 m^3/h 6 – 8 m^3/h
	Χώρος επισκευών-μηχανουργείο.		50 ή 10 – 20
	Χώρος μπαταριών.		70
	Χώρος ασυρμάτου.		15 – 20
	Χώρος χαρτών.		10 – 15
	Καμπίνες επιβατών ή πληρώματος.		5 – 15
	Σαλόνια.		50 ή 15
	Κουζίνες.		30 – 60
	Νοσοκομείο.		100 – 125
Εγκαταστάσεις ξηράς	Θέατρα-κινηματογράφοι.	10 – 15	
	Θάλαμοι ασθενών.	50 – 70	
	Αίθουσες συσκέψεων και διαλέξεων.	60 – 100	
	Σαλόνια ξενοδοχείων.	50 – 60	
	Εργοστάσια (πλην ορισμένων ειδικής κατηγορίας).	15 – 25	
	Εσπιατόρια.	25 – 35	



Σχ. 12.14.

Κλιματιστική εγκατάσταση με κεντρική κλιματιστική μονάδα.

Οι μεταβολές του αέρα σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις όπως αυτή του σχήματος 12.14 και η αποτύπωσή τους στο ψυχομετρικό διάγραμμα, αναλύονται παρακάτω.

Σε κάθε κλιματιστική μονάδα συναντούμε τα ακόλουθα τμήματα, στα οποία είναι τοποθετημένα τα διάφορα εξαρτήματα επεξεργασίας του αέρα:

- α) Το τμήμα μείξεως (νωπού και αέρα επιστροφής).
- β) Το τμήμα φίλτρων αέρα.
- γ) Το τμήμα υγράνσεως.
- δ) Το τμήμα των στοιχείων ψύξεως και θερμάνσεως και
- ε) το τμήμα των ανεμιστήρων.

Στην περίπτωση του κλιματισμού στα πλοία, η κλιματιστική μονάδα συνήθως δεν τοποθετείται μέσα σε κέλυφος, αλλά σε ειδικό χώρο στο ανώτερο κατάστρωμα.

Οι μεταβολές του αέρα ανακυκλοφορίας, με την ανάμειξή του με τον εξωτερικό αέρα, την ψύξη και αφύγρανσή του από την κλιματιστική μονάδα και την ανάμειξή του με τον αέρα του χώρου, αποσκοπούν

στην επίτευξη συνθηκών θερμικής ανέσεως.

12.15 Κλιματιστικές εγκαταστάσεις χώρων ενδιαιτήσεως πληρώματος-επιβατών.

Οι κεντρικές εγκαταστάσεις κλιματισμού των χώρων ενδιαιτήσεως των εμπορικών πλοίων είναι σχεδιασμένες ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες ψύξεως και θερμάνσεως του αέρα, καθώς και τις ανάγκες υγράνσεως και αφυγράνσεως, προκειμένου οι διαβιούντες στο πλοίο να έχουν το αίσθημα θερμικής ανέσεως. Επίσης, οι εγκαταστάσεις είναι σχεδιασμένες για να καλύπτουν τις απαιτήσεις των χώρων σε αερισμό, χωρίς να υπάρχει όχληση από οσμές από γειτονικούς χώρους.

Για τον κλιματισμό των χώρων ενδιαιτήσεων των πλοίων χρησιμοποιείται η γενική διάταξη κλιματισμού του σχήματος 12.14. Η επεξεργασία του αέρα πραγματοποιείται σε μονάδες επεξεργασίας που βρίσκονται στο ανώτερο κατάστρωμα και είναι διπλές, για να υπάρχει εφεδρεία. Η κάθε μονάδα επεξεργασίας αέρα μπορεί να κλιματίσει το 50% της

παροχής αέρα που χρειάζεται το πλοίο.

Ένα μέρος του αέρα ανακυκλοφορεί και ένα μέρος απορρίπτεται προς το περιβάλλον μέσω ανοιγμάτων. Ο αέρας ανακυκλοφορίας αναμειγνύεται με εξωτερικό νωπό αέρα και περνάει μέσα από τις μονάδες επεξεργασίας αέρα. Στη συνέχεια, αφού ψυχθεί ή θερμανθεί και αφού υγρανθεί ή αφυγρανθεί οδηγείται μέσω αεραγωγών στους κλιματιζόμενους χώρους.

Ως προς τον αριθμό των αεραγωγών που χρησιμοποιούνται, ένα κεντρικό κλιματιστικό σύστημα μπορεί να ανήκει σε μία από τις εξής δύο κατηγορίες:

α) **Σύστημα μονών αεραγωγών**, όπου χρησιμοποιούνται μόνο αεραγωγοί προσαγωγής κλιματιζόμενου αέρα, και

β) **σύστημα διπλών αεραγωγών**, όπου χρησιμοποιούνται αεραγωγοί προσαγωγής κλιματισμένου αέρα και αεραγωγοί επιστροφής του αέρα του χώρου στην εγκατάσταση.

Το σύστημα διπλών αεραγωγών χρησιμοποιείται σε πλοία με μεγάλη έκταση της κλιματιστικής εγκαταστάσεως, στα οποία δημιουργείται μεγάλη πτώση πίεσεως κατά τη ροή του αέρα. Στα πλοία αυτά υπάρχουν περισσότεροι ανεμιστήρες, οι οποίοι υπερνικούν τις τριβές στα διάφορα απομακρυσμένα σημεία της εγκαταστάσεως. Στο σύστημα διπλών αεραγωγών σε κάθε χώρο υπάρχουν δύο στόμια αεραγωγών: το στόμιο προσαγωγής και το στόμιο του αεραγωγού επιστροφής, από όπου ο αέρας επιστρέφει προς την κλιματιστική μονάδα. Έτσι, το σύστημα αυτό είναι ακριβότερο και χρησιμοποιείται μόνο σε χώρους με πολύπλοκη γεωμετρία, όπου ο αερισμός πραγματοποιείται με δυσκολία.

Στα σύγχρονα πλοία συνήθως χρησιμοποιείται το σύστημα μονών αεραγωγών, λόγω απλούστερης και οικονομικότερης κατασκευής. Στο σύστημα μονών αεραγωγών ο αέρας προσάγεται σε κάθε χώρο μέσω του στομίου του αεραγωγού προσαγωγής, και αφού πάρει το αισθητό (θερμότητα) και το λανθάνον (υγρασία) φορτίο του χώρου, η επιστροφή του πραγματοποιείται από τους κοινόχρηστους χώρους, όπως διάδρομοι και κλιμακοστάσια. Σε περίπτωση που οι χώροι του πλοίου μοιράζονται σε ζώνες με διαφορετική για την καθεμιά θερμοκρασία, όπως συνήθως γίνεται στα επιβατηγά πλοία, το σύστημα μονών αεραγωγών μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερους από έναν ψύκτες αέρα και από την κλιμα-

τιστική μονάδα ξεκινούν διαφορετικοί αεραγωγοί προσαγωγής για κάθε ζώνη.

Ως προς το εργαζόμενο μέσο, οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις των πλοίων διαχωρίζονται σε:

α) **Εγκαταστάσεις με εργαζόμενο μέσο ένα ψυκτικό ρευστό ή φρέον** (π.χ. R-22, R-404 κ.λπ.), όπου ο ψύκτης αέρα είναι ταυτόχρονα και ο εξατμιστής μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι εγκαταστάσεις **άμεσος ψύξεως**, και σε

β) **εγκαταστάσεις με ενδιάμεσο εργαζόμενο μέσο άλμη**, όπου ο αέρας του κλιματισμού ψύχεται στους ψύκτες από άλμη, που με τη σειρά της ψύχεται σε μια ψυκτική μηχανή. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι εγκαταστάσεις **έμμεσος ψύξεως**.

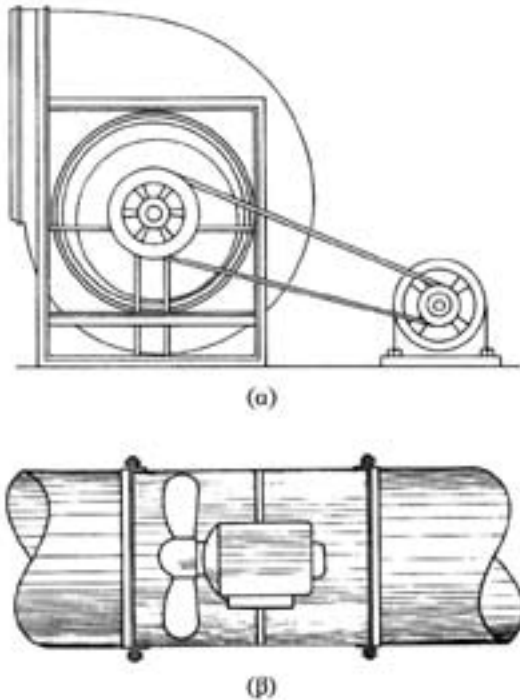
Η ψυκτική μηχανή με το φρέον ή την ψυχρή άλμη κατά περίπτωση, βρίσκεται σε ειδικό χώρο του μηχανοστασίου που λέγεται **ψυχροστάσιο**. Αυτό γίνεται γιατί οι ψυκτικές μηχανές των πλοίων χρησιμοποιούν ενδιάμεσο κύκλωμα νερού που ψύχεται από θαλασσινό νερό για τη συμπύκνωση των ατμών μετά το συμπιεστή. Από εκεί το υγρό ψυκτικό φρέον, ή η ψυχρή άλμη οδηγούνται με αγωγούς στο χώρο της κλιματιστικής μονάδας. Για την εξασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης υπάρχουν δύο όμοιες ψυκτικές μηχανές, οι οποίες μπορούν να φέρουν η κάθε μία το 50% του φορτίου.

Η θέση της κλιματιστικής μονάδας στα πλοία συνήθως είναι σε ειδικό χώρο στο ανώτερο κατάστρωμα. Στο χώρο αυτόν καταλήγουν οι αεραγωγοί και υπάρχουν οι ψύκτες αέρα. Επίσης στο χώρο αυτό καταλήγουν αγωγοί υγρού ψυκτικού μέσου R-22 ή άλμης κατά περίπτωση.

Η κίνηση του αέρα από και προς την κλιματιστική μονάδα εξασφαλίζεται από ανεμιστήρες. Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες είναι φυγοκεντρικού τύπου και οι φτερωτές τους είναι στατικά και δυναμικά ζυγοσταθμισμένες. Συνήθως είναι **ακτινικού τύπου** (centrifugal fans), αλλά μπορεί να είναι **αξονικού τύπου** (axial flow fans) όταν οι αεραγωγοί δεν έχουν μεγάλο μήκος και μεγάλες τριβές ή όταν οι ανεμιστήρες πρέπει να τοποθετηθούν μέσα στους αεραγωγούς (σχ. 12.15α).

Στην κλιματιστική εγκατάσταση του πλοίου ρυθμίζεται η θερμοκρασία ξηρού βολβού των χώρων, ώστε να επιτυγχάνεται το αίσθημα της θερμικής ανέσεως. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας επιδρά στην

ποσότητα του ψυκτικού μέσου που εισέρχεται στον ψύκτη αέρα της μονάδας επεξεργασίας αέρα και σε αυτόν. Για την επίτευξη του αισθήματος θερμικής ανέσεως η συνιστώμενη ρύθμιση της θερμοκρασί-



Σχ. 12.15α.

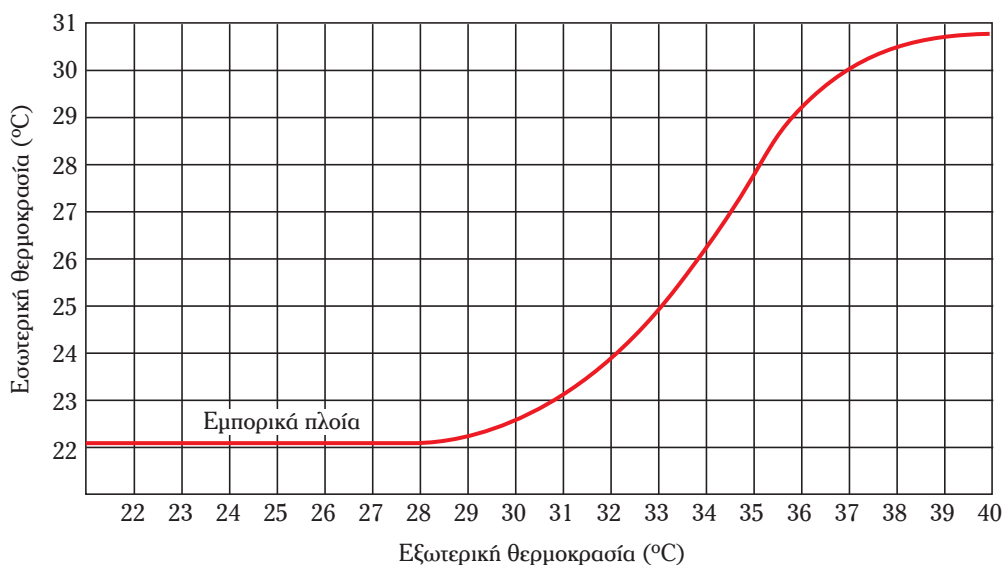
Τύποι ανεμιστήρων.

- (α) Ακτινικός ανεμιστήρας και
(β) αξονικός ανεμιστήρας.

ας των εσωτερικών χώρων αποτελεί συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας όπως φαίνεται στο σχήμα 12.15β. Στο σχήμα 12.15γ φαίνεται η διαγραμματική διάταξη ενός συστήματος κεντρικού κλιματισμού εμπορικού πλοίου.

Μία επί πλέον λειτουργία του συστήματος κλιματισμού είναι η θέρμανση του αέρα. Στα συστήματα με εργαζόμενο μέσο φρέον, όταν ξεκινάει η λειτουργία της θερμάνσεως σταματάει η λειτουργία της ψυκτικής μηχανής και ο αέρας που περνάει απ' την κλιματιστική μονάδα θερμαίνεται σ' έναν εναλλάκτη με ατμό χαμηλής πίεσεως (συνήθως 6 bar). Ο ατμός έρχεται στην κλιματιστική μονάδα με σωλήνα από το βοηθητικό λέβητα ή τον οικονομητήρα του πλοίου. Στα συστήματα με ενδιάμεσο εργαζόμενο μέσο, η άλμη ζεσταίνεται από το βοηθητικό λέβητα ή από τον οικονομητήρα. Σε επιβατηγά πλοία όπου υπάρχουν ηλεκτρομηχανές με μεγάλη ιπποδύναμη σε λειτουργία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, η άλμη μπορεί να θερμαίνεται από το νερό ψύξεως των ηλεκτρομηχανών μέσω εναλλάκτη.

Στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις των πλοίων προβλέπεται να υπάρχει τρόπος διακοπής της παροχής νωπού αέρα σε περιπτώσεις πυρκαγιάς. Επίσης, στα Δ/Ξ πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα απομονώσεως του εξωτερικού αέρα κατά τη φόρτωση, όπου ο κλιματισμός ανακυκλώνει τον αέρα της ενδοιπιπώσεως και τον διατηρεί σε υπερπίεση. Αυτό γίνεται για να μην υπάρχει δυνατότητα σε εξωτερικά δηλητηριώδη και τοξικά αέρια που δημιουργούνται



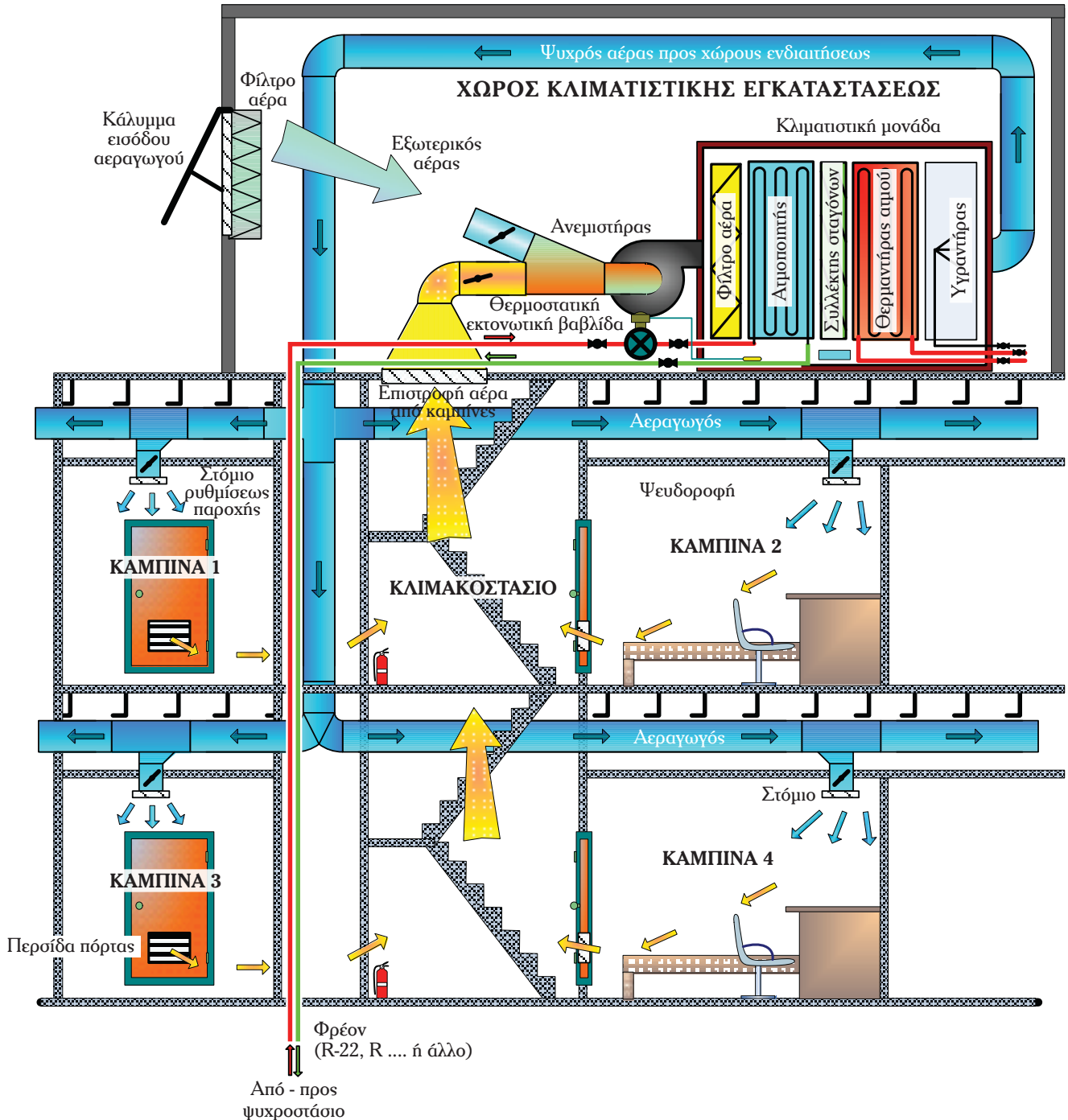
Σχ. 12.15β.

Συνιστώμενη θερμοκρασία εσωτερικών χώρων για επίτευξη αισθήματος θερμικής ανέσεως.

κατά τη φόρτωση, να εισέλθουν στους χώρους πληρώματος και είναι απαίτηση νηογνωμόνων και φορτωτών. Γι' αυτούς τους λόγους η κλιματιστική μονάδα τοποθετείται σε χώρο με αεροστεγείς πόρτες. Η αναρρόφηση αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται μέσα από ειδικά ανοίγματα που εξωτερικά μπορούν να κλειστούν με σιδερένια αεροστεγή κα-

λύμματα. Εσωτερικά των καλυμμάτων υπάρχουν φίλτρα του εξωτερικού αέρα και η αναλογία των παροχών ανακυκλοφορίας και νωπού αέρα ρυθμίζεται με διαφράγματα. Μετά τον ανεμιστήρα της κλιματιστικής υπάρχει δεύτερο φίλτρο αέρα για καθαρισμό του αέρα ανακυκλοφορίας.

Εκτός από τον ψύκτη αέρα και τον εναλλάκτη ατ-



Σχ. 12.15γ.

Διαγραμματική διάταξη ουσίματος κεντρικού κλιματισμού εμπορικού πλοίου.

μού, μέσα στην κλιματιστική μονάδα υπάρχει υδατοπαγίδα για συγκράτηση των σταγόνων, που συμπυκνώνονται όταν η θερμοκρασία κατέβει κάτω από το σημείο δρόσου, και αγωγός απομακρύνσεως του συμπυκνώματος. Επίσης υπάρχει αγωγός υγράνσεως που προσθέτει υγρασία (ατμό) στον αέρα όταν απαιτείται ύγρανση.

12.15.1 Περιγραφή-λειτουργία κλιματιστικής εγκαταστάσεως με εργαζόμενο ψυκτικό μέσο R-22 (άμεση ψύξη).

Στο σχήμα 12.15γ φαίνεται η διάταξη του συστήματος κλιματισμού ενός εμπορικού πλοίου με εργαζόμενο μέσο R-22. Η διάταξη και τα εξαρτήματα της εγκαταστάσεως είναι παρόμοια όταν το ψυκτικό μέσο είναι αλογονούχο (π.χ. R-404A). Ο κλιματισμένος αέρας προσάγεται με τον αεραγωγό προσαγωγής στις καμπίνες και στους λοιπούς χώρους και διανέμεται μέσα από αγωγούς που είναι εγκατεστημένοι στις ψευδοροφές και μέσα από στόμια. Στη συνέχεια διαφεύγει προς τους διαδρόμους και προς το κεντρικό κλιμακοστάσιο, όπου συλλέγεται το ρεύμα επιστροφής.

Το σύστημα αερισμού του σχήματος 12.15γ ονομάζεται **σύστημα μονού αεραγωγού**, διότι υπάρχει μόνο ο αεραγωγός προσαγωγής του αέρα. Όταν η γεωμετρία των χώρων ενδιαιτήσεως είναι περίπλοκη (π.χ. σε επιβατηγά πλοία) χρησιμοποιείται το σύστημα **διπλών αεραγωγών**. Στο σύστημα αυτό υπάρχουν ξεχωριστοί αεραγωγοί προσαγωγής και επιστροφής του αέρα.

Το σύστημα διπλών αεραγωγών είναι ακριβότερο κατά την κατασκευή, αλλά έχει το πλεονέκτημα της δυνατότητας διαχωρισμού των χώρων σε ανεξάρτητες ζώνες με διαφορετικές θερμοκρασίες.

Με το κλιμακοστάσιο οδηγείται μέσω κεντρικού στομίου στο χώρο της κλιματιστικής και αναμειγνύεται με εξωτερικό αέρα που έχει περάσει από εξωτερικό φίλτρο. Η αναλογία των παροχών ρυθμίζεται από τα διαφράγματα. Συνήθως, ο εξωτερικός αέρας είναι το 20–30% της συνολικής παροχής που οδηγείται στην κλιματιστική μονάδα. Μετά την κλιματιστική μονάδα ο αέρας οδηγείται εκ νέου, με τον αεραγωγό προσαγωγής, στους κλιματιζόμενους χώρους.

Στην κλιματιστική μονάδα υπάρχουν κατά σειρά:

- α) Ανεμιστήρας.
- β) Φίλτρο αέρα.

γ) Ψύκτης αέρα.

δ) Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα.

ε) Συλλέκτης σταγόνων.

στ) Θερμαντήρας ατμού και

ζ) υγραντήρας ατμού.

Μια συνήθης διάταξη της ψυκτικής εγκαταστάσεως στο ψυκροστάσιο φαίνεται στο σχήμα 12.15δ. Περιλαμβάνει δύο συμπιεστές ψυκτικού μέσου (1),(2) που μετά από τους διαχωριστές ελαίου (4), καταθλίβουν τους ατμούς σε κοινό υδρόψυκτο συμπυκνωτή (5) και συλλέκτη (6). Ακολουθεί ο εναλλάκτης υποψύξεως-υπερθερμάνσεως (7), το φίλτρο υγρού (8) και ο αφυγραντής (9). Οι ισχύες των συμπιεστών είναι επιλεγμένες, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας της κλιματιστικής εγκαταστάσεως με τη λειτουργία μόνο ενός απ' αυτούς με ρύθμιση των διακοπών 1, 2, 3, 4, 5. Μ' αυτόν τον τρόπο δεν διακόπτεται η λειτουργία της κλιματιστικής εγκαταστάσεως στις περιπτώσεις βλαβών ή συντηρήσεως κάποιου συμπιεστή, ενώ οι συμπιεστές εκκινούν και εργάζονται εκ περιτροπής μέσω του πίνακα ελέγχου (19), ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη φθορά.

Η συμπύκνωση των ατμών γίνεται με γλυκό νερό, που ψύχεται σε ενδιάμεσο εναλλάκτη από θαλασσινό νερό (12). Συνήθως στα πλοία τοποθετούνται δίδυμοι συμπυκνωτές, εδώ όμως για απλότητα του σχήματος δείχνεται η εγκατάσταση μ' ένα συμπιεστή.

Τέλος, η ψυκτική εγκατάσταση του σχήματος 12.15δ περιλαμβάνει εξαεριωτήρα (18), που απομονώνει τον αέρα που έχει οδηγηθεί στην πάνω πλευρά του συμπυκνωτή και τον οδηγεί στην ατμόσφαιρα.

Ο χειρισμός της εγκαταστάσεως γίνεται με τους εξής τρόπους:

α) **Εκκίνηση:** Στην εκκίνηση ανοίγεται ο διακόπτης 6, ο διακόπτης καταθλίψεως 3 ή 4 και ανοίγεται ελαφρά ο διακόπτης αναρροφήσεως 1 ή 2, ο οποίος ανοίγεται πλήρως, αφού εκκινήσει ο συμπιεστής.

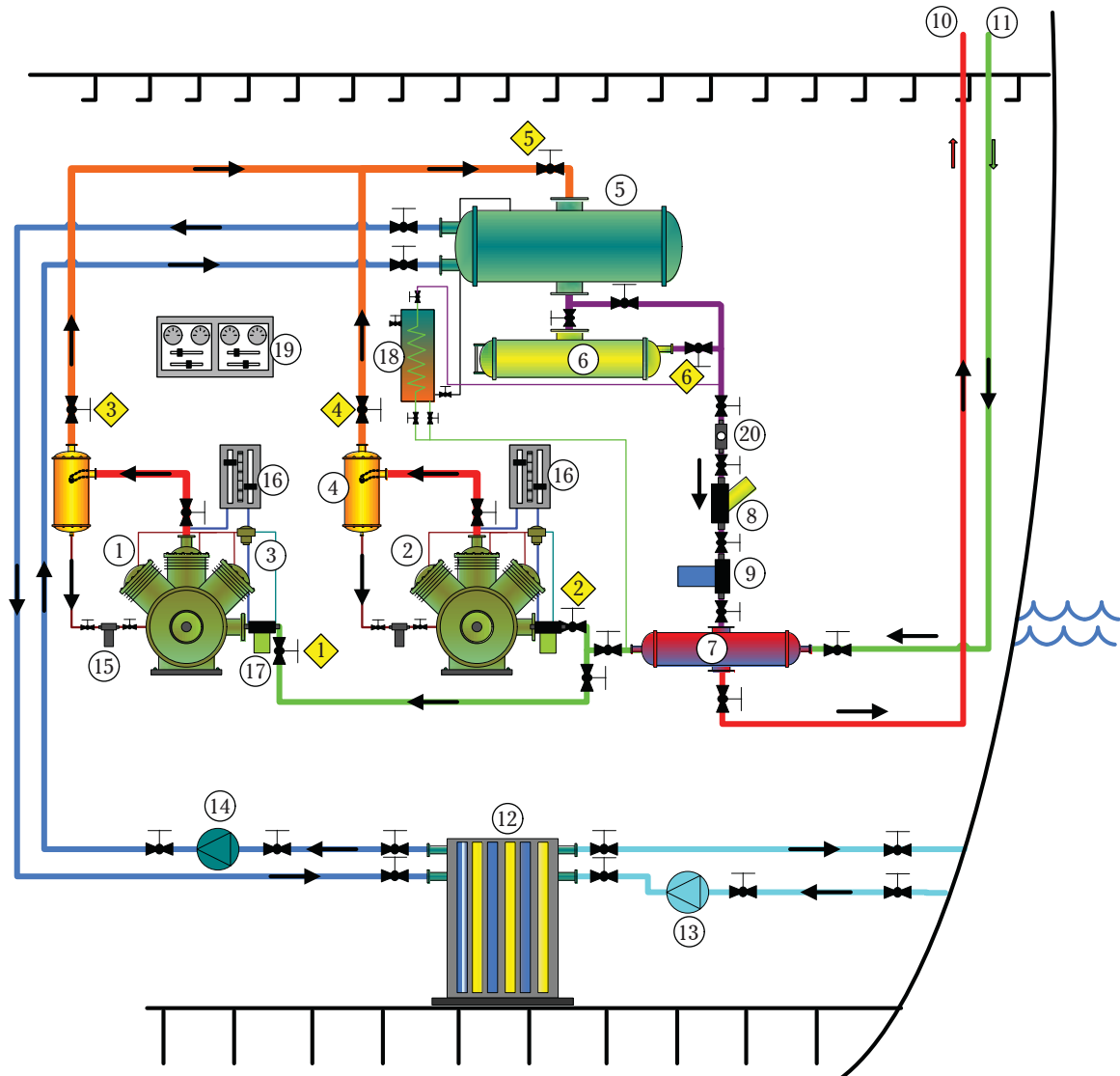
β) **Κράτηση:** Για την κράτηση της εγκαταστάσεως κλείνεται ο διακόπτης 6, οπότε το φρέον που κυκλοφορεί συγκεντρώνεται στο συλλέκτη. Ο συμπιεστής που βρίσκεται σε λειτουργία κρατείται από το σύνθετο πρεσοστατικό διακόπτη ή εναλλακτικά από τον πρεσοστατικό διακόπτη ασφαλείας χαμηλής πίεσεως αναρροφήσεως. Ακολούθως κλείνονται οι διακόπτες αναρροφήσεως 1, 2.

γ) **Αποχιόνωση:** Η αποχιόνωση του ψύκτη αέρα πραγματοποιείται με κράτηση του συμπιεστή

και κλείσιμο του διακόπτη **6**. Η εντολή για την κράτηση του συμπιεστή δίνεται ηλεκτρονικά μέσω του πίνακα ελέγχου (19) και αισθητήρα στην εξαγωγή του εξατμιστή και η λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως σταματά μέχρι να λιώσει ο πάγος και να απομακρυνθεί από τη γραμμή συμπυκνώματος.

δ) **Ρύθμιση θερμοκρασίας χώρων:** Οι στρο-

φές του ανεμιστήρα και κατά συνέπεια η παροχή αέρα είναι σταθερές. Όταν μεταβληθεί η θερμοκρασία των κλιματιζομένων χώρων μεταβάλλεται η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως στην έξοδο του ψυκτικού μέσου από τον ατμοποιητή. Αυτή η θερμοκρασία ρυθμίζει την παροχή ψυκτικού μέσου από τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα που βρίσκεται



- | | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1) Συμπιεστής | 7) Εναλλάκτης | 14) Αντλία κυκλοφορίας |
| 2) Συμπιεστής | 8) Φίλτρο υγρού | 15) Φίλτρο λαδιού |
| 3) Μηχανισμός ρυθμίσεως ισχύος | 9) Αφυγραντήρας | 16) Πιεζοστάτης |
| 4) Διαχωριστής λαδιού | 10) Παροχή υγρού | 17) Φίλτρο αναροφήσεως |
| 5) Συμπυκνωτής | 11) Επιστροφή ατμού | 18) Εξαεριωτήρας |
| 6) Συλλέκτης υγρού. | 12) Εναλλάκτης | 19) Πίνακας ελέγχου |
| | 13) Αντλία κυκλοφορίας | 20) Ενδεικτής ροής |

Σχ. 12.156.

Διάταξη ψυκτικής εγκαταστάσεως Αερισμού-Κλιματισμού εμπορικού πλοίου με εργαζόμενο μέσο R-22.

στην κλιματιστική μονάδα (σχ. 12.15γ). Η παροχή του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή και η πίεση με την οποία το ψυκτικό μέσο βγαίνει από τον ατμοποιητή, μεταβάλλουν την πίεση εισόδου στο συμπιεστή (1) ή (2) του σχήματος 12.15δ και οδηγούν το μηχανισμό ρυθμίσεως (3), ο οποίος αποφορτίζει διαδοχικά τους κυλίνδρους του κάθε συμπιεστή. Ο συμπιεστής μέσω της αποφορτίσεως των κυλίνδρων, έχει τη δυνατότητα λειτουργίας στο 50%, 75% και 100% του ονομαστικού του φορτίου.

12.15.2 Περιγραφή-λειτουργία κλιματιστικής εγκαταστάσεως με εργαζόμενο μέσο φρέον R-22 και ενδιάμεσο μέσο άλμη (έμμεση ψύξη).

Η λειτουργία της κλιματιστικής εγκαταστάσεως με άλμη γίνεται σε περιπτώσεις που υπάρχουν μεγάλα φορτία και πολλοί κλιματιζόμενοι χώροι. Στην περίπτωση αυτή, με την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου ψύχεται ένα ψυκτικό ρευστό που κυκλοφορεί στους ψύκτες αέρα. Τα **πλεονεκτήματα** του συστήματος είναι ότι εξασφαλίζει μικρότερο μέγεθος του κυκλώματος ψυκτικού μέσου (ευκολότερη συντήρηση, μικρότερες απώλειες, ευκολότερος εντοπισμός διαρροών). Επίσης, με τη χρήση πολλών ψυκτών αέρα, οι χώροι του πλοίου μπορούν να χωριστούν σε ζώνες με διαφορετικές θερμοκρασίες. Επί πλέον το κύκλωμα του ψυκτικού ρευστού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση των χώρων. Το **μειονέκτημα** του συστήματος είναι η δυσκολότερη και πολυπλοκότερη κατασκευή.

Στον κλιματισμό με ενδιάμεσο μέσο άλμη, παρόμοια με τον κλιματισμό με εργαζόμενο μέσο R-22 που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, υπάρχει αεροστεγής χώρος ψυκτών αέρα στο ανώτερο κατάστρωμα, για την ανάμειξη και το φιλτράρισμα του εξωτερικού αέρα, με τη διαφορά ότι στους ψύκτες αέρα κυκλοφορεί άλμη και ότι συνήθως υπάρχουν περισσότεροι του ενός ψύκτες αέρα, όσες είναι και οι ζώνες του πλοίου.

Στο μηχανοστάσιο, στο χώρο του ψυχροστασίου υπάρχουν αυτόνομες ψυκτικές μηχανές, όπως αυτή του σχήματος 12.2β, που ψύχουν την άλμη. Οι ψυκτικές μηχανές εκκινούν χειροκίνητα, αναλόγως με το ψυκτικό φορτίο και υπάρχει επί πλέον μία αμοιβή σε κράτηση.

Η θέρμανση των χώρων του πλοίου πραγματοποιείται με κράτηση των ψυκτικών μηχανών και θέρμανση της άλμης από θερμαντήρα ατμού. Ο

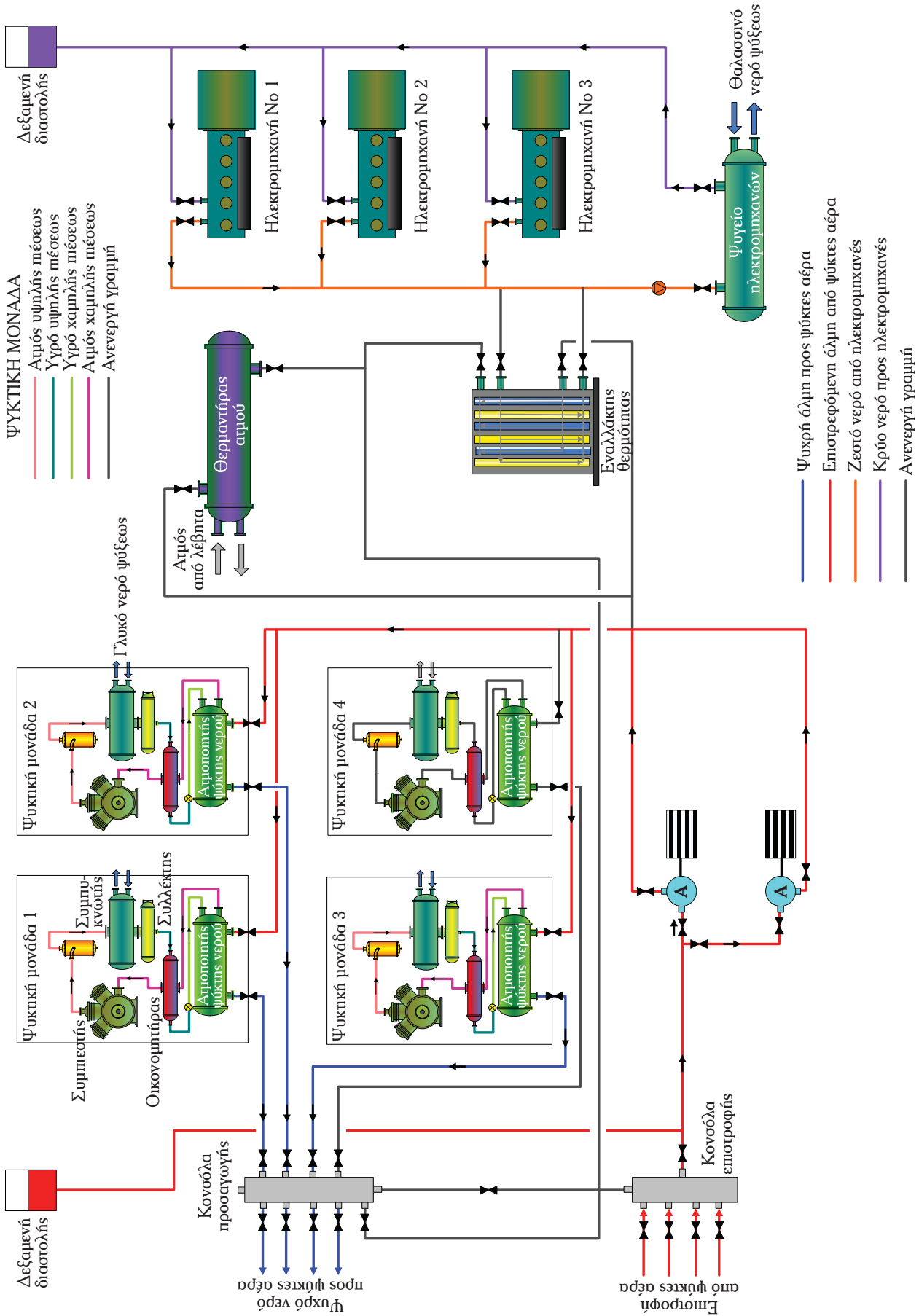
ατμός χαμηλής πίεσεως 6 bar που χρησιμοποιείται στη θέρμανση προέρχεται από βοηθητικό λέβητα ή από το λέβητα καυσαερίων. Στα επιβατηγά πλοία που έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια και έχουν ηλεκτρομηχανές μεγάλης ιπποδυνάμεως σε λειτουργία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, εναλλακτικά η θέρμανση της άλμης γίνεται από το κύκλωμα ψύξεως των ηλεκτρομηχανών μέσω ενδιάμεσου εναλλάκτη ή σε συνδυασμό με το θερμαντήρα ατμού.

Στο σχήμα 12.15ε φαίνεται το διάγραμμα μιας κλιματιστικής εγκαταστάσεως με ενδιάμεσο μέσο άλμη, στο τμήμα της που βρίσκεται στο μηχανοστάσιο. Περιλαμβάνει τέσσερις αυτόνομες ψυκτικές μηχανές, από τις οποίες στο μέγιστο ψυκτικό φορτίο εργάζονται οι τρεις και η μία μένει αμοιβή. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού ο αριθμός των εργαζομένων αυτόνομων μονάδων ψύξεως άλμης εξαρτάται από το ψυκτικό φορτίο, ενώ η ρύθμιση της φορτίσεώς τους γίνεται από τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και το μηχανισμό αποφορτίσεως του συμπιεστή της κάθε μονάδας. Το κύκλωμα της άλμης είναι συνδεδεμένο με θερμαντήρα ατμού για τη λειτουργία της θερμάνσεως. Επίσης, συνδέεται θερμικά μέσω εναλλάκτη με το κύκλωμα ψύξεως των ηλεκτρογεννητριών του πλοίου. Ο χειρισμός του κυκλώματος γίνεται από τοπικά επιστόμια και κυρίως από δύο κονσόλες επιστομίων, την κονσόλα προσαγωγής και την κονσόλα επιστροφής, που στέλνουν την άλμη στους ψύκτες αέρα που επιλέγονται.

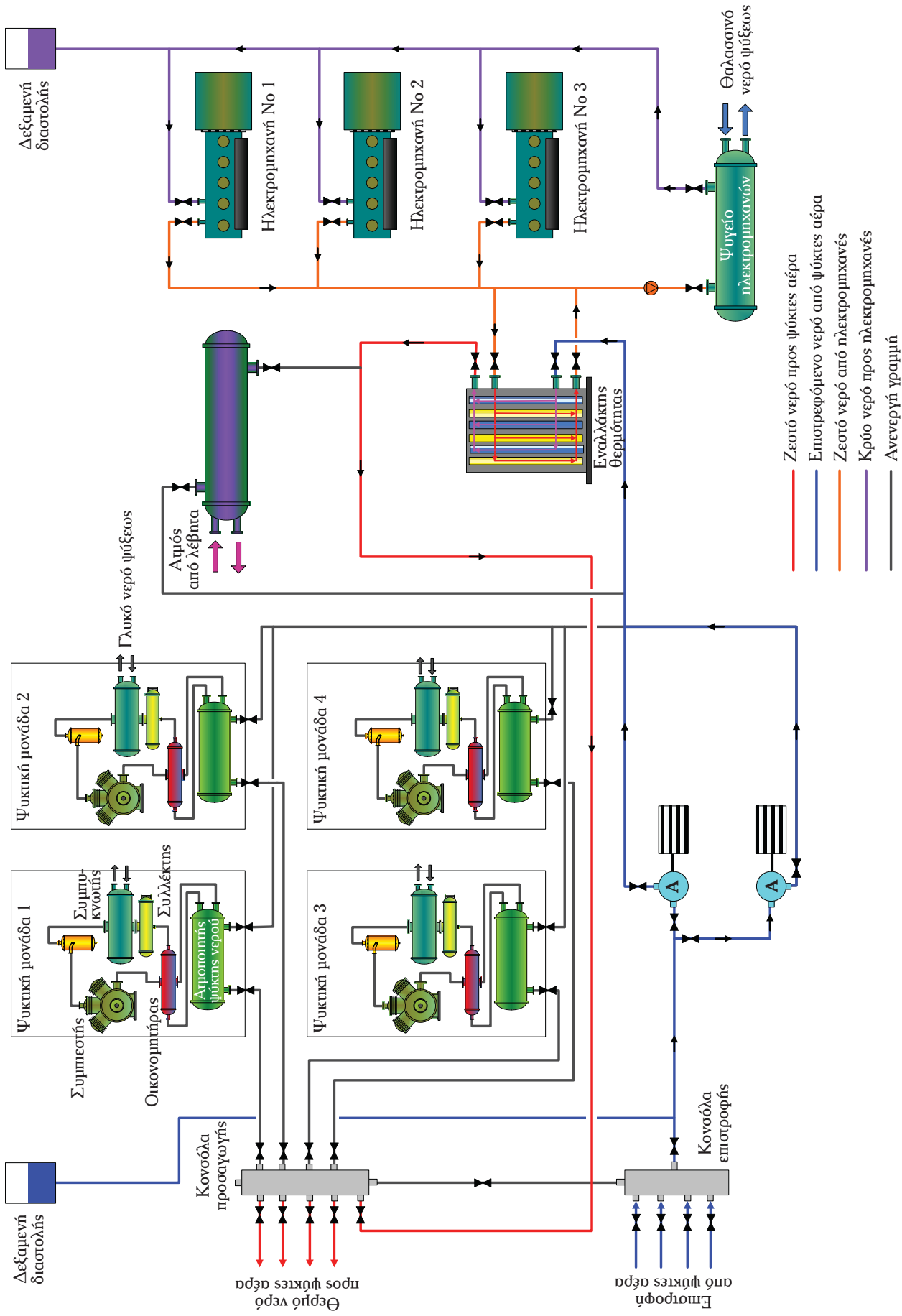
Η λειτουργία του συστήματος για ψύξη φαίνεται στο σχήμα 12.15ε. Στο σχήμα 12.15στ φαίνεται η λειτουργία θερμάνσεως με το κύκλωμα ψύξεως των ηλεκτρομηχανών και στο σχήμα 12.15ζ η λειτουργία θερμάνσεως με τον εναλλάκτη ατμού, όταν δεν υπάρχει επαρκής θερμότητα από τις ηλεκτρομηχανές, λόγω περιορισμένης ηλεκτροπαραγωγής.

12.16 Περιγραφή λειτουργίας αυτόνομης κλιματιστικής μονάδας.

Για τον κλιματισμό μικρών χώρων έχουν αναπτυχθεί συσκευές, στις οποίες ο αέρας ψύχεται από το εξαμιζόμενο ψυκτικό μέσο. Τέτοιες συσκευές ονομάζονται **κλιματιστικές μονάδες με αντιστροφή ροής** και περιλαμβάνουν συμπιεστή, αερόψυκτο συμπυκνωτή, εκτονωτική βαλβίδα και ατμοποιητή. Ο απλός κύκλος χωρίς υπόψυξη και υπερθέρμανση μιας τέτοιας συσκευής φαίνεται στο διάγραμμα p-h

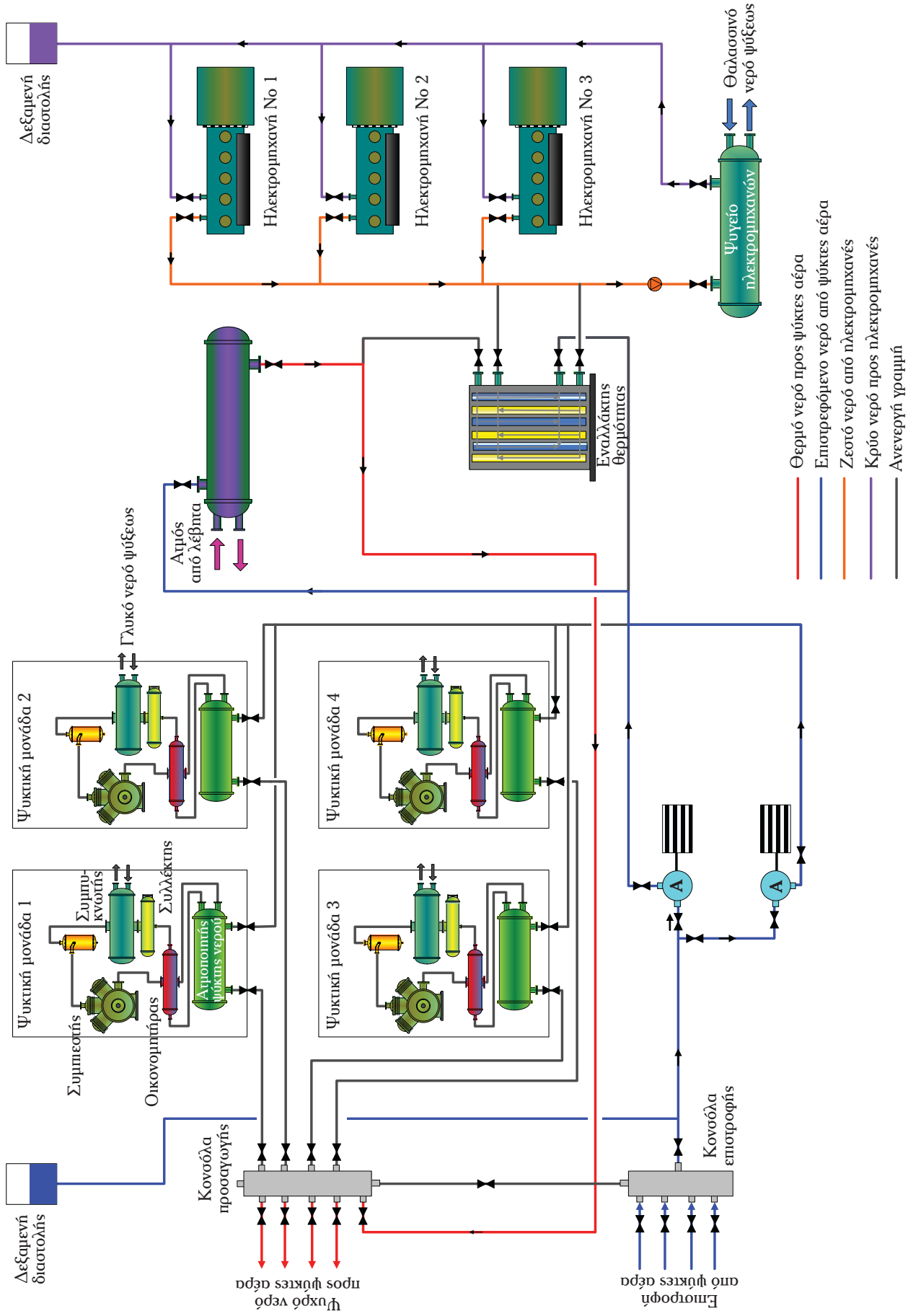


Σχ. 12.15ε. Διάγραμμα ψυκτικής εγκατάστασης για Αερισμό-Κλιματισμό εμπορικού πλοίου με εργαζόμενο μέσο R-22 (Κύκλωμα R-22).

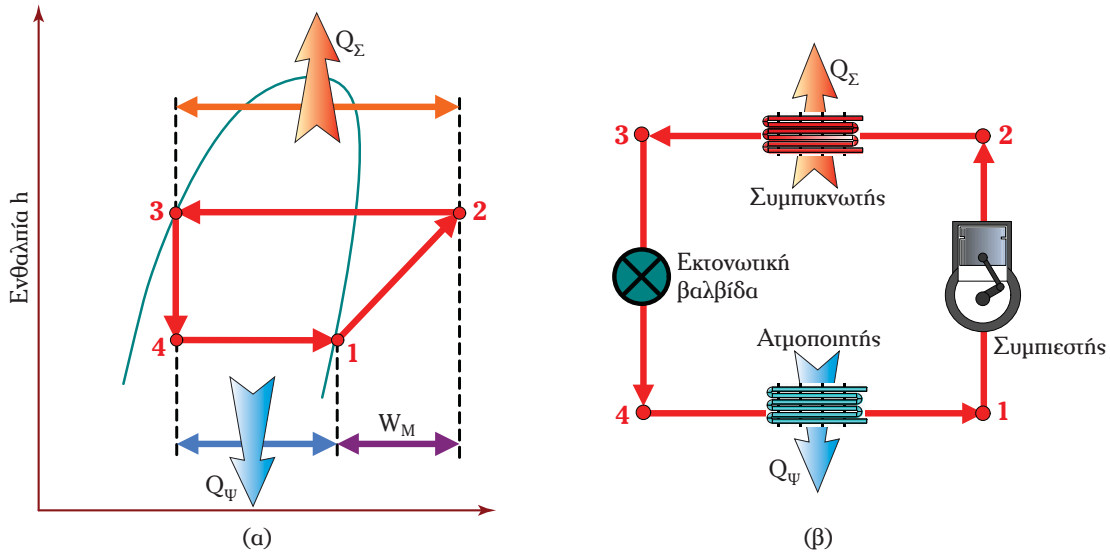


Σχ. 12.15στ.

Σύστημα κλιματισμού-θερμάνωσης με ενδιάμεσο μέσο άλιμ (λειτουργία θερμάνωσης από ηλεκτρομηχανές).



Σχ. 12.157. Σύστημα κλιματισμού-θερμάνωσης με ενδιάμεσο μέσο άλιμ (Λειτουργία θερμάνωσης από θερμαντήρας νερού).



Σχ. 12.16α.

(α) Κύκλος ψυκτικού μέσου σε κλιματιστική συσκευή και (β) διάγραμμα ψυκτικού κυκλώματος.

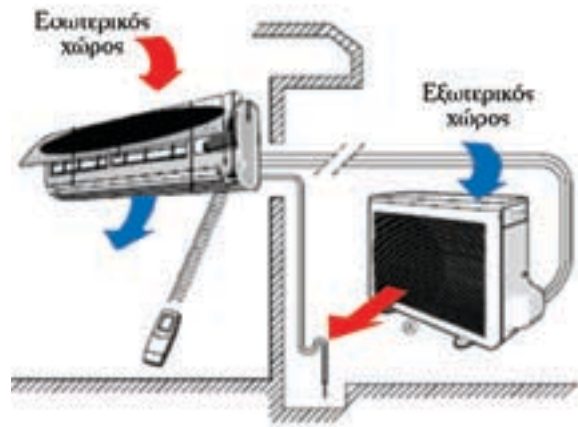
του σχήματος 12.16α(α), όπου επίσης διαγραμματικά δίνεται ο κύκλος που κάνει το ψυκτικό μέσο. Στο σχήμα 12.16α(α) φαίνονται επίσης η μεταβολή στον ατμοποιητή, όπου από τον αέρα αφαιρείται η θερμότητα ψύξεως Q_{ψ} και η μεταβολή στο συμπυκνωτή όπου απορρίπτεται στο περιβάλλον η θερμότητα συμπυκνώσεως Q_{Σ} . Παρατηρούμε επίσης ότι η θερμότητα συμπυκνώσεως είναι μεγαλύτερη από τη θερμότητα ατμοποίησης κατά το προσδιδόμενο μηχανικό έργο από το συμπιεστή W_M .

Οι αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες κατασκευάζονται συμπαγείς και διαιρούμενου τύπου. Σε όλους τους τύπους πάντως, ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά, ενώ ο ατμοποιητής τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά του κλιματιζόμενου χώρου. Στις διαιρούμενες μονάδες ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής τοποθετούνται σε χωριστή εξωτερική μονάδα και ο ατμοποιητής τοποθετείται εσωτερικά όπως φαίνεται στο σχήμα 12.16β.

Μία κλιματιστική συσκευή που εκτός από τη λειτουργία της ψύξεως μπορεί να επιτελέσει και τη λειτουργία της θέρμανσεως ονομάζεται **αντλία θερμότητας**. Αυτό γίνεται με κατάλληλη αντιστροφή της ροής του μέσου, ώστε μέσα στο χώρο να γίνεται η συμπύκνωση και έξω απ' αυτήν η ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου. Από το σχήμα 12.16α(α) παρατηρούμε ότι η αποδιδόμενη θερμότητα στο χώρο στη λειτουργία θέρμανσεως είναι μεγαλύτερη από τη θερμότητα ψύξεως κατά το μηχανικό έργο συμπι-

έσεως των ατμών του ψυκτικού μέσου. Επίσης, η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας στη λειτουργία θέρμανσεως είναι μεγαλύτερη από την απόδοσή της στη λειτουργία ψύξεως. Επιπλέον, η αποδιδόμενη θερμότητα είναι μεγαλύτερη από το έργο συμπίεσεως ατμών. Άρα, το σύστημα θέρμανσεως με αντλία θερμότητας είναι αποδοτικότερο από τη θέρμανση με ηλεκτρικές αντιστάσεις, διότι με την ίδια ηλεκτρική ισχύ παράγεται περισσότερη θερμότητα στο θερμαινόμενο χώρο.

Η αντιστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου στις αντλίες θερμότητας γίνεται μέσω μιας τετράοδης βαλβίδας (σχ. 12.16γ). Η τετράοδη βαλβίδα έχει μια κατακόρυφη είσοδο και μια κατακόρυφη έξοδο, καθώς και δύο πλευρικές εξόδους. Η κατακόρυφη



Σχ. 12.16β.

Κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου.

είσοδος συνδέεται με την κατάθλιψη του συμπιεστή, η κατακόρυφη έξοδος με την αναρρόφηση του συμπιεστή και οι πλευρικές έξοδοι με τον εσωτερικό και τον εξωτερικό εναλλάκτη. Η εκτονωτική βαλβίδα βρίσκεται ανάμεσα στον εσωτερικό και στον εξωτερικό εναλλάκτη και πρέπει να επιτρέπει τη ροή του ψυκτικού μέσου και προς τις δύο κατευθύνσεις για την αντιστροφή της ροής. Γι' αυτόν το λόγο ως εκτονωτική διάταξη χρησιμοποιείται ένας τριχοειδής σωλήνας.

Στο σχήμα 12.16δ εικονίζεται η λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας για ψύξη και για θέρμανση. Στη λειτουργία ψύξεως η τετράοδη βαλβίδα συνδέει την έξοδο του εσωτερικού εναλλάκτη με την αναρρόφηση του συμπιεστή και την κατάθλιψή του με την είσοδο του εξωτερικού εναλλάκτη. Έτσι ο εσωτερικός εναλλάκτης είναι ο ατμοποιητής και ο εξωτερικός συμπυκνωτής της εγκαταστάσεως.

Στη λειτουργία θερμάνσεως η τετράοδη βαλβίδα συνδέει την έξοδο του εξωτερικού εναλλάκτη με την αναρρόφηση του συμπιεστή και την κατάθλιψή του με την είσοδο του εσωτερικού εναλλάκτη. Έτσι, ο εξωτερικός εναλλάκτης είναι ο ατμοποιητής και ο εσωτερικός ο συμπυκνωτής της εγκαταστάσεως.

Στο σχήμα 12.16ε φαίνεται σε τομή η κατασκευή της τετράοδης βαλβίδας. Η βαλβίδα αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα, το οποίο έχει μια είσοδο στο πάνω μέρος και τρεις εξόδους στο κάτω. Μέσα στο κυλινδρικό σώμα υπάρχει ένας σύρτης, ο οποίος μπορεί να ολισθαίνει προς την αριστερή ή προς τη δεξιά πλευρά του κυλινδρικού σώματος. Ανάλογα με τη θέση του σύρτη αποκαλύπτεται η μία πλευρική (αριστερή ή δεξιά) έξοδος στο κάτω μέρος, και ταυτόχρονα γεφυρώνονται η κεντρική και η άλλη πλευρική έξοδο. Με αυτόν τον τρόπο η κύρια παροχή του ατμού οδηγείται από την πάνω είσοδο, η οποία είναι συνδεδεμένη με την κατάθλιψη του συμπιεστή, μέσω μιας από τις δύο πλευρικές εξόδους προς τον εξωτερικό ή τον εσωτερικό εναλλάκτη, ο οποίος είναι ο συμπυκνωτής. Η κίνηση του σύρτη γίνεται με την πίεση του ατμού υψηλής πίεσεως από την κατάθλιψη του συμπιεστή και ελέγχεται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, η οποία βρίσκεται στο πάνω μέρος της τετράοδης βαλβίδας. Στα δύο άκρα του σύρτη υπάρχουν δύο οπές διαφυγής, οι οποίες συνδέονται με την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μέσω αγωγών μικρής διατομής. Ανάλογα με την ενεργοποίηση ή όχι του πηνίου της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας μετακινείται ένα έμβολο, το οποίο αφενός



Σχ. 12.16γ.
Τετράοδη βαλβίδα.

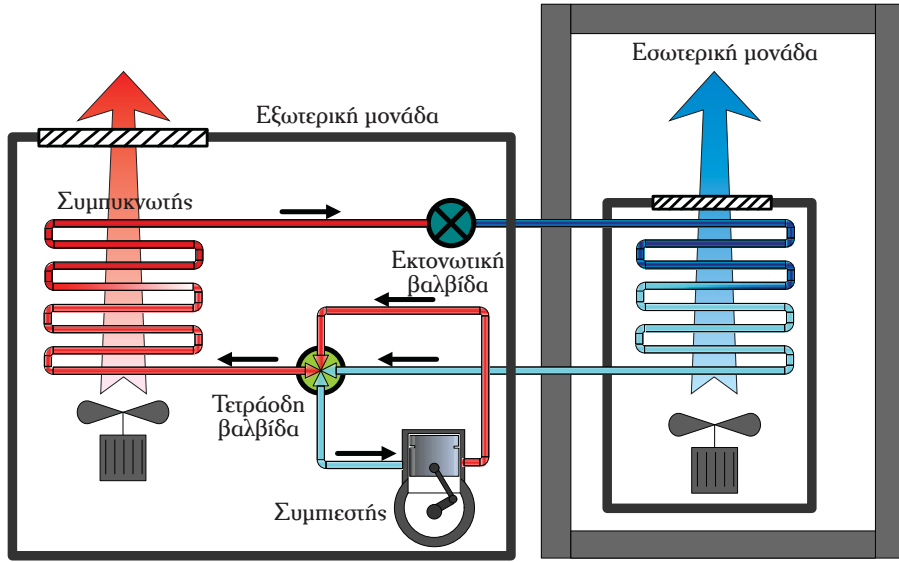
σταματάει την παροχή από τη μία οπή διαφυγής του σύρτη και αφετέρου γεφυρώνει την έξοδο από την άλλη οπή διαφυγής προς αναρρόφηση του συμπιεστή. Έτσι οι δύο πλευρές του σύρτη βρίσκονται η μία σε πίεση καταθλίψεως και η άλλη σε πίεση αναρροφήσεως. Λόγω της διαφοράς πίεσεως στα άκρα του, ο σύρτης μετακινείται προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά, ανάλογα με την τάση στο πηνίο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Διά μέσου των οπών του σύρτη υπάρχει **συνεχής ροή διαφυγής του ψυκτικού μέσου** (bleed flow), από την κατάθλιψη του συμπιεστή η οποία οδηγείται εκ νέου στην αναρρόφηση. Η ροή διαφυγής είναι μικρή και ασήμαντη λόγω της μικρής διατομής των οπών διαφυγής στο σύρτη και των μικρών διατομών των αγωγών συνδέσεως της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας με το σώμα και την αναρρόφηση του συμπιεστή.

12.17 Ασκήσεις.

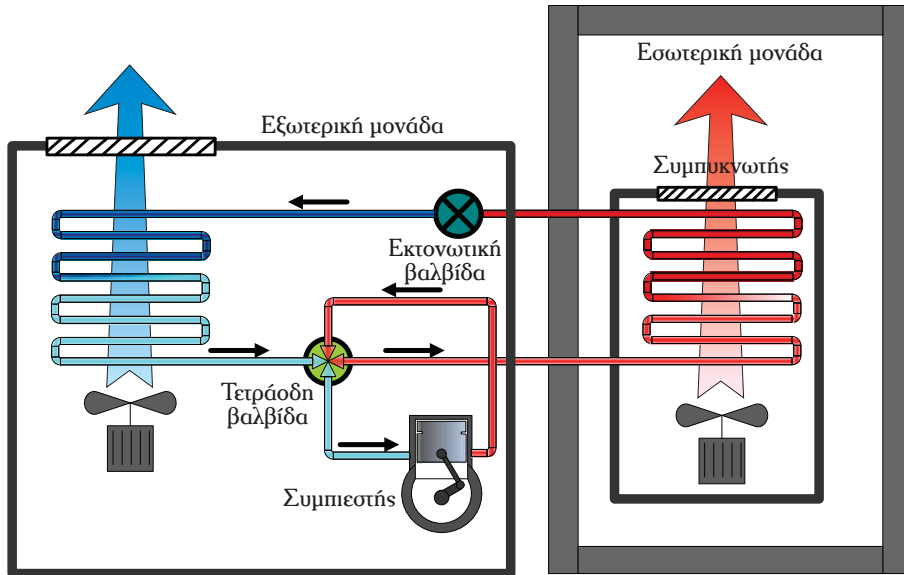
1. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{DB} του αέρα ενός χώρου είναι $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ του υγρού βολβού T_{WB} $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Με το ψυχομετρικό διάγραμμα υπολογίστε τη σχετική υγρασία ϕ , την ειδική ενθαλπία h , το σημείο δρόσου και την ειδική υγρασία w .

$$(\phi = 55\%, h = 47,75 \text{ kJ/kg}_{\xi,a}, T_{\delta} = 13,47^{\circ}\text{C}, w = 9,68 \text{ gr/kg}_{\xi,a})$$

2. Ο αέρας ενός χώρου περνάει από μια ηλεκτρική αντίσταση. Η αρχική θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{DB} του αέρα είναι $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η αρχική θερμο-



(α)



(β)

Ατμός χαμηλής πίεσης	Ατμός υψηλής πίεσης
Υγρό χαμηλής πίεσης	Υγρό υψηλής πίεσης

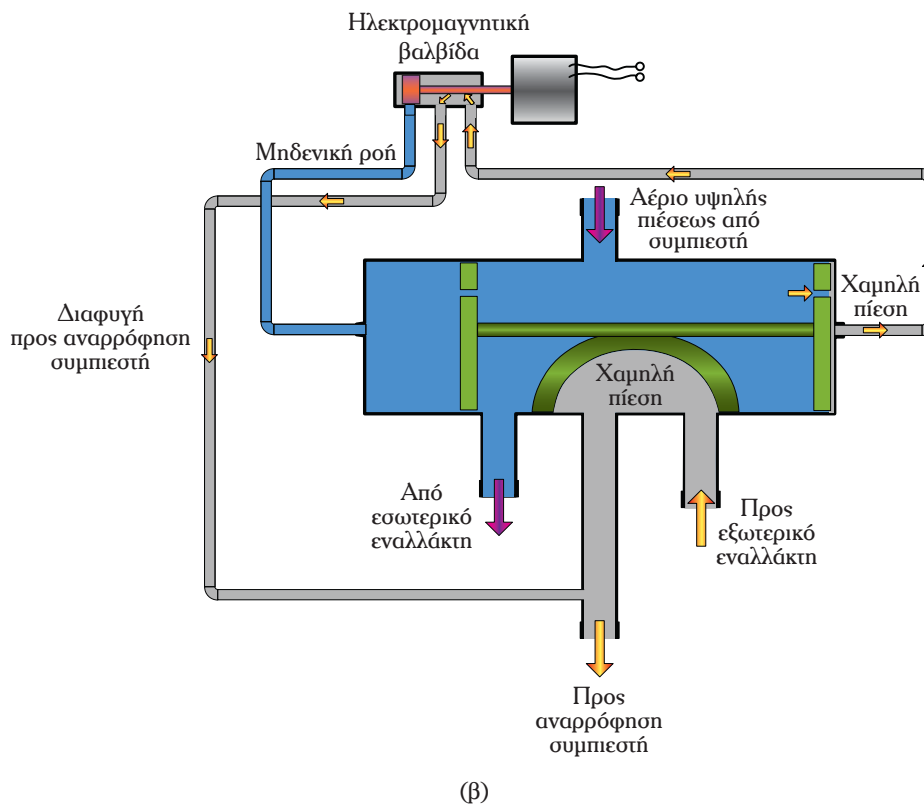
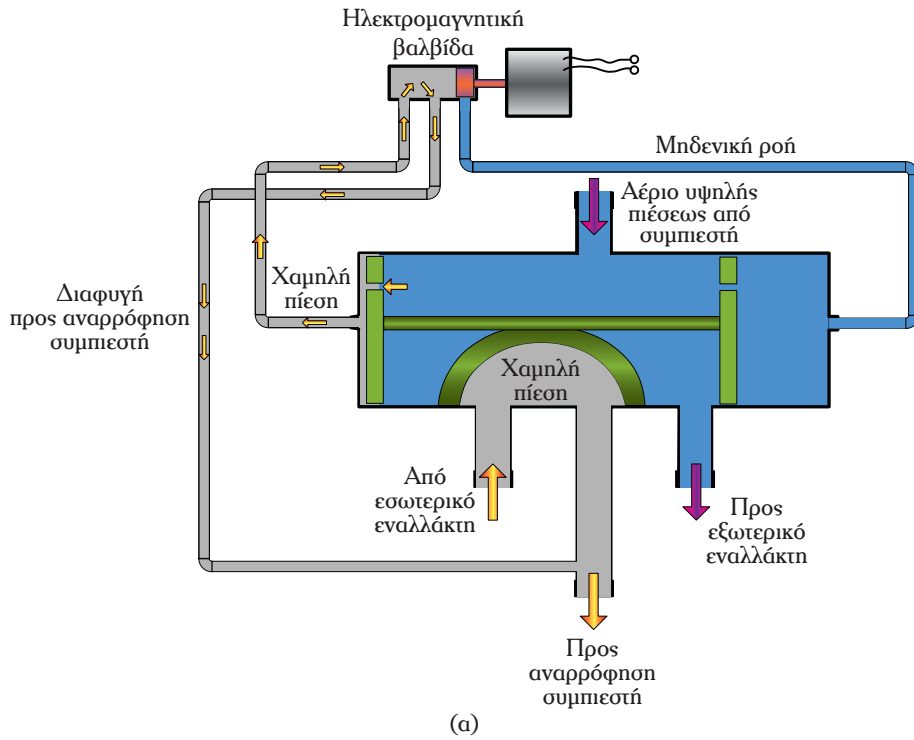
Σχ. 12.166.

Ανιλία θερμότητας: (α) λειτουργία ψύξεως και (β) λειτουργία θέρμανσης.

κρασία υγρού βολβού T_{WB} , $15\text{ }^\circ\text{C}$. Αν το θερμικό κέρδος είναι 20 kJ/kg , να υπολογίσετε τη θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{DB} , τη θερμοκρασία υγρού βολβού T_{WB} , τη σχετική υγρασία ϕ , την ειδική υγρασία w και την ειδική ενθαλπία h στην έξοδο.

$$(T_{DB} = 39,58\text{ }^\circ\text{C}, T_{WB} = 21,45\text{ }^\circ\text{C}, \phi = w\ 19\%, w = 8,61\text{ gr/kg } \xi_{a}, h = 62\text{ kJ/kg}_{\xi a})$$

3. Παροχή αέρα 500 kg/h περνάει από έναν ψυχρό εναλλάκτη. Η αρχική θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα T_{DB} είναι $28\text{ }^\circ\text{C}$ και η αρχική θερμοκρασία υγρού βολβού T_{WB} $18\text{ }^\circ\text{C}$. Αν η σχετική υγρασία στην έξοδο είναι $\phi = 90\%$, να υπολογίσετε τη θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{DB} , τη θερμοκρασία υγρού βολβού T_{WB} , την ειδική υγρασία w και την



Σχ. 12.16ε.

Σχηματική αναπαράσταση τετράοδης βαλβίδας σε τομή (α) για λειτουργία ψύξεως και (β) για λειτουργία θέρμανσεως.

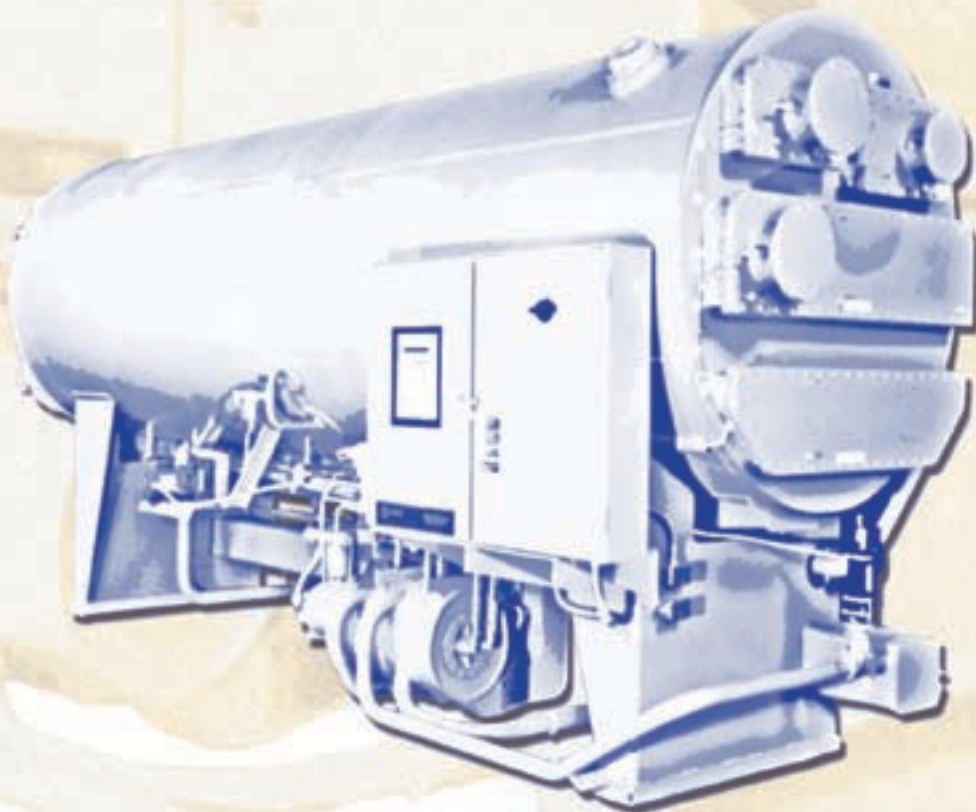
ειδική ενθαλπία h στην έξοδο. Ποια είναι η ψυκτική ισχύς σε kW , kJ/h , Btu/h και RT ;

$$\begin{aligned} (T_{DB} = 13,67 \text{ }^\circ\text{C}, T_{WB} = 12,73 \text{ }^\circ\text{C}, \\ w = 8,81 \text{ gr/kg}_{\xi,a}, h = 36,03 \text{ kJ/kg}_{\xi,a}, \\ q_{\psi} = 2,036 \text{ kW} = 7330 \text{ kJ/h} \\ = 1749,4 \text{ kcal/h} = 0,145 \text{ RT}) \end{aligned}$$

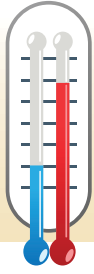
4. Ρεύμα αέρα εισέρχεται σ' ένα θερμαντήρα αιμού με θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{DB} = 72 \text{ }^\circ\text{F}$ και θερμοκρασία υγρού βολβού $T_{WB} = 60 \text{ }^\circ\text{F}$. Στην έξοδο έχει θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{DB} = 94 \text{ }^\circ\text{F}$ και θερμοκρασία υγρού βολβού $T_{WB} = 72 \text{ }^\circ\text{F}$. Υπάρχει διαρροή στη σερπαντίνα του αιμού και γιατί;

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

- Παράρτημα 1 Μέθοδοι και εφαρμογές ψύξεως*
- Παράρτημα 2 Ιδιότητες ψυκτικών μέσων*
- Παράρτημα 3 Συμπιεστές ψυκτικών εγκαταστάσεων*
- Παράρτημα 4 Τύποι και κατασκευή θερμοστατικών βαλβίδων*
- Παράρτημα 5 Μέρη και εξαρτήματα ψυκτικών εγκαταστάσεων*
- Παράρτημα 6 Ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων*
- Παράρτημα 7 Μονάδες μετρήσεως μεγεθών*



*Ψυκτική μηχανή απορροφήσεως
H₂O-LiBr.*



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Μέθοδοι και εφαρμογές ψύξεως

Π.1.Α Ψύξη με ξηρό πάγο.

Η ψύξη με ξηρό πάγο γίνεται καθώς εξαχνώνεται στερεοποιημένο διοξείδιο του άνθρακα (ξηρός πάγος CO₂) σε ειδικά δοχεία.

Για την παραγωγή ξηρού πάγου, το αέριο CO₂ συμπιέζεται και ψύχεται, ώστε αρχικά να υγροποιηθεί. Στη συνέχεια, η πίεση του υγρού ελαττώνεται με αποτέλεσμα μέρος του να εξατμιστεί, οπότε η θερμοκρασία του υπόλοιπου υγρού CO₂ μειώνεται και μετασχηματίζεται σε στερεό με τη μορφή νιφάδων. Οι νιφάδες CO₂ στη συνέχεια συμπιέζονται και συσκευάζονται σε μικρούς κυλίνδρους διαμέτρου 1 cm (pellets) (σχ. Π.1.Αα) ή σε ορθογώνια τεμάχια (slices ή blocks) βάρους 30 kg περίπου. Η πυκνότητα του ξηρού πάγου που προκύπτει από τη συμπίεση είναι από 1,3 έως 1,4 kg/lt.

Ο ξηρός πάγος σε ατμοσφαιρική πίεση εξαχνούται και μετατρέπεται σε αέριο CO₂ χωρίς την ενδιάμεση φάση της υγροποίησης. Η θερμοκρασία εξαχνώσεως είναι -78,5 °C (-109,3 °F) και η ειδική ενθαλπία εξαχνώσεως είναι 199,0 kcal/kg (245,5 BTU/lb). Σε σχέση με τον πάγο νερού ο ξηρός πάγος έχει τα εξής **πλεονεκτήματα**, που τον καθιστούν κατάλληλο ψυκτικό μέσο για τη συντήρηση τροφίμων:

α) Ο ξηρός πάγος με την εξαχνωσή του απορροφά ανά μονάδα μάζας υπερδιπλάσια θερμότητα απ' αυτήν που απορροφά ο πάγος νερού με την τήξη του.

β) Μετά την εξαχνωση που γίνεται στη θερμοκρασία των -78,5 °C, το αέριο CO₂ για να φτάσει στους 0 °C απορροφά επί πλέον θερμότητα 15 kcal/kg.

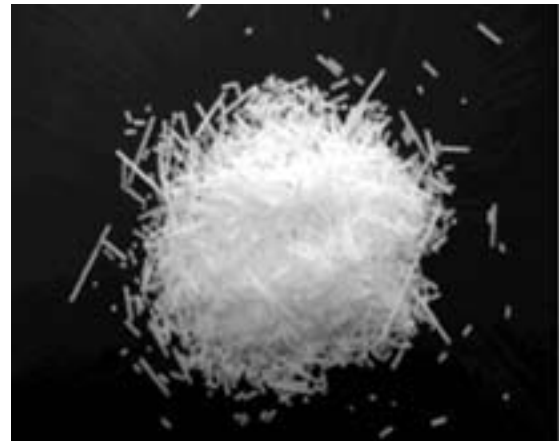
γ) Η θερμοκρασία εξαχνώσεως του ξηρού πάγου είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία τήξεως του πάγου νερού, οπότε είναι δυνατή η επίτευξη χαμηλότερων θερμοκρασιών στον ψυκτικό θάλαμο.

δ) Με την τήξη του ξηρού πάγου παράγεται αέριο που απομακρύνεται πιο εύκολα από το υγρό νερό, που παράγεται με την τήξη πάγου.

ε) Το διοξείδιο του άνθρακα που σχηματίζεται

με την εξαχνωση του ξηρού πάγου, καθώς είναι βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα, τον ωθεί έξω από το χώρο συντηρήσεως. Μ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα περιβάλλον με κενό οξυγόνου που συμβάλλει στην επιβράδυνση της αλλοίωσης των τροφίμων.

Το **μειονέκτημα** του ξηρού πάγου είναι η τιμή του και το γεγονός ότι παράγεται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, άρα είναι ακατάλληλος για χρήση σε απομακρυσμένες εφαρμογές ή σε πλοία. Επί πλέον, κατά τη χρήση του ξηρού πάγου απαιτείται να τηρούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές ασφα-



Σχ. Π.1.Αα.
Ξηρός πάγος.

λείας, πράγμα που τον καθιστά ακατάλληλο για ευρεία οικιακή χρήση.

Η συντήρηση των τροφίμων με ξηρό πάγο γίνεται σε ειδικούς ψυκτικούς θαλάμους ή σε ειδικά δοχεία. Οι θάλαμοι μπορεί να είναι **άμεσος** ή **έμμεσος κυκλοφορίας** (σχ. Π.1.Αβ).

Στους θαλάμους άμεσος κυκλοφορίας, τα τρόφιμα προφυλάσσονται από άμεση επαφή με τη χαμηλή θερμοκρασία εξαχνώσεως μ' ένα μεταλλικό κάλυμμα που διαθέτει υποδοχές, στις οποίες τοποθετείται ο ξηρός πάγος. Η ψύξη γίνεται αρχικά μέσω του αέρα και στη συνέχεια μέσω του αερίου διοξειδίου του άνθρακα που κυκλοφορεί στον ψυκτικό θάλαμο λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.

Στους ψυκτικούς θαλάμους έμμεσος ψύξεως ο ξηρός πάγος ψύχει ένα ψυκτικό διάλυμα (άλμη), το οποίο κυκλοφορεί με φυσική ή με εξαναγκασμένη κυκλοφορία στα τοιχώματα του ψυκτικού θαλάμου και αφαιρεί τη θερμότητα που εισέρχεται σ' αυτόν διά μέσου των τοιχωμάτων.

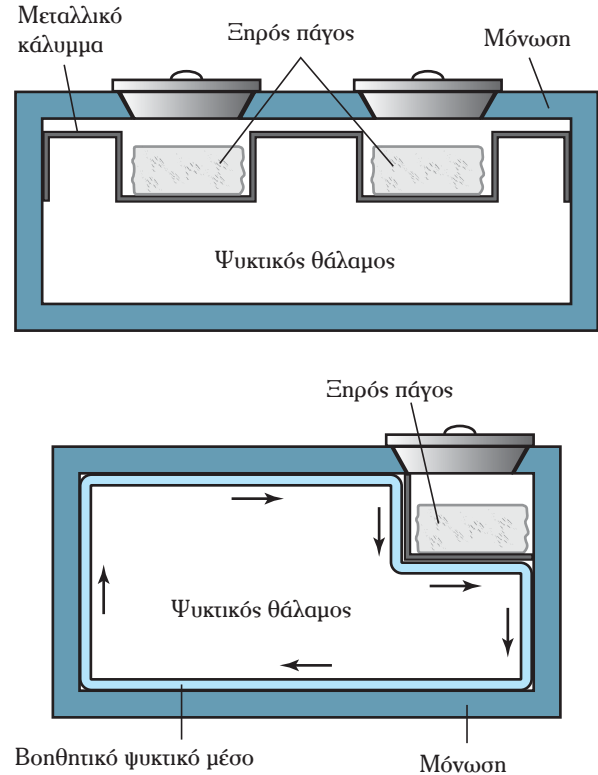
Όταν γίνεται χρήση ξηρού πάγου δημιουργούνται κίνδυνοι αφενός από τη χαμηλή θερμοκρασία του και αφετέρου από το αέριο CO_2 . Για να εξασφαλίζεται η υγιεινή και η ασφάλεια των εργαζομένων πρέπει να λαμβάνονται οι εξής προφυλάξεις:

α) Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του ξηρού πάγου, κατά την επαφή του με γυμνό δέρμα προκαλείται έγκαυμα. Γι' αυτόν το λόγο απαιτείται η χρήση κατάλληλων μονωμένων γαντιών ή λαβίδων ή τουλάχιστον πανιών. Επίσης, κατά τον τεμαχισμό ξηρού πάγου πρέπει να προστατεύονται οι εργαζόμενοι με ειδικά γυαλιά.

β) Ο ξηρός πάγος είναι επιβλαβής όταν τρώγεται ή καταπίνεται.

γ) Κατά την εξαχνωση του ξηρού πάγου παράγεται αέριο CO_2 και έτσι δεν πρέπει να τοποθετείται σε σφραγισμένα κιβώτια. Τα κιβώτια που περιέχουν ξηρό πάγο, όταν είναι κλεισμένα ερμητικά, ενδεχομένως να εκραγούν λόγω της αυξήσεως της πίεσεως του CO_2 .

δ) Το αέριο CO_2 είναι βαρύτερο από τον αέρα, οπότε κατακάθεται στο δάπεδο και μπορεί να προκαλέσει ασφυξία. Έτσι ο ξηρός πάγος πρέπει να χρησιμοποιείται σε ανοικτούς ή καλά αεριζόμενους χώρους και να μην αποθηκεύεται σε χώρους ενδιστάσεως. Ο αερισμός των χώρων χρήσεως του ξηρού πάγου πρέπει να γίνεται στο ύψος της επιφάνειας του δαπέδου. Η ατμόσφαιρα του χώρου εργασίας μπορεί να ελεγχθεί για την περιεκτικότητά της σε



Σχ. Π.1.Αβ.

Ψυκτικοί θαλάμοι για ψύξη με ξηρό πάγο.

οξυγόνο μ' ένα κερί. Εφόσον αυτό εξακολουθεί να καίει είναι κατάλληλη για τον άνθρωπο.

Π.1.Β Ψύξη με ατμοποίηση υγρών.

Στην ψύξη με ατμοποίηση, ένα υγρό παίρνει θερμότητα με την οποία αλλάζει φάση και ατμοποιείται. Η θερμότητα αυτή ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα** ατμοποίησης. Το υγρό που ατμοποιείται συνήθως είναι το νερό και οι υδρατμοί του διοχετεύονται στη ατμόσφαιρα.

Το πιο απλό παράδειγμα ψύξεως με εξατμωση είναι η ψύξη του ανθρώπινου σώματος με ιδρώτα. Η παραγόμενη θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα, απομακρύνεται με την εξατμωση υγρασίας μέσω των πόρων του δέρματος. Το ποσό της θερμότητας που απάγεται και κατά συνέπεια το ποσό του ιδρώτα που χρειάζεται να εξατμίζει ο άνθρωπος, εξαρτάται απ' τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος. Προκειμένου να επιτευχθεί αίσθημα θερμοκρασιακής ανέσεως, σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η ρύθμιση των συνθηκών του περιβάλλοντος, η οποία αποτελεί ξεχωριστό πεδίο εφαρμογής των ψυκτικών μηχανών που ονομάζεται **κλιματισμός**.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει εκτός από τα

αέρια συστατικά του και νερό σε διάφορες φάσεις, σε ποσότητα που δεν μπορεί να ξεπεράσει την αναλογία, στην οποία ο αέρας **κορέννυται** και σχηματίζεται συμπύκνωμα. Έτσι η εξάτμιση νερού σε αέρα είναι πιο γρήγορη όταν η ατμόσφαιρα περιέχει λίγη υγρασία, ενώ όταν η περιεχόμενη υγρασία στην ατμόσφαιρα αυξηθεί, η εξάτμιση του νερού επιβραδύνεται. Ισοδύναμα, η εξάτμιση νερού είναι πιο γρήγορη όταν η διαφορά θερμοκρασίας ξηρού και υγρού βολβού του αέρα είναι μεγάλη. Γι' αυτόν τον λόγο η ψύξη με εξάτμιση είναι αποδοτικότερη και συνηθίζεται κυρίως σε περιβάλλοντα με ξηρά κλίματα.

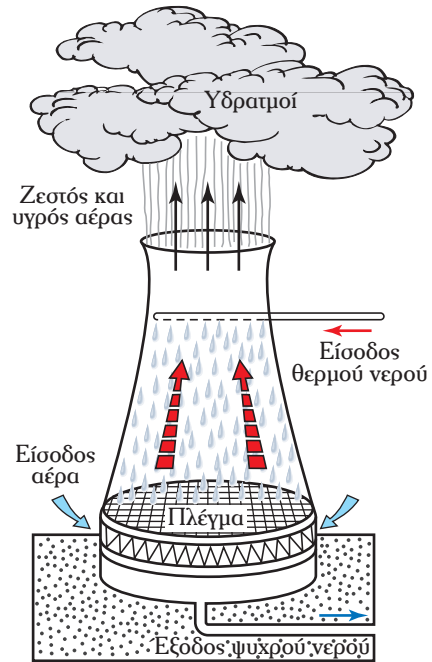
Η ψύξη με εξάτμιση εφαρμόστηκε τη δεκαετία του 1930 στην ψύξη κινητήρων αεροσκαφών, γιατί εξασφάλιζε ψύξη του κινητήρα χωρίς την ύπαρξη εξωτερικά τοποθετημένου εναλλάκτη (ψυγείου). Ο κινητήρας ψυχόταν με νερό θερμοκρασίας μεγαλύτερης από 100 °C, που βρισκόταν σε υψηλή πίεση από μία αντλία. Όταν το νερό διοχετευόταν σ' ένα σωλήνα μέσα από ένα στόμιο και η πίεσή του υποβιβάζονταν στην ατμοσφαιρική, ένα μέρος του εξατμιζόταν, απέβαλε τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης και ψυχόταν.

Σήμερα η ψύξη με εξάτμιση χρησιμοποιείται για τον κλιματισμό κτηρίων, δεδομένου ότι απαιτεί μικρότερα ποσά ενέργειας απ' την ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών ή με απορρόφηση ατμών ψυκτικού μέσου. Το μειονέκτημα είναι ότι αποδίδει μόνο σε ξηρά κλίματα και ότι απαιτείται συνεχής παροχή νερού που συμπληρώνει το νερό που ατμοποιείται.

Η ψύξη με εξάτμιση βρίσκει εφαρμογή στους πύργους ψύξεως, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον υποβιβασμό της θερμοκρασίας νερού ή άλλου εργαζόμενου μέσου. Οι πύργοι ψύξεως χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες, σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε κτήρια, όταν υπάρχει ανάγκη για απόρριψη κάποιου ποσού θερμότητας από ένα εργαζόμενο μέσο στο περιβάλλον (π.χ. για τη συμπύκνωση αερίου φρέον σε εγκατάσταση μηχανικής συμπίεσης ατμών). Στην περίπτωση που το εργαζόμενο μέσο είναι νερό, τότε μέρος του ατμοποιείται και ψύχει το υπόλοιπο. Στην περίπτωση που το εργαζόμενο μέσο δεν είναι νερό, τότε η ψύξη του γίνεται έμμεσα σε εναλλάκτη, ο οποίος ψύχεται με εξάτμιση νερού σε πύργο ψύξεως.

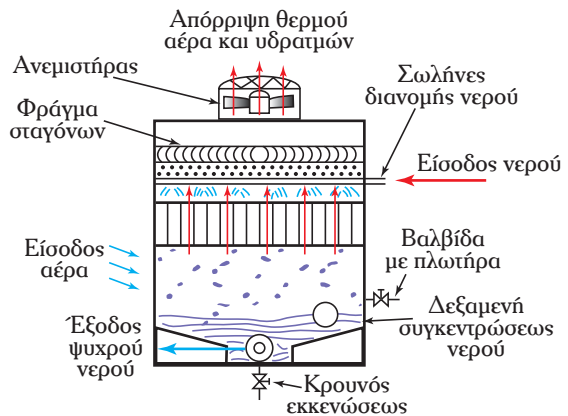
Οι πύργοι ψύξεως χωρίζονται σε **πύργους φυσικής κυκλοφορίας** (σχ. Π.1.Βα), όπου ο ζεστός υγρός αέρας ανυψώνεται λόγω της διαφοράς πυκνότητας που έχει από τον ψυχρό ξηρό αέρα και σε **πύργους εξαναγκασμένης κυκλοφορίας** (σχ. Π.1.Ββ),

όπου ο αέρας κινείται από ανεμιστήρες. Οι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις και τοποθετούνται δίπλα σε φυσικές αποθήκες νερού (λίμνες, ποτάμια), ενώ οι πύργοι εξαναγκασμένης κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται σε μικρές εγκαταστάσεις και τοποθετούνται σε οροφές κτηρίων, δεδομένου ότι καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο. Στους πύργους ψύξεως ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στο κάτω μέρος και κινείται προς τα πάνω, ενώ το θερμό νερό εισέρχεται στο πάνω μέρος με μορφή σταγόνων και συγκεντρώνεται χαμηλά. Για να μην παρασύρονται σταγόνες στο περιβάλλον, ο αέρας περνάει από μία διάταξη συγκρα-



Σχ. Π.1.Βα.

Πύργος ψύξεως φυσικής κυκλοφορίας.



Σχ. Π.1.Ββ.

Πύργος ψύξεως εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

τήσεως παγωμένου νερού (υλικό συγκρατήσεως ή περσίδες). Το νερό που έχει ψυχθεί συγκεντρώνεται σε μία λεκάνη στο κάτω μέρος του πύργου, η στάθμη της οποίας κρατείται σταθερή μέσω πλωτήρων.

Σε μικρότερη κλίμακα η ψύξη με εξάτμιση χρησιμοποιείται σε μικρούς φορητούς ανεμιστήρες ατμοποίησης που ψύχουν το χώρο με εξάτμιση νερού, το οποίο ψεκάζεται από προστόμια μέσω μιας αντλίας.

Π.1.Γ Θερμοπλεκτρική ψύξη.

Κατά το θερμοπλεκτρικό φαινόμενο, όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή και διέρχονται από ρεύμα, η μια πλευρά ψύχεται και η άλλη θερμαίνεται. Σήμερα η μέθοδος θερμοπλεκτρικής ψύξεως εφαρμόζεται με ημιαγωγούς.

Σε αντίθεση με το φαινόμενο Joule, όπου η παραγόμενη θερμότητα είναι ανάλογη με το τετράγωνο της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος:

$$Q = RI^2$$

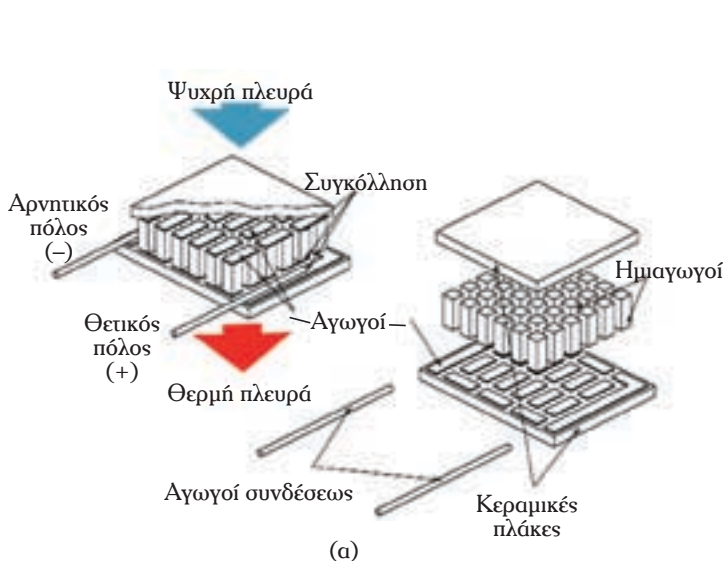
στο θερμοπλεκτρικό φαινόμενο η παραγόμενη θερμότητα είναι ανάλογη με την ένταση:

$$Q = PI$$

όπου: P , είναι ο συντελεστής Peltier, η τιμή του οποίου είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας των διόδων:

$$P = a\Delta T$$

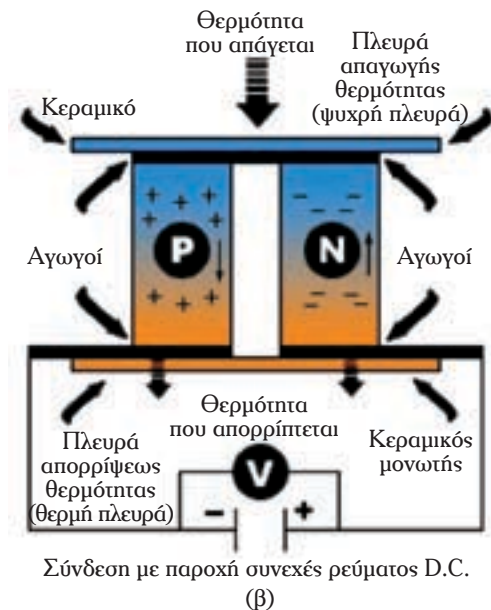
και ο συντελεστής a εξαρτάται από το είδος των αγωγίμων υλικών.



Η αναλογία της θερμότητας που απομακρύνεται και της εντάσεως του ρεύματος, προσφέρει το πλεονέκτημα της δυνατότητας ρυθμίσεως της θερμοκρασίας με μεγάλη ακρίβεια. Αυτός είναι ο λόγος της εξαπλώσεως της θερμοπλεκτρικής ψύξεως σε εφαρμογές που απαιτείται ακριβής ρύθμιση θερμοκρασιών, όπως η ψύξη ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και υπολογιστών, οι κατεργασίες υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες, η επεξεργασία υφασμάτων και η ρομποτική. Επίσης, το πλεονέκτημα της ελλείψεως κινουμένων μερών αξιοποιείται σε κατασκευές ψυγείων, σε στρατιωτικές εφαρμογές, π.χ. ο κλιματισμός υποβρυχίων και στη διαστημική βιομηχανία.

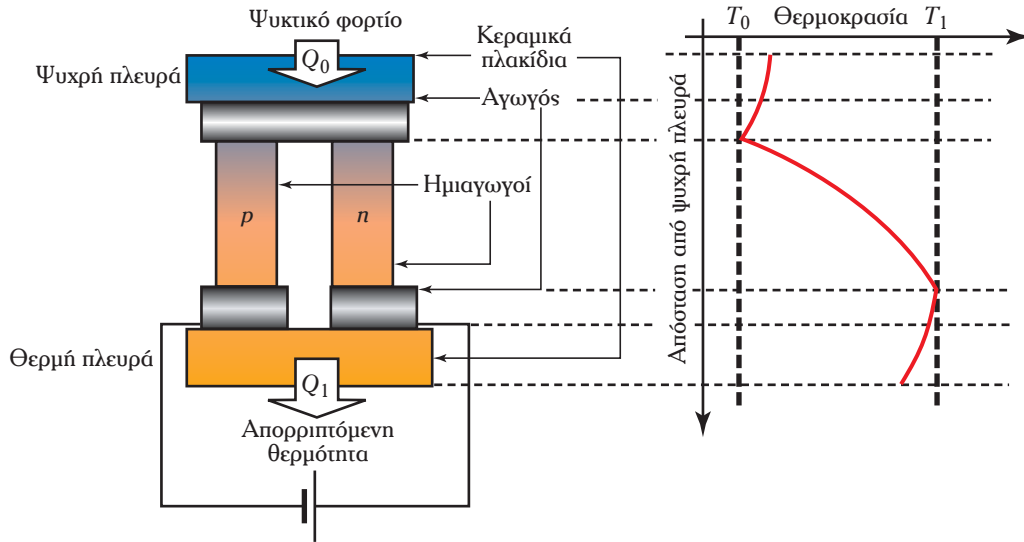
Το θερμοπλεκτρικό φαινόμενο υλοποιείται με τα στοιχεία **θερμοπλεκτρικής ψύξεως** (thermoelectric Modules—TM), όπως αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα Π.1.Γα. Η απόδοση των TM κυμαίνεται από 5–10% της αποδόσεως της ψυκτικής μηχανής που εργάζεται με τον ιδανικό κύκλο Carnot και είναι μικρή σε σχέση μ' αυτήν που πετυχαίνουν οι ψυκτικές μηχανές μηχανικής συμπίεσεως ατμών. Έτσι, η θερμοπλεκτρική ψύξη χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου η έλλειψη κινουμένων μερών και η απουσία συντηρήσεως υπερτερούν της μειωμένης αποδόσεως.

Ένα στοιχείο θερμοπλεκτρικής ψύξεως αποτελείται από ζεύγη ημιαγωγών τύπου n και p , που είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι σε σειρά και θερμικά τοποθετημένοι παράλληλα. Συνήθως, οι ημιαγωγοί είναι κολλημένοι ανάμεσα σε δύο κεραμικές επιφάνειες.



Σχ. Π.1.Γα.

Στοιχείο θερμοπλεκτρικής ψύξεως: (α) Κατασκευή, (β) επεξήγηση λειτουργίας.



Σχ. Π.1.Γβ.

Θερμοκρασιακή κατανομή σε στοιχείο θερμοπλεκτρικής ψύξεως.

νεις, οι οποίες αποτελούν το ζεστό και το ψυχρό τμήμα του στοιχείου θερμοπλεκτρικής ψύξεως. Για την ηλεκτρική σύνδεση σε σειρά των ζευγών των ημιαγωγών, στα κεραμικά πλακίδια τοποθετούνται αγωγοί, οι οποίοι συνδέονται με αγωγούς συνδέσεως στα άκρα τους. Το υλικό που χρησιμοποιείται για τους ημιαγωγούς είναι ο **τελουρίτης βισμούθιου** (bismuth telluride, Bi_2Te_3), ο **τελουρίτης αντιμονίου** (antimony telluride, Sb_2Te_3) ή τα στερεά τους διαλύματα. Οι κεραμικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται για τη μηχανική ένωση των ημιαγωγών και τη θερμική επαφή με τα γειτονικά αντικείμενα που ψύχονται ή θερμαίνονται. Κατά συνέπεια, το κεραμικό υλικό θα πρέπει να έχει καλή μηχανική αντοχή και καλή θερμική αγωγιμότητα.

Με την εφαρμογή τάσεως στα άκρα των αγωγών συνδέσεως δημιουργείται διαφορά θερμοκρασίας και ροή θερμότητας από την ψυχρή στη θερμή πλευρά του στοιχείου θερμοπλεκτρικής ψύξεως. Η κατανομή θερμοκρασίας από την ψυχρή μέχρι τη θερμή πλευρά εικονίζεται στο σχήμα Π.1.Γβ, όπου μπορεί να παρατηρηθεί η αύξηση της θερμοκρασίας στους ημιαγωγούς και η μείωσή της στα θερμικά αγωγίμα κεραμικά πλακίδια και στους αγωγούς συνδέσεως.

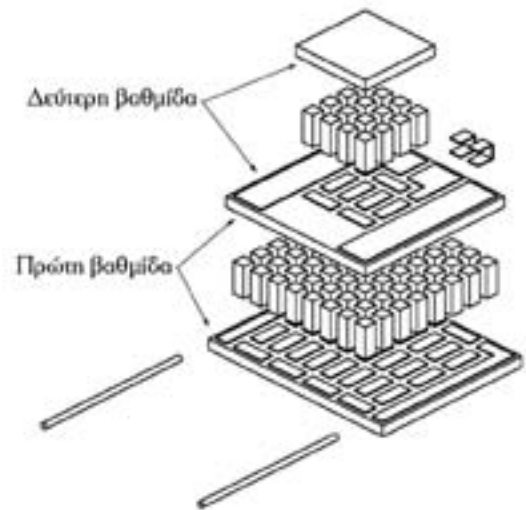
Στην περίπτωση που το θερμοπλεκτρικό στοιχείο πρέπει να λειτουργεί με μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην ψυχρή και στη θερμή πλευρά, κατασκευάζονται διβάθμια θερμοπλεκτρικά στοιχεία (σχ. Π.1.Γγ), τα οποία αποτελούνται από δύο θερμικά στοιχεία ηλεκτρικά συνδεδεμένα σε σειρά. Στα διβάθμια θερμοπλεκτρικά στοιχεία το πρώτο εί-

ναι μεγαλύτερο από το δεύτερο και η ψυχρή πλευρά που πρώτου είναι σε θερμική επαφή με τη θερμή πλευρά του δεύτερου.

Στις εμπορικές εφαρμογές τα στοιχεία θερμοπλεκτρικής ψύξεως τροφοδοτούνται με τάση 6–12 V και έχουν ψυκτική απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας 3–6 W/cm².

Π.1.Δ Ψύξη με απορρόφηση ατμών.

Η αρχή λειτουργίας των εγκαταστάσεων απορροφήσεως, βασίζεται στο γεγονός ότι τα υγρά συμπιέζονται ευκολότερα από τα αέρια. Έτσι, αντί για τη συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου που δημιουργούνται σ' έναν ατμοποιητή, με συμπιεστή,



Σχ. Π.1.Γγ.

Διβάθμιο στοιχείο θερμοπλεκτρικής ψύξεως.

στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως οι ατμοί απορροφώνται από ένα υγρό και σχηματίζουν πυκνό διάλυμα. Το διάλυμα αυτό συμπιέζεται από μια αντλία και οδηγείται σε μια γεννήτρια ατμών, όπου διαχωρίζονται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσεως. Στη συνέχεια, οι ατμοί συμπυκνώνονται, εκτονώνονται και εισέρχονται στον εξατμιστή για να ολοκληρωθεί ο κύκλος.

Για την επίτευξη καλύτερου βαθμού αποδόσεως της εγκαταστάσεως, μπορεί να τοποθετηθεί ένας εναλλάκτης θερμότητας ανάμεσα στο ψυχρότερο πυκνό διάλυμα που πηγαίνει από τον απορροφητήρα προς τη γεννήτρια ατμών και στο αραιό θερμό διάλυμα που πηγαίνει από τη γεννήτρια ατμών προς τον απορροφητήρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυκνού διαλύματος που μπαίνει στη γεννήτρια ατμών συνεπάγεται την ελάττωση της καταναλώσεως θερμότητας. Επίσης, η ελάττωση της θερμοκρασίας του αραιού διαλύματος που οδεύει προς τον απορροφητήρα συνεπάγεται αυξημένη ικανότητα απορροφήσεως και μειωμένες απαιτήσεις ψύξεως του απορροφητήρα.

Τέλος, επί πλέον αύξηση της αποδόσεως της εγκαταστάσεως επιτυγχάνεται με την υπόψυξη του υγρού ψυκτικού μέσου που μπαίνει στον ψύκτη. Για το σκοπό αυτό τοποθετείται ένας εναλλάκτης που φέρνει σε θερμική επαφή τους ψυχρούς ατμούς του ψυκτικού μέσου που βγαίνουν από τον ψύκτη, με το υγρό ψυκτικό μέσο που εισέρχεται στον ψύκτη.

1) Ζεύγη εργαζομένων μέσων.

Στην ψύξη με απορρόφηση, το ψυκτικό μέσο έχει υγρή και αέρια φάση, ανάλογα με την πίεση και τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται, ενώ ο απορροφητής μπορεί να έχει υγρή ή στερεή φάση. Στην περίπτωση που ο απορροφητής είναι υγρό υπάρχει **υγρή απορρόφηση**, ενώ στην περίπτωση που ο απορροφητής είναι στερεό υπάρχει **προσρόφηση**. Για να είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί σε ψυκτικό κύκλο απορροφήσεως ένα ζεύγος ψυκτικού μέσου και απορροφητή, θα πρέπει:

α) Ο απορροφητής και το ψυκτικό μέσο να σχηματίζουν ομογενή μείγματα στο επιθυμητό εύρος θερμοκρασιών, χωρίς να αντιδρούν χημικά μεταξύ τους.

β) Ο απορροφητής και το ψυκτικό μέσο να είναι μη οξειδωτικά και ασφαλή στη χρήση.

γ) Το ψυκτικό μέσο να έχει μεγάλη ειδική θερμότητα ατμοποιήσεως, ώστε να μην απαιτείται μεγάλη

παροχή υγρού στον ατμοποιητή.

Ειδικά για ψυκτικό μέσο νερού, επί πλέον θα πρέπει:

α) Ο απορροφητής να έχει μικρή πτητικότητα, ώστε να μην διαφεύγουν ατμοί του από τη γεννήτρια ατμών προς το συμπυκνωτή.

β) Η χαμηλή και η υψηλή πίεση λειτουργίας της εγκαταστάσεως να είναι κοντά στην ατμοσφαιρική.

γ) Τόσο ο απορροφητής, όσο και το ψυκτικό μέσο να είναι χημικώς σταθερά και να μην διασπώνται σε άλλα αέρια με τη μακροχρόνια χρήση.

Στον πίνακα Π.1.Δ δίνονται οι συνδυασμοί ψυκτικού μέσου και απορροφητή, οι οποίοι σε μικρότερο ή σε μεγαλύτερο βαθμό, πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις.

Σήμερα, στις περισσότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις απορροφήσεως έχουν επικρατήσει δύο συνδυασμοί εργαζομένων μέσων. Ο συνδυασμός της αμμωνίας (NH_3) ως ψυκτικό μέσο και του νερού (H_2O) ως απορροφητή είναι ο παλαιότερος που έχει χρησιμοποιηθεί σε κύκλους απορροφήσεως και σήμερα χρησιμοποιείται όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι μικρότερη από 0°C . Μεγάλη εφαρμογή βρίσκει στα διυλιστήρια αργού πετρελαίου και σε μικρά οικιακά ψυγεία απορροφήσεως. Τελευταία, χρησιμοποιείται ο συνδυασμός του νερού ως ψυκτικό μέσο και του υδρόφιλου άλατος του βρωμιούχου λιθίου (LiBr) ως απορροφητή, κυρίως σε εφαρμογές κλιματισμού, όπου η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι μεγαλύτερη από 0°C .

Με την προσθήκη στο κύκλωμα ενός αδρανούς αερίου, το οποίο δεν συμπυκνώνεται και δεν αντιδρά χημικά με το ψυκτικό μέσο και τον απορροφητή (π.χ. υδρογόνο H_2), μπορεί να εξασφαλισθεί η λειτουργία του κύκλου απορροφήσεως σε σχεδόν σταθερή πίεση σε όλο το κύκλωμα. Μ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η χρήση αντλίας για τη συμπίεση του πυκνού διαλύματος που σχηματίζεται στον απορροφητήρα. Τέτοιες εγκαταστάσεις απορροφήσεως ονομάζονται εγκαταστάσεις **διαχύσεως**.

2) Εγκαταστάσεις απορροφήσεως αμμωνίας-νερού ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$).

Τα συστήματα αμμωνίας-νερού χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές βιομηχανικής ψύξεως και σε οικιακά ψυγεία. Η αμμωνία αποτελεί το ψυκτικό μέσο και διαλύεται στο νερό που είναι ο απορροφητής σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ενώ και τα δύο υγρά είναι χημικά σταθερά και συμβατά

Πίνακας Π.1.Δ
Συνδυασμοί ψυκτικού
μέσου-απορροφητή.

Ψυκτικά μέσα	Μέσα απορροφήσεως
Νερό (H ₂ O)	Άλατα
	Alkali halides
	Βρωμιούχο λίθιο (LiBr)
	Χλωρικό λίθιο (LiClO ₃)
	Χλωριούχο ασβέστιο (CaCl ₂)
	Βρωμιούχος ψευδάργυρος (ZnBr)
	Alkali nitrates
	Alkali thiocyanates
	Βάσεις
	Υδροξείδια αλκαλίου
	Οξέα
	Θειικό οξύ (H ₂ SO ₄)
	Φωσφορικό οξύ (H ₃ PO ₄)
Αμμωνία (NH ₃)	Νερό (H ₂ O)
	Alkali thiocyanates
TFE	NMP
(Organic)	E181
	DMF
	Pyrrolidone
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Οργανικοί διαλύτες

με σίδηρο ή χάλυβα, εκτός του χαλκού, αλουμίνιου και των κραμάτων του. Η αμμωνία έχει χημικό τύπο NH₃, μοριακό βάρος 17 και στις κανονικές συνθήκες είναι αέριο. Η θερμοκρασία υγροποίησής της σε ατμοσφαιρική πίεση είναι -33,4 °C. Πλεονέκτημα της αμμωνίας είναι η μεγάλη ειδική θερμότητα ατμοποίησης που έχει, η οποία συνεπάγεται μικρή παροχή υγρού στον ψύκτη και γενικά μειωμένο μέγεθος εγκαταστάσεως. Η αμμωνία έχει έντονη οσμή και είναι τοξική. Το θερμοθετημένο όριο ασφαλείας για τη συγκέντρωση αμμωνίας στον αέρα είναι τα 50 ppm (35 mg/m³). Η αμμωνία λόγω της οσμής της είναι ανιχνεύσιμη από τον άνθρωπο σε συγκέντρωση από 15 ppm, αλλά τα άτομα που εκτίθενται

στην αμμωνία συνηθίζουν την οσμή της και μπορεί να μην την εντοπίζουν μέχρι τη συγκέντρωση των 100 ppm. Το όριο για ασφαλή έκθεση σε ατμούς αμμωνίας είναι 15 λεπτά σε συγκέντρωση 35 ppm ή 8 ώρες σε συγκέντρωση 25 ppm. Επίσης, οι άνθρωποι με άσθμα είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην έκθεση στην αμμωνία. Η έκθεση σε αέρα που περιέχει μεγάλες συγκεντρώσεις αμμωνίας προκαλεί πονοκεφάλους, εμετούς, ερεθισμούς στο δέρμα, στα μάτια, στην τραχεία και μπορεί να επιφέρει βλάβη των πνευμόνων και θάνατο. Γι' αυτούς τους λόγους είναι πρωταρχικής σημασίας ο καλός αερισμός των χώρων εργασίας, όταν εντοπιστεί οσμή αμμωνίας που προέρχεται από κάποια διαρροή. Επί πλέον η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει μικρή έκρηξη όταν έρθει σε επαφή με γυμνή φλόγα ή πυρακτωμένα μέταλλα, οπότε πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προφυλάξεως¹. Απαραίτητη η ύπαρξη προστατευτικής μάσκας αερίων κατάλληλης για NH₃.

Η τοξικότητα και η οσμή της αμμωνίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση της σε εφαρμογές κλιματισμού. Επί πλέον, στον κύκλο αμμωνίας-νερού απαιτούνται μεγάλες πιέσεις λειτουργίας. Ένα ακόμα μειονέκτημα του συνδυασμού αμμωνίας-νερού είναι ότι ένα μέρος του νερού ατμοποιείται στη γεννήτρια ατμών και οι παραγόμενοι υδρατμοί παρασύρονται προς το συμπυκνωτή και στη συνέχεια προς τον ψύκτη. Οι υδρατμοί συσσωρεύονται στον ψύκτη, διαλύουν την υγρή αμμωνία και την παρασύρουν έξω από τον ψύκτη, χωρίς αυτή να έχει αλλάξει φάση, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα παραγωγής ψύξεως. Το φαινόμενο αυτό ελαττώνεται με χρήση **στήλης ενισχύσεως** (rectifier).

Μία εγκατάσταση νερού-αμμωνίας (σχ. Π.1.Δα) περιλαμβάνει διατάξεις απομακρύνσεως υδρατμών από την αμμωνία που οδηγείται στο συμπυκνωτή. Για να αποφεύγεται η ανάμειξη υδρατμών με τους ατμούς αμμωνίας, μετά τη γεννήτρια ατμών τοποθετείται ένας **αναλυτής** (analyzer), ο οποίος είναι στην ουσία μία στήλη αποστάξεως και στη συνέχεια ένας **καθαριστήρας** (rectifier). Το μείγμα των υδρατμών και των ατμών της αμμωνίας που εξέρχεται από τη γεννήτρια ατμών, καθώς ανεβαίνει στη στήλη ενισχύσεως ψύχεται, οπότε οι υδρατμοί που έχουν μικρότερη θερμοκρασία συμπυκνώσεως υγροποιούνται και πέφτουν πάλι στη γεννήτρια ατμών, ενώ οι ατμοί της αμμωνίας διαφεύγουν προς τον καθα-

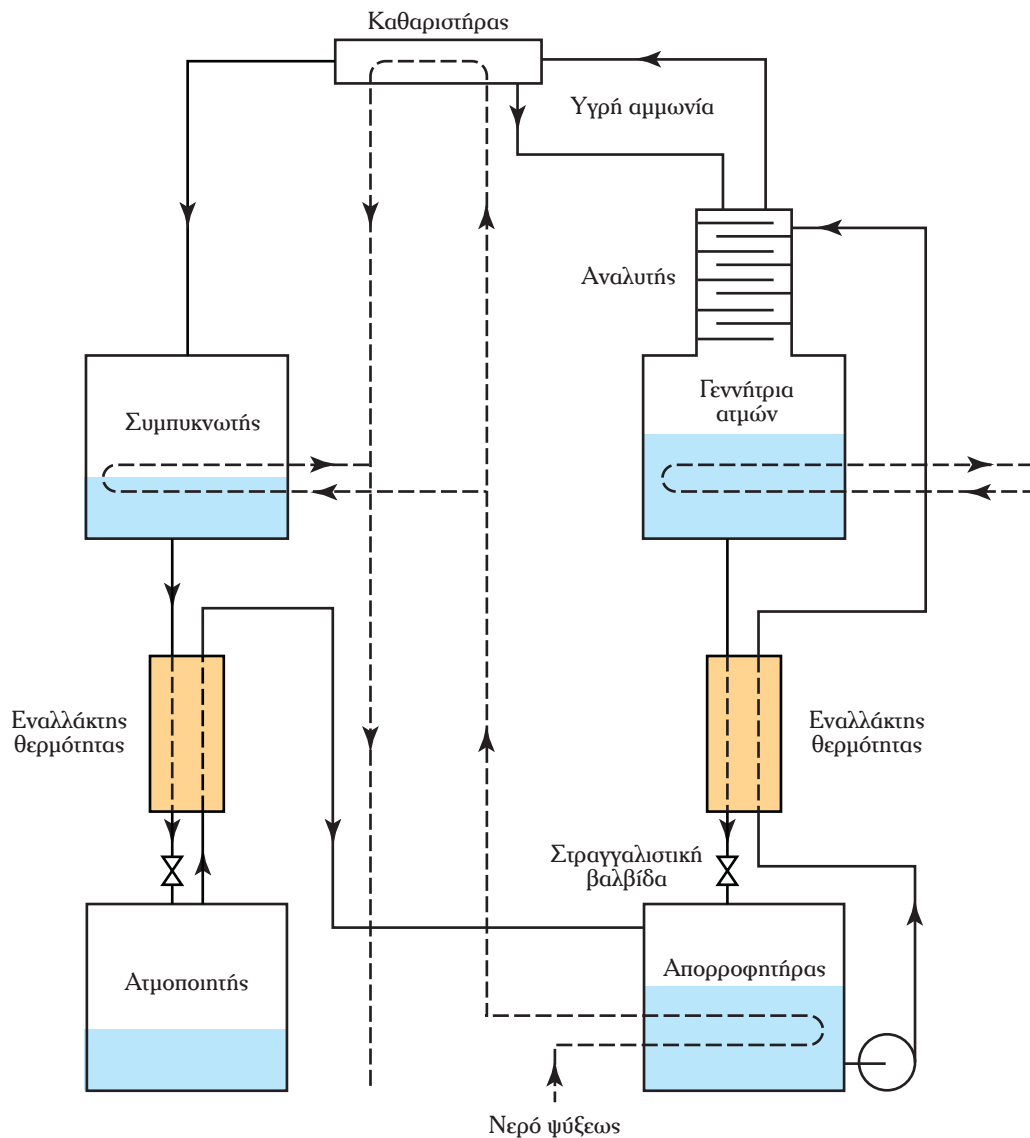
¹ Αναλυτική αναφορά στα μέτρα προφυλάξεως που πρέπει να λαμβάνονται κατά τη χρήση αμμωνίας γίνεται στο Παράρτημα Π.2.Ε.

ριστήρα. Στον καθαριστήρα οι ατμοί αμμωνίας ψύχονται και έτσι οι εναπομείναντες υδρατμοί μ' ένα μέρος ατμών αμμωνίας υγροποιούνται και επιστρέφουν στην πάνω μεριά. Η ψύξη στον καθαριστήρα επιτυγχάνεται με παροχή νερού συμπυκνώσεως, η ροή του οποίου ρυθμίζεται κατάλληλα, ώστε να υπάρχει σταθερή ροή συμπυκνώματος από τον καθαριστήρα προς τον αναλυτή.

3) Εγκαταστάσεις απορροφήσεως νερού-βρωμιούχου λιθίου ($H_2O-LiBr$).

Στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως νερού-βρωμιούχου λιθίου το ψυκτικό μέσο είναι το νερό, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και απορροφά-

ται από διάλυμα νερού-βρωμιούχου λιθίου. Έτσι, οι εγκαταστάσεις απορροφήσεως $H_2O-LiBr$ χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές κλιματισμού, όπου η θερμοκρασία ατμοποίησης δεν υπερβαίνει τους $0^\circ C$. Το βρωμιούχο λίθιο είναι ένα στερεό υδροσκοπικό άλας, το οποίο διαλύεται στο νερό και σχηματίζει άλμη που μπορεί να απορροφάει υδρατμούς. Το πλεονέκτημα του βρωμιούχου λιθίου ως μέσο απορροφήσεως είναι ότι εφόσον είναι στερεό δεν παράγονται ατμοί του και δεν συμπαρασύρεται στο συμπυκνωτή και στον ψύκτη, όπως συμβαίνει στις εγκαταστάσεις NH_3-H_2O , όπου χρησιμοποιείται νερό ως απορροφητής. Έτσι, οι εγκαταστάσεις $H_2O-LiBr$



Σχ. Π.1.Δα.

Διάγραμμα ψυκτικής εγκαταστάσεως απορροφήσεως NH_3-H_2O .

διαφέρουν από τις εγκαταστάσεις $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ στο ότι δεν περιλαμβάνουν αναλυτή και καθαριστήρα.

Δεδομένου ότι το νερό είναι το ψυκτικό μέσο η εγκατάσταση λειτουργεί με κενό, δηλαδή, οι πιέσεις λειτουργίας είναι μικρότερες απ' την ατμοσφαιρική. Δεδομένου ότι η διαφορά ανάμεσα στη χαμηλή και στην υψηλή πίεση είναι μικρή, αυτή εξισορροπείται από την υδροστατική πίεση στις σωληνώσεις και το στραγγαλισμό στα ακροφύσια ψεκασμού.

Η ψυκτική ισχύς ρυθμίζεται με ρύθμιση της συγκεντρώσεως του διαλύματος στον απορροφητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της παροχής θερμότητας προς τη γεννήτρια ατμών, μέσω της ρυθμίσεως της παροχής του ψυκτικού νερού ή με ρύθμιση της παροχής του συμπυκνωμένου διαλύματος από τη γεννήτρια.

Στο σχήμα Π.1.Δβ εικονίζεται το διάγραμμα μιας ψυκτικής μηχανής απορροφήσεως νερού-βρωμιούχου λιθίου. Η εγκατάσταση αποτελείται από δύο δοχεία (shells), τα οποία αντιστοιχούν στην υψηλή και στη χαμηλή πίεση λειτουργίας. Το πάνω δοχείο περιέχει τη γεννήτρια ατμών και το συμπυκνωτή και το κάτω τον ψύκτη και τον απορροφητήρα.

Η θερμότητα που δίνεται στη γεννήτρια ατμών προκαλεί την ατμοποίηση ενός μέρους νερού από το διάλυμα $\text{H}_2\text{O-LiBr}$. Οι υδρατμοί εισέρχονται στο συμπυκνωτή, όπου ψύχονται από το νερό ψύξεως και συμπυκνώνονται. Ακολούθως, το συμπύκνωμα οδηγείται στον ψύκτη όπου επικρατεί χαμηλή πίεση και ψεκάζεται πάνω από τους σωλήνες που περιέχουν το ρευστό που ψύχεται (άλμη) και μεταφέρει την παραγόμενη ψυκτική ισχύ. Λόγω της χαμηλής πιέσεως στον ψύκτη, το νερό ατμοποιείται και απορροφάει από την άλμη τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης. Οι υδρατμοί στη συνέχεια οδηγούνται στον απορροφητήρα, όπου απορροφώνται από ένα διάλυμα $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ που είναι πυκνό σε LiBr . Το διάλυμα που προκύπτει οδηγείται από μία αντλία στη γεννήτρια ατμών, ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος.

Στις εγκαταστάσεις αυτές υπάρχει κίνδυνος **κρυσταλλώσεως** του μείγματος μέσα στους σωλήνες, αν δεν τηρηθούν ορισμένες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη διακοπή λειτουργίας και ενδεχόμενης αχρηστεύσεως τμημάτων σωληνώσεων.

Οι ψυκτικές μηχανές απορροφήσεως $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ υπάρχουν στο εμπόριο ως ολοκληρωμένες μονάδες, οι οποίες περιέχουν τις απαραίτητες ποσότητες εργαζομένων μέσων και για τη λειτουργία τους

απαιτείται μόνο η σύνδεση με το θερμαντικό νερό ή τον ατμό, την ηλεκτρική παροχή για τις αντλίες και με το νερό ψύξεως. Στο σχήμα Π.1.Δγ φαίνεται μία τέτοια μονάδα κατασκευής Trane.

Ο κύκλος μονοσταδιακής απορροφήσεως του σχήματος Π.1.Δα πετυχαίνει βαθμό αποδόσεως [συντελεστή συμπεριφοράς (Coefficient of performance-COP)] περίπου ίσο με 0,6.

4) Εγκαταστάσεις διαχύσεως.

Σε μικρές εγκαταστάσεις απορροφήσεως, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρά οικιακά ψυγεία και σε μικρά ψυγεία πλοίων-αναψυχής (yacht) προστίθεται υδρογόνο στον ατμοποιητή και στον απορροφητήρα, έτσι ώστε να εξισορροπηθούν οι πιέσεις στην υψηλή και στη χαμηλή πλευρά.

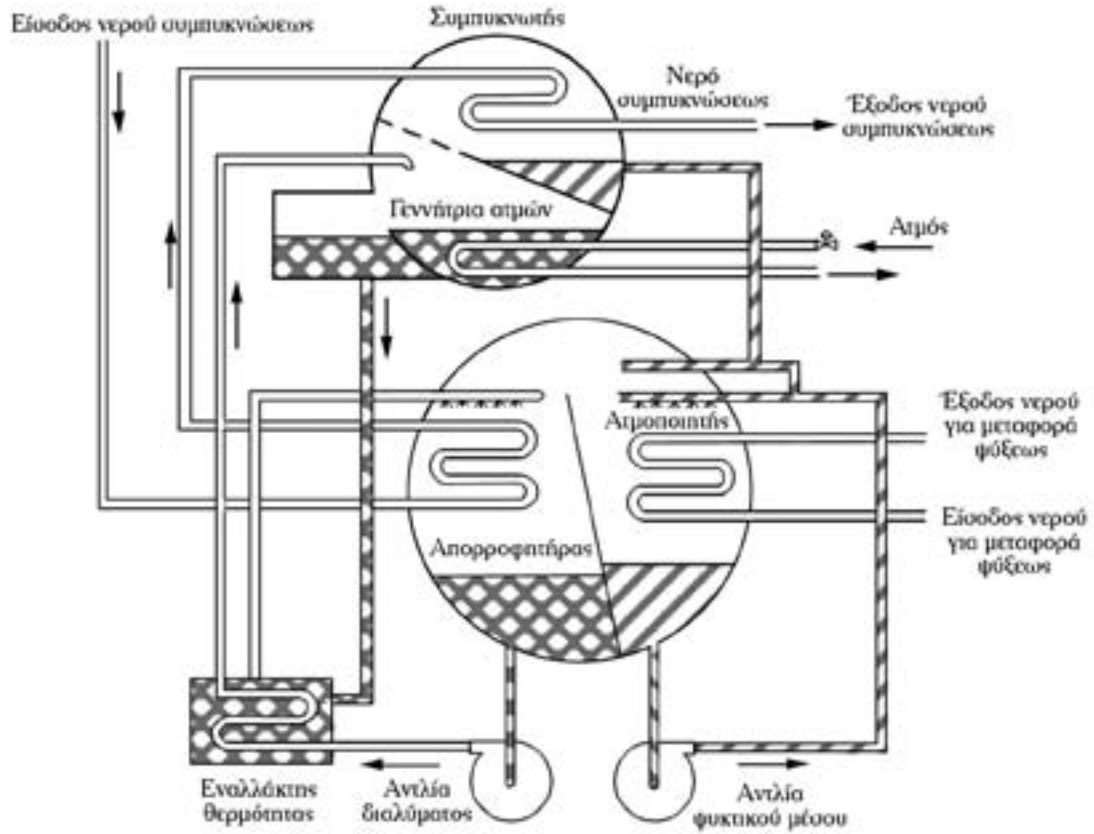
Σύμφωνα με το νόμο του Ντάλτον, το σύνολο των μερικών πιέσεων του κάθε αερίου σ' ένα μείγμα αερίων ισούται με την πίεση του μείγματος. Έτσι, σ' όλα τα μέρη της εγκαταστάσεως διαχύσεως η συνολική πίεση του μείγματος των αερίων είναι σταθερή. Λόγω της υπάρξεως του υδρογόνου και της μερικής πιέσεως που ασκεί στην πλευρά της χαμηλής πιέσεως, η μερική πίεση των ατμών της αμμωνίας στον ατμοποιητή και στον απορροφητήρα είναι μικρότερη από τη μερική πίεση των ατμών της αμμωνίας στη γεννήτρια ατμών και στο συμπυκνωτή.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η αμμωνία να ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία και να υγροποιείται σε μεγάλη πίεση.

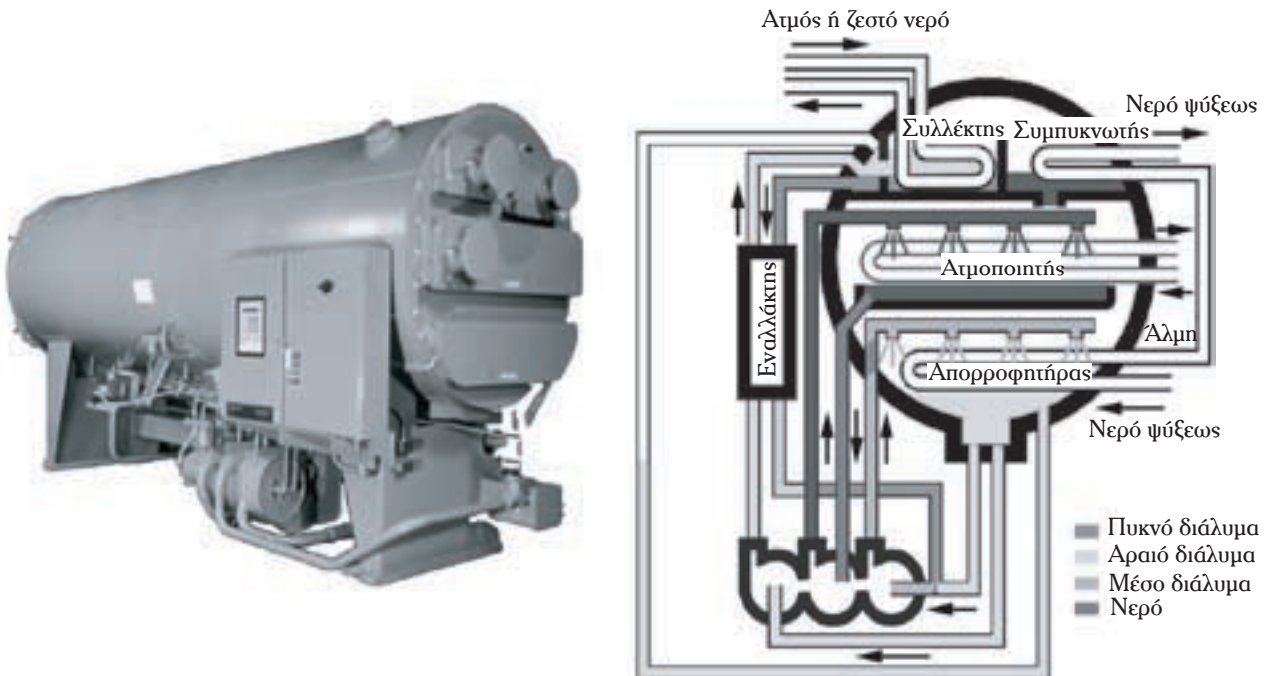
Λόγω της υπάρξεως μικρής διαφοράς στη συνολική πίεση των αερίων μειγμάτων μεταξύ ατμοποιητή και συμπυκνωτή, η κυκλοφορία των ρευστών γίνεται με τη βοήθεια της διαφοράς πυκνότητας, μέσω της βαρύτητας. Η ανύψωση του υγρού διαλύματος γίνεται χωρίς τη χρήση αντλίας, μέσω της γεννήτριας ατμών, η οποία περιλαμβάνει ένα σωλήνα, μέσα στον οποίο οι φυσαλλίδες ατμού παρασύρουν το υγρό προς τα πάνω.

Η απαιτούμενη θερμότητα για τη λειτουργία της γεννήτριας ατμών παράγεται με καύση προπανίου ή με ηλεκτρική αντίσταση.

Στο σχήμα Π.1.Δδ εικονίζεται το διάγραμμα ενός οικιακού ψυγείου, το οποίο λειτουργεί με απορρόφηση και διάχυση ατμών αμμωνίας. Η θερμότητα προσδίδεται στη γεννήτρια ατμών (1) και προέρχεται από την καύση προπανίου στον καυστήρα (2), ενώ εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική αντίσταση, η οποία τοποθετείται στην υποδοχή. Οι



Σχ. Π.1.Δβ.
Διάγραμμα ψυκτικής μηχανής απορροφήσεως $H_2O-LiBr$.



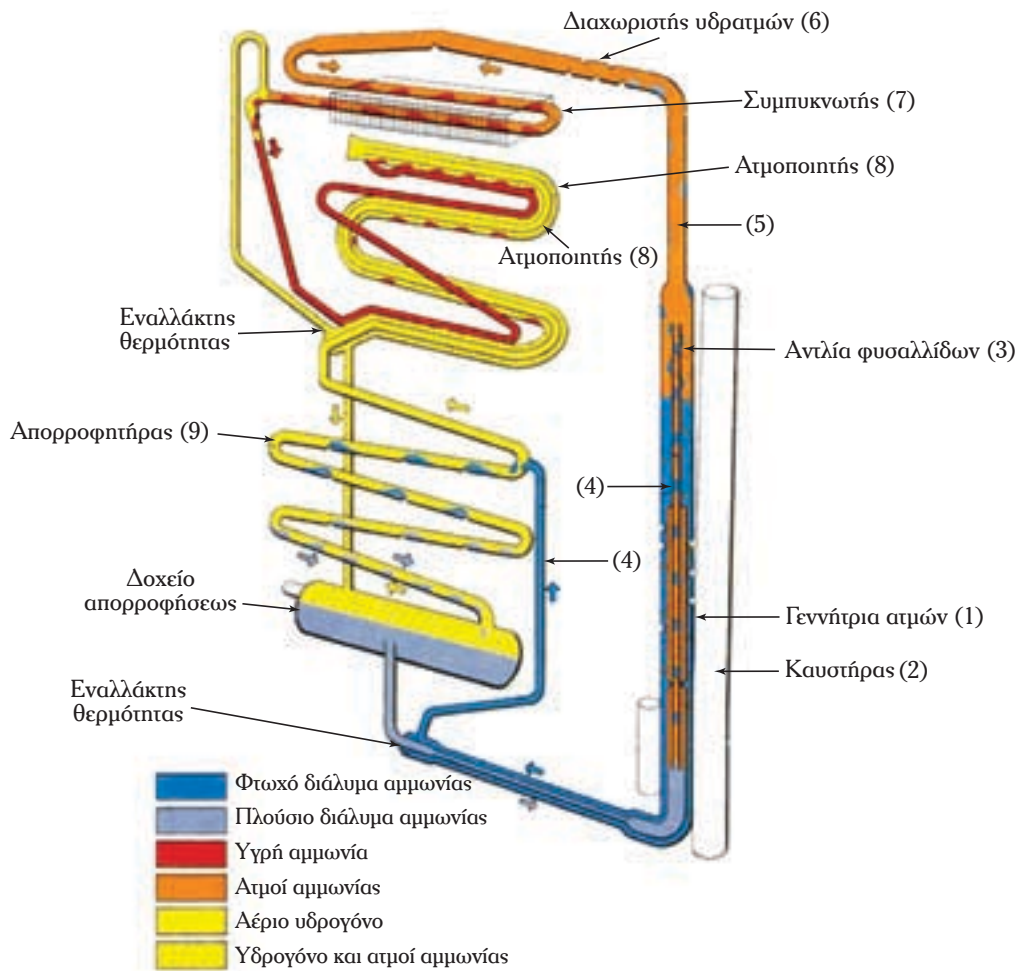
Σχ. Π.1.Δγ.
Ψυκτική διάταξη απορροφήσεως $H_2O-LiBr$ κατασκευής Trane.

ατμοί αμμωνίας που δημιουργούνται παρασύρουν πυκνό διάλυμα μέσω της διατάξεως ανυψώσεως υγρού (αντλία φυσαλίδων) (3). Το πυκνό διάλυμα περνάει από το σωλήνα (4) και μέσω του (5) οδεύει προς το διαχωριστή νερού (6), όπου οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και επιστρέφουν προς τη γεννήτρια ατμών. Οι ατμοί αμμωνίας οδηγούνται προς το συμπυκνωτή (7), όπου ψύχονται απ' τη ροή αέρα στα εξωτερικά περύγια και υγροποιούνται. Στη συνέχεια η υγρή αμμωνία πηγαίνει στον ατμοποιητή, ο οποίος βρίσκεται μέσα στο μονωμένο ψυκτικό θάλαμο. Ο ατμοποιητής περιέχει αέριο υδρογόνο, οπότε λόγω της μερικής πίεσης του υδρογόνου, η αμμωνία ατμοποιείται σε χαμηλή μερική πίεση και απορροφάει τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης από τον ψυκτικό θάλαμο. Στη συνέχεια, οι ατμοί της αμμωνίας οδηγούνται στον απορροφητήρα (9), όπου απορροφώνται από το αραιό διάλυμα. Από το

σωλήνα (4) ένα μέρος αραιού διαλύματος οδηγείται λόγω της υδροστατικής πίεσης στην πάνω μεριά του ατμοποιητή, όπου απορροφάει την αέρια αμμωνία. Μ' αυτόν τον τρόπο το υδρογόνο επιστρέφει από τον απορροφητήρα προς τον ατμοποιητή, παραμένει στην πλευρά της χαμηλής πίεσης και δεν διαφεύγει προς τη γεννήτρια ατμών.

Η θερμότητα που δημιουργείται με την απορρόφηση απαγάται από τον περιβάλλοντα αέρα. Η ελεύθερη ροή αέρα στην πίσω πλευρά του ψυγείου είναι απαραίτητη, καθώς ο αέρας χρησιμοποιείται και για την ψύξη του συμπυκνωτή.

Οι ψυκτικές διατάξεις απορροφήσεως-διαχύσεως είναι σφραγισμένες και περιλαμβάνουν τις κατάλληλες ποσότητες νερού, αμμωνίας και υδρογόνου για τη λειτουργία του κύκλου, ενώ δεν μπορούν να επισκευαστούν χωρίς την προσθήκη των σωστών ποσοτήτων των εργαζομένων ουσιών. Επίσης δεν πρέπει



Σχ. Π.1.Δδ.

Ψυκτική εγκατάσταση διαχύσεως σε οικιακό ψυγείο.

να παίρνουν κλίση διότι υπάρχει κίνδυνος μετακινήσεως υγρών και αλλαγής των πιέσεων διαχύσεως.

5) Σύγκριση εγκαταστάσεων απορροφήσεως και μηχανικής συμπίεσεως ατμών.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς (βαθμός αποδόσεως) των ψυκτικών εγκαταστάσεων εκφράζεται από το λόγο της παραγόμενης ψυκτικής ισχύος \dot{Q}_ψ προς την ισχύ που δίδεται στην εγκατάσταση. Στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως η εξωτερικά προσδιδόμενη ενέργεια είναι το άθροισμα της θερμότητας \dot{Q}_{gen} , που δίνεται στη γεννήτρια ατμών, και της μηχανικής ισχύος \dot{W}_{pump} , που δίνεται στην αντλία διαλύματος, ενώ στις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως ατμών ψυκτικού μέσου η εξωτερικά προσδιδόμενη ενέργεια είναι η μηχανική ισχύς συμπίεσεως \dot{W}_{comp} . Ο λόγος αυτός ονομάζεται **συντελεστής συμπεριφοράς COP**.

Για εγκαταστάσεις απορροφήσεως:

$$COP = \frac{\dot{Q}_\psi}{\dot{Q}_{gen} + \dot{W}_{pump}}$$

Για εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως ατμών ψυκτικού μέσου:

$$COP = \frac{\dot{Q}_\psi}{\dot{W}_{comp}}$$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς των εγκαταστάσεων απορροφήσεως είναι μικρότερος από τη μονάδα και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού ψύξεως. Επί πλέον παράγοντες που επηρεάζουν το συντελεστή συμπεριφοράς είναι η θερμοκρασία της στήλης αποστάξεως, η καθαρότητα της αμμωνίας που επιτυγχάνεται, η θερμοκρασία του απορροφητήρα και η απόδοση του εναλλάκτη.

Γενικά, οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορροφήσεως πετυχαίνουν μικρό συντελεστή συμπεριφοράς. Το μειονέκτημα αυτό όμως μπορεί να ξεπεραστεί από το γεγονός ότι για την παραγωγή ψύχους εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που είναι υποβαθμισμένη μορφή ενέργειας. Ενδεικτικά, η ψυκτική εγκατάσταση απορροφήσεως $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ του σχήματος Π.1.Δα έχει συντελεστή συμπεριφοράς (COP) ίσο με 0,571. Για τη μονοβάθμια εγκατάσταση απορροφήσεως νερού-βρωμιούχου λιθίου του σχήματος Π.1.Δβ για πίεση θερμαντικού ατμού 0,83 bar, θερμοκρασία ψυκτικού νερού 30 °C και θερμοκρασία άλμης 6,5 °C, ο συντελεστής συμπεριφοράς, που επιτυγχάνεται είναι από 0,65 – 0,70.

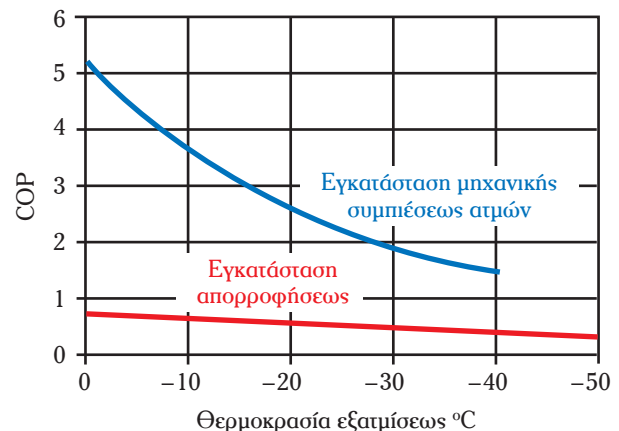
Αντίθετα, ο συντελεστής συμπεριφοράς μιας εγκαταστάσεως μηχανικής συμπίεσεως ατμών μπορεί να φτάσει στο 4 ή 5. Έτσι, η απόδοση μιας εγκαταστάσεως απορροφήσεως είναι το ¼ της αποδόσεως μιας εγκαταστάσεως μηχανικής συμπίεσεως ατμών και κατά συνέπεια είναι συμφέρουσα μόνον όταν υπάρχει κάποια διαθέσιμη και οικονομικά συμφέρουσα πηγή θερμότητας.

Στο σχήμα Π.1.Δε δίνονται για σύγκριση οι συντελεστές συμπεριφοράς που επιτυγχάνουν οι μονοβάθμιες εγκαταστάσεις απορροφήσεως και οι εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως ατμών, σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης, από όπου μπορεί να παρατηρηθεί η υστέρηση σε απόδοση των εγκαταστάσεων απορροφήσεως. Το πλεονέκτημα των εγκαταστάσεων απορροφήσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα Π.1.Δε είναι ότι, όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης μειώνεται, έχουν μικρότερη αναλογικά μείωση του βαθμού αποδόσεώς τους, σε σχέση με τις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως. Επί πλέον, πλεονέκτημα των εγκαταστάσεων απορροφήσεως είναι η απουσία κινουμένων μερών, δεδομένου ότι υπάρχει μόνο μία αντλία.

Οι εγκαταστάσεις απορροφήσεως παρουσιάζουν ορισμένα **πλεονεκτήματα** έναντι των εγκαταστάσεων με μηχανική συμπίεση ατμών του ψυκτικού μέσου. Αυτά είναι:

α) Για την παραγωγή ψύχους χρησιμοποιείται θερμότητα που είναι υποβαθμισμένη μορφή ενέργειας. Επί πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί θερμότητα που αποβάλλεται από άλλες μηχανές.

β) Δεν παράγεται θόρυβος, δεδομένου ότι τα κι-



Σχ. Π.1.Δε.

Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς ψυκτικών εγκαταστάσεων απορροφήσεως και μηχανικής συμπίεσεως ατμών ψυκτικού μέσου.

νούμενα μηχανήματα είναι οι αντλίες. Ο θόρυβος είναι βασική παράμετρος στις εγκαταστάσεις κλιματισμού. Συγκριτικά με τις εγκαταστάσεις απορροφήσεως, στις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως παράγεται θόρυβος από τους μηχανικούς συμπιεστές, που είναι δύσκολο και δαπανηρό να περιοριστεί.

γ) Δεν χρησιμοποιείται λιπαντικό λάδι στην εγκατάσταση και κατά συνέπεια δεν σχηματίζονται επικαθίσεις λαδιού στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας, οι οποίες παραμένουν καθαρές και έτσι εξασφαλίζεται καλή απόδοση σε όλη τη διάρκεια ζωής της εγκαταστάσεως.

δ) Εάν υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα που αποβάλλεται στο περιβάλλον το κόστος λειτουργίας είναι μικρό, δεδομένου ότι τα μηχανήματα που καταναλώνουν ενέργεια είναι οι αντλίες και οι ανεμιστήρες στο συμπυκνωτή και στον ατμοποιητή. Σε μία εγκατάσταση μηχανικής συμπίεσεως ατμών το 90% της ενέργειας καταναλώνεται από το συμπιεστή.

ε) Στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως υπάρχει καλός βαθμός αποδόσεως σε λειτουργία με μειωμένο φορτίο. Σε αντίθεση, ο βαθμός αποδόσεως των εγκαταστάσεων μηχανικής συμπίεσεως είναι μικρός σε μειωμένο φορτίο λόγω της κακής αποδόσεως των συμπιεστών σε μικρή φόρτιση, πράγμα που οδηγεί σε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

στ) Λόγω του μικρού αριθμού κινουμένων μερών και της ελλείψεως ακριβών συμπιεστών στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως, το κόστος συντηρήσεως είναι μικρό και η διάρκεια λειτουργίας χωρίς βλάβες είναι μεγαλύτερη, σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως ατμών.

ζ) Στις εγκαταστάσεις απορροφήσεως απαιτείται μικρότερη δαπάνη για κτηριακές υποδομές, δεδομένου ότι η στήλη αποστάξεως μπορεί να βρίσκεται σε απόσταση από τον ατμοποιητή, ενώ δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει δωμάτιο για την ψυκτική εγκατάσταση. Επί πλέον, δεν χρειάζονται ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν ηλεκτροκίνητους συμπιεστές.

Τα **μειονεκτήματα** των εγκαταστάσεων απορροφήσεως σε σχέση με τις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως ατμών είναι:

α) Το αυξημένο κόστος (περίπου κατά 20–30%) των εγκαταστάσεων απορροφήσεως σε σχέση με τις εγκαταστάσεις μηχανικής συμπίεσεως.

β) Η αυξημένη πολυπλοκότητά τους.

γ) Η συνεχής ροή θερμότητας που απαιτείται.

δ) Απαιτείται συνολικά περισσότερος χώρος για

την εγκατάσταση.

ε) Η τοξικότητα της αμμωνίας, η οποία όταν χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο επιβάλλεται να χρησιμοποιούνται κατάλληλα μέσα προφυλάξεως.

στ) Ο κίνδυνος κρυσταλλώσεως σε εγκαταστάσεις $H_2O-LiBr$.

Π.1.Ε Συντήρηση τροφίμων.

Η διατήρηση των τροφίμων με ψύξη ανάλογα με τη θερμοκρασία γίνεται με:

α) Συντήρηση (για θερμοκρασία μεγαλύτερη από 0 °C).

β) Κατάψυξη (για θερμοκρασία μικρότερη από 0 °C).

Η μέθοδος διατηρήσεως επιλέγεται ανάλογα με την επιθυμητή διάρκεια αποθηκείσεως και εξαρτάται από το είδος των τροφίμων, δηλαδή από το αν είναι αναπνέοντα ή μη αναπνέοντα. Τα αναπνέοντα τρόφιμα (φρούτα, λαχανικά) συνεχίζουν να εκτελούν τις ζωικές τους λειτουργίες κατά τη διάρκεια της αποθηκείσεως τους, οπότε οι θερμοκρασίες καταψύξεως τα καταστρέφουν διότι κρυσταλλοποιείται το νερό που περιέχουν. Αντίθετα τα μη αναπνέοντα τρόφιμα μπορούν να διατηρηθούν και σε συντήρηση και σε κατάψυξη.

1) Συντήρηση τροφίμων.

Με την αποθήκευση φρούτων και λαχανικών σε θερμοκρασιακές συνθήκες συντηρήσεως δεν καταστρέφονται οι ιστοί και δεν σταματούν οι χημικές αντιδράσεις της αναπνοής, η οποία γίνεται με πρόσληψη οξυγόνου και απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα, αιθυλενίου και θερμότητας. Το αιθυλένιο που απελευθερώνεται από τα τρόφιμα επιταχύνει τη διαδικασία της αναπνοής και μειώνει το μέγιστο χρόνο συντηρήσεως. Γι' αυτόν τον λόγο οι θάλαμοι συντηρήσεως τροφίμων είναι κατασκευασμένοι κατά τέτοιον τρόπο, ώστε ο αέρας να μπορεί να εναλλάσσεται για να απομακρύνεται το αιθυλένιο και το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο προκαλεί πρόωρη ωρίμανση, ενώ η θερμότητα αναπνοής του φορτίου συνυπολογίζεται στο ψυκτικό φορτίο.

Στον πίνακα Π.1.Ε.1 παρουσιάζεται η διάρκεια ζωής διαφόρων τροφίμων και η κατάλληλη θερμοκρασία συντηρήσεώς τους.

Η συντήρηση τροφίμων σε μικρή κλίμακα γίνεται σε οικιακά ψυγεία. Σε μεγαλύτερη κλίμακα τα τρόφιμα συντηρούνται σε εμπορικά ψυγεία και σε

μεγάλους ψυκτικούς θαλάμους.

Στις περιπτώσεις που απαιτείται γρήγορη αφαίρεση θερμότητας από νωπά τρόφιμα, λαχανικά, χρησιμοποιούνται διατάξεις ταχείας ψύξεως (σχ. Π.1.Ε), που λειτουργούν με ροή ψυχρού αέρα.

Τα τρόφιμα που καταψύχονται τοποθετούνται

στον ψυκτικό θάλαμο όπου δέχονται ροή αέρα ψυχόμενο από άλημ μέσω του εναλλάκτη. Ο ρυθμός ψύξεως εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από την ταχύτητα του αέρα. Ο αέρας ανακυκλοφορεί μέσω του ανεμιστήρα και η θερμοκρασία του ρυθμίζεται από το θερμοστάτη, ο οποίος δίνει εντολή αφενός

Πίνακας Π.1.Ε.1
Θερμοκρασίες θαλάμου και χρόνου συντηρήσεως τροφίμων.

<i>Εμπόρευμα</i>	<i>Θερμοκρασία συντηρήσεως °C</i>	<i>Μέγιστη θερμοκρασία παγωμάτος °C</i>	<i>Σχετική υγρασία (%)</i>	<i>Παραγωγή αιθυλενίου</i>	<i>Εναισθησία στο αιθυλένιο</i>	<i>Αριθμός εναλλαγών αέρα</i>	<i>Προσεγγιστικός χρόνος αποθηκείσεως (ημέρες)</i>
Φρέσκα φρούτα							
Μήλα							
μη ευαίσθητα στο κρύο	-1-1	-1,5	90-95	π. μεγ.	μεγ.	μεγ.	90-240
ευαίσθητα	4,5	-1,5	90-95	π. μεγ.	μεγ.	μεγ.	40-45
Αβοκάντο	5-10	-0,3	85-90	μεγ.	μεγ.	μεγ.	14-28
Μπανάνες	11-15	-0,8	85-90	μέτ.	μεγ.	μεγ.	7-28
Μούρα							
Βατόμουρα	-0,5-0	-1,3	90-95	χαμ.	μικ.	π. χαμ.	10-20
Καρύδες	0-1	-0,9	80-85	χαμ.	μικ.	καμ. εναλ.	30-60
Γκρέιπφρουτ	10-16	-1,1	85-90	π. χαμ.	μέτ.	μετ.	28-42
Σταφύλια (Αμερ.)	-0,5-0	-1,3	85-90	π. χαμ.	μικ.	π. χαμ.	14-59
Σταφύλια (Ευρωπ.)	-1-0,5	-2,2	90-95	π. χαμ.	μικ.	π. χαμ.	70-150
Ακτινίδια	0	-0,9	90-95	χαμ.	μεγ.	μεγ.	28-84
Λεμόνια	10-14	-1,4	85-90	π. χαμ.	μέτ.	μετ.	30-180
Τροπικό μάγκο	13	-0,9	85-90	μέτ.	μεγ.	μετ.	14-25
Νεκταρίνια	-0,5	-0,9	90-95	μεγ.	μεγ.	μετ.	14-28
Πορτοκάλια	0-8	-0,8	85-90	π. χαμ.	μέτ.	μετ.	20-85
Ροδάκινα	-0,5-0	-0,9	90-95	μεγ.	μεγ.	μεγ.	10-28
Αχλάδια	-1-0	-1,6	90-95	μεγ.	μεγ.	μετ.	60-180
Ανανάς	10-12	-1,0	85-90	χαμ.	μικ.	π. χαμ.	14-30
Δαμάσκνα	-0,5-0	-0,8	90-95	μέτ.	μεγ.	μετ.	14-28
Μανταρίνια	7	-1,1	85-90	π. χαμ.	μέτ.	μετ.	14-28
Φρέσκα λαχανικά							
Αγκινάρες	0	-1,2	90-95	π. χαμ.	μικ.	χαμ.	10-16
Σπαράγγια	0-2	-0,6	90-95	π. χαμ.	μέτ.	μετ.	14-21
Φασολάκια	5-7	-0,7	90-95	χαμ.	μέτ.	μετ.	7-12
Μπρόκολα	0	-0,6	90-95	π. χαμ.	μεγ.	μεγ.	10-14

π. χαμ.: πολύ χαμηλή, *π. μεγ.*: πολύ μεγάλη, *μεγ.*: μεγάλη, *χαμ.*: χαμηλή, *μέτ.*: μέτρια, *καμ. εναλ.*: καμμία εναλλαγή

(συνεχίζεται)

Εμπόρευμα	Θερμοκρασία συντηρήσεως °C	Μέγιστη θερμοκρασία παγώματος °C	Σχετική υγρασία (%)	Παραγωγή αιθυλενίου	Εναισθησία στο αιθυλένιο	Αριθμός εναλλαγών αέρα	Προσεγγιστικός χρόνος αποθηκεύσεως (ημέρες)
Φρέσκα λαχανικά							
Λάχανα Βρυξελλών	0	-0,8	90-95	π. χαμ.	μεγ.	μεγ.	21-35
Λάχανα κινέζικα	0-1	-0,9	95	π. χαμ.	μεγ.	μέτ.	30-60
Καρότα	0	-1,4	95	π. χαμ.	μικ.	π. χαμ.	30-180
Κουνουπίδια	0-1	-0,8	90-95	π. χαμ.	μεγ.	μεγ.	20-30
Σέλινα	0	-0,5	90-95	π. χαμ.	μέτ.	μέτ.	14-28
Ραδίκια	0-1	-1,2	95	π. χαμ.	μεγ.	π. χαμ.	14-28
Αγγούρια	10-13	-0,5	90-95	χαμ.	μεγ.	π. χαμ.	7-14
Σκόρδα	0	-0,8	65-70	π. χαμ.	μικ.	χαμ.	150-200
Πράσα	0	-0,7	95	π. χαμ.	μικ.	μεγ.	30-90
Κρεμμύδια	0	-0,8	65-75	π. χαμ.	μέτ.	χαμ.	30-200
Πιπεριές	7-10	-0,7	90-95	π. χαμ.	χαμ.	χαμ.	7-18
Πατάτες	4-6	-0,8	90-95	π. χαμ.	μέτ.	χαμ.	60-160
Σπανάκι	0	-0,3	95	π. χαμ.	μεγ.	μέτ.	10-24
Τομάτες πράσινες	8-13	-0,5	90-95	π. χαμ.	μεγ.	μέτ.	20-30
Τομάτες κόκκινες	0-1	-0,5	80-90	μέτ.	μεγ.	μέτ.	10-14

π. χαμ.: πολύ χαμηλή, *π. μεγ.*: πολύ μεγάλη, *μεγ.*: μεγάλη, *χαμ.*: χαμηλή, *μέτ.*: μέτρια, *καμ. εναλ.*: καμμία εναλλαγή

στην αντλία κυκλοφορίας άλμης και αφετέρου στη βαλβίδα ελέγχου του ατμού χαμηλής πίεσεως που διέρχεται από τον εναλλάκτη ατμού. Η άλμη ψύχεται από τον ψύκτη της ψυκτικής εγκαταστάσεως και διατηρείται σε χαμηλή θερμοκρασία στη δεξαμενή. Η ψυκτική εγκατάσταση περιλαμβάνει συμπιεστή, συμπυκνωτή, θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, θερμοστατική βαλβίδα ελέγχου ροής και πιεζοστατική βαλβίδα χαμηλής και υψηλής πίεσεως για έλεγχο του συμπιεστή.

2) Κατάψυξη τροφίμων.

Η μέθοδος της καταψύξεως στηρίζεται στο γεγονός ότι η ανάπτυξη των βακτηριδίων επιβραδύνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των -10°C . Η κατάψυξη των τροφίμων, συνήθως, γίνεται σε θερμοκρασίες από -17°C έως -20°C , ώστε να επιτυγχάνεται χρονικό διάστημα αποθηκεύσεως που κυμαίνεται από 6 – 8 μήνες. Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στα τρόφιμα επιβραδύνονται, καθώς η μάζα τους στερεοποιείται. Κατά τη μακροχρόνια κατάψυξη, ακόμα και σε θερμοκρασία -35°C – -40°C , ένα

ποσοστό 5% του περιεχόμενου νερού στο εσωτερικό της μάζας του προϊόντος παραμένει σε υγρή μορφή. Δεδομένου ότι με την κατάψυξη δεν σκοτώνονται τα βακτηρίδια, αλλά παραμένουν αδρανή, αυτά συνεχίζουν να αναπτύσσονται όταν η θερμοκρασία αυξηθεί. Έτσι, η ποιότητα των κατεψυγμένων τροφίμων καταστρέφεται όταν στον ψυκτικό θάλαμο δεν διατηρείται σταθερή θερμοκρασία. Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα των κατεψυγμένων τροφίμων είναι ότι τα κύτταρά τους αλλοιώνονται, γεγονός που οφείλεται στη ρήξη τους από το νερό που περιέχουν και το οποίο με την τήξη διαστέλλεται. Η ποιότητα τέλος επηρεάζεται από την αφυδάτωση, λόγω του ξηρού αέρα του ψυκτικού θαλάμου, η οποία προλαμβάνεται με τη διατήρηση της υγρασίας του αέρα του θαλάμου σε ψηλά επίπεδα κοντά στο 100% και με την αδιαπέραστη από υδρατμούς συσκευασία των τροφίμων. Στον πίνακα Π.1.Ε.2 δίνονται οι θερμοκρασίες και οι σχετικές υγρασίες για την κατάψυξη διαφόρων μη αναπνεύτων τροφίμων. Επίσης δίνεται η μέγιστη διάρκεια αποθηκεύσεως, η οποία συνδυάζεται με τη μείωση

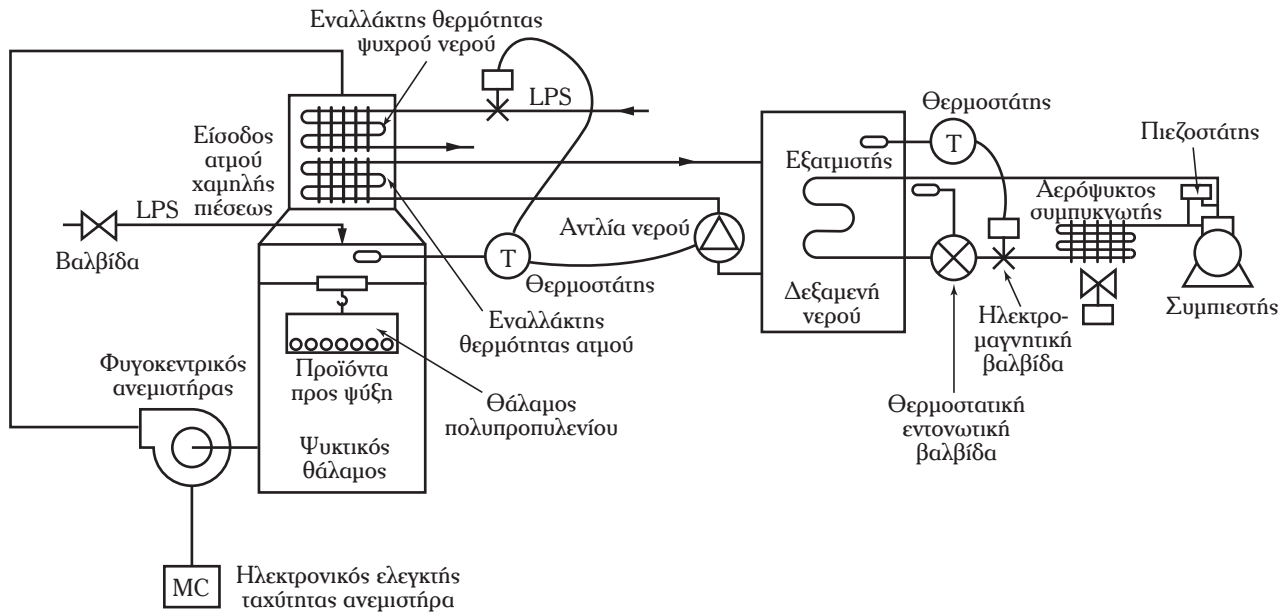
της θερμοκρασίας καταψύξεως.

Η κατάψυξη των νωπών τροφίμων πραγματοποιείται με μία από τις εξής μεθόδους:

α) Με την τοποθέτησή τους σε ψυκτικούς θαλάμους με ακίνητο ψυχρό αέρα, του οποίου η θερμο-

κρασία πέφτει σταδιακά.

β) Με ροή ψυχρού αέρα (air-blast freezing), όπου τα συσκευασμένα τρόφιμα τοποθετούνται σε ροή αέρα με θερμοκρασία $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ο οποίος κινείται με μεγάλη ταχύτητα.



Σχ. Π.1.Ε.

Ψυκτική μηχανή ταχείας ψύξεως με ροή ψυχρού αέρα.

Πίνακας Π.1.Ε.2

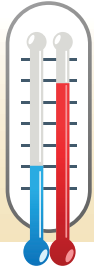
Θερμοκρασίες θαλάμου και χρόνου αποθηκείωσης μη αναπνεόντων τροφίμων.

Εμπόρευμα	Θερμοκρασία αποθηκείωσης $^{\circ}\text{C}$	Θερμοκρασία παγοποίησης	Σχετική υγρασία (%)	Προσεγγιστικός χρόνος αποθηκείωσης (ημέρες)
Βούτυρο	-1 έως 4	-2,2	75-85	18-40
Βούτυρο κατεψυγμένο	-23 έως -10	—	80-5	150-360
Τυρί	0 έως 4,5	-10 έως -3	65-70	180-360
Αυγά	-1,5 έως 0,5	-1,7	85-90	150-200
Αυγά κατεψυγμένα	-18	—	—	360
Ψάρια φρέσκα	-0,5 έως 1	-1,5	90-95	5-15
Ψάρια κατεψυγμένα	-23 έως -18	—	90-95	180-360
Παγωτό	-26	-6	—	90-360
Αρνίσιο, χοιρινό, βοδινό κρέας (φρέσκο)	-1 έως 1	-2	85-90	7-28
Αρνίσιο, χοιρινό, βοδινό κρέας (κατεψυγμένο)	-23 έως -18	—	90-95	150-300
Πουλερικά (φρέσκα)	-1,5 έως 0,5	-2,5	85-90	8
Πουλερικά (κατεψυγμένα)	-23 έως -18	—	90-95	200-300

- γ) Με εμβάπτιση σε άλμη, θερμοκρασίας $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- δ) Με μεταφορά σε διάτρητη μεταφορική ταινία και ταυτόχρονη ροή ψυχρού αέρα από κάτω προς τα πάνω.
- ε) Με επαφή με ψυχρές μεταλλικές πλάκες.
- στ) Με εμβάπτιση σε υγροποιημένο άζωτο ή διο-

ξείδιο του άνθρακα.

Με τις μεθόδους β), γ), δ), ε) και στ) επιτυγχάνεται ταχεία κατάψυξη σε διάστημα ωρών ή μερικών λεπτών, οπότε αποφεύγεται η συσσώρευση κρυστάλλων πάγου στο εσωτερικό των τροφίμων, οπότε επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Ιδιότητες ψυκτικών μέσων

Π.2.Α Ψυκτικά μέσα κατηγορίας A (ασφαλής ως προς την τοξικότητα).

Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας A είναι τα εξής:

1) R-11: Τριχλωροφθορομεθάνιο (CCl_3F).

Το R-11 είναι χημικά σταθερό, μη τοξικό και μη εκρηκτικό ψυκτικό μέσο, το οποίο ανήκει στην οικογένεια των χλωροφθορανθράκων (CFC) και στην κατηγορία A1. Έχει μοριακό βάρος 137,38 και το σημείο ατμοποίησης του σε πίεση 1 atm είναι 23,71 °C. Η κρίσιμη θερμοκρασία είναι 198 °C και η κρίσιμη πίεση 4,408 kPa. Είναι ένα ψυκτικό μέσο χαμηλής πίεσης και έχει θερμοκρασία εξατμίσεως -15 °C σε πίεση κενού 610 mmHg. Χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλες εγκαταστάσεις ψύξεως και κλιματισμού με φυγοκεντρικούς συμπιεστές. Το χρώμα των κυλίνδρων του R-11 είναι πορτοκαλί. Το R-11 είναι το βλαβερό για το περιβάλλον και λόγω της απαγορεύσεως της παραγωγής και της χρήσεως των CFC, το R-11 αντικαθίσταται από το R-123.

2) R-12: Διχλωροδιφθορομεθάνιο (CCl_2F_2).

Το R-12 είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσο της οικογένειας των CFC. Δεν χρησιμοποιείται πλέον σε νέες εγκαταστάσεις, ενώ στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις αντικαθίσταται από το R-134a. Ανήκει στην κατηγορία A1 και έχει μοριακό βάρος 120,91. Είναι άχρωμο και άγευστο και το σημείο ατμοποίησης του σε πίεση 1 atm είναι -29,75 °C. Η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι 112 °C και η κρίσιμη πίεσή του 4,136 kPa. Χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον σε οικιακές και βιομηχανικές ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις με παλινδρομικούς και περιστροφικούς συμπιεστές, καθώς και σε κλιματιστικά αυτοκινήτων μέχρι το 1997. Το χρώμα των δοχείων αποθηκεύσεως R-12 είναι λευκό.

3) R-22: Χλωροδιφθορομεθάνιο ($CHClF_2$).

Το R-22 ανήκει στους υδροχλωροφθορανθράκες (HCFC) και είναι μία τεχνητή ουσία, η οποία χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο όταν απαιτούνται χα-

μηλές θερμοκρασίες ατμοποιήσεως. Το R-22 ανήκει στην κατηγορία A1 και είναι μη τοξικό και μη εύφλεκτο. Χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ψύξεως και κλιματισμού με παλινδρομικούς και φυγοκεντρικούς συμπιεστές. Επίσης, είναι το πιο διαδεδομένο ψυκτικό μέσο στις ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις των πλοίων. Το μοριακό βάρος του R-22 είναι 86,48 και η θερμοκρασία ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση είναι -40,76 °C. Η κρίσιμη θερμοκρασία είναι 96 °C και η κρίσιμη πίεση 4,974 kPa. Το κωδικό χρώμα των δοχείων αποθηκεύσεως που περιέχουν R-22 είναι ανοικτό πράσινο. Το R-22, ως HCFC, έχει μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση και γι' αυτό βρίσκεται σε χρήση μέχρι σήμερα, ως ψυκτικό μέσο ή ως συστατικό σε ψυκτικά μείγματα. Από το 2010 έχει αρχίσει να περιορίζεται η χρήση του σε νέες εγκαταστάσεις. Από το 2020 θα σταματήσει να παράγεται και θα διατίθενται στο εμπόριο οι ποσότητες του R-22 που ανακτώνται από άλλες εγκαταστάσεις, ενώ αναμένεται να έχει αντικατασταθεί πλήρως από άλλα ψυκτικά μέσα μέχρι το 2030. Τα ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως του R-22 είναι τα εξής:

R-407C, R-422A, R-422D, R-402A, R-408A, R-404A, R-507, R-407C και το R-410A.

Το R-22 μπορεί να απορροφάει σημαντική ποσότητα υγρασίας. Η αναλογία υγρασίας που μπορεί να απορροφηθεί από το R-22 είναι 19,5 ppm (parts per million). Για τον περιορισμό της υγρασίας σε εγκαταστάσεις με R-22 χρησιμοποιούνται αφυγραντήρες που πρέπει να ελέγχονται τακτικά. Η υγρασία (H_2O), η οποία περιέχεται σ' ένα ψυκτικό μέσο μπορεί να διαχωριστεί στη βαλβίδα εκτονώσεως με σχηματισμό πάγου και να προσθέσει απόφραξη και διακοπή λειτουργίας. Συνήθως χρησιμοποιούνται ξηραντήρες στο κύκλωμα του ψυκτικού μέσου, οι οποίες κατακρατούν τα ίχνη του H_2O .

Επί πλέον, το R-22 διαλύει το λιπαντικό λάδι σε υψηλές περιεκτικότητες μέχρι τη θερμοκρασία των -9 °C. Το λάδι μπορεί να περιέχεται στο R-22 σε διάλυση μέχρι τη θερμοκρασία των -40 °C, ενώ σε χαμηλότερη θερμοκρασία αποχωρίζεται και καθώς

είναι ελαφρύτερο από το R-22, συγκεντρώνεται στην πάνω πλευρά του συλλέκτη.

Το διάγραμμα του R-22 δίνεται στο σχήμα Π.2.Αα.

δ) R-134a: Τετραφθοροαιθάνιο (CF_3CH_2F).

Το R-134a ανήκει στην οικογένεια των υδροφθορανθράκων (HFC) και χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις με παλινδρομικούς, περιστροφικούς και φυγοκεντρικούς συμπιεστές. Είναι μη τοξικό, μη εύφλεκτο και ανήκει στην κατηγορία A1. Η έκθεση σε ατμόσφαιρα με περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 75.000 ppm σε R-134a μπορεί να προκαλέσει καρδιακές αρρυθμίες. Το μοριακό βάρος του R-134a είναι 102,038 και η θερμοκρασία ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση είναι $-26,076\text{ }^\circ\text{C}$. Η κρίσιμη θερμοκρασία είναι $101,1\text{ }^\circ\text{C}$ και η κρίσιμη πίεση 4,059 kPa. Το κωδικό χρώμα των κυλίνδρων που περιέχουν R-22 είναι γαλάζιο. Η διαλυτότητα του νερού στο R-134a είναι 0,11% κατά βάρος στους $25\text{ }^\circ\text{C}$. Ως HFC, η επίδραση του R-134a στο όζον είναι μηδενική, ενώ έχει μικρή συνεισφορά ως αέριο θερμοκηπίου.

Το R-134a χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο αντικαταστάσεως των R-12 και R-22. Η ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή για το R-134a πρέπει να είναι περίπου κατά 50% μεγαλύτερη απ' αυτήν που απαιτείται για ένα σύστημα με R-22. Λόγω της μεγαλύτερης παροχής του R-134a δημιουργείται μεγάλη πώση πίεσεως στις σωληνώσεις, οπότε μπορεί να είναι αναγκαία η χρήση μεγαλύτερων σωληνώσεων από αυτές που απαιτούνται με το R-22. Το R-134a μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως υποκατάστατο του R-400, αλλά και του R-114, σε νέες εγκαταστάσεις βιομηχανικού κλιματισμού.

Δεν είναι συμβατό με τα ορυκτά λάδια (mineral oils, MO), ενώ μπορεί να χρησιμοποιείται με ειδικά συνθετικά λάδια πολυεστερικής βάσεως (polyester oils-POE). Έτσι, όταν σε μία εγκατάσταση γίνεται αλλαγή του ψυκτικού μέσου από R-12 σε R-134a, πρέπει να γίνει αλλαγή του λιπαντικού από MO, το οποίο χρησιμοποιείται με το R-12, σε POE. Επίσης, για την αλλαγή του ψυκτικού μέσου από R-12 σε R-134a απαιτείται μεγαλύτερος ατμοποιητής και συμπυκνωτής κατά 30%, αλλαγή του τύπου του αφυγραντήρα και αύξηση της ρυθμίσεως των πιέσεων στους πιεζοστάτες χαμηλής και υψηλής κατά 30%.

Οι διαρροές του R-134a δεν μπορούν να εντοπιστούν με λυχνία πυρακτώσεως Halide, διότι δεν υπάρχει κλώριο, το οποίο εντοπίζεται με αυτού του τύπου τις λυχνίες. Ο εντοπισμός των διαρροών γίνεται με ηλεκτρονικούς ανιχνευτές, με διάλυμα σαπου-

νιού ή **οπτικά με λυχνία υπερύθρων**.

Στο σχήμα Π.2.Αβ δίνεται το διάγραμμα πίεσεως-ειδικής ενθαλπίας του R-134a σε μετρικές μονάδες.

Π.2.Β Αζεοτροπικά μείγματα κατηγορίας A (μη τοξικά).

1) R-500 (R-152a + R-12).

Το R-500 αποτελείται από 26,2% R-152a και από 73,8% R-12. Ανήκει στην κατηγορία των χλωροφθορανθράκων (CFC) και κατά συνέπεια η παραγωγή του έχει σταματήσει λόγω των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Έχει χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις με παλινδρομικούς συμπιεστές. Η ψυκτική ικανότητά του είναι περίπου 20% μεγαλύτερη από την ψυκτική ικανότητα μιας όμοιας εγκαταστάσεως με R-12. Το R-500 χρησιμοποιήθηκε ως μέσο αντικαταστάσεως του R-12 σε αυτόνομες ψυκτικές και κλιματιστικές μονάδες που παράγονταν στις Η.Π.Α. και εξαγόταν στην Ευρώπη με τον ίδιο συμπιεστή. Ο συμπιεστής των εγκαταστάσεων αυτών ήταν ερμητικού τύπου και σχεδιασμένος να έχει την απαιτούμενη ογκομετρική παροχή με συχνότητα ρεύματος 60 Hz. Όταν χρησιμοποιούνταν με συχνότητα 50 Hz, έχει μικρότερη ογκομετρική παροχή οπότε το R-500 χρησιμοποιήθηκε αντί του R-12, προκειμένου να αντισταθμιστεί η απώλεια της ψυκτικής ισχύος.

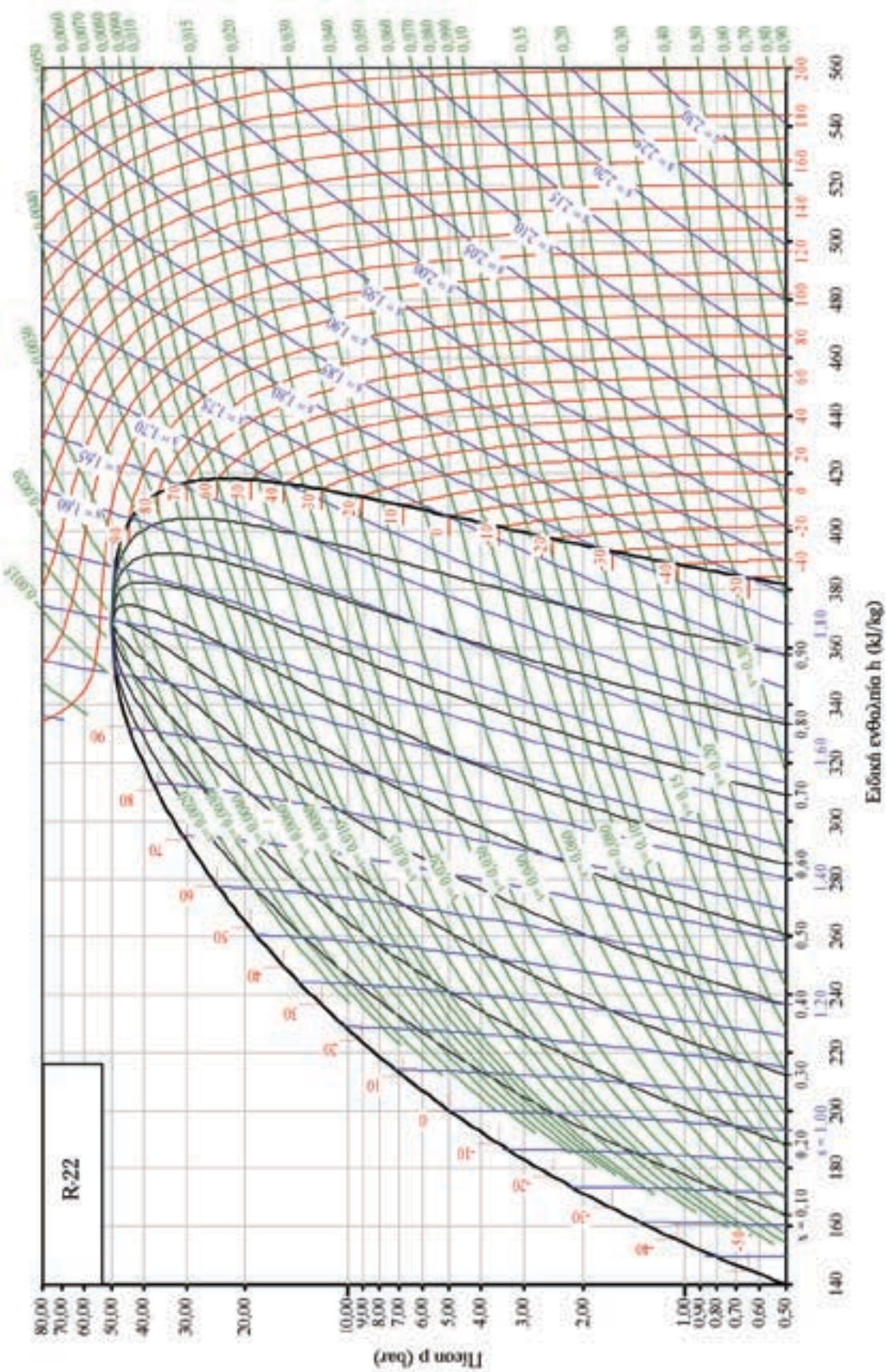
Το R-500 ανήκει στην κατηγορία A1 και είναι μη τοξικό και μη εύφλεκτο. Η θερμοκρασία ατμοποίησης του σε ατμοσφαιρική πίεση είναι $-33,5\text{ }^\circ\text{C}$, η κρίσιμη θερμοκρασία είναι $102,1\text{ }^\circ\text{C}$ και η κρίσιμη πίεση είναι 4,173 kPa. Το κωδικό χρώμα των κυλίνδρων που περιέχουν R-500 είναι κίτρινο.

Οι διαρροές του R-500 εντοπίζονται με λυχνία Halide, με ηλεκτρονικούς ανιχνευτές, με διάλυμα σαπουνιού ή με λυχνία υπερύθρων. Το νερό έχει αυξημένη διαλυτότητα στο R-500, οπότε είναι απαραίτητη η καλή κατάσταση του αφυγραντικού φίλτρου. Τέλος, το R-500 είναι συμβατό με τα ορυκτά λάδια.

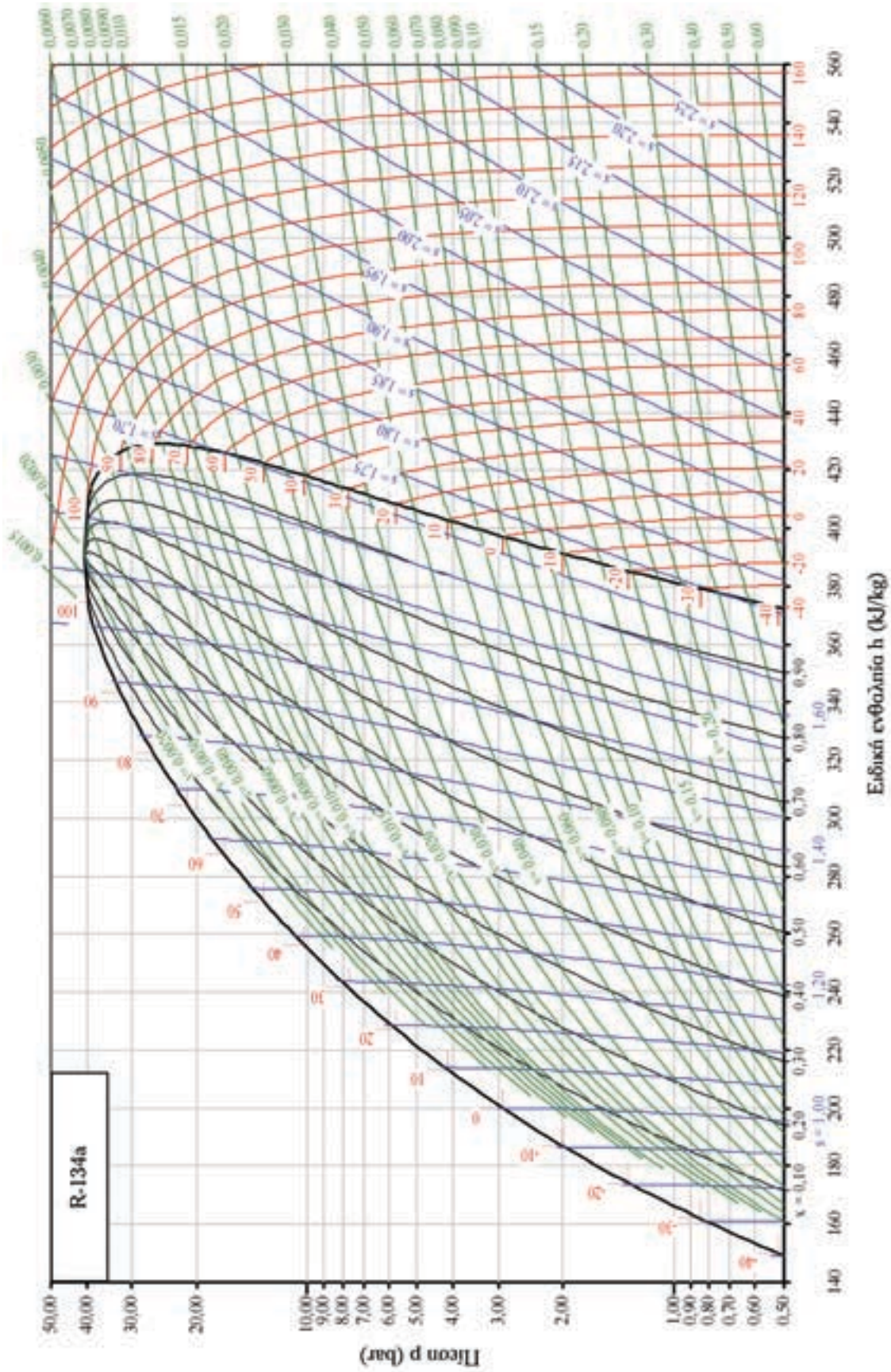
Τα ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως του R-500 είναι το R-134a και τα αζεοτροπικά μείγματα R-401B, R-409A.

2) R-502 (R-22 + R-115).

Το R-502 αποτελείται από 48,8% R-22, 51,2% R-115 και χρησιμοποιείται από το 1961 σε καταψύκτες και ψυγεία τροφίμων. Ανήκει στην κατηγορία A1 και είναι μη τοξικό και μη εύφλεκτο. Η θερμοκρασία ατμοποίησης του σε ατμοσφαιρική πίεση είναι $-45,4\text{ }^\circ\text{C}$, η κρίσιμη θερμοκρασία $80,73\text{ }^\circ\text{C}$ και η κρίσιμη πίεση 4,018 kPa. Το κωδικό χρώμα



Σχ. Π.2.Αα.
Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας ενθαλπίας του R-22.



Σχ. Π.2.Αβ.
Διάγραμμα πύεσους-ενθαλπίας του R-134a.

των κυλίνδρων που περιέχουν R-502 είναι μοβ. Το R-502 συνδυάζει τη μεγάλη ειδική ψυκτική ισχύ και τη χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης του R-22 με τη χαμηλή πίεση συμπυκνώσεως του R-12. Με τη χρήση του R-502, επιμηκύνεται η ζωή του συμπιεστή, διότι το λάδι έχει καλύτερο ιξώδες λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών.

Το R-502 χρησιμοποιείται με ορυκτά λάδια (mineral oils—MO) και οι διαρροές του εντοπίζονται με λυχνία Halide, με ηλεκτρονικούς ανιχνευτές, με διάλυμα σαπουνιού ή με λυχνία υπερύθρων. Η ποσότητα του νερού που μπορεί να βρίσκεται σε διάλυση στο R-502 είναι 1,5 φορά μεγαλύτερη απ' αυτήν που βρίσκεται σε διάλυση στο R-12, οπότε είναι απαραίτητη η καλή κατάσταση του αφυγραντικού φίλτρου. Το R-502 ανήκει στην κατηγορία των χλωροφθορανθράκων (CFC) και κατά συνέπεια η χρήση του σε νέες εγκαταστάσεις έχει σταματήσει, λόγω των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Τα ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως του R-502 στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι τα R-507A (HFC) και R-125 (HCFC).

Στο σχήμα Π.2.Β δίνεται το διάγραμμα πύεσεως-ενθαλπίας του R-502 σε μετρικές μονάδες.

3) R-507A (R-125 + R-143a).

Το R-507A αποτελείται από 50% R-125, 50% R-143a και χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο αντικαταστάσεως του R-502. Ανήκει στους υδροφθοράνθρακες (HFC) και είναι μη τοξικό και μη εύφλεκτο, ενώ έχει ελαφριά μυρωδιά αιθέρα. Η θερμοκρασία ατμοποίησης του σε ατμοσφαιρική πίεση είναι $-47,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, η κρίσιμη θερμοκρασία $70,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η κρίσιμη πίεση $3,715\text{ kPa}$. Το κωδικό χρώμα των κυλίνδρων που περιέχουν R-507A είναι γαλάζιο-πράσινο.

Το R-507A δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ορυκτά λάδια, ενώ είναι συμβατό με συνθετικά λάδια πολυεστερικής βάσεως. Οι διαρροές δεν μπορούν να εντοπιστούν με λυχνία Halide, αλλά μόνο με ηλεκτρονικούς ανιχνευτές, με διάλυμα σαπουνιού ή με λυχνία υπερύθρων.

Π.2.Γ Ζεοτροπικά μείγματα κατηγορίας A (μη τοξικά).

1) R-401A (R-22 + R-152a + R-124)

Το R-401A ανήκει στους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) και αποτελείται από 53% R-22, 13% R-152a και 34% R-124. Χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο αντικαταστάσεως του R-12 σε ψυκτι-

κές εγκαταστάσεις με μέτριες θερμοκρασίες εξατμίσεως. Το R-401A χρησιμοποιείται με συνθετικά **λάδια πολυεστερικής βάσεως** και με **αλκυλοβενζικά λάδια**. Το κωδικό χρώμα των κυλίνδρων που περιέχουν R-401A είναι ροζ-κοραλλί και οι διαρροές του εντοπίζονται με ηλεκτρονικούς ανιχνευτές, με διάλυμα σαπουνιού ή με λυχνία υπερύθρων.

Παρατηρήστε ότι μέσα στην περιοχή υγρού ατμού (καμπάνα), οι ισοθερμοκρασιακές δεν είναι οριζόντιες γραμμές διότι δεν ταυτίζονται με τις ισόθλιπτες. Οι ισοθερμοκρασιακές είναι γραμμές που έχουν μια κλίση προς τα κάτω, λόγω της θερμοκρασιακής διαφορά αλλαγής φάσεως, χαρακτηριστικό που έχουν όλα τα ζεοτροπικά μείγματα.

2) R-406A (R-22 + R-600a + R-142b).

Το R-406A ανήκει στους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) και αποτελείται από 55% R-22, 4% R-600a και 41% R-142b. Χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο αντικαταστάσεως του R-12 με συνθετικά λάδια πολυεστερικής βάσεως (POE) και με αλκυλοβενζικά λάδια (AB). Το κωδικό χρώμα των κυλίνδρων που περιέχουν R-406A είναι πράσινο-γκρι. Ανήκει στην κατηγορία A2, που σημαίνει ότι δεν είναι τοξικό, αλλά εκρηκτικό και πρέπει να χρησιμοποιείται με την ανάλογη προσοχή και τα κατάλληλα μέσα προφυλάξεως.

3) R-402A (R-125 + R-290 + R-22).

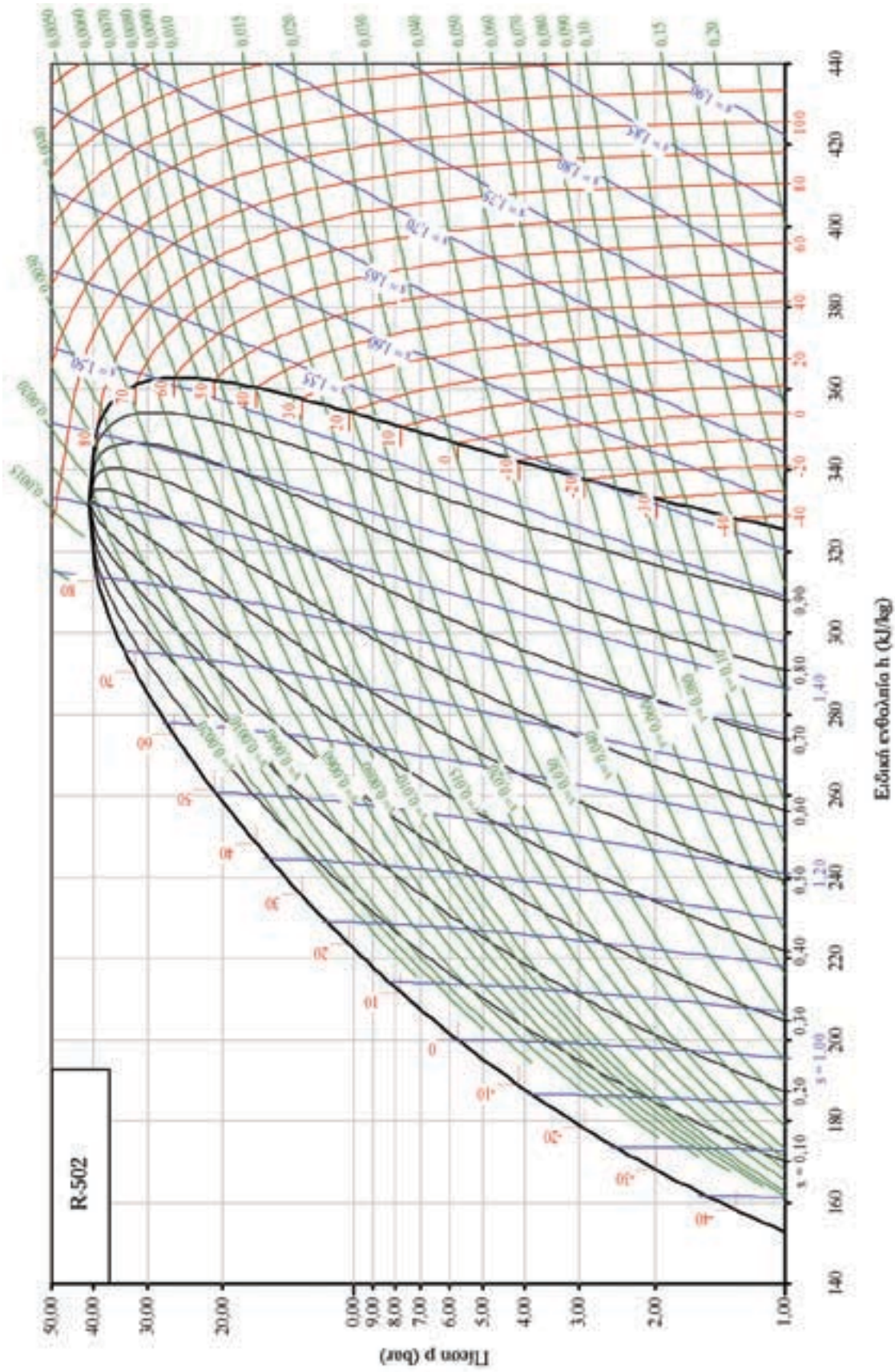
Αποτελείται από 60% R-125, 2% R-290 και 38% R-22. Ανήκει στα HCFC και χρησιμοποιείται ως ενδιάμεσο μέσο αντικαταστάσεως του R-502. Είναι συμβατό με συνθετικά λάδια POE και AB.

Π.2.Δ Ζεοτροπικά μείγματα αντικαταστάσεως του R-22.

Για την αντικατάσταση του R-22 προτείνονται από τους κατασκευαστές διάφορα ζεοτροπικά ψυκτικά μείγματα. Η επιλογή τους γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις συνθήκες λειτουργίας κάθε εγκαταστάσεως, σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται από τους κατασκευαστές ψυκτικών μέσων. Παρακάτω δίνονται τα συστατικά και τα διαγράμματα πύεσεως-ειδικής ενθαλπίας των κυριότερων ζεοτροπικών μειγμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αντικατάσταση του R-22.

1) R-404A (R-125 + R-143a + R-134a).

Αποτελείται από 44% R-125, 52% R-143a και 4% R-134a. Ανήκει στα HFC και χρησιμοποιείται



Σχ. Π.2.Β.
Διάγραμμα πίεσως-ειδικής ενθαλπίας του R-502.

ως μέσο οριστικής αντικαταστάσεως του R-22. Είναι συμβατό με συνθετικά λάδια POE και AB. Στο σχήμα Π.2.Δα δίνεται το διάγραμμα πίεσεως-ειδικής ενθαλπίας του R-404A.

2) R-407C (R-32 + R-125 + R-134a).

Αποτελείται από 23% R-32, 25% R-125 και 52% R-134a. Ανήκει στα HFC και χρησιμοποιείται ως μέσο οριστικής αντικαταστάσεως του R-22, αν και έχει μικρότερη ειδική ψυκτική ισχύ στις χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι συμβατό με συνθετικά λάδια POE. Στο σχήμα Π.2.Δβ δίνεται το διάγραμμα πίεσεως-ειδικής ενθαλπίας του R-407C.

3) R-410B (R-32 + R-125).

Αποτελείται από 45% R-32 και 55% R-125. Ανήκει στα HFC και χρησιμοποιείται ως μέσο οριστικής αντικαταστάσεως του R-22 σε νέες εγκαταστάσεις κλιματισμού και σε αντλίες θερμότητας, διότι έχει μεγάλη ειδική ψυκτική ισχύ. Δεν χρησιμοποιείται για αντικατάσταση του R-22 στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, διότι απαιτούνται μεγάλες αλλαγές στα εξαρτήματά τους και οπωσδήποτε απαιτείται αντικατάσταση του συμπυκνωτή. Είναι συμβατό με συνθετικά λάδια POE.

Π.2.Ε Ψυκτικά μέσα κατηγορίας Β (τοξικά).

1) R-123: Διχλωροτριφθοροαιθάνιο ($CHCl_2CF_3$).

Το R-123 ανήκει στην οικογένεια των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFC) και χρησιμοποιείται ως περιβαλλοντικός αντικαταστάτης του R-11. Είναι τοξικό, μη εύφλεκτο και ανήκει στην κατηγορία Β1. Το μοριακό βάρος του R-123 είναι 152,93 και η θερμοκρασία εξατμίσεως σε ατμοσφαιρική πίεση 27,82°C. Η κρίσιμη θερμοκρασία είναι 183,68°C και η κρίσιμη πίεση 3,682 kPa. Το R-123 είναι κατάλληλο για ψυκτικά συστήματα με φυγοκεντρικούς συμπιεστές, κλιματισμό, ψυγεία και αντλίες θερμότητας. Σχετικά με την τοξικότητά του, έχει υπολογιστεί ότι η έκθεση σε μία ατμόσφαιρα με περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 30 ppm, δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 8 ώρες. Είναι συμβατό με τα **ορυκτά λάδια**, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με R-11.

2) R-717: Αμμωνία (NH_3).

Η αμμωνία είναι ένα από τα παλαιότερα ψυκτικά μέσα και σήμερα λόγω της μεγάλης ειδικής ψυκτικής ικανότητας της χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις βιομηχανικής ψύξεως και σε εγκαταστάσεις απορροφήσεως. Είναι ένα άχρωμο

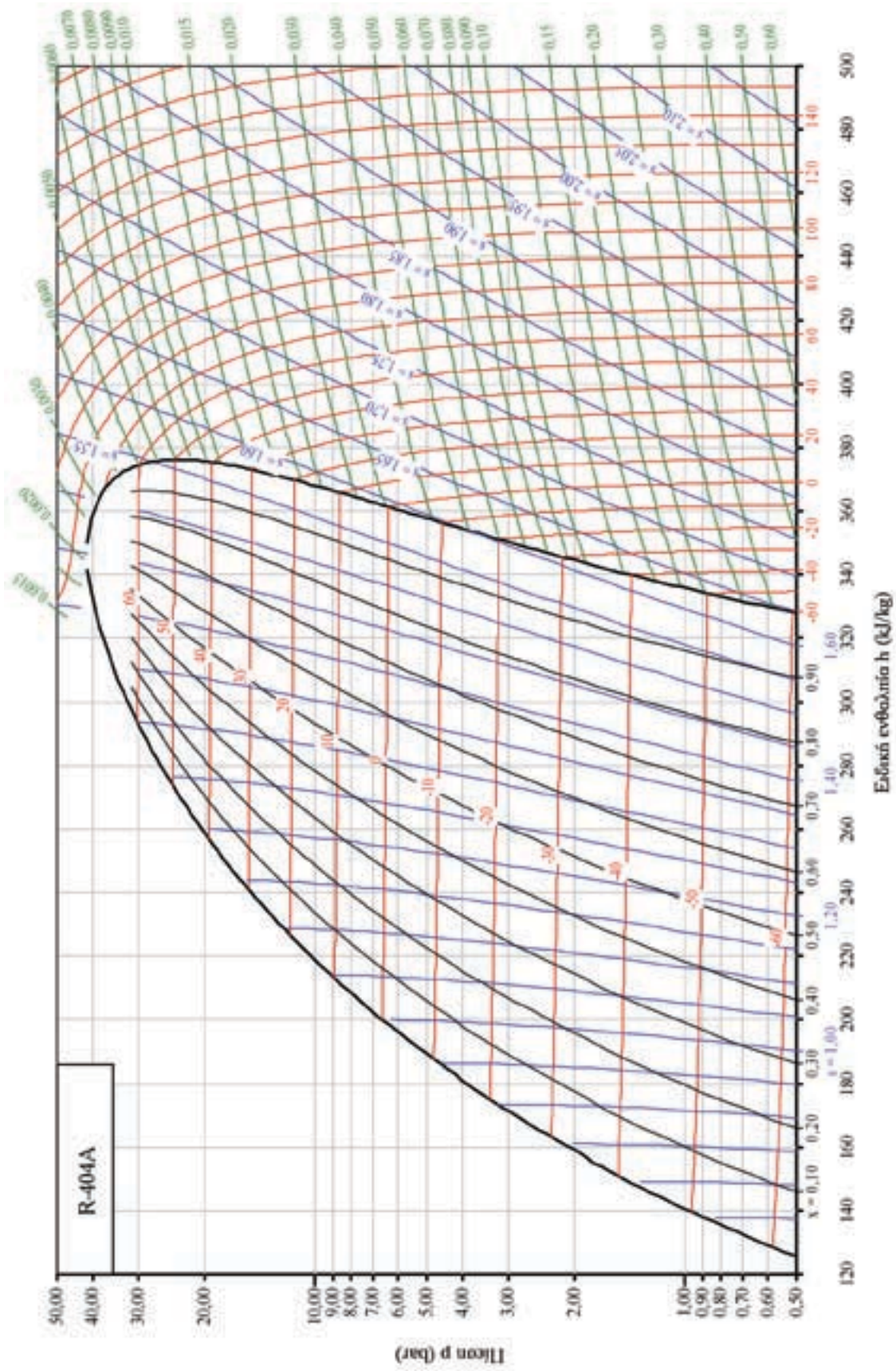
αέριο με χαρακτηριστική οσμή, το οποίο είναι τοξικό. Η αμμωνία σε μεγάλες συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι ελαφρώς εκρηκτική, όταν έρθει σε επαφή με γυμνή φλόγα ή πυρακτωμένα μέταλλα. Λόγω της τοξικότητας και της εκρηκτικότητάς της, η αμμωνία κατατάσσεται στην κατηγορία Β2.

Η αμμωνία λόγω της οσμής της είναι ανιχνεύσιμη από τον άνθρωπο σε συγκέντρωση από 3 –15 ppm, αλλά τα άτομα που εκτίθενται στην αμμωνία συνηθίζουν την οσμή της και μπορεί να μην την εντοπίζουν μέχρι τη συγκέντρωση των 100 ppm. Το θερμοθετημένο όριο ασφαλείας για τη συγκέντρωση αμμωνίας στον αέρα είναι τα 15 λεπτά σε ατμόσφαιρα με συγκέντρωση 35 ppm ή ισοδύναμα 5 λεπτά σε συγκέντρωση 50 ppm. Σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 5000 ppm, υπάρχει άμεσος κίνδυνος για τη ζωή, ενώ σε συγκέντρωση 150.000–250.000 ppm, η αμμωνία είναι εκρηκτική. Οι άνθρωποι που έχουν άσθμα είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην έκθεση στην αμμωνία.

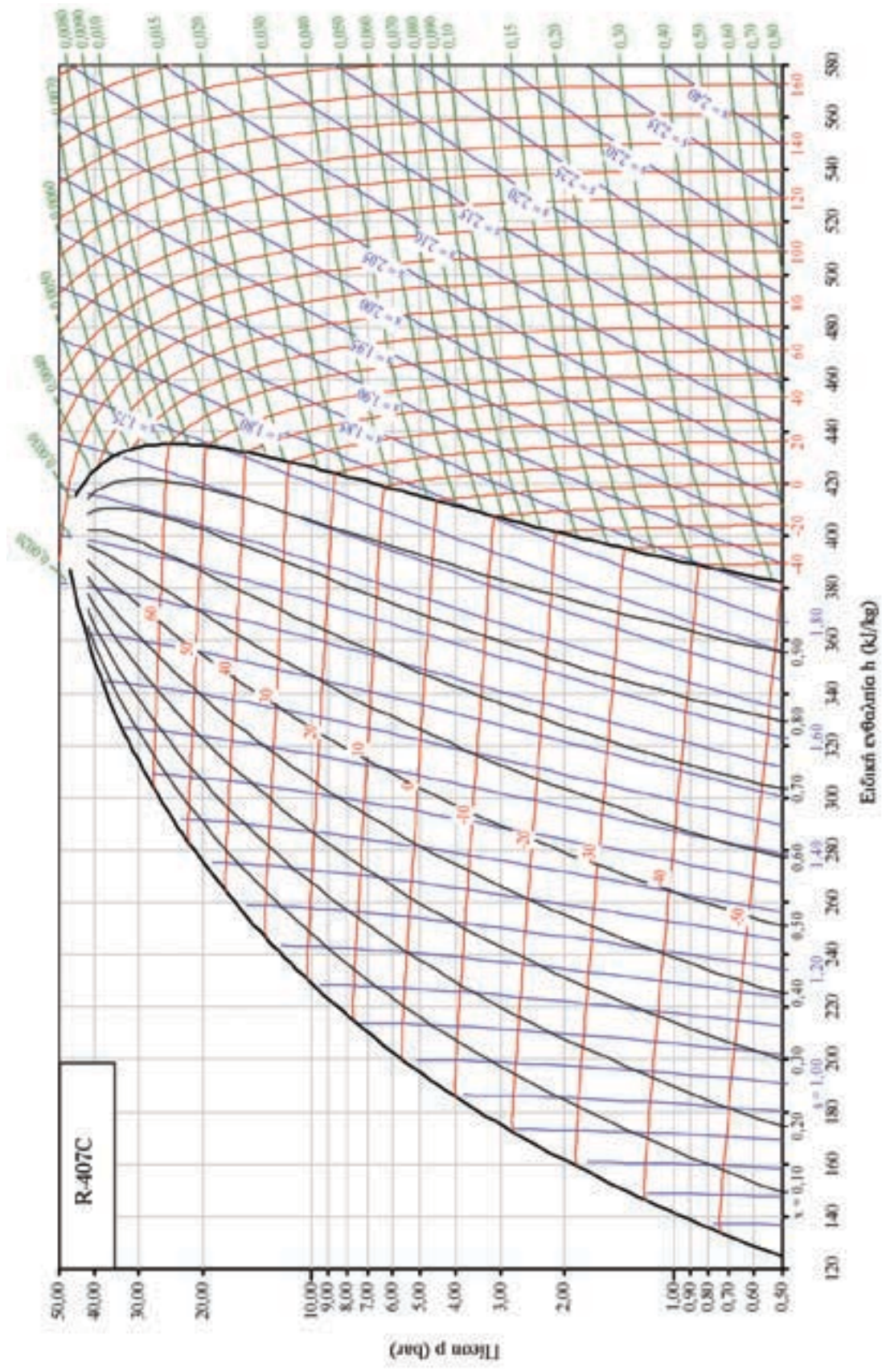
Η έκθεση σε αέρα που περιέχει μεγάλες συγκεντρώσεις αμμωνίας προκαλεί πονοκεφάλους και εμετούς. Επίσης προκαλούνται ερεθισμοί στο δέρμα, τα μάτια, την αναπνευστική οδό, ενώ μπορεί να προκληθεί βλάβη των πνευμόνων και θάνατος. Γι' αυτούς τους λόγους είναι πρωταρχικής σημασίας ο καλός αερισμός των χώρων εργασίας, όταν εντοπιστεί οσμή αμμωνίας που προέρχεται από κάποια διαρροή.

Κατά την εργασία σε δίκτυα αμμωνίας, ο τεχνικός πρέπει να μην βρίσκεται κοντά στις σωληνώσεις, δεδομένου ότι μία μικρή διαρροή μπορεί να βλάψει τα μάτια και να έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια των αισθήσεων. Επί πλέον, πρέπει να χρησιμοποιείται **ειδική αναπνευστική συσκευή**. Οι διαρροές της αμμωνίας εντοπίζονται με κεριά θειαφιού, το οποίο όταν έρχεται σε επαφή με την αμμωνία δίνει λευκό καπνό. Κατά τον εντοπισμό των διαρροών μ' αυτήν τη μέθοδο χρειάζεται προσοχή, διότι οι καπνοί του διοξειδίου του θείου είναι τοξικοί και δεν πρέπει να εισπνέονται. Η αμμωνία οξειδώνει το χαλκό των σωληνώσεων και γι' αυτόν το λόγο χρησιμοποιείται μόνο με σωλήνες και εξαρτήματα από σίδηρο, χυτοσίδηρο ή κάλυβα. Δεν αναμειγνύεται με το λάδι, το οποίο όταν δεν αποχωριστεί στον ελαιοδιαχωριστήρα κάθεται στην κάτω πλευρά του συλλέκτη υγρού, από όπου οδηγείται εκ νέου στο συμπιεστή.

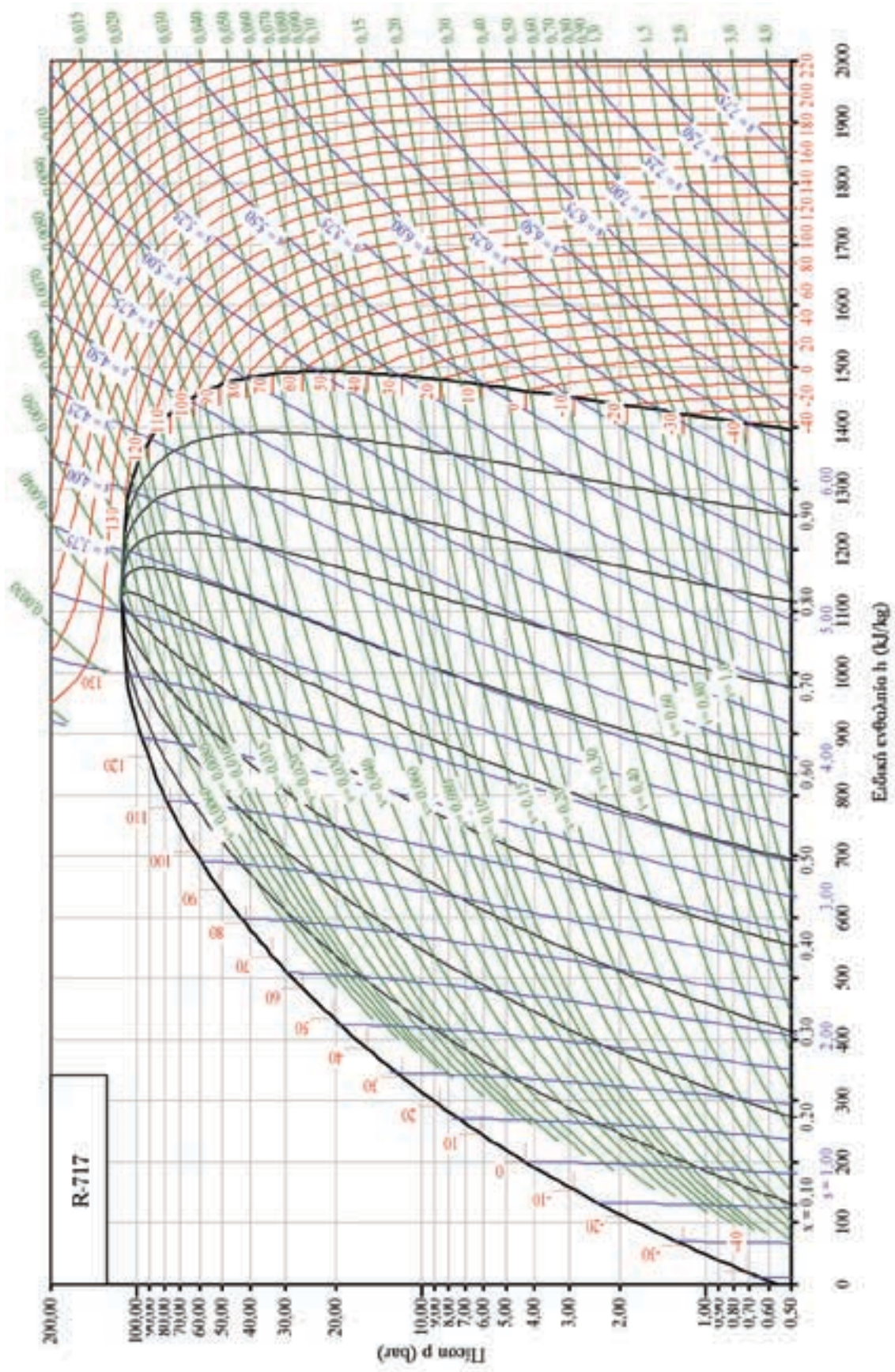
Η αμμωνία έχει μοριακό βάρος 17 και στις κανονικές συνθήκες είναι αέριο. Η θερμοκρασία ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση είναι –33°C. Στο σχήμα Π.2.Ε δίνεται το διάγραμμα πίεσεως-ενθαλπίας για την αμμωνία (R-717).



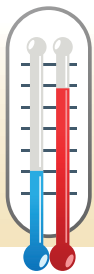
Σχ. Π.2.Δα.
Διάγραμμα πίεσως-ειδικής ενθαλπίας του R-404A.



Σχ. Π.2.Δβ.
Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας του R-407C.



Σχ. Π.2.Ε.
Διάγραμμα πίεσως-ενθαλπίας της αμμωνίας (R-717).



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Συμπιεστές ψυκτικών εγκαταστάσεων

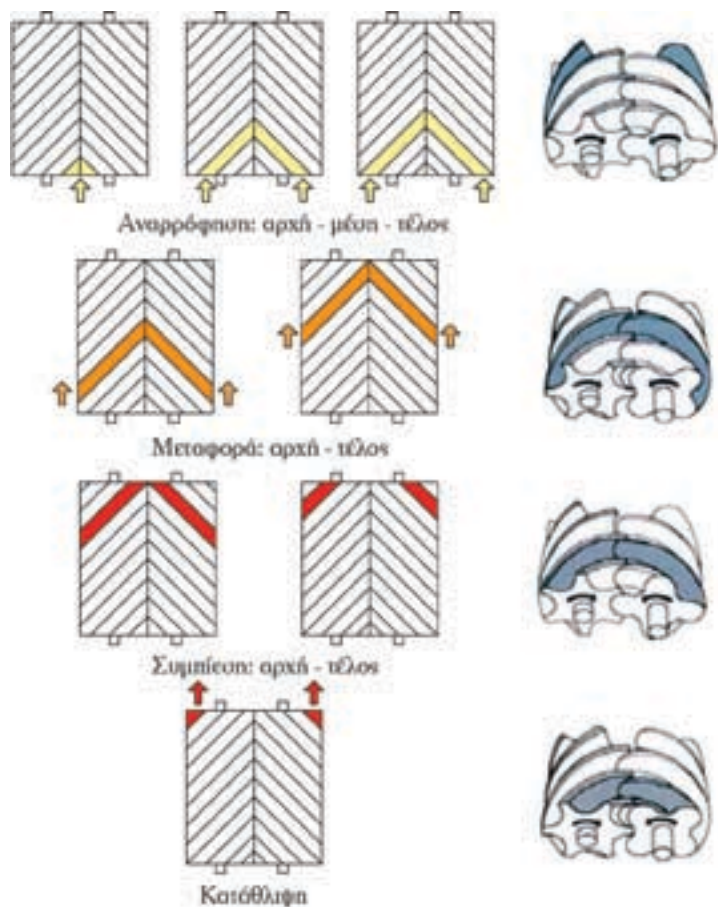
Π.3.Α Ελικόμορφοι συμπιεστές.

Π.3.Α.1 Ελικόμορφοι συμπιεστές δύο στροφείων.

Τα στροφεία των ελικομόρφων συμπιεστών δύο στροφείων είναι διαμορφωμένα έτσι, ώστε να εγκλωβίζουν το μέγιστο όγκο αερίου κατά την αναρρόφηση και να κλείνουν κατά το δυνατόν στεγανά μεταξύ τους, ώστε να περιορίζεται η διαρροή. Καθώς περιστρέφονται τα στροφεία, δημιουργούν στεγανούς χώρους όπου αναρροφάται, μεταφέρεται και καταθλίβεται ο ατμός ψυκτικού μέσου. Η

αναρρόφηση του ατμού γίνεται από τη μια διαμήκη πλευρά και η κατάθλιψη γίνεται στην άλλη και έτσι δεν απαιτούνται βαλβίδες αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Το αρσενικό στροφείο έχει συνήθως τέσσερεις λοβούς (κοχλίας τεσσάρων σπειρών) και είναι κινητήριο, συνδέεται δηλαδή με τον ηλεκτρικό κινητήρα. Το θηλυκό στροφείο έχει συνήθως έξι λοβούς και παίρνει κίνηση από το αρσενικό.

Οι φάσεις λειτουργίας του ελικόμορφου συμπιεστή με δύο στροφεία παρουσιάζεται στο σχήμα Π.3.Αα. Στην **πρώτη** φάση οι λοβοί του αρσενικού και του θηλυκού στροφείου, καθώς περιστρέφονται



Σχ. Π.3.Αα.

Φάσεις λειτουργίας ελικόμορφου συμπιεστή με δύο στροφεία.

δημιουργούν έναν κενό χώρο, ο οποίος γεμίζει με ατμό από την αναρρόφηση. Στη **δεύτερη** φάση ο όγκος του ατμού προχωράει μετά την αναρρόφηση και αρχίζει η μεταφορά προς την κατάθλιψη. Το αέριο που έχει εγκλωβιστεί μεταφέρεται κατά την αξονική διεύθυνση και κατά την περιφέρεια του κυλίνδρου. Στην **τρίτη** φάση μειώνεται ο όγκος του χώρου που έχει εγκλωβιστεί ο ατμός και αρχίζει η συμπίεση. Τέλος, στην **τέταρτη** φάση αποκαλύπτεται η θυρίδα καταθλίψεως και ο συμπιεσμένος ατμός μεταφέρεται στην έξοδο.

Υπάρχουν δύο τύποι ελικομόρφων συμπιεστών με δύο στροφεία:

- α) Οι ελικόμορφοι συμπιεστές **δύο στροφείων χωρίς λάδι** (oil-free twin screw compressors) και
- β) οι ελικόμορφοι συμπιεστές **δύο στροφείων με έγχυση λαδιού** (oil-injected twin screw compressors).

Στους συμπιεστές χωρίς λάδι η στεγανότητα μεταξύ των στροφείων επιτυγχάνεται με τις πολύ μικρές ανοχές κατασκευής. Τα στροφεία δεν πρέπει, καθώς περιστρέφονται, να ακουμπάει το ένα το άλλο για να μην θερμαίνονται. Γι' αυτόν το λόγο υπάρχει συγχρονισμός της κινήσεως των στροφείων που επιβάλλεται από ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Η ανοχή ανάμεσα στα περιστρεφόμενα στροφεία είναι της τάξεως των 0,03 – 0,1 mm. Γι' αυτόν το λόγο οι ελικόμορφοι συμπιεστές χωρίς λάδι είναι ακριβότεροι και χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου δεν είναι δυνατός ο διαχωρισμός του λαδιού μετά τη συμπίεση.

Σε εγκαταστάσεις ψύξεως χρησιμοποιούνται οι ελικόμορφοι συμπιεστές δύο στροφείων με έγχυση λαδιού, που περιορίζει τις απώλειες από τα στροφεία και απάγει μέρος της θερμότητας συμπίεσεως.

Οι ελικόμορφοι συμπιεστές δύο στροφείων έχουν ογκομετρικές απώλειες που οφείλονται σε διαρροές από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση διά μέσου των σημείων επαφής του αρσενικού και του θηλυκού στροφείου. Η στεγανότητα ανάμεσα στα δύο στροφεία έχει μεγάλη σημασία διότι έτσι περιορίζονται οι απώλειες απ' την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση. Δεδομένου ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί τέλεια επαφή ανάμεσα στα δύο στροφεία, η στεγανότητα εξασφαλίζεται με συνεχή ροή λαδιού, το οποίο εγχέεται από οπές που έχουν τα στροφεία. Έτσι, η λειτουργία του συστήματος λιπάνσεως είναι ουσιώδους σημασίας για τη λειτουργία του συμπιεστή. Λόγω της μεγά-

λης αναμείξεως του λαδιού με το ψυκτικό μέσο, το λάδι πρέπει να διαχωρίζεται απ' αυτό μετά τη συμπίεση και στη συνέχεια να ψύχεται και να φιλτράρεται πριν την επιστροφή του στο κύκλωμα λιπάνσεως.

Τυπικές διάμετροι στροφείων είναι οι D=163, 204, 210, 255, 321, 510 mm και τυπικές ταχύτητες περιστροφής είναι από 1000–4500 rpm. Τα ψυκτικά μέσα, για τα οποία χρησιμοποιούνται είναι κυρίως τα: R-22, R-717, R-134a, R-404A, R-407C, R-410A, R-502, R-507, NH₃. Επίσης χρησιμοποιούνται για LNG και για LPG.

Οι ελικοειδείς συμπιεστές κατασκευάζονται σε ερμητική μορφή για χρήση σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις λόγω του χαμηλού θορύβου τους. Ένας τέτοιος ερμητικός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία σε τομή παρουσιάζεται στο σχήμα Π.3.Αβ.

Σε μεσαίες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται οι ελικοειδείς συμπιεστές σε ημιερμητική μορφή, όπου το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται για την ψύξη των περιελίξεων του κινητήρα (σχ. Π.3.Αγ).

Για να εξαιρεθεί η πολυπλοκότητα του δικτύου λιπάνσεως, το οποίο περιλαμβάνει διαχωριστήρα λαδιού, φίλτρα και ψυγείο και για να μειωθεί το αυξημένο κόστος κατασκευής, οι κατασκευαστές συμπιεστών προσφέρουν ημιερμητικούς συμπιεστές με ενσωματωμένο διαχωριστήρα λαδιού. Στην περίπτω-



Σχ. Π.3.Αβ.

Ερμητικός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία.

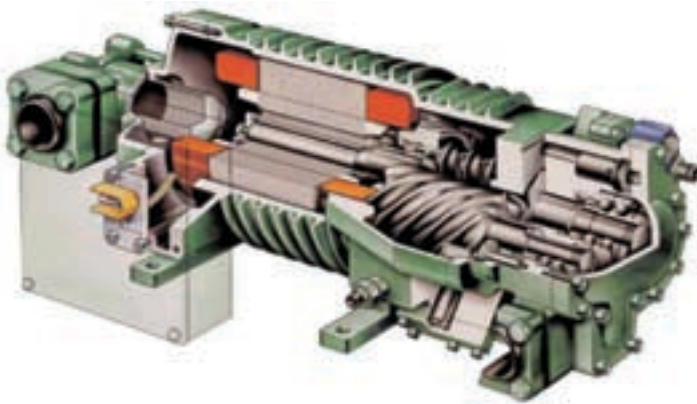
ση αυτή αντί για ψυγείο λαδιού συνήθως το λάδι ψύχεται με εκτίναξη στους στροφείς στη φάση της αναρροφήσεως. Ένας ημερημτικός ελικοειδής συμπιεστής με ενσωματωμένο διαχωριστήρα λαδιού φαίνεται στο σχήμα Π.3.Αδ. Ο ατμός του ψυκτικού μέσου εισέρχεται στα αριστερά και διέρχεται από τις περιελίξεις του κινητήρα. Στη συνέχεια συμπιέζεται στα στροφεία και περνά στη δεξιά πλευρά στο διαχωριστήρα λαδιού, απ' όπου εξέρχεται στην κατάθλιψη στο κέντρο.

Τέτοιοι συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε αυτόνομες ψυκτικές μονάδες που τις συναντάμε σε κλιματισμό πλοίων. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται για την ψύξη της άλμης, η οποία στη συνέχεια οδηγείται στους ψύκτες αέρα.

Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ανοικτοί ελικοειδείς συμπιεστές με δύο στρο-

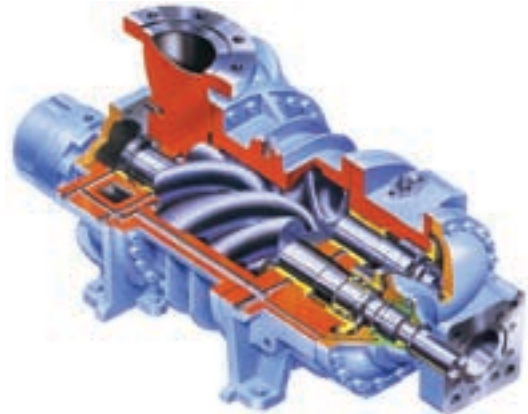
φεία, όπως αυτός που φαίνεται στο σχήμα Π.3.Αε. Ο συμπιεστής έχει στυπιοθλίπτη στεγανοποίησης του άξονα στο αρσενικό στροφείο, το οποίο ενώνεται με τον εξωτερικό κινητήρα, συνήθως μέσω μίας σφίνας. Σ' αυτήν την περίπτωση το δίκτυο λαδιού κατασκευάζεται εξωτερικά. Εναλλακτικά, υπάρχουν ανοικτοί συμπιεστές με το διαχωριστήρα λαδιού και το δίκτυο λαδιού σε μία βάση (σχ. Π.3.Αστ).

Στο σχήμα Π.3.Αζ εικονίζεται ένας ανοικτός συμπιεστής σε τομή. Η αναρρόφηση γίνεται από την πάνω πλευρά και η κατάθλιψη από την κάτω. Τα κύρια μέρη της κατασκευής είναι το κέλυφος, τα στροφεία, η εμπρόσθια θυρίδα αναρροφήσεως, η οπίσθια θυρίδα καταθλίψεως, το έμβολο ρυθμίσεως ισχύος και ο μηχανισμός ρυθμίσεως ισχύος. Τα εξαρτήματα, από τα οποία αποτελούνται οι ελικοειδείς συμπιεστές, φαίνονται στο ανάπτυγμα ενός



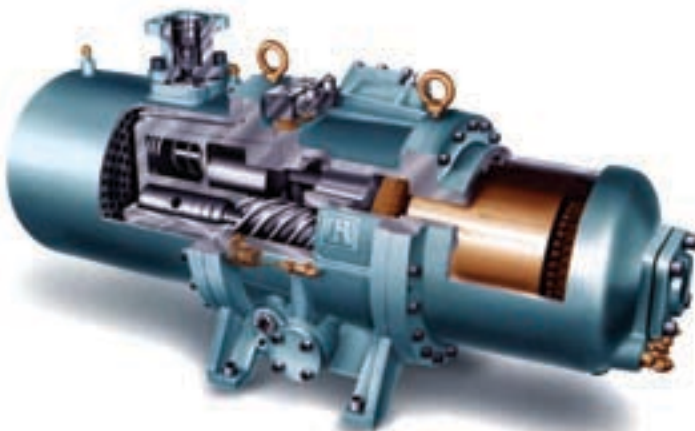
Σχ. Π.3.Αγ.

Ημερημτικός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία.



Σχ. Π.3.Αε.

Ανοικτός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία.



Σχ. Π.3.Αδ.

Ημερημτικός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία και διαχωριστήρα λαδιού.



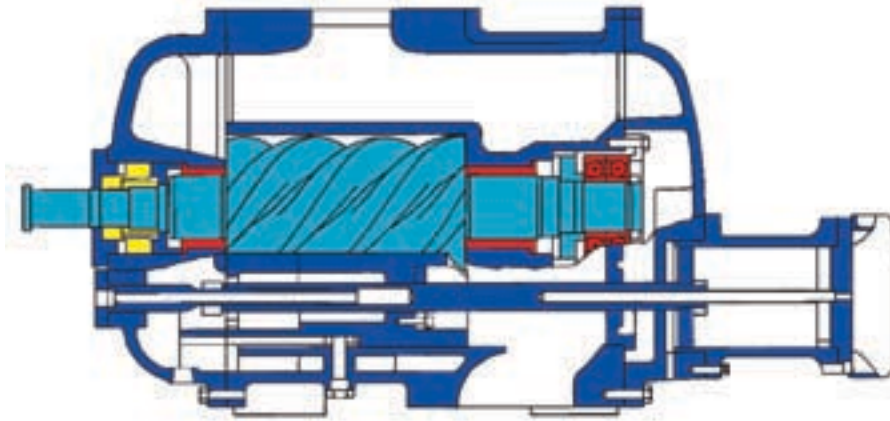
Σχ. Π.3.Αστ.

Ανοικτός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία και εξωτερικό δίκτυο λαδιού.

ανοικτού ελικομόρφου συμπιεστή δύο στροφείων στο σχήμα Π.3.Αη.

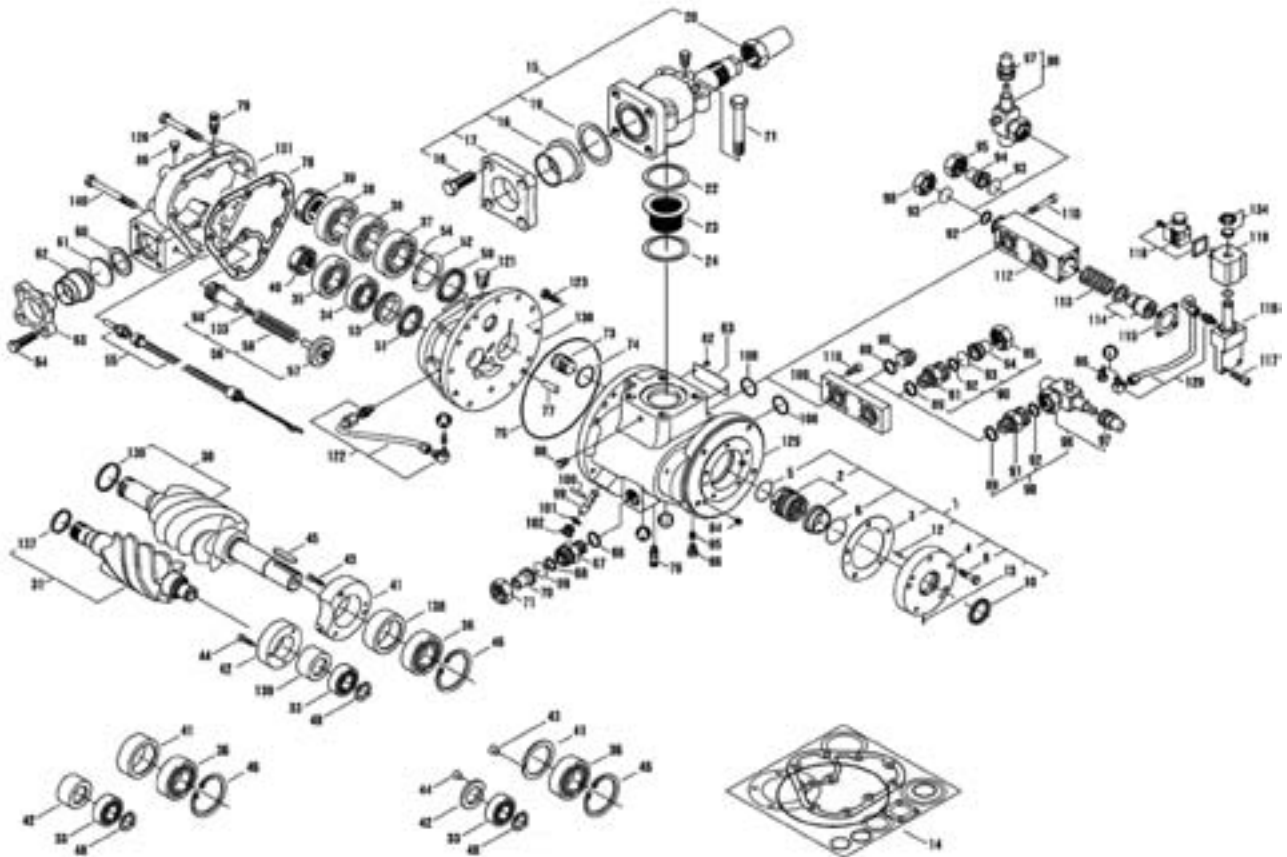
Η ρύθμιση ισχύος των ελικομόρφων συμπιεστών με δύο στροφεία γίνεται με μία βαλβίδα που είναι τοποθετημένη στο κέλυφος και αποτελεί τμήμα του, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα Π.3.Αθ. Με τη

μετακίνηση της βαλβίδας ανοίγει μια διάδοδος και ο ατμός που έχει ήδη κάνει ένα τμήμα της διαδρομής επιστρέφει απ' αυτή μέσα στο κέλυφος προς την αναρρόφηση. Μ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ωφέλιμη διαδρομή του ατμού μέσα στο συμπιεστή και η συμπίεση ξεκινά αργότερα, ενώ ο ατμός έχει διανύ-



Σχ. Π.3.Αζ.

Ανοκτός ελικοειδής συμπιεστής με δύο στροφεία σε τομή.



Σχ. Π.3.Αη.

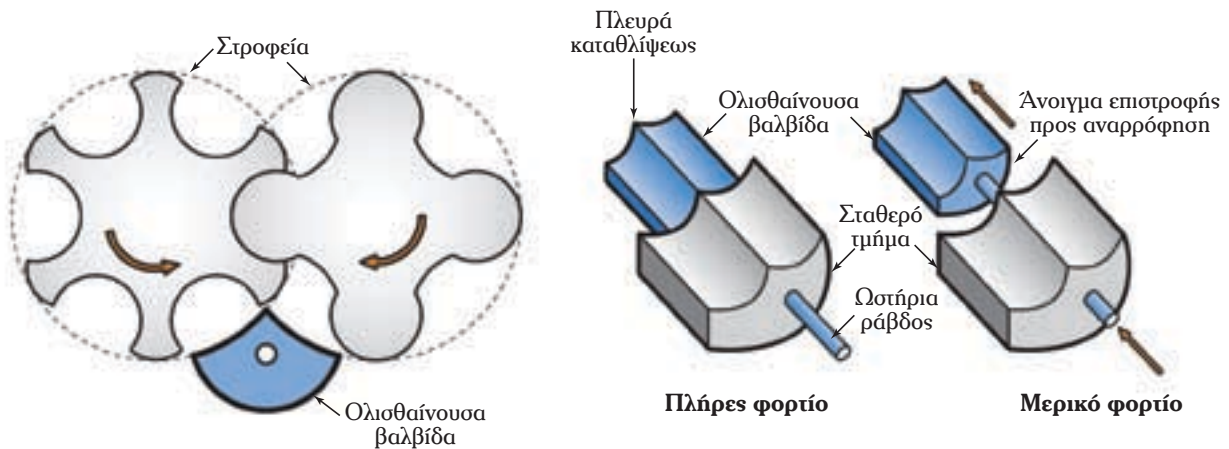
Ανάπτυγμα ανοικτού ελικομόρφου συμπιεστή δύο στροφείων.

σει ένα τμήμα της διαδρομής προς την κατάθλιψη. Ως αποτέλεσμα μειώνεται ο όγκος εμβολισμού και η ισχύς συμπίεσης.

Η κίνηση στη βαλβίδα ρυθμίσεως της ισχύος δίνεται από ένα υδραυλικό έμβολο, το οποίο είναι τοποθετημένο στο ένα άκρο του συμπιεστή μέσω ενός ωστηρίου βάρδου. Το έμβολο κινείται από το λάδι λιπάνσεως και έχει διόδους και από τις δύο πλευρές του, ώστε να είναι δυνατή η κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις. Εναλλακτικά μπορεί να υπάρχει είσοδος λαδιού από τη μία πλευρά του εμβόλου και

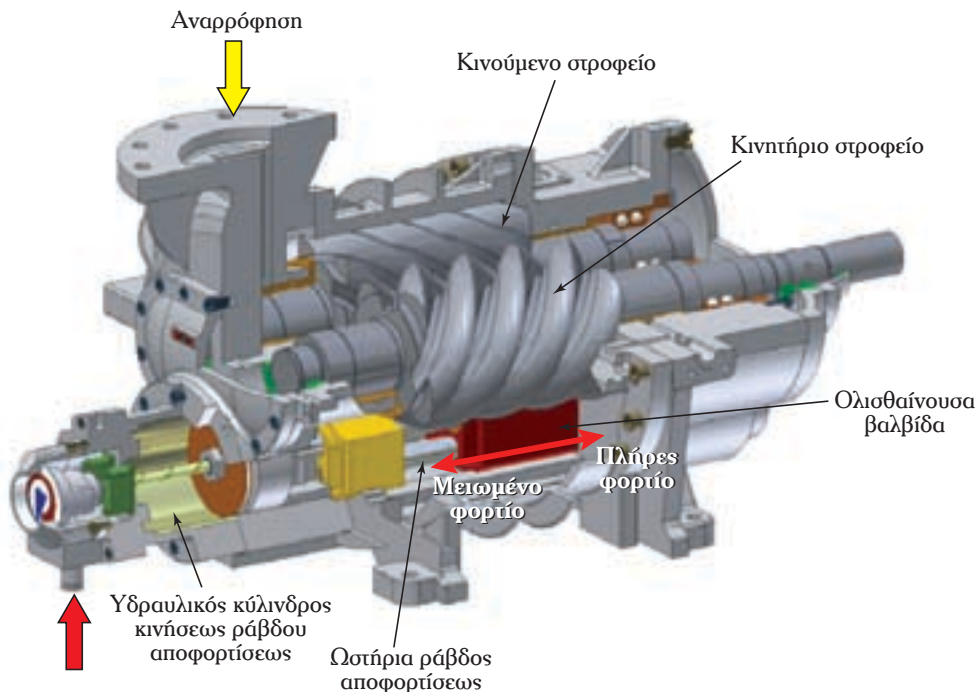
η επιστροφή στη θέση πλήρους φορτίου να γίνεται μ' ένα ελατήριο. Η θέση του εμβόλου κινήσεως, του βάρδου μεταδόσεως κινήσεως και της βαλβίδας ρυθμίσεως της ισχύος φαίνονται στο σχήμα Π.3.Α1.

Μ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνεται η ρύθμιση της ελαττώσεως ισχύος ομαλά μέχρι και το 10% της μέγιστης ισχύος. Κατά την εκκίνηση το έμβολο ωθείται στη θέση μειωμένου φορτίου απ' την τάση του ελατηρίου, δεδομένου ότι δεν υπάρχει πίεση στο κύκλωμα λιπάνσεως. Έτσι η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται και για αποφόρτιση εκκινήσεως.



Σχ. Π.3.Α0.

Βαλβίδα ρυθμίσεως ισχύος ελικομόρφου συμπιεστή δύο στροφείων.



Σχ. Π.3.Α1.

Διάταξη συστήματος ρυθμίσεως ισχύος.

Εκτός από την ομαλή συνεχή ρύθμιση της ισχύος, σε μικρότερους συμπιεστές συνήθως η ρύθμιση της ισχύος δεν γίνεται συνεχώς, αλλά σε βήματα. Αυτό επιτυγχάνεται με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, οι οποίες οδηγούν το λάδι στον κύλινδρο κινήσεως και ενεργοποιούνται ανάλογα με το φορτίο, όπως φαίνεται στο σχήμα Π.3.Α1α. Η διάταξη αυτή οδηγεί σε οικονομικότερο σύστημα παρακολούθησεως και ρυθμίσεως της ισχύος του συμπιεστή. Υπάρχουν συμπιεστές που μπορούν να ρυθμιστούν και να λειτουργήσουν σε ομαλή ή σε βηματική ρύθμιση της ισχύος.

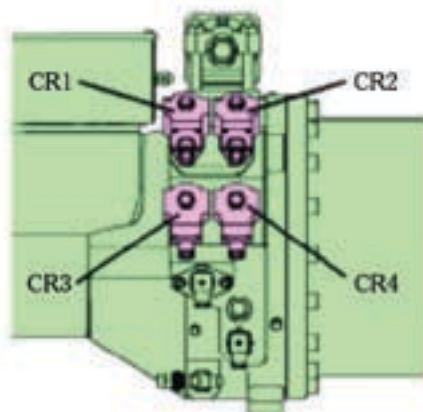
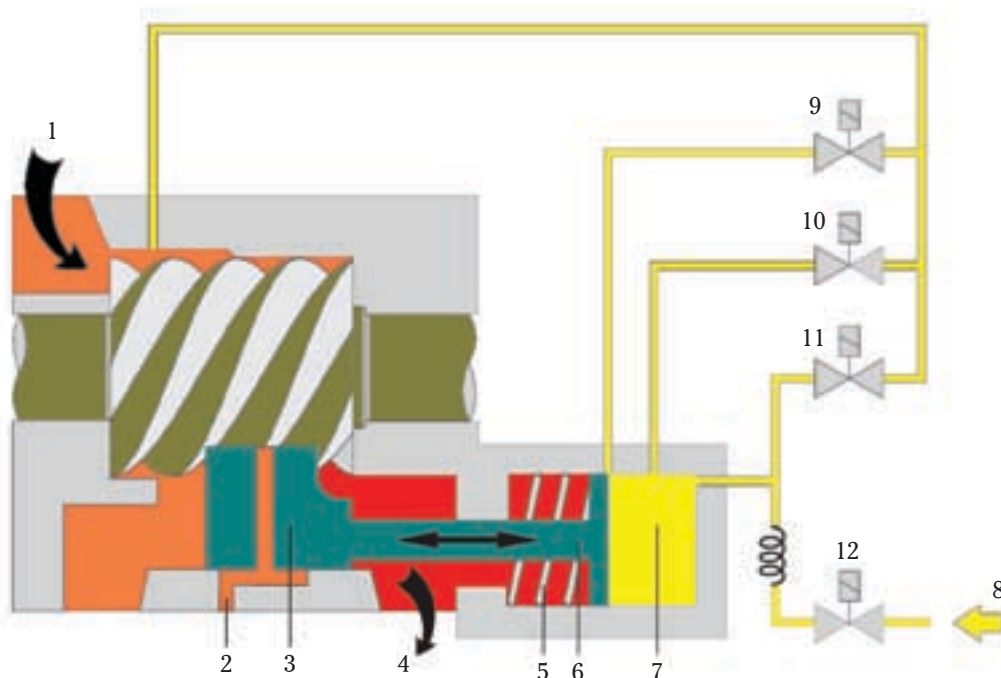
Ένα ακόμα πλεονέκτημα που προσφέρει το σύ-

στημα ρυθμίσεως ισχύος με βαλβίδα παρακάμψεως αερίου είναι ότι το μήκος της βαλβίδας μπορεί να καθορίσει το μέγεθος του χώρου καταθλίψεως.

Ένα ακόμα σύστημα ρυθμίσεως που τείνει να χρησιμοποιείται ευρέως, κυρίως σε μικρότερους ελικόμορφους συμπιεστές δύο στροφείων, είναι μέσω της ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με μεταβολή της συχνότητάς του.

Π.3.Α.2 Ελικόμορφοι συμπιεστές μονού στροφείου.

Οι ελικόμορφοι συμπιεστές μονού στροφείου είναι ένας νέος τύπος ελικομόρφων συμπιεστών που



- 1) Αναρρόφηση
- 2) Θυρίδα επιστροφής
- 3) Ολισθαίνουσα βαλβίδα αποφορτίσεως
- 4) Κατάθλιψη
- 5) Ελατήριο επαναφοράς
- 6) Υδραυλικό έμβολο
- 7) Θάλαμος πρέσεως λαδιού
- 8) Σύνδεση με αντλία λαδιού
- 9 -12) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ελέγχου ροής λαδιού

Σχ. Π.3.Α1α.

Βηματική ρύθμιση φορτίου ελικόμορφου συμπιεστή δύο στροφείων.

περιλαμβάνει ένα στροφέιο με ελικοειδή αυλάκωση και δύο τροχούς που εμπλέκονται μ' αυτό. Η αυλάκωση του ελικοειδούς στροφείου δεν συνεχίζεται σε όλο του το μήκος αλλά σταματάει, ώστε στο ένα το άκρο να σχηματίζεται κύλινδρος. Οι τροχοί είναι τοποθετημένοι στην πλευρά του ελικοειδούς στροφείου με άξονες παράλληλους και κάθετους προς τον άξονα του στροφείου, οι πλευρές τους εφάπτονται αντιδιαμετρικά στο στροφέιο. Η κίνηση δίνεται στο ελικοειδές στροφέιο, το οποίο παρασύρει τους πλαϊνούς τροχούς που εμπλέκονται μ' αυτό. Μ' αυτήν τη διάταξη σχηματίζονται στεγανοί χώροι στην πάνω και στην κάτω πλευρά του στροφείου, στους οποίους αναρροφάται, μεταφέρεται και συμπιέζεται το αέριο (σχ. Π.3.Αιβ).

Η αρχή λειτουργίας του ελικόμορφου συμπιεστή μονού στροφείου φαίνεται στο σχήμα Π.3.Αιγ. Το αέριο εισέρχεται με την πίεση αναρροφήσεως στον κενό χώρο που αποκαλύπτεται, καθώς περιστρέφεται το κύριο στροφέιο (θέση 1). Καθώς το στροφέιο περιστρέφεται, ο χώρος που έχει γεμίσει με αέριο κλείνει από τον πλαϊνό τροχό και η αναρρόφηση σταματάει (θέση 2). Το αέριο στη φάση αυτή έχει την πίεση αναρροφήσεως. Στη συνέχεια ο χώρος του αερίου μικραίνει, καθώς μειώνεται το μήκος της έλικας που καταλαμβάνει (θέση 3). Λίγο πριν την αποκάλυψη της θυρίδας καταθλίψεως το αέριο έχει τον ελάχιστο όγκο και τη μέγιστη πίεση (θέση 4). Στη συνέχεια το αέριο καταθλίβεται σε υψηλή πίεση μέχρι ο όγκος του θύλακα εγκλωβισμού να γίνει μηδέν. Οι ίδιες διαδικασίες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα στην πάνω και στην κάτω πλευρά του ελικοειδούς στροφείου.

Ένα πλεονέκτημα της σχεδιάσεως του ελικοει-

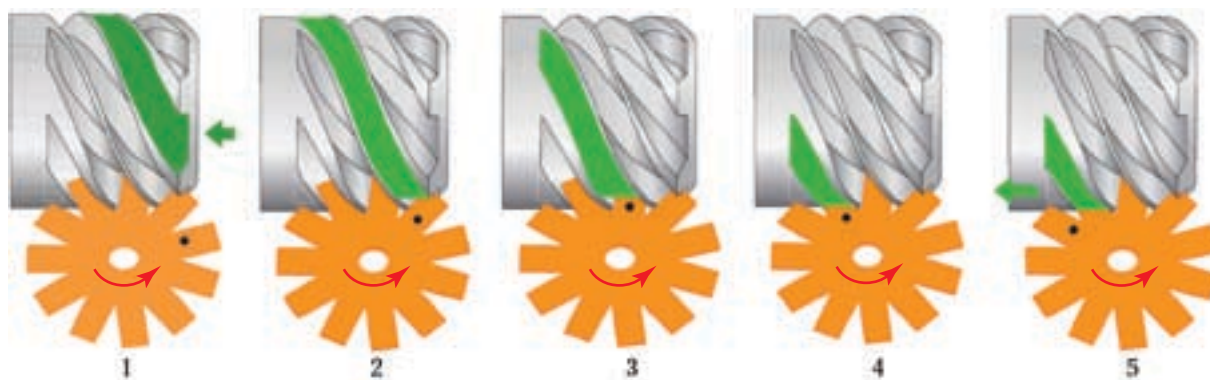


Σχ. Π.3.Αιβ.

Ελικόμορφος συμπιεστής μονού στροφείου.

δούς συμπιεστή μονού στροφείου είναι ότι λόγω της εξισορροπήσεως των δυνάμεων στην πάνω και στην κάτω πλευρά του στροφείου, δεν υπάρχουν ακτινικές ώσεις και η φόρτιση των εδράνων οφείλεται αποκλειστικά στη βαρύτητα. Επί πλέον, δεν υπάρχουν ακτινικές ώσεις διότι και οι δύο διαμήκεις πλευρές του στροφείου έχουν την πίεση αναρροφήσεως. Το αποτέλεσμα των μειωμένων αντιδράσεων στα έδρανα είναι η μικρή τους φόρτιση, που συνεπάγεται μικρές διαστάσεις και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Η στεγανοποίηση μεταξύ του ελικοειδούς στροφείου και των πλαϊνών τροχών επιτυγχάνεται με τις μικρές κατασκευαστικές ανοχές και την έγχυση λαδιού και υγρού ψυκτικού μέσου. Τα λάδι απάγει και μέρος της θερμότητας, καθώς λειτουργεί, όπως και στους ελικοειδείς συμπιεστές με δύο στροφεία. Το κύκλωμα λιπάνσεως είναι παρόμοιο μ' αυτό των ελικοειδών συμπιεστών δύο στροφείων. Στο σχήμα Π.3.Αιδ παρουσιάζονται ελικοειδείς συμπιεστές μο-



Σχ. Π.3.Αιγ.

Αρχή λειτουργίας ελικόμορφου συμπιεστή μονού στροφείου.

νού στροφείου σε τομή.

Η ρύθμιση της ισχύος συμπίεσεως γίνεται με τρόπο παρόμοιο με τους συμπιεστές δύο στροφείων, μ' ένα έμβολο που κινείται υδραυλικά και ανοίγει μία δίοδο, με την οποία ο ατμός του ψυκτικού μέσου που έχει διανύσει μια διαδρομή μέσα στο στροφείο, επιστρέφει προς την αναρρόφηση. Το πλεονέκτημα του συμπιεστή μονού στροφείου είναι ότι σε λειτουργία σε μειωμένη ισχύ απαιτεί μικρότερη ισχύ από έναν αντίστοιχο συμπιεστή δύο στροφείων. Αυτό οφείλεται σε μειωμένες τριβές λόγω των λιγοτέρων κινουμένων μερών.

Στο σημείο συνδέσεως του άξονα του στροφείου με τον κινητήρα υπάρχει **διάταξη στεγανοποιήσεως** (shaft seal).

Π.3.Α.3 Λιπάνση ελικομόρφων συμπιεστών.

Το δίκτυο λαδιού, όπως έχομε αναφέρει, είναι ουσιώδους σημασίας για τη λειτουργία των ελικομόρφων συμπιεστών δύο στροφείων. Με το λάδι λιπάνσεως εξασφαλίζεται η στεγανότητα μεταξύ των στροφείων, η απαγωγή της θερμότητας συμπίεσεως και η ρύθμιση της ισχύος. Το δίκτυο λιπάνσεως είναι περίπλοκο και περιλαμβάνει εξωτερική αντλία λαδιού, διαχωριστήρα λαδιού, μία δεξαμενή συγκεντρώσεως, ένα σύστημα ψύξεως, φίλτρα και διατάξεις ασφαλείας.

Το λάδι χρησιμοποιείται για να απάγει τη θερμότητα συμπίεσεως και γι' αυτόν το λόγο εκτός απ' τις οπές εγχύσεως των στροφείων, ψεκάζεται στα

διάφορα στάδια της συμπίεσεως. Αυτό έχει ως συνέπεια την υπερθέρμανση του λαδιού, το οποίο μετά το διαχωρισμό του πρέπει να ψυχθεί, ώστε να μην χαμηλώσει το ιξώδες του. Επί πλέον με την ψύξη του λαδιού μειώνεται η θερμοκρασία καταθλίψεως, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συμπίεση σε εφαρμογές με χαμηλές θερμοκρασίες εξατμίσεως, όπου ο λόγος συμπίεσεως μπορεί να είναι μέχρι 25:1. Οι μέθοδοι ψύξεως του λαδιού είναι οι εξής:

α) Ψύξη λαδιού με υδρόψυκτο εναλλάκτη.

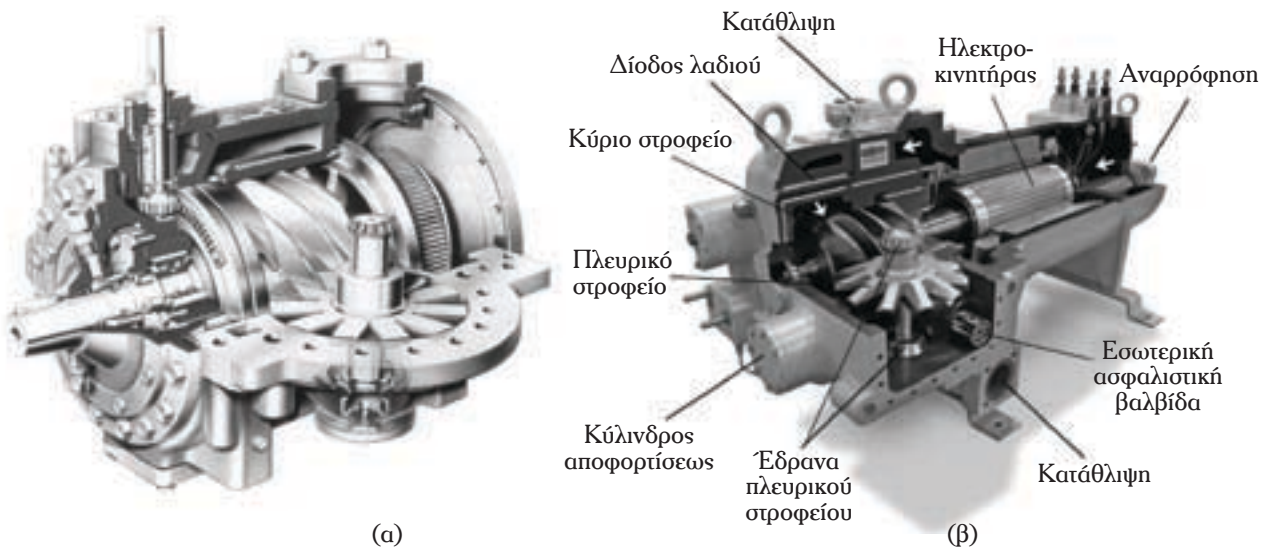
β) Ψύξη λαδιού με έγχυση υγρού ψυκτικού μέσου.

γ) Ψύξη λαδιού με εναλλάκτη ατμοποίησης ψυκτικού μέσου.

δ) Ψύξη λαδιού με άμεση επαφή με τον ατμό του ψυκτικού μέσου.

Τα σημαντικότερα μέρη του δικτύου λαδιού με υδρόψυκτο εναλλάκτη ψύξεως φαίνονται στο σχήμα Π.Α.3ιε. Ο εναλλάκτης είναι τοποθετημένος κάτω από το συμπιεστή, ενώ το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ρύπανση των αυλών του, πράγμα που συνεπάγεται ανάγκη περιοδικού καθαρισμού.

Η ψύξη λαδιού μπορεί να πραγματοποιηθεί με έγχυση υγρού ψυκτικού μέσου από το συλλέκτη υγρού της εγκαταστάσεως στο χώρο συμπίεσεως. Το υγρό πρέπει να έχει μεγάλη πίεση και καθώς ατμοποιείται να απορροφάει θερμότητα από τα στροφεία και το λάδι. Η παροχή του υγρού ψυκτικού μέσου ρυθμίζεται με μία θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα. Το κύκλωμα ψύξεως με έγχυση υγρού μέσου παρουσι-



Σχ. Π.3.Αιδ.

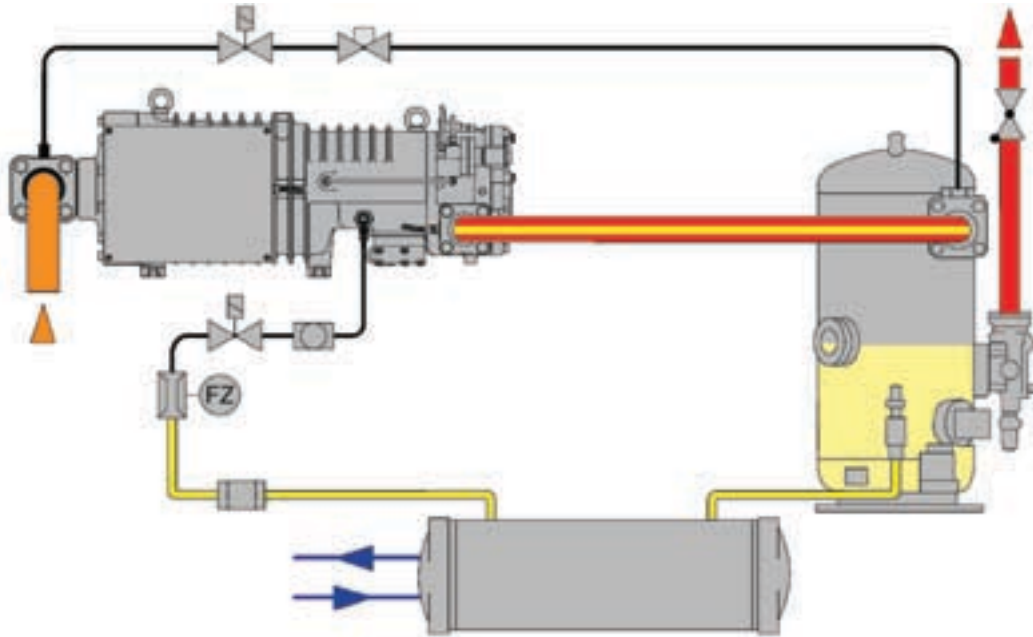
Ελικοειδείς συμπιεστές μονού στροφείου (α) ανοικτός και (β) ημιαεροστεγανός.

άζεται στο σχήμα Π.3.Αιστ. Το μειονέκτημα είναι η μείωση του ογκομετρικού βαθμού αποδόσεως του συμπιεστή, πράγμα το οποίο συνεπάγεται αυξημένη ισχύ συμπίεσης από 1% έως 10% ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

Π.3.Α.4 Βαθμός αποδόσεως ελικομόρφων συμπιεστών.

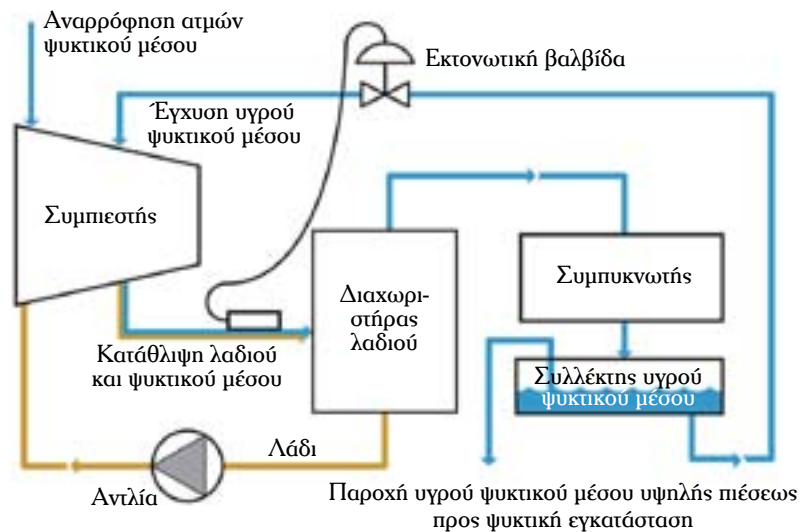
Οι ελικομόρφοι συμπιεστές δεν έχουν απώλειες

λόγου όγκου διακένου, όπως οι εμβολοφόροι συμπιεστές. Οι ογκομετρικές τους απώλειες οφείλονται σε διαρροές απ' τα σημεία επαφής των στροφείων. Λόγω των απωλειών, η πραγματική ογκομετρική παροχή του συμπιεστή $\dot{V}_{\text{ομπμ}}$ είναι μικρότερη από την ογκομετρική ικανότητα εμβολισμού $\dot{V}_{\text{εμβ}}$. Σε αναλογία με τους παλινδρομικούς συμπιεστές, ως ογκομετρική απόδοση του συμπιεστή n_v ορίζεται ο λόγος της πραγματικής ογκομετρικής παροχής στην



Σχ. Π.3.Αιε.

Δίκτυο λαδιού ελικομόρφου συμπιεστή δύο στροφείων με υδρόψυκτο ψυγείο.



Σχ. Π.3.Α.ιστ.

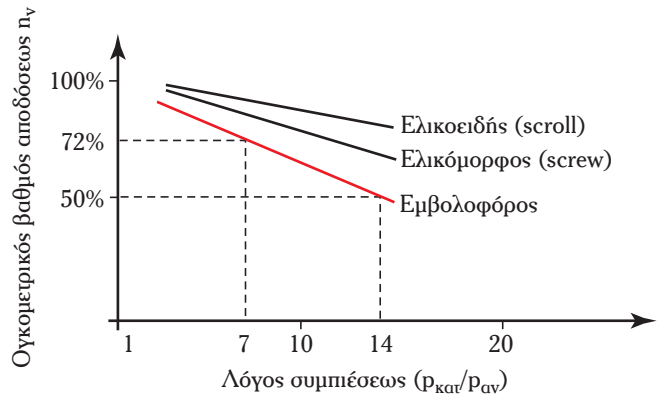
Ψύξη ελικομόρφου συμπιεστή δύο στροφείων με έγχυση υγρού ψυκτικού μέσου.

αναρρόφηση προς την ογκομετρική ικανότητα εμβολισμού:

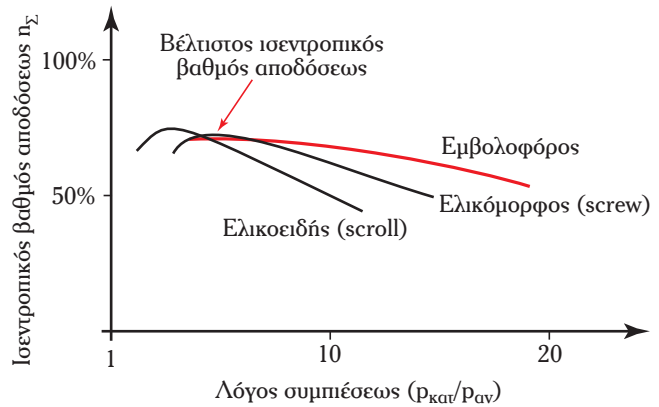
$$n_V = \frac{\dot{V}_{ουμπ}}{\dot{V}_{εμβ}}$$

Ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως των ελικομόρφων συμπιεστών μειώνεται όταν αυξάνεται ο λόγος συμπίεσης, αλλά είναι καλύτερος απ' αυτόν των εμβολοφόρων συμπιεστών (σχ. Π.3.Αιζ), όπου συγκρίνονται οι ογκομετρικοί βαθμοί αποδόσεως διαφόρων τύπων συμπιεστών. Επί πλέον στο σχήμα Π.3.Αιη συγκρίνονται οι ισεντροπικοί βαθμοί αποδόσεως των ελικομόρφων και των εμβολοφόρων συμπιεστών. Οι ογκομετρικές απώλειες είναι συνάρτηση της ταχύτητας επαφής των δύο λοβών και μειώνονται, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα επαφής. Αυτό, για μικρούς ελικομόρφους συμπιεστές συνεπάγεται απαίτηση για μεγάλο αριθμό στροφών. Έτσι, λόγω των χρησιμοποιούμενων κινητήρων οι ελικομόρφοι συμπιεστές χρησιμοποιούνται περισσότερο σε μεσαίες και μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις.

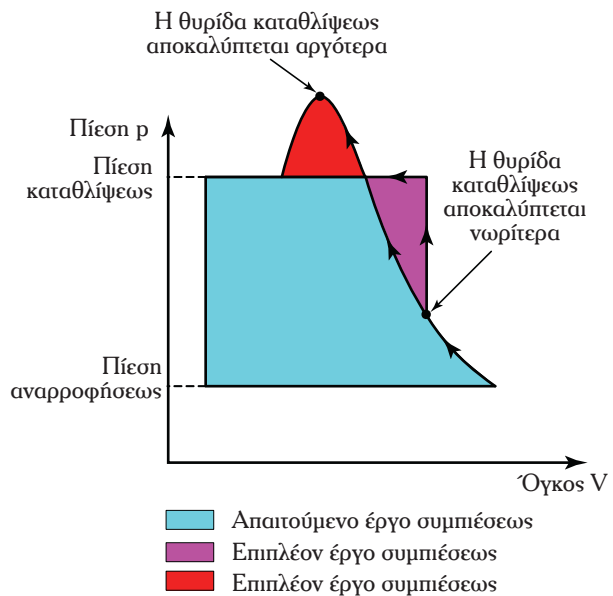
Οι ελικομόρφοι συμπιεστές μ' έναν και με δύο στροφεία είναι συμπιεστές με σταθερό λόγο όγκου αναρροφήσεως-καταθλίψεως. Ο λόγος συμπίεσης αποτελεί συνάρτηση του λόγου των όγκων των θαλάμων καταθλίψεως και αναρροφήσεως. Όταν επιλέγεται ένας ελικομόρφος συμπιεστής για μία ψυκτική εγκατάσταση, ο λόγος συμπίεσης του συνήθως διαφέρει κατά τι από τον ιδανικό λόγο συμπίεσης για την εγκατάσταση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποδόσεως του ελικομόρφου συμπιεστή, όταν κατά τη χρονική στιγμή αποκαλύψεως της θυρίδας καταθλίψεως δεν έχει επιτευχθεί η ζητούμενη σχέση συμπίεσης. Όταν η θυρίδα καταθλίψεως αποκαλύπτεται νωρίτερα ή αργότερα, υπάρχει μικρότερη ή μεγαλύτερη συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου και κατά συνέπεια η ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία του συμπιεστή αυξάνεται (σχ. Π.3.Αιθ). Το επί πλέον έργο συμπίεσης αντιστοιχεί στο εμβαδό των κόκκινων περιοχών του διαγράμματος p-V του σχήματος Π.3.Αιθ. Στην περίπτωση της υπερσυμπίεσης απαιτείται μεγαλύτερη διαδρομή του αερίου μέσα στο συμπιεστή, ενώ στην υποσυμπίεση υπάρχει αντίστροφη ροή ατμού από την κατάθλιψη προς το χώρο συμπίεσης



Σχ. Π.3.Αιζ.
Σύγκριση ογκομετρικών βαθμών αποδόσεως.



Σχ. Π.3.Αιη.
Σύγκριση ισεντροπικών βαθμών αποδόσεως για διάφορους τύπους συμπιεστών.



Σχ. Π.3.Αιθ.
Διάγραμμα p-V, όπου φαίνονται οι απώλειες υπερσυμπίεσης και υποσυμπίεσης.

όταν αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής. Το αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις είναι η μείωση του ισεντροπικού βαθμού αποδόσεως, ο οποίος είναι βέλτιστος σε μία μικρή περιοχή λειτουργίας, όπως φαίνεται στο σχήμα Π.3.Α.ιν. Στα δεξιά του βέλτιστου βαθμού αποδόσεως υπάρχουν απώλειες λόγω υπερσυμπίεσεως, ενώ στα αριστερά υπάρχουν απώλειες λόγω υποσυμπίεσεως.

Π.3.Β Φυγοκεντρικοί συμπιεστές.

Στους φυγοκεντρικούς συμπιεστές η αύξηση της πίεσεως των ατμών του ψυκτικού μέσου προκαλείται δυναμικά, δηλαδή με το μετασχηματισμό της ταχύτητας από το στροφείο, σε πίεση λόγω της επιβραδύνσεως στην έξοδο.

Για ένα ακτινικό στροφείο η θεωρητική αύξηση της ενθαλπίας στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη, είναι ανάλογη με το τετράγωνο της περιφερειακής ταχύτητας του στροφείου:

$$\Delta h = \frac{v^2}{C}$$

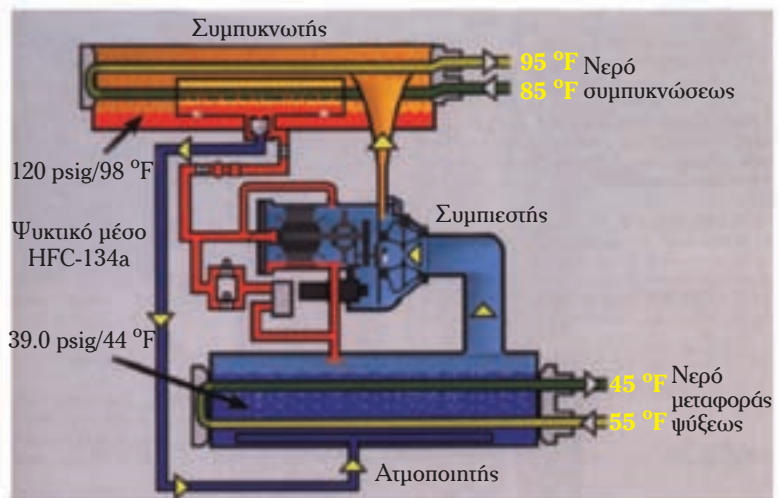
όπου: Δh , η αύξηση της ενθαλπίας σε kJ/kg ή σε btu/lb, v , η περιφερειακή ταχύτητα του στροφείου σε m/sec ή σε ft/sec, C , η σταθερά μετατροπής μονάδων, $C = 1000$ για μετρικό σύστημα, $C = 25.058$ για αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων.

Στην πραγματικότητα η αύξηση της ενθαλπίας είναι μικρότερη λόγω των απωλειών. Η πίεση που δημιουργείται από την επιβράδυνση του ατμού στο

διαχύτη, εξαρτάται από την πυκνότητα του ατμού. Γι' αυτόν το λόγο οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται κυρίως με βαριά ψυκτικά μέσα, όπως τα R-11 και R-123. Το R-11 είναι CFC και δεν χρησιμοποιείται σε νέες εγκαταστάσεις, ενώ για το R-123, που το αντικαθιστά, δεν χρησιμοποιείται σε πλοία λόγω προβλημάτων ασφαλείας. Επίσης οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε R-113, R-500 και NH₃. Σε πλοία χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικοί συμπιεστές με R-134a σε εγκαταστάσεις με μεγάλη ισχύ συμπίεσεως λόγω της μικρής ειδικής ψυκτικής αποδόσεως του R-134a.

Το κέλυφος των φυγοκεντρικών συμπιεστών κατασκευάζεται από χυτό χάλυβα και έχει θέσεις για τα έδρανα, την αντλία λαδιού και τις εισόδους αναρροφήσεως και καταθλίψεως. Επίσης, φέρει διάταξη στεγανοποίησης, ώστε να μην διαφεύγει το ψυκτικό μέσο στην ατμόσφαιρα. Το στροφείο συνδέεται με σφήνα με τον άξονα, κατασκευάζεται από χάλυβα και ζυγοσταθμίζεται, ώστε να μην έχει κραδασμούς.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε μονάδες ψύξεως νερού ή άλμυς. Η μονάδα του σχήματος Π.3.Βα χρησιμοποιείται για ψύξη νερού σε εφαρμογές κεντρικού κλιματισμού. Το εργαζόμενο μέσο είναι R-134a οι ατμοί του αναρροφώνται από τον ψύκτη και συμπιέζονται από το φυγοκεντρικό συμπιεστή. Το αποτέλεσμα είναι η ψύξη του νερού που κυκλοφορεί στους ψύκτες αέρα, οι οποίοι βρίσκονται στους κλιματιζόμενους χώρους. Τέτοιες μονάδες χρησιμοποιούνται σε κλιματισμό πλοίων κυρίως όταν υπάρχουν μεγάλα ψυκτικά φορτία,



Σχ. Π.3.Βα.

Ερμητική μονάδα ψύξεως νερού με φυγοκεντρικό συμπιεστή και ψυκτικό μέσο R-134a.

όπως στην περίπτωση των μεγάλων επιβατηγών.

Η ρύθμιση της ισχύος συμπίεσης στο συμπιεστή του σχήματος Π.3.Ββ, γίνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού στον ψύκτη.

Στο σχήμα Π.3.Ββ εικονίζεται ένας ημερημτικός φυγοκεντρικός συμπιεστής για εγκαταστάσεις κλιματισμού με δύο βαθμίδες και μεταβλητές στροφές.

Οι μέθοδοι ρυθμίσεως της ισχύος που χρησιμοποιούνται στους φυγοκεντρικούς συμπιεστές είναι:

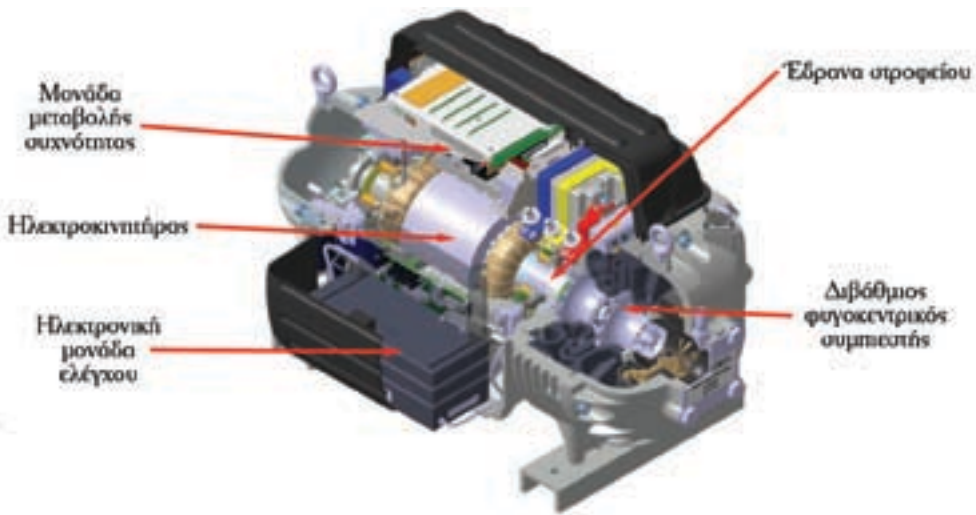
α) Δημιουργία πώσεως πίεσης στην είσοδο και στην έξοδο από το στροφείο μέσω ρυθμιζομένων περυγίων και βαλβίδων.

β) Λειτουργία σε μεταβλητές στροφές.

γ) Μεταβολή της πίεσης συμπυκνώσεως και δ) παράκαμψη θερμού αερίου από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση.

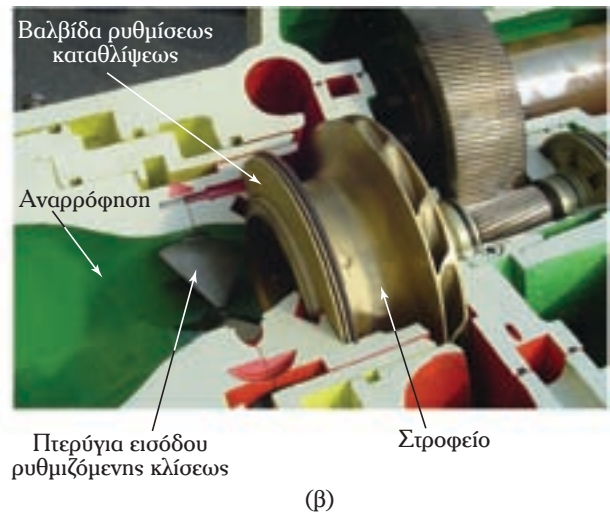
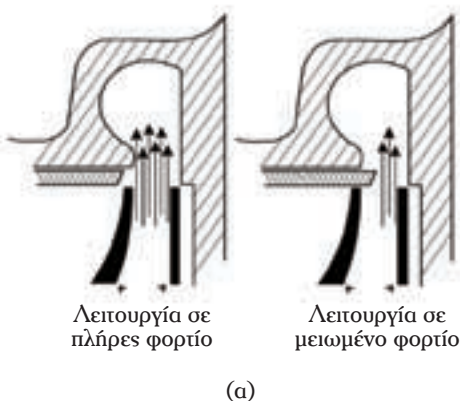
Στο σχήμα Π.3.Βγ φαίνεται η αρχή ρυθμίσεως με στραγγαλισμό της διόδου εξόδου από το στροφείο. Στο σχήμα Π.3.Βγ(β) φαίνεται η συναρμολόγηση της βαλβίδας στραγγαλισμού εξόδου και τα περύγια ρυθμίσεως μεταβλητής κλίσεως, με τα οποία ρυθμίζεται η παροχή του ατμού στην είσοδο του στροφείου.

Η λειτουργία των φυγοκεντρικών συμπιεστών περιγράφεται σ' ένα διάγραμμα πίεσης-παροχής



Σχ. Π.3.Ββ.

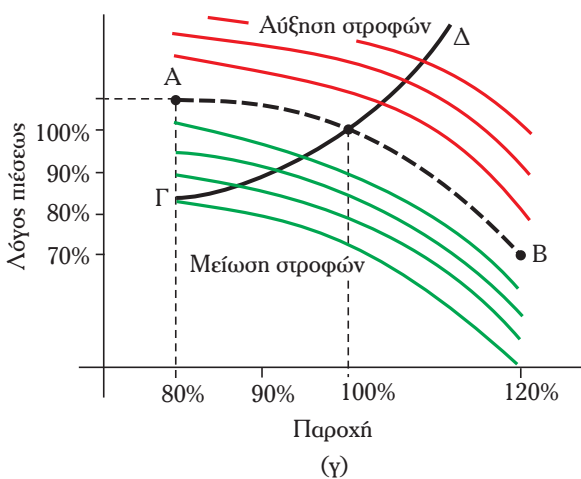
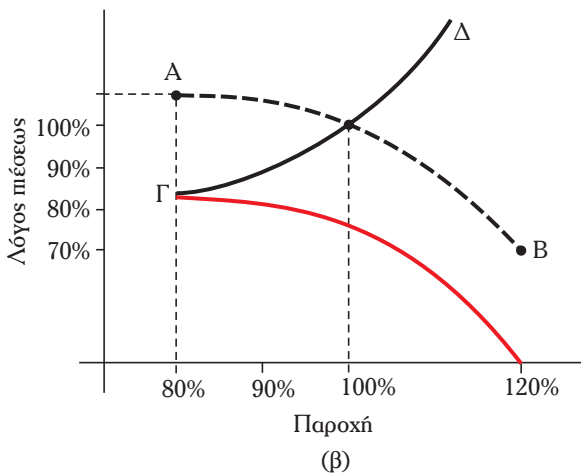
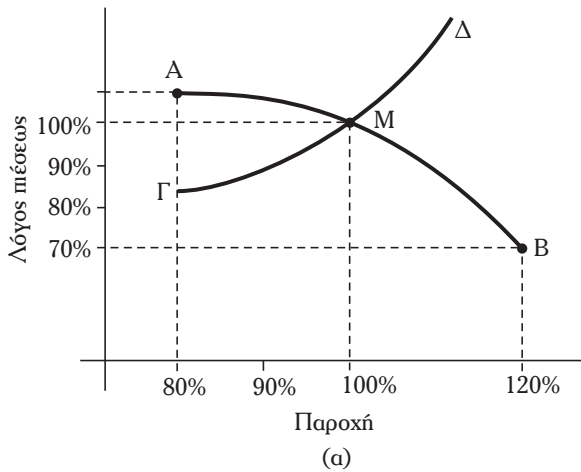
Ημερημτικός φυγοκεντρικός συμπιεστής.



Σχ. Π.3.Βγ.

Ρύθμιση ισχύος στροβιλοκίνητου συμπιεστή με ρυθμιζόμενα περύγια εισόδου και με βαλβίδα εξόδου από το στροφείο. (α) Σχέδιο κατασκευής και (β) όψη σε τομή

όπως αυτό του σχήματος Π.3.Βδ(α). Η καμπύλη ΑΒ περιγράφει τα δυνατά σημεία λειτουργίας του συμπιεστή, ενώ η καμπύλη ΓΔ δείχνει την πτώση πιέσεως λόγω της ροής στην εγκατάσταση. Το σημείο Μ είναι το σημείο λειτουργίας στο 100% της ισχύος. Με τη μείωση της ισχύος και της διαφοράς πίεσεως, π.χ. στο 80%, η καμπύλη ΑΒ μετατοπίζεται προς τα κάτω και το νέο σημείο λειτουργίας είναι το Γ [σχ. Π.3.Βδ(β)]. Η καμπύλη ΑΒ αναφέρεται σ' ένα σταθερό αριθμό περιστροφών του άξονα του συμπιεστή. Με την αύξηση ή τη μείωση των στροφών του άξονα η καμπύλη ΑΒ μετατοπίζεται προς τα πάνω και προς τα κάτω αντίστοιχα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα λειτουργίας του συμπιεστή σε μεγάλο εύρος διαφοράς πίεσεως και παροχής [σχ. Π.3.Βδ(γ)].

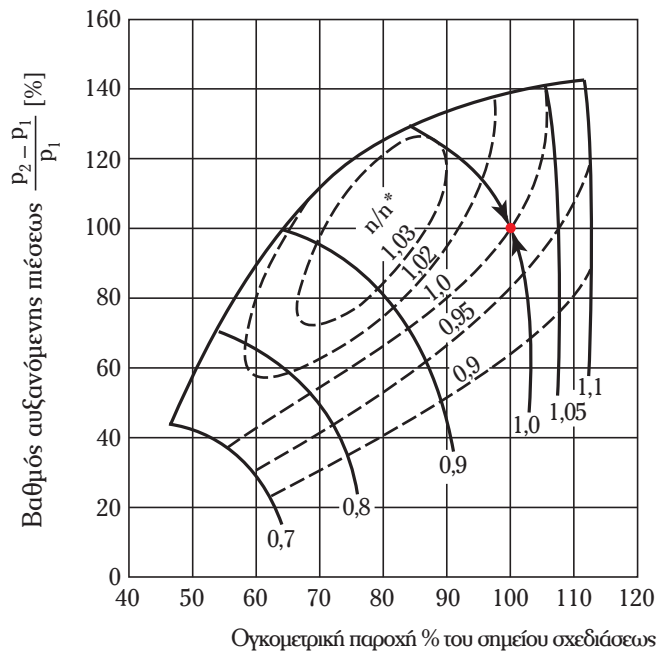


Σχ. Π.3.Βδ.

Καμπύλες αποδόσεως φυγοκεντρικού συμπιεστή.
(α) Για σταθερό αριθμό στροφών, (β) για μεταβλητό αριθμό στροφών και (γ) μεταβολή σημείων λειτουργίας.

έσεως λόγω της ροής στην εγκατάσταση. Το σημείο Μ είναι το σημείο λειτουργίας στο 100% της ισχύος. Με τη μείωση της ισχύος και της διαφοράς πίεσεως, π.χ. στο 80%, η καμπύλη ΑΒ μετατοπίζεται προς τα κάτω και το νέο σημείο λειτουργίας είναι το Γ [σχ. Π.3.Βδ(β)]. Η καμπύλη ΑΒ αναφέρεται σ' ένα σταθερό αριθμό περιστροφών του άξονα του συμπιεστή. Με την αύξηση ή τη μείωση των στροφών του άξονα η καμπύλη ΑΒ μετατοπίζεται προς τα πάνω και προς τα κάτω αντίστοιχα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα λειτουργίας του συμπιεστή σε μεγάλο εύρος διαφοράς πίεσεως και παροχής [σχ. Π.3.Βδ(γ)].

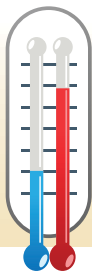
Στο σχήμα Π.3.Βε φαίνεται το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ενός φυγοκεντρικού συμπιεστή σε διάφορους αριθμούς στροφών. Οι καμπύλες λειτουργίας δίνονται για στροφές 0,7-0,8-0,9-1,0-1,05-1,1 των στροφών σχεδιάσεως. Επί πλέον, δίνεται ο λόγος των ισεντροπικών βαθμών αποδόσεως προς τον ισεντροπικό βαθμό αποδόσεως στο σημείο σχεδιάσεως. Τα όρια λειτουργίας τίθενται στα αριστερά από την **αναστροφή** (surge) της ροής στο στροφείο και στα δεξιά από την υπερηχητική ροή του ατμού.



• Σημείο σχεδιάσεως

Σχ. Π.3.Βε.

Διάγραμμα αποδόσεως φυγοκεντρικού συμπιεστή.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Τύποι και κατασκευή θερμοστατικών βαλβίδων

Π.4.Α Κατασκευή – Τύποι θερμοστατικών εκτονωτικών βαλβίδων.

Μία θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα αποτελείται από το σώμα που κατασκευάζεται από κράμα μπρούντζου και παίρνει μορφή μέσω σφυρηλατήσεως ή μηχανουργικών κατεργασιών. Όταν το ψυκτικό μέσο είναι η αμμωνία, το σώμα και τα υπόλοιπα μέρη κατασκευάζονται από χάλυβα. Το σώμα περιλαμβάνει τις οπές συνδέσεως του υγρού χαμηλής και υψηλής πίεσεως και τη σύνδεση του ισοσταθμιστή πίεσεως. Στην πάνω πλευρά της εκτονωτικής βαλβίδας υπάρχει ο θερμοστατικός βολβός και το διάφραγμα, το οποίο είναι μεταλλικό και έχει ομόκεντρες πτυχώσεις. Η σύνδεση των σωλήνων στις μικρές βαλβίδες γίνεται με συγκόλληση, ενώ στις μεγάλες με φλάντζες. Στην είσοδο του υγρού υψηλής πίεσεως υπάρχει ένα μεταλλικό φίλτρο, το οποίο είναι λυόμενο για να καθαρίζεται. Επίσης, στην πλαϊνή ή στην κάτω πλευρά βρίσκεται ο ρυθμιστικός κοχλίας. Όταν ο ρυθμιστικός κοχλίας είναι τοποθετημένος στο πλάι, η μετάδοση της κινήσεως γίνεται με ατέρμονα κοχλία. Σημαντικά τμήματα της βαλβίδας είναι το ωστήριο, η βελόνα ρυθμίσεως και η έδρα, τα οποία συνήθως κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα.

Οι θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες, ανάλογα με τη θερμοκρασία ατμοποίησης της εγκαταστάσεως κατασκευάζονται **πρώτον** για συνήθεις ψυκτικές εφαρμογές **δεύτερον** για χαμηλές θερμοκρασίες και **τρίτον** για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης. Η βελόνα ρυθμίσεως και η έδρα της διαφέρουν ανάλογα με την ψυκτική ισχύ, έτσι ώστε μία βαλβίδα να μπορεί να καλύψει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Η υπερθέρμανση του ψυκτικού μέσου στο βολβό ελέγχεται με τη βαλβίδα και έχει μια προκαθορισμένη εργοστασιακή ρύθμιση. Με το ρυθμιστικό κοχλία, η ρύθμιση αυτή μπορεί να αλλάξει, αν και κάτι τέτοιο συνήθως δεν είναι απαραίτητο.

Η επιλογή μιας θερμοστατικής εκτονωτικής βαλ-

βίδας και του κατάλληλου συνδυασμού έδρας και βελόνας ρυθμίσεως πραγματοποιούν από τους πίνακες των κατασκευαστών με τα εξής δεδομένα της εγκαταστάσεως:

- α) Ψυκτικό μέσο.
- β) Ψυκτική ισχύς.
- γ) Θερμοκρασία ατμοποίησης.
- δ) Πίεση ατμοποίησης.
- ε) Πίεση συμπυκνώσεως.
- στ) Υπόψυξη υγρού στον εναλλάκτη.
- ζ) Πτώση πίεσεως στη βαλβίδα και
- η) εσωτερική ή εξωτερική εξισορρόπηση πίεσεως.

Οι μικρές θερμοστατικές βαλβίδες κατασκευάζονται σ' ένα ενιαίο σώμα και δεν είναι λυόμενες, ενώ οι μεγαλύτερες είναι λυόμενες. Σ' αυτές μπορεί να γίνεται συναρμολόγηση και καθαρισμός ή αντικατάσταση μόνο ενός τμήματός τους. Το μέρος που περιλαμβάνει το βολβό και το διάφραγμα ονομάζεται **θερμοστατικό στοιχείο**. Επίσης, ξεχωριστό σώμα αποτελούν το **κυρίως σώμα** και η **βελόνα ρυθμίσεως**.

Στο σχήμα Π.4.Αα εικονίζεται μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εσωτερική εξισορρόπηση πίεσεων και διάφραγμα. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια παρόμοια βαλβίδα παρουσιάζονται στο σχήμα Π.4.Αβ. Ο τύπος αυτής της βαλβίδας είναι σχεδιασμένος για εφαρμογές εμπορικής ψύξεως και κλιματισμού, με εσωτερική εξισορρόπηση πίεσεων. Το κυρίως σώμα αποτελείται από ορείχαλκο, ενώ η βελόνα ρυθμίσεως και η έδρα από ανοξείδωτο χάλυβα. Οι ενώσεις των αγωγών γίνονται με συγκόλληση και οι διαστάσεις των αγωγών μπορεί να είναι 5/8", 7/8" και 1 1/8". Το θερμοστατικό στοιχείο, σε περίπτωση βλάβης του, είναι δυνατόν να αντικατασταθεί. Η ψυκτική ισχύς ανάλογα με το μέγεθος της βαλβίδας και τη βελόνα ρυθμίσεως που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι από 2 RT έως 10 RT για R-22 και από 2 RT έως 6 RT για R-134a.

Στο σχήμα Π.4.Αγ παρουσιάζεται μια θερμοστα-

τική εκτονωτική βαλβίδα, με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσης. Όλη η κατασκευή, συμπεριλαμβανομένου και του βολβού, αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα. Οι ενώσεις με τους χάλκινους αγωγούς γίνονται με συγκόλληση, χάρη στην εσωτερική επικάλκωση των σημείων συνδέσεως. Ο τύπος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τα ψυκτικά μέσα R-22, R-407C, R-134a, R-404a, R-507 και R410a και για ψυκτική ισχύ από 0,45 kW έως 18 kW (για R-134a). Η υπερθέρμανση του ατμού έχει αρχική εργοσιασκή ρύθμιση τους 4 K, ενώ για κάθε επί πλέον στροφή του ρυθμιστικού κοχλία αλλάζει κατά 4 K περίπου, ανάλογα με τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Με τη δεξιόστροφη περιστροφή του ρυθμιστικού κοχλία η υπερθέρμανση αυξάνεται, ενώ με την αριστερόστροφη μειώνεται.

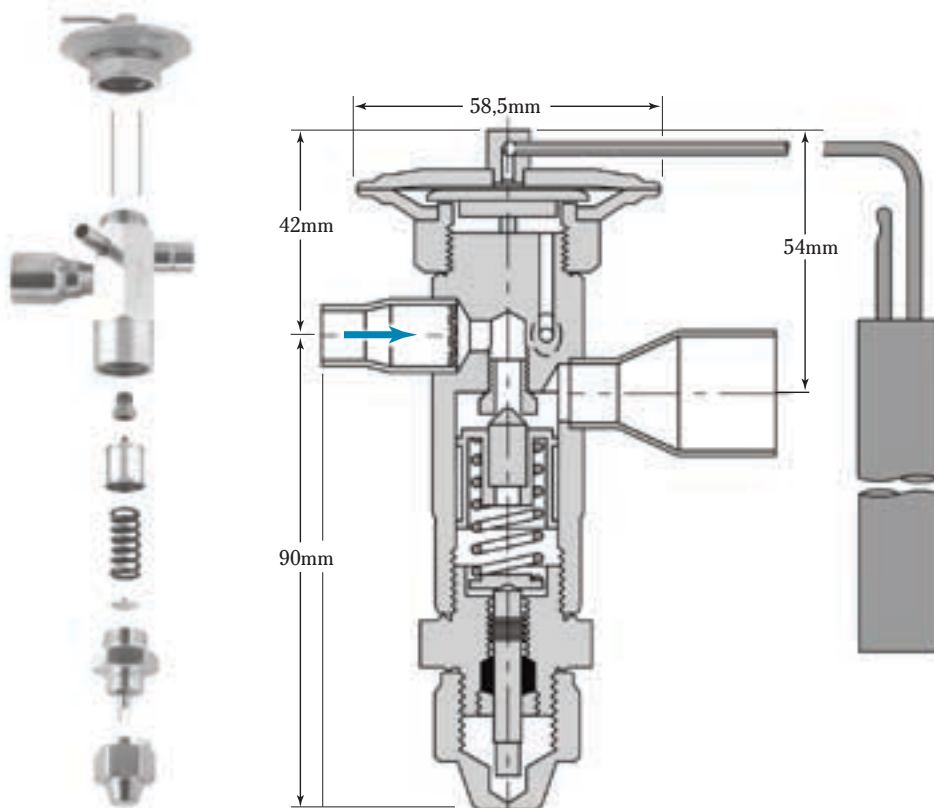
1) Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες με διπλή έδρα.

Η παροχή υγρού της βαλβίδας εξαρτάται από τη γεωμετρία της βαλβίδας και της έδρας της. Εκτός από τις βαλβίδες σε σχήμα βελόνας υπάρχουν και άλλα σχήματα που χρησιμοποιούνται, όπως η επί-



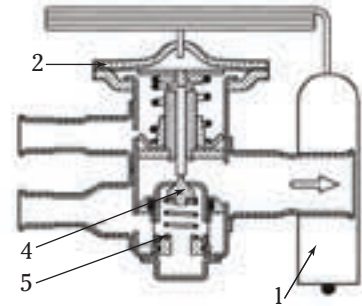
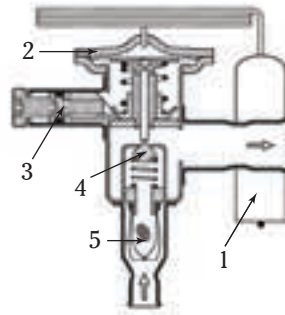
Σχ. Π.4.Αα.

Κατασκευή θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας.



Σχ. Π.4.Αβ.

Μέρη θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με εσωτερική εξισορρόπηση πίεσης.

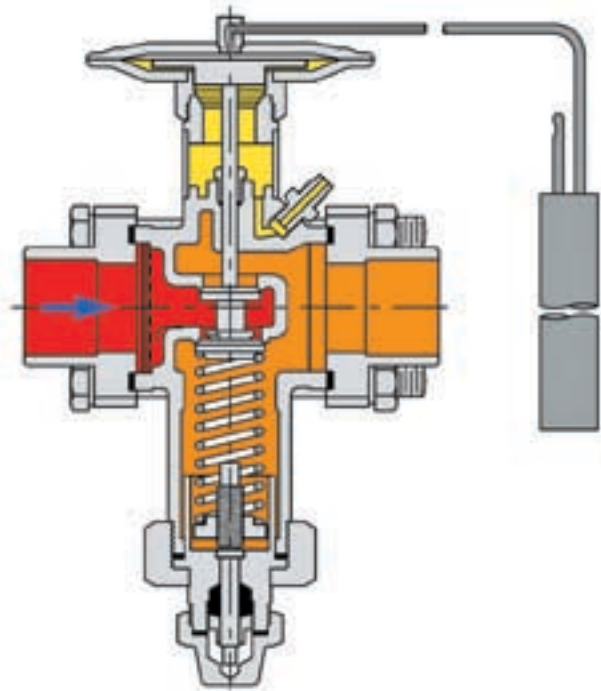


- 1) Θερμοστατικός βολβός με τριχοειδή αγωγό
- 2) Θερμοστατική μεμβράνη
- 3) Ρύθμιση υπερθερμάνσεως
- 4) Οπή στραγγαλισμού
- 5) Εσωτερικό φίλτρο

Σχ. Π.4.Αγ.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση πίεσης.

πεδη βαλβίδα ανάλογα με την επιθυμητή ρύθμιση της παροχής σε σχέση με τη μετατόπιση. Η επίπεδη βαλβίδα, δίνει μεγάλη αύξηση της παροχής για μικρή μεταβολή της μετατόπισης. Όταν μεταβάλλεται ευρέως το φορτίο, η βαλβίδα πρέπει να μπορεί να ρυθμίζει την παροχή, ανάλογα με τη μετατόπιση του ωστηρίου, οπότε στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ημικυκλικό σχήμα ρυθμιστικής βελόνας. Για ακόμα μεγαλύτερη παροχή και δυνατότητα ρυθμίσεως, χρησιμοποιείται πριονωτό σχήμα βαλβίδας. Για ψυκτικές εγκαταστάσεις που έχουν μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ χρησιμοποιούνται βαλβίδες με διπλές έδρες. Στο σχήμα Π.4.Αδ εικονίζεται μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με διπλή έδρα για μεγάλη παροχή υγρού. Η βαλβίδα αυτή, έχει εξωτερική εξισορρόπηση πιέσεων και το θερμοστατικό στοιχείο μπορεί να αντικατασταθεί. Η κατασκευή της διπλής βαλβίδας και των δύο εδρών γίνεται με πολύ καλές ανοχές, ώστε και οι δύο έδρες να κλείνουν και να ανοίγουν ταυτόχρονα. Το μεταλλικό φίλτρο έχει πυκνότητα οπών 12 ανά ίντσα και η διάμετρος των σωλήνων εισόδου και εξόδου είναι από $1\frac{1}{8}$ " έως $2\frac{1}{8}$ ". Οι βαλβίδες αυτού του τύπου κατασκευάζονται για ψυκτική ισχύ που ποικίλλει, ανάλογα με το μέγεθος των δίσκων ρυθμίσεως και είναι για R-22 από 135 RT έως 180 RT και για R-134a από 80 RT έως 110 RT. Η διάμετρος του διαφράγματος του θερμοστατικού βολβού είναι 3,62" ή 4,75", ανάλογα με το μέγεθος της βαλβίδας, ώστε με την επιφάνεια του διαφράγματος να μπορεί να εξασφαλιστεί η κίνηση των εδρών ρυθμίσεως της παροχής.



Σχ. Π.4.Αδ.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση πιέσεων και διπλή έδρα.

Για εγκαταστάσεις με μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ, η διάμετρος της έδρας και της βαλβίδας ρυθμίσεως της παροχής αυξάνονται, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη για την ανύψωση της βαλβίδας. Στις περιπτώσεις όπου η πίεση του αερίου του βολβού στο διάφραγμα δίνει δύναμη που δεν επαρκεί για την κίνηση, χρησιμοποιούνται βαλβίδες οδηγούμε-

νες από άλλες πιλοτικές διατάξεις.

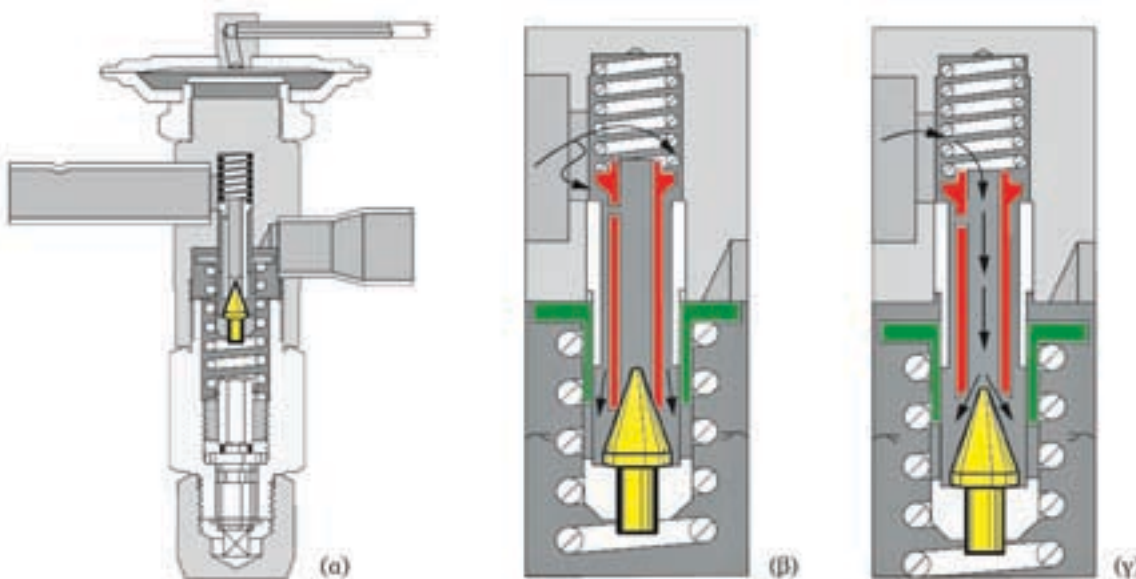
2) Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες με ταχεία εξισορρόπηση πιέσεων.

Εξαιτίας της σχεδιάσεώς της, η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα κατά την κράτηση της εγκαταστάσεως κλείνει την παροχή του υγρού και διατηρεί τη διαφορά των πιέσεων στην εγκατάσταση. Προκειμένου να υπάρχει ευκολότερη εκκίνηση του συμπιεστή, πρέπει να εξισωθούν οι πιέσεις στις δύο πλευρές της βαλβίδας. Γι' αυτόν το σκοπό χρησιμοποιείται έδρα με οπή εξισορροπήσεως πιέσεων. Η γρηγορότερη εξισορρόπηση των πιέσεων κατά την κράτηση του συμπιεστή απαιτείται, ειδικά σε εγκαταστάσεις κλιματισμού, όπου η επανεκκίνηση μπορεί να μην απέχει χρονικά από την κράτηση. Στην περίπτωση αυτή, κατασκευάζονται βαλβίδες με κινητή έδρα (σχ. Π.4.Αε). Η έδρα είναι ένας κύλινδρος, που μπορεί να κινείται από την πίεση που επικρατεί στην έξοδο της βαλβίδας. Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας πιέζεται προς τα κάτω από ένα ελατήριο. Κατά την κανονική λειτουργία, το υγρό διέρχεται από το κέντρο της κυλινδρικής έδρας, εκτονώνεται κατά τη διέλευσή του από τη βελόνα και πηγαίνει προς τον ατμοποιητή. Η λειτουργία του συστήματος ταχείας εξισορροπήσεως ξεκινάει όταν σταματήσει ο συμπιεστής. Ενώ η ροή του υγρού στην κεντρική οπή της έδρας διακόπτεται, η πίεση στον ατμοποιητή, άρα και η πίεση στην έξοδο

της βαλβίδας, αυξάνεται λόγω της ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου που έχει μείνει σε υγρή κατάσταση. Λόγω της αυξήσεως της πιέσεως, μετακινείται προς τα πάνω η έδρα μαζί με τη βελόνα ρυθμίσεως. Με τη μετακίνηση της κυλινδρικής έδρας προς τα πάνω ανοίγει μία λωρίδα, από την οποία διέρχεται υγρό ψυκτικό μέσο περιμετρικά και καταλήγει στον ατμοποιητή. Η ατμοποίηση του υγρού συνεχίζεται έως ότου εξισωθούν οι πιέσεις στα δύο άκρα της βαλβίδας, οπότε η κινητή έδρα κλείνει τη θυρίδα λόγω της τάσεως του ελατηρίου. Μ' αυτόν τον τρόπο μπορούν να χρησιμοποιούνται μικρότεροι ηλεκτροκινητήρες, που είναι πιο οικονομικοί και έχουν μικρότερη ροπή εκκινήσεως.

3) Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες με περιορισμό πιέσεως.

Μια ειδική κατηγορία εκτονωτικών βαλβίδων είναι οι θερμοστατικές βαλβίδες με περιορισμό πιέσεως λειτουργίας. Ο περιορισμός της πιέσεως ατμοποίησης είναι επιθυμητός σε περιπτώσεις που επιζητείται η προστασία του συμπιεστή από υπερφόρτιση. Η υπερφόρτιση προκύπτει από τη συνεχή έγχυση υγρού ψυκτικού μέσου σ' ένα ζεστό ατμοποιητή, στην αρχή της λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Η λειτουργία του συμπιεστή με ατμούς μεγάλης πυκνότητας και πιέσεως συνεπάγεται υπερφόρτιση και απαιτεί κινητήρα με μεγαλύτερη ιπποδύναμη. Για τη



Σχ. Π.4.Αε.

(α) Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με κινητή έδρα για γρήγορη εξισορρόπηση πιέσεων, (β) λειτουργία κατά την εξισορρόπηση, (γ) κανονική λειτουργία.

μείωση της υπερφορτίσεως του συμπιεστή πρέπει η εκτονωτική βαλβίδα να κλείνει την παροχή του ψυκτικού μέσου, όταν η πίεση ατμοποίησης αυξηθεί πάνω από ένα όριο.

Ο περιορισμός της πίεσης ατμοποίησης γίνεται με τους εξής δύο τρόπους:

α) Με θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες με μηχανικό περιοριστή πίεσης και

β) με θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες με πλήρωση περιορισμού πίεσης.

Οι βαλβίδες με μηχανικό περιοριστή πίεσης περιλαμβάνουν δύο διαφράγματα, το ένα πάνω από το άλλο. Στο πάνω μεταδίδεται η πίεση από το βολβό, ενώ στο κάτω η πίεση ατμοποίησης. Τα δύο διαφράγματα συνδέονται μεταξύ τους μ' ένα υλικό που παραμορφώνεται κάτω από μια προκαθορισμένη δύναμη ή με ένα ελατήριο. Έτσι, όταν η πίεση ατμοποίησης αυξηθεί, το παραμορφώσιμο μέλος μειώνει το μήκος του και η βαλβίδα κλείνει. Μία τέτοια κατασκευή εικονίζεται στο σχήμα Π.4.Αστ. Τέτοιες βαλβίδες σήμερα, λόγω της πολυπλοκότητάς τους, χρησιμοποιούνται ελάχιστα και έχουν αντικατασταθεί από τις **βαλβίδες με πλήρωση βολβού περιορισμού πίεσης** (Maximum Operating Pressure Valves—MOP).

Οι βαλβίδες με πλήρωση βολβού περιορισμού πίεσης είναι κατασκευαστικά όμοιες με τις κανονικές, με τη διαφορά ότι στο βολβό τους έχουν μικρότερη ποσότητα υγρού (σχ. Π.4.Αζ). Αυτό γίνεται διότι όταν ατμοποιηθεί όλο το υγρό στο βολβό, η αύξηση της πίεσης στη συνέχεια είναι σχετικά μικρή. Έτσι, η δύναμη που ενεργεί στο διάφραγμα δεν μεγαλώνει άλλο και μένει σχετικά μικρή. Αυτό περιορίζει τη ροή του υγρού και τη θερμοκρασία ατμοποίησης σε σχέση με τις βαλβίδες, που έχουν κανονική πλήρωση υγρού. Οι βαλβίδες, λοιπόν με πλήρωση βολβού περιορισμού πίεσης μπορούν να ρυθμιστούν σε μεγαλύτερη θερμοκρασία υπερθερμάνσεως και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές με χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης.

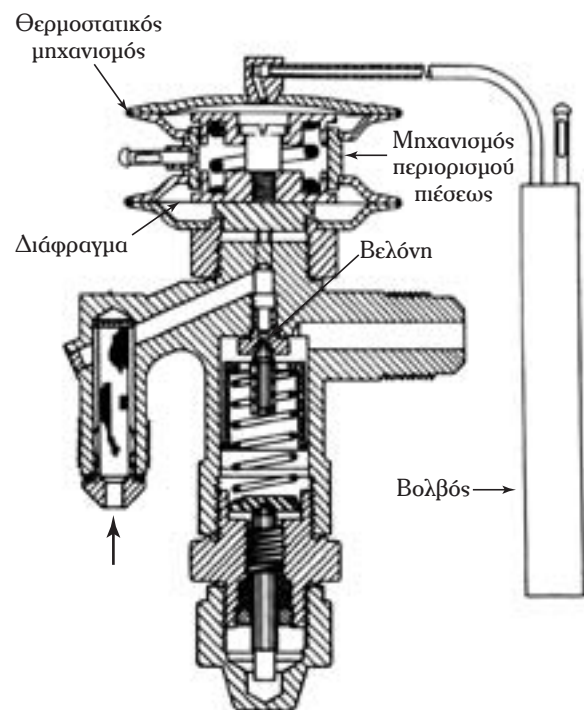
Λόγω της μικρής ποσότητας του υγρού στο βολβό στις βαλβίδες αυτές, μπορεί να παρατηρηθεί μετατόπιση της πληρώσεως στο διάφραγμα, όταν αυτό είναι ψυχρότερο απ' το βολβό. Αυτό προκαλεί κλείσιμο και αδυναμία λειτουργίας της βαλβίδας, διότι δεν υπάρχει ατμοποίηση στο βολβό.

4) **Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες ελεγχόμενες από βαλβίδα-πιλότο.**

Όταν απαιτείται μεγάλη παροχή υγρού, η πίεση

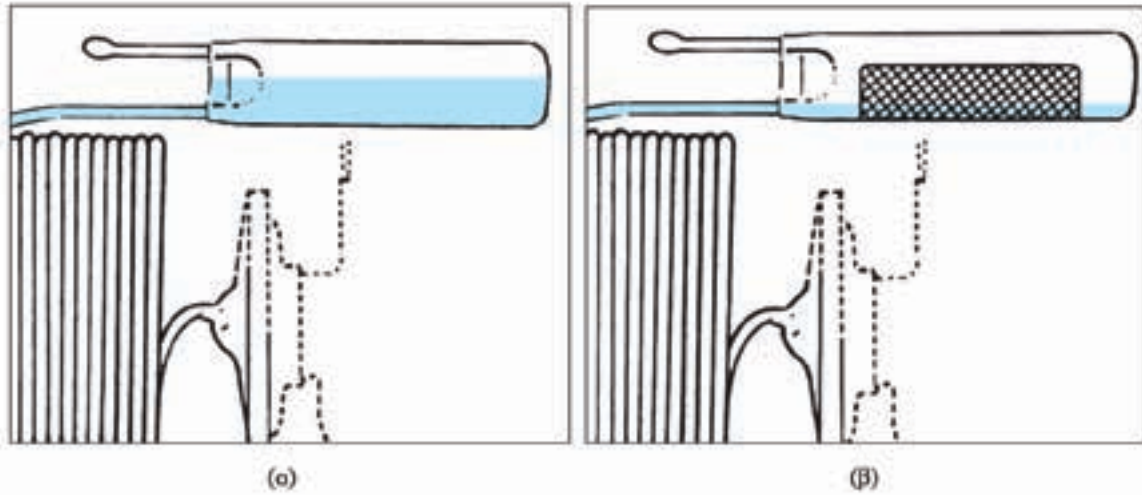
του αερίου στο βολβό δεν είναι ικανή να ανοίξει τη βελόνα ρυθμίσεως. Σ' αυτές τις περιπτώσεις κατασκευάζονται θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες όπου η κίνηση της βελόνας ρυθμίσεως γίνεται με τη βοήθεια υγρού υψηλής πίεσης. Η μετάδοση της πίεσης του υγρού στο μηχανισμό κινήσεως της βαλβίδας ελέγχεται από μια πιλοτική βαλβίδα, η οποία συνήθως είναι μια κανονική θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα. Στο σχήμα Π.4.Αη εικονίζεται μια κατασκευή, στην οποία η βαλβίδα-πιλότος είναι τοποθετημένη σ' ένα σώμα πάνω από την κύρια βαλβίδα.

Η βαλβίδα του σχήματος Π.4.Αη κατασκευάζεται από ορείχαλκο για ψυκτικά μέσα R-22, R-407C, R-134a, R404a και R-507. Έχει εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας από -40 έως 50 °C και είναι κατάλληλη για τοποθέτηση σε ψυκτικές εγκαταστάσεις με χαμηλές και κανονικές θερμοκρασίες ατμοποίησης, καθώς και σε εγκαταστάσεις κλιματισμού. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας της είναι από 20 έως 28 bar, ανάλογα με τον τύπο. Η κύρια παροχή του υγρού ρυθμίζεται από μια τραπεζοειδή έδρα, που αντικαθίσταται ανάλογα με την ψυκτική ισχύ, η οποία ποικίλλει από 30 RT έως 540 RT (105-1890 kW) για ψυκτικό μέσο R-22. Ανάλογα με τη γόμω-



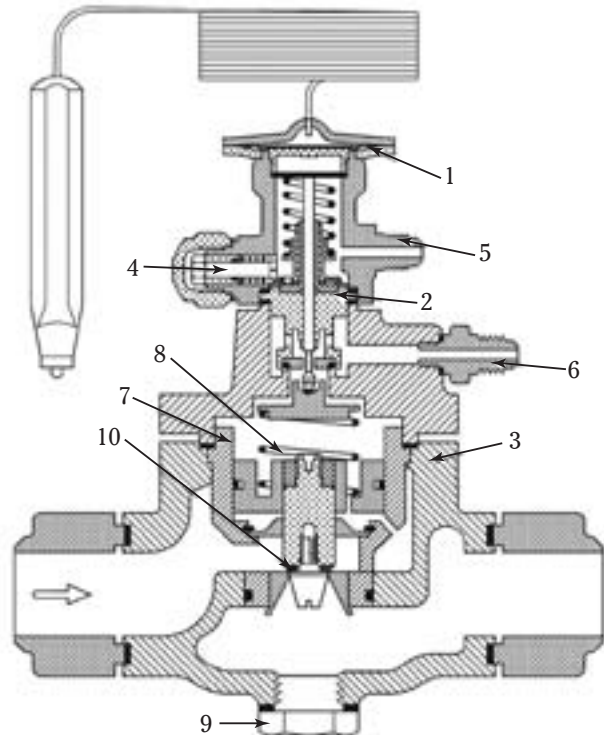
Σχ. Π.4.Αστ.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με μηχανικό περιορισμό πίεσης.



Σχ. Π.4.Αζ.

(α) Κανονική πλήρωση βολβού, (β) πλήρωση βολβού σε βαλβίδα περιορισμού πίεσης λειτουργίας.



- | | |
|--|------------------------------------|
| 1) Διάφραγμα | 6) Σύνδεση πιλοτικής βαλβίδας |
| 2) Συναρμολόγηση διατάξεως στραγγαλισμού | 7) Εσωτερικός κύλινδρος |
| 3) Σώμα βαλβίδα | 8) Κύριο ελατήριο |
| 4) Κοχλίας ρυθμίσεως υπερθερμάνσεως | 9) Κοχλίας οπής καθαρισμού |
| 5) Σύνθεση εξωτερικής γραμμής εξισορροπήσεως | 10) Κώνος στραγγαλισμού από τεφλόν |

Σχ. Π.4.Αν.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα ελεγχόμενη από βαλβίδα-πιλότο.

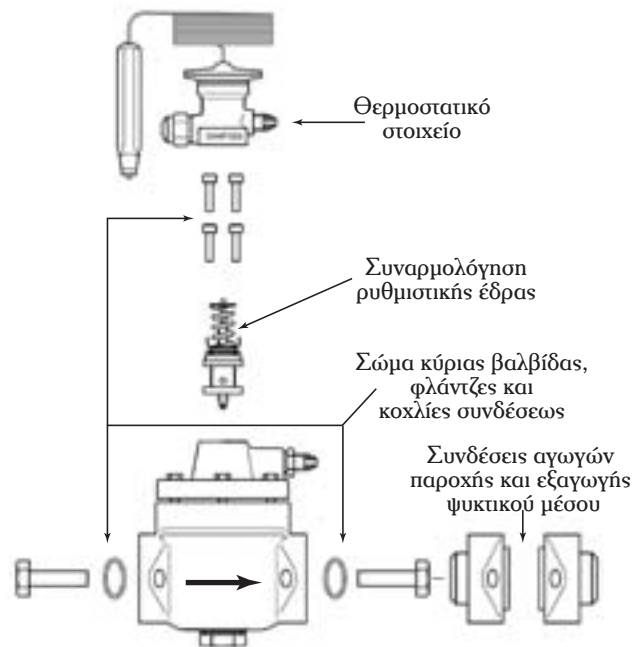
ση του βολβού μπορεί να διατηρεί την πίεση στον ατμοποιτή μέχρι μια μέγιστη τιμή, έτσι ώστε να προστατεύεται ο συμπιεστής από υπερφόρτιση. Η εργοστασιακή ρύθμιση της υπερθερμάνσεως είναι 4 K, ενώ αν η επιθυμητή υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου είναι διαφορετική, αυτή μπορεί να καθοριστεί με το ρυθμιστικό κοχλία. Η περιστροφή του κοχλία αριστερόστροφα (ανάποδα από τους δείκτες του ρολογιού) μειώνει την υπερθέρμανση, ενώ η δεξιόστροφη περιστροφή αυξάνει την υπερθέρμανση. Μια πλήρης στροφή αντιστοιχεί σε αύξηση ή μείωση της υπερθερμάνσεως κατά 0,5 °C. Όταν απαιτείται αύξηση της ψυκτικής ισχύος πρέπει να αντικαθίσταται η τραπεζοειδής έδρα με άλλη μεγαλύτερης παροχής.

Η βαλβίδα, όπως φαίνεται στο σχήμα Π.4.Αθ, αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- α) Το θερμοστατικό στοιχείο, που περιλαμβάνει το βολβό και την οδηγό εκτονωτική βαλβίδα.
- β) Την συναρμολόγηση της ρυθμιστικής έδρας που επιλέγεται ανάλογα με την ψυκτική ισχύ και
- γ) Την κύρια βαλβίδα, που έχει τις συνδέσεις των κυρίων αγωγών του ψυκτικού μέσου.

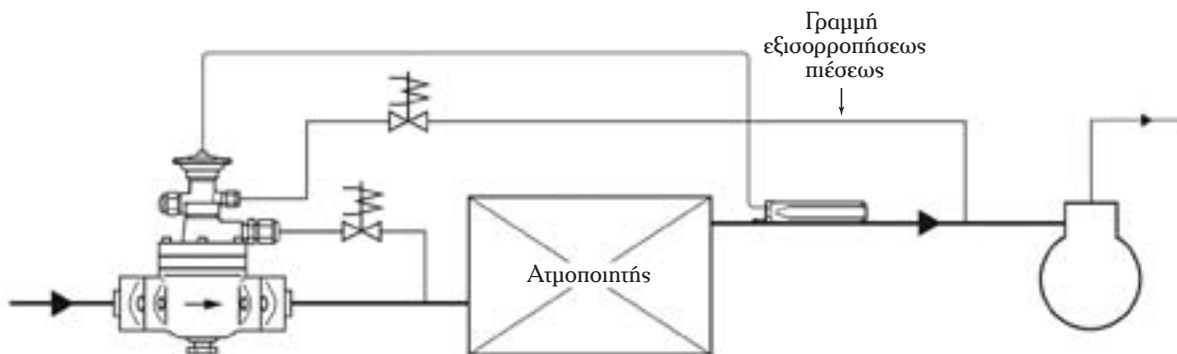
Το θερμοστατικό στοιχείο τροφοδοτείται με παροχή μέσου υψηλής πίεσης και συνδέεται με το βολβό και το σωλήνα εξισορροπίσεως (σχ. Π.4.Αι). Η κίνηση της μεμβράνης μεταδίδεται στο στέλεχος

που μετακινείται προς τα κάτω και ανοίγει τη δίοδο στο υγρό υψηλής πίεσης (σχ. Π.4.Αη). Αυτό εισέρχεται στο χώρο πάνω από το κύριο έμβολο που μετακινείται προς τα κάτω και ανοίγει τη δίοδο της κύριας παροχής του υγρού ψυκτικού μέσου προς τον ατμοποιτή.



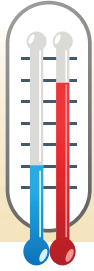
Σχ. Π.4.Αθ.

Μέρη θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας ελεγχόμενης από βαλβίδα-πιλότο.



Σχ. Π.4.Αι.

Τοποθέτηση θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας ελεγχόμενης από βαλβίδα-πιλότο.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

Μέρη και εξαρτήματα ψυκτικών εγκαταστάσεων

Π.5.Α Σωληνώσεις ψυκτικών εγκαταστάσεων.

Π.5.Α.1 Διαστάσεις χαλκοσωλήνων ψυκτικών εγκαταστάσεων (πίν. Π.5.Α).

Πίνακας Π.5.Α.

Διαστάσεις χαλκοσωλήνων ψυκτικών εγκαταστάσεων: (α) Τύπου L, (β) DIN 1754.

Ονομαστική διάμετρος, in	Ονομαστικές διαστάσεις, in		
	Εξωτερική διάμετρος	Εσωτερική διάμετρος	Πάχος
1/4	0,375	0,315	0,030
3/8	0,500	0,430	0,035
1/2	0,625	0,545	0,040
5/8	0,750	0,666	0,042
3/4	0,875	0,785	0,045
1	1,125	1,025	0,050
1 1/4	1,375	1,265	0,055
1 1/2	1,625	1,505	0,060
2	2,125	1,985	0,070
2 1/2	2,625	2,465	0,080
3	3,125	2,945	0,090
3 1/2	3,625	3,425	0,100
4	4,125	3,905	0,110
5	5,125	4,875	0,125
6	6,125	5,845	0,140
8	8,125	7,725	0,200
10	10,125	9,625	0,250
12	12,125	11,565	0,280

(α)

Διάμετρος	Εσωτερική/ Εξωτερική διάμετρος (mm × mm)	Πάχος (mm)
6 mm	4 × 6	1
8 mm	6 × 8	1
10 mm	8 × 10	1
12 mm	10 × 12	1
15 mm	13 × 15	1
16 mm	14 × 16	1
18 mm	16 × 18	1
22 mm	20 × 22	1
28 mm	25 × 28	1,5
35 mm	32 × 35	1,5
42 mm	39 × 42	1,5
54 mm	50 × 54	2
64 mm	60 × 64	2
76 mm	72 × 76	2
89 mm	85 × 89	2
108mm	103 × 108	2,5

(β)

Π.5.Α.2 Υπολογισμός σωληνώσεων.

Οι ταχύτητες του ψυκτικού μέσου στα διάφορα σημεία της εγκατάστασης καθορίζονται από τις απαιτήσεις οικονομίας, πώσεως πίεσεως, θορύβου και κυκλοφορίας λαδιού. Οι συνιστώμενες ταχύτητες ροής είναι:

α) Σωλήνας αναρροφήσεως: 700 – 4000 ft/min (3,5 – 20,3 m/s).

β) Σωλήνας καταθλίψεως: 500 – 3500 ft/min (2,5 – 17,8 m/s).

γ) Σωλήνας υγρού από το συμπυκνωτή ως το συλλέκτη: 100 ft/min (0,5 m/s).

δ) Σωλήνας υγρού μετά το συλλέκτη: 125 – 450 ft/min (0,6 – 2,3 m/s).

Μεγαλύτερες ταχύτητες μπορεί να συναντώνται σε σωλήνες αναρροφήσεως μικρού μήκους, σε εγκαταστάσεις, οι οποίες εργάζονται λίγες ώρες (2000–4000 h) ανά έτος. Στην περίπτωση αυτή, η εξοικονόμηση του αρχικού κόστους είναι σημαντικότερη από την αύξηση του κόστους λειτουργίας που προκαλείται απ' την πτώση πίεσεως του ατμού.

Η ταχύτητα του υγρού στο σωλήνα από το συμπυκνωτή προς το συλλέκτη είναι μικρή (100 ft/min), ώστε να υπάρχει φυσική ροή με τη βαρύτητα, δεδομένου ότι ο συλλέκτης βρίσκεται κάτω από το συμπυκνωτή. Η ταχύτητα στην υγρή γραμμή περιορίζεται μέχρι τα 450 ft/min, ώστε να μην προκαλείται υδραυλικό πλήγμα από το κλείσιμο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας και να μην δημιουργείται θόρυβος κατά τη ροή.

Με αλογονούχα ψυκτικά μέσα, η ταχύτητα στο σωλήνα αναρροφήσεως είναι συνήθως 700 ft/min στα οριζόντια τμήματα και περίπου 1500 ft/min στα κατακόρυφα, ώστε να παρασύρεται το λάδι και να επιστρέφει στο συμπιεστή.

Όταν στη σωλήνωση υπάρχει μόνιμη ροή μόνο μίας φάσεως, δηλαδή είτε μόνο υγρού είτε μόνο ατμού, τότε οι απώλειες τριβών κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου μπορούν να υπολογιστούν από την εξής σχέση:

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta_i \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c^2$$

όπου: Δp , η πτώση πίεσεως σε N/m^2 , λ , ο συντελεστής τριβής που εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds, l , d , το μήκος και η διάμετρος της σωληνώσεως, ζ_i , η αντίσταση μορφής σε κάθε εξάρτημα, ρ , η πυκνότητα του ψυκτικού μέσου σε N/m^3 , c , η μέση ταχύτητα σε m/sec.

Όταν υπάρχει ροή δυο φάσεων, δηλαδή υγρού και ατμού, ο υπολογισμός είναι αβέβαιος. Η σύγκριση με πειράματα είναι επιβεβλημένη.

Λόγω της πολυπλοκότητας των υπολογισμών της πτώσεως πίεσεως του ψυκτικού μέσου με την παραπάνω σχέση, οι κατασκευαστές των ψυκτικών μέσων δίνουν διαγράμματα υπολογισμού της πτώσεως πίεσεως για διαφορετικές ονομαστικές διαστάσεις των σωληνώσεων, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο και την ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως. Τα διαγράμματα πτώσεως πίεσεως και υπολογισμού ταχύτητας για όλα τα ψυκτικά μέσα δίνονται από τους κατασκευαστές των ψυκτικών μέσων.

Π.5.Β Αντλία ψυκτικού μέσου.

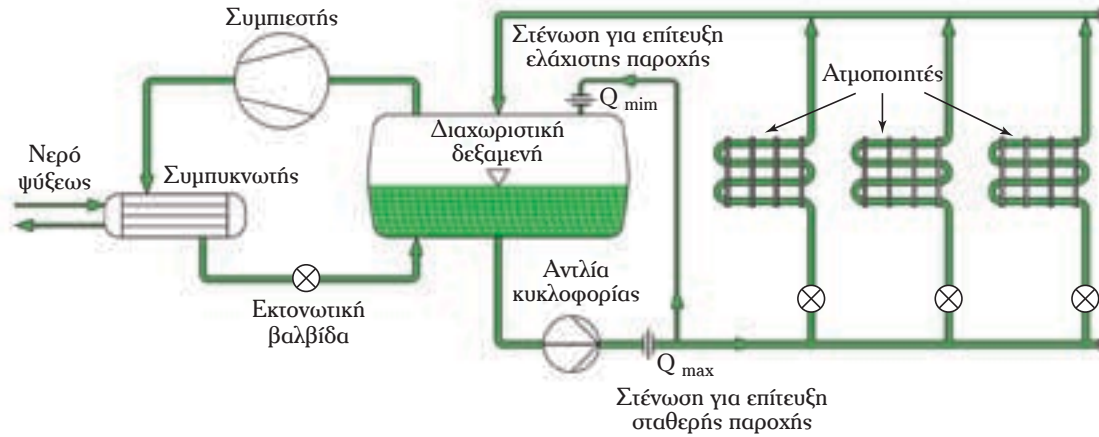
Στις μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου δεν μπορεί να γίνει μόνο με τη διαφορά πίεσεως που δίνει στο κύκλωμα ο συμπιεστής. Στις περιπτώσεις που η εγκατάσταση έχει μεγάλη έκταση και υπάρχουν πολλοί ατμοποιήτες, για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου χρησιμοποιείται μία αντλία.

Η αντλία κυκλοφορίας αντλεί υγρό ψυκτικό μέσο από ένα δοχείο, στο οποίο συγκεντρώνεται το υγρό και διαχωρίζεται ο ατμός του μέσου. Στο δοχείο συγκεντρώσεως το υγρό ψυκτικό μέσο συμπληρώνεται από το συλλέκτη υγρού με μία εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα, έτσι ώστε να έχει υγρό ψυκτικό μέσο χαμηλής πίεσεως με σταθερή στάθμη. Η αντλία κυκλοφορίας ωθεί το υγρό ψυκτικό μέσο προς τους ατμοποιήτες, η έξοδος των οποίων οδηγείται στο δοχείο συγκεντρώσεως. Μ' αυτόν τον τρόπο γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας των ατμοποιητών διότι πληρώνονται με περισσότερο υγρό ψυκτικό μέσο. Το υγρό ψυκτικό μέσο που δεν έχει ατμοποιηθεί, οδηγείται στο δοχείο συγκεντρώσεως και ανακυκλοφορεί με την αντλία, με την οποία οδηγείται εκ νέου στους ατμοποιήτες. Η αναρρόφηση του συμπιεστή γίνεται από την πάνω πλευρά του δοχείου συγκεντρώσεως. Μία τέτοια εγκατάσταση με πολλαπλούς ατμοποιήτες που τροφοδοτούνται από μια αντλία ψυκτικού μέσου μέσω ενός δοχείου συγκεντρώσεως υγρού, φαίνεται στο σχήμα Π.5.Βα. Η στένωση Q_{\max} τοποθετείται ώστε να περιορίζεται η παροχή της αντλίας, ώστε να μην δημιουργείται μεγάλη πτώση πίεσεως στην αναρρόφηση. Επίσης, με τον περιορισμό της παροχής από τη στένωση Q_{\max} αυξάνεται η πίεση του υγρού στην αντλία και αποφεύγεται η σπληαίωση. Η στένωση Q_{\min} τοποθετείται, προκειμένου να εξασφαλίζεται μια ελάχιστη παροχή υγρού ψυκτικού μέσου στην περίπτωση που αυτό χρησιμοποιείται για ψύξη της αντλίας, όπως θα δούμε παρακάτω.

Η αντλία κυκλοφορίας τοποθετείται στην κάτω πλευρά του δοχείου συγκεντρώσεως, ώστε να υπάρχει πάντα θετική πίεση του υγρού ψυκτικού μέσου. Η υψομετρική διαφορά είναι τέτοια, ώστε να μην υπάρχει ατμοποίηση απ' την πτώση πίεσεως στην είσοδο της αντλίας, ενώ σημαντικό είναι να υπάρχει η κατάλληλη διάμετρος στο σωλήνα αναρροφήσεως, ώστε να περιορίζεται η πτώση πίεσεως λόγω των τριβών. Στην ελάχιστη στάθμη ασφαλείας του δοχείου συγκεντρώσεως υπάρχει ένας διακόπτης με πλω-

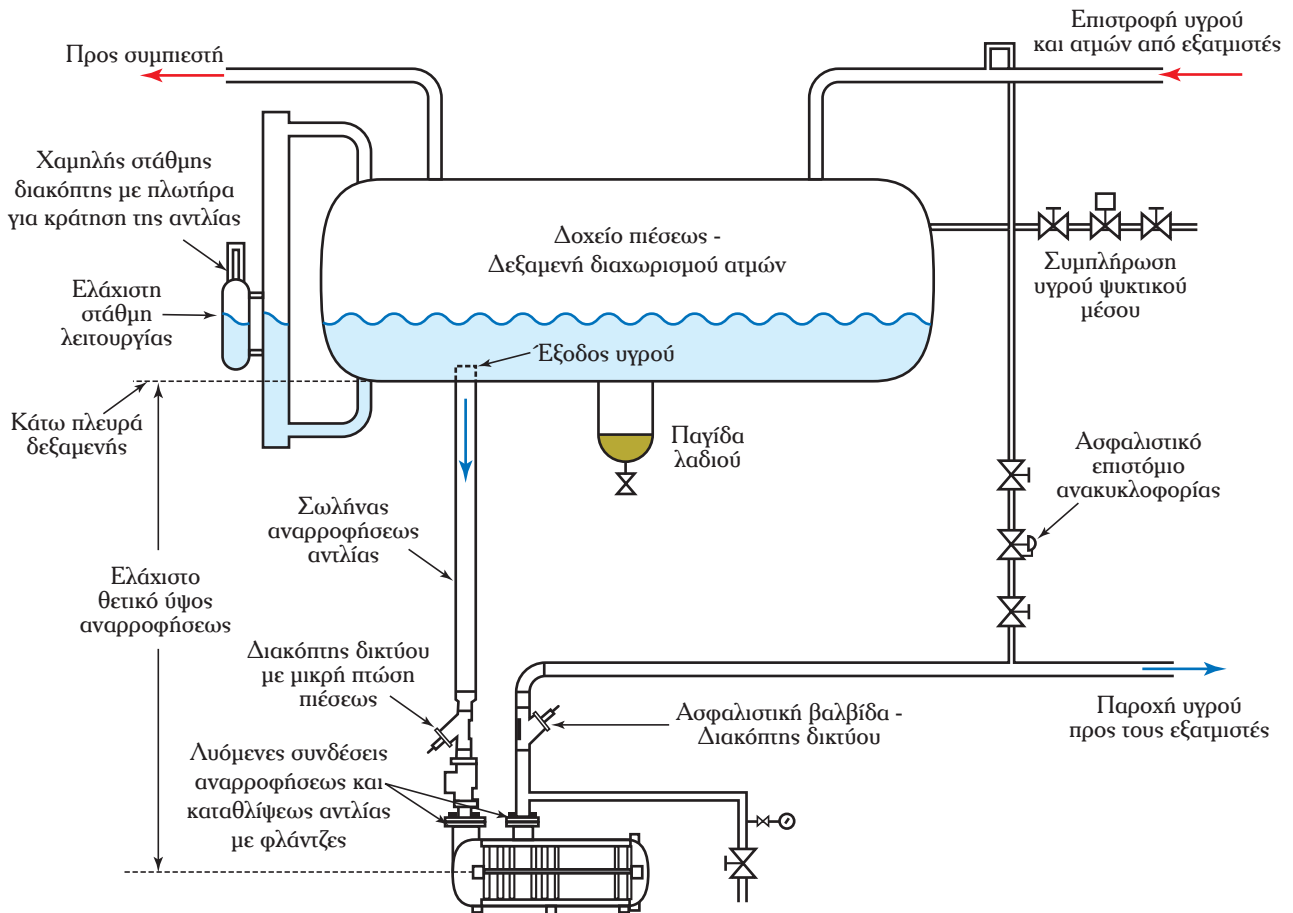
τήρα, ο οποίος σταματά την αντλία όταν δεν υπάρχει αρκετό ψυκτικό μέσο. Η διάταξη των σωληνώσεων εγκαταστάσεως της αντλίας κυκλοφορίας παρουσιάζεται στο σχήμα Π.5.Ββ.

Οι αντλίες κυκλοφορίας είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να έχουν μικρή τιμή της ελάχιστης πίεσεως στην αναρρόφηση (NPSH), προκειμένου να μην απαιτείται μεγάλη υψομετρική διαφορά από το δο-



Σχ. Π.5.Βα.

Ψυκτική εγκατάσταση με αντλία κυκλοφορίας.



Σχ. Π.5.Ββ.

Διάταξη σωληνώσεων αντλίας κυκλοφορίας ψυκτικού μέσου.

χείο συγκεντρώσεως. Αυτό εξασφαλίζει ότι το ψυκτικό μέσο δεν θα ατμοποιηθεί στην αντλία, οπότε αυτή δεν θα παγώσει. Οι αντλίες κυκλοφορίας μπορεί να είναι **μονοβάθμιες** ή **πολυβάθμιες** και κατασκευάζονται σε δύο διατάξεις ανοικτές και ερμητικές. Στις ανοικτές αντλίες κυκλοφορίας [σχ. Π.5.Βγ(α)] ο κινητήρας είναι τοποθετημένος εξωτερικά και συνδέεται απευθείας με την αντλία. Υπάρχει διάταξη στεγανοποίησης του άξονα, η οποία αντικαθίσταται, ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές απώλειες ψυκτικού μέσου.

Οι ερμητικές αντλίες κυκλοφορίας σχήμα Π.5.Βγ(β) περιλαμβάνουν τον κινητήρα και την αντλία σ' ένα σώμα, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη για διάταξη στεγανοποίησης. Το ψυκτικό μέσο εισέρχε-

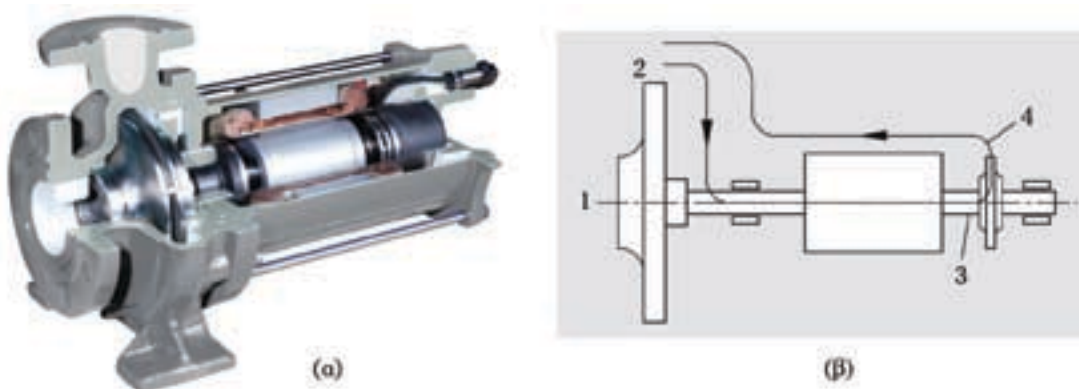
ται στο χώρο των περιελίξεων και χρησιμοποιείται για την ψύξη τους. Επίσης, το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται για την ψύξη των εδράνων.

Στην ερμητική αντλία που εικονίζεται στο σχήμα Π.5.Βδ υπάρχει το κύριο στροφέιο (1) και ένα δευτερεύον στροφέιο (3) στο χώρο των περιελίξεων. Από την κύρια ροή στην αναρρόφηση (2), ένα τμήμα κατευθύνεται μέσα από τον κούφιο άξονα προς τις περιελίξεις, όπου αναρροφάται από το εφεδρικό στροφέιο. Το υγρό που εξέρχεται από το εφεδρικό στροφέιο ψύχει τις ηλεκτρικές περιελίξεις και το δεξί έδρανο, ενώ στη συνέχεια οδηγείται στην κατάθλιψη της αντλίας (4). Μια ελάχιστη παροχή υγρού εξασφαλίζεται από μία στένωση που τοποθετείται σε ένα σωλήνα ανακυκλοφορίας (σχ. Π.5.Βα).



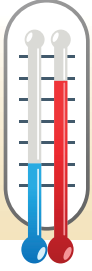
Σχ. Π.5.Βγ.

Ανοικτή αντλία κυκλοφορίας: (α) Σε οριζόντια και (β) σε κατακόρυφη διάταξη.



Σχ. Π.5.Βδ.

(α) Ερμητική αντλία κυκλοφορίας, (β) ροή μέσα από τις περιελίξεις με το δευτερεύον στροφέιο.

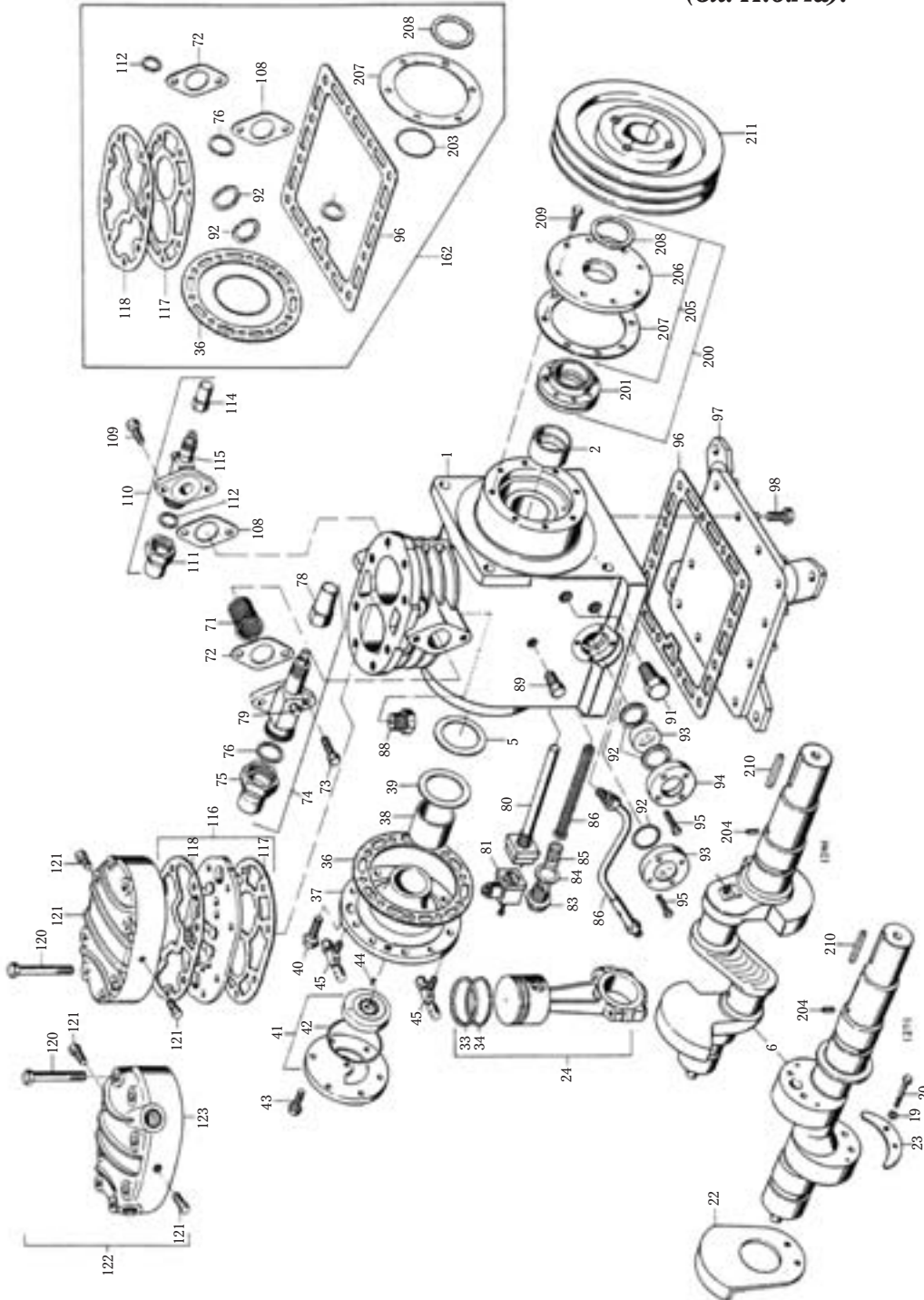


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

Ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων

Π.6.Α Ψυκτική εγκατάσταση συντηρήσεως τροφίμων.

Π.6.Α.1 Συμπίεστές μονάδας συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου (σχ. Π.6.Αα).

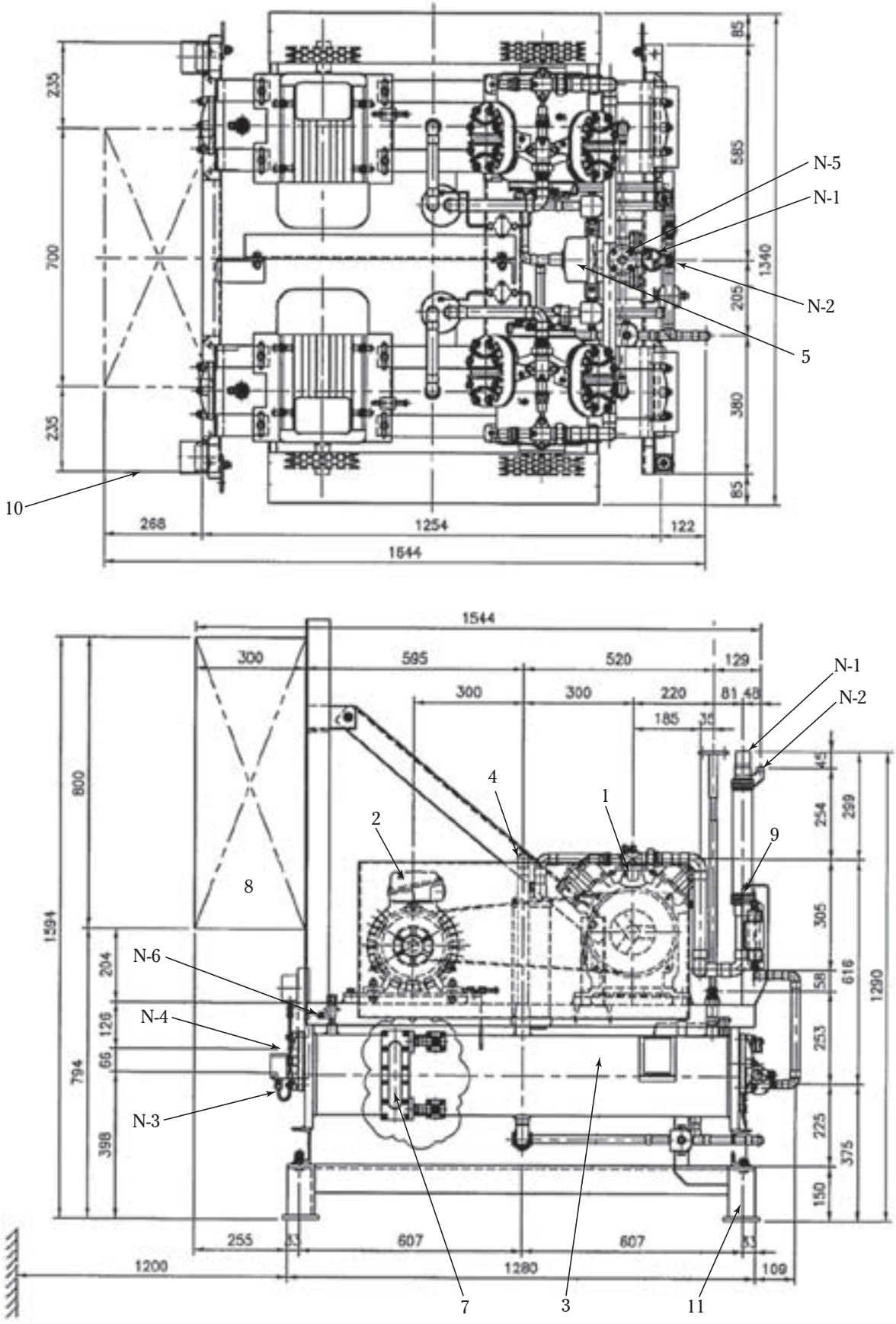


Σχ. Π.6.Αα.

Ανάπτυγμα δικύλινδρου συμπιεστή

24) Διωστήρας με έμβολο, 2) Δακτύλιος εδράσεως στροφαλοφόρου άξονα, 37/38) Έδρανο, 5) Δακτύλιος ώσεως, 36) Φλάντζα, 41) Αντλία λαδιού, 71) Φίλτρο αναρροφήσεως, 72) Φλάντζα, 116) Βαλβιδοφόρος πλάκα, 117) Κάτω φλάντζα βαλβιδοφόρου πλάκας, 118) Πάνω φλάντζα βαλβιδοφόρου πλάκας, 119) Κεφαλή κύλινδρου αεροψύκτη, 80/81) Θερμαντικό στοιχείο, 200) Μηχανική στεγανοποίηση άξονα, 72/108) Φλάντζα βαλβίδων αναρροφήσεως-καταθλίψεως, 112) Φλάντζα βαλβίδας καταθλίψεως, 110) Περιοριστής βαλβίδας καταθλίψεως, 74) Περιοριστής βαλβίδας αναρροφήσεως, 162) Σει φλαντζών, 211) Τροχαλία, 96) Φλάντζα βάσεως, 24) Διωστήρας με έμβολο

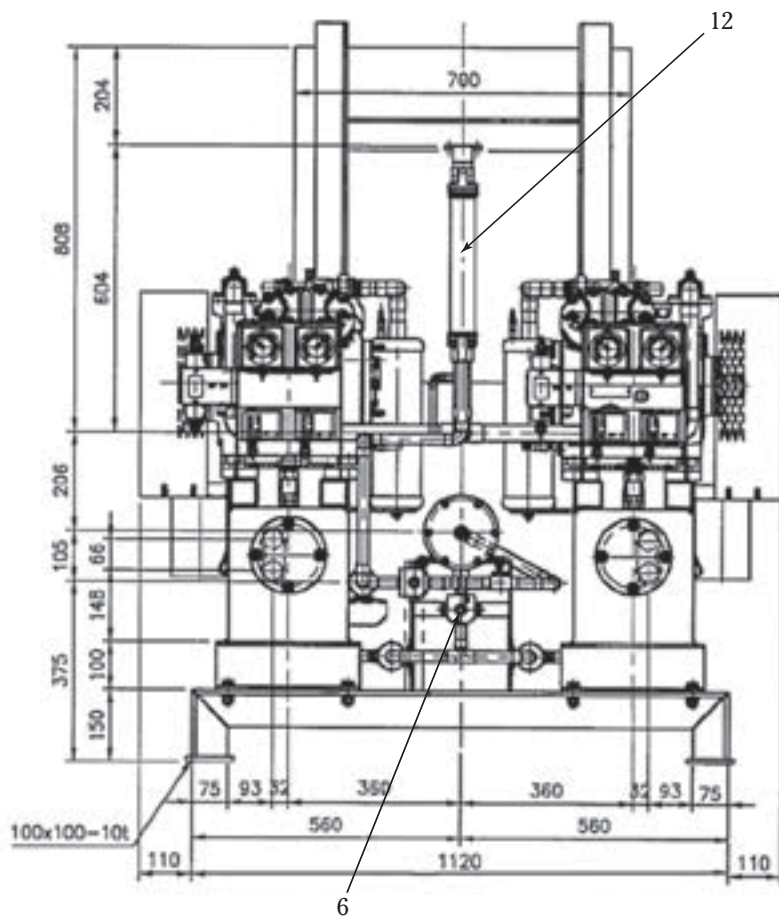
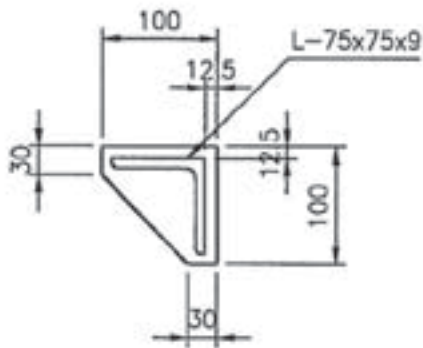
Π.6.Α.2 Μονάδα συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου (σχ. Π.6.Αβ).



Σχ. Π.6.Αβ.

Μονάδα συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου.

- 1) Συμπιεστής.
 - 2) Ηλεκτροκινητήρας.
 - 3) Συμπυκνωτής.
 - 5) Διαχωριστήρας λαδιού.
 - 6) Αφυγραντήρας.
 - 7) Σφαιρικός διακόπτης.
 - 8) Ενδεικτική ύαλος σιάθμης λαδιού.
 - 9) Ηλεκτρολογικός πίνακας.
 - 10) Μανόμετρα.
 - 11) Μανόμετρα νερού.
 - 12) Βάση σπρίγματος.
- N-1) Αναρρόφηση ατμού
N-2) Έξοδος υγρού
N-3) Είσοδος νερού ψύξεως
N-4) Έξοδος νερού ψύξεως
N-5) Ασφαλιστικό
N-6) Βαλβίδα απαερίωσης

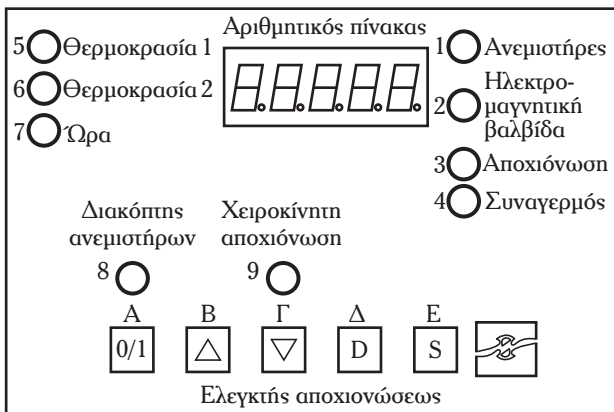


Π.6.A.3 Ελεγκτής αποχιονώσεως μονάδα συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου.

Ο ελεγκτής είναι ρυθμισμένος, ώστε να διακόπτει τον κύκλο αποχιονώσεως όταν αυτός υπερβαίνει χρονικά μια προκαθορισμένη τιμή, ώστε να μην μεταβληθεί αισθητά η θερμοκρασία των τροφίμων στο θάλαμο. Η διακοπή του κύκλου αποχιονώσεως όταν ο χρόνος υπερβεί τον προκαθορισμένο, γίνεται ακόμα και εάν δεν έχουν ολοκληρωθεί όλα τα παραπάνω βήματα και η εγκατάσταση τίθεται πάλι σε κανονική λειτουργία. Ο νέος κύκλος αποχιονώσεως θα αρχίσει μετά την παρέλευση του απαιτούμενου χρόνου. Το λογικό διάγραμμα του ελεγκτή αποχιονώσεως φαίνεται στο σχήμα Π.6.Αγ. Εάν υπάρχει μεγάλη παραγωγή υδρατμών από τα προϊόντα μπο-

No	Περιγραφή	Χρώμα
1	Λυχνία ενδείξεως λειτουργίας ανεμιστήρων	Πράσινο
2	Λυχνία ενδείξεως ανοίγματος ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας	Πράσινο
3	Λυχνία ενδείξεως λειτουργίας αντιστάσεων αποχιονώσεως	Πράσινο
4	Λυχνία συναγερμού	Κόκκινο
5	Λυχνία ενδείξεως θερμοκρασίας χώρου	Κίτρινο
6	Λυχνία ενδείξεως θερμοκρασίας ψυκτών αέρος	Κίτρινο
7	Λυχνία ενδείξεως ωρών λειτουργίας ανεμιστήρων	Κίτρινο
8	Λυχνία ενδείξεως χειροκίνητης λειτουργίας ανεμιστήρων	Πράσινο
9	Λυχνία ενδείξεως χειροκίνητης αποχιονώσεως	Πράσινο

Σύμβολο	Περιγραφή
A	Κομβίο εκκίνησης/Κρατήσεως ανεμιστήρων
B	Κομβίο ανυψώσεως ενδείξεως
C	Κομβίο χειροκίνητης αποχιονώσεως
C	Κομβίο επιλογής ενδείξεως στον πίνακα
E	Κομβίο επιλογής παραμέτρων λειτουργίας



(α)

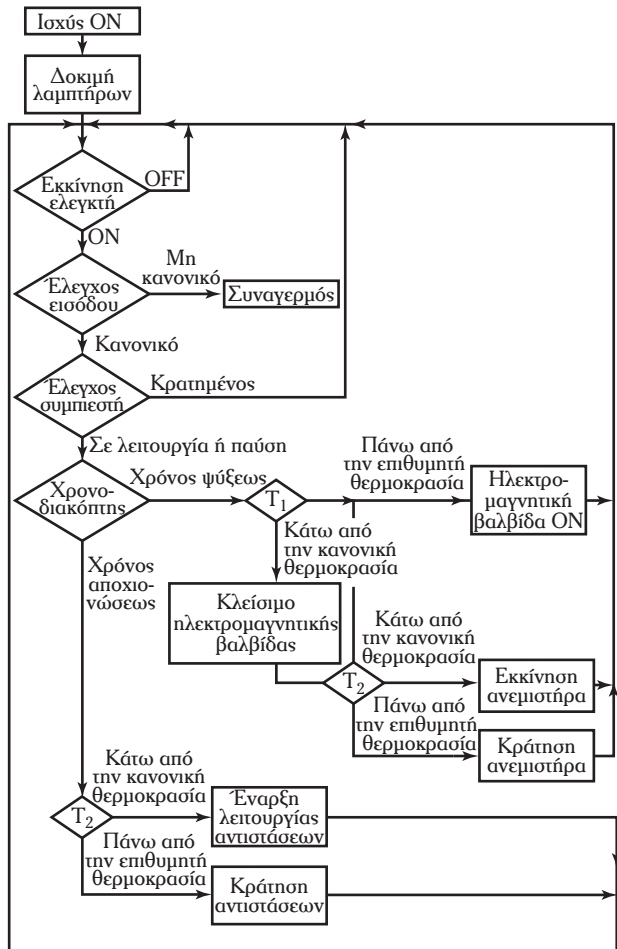
ρεί η αυτόματη αποχιονώση να μην επαρκεί.

Π.6.B Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

Π.6.B.1 Επανυγροποίηση ατμών σε πλοία.

Στα νέα πλοία εξετάζεται η δυνατότητα επανυγροποίησης των ατμών του φυσικού αερίου, το οποίο ατμοποιείται κατά το ταξίδι. Μ' αυτόν τον τρόπο το πλοίο δεν κινείται με λέβητα αερίου, αλλά με μηχανές ντίζελ ή με μηχανές διπλού καυσίμου.

Τα πλεονεκτήματα της επανυγροποίησης είναι ότι οι παλινδρομικές μηχανές ντίζελ έχουν πολύ μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως. Ο βαθμός αποδόσεώς τους είναι περίπου 50% και κατά συνέπεια μια τέτοια μηχανή καταναλώνει 40% λιγότερο καύσιμο από μία ατμομηχανική εγκατάσταση, η οποία έχει βαθμό αποδόσεως περίπου 30%. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της επανυγροποίησης είναι ότι δεν απαιτείται το



(β)

Σχ. Π.6.Αγ.

(α) Προγραμματιζόμενος ελεγκτής αποχιονώσεως, (β) λογικό διάγραμμα ελεγκτή.

πλοίο να έχει συνεχώς μια ελάχιστη ποσότητα LNG στις δεξαμενές του, η οποία προορίζεται για την κίνησή του σε άφορη κατάσταση. Κατά συνέπεια, αυξάνεται ο ωφέλιμος όγκος των δεξαμενών, στις οποίες μπορεί να μπει φορτίο και ανάλογα αυξάνεται η μεταφορική ικανότητα του πλοίου.

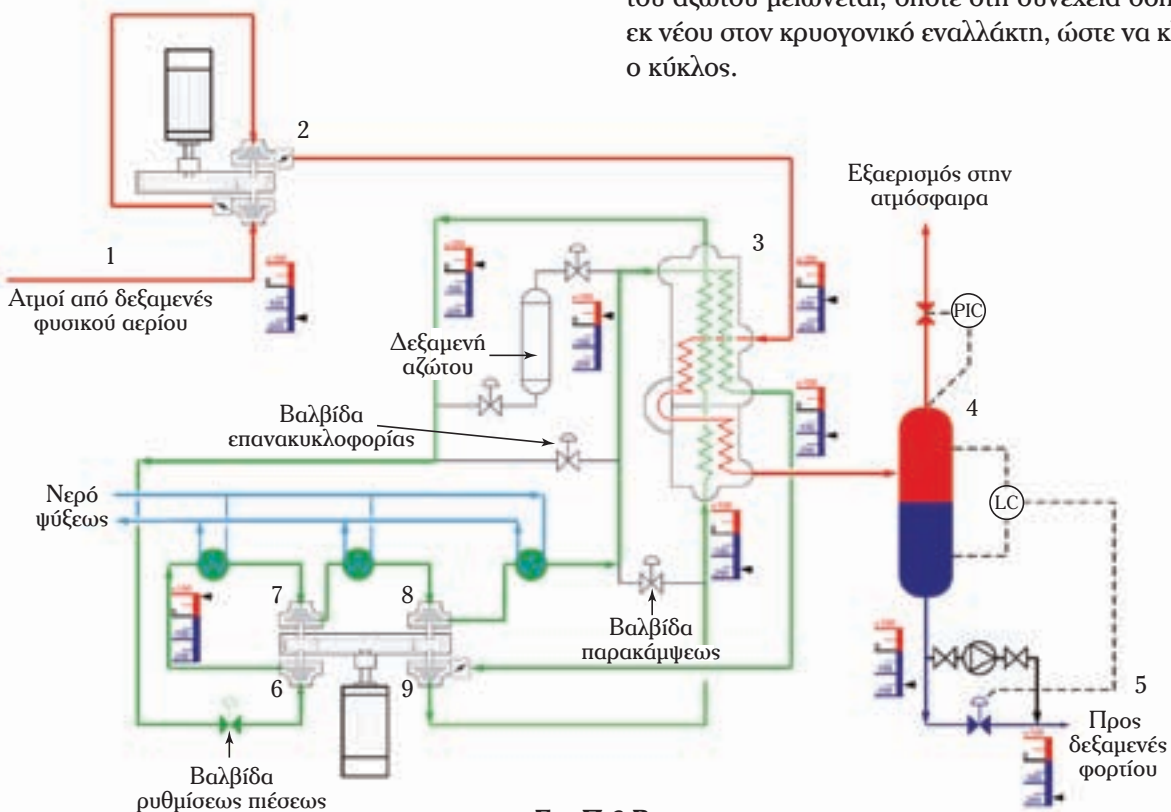
Για την κίνηση των πλοίων LNG με επανυγροποίηση έχουν αναπτυχθεί μηχανές διπλού καυσίμου, στις οποίες διοχετεύονται οι ατμοί του φορτίου, σε περίπτωση που έχουν μεγάλη παροχή και δεν προλαβαίνει η εγκατάσταση επανυγροποίησης να τους μετατρέψει σε υγρό. Μία εταιρεία κατασκευής ναυτικών μηχανών έχει αναπτύξει μία τέτοια κύρια **μηχανή με βάκτρο** (long stroke), ενώ κάποια άλλη προτείνει μικρότερες ηλεκτρομηχανές διπλού καυσίμου, οι οποίες συνδυάζονται με σύστημα ηλεκτροπρώσεως.

Η υγροποίηση των ατμών του φυσικού αερίου γίνεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$), η οποία είναι δύσκολο να επιτευχθεί από μία εγκατάσταση περιορισμένου μεγέθους και βάρους. Οι κρυογονικές εγκαταστάσεις επανυγροποίησης των πλοίων LNG βασίζονται στον κύκλο Brayton με εργαζόμενο μέσο αέριο άζωτο, το οποίο ψύχει και επανυγροποιεί το φυσικό αέριο. Οι συμπιεστές του

αζώτου είναι φυγοκεντρικοί και τοποθετούνται στο κατάστρωμα. Μια τέτοια εγκατάσταση επανυγροποίησης φαίνεται στο σχήμα Π.6.Β.

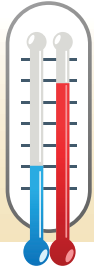
Οι ατμοί του φυσικού αερίου από τις δεξαμενές φορτίου οδηγούνται σε πίεση 1,06–1,15 bar στην εγκατάσταση επανυγροποίησης (1). Εκεί συμπιέζονται από το φυγοκεντρικό συμπιεστή (2) σε πίεση 4,5 bar και οδηγούνται σ' έναν κρυογονικό εναλλάκτη, όπου υγροποιούνται από ψυκτικό κύκλο αερίου άζωτου (3). Τα αέρια που δεν υγροποιούνται, τα οποία αποτελούνται κυρίως από άζωτο, που υπάρχει στο φυσικό αέριο διαχωρίζονται και οδηγούνται στην ατμόσφαιρα (4). Στη συνέχεια, το υγροποιημένο LNG οδηγείται πίσω στις δεξαμενές φορτίου.

Το άζωτο του κρυογονικού κύκλου αναρροφάται από τον κρυογονικό εναλλάκτη και συμπιέζεται από τα 13 bar στα 57 bar με τρεις φυγοκεντρικούς συμπιεστές (6), (7) και (8), ενώ ενδιάμεσα ψύχεται από νερό. Το συμπιεσμένο θερμό αέριο άζωτο στέλνεται στη θερμή πλευρά του κρυογονικού εναλλάκτη και στη συνέχεια αφού έχει ψυχθεί οδηγείται στο **φυγοκεντρικό εκτονωτή** (9) (turboexpander). Εκεί, εκτονώνεται και δίνει έργο που χρησιμοποιείται για την κίνηση των συμπιεστών, ενώ ταυτόχρονα ψύχεται. Λόγω της πτώσεως της πίεσης, η θερμοκρασία του αζώτου μειώνεται, οπότε στη συνέχεια οδηγείται εκ νέου στον κρυογονικό εναλλάκτη, ώστε να κλείσει ο κύκλος.



Σχ. Π.6.Β.

Διάγραμμα εγκαταστάσεως επανυγροποίησης ατμών LNG εν πλω.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7

Μονάδες μετρήσεως μεγεθών

Π.7.Α Γενικά.

Για τη μέτρηση των διαφόρων φυσικών και θερμοδυναμικών μεγεθών, μέχρι σήμερα ανά τον κόσμο έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικά συστήματα μονάδων, από τα οποία τα κυριότερα είναι το **Μετρικό** και το **Αγγλοσαξονικό** σύστημα.

Για την εξάλειψη των δυσκολιών που προκαλούνται από τη χρήση διαφορετικών συστημάτων μετρήσεως στις τεχνολογικές εφαρμογές και στο εμπόριο, έχει προταθεί ένα κοινό σύστημα μονάδων για παγκόσμια χρήση. Αυτό είναι το **Διεθνές σύστημα μονάδων** (International System of units–SI) το οποίο, έχει εξελιχθεί από το μετρικό σύστημα και σχεδόν ταυτίζεται με αυτό.

Σήμερα το διεθνές σύστημα χρησιμοποιείται παντού, εκτός από τις ΗΠΑ, τη Βιρμανία και την Λιβερία. Οι αγγλοσαξονικές χώρες έχουν καθιερώσει επίσημα το διεθνές σύστημα μονάδων, αλλά δεν έχουν εκτοπίσει πλήρως τις μονάδες του παλιού Αγγλοσαξονικού συστήματος, οπότε σε αυτές τις χώρες χρησιμοποιούνται και τα δύο συστήματα μετρήσεως.

Δεδομένου ότι η τεχνολογία ψύξεως και κλιματισμού αναπτύχθηκε πρώτα στις ΗΠΑ, ο τεχνικός που ασχολείται μ' αυτήν συναντάει συχνά και τα δύο διαφορετικά συστήματα μετρήσεως, οπότε προκύπτει η ανάγκη να είναι εξίσου εξοικειωμένος με αυτά.

Τα φυσικά μεγέθη εκφράζονται σε αριθμούς, ενώ όταν, λόγω των χρησιμοποιούμενων μονάδων, οι αριθμοί είναι πολύ μεγάλοι χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια των μονάδων. Αντίθετα, στην περίπτωση που οι αριθμοί είναι πολύ μικροί χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια των μονάδων μετρήσεως. Τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια δηλώνονται με ένα γράμμα που μπαίνει σαν πρόθεμα πριν από τη μονάδα μετρήσεως και δίνονται στον πίνακα Π.7.Α.

Στον παρόν Παράρτημα γίνεται αναφορά στους ορισμούς και στις μονάδες μετρήσεως που χρησιμοποιούνται στην τεχνική της ψύξεως.

Π.7.Β Διεθνές και αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων – Βασικές μονάδες μετρήσεως

Στο διεθνές και το αγγλοσαξονικό σύστημα οι μονάδες μετρήσεως των διαφόρων μεγεθών προκύπτουν από τις μονάδες μετρήσεως των τριών βασικών μεγεθών τα οποία είναι το μήκος, η μάζα και ο χρόνος. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται **βασικές μονάδες μετρήσεως** και δίνονται στον πίνακα Π.7.Β.1.

Συμπληρωματικές βασικές μονάδες μετρήσεως στο διεθνές σύστημα είναι αυτές της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος (Ampere, A), της θερμοκρασίας (Kelvin, K), της φωτεινότητας (Candela, Ca) και της ποσότητας μιας ουσίας (mole).

Η βασική μονάδα μετρήσεως του χρόνου, και στα δύο συστήματα μονάδων είναι το δευτερόλεπτο (second, sec). Επίσης ως μονάδες μετρήσεως του χρόνου χρησιμοποιούνται το λεπτό (minute, 1 min = 60 sec) και η ώρα (hour, 1 hr = 3600 sec).

Πίνακας Π.7.Α.

Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων.

Πολλαπλάσια			
πρόθεμα	όνομα	τιμή	
da	deka	x 10	= 10 ¹
h	hecto	x 100	= 10 ²
k	kilo	x 1.000	= 10 ³
M	mega	x 1.000.000	= 10 ⁶
G	giga	x 1.000.000.000	= 10 ⁹
T	tera	x 1.000.000.000.000	= 10 ¹²

Υποπολλαπλάσια			
πρόθεμα	όνομα	τιμή	
d	Deci	x 0,1	= 10 ⁻¹
c	Centi	x 0,01	= 10 ⁻²
m	milli	x 0,001	= 10 ⁻³
μ	mikro	x 0,000 001	= 10 ⁻⁶
n	nano	x 0,000 000 001	= 10 ⁻⁹
p	pico	x 0,000 000 000 001	= 10 ⁻¹²

Π.7.B.1 Μήκος.

Το μέτρο (meter, m), το οποίο είναι η μονάδα μετρήσεως του μήκος στο διεθνές σύστημα, μέχρι το 1960 οριζόταν το ένα δεκάκις εκατομμυριοστό (1 / 10.000.000) της αποστάσεως από τον ισημερινό μέχρι τον Βόρειο Πόλο κατά μήκος του μεσημβρινού του Παρισιού. Από το 1960, για μεγαλύτερη ακρίβεια ορίστηκε ως το μήκος που ισοδυναμεί με 1650763,73 κυματομορφές της ερυθράς ακτινοβολίας ενός ατόμου του αερίου Krypton-86 σε κενό.

Οι πιο συνηθισμένες υποδιαιρέσεις του μέτρου που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- α) το 1 χιλιοστό (mm), 1 m = 1000 mm
- β) το 1 εκατοστό (cm), 1 m = 100 cm
- γ) το 1 χιλιόμετρο (km), 1 km = 1000 m

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδα μετρήσεως είναι το πόδι (ft), το οποίο έχει εμπειρική προέλευση και σήμερα έχει ορισθεί με βάση το μέτρο:

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

Οι πιο συνηθισμένες υποδιαιρέσεις που προκύπτουν από το πόδι και χρησιμοποιούνται ως μονάδες μετρήσεως μήκους είναι τα εξής:

- α) η 1 ίντσα (inch, in), 1 in = 1/12 ft = 25,4 mm,

β) η 1 γυάρδα (yard), 1 yard = 3 ft = 0,9144 m,
 γ) η 1 οργιά (fathom), 1 fathom = 6,08 ft = 1,8532 m

δ) το 1 μίλι (mile), 1 mile = 5280 ft = 1609,3 m
 ε) το 1 ναυτικό μίλι (nautical mile, sm), 1 sm = 6080 ft = 1853 m

Επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως οι υποδιαιρέσεις:

$$1/2 \text{ in}, 1/4 \text{ in}, 1/8 \text{ in}, 1/16 \text{ in}, 1/32 \text{ in}, 1/64 \text{ in}$$

Οι αντιστοιχίες των πιο συνηθισμένων μονάδων μετρήσεως μήκους φαίνονται στον πίνακα Π.7.B.2.

Π.7.B.2. Μάζα.

Η μάζα είναι η ποσότητα ποσό της ύλης, η οποία περιέχεται σ' ένα σώμα. Επί πλέον, όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός σώματος τόσο περισσότερο έλκεται από τη βαρύτητα της γης με μια δύναμη που ονομάζεται βάρος. Για να διαπιστωθεί πόση μάζα έχει ένα σώμα στην πραγματικότητα μετρείται η δύναμη του βάρους του σώματος, δεν θα πρέπει όμως αυτές οι δύο έννοιες να ταυτίζονται. Το χιλιόγραμμα (Kilogram, kg), το οποίο είναι η μονάδα μετρήσεως της μάζας στο διεθνές σύστημα, αντιστοιχεί στην

Πίνακας Π.7.B.1

Βασικές μονάδες μετρήσεως στο Διεθνές και στο Αγγλοσαξονικό σύστημα.

	Διεθνές σύστημα	Αγγλοσαξονικό σύστημα
Μήκος	1 μέτρο (m)	1 πόδι (foot) (ft)
Μάζα	1 χιλιόγραμμα (kg)	1 πάουντ (pound) (lb)
Χρόνος	1 δευτερόλεπτο (sec)	1 δευτερόλεπτο (sec)

Πίνακας Π.7.B.2

Αντιστοιχίες μονάδων μήκους.

Μονάδες μήκους	1 mm	1 cm	1 m	1 inch	1 ft	1 yard	1 fathom
1 mm	1	0,01	0,001	0,0394	0,0033	0,0011	0,0005
1 cm	100	1	0,01	0,3937	0,0328	0,0109	0,0054
1 m	1000	100	1	39,3701	3,2808	1,0936	0,5396
1 inch	25,4	2,54	0,0254	1	0,0833	0,0278	0,0137
1 ft	304,8	30,48	0,3048	12	1	0,3333	0,1645
1 yard	914,4	91,44	0,9144	36	3	1	0,4934
1 fathom	1853,18	185,318	1,85318	72,96	6,08	2,0266	1

μάζα που περιέχεται σ' ένα δοχείο με όγκο ενός λίτρου, το οποίο περιέχει νερό θερμοκρασίας 4 °C. Οι υποδιαιρέσεις του χιλιογράμμου που χρησιμοποιούνται συνήθως, είναι οι εξής:

- α) το 1 γραμμάριο (gram g), 1000 g = 1 kg,
- β) το 1 milligram (mg), 1000 mg = 1 gr,
- γ) ο 1 μετρικός τόνος (metric tone, ton), 1000 kg = 1 tone.

Η αγγλοσαξονική μονάδα μετρήσεως βάρους είναι το πάουντ (pound), το οποίο προφέρεται και γράφεται σαν λίβρα (lb). Δεδομένου ότι έχει εμπειρική προέλευση, ορίζεται με βάση το χιλιόγραμμα ως εξής:

$$1 \text{ lb} = 0,4536 \text{ kg}$$

Οι υποδιαιρέσεις της lb που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι:

- α) ο 1 κόκκος (grain), 1 grain = 1 / 7000 lb = 0,0648 gr
- β) το 1 drachm, 1 drachm = 1 / 256 lb = 1,7718 gr,
- γ) η 1 ουγκιά (ounce, oz) 1 oz = 1/16 lb = 28,3495 gr,
- δ) το 1 stone, 1 stone = 14 lb = 6350,2932 kg,
- ε) ο 1 βρετανικός τόνος, (Long tone), 1 long tone = 2240 lb = 1016,0469 kg
- στ) ο 1 αμερικανικός τόνος, (Short tone), 1 short tone = 2000 lb = 907,1847 kg.

Οι αντιστοιχίες των κυριότερων μονάδων μετρήσεως μάζας του διεθνούς και του αγγλοσαξονικού συστήματος δίνονται στον πίνακα Π.7.Β.3.

Π.7.Γ Μονάδες μετρήσεως παραγώγων μεγεθών στο διεθνές και στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων.

Οι μονάδες μετρήσεως των υπόλοιπων μεγεθών προκύπτουν σύμφωνα με τους ορισμούς τους και τις βασικές μονάδες του μετρικού και του αγγλοσαξονικού συστήματος μονάδων. Στην παρούσα παράγραφο δίνονται ο ορισμός των μεγεθών που χρη-

σιμοποιούνται στην ψύξη και στη συνέχεια δίνονται οι μονάδες μετρήσεως στα δύο συστήματα και οι αντιστοιχίες τους.

Π.7.Γ.1 Παροχή όγκου και παροχή μάζας.

Η **παροχή όγκου** εκφράζει την ποσότητα του όγκου ενός ρευστού που διέρχεται από μία διατομή ελέγχου στη μονάδα του χρόνου και ορίζεται ως εξής:

$$\dot{v} = \frac{V}{t} = A \cdot \bar{u},$$

όπου: \dot{v} η παροχή όγκου, t ο χρόνος, A η επιφάνεια της διατομής και \bar{u} η μέση ταχύτητα του ρευστού.

Η **παροχή μάζας** ισούται με την ποσότητα της μάζας που διέρχεται από τη διατομή ελέγχου στη μονάδα του χρόνου και ισούται με την παροχή όγκου επί την πυκνότητα:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \dot{v} \cdot \rho = \frac{\dot{v}}{v},$$

όπου: \dot{m} η παροχή μάζας, m η μάζα, t ο χρόνος, ρ η πυκνότητα, \dot{v} η παροχή όγκου, και v ο ειδικός όγκος.

Οι μονάδες παροχής όγκου και μάζας στα δύο συστήματα μετρήσεως, οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο στη θερμοδυναμική, είναι οι εξής:

1) Παροχή όγκου:

- α) Διεθνές σύστημα.
 - 1 κυβικό μέτρο ανά δευτερόλεπτο (m³/sec),
 - 1 κυβικό μέτρο ανά ώρα (m³/hr),
 - 1 λίτρο ανά δευτερόλεπτο (lt/sec),
 - 1 λίτρο ανά λεπτό (lt/min).

β) Αγγλοσαξονικό σύστημα.

- 1 κυβικό πόδι ανά δευτερόλεπτο (ft³/sec),
- 1 αμερ. γαλόνι ανά δευτερόλεπτο (us. gal./sec),
- 1 αγγ. γαλόνι ανά δευτερόλεπτο (imp. gal./sec),

2) Παροχή μάζας:

- α) Διεθνές σύστημα.
 - 1 χιλιόγραμμα ανά δευτερόλεπτο (kg/sec),

Πίνακας Π.7.Β.3
Αντιστοιχίες μονάδων μάζας.

Μονάδες μάζας	1 gr	1 kg	1 lb	1 oz
1 gr	1	0,001	0,0022	0,0353
1 kg	1000	1	2,2046	35,2746
1 lb	453,592	0,453592	1	16
1 oz	28,349	0,028349	0,0625	1

Μονάδες μάζας	1 kg	1 ton	1 long ton	1 short ton
1 kg	1	0,001	0,00098	0,00110
1 ton	1000	1	0,98421	1,10231
1 long ton	1016,046	1,016046	1	1,12000
1 short ton	907,1847	0,907184	0,892857	1

- 1 πάουντ ανά δευτερόλεπτο (lb/sec),
- 1 κιλιόγραμμα ανά λεπτό (kg/min).
- β) Αγγλοσαξονικό σύστημα.
- 1 πάουντ ανά ώρα (lb/hr),
- 1 γραμμάριο ανά δευτερόλεπτο (gr/sec).

Οι αντιστοιχίες των μονάδων μετρήσεως της παροχής όγκου και παροχής μάζας φαίνονται στους πίνακες Π.7.Γ.1 και Π.7.Γ.2 αντίστοιχα.

Π.7.Γ.2 Επιτάχυνση – δύναμη – βάρος.

Για τον ορισμό της δυνάμεως είναι απαραίτητη η έννοια της επιταχύνσεως, η οποία είναι το αποτέλεσμα της εφαρμογής μιας δυνάμεως σ' ένα σώμα.

Η **επιτάχυνση** ορίζεται ως η μεταβολή της ταχύτητας ενός σώματος στην μονάδα του χρόνου:

$$\gamma = \frac{\Delta u}{\Delta t}, \text{ καθώς } \Delta t \rightarrow 0.$$

Η επιτάχυνση στο διεθνές σύστημα μονάδων μετρείται σε m/sec^2 , ενώ στο αγγλοσαξονικό σύστημα σε ft/sec^2 . Σημαντικό μέγεθος επιταχύνσεως, είναι η επιτάχυνση που προκαλεί η δύναμη της βαρύτητας πάνω στα σώματα, στο επίπεδο της θάλασσας,

η οποία ονομάζεται επιτάχυνση της βαρύτητας και συμβολίζεται με g . Η επιτάχυνση της βαρύτητας ποικίλει με το γεωγραφικό πλάτος, οπότε για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται μια μέση τιμή, η οποία αντιστοιχεί στην επιτάχυνση της βαρύτητας σε γεωγραφικό πλάτος $45,5^\circ$ και είναι:

$$g = 9,80665 \frac{m}{s^2} = 32,174 \frac{ft}{s^2}.$$

Η τιμή αυτή στρογγυλοποιείται συνήθως ως:

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}.$$

Η **δύναμη** είναι ένας όρος που περιγράφει την αλληλεπίδραση των φυσικών σωμάτων και είναι η αιτία της επιταχύνσεως ή της αλλαγής της μορφής ενός σώματος. Ορίζεται ως το γινόμενο της μάζας επί την επιτάχυνση:

$$F = m \cdot \gamma,$$

όπου: F είναι η δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα σώμα, m η μάζα του σώματος και γ η επιτάχυνση που προκύπτει σαν αποτέλεσμα.

Πίνακας Π.7.Γ.1

Αντιστοιχίες μονάδων παροχής όγκου.

Μονάδες παροχής όγκου	1 m ³ /sec	1 m ³ /hr	1 lt/sec	1lt/min	1 ft ³ /sec	1 us gal/sec	1 imp gal/sec
1 m ³ /sec	1	3600	1000	60000,0000	35,314725	264,17287	219,96925
1 m ³ /hr	0,00027778	1	0,27778	600	0,00981	0,07338	0,06110
1 lt/sec	0,001	3,6	1	60	0,03531	0,26417	0,21997
1lt/min	0,00001667	0,00166667	0,01666667	1	0,00059	0,00440	0,00367
1 ft ³ /sec	0,0283168	101,940647	28,31685	1699,01	1	7,48052	6,22884
1 us gal/sec	0,0037854	13,62748	3,785412	227,1247	0,1336805	1	0,83267
1 imp gal/sec	0,00454609	16,36592	4,54609	272,7654	0,1605436	1,20096	1

Πίνακας Π.7.Γ.2

Αντιστοιχίες μονάδων παροχής μάζας.

Μονάδες παροχής μάζας	1 kg/sec	1 kg/min	1 gr/sec	1 lb/sec	1 lb/hr
1 kg/sec	1	0,01666667	0,001	0,4536	0,000126
1 kg/min	60	1	0,06	27,2155425	0,00756
1 gr/sec	1000	16,6666667	1	453,592498	7,93664
1 lb/sec	2,204622	0,03674371	0,00220462	1	3600
1 lb/hr	7936,63999	132,2773	0,1259979	0,00027778	1

Οι μονάδες μετρήσεως της δυνάμεως είναι:

α) Διεθνές σύστημα:

– μέτρο ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (m/sec^2).

β) Αγγλοσαξονικό σύστημα:

– πόδι ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (m/sec^2).

Συχνά, για τη μέτρηση της δυνάμεως χρησιμοποιείται η δύναμη της βαρύτητας που ασκείται στη μονάδα της μάζας. Έτσι, παλαιότερα κυρίως αλλά ακόμα και σήμερα σε πολλές περιπτώσεις, ως μονάδα δύναμης χρησιμοποιείται το Κιλοπόντ (Kilopond, kp), το οποίο ισούται με τη δύναμη του βάρους που ασκείται σε μία μάζα ίση μ' ένα χιλιόγραμμα.

$$1kp = 1kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 9,81N = 9,81kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδα μετρήσεως δυνάμεως είναι το πάουνταλ (poundal, pdl), το οποίο ισούται με τη δύναμη της βαρύτητας που ασκείται σε μάζα ίση με μία λίβρα:

$$1pdl = 1lb \cdot 32,174 \frac{lb}{s^2} = 32,174lb \cdot \frac{ft}{s^2} = 0,138255N$$

Επίσης στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων χρησιμοποιείται ως μονάδα δύναμης, η δύναμη βάρους μάζας ίσης με μια ουγκιά, η οποία ονομάζεται ounce-force (ozf).

Με μέτρηση της δυνάμεως της βαρύτητας, γίνεται και η μέτρηση της μάζας, οπότε οι μονάδες μάζας και δυνάμεως πολλές φορές συγχέονται. Μ' αυτόν τον τρόπο, η μονάδα kg με την οποία μετρείται η μάζα, πολλές φορές χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της δυνάμεως, ή της πίεσεως, ενώ στην πραγματικότητα εννοείται το kp ή το kp/cm², οι οποίες προφέρονται ως «κίλά».

Οι αντιστοιχίες των μονάδων μετρήσεως δυνάμεως φαίνονται στον πίνακα Π.7.Γ.3.

Π.7.Γ.3 Πίεση.

Οι μονάδες πίεσεως σύμφωνα με το ορισμό της ως:

$$p = \frac{F}{A} \text{ είναι:}$$

α) Διεθνές σύστημα.

– 1 Pascal = 1 Newton ανά τετραγωνικό μέτρο ($1 Pa = 1 N/m^2$),

– 1 Bar = 100 kPa = $10^5 N/m^2$,

– 1 τεχνική ατμόσφαιρα = $1 kp/cm^2$

– 1 at = $1kp/cm^2$.

β) Αγγλοσαξονικό σύστημα.

– 1 Poundal ανά τετραγωνικό πόδι (Pdl/ft^2),

– 1 psi = 1 Poundal ανά τετραγωνική ίντσα $1 psi = 1 Pdl/in^2$.

Επίσης ως μονάδες πίεσεως χρησιμοποιείται η μέση ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της θάλασσας, Atm:

$$1 \text{ Atm} = 101,325 \text{ Pa.}$$

Μία υποδιαίρεση της ατμοσφαιρικής πίεσεως είναι το Torr, το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$1 \text{ Torr} = 1 / 760 \text{ Atm}$$

Η μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσεως μπορεί να γίνει με τη χρήση μανομέτρων στήλης υγρού. Στο σχήμα Π.7.Γ φαίνεται ένα τέτοιο μανόμετρο, το οποίο αποτελείται από ένα διάφανο σωλήνα ο οποίος είναι γεμάτος με υδράργυρο (Hg) θερμοκρασίας 0 °C, και στην πάνω του πλευρά είναι κενός. Εφόσον η στήλη του υδραργύρου ισορροπεί, η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με την υδροστατική πίεση της υδραργυρικής στήλης.

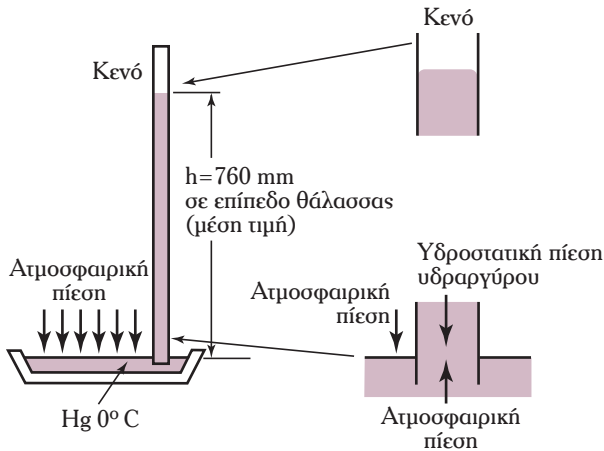
Η υδροστατική πίεση στον πυθμένα της στήλης του υδραργύρου είναι:

$$p = \epsilon \cdot h$$

όπου: ϵ είναι το ειδικό βάρος του υδραργύρου, $\epsilon_{Hg} = 13,5951 \text{ gr/cm}^3$ και h το ύψος της στήλης.

Πίνακας Π.7.Γ.3
Αντιστοιχίες μονάδων δυνάμεως.

Μονάδες δυνάμεως	1 kp	1 N	1 pdl	1 oz f
1 kp	1	9,80665	70,9316345	35,2740
1 N	0,10197162	1	7,23301387	3,59694309
1 pdl	0,01409808	0,13825495	1	16
1 oz f	0,02834952	0,27801385	0,0625	1



Σχ. Π.7.Γ.

Μέτρηση ατμοσφαιρικής πίεσεως με μανόμετρο στήλης υδραργύρου.

Για τη μέση ατμοσφαιρική πίεση $1 \text{ Atm} = 760 \text{ Torr}$, το ύψος της στήλης του υδραργύρου ισούται με:

$$h = 759,9998917 \text{ mm.}$$

Έτσι η ακριβής τιμή του Torr είναι

$$1 \text{ Torr} = 0,999999857 \text{ mmHg,}$$

η οποία στρογγυλοποιείται ως: $1 \text{ Torr} \approx 760 \text{ mmHg}$.

Για τον παραπάνω λόγο, στους τεχνικούς υπολο-

γισμούς το ύψος της στήλης υδραργύρου στην πίεση 1 Atm στρογγυλοποιείται ως εξής:

$$h = 760 \text{ mm.}$$

Επίσης, ως μονάδα πίεσεως χρησιμοποιείται το ύψος της στήλης νερού (H_2O) θερμοκρασίας 4°C , όπου το ειδικό βάρος του νερού λαμβάνεται ίσο με:

$$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ gr/cm}^3.$$

Ανακεφαλαιώνοντας, οι μονάδες πίεσεως που ορίζονται σαν ύψος στήλης είναι οι εξής:

- α) 1 mm Hg
- β) 1 in Hg
- γ) $1 \text{ m H}_2\text{O}$
- δ) $1 \text{ ft H}_2\text{O}$

Οι αντιστοιχίες των μονάδων πίεσεως φαίνονται στον πίνακα Π.7.Γ.4. Στον πίνακα Π.7.Γ.5, δίνονται οι μετατροπές των psi σε kp/cm^2 οι οποίες είναι οι μονάδες που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην πράξη.

Π.7.Γ.4 Έργο – Ενέργεια.

Οι μονάδες μετρήσεως του έργου είναι και μονάδες ενέργειας, δεδομένου ότι το έργο είναι ενέργεια που αλλάζει μορφή. Επί πλέον οι μονάδες μετρήσε-

Πίνακας Π.7.Γ.4
Αντιστοιχίες μονάδων πίεσεως.

Μονάδες πίεσεως	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$	$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa}$	$1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2$	$1 \text{ psi} = 1 \text{ pdl/in}^2$	1 Atm	$1 \text{ Torr} \approx 1 \text{ mm Hg}$	1 in Hg	$1 \text{ m H}_2\text{O}$	$1 \text{ ft H}_2\text{O}$
$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$	1	0,00001	0,00001	0,00015	0,00001	0,00750	0,00030	0,00010	0,00033
$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa}$	100000	1	1,01972	0,07031	0,98692	750,06151	29,52999	10,19716	33,45526
$1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2$	98066,5	0,98067	1	14,22334	0,96784	735,55914	28,95903	10	32,80840
$1 \text{ psi} = 1 \text{ pdl/in}^2$	6894,75729	14,22334	0,07031	1	0,06805	51,71493	2,03602	0,70307	2,30666
1 Atm	101325	1,01325	1,03323	14,69595	1	760	29,92126	10,33227	33,89854
$1 \text{ Torr} \approx 1 \text{ mm Hg}$	133,32237	0,001333	0,00136	0,01934	0,00132	1	0,03937	0,01360	0,04460
1 in Hg	3386,38816	0,03386	0,03453	0,49115	0,03342	25,4	1	0,34532	1,13292
$1 \text{ m H}_2\text{O}$	9806,65000	0,09807	0,1	1,42233	0,09678	73,55592	2,89590	1	3,280839
$1 \text{ ft H}_2\text{O}$	2989,06692	0,02989	0,03048	0,43353	0,02950	22,41985	0,88267	0,30480	1

Πίνακας Π.7.Γ.5
Μετατροπή psi σε kp/cm².

<i>psi</i>	<i>kp/cm²</i>	<i>psi</i>	<i>kp/cm²</i>	<i>psi</i>	<i>kp/cm²</i>	<i>psi</i>	<i>kp/cm²</i>	<i>psi</i>	<i>kp/cm²</i>
5	0,35	205	14,41	405	28,47	605	42,54	805	56,60
10	0,70	210	14,76	410	28,83	610	42,89	810	56,95
15	1,05	215	15,12	415	29,18	615	43,24	815	57,30
20	1,41	220	15,47	420	29,53	620	43,59	820	57,65
25	1,76	225	15,82	425	29,88	625	43,94	825	58,00
30	2,11	230	16,17	430	30,23	630	44,29	830	58,35
35	2,46	235	16,52	435	30,58	635	44,64	835	58,71
40	2,81	240	16,87	440	30,94	640	45,00	840	59,06
45	3,16	245	17,23	445	31,29	645	45,35	845	59,41
50	3,52	250	17,58	450	31,64	650	45,70	850	59,76
55	3,87	255	17,93	455	31,99	655	46,05	855	60,11
60	4,22	260	18,28	460	32,34	660	46,40	860	60,46
65	4,57	265	18,63	465	32,69	665	46,75	865	60,82
70	4,92	270	18,98	470	33,04	670	47,11	870	61,17
75	5,27	275	19,33	475	33,40	675	47,46	875	61,52
80	5,62	280	19,69	480	33,75	680	47,81	880	61,87
85	5,98	285	20,04	485	34,10	685	48,16	885	62,22
90	6,33	290	20,39	490	34,45	690	48,51	890	62,57
95	6,68	295	20,74	495	34,80	695	48,86	895	62,92
100	7,03	300	21,09	500	35,15	700	49,21	900	63,28
105	7,38	305	21,44	505	35,51	705	49,57	905	63,63
110	7,73	310	21,80	510	35,86	710	49,92	910	63,98
115	8,09	315	22,15	515	36,21	715	50,27	915	64,33
120	8,44	320	22,50	520	36,56	720	50,62	920	64,68
125	8,79	325	22,85	525	36,91	725	50,97	925	65,03
130	9,14	330	23,20	530	37,26	730	51,32	930	65,39
135	9,49	335	23,55	535	37,61	735	51,68	935	65,74
140	9,84	340	23,90	540	37,97	740	52,03	940	66,09
145	10,19	345	24,26	545	38,32	745	52,38	945	66,44
150	10,55	350	24,61	550	38,67	750	52,73	950	66,79
155	10,90	355	24,96	555	39,02	755	53,08	955	67,14
160	11,25	360	25,31	560	39,37	760	53,43	960	67,49
165	11,60	365	25,66	565	39,72	765	53,78	965	67,85
170	11,95	370	26,01	570	40,07	770	54,14	970	68,20
175	12,30	375	26,37	575	40,43	775	54,49	975	68,55
180	12,66	380	26,72	580	40,78	780	54,84	980	68,90
185	13,01	385	27,07	585	41,13	785	55,19	985	69,25
190	13,36	390	27,42	590	41,48	790	55,54	990	69,60
195	13,71	395	27,77	595	41,83	795	55,89	995	69,96
200	14,06	400	28,12	600	42,18	800	56,25	1000	70,31

ως έργου είναι και μονάδες μετρήσεως θερμότητας. Οι μονάδες ενέργειας είναι οι εξής:

- α) Διεθνές σύστημα.
 – 1 τζάουλ (Joule, J), 1 J = 1 N · m
 – 1 kpm = 1 Kp · m = 9,81 J
 β) Αγγλοσαξονικό σύστημα.
 – 1 Pdl · ft

Για τη μέτρηση της θερμότητας χρησιμοποιούνται μονάδες ενέργειας που προκύπτουν από τις θερμικές ιδιότητες του νερού, το οποίο είναι το πιο συχνό εργαζόμενο μέσο. Για τον ορισμό των μονάδων αυτών είναι απαραίτητη η έννοια και οι μονάδες της θερμοκρασίας που δίνονται στην επόμενη παράγραφο. Οι μονάδες αυτές είναι οι εξής:

α) Η 1 θερμίδα (calorie, cal), η οποία ισούται με το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσδοθεί σε 1 gr νερού να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 °C. Δεδομένου ότι η θερμότητα αυτή μεταβάλλεται με την αρχική θερμοκρασία του νερού, υπάρχουν πολλοί ορισμοί της θερμίδας. Στη θερμοδυναμική χρησιμοποιείται η θερμίδα που ορίζεται ως εξής:

$$1 \text{ cal} = \frac{1}{860} \text{ Wh} = 4,1868 \text{ J} \approx 4,19 \text{ J}$$

β) Η 1 χιλιοθερμίδα, (1 kcal = 1000 cal = 4,19 kJ) η οποία ισούται με το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσδοθεί σε 1 kg νερού ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1°C.

γ) Η 1 βρετανική μονάδα θερμότητας (British

thermal unit–Btu), η οποία ισούται με το ποσό θερμότητας που είναι αναγκαίο για να αυξηθεί η θερμοκρασία 1 lb νερού κατά 1 °F, από τους 60 °F στους 61 °F. Η ισοδυναμία του Btu είναι:

$$1 \text{ Btu} = 251,9958 \text{ cal} = 0,2519958 \text{ kcal} = 1,055056 \text{ kJ}$$

Επίσης ως μονάδες μετρήσεως ενέργειας χρησιμοποιείται το έργο που παράγεται από μια ισχύ σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τέτοιες μονάδες ενέργειας είναι:

- α) Η κιλοβατώρα, 1 kWh = 1kW · 1h = 3600 kJ
 β) Ο ίππος-ώρα, 1 HPh = 1HP · 1h = 2684,52 kJ
 γ) Ο γερμανικός ίππος-ώρα, 1 PSh = 1PS · 1h = 2647,795 kJ
 δ) Η τονομέρα,

$$1 \text{ R.Ton-day} = 1 \text{ RT} \cdot 1 \text{ day} = 12000 \text{ Btu/h} \cdot 24\text{h} = 288.000 \text{ Btu} = 303.856 \text{ kJ.}$$

Οι αντιστοιχίες των μονάδων ενέργειας και θερμότητας φαίνονται στον πίνακα Π.7.Γ.6.

Π.7.Γ.5 Ισχύς.

Οι μονάδες ισχύος που προκύπτουν από τον ορισμό και τις βασικές μονάδες μετρήσεως είναι οι εξής:

- α) Διεθνές σύστημα.
 – 1 βατ (Watt, W), 1 W = 1 J/s = 1 N · m/s
 – 1 kW = 1000 W

Πίνακας Π.7.Γ.6
Αντιστοιχίες μονάδων ενέργειας και θερμότητας.

Μονάδες ενέργειας	1 J = 1 W s	1 kpm	1 pdl ft	1 cal	1 Btu	1 Kwh	1 HP h	1 ps h	1 R.T. -day
1 J = 1 W s	1	0,10197	0,73756	0,23885	9,47817·10 ⁻⁴	2,77778·10 ⁻⁷	3,72506·10 ⁻⁷	3,77673·10 ⁻⁷	3,29103·10 ⁻⁹
1 kpm	9,80665	1	7,23301	2,34228	9,29491·10 ⁻³	3,65304·10 ⁻⁶	3,65304·10 ⁻⁶	3,7037·10 ⁻⁶	3,2274·10 ⁻⁸
1 pdl ft	1,355818	0,13826	1	0,323831575	1,28507·10 ⁻³	3,76616·10 ⁻⁵	5,05051·10 ⁻⁷	5,12055·10 ⁻⁷	4,46204·10 ⁻⁹
1 cal	4,1868	0,42693	3,08803	1	3,96832·10 ⁻³	1,16300·10 ⁻⁶	0,27241	1,58124·10 ⁻⁶	1,37789·10 ⁻⁸
1 Btu	1055,056	107,5858	778,16930	251,99580	1	2,93071·10 ⁻⁴	3,93015·10 ⁻⁴	0,00040	3,47222·10 ⁻⁶
1 Kwh	3600000	3,670978	2,65522·10 ⁻⁶	8,59845·10 ⁵	3412,14100	1	1,34102	1,35962	0,01185
1 HP h	2,68452·10 ⁶	2,73745·10 ⁵	1,98000·10 ⁶	6,41186·10 ⁵	2544,43322	0,74570	1	1,01387	0,00883
1 ps h	2,64780·10 ⁶	2,70000·10 ⁵	1,95291·10 ⁶	6,32415·10 ⁵	2,50963·10 ³	0,73550	0,98632	1	0,00871
1 R.T. -day	3,03856·10 ⁸	3,09847·10 ⁷	2,24113·10 ⁸	7,25748·10 ⁷	2,88000·10 ⁵	84,4045	113,18827	114,75816	1

β) Αγγλοσαξονικό σύστημα.

– 1 Pdl · ft/sec

Μονάδα ισχύος με ευρεία χρήση είναι ο ίππος (horse power, hp) ο οποίος προέκυψε από την σύγκριση της αποδόσεως των πρώτων ατμομηχανών με τα άλογα έλξεως. Ο ορισμός του hp είναι:

$$1 \text{ hp} = 550 \frac{\text{pdl} \cdot \text{ft}}{\text{sec}} = 745,69987 \text{ W} \approx 746 \text{ W}$$

Επίσης χρησιμοποιείται ο Γερμανικός (PS) και ο Γαλλικός ίππος (cv) που ορίζονται ως εξής:

$$1 \text{ PS} = 1 \text{ cv} = 75 \frac{\text{kp} \cdot \text{m}}{\text{sec}} = 735,4985 \text{ W} = 0,98632 \text{ hp}$$

Στην θερμοδυναμική ως μονάδα ισχύος χρησιμοποιείται το ρεύμα θερμότητας που είναι απαραίτητη ώστε λιώσει μια μάζα πάγου ίση με ένα αμερικανικό τόνο (1 short ton = 2000 lb), με θερμοκρασία 0°C και να μετασχηματιστεί σε νερό θερμοκρασίας 0°C σε χρονικό διάστημα μίας ημέρας. Η παροχή θερμότητας που απαιτείται ονομάζεται ψυκτικός τόνος (refrigeration ton, R.T.). Δεδομένου ότι η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του νερού είναι 144 Btu/lb, ο ψυκτικός τόνος ισούται με:

$$1 \text{ R.T.} = \frac{2000 \text{ lb} \cdot 144 \text{ Btu/lb}}{24 \text{ h}} = 12.000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

και σε μετρικές μονάδες:

$$1 \text{ R.T.} = 12.000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} = 12.000 \frac{1,055056 \text{ kJ}}{3600 \text{ sec}} = 3,51685 \text{ kW}$$

Οι αντιστοιχίες των μονάδων ισχύος φαίνονται στον πίνακα Π.7.Γ.7.

Π.7.Γ.6 Θερμοκρασία.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με θερμομετρα, τα οποία είναι βαθμονομημένα σε μία κλίμακα θερμοκρασίας. Οι κλίμακες που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι η κλίμακα Κελσίου (Celsius), η κλίμακα Κέλβιν (Kelvin), η κλίμακα Φαρενάιτ (Fahrenheit) και η κλίμακα Ρεωμύρου (Reameur). Οι κλίμακες αυτές ορίζονται ως εξής:

α) Στην κλίμακα Κελσίου, το 0 αντιστοιχεί στη θερμοκρασία τήξεως του πάγου και το 100 στην θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού, σε πίεση 1 Atm. Το ενδιάμεσο διάστημα έχει διαιρεθεί σε 100 ίσα τμήματα, τα οποία αντιστοιχούν σε 100 βαθμούς Κελσίου (°C).

β) Η κλίμακα Κέλβιν έχει ως αρχή το απόλυτο μηδέν, δηλαδή τη θερμοκρασία σταματάει η θερμική κίνηση των μορίων. Η θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός είναι -273,15 °C και ένας βαθμός Κέλβιν (K) είναι ίσος μ' ένα βαθμό Κελσίου. Κατά συνέπεια, η κλίμακα Κέλβιν είναι ανάλογη με την κλίμακα Κελσίου, με τη διαφορά ότι το μηδέν της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχεί στο 273,15 της κλίμακας Κέλβιν. Επίσης με την κλίμακα Κέλβιν σημειώνονται και οι διαφορές θερμοκρασίας, ανεξάρτητα αν οι θερμο-

Πίνακας Π.7.Γ.7
Αντιστοιχίες μονάδων ισχύος.

Μονάδες ισχύος	1 kW	1 kp m/sec	1 pdl ft/sec	1 kcal/sec	1 kcal/h	1 Btu/h	1 HP	1 PS = 1 cv	1 R.T.
1 kW	1	101,97162	737,56212	0,23885	860,43710	3412,14129	1,34102	1,35962	0,28435
1 kp m/sec	0,00980665	1	7,23301	2,34228·10 ⁻³	8,43801	33,46167	1,31509·10 ⁻²	1,33333·10 ⁻²	2,78848·10 ⁻³
1 pdl ft/sec	0,001355818	0,13826	1	3,23832·10 ⁻⁴	1,16660	4,62624	1,81818·10 ⁻³	0,0018434	3,85521·10 ⁻⁴
1 kcal/sec	4,18680	426,93480	3088,02500	1	3600	14285,95919	5,61459·10	5,69246	1,19050
1 kcal/h	0,0011622	0,11851	0,85719	2,77778·10 ⁻⁴	1	3,9652	1,55854·10 ⁻³	1,58015·10 ⁻³	3,30466·10 ⁻⁴
1 Btu/h	0,00029	2,98849·10 ⁻²	0,21616	6,99988·10 ⁻⁵	0,25220	1	3,93015·10 ⁻⁴	3,98466·10 ⁻⁴	8,33333·10 ⁻⁵
1 HP	0,74570	76,04023	550	0,17811	641,62790	2544,43300	1	1,01387	0,21204
1 PS = 1 cv	0,73550	75	542,47600	0,17567	632,85043	2509,62516	0,98632	1	0,20914
1 R.T.	3,51685	358,61890	2593,89535	0,83999	3026,02822	12000	4,71618	4,78159	1

κρασίες μετρώνται σε Κέλβιν ή σε Κελσίου.

γ) Στην κλίμακα Φαρενάιτ η θερμοκρασία τήξεως του πάγου αντιστοιχεί σε 32 βαθμούς ($^{\circ}\text{F}$), ενώ η θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση αντιστοιχεί σε 212 $^{\circ}\text{F}$. Κατά συνέπεια το διάστημα της κλίμακας του αντιστοιχεί από τον πάγο μέχρι τον ατμό στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι 180 $^{\circ}\text{F}$, ενώ στην κλίμακα Κελσίου είναι 100 $^{\circ}\text{C}$. Έτσι ένας βαθμός Φαρενάιτ είναι μικρότερος από ένα βαθμό Κελσίου. Η σχέση μεταξύ τους προκύπτει ως εξής:

$$180^{\circ}\text{F} = 100^{\circ}\text{C} \Rightarrow 1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{C}.$$

δ) Στην κλίμακα Ρεωμόρου που εκφράζεται σε βαθμούς Ρεωμόρου ($^{\circ}\text{R}$) η θερμοκρασία τήξεως του πάγου είναι 0 $^{\circ}\text{R}$ και η θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση είναι 80 $^{\circ}\text{R}$. Κατά συνέπεια ένας βαθμός Ρεωμόρου είναι μεγαλύτερος από ένα βαθμό Κελσίου:

$$1^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4}^{\circ}\text{C}.$$

Στον Πίνακα Π.7.Γ.8 φαίνονται οι τιμές διαφόρων χαρακτηριστικών θερμοκρασιών στις κλίμακες μετρήσεως Κέλβιν, Κελσίου, Φαρενάιτ και Ρεωμόρου, ενώ στον πίνακα Π.7.Γ.9 δίνονται οι σχέσεις μετασχηματισμών της θερμοκρασίας στις κλίμακες, Κελσίου, Κέλβιν, Φαρενάιτ και Ρεωμόρου. Στον πίνακα Π.7.Γ.10 δίνονται οι αντιστοιχίες των θερμοκρασιών στην κλίμακα Κελσίου και Φαρενάιτ.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με ειδικά όργανα τα **θερμόμετρα**. Η λειτουργία των θερμόμετρων βασίζεται στην ιδιότητα που έχουν τα υγρά να διαστέλλονται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία τους και να συστέλλονται όταν αυτή μειώνεται. Ο υδράργυρος και το οινόπνευμα (αλκοόλη) είναι τα υγρά, τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών τήξεώς τους και των σταθερών συντελεστών διαστολής που έχουν. Τα θερμόμετρα

Πίνακας Π.7.Γ.8

Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες σε διαφορετικές κλίμακες μετρήσεως.

Κλίμακα	Κέλβιν	Κελσίου	Φαρενάιτ	Ρεωμόρου
Απόλυτο μηδέν	0,00	-273,15	-459,67	-218,52
Θερμοκρασία τήξεως διαλύματος άλατος κλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl) σε νερό.	255,37	-17,78	0,00	-14,22
Θερμοκρασία τήξεως πάγου νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.	273,15	0,00	32,00	0,00
Μέση θερμοκρασία επιφάνειας της γης.	288	15	59	12
Μέση θερμοκρασία ανθρώπινου σώματος	310,0	36,8	98,2	29,4
Θερμοκρασία ατμοποίησης νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.	373,15	100,00	211,97	80,00

Πίνακας Π.7.Γ.9

Τύποι μετασχηματισμών κλιμάκων θερμοκρασίας.

Από Κελσίου σε Φαρενάιτ:	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{C}] \times (9/5) + 32$	Από Φαρενάιτ σε Κελσίου:	$[^{\circ}\text{C}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times (5/9)$
Από Κέλβιν σε Κελσίου:	$[^{\circ}\text{C}] = [\text{K}] - 273,15$	Από Κελσίου σε Κέλβιν:	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{C}] + 273,15$
Από Κέλβιν σε Φαρενάιτ:	$[^{\circ}\text{F}] = [\text{K}] \times (9/5) - 459,67$	Από Φαρενάιτ σε Κέλβιν:	$[\text{K}] = ([^{\circ}\text{F}] + 459,67) \times (5/9)$
Από Κελσίου σε Ρεωμόρου:	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{C}] \times (4/5)$	Από Ρεωμόρου σε Κελσίου:	$[^{\circ}\text{C}] = [^{\circ}\text{R}] \times (5/4)$
Από Κέλβιν σε Ρεωμόρου:	$[^{\circ}\text{R}] = ([\text{K}] - 273,15) \times (4/5)$	Από Ρεωμόρου σε Κέλβιν:	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{R}] \times (5/4) + 273,15$
Από Φαρενάιτ σε Ρεωμόρου:	$[^{\circ}\text{R}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times (4/9)$	Από Ρεωμόρου σε Φαρενάιτ:	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{R}] \times (9/4) + 32$

υδραργύρου έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά είναι ακριβότερα και η ανάγνωση τους είναι δυσκολότερη. Αντίθετα, τα θερμόμετρα αλκοόλης είναι φθηνότερα, ενώ μπορεί η αλκοόλη να χρωματίζεται ώστε να είναι πιο ευκρινή. Εκτός από τα θερμόμετρα διαστολής

υγρών, χρησιμοποιούνται και θερμόμετρα καμπυλωτού σωλήνα τύπου Bourdon, τα οποία έχουν παρόμοια κατασκευή με τα αντίστοιχα μανόμετρα. Επί πλέον υπάρχουν ηλεκτρονικά θερμόμετρα, τα οποία βασίζονται σε θερμοηλεκτρικά στοιχεία.

Πίνακας Π.7.Γ.10.
Αντιστοιχίες θερμοκρασιών κλίμακας Φαρενάιτ και Κελσίου.

°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C
-40	-40,0		0	-17,8		41	5,0		82	27,8		123	50,6
-39	-39,4		1	-17,2		42	5,6		83	28,3		124	51,1
-38	-38,9		2	-16,7		43	6,1		84	28,9		125	51,7
-37	-38,3		3	-16,1		44	6,7		85	29,4		126	52,2
-36	-37,8		4	-15,6		45	7,2		86	30,0		127	52,8
-35	-37,2		5	-15,0		46	7,8		87	30,6		128	53,3
-34	-36,7		6	-14,4		47	8,3		88	31,1		129	53,9
-33	-36,1		7	-13,9		48	8,9		89	31,7		130	54,4
-32	-35,6		8	-13,3		49	9,4		90	32,2		131	55,0
-31	-35,0		9	-12,8		50	10,0		91	32,8		132	55,6
-30	-34,4		10	-12,2		51	10,6		92	33,3		133	56,1
-29	-33,9		11	-11,7		52	11,1		93	33,9		134	56,7
-28	-33,3		12	-11,1		53	11,7		94	34,4		135	57,2
-27	-32,8		13	-10,6		54	12,2		95	35,0		136	57,8
-26	-32,2		14	-10,0		55	12,8		96	35,6		137	58,3
-25	-31,7		15	-9,4		56	13,3		97	36,1		138	58,9
-24	-31,1		16	-8,9		57	13,9		98	36,7		139	59,4
-23	-30,6		17	-8,3		58	14,4		99	37,2		140	60,0
-22	-30,0		18	-7,8		59	15,0		100	37,8		141	60,6
-21	-29,4		19	-7,2		60	15,6		101	38,3		142	61,1
-20	-28,9		20	-6,7		61	16,1		102	38,9		143	61,7
-19	-28,3		21	-6,1		62	16,7		103	39,4		144	62,2
-18	-27,8		22	-5,6		63	17,2		104	40,0		145	62,8
-17	-27,2		23	-5,0		64	17,8		105	40,6		146	63,3
-16	-26,7		24	-4,4		65	18,3		106	41,1		147	63,9
-15	-26,1		25	-3,9		66	18,9		107	41,7		148	64,4
-14	-25,6		26	-3,3		67	19,4		108	42,2		149	65,0
-13	-25,0		27	-2,8		68	20,0		109	42,8		150	65,6
-12	-24,4		28	-2,2		69	20,6		110	43,3		151	66,1
-11	-23,9		29	-1,7		70	21,1		111	43,9		152	66,7
-10	-23,3		30	-1,1		71	21,7		112	44,4		153	67,2
-9	-22,8		31	-0,6		72	22,2		113	45,0		154	67,8
-8	-22,2		32	0,0		73	22,8		114	45,6		155	68,3
-7	-21,7		33	0,6		74	23,3		115	46,1		156	68,9
-6	-21,1		34	1,1		75	23,9		116	46,7		157	69,4
-5	-20,6		35	1,7		76	24,4		117	47,2		158	70,0
-4	-20,0		36	2,2		77	25,0		118	47,8		159	70,6
-3	-19,4		37	2,8		78	25,6		119	48,3		160	71,1
-2	-18,9		38	3,3		79	26,1		120	48,9		161	71,7
-1	-18,3		39	3,9		80	26,7		121	49,4		162	72,2
0	-17,8		40	4,4		81	27,2		122	50,0		163	72,8

Βιβλιογραφία

1. Κουρεμένου Δ. “Ψυκτικές Μηχανές και Εγκαταστάσεις”, Εκδότης Ίδρυμα Ευγενίδου, 2001.
2. Μοσπράτος Κ.Α., Χατζηλάου Ι.Κ., “Ψυκτικές Μηχανές”, Εκδόσεις Σταυριδάκη, 1997.
3. Alders A.W.C., “Marine Refrigeration Manual”, Published by the Rotterdam Marine Chartering Agents, 1987.
4. Althouse A.D., Turnquist C.H., Bracciano A.F., “Modern Refrigeration and Air Conditioning”, Published by The Goodheart-Willcox Company, 2004.
5. Boast M., “Newnes Refrigeration Pocket Book”, Published by Butterworth-Heinemann Ltd., 1981.
6. Chatenever R., “Air Conditioning and Refrigeration for the Professional”, Published by John Willey and Sons, 1988.
7. Cengel Y.A., Boles M. A., “Thermodynamics An Engineering Approach”, 3rd edition, Published by Mc Graw-Hill ed., 1998.
8. Cowley J. (editor), “The Running and Maintenance of Marine machinery”, Published by The Institute of Marine Engineers, 1992.
9. Dossat R.J.,: “Principles of Refrigeration”, 2nd edition, SI version, Published by JohnWiley and Sons, 1981.
10. Harbach J.A., “Marine Refrigeration and Air-Conditioning”, Published by Cornell Maritime Press, 2005.
11. Dincer I., “Refrigeration Systems and Applications”, Published by John Wiley and Sons, Ltd., 2003.
12. Mc George H. D., “Marine Auxiliary Machinery” 3rd Ed., Published by Butterworth-Heinemann Ltd., 1995.
13. Trott A.R., Welch T., “Refrigeration and Air Conditioning” 3rd Ed., Published by Butterworth-Heinemann Ltd., 2000.
14. Wang S. K., “Handbook of Air Conditioning and Refrigeration”, Published by Mc Graw Hill, 2000.
15. Whitmann W., Johnson W. M., “Ψυκτικές Μηχανές και Εγκαταστάσεις”, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1987.

Τεχνικά εγχειρίδια των εταιρειών:

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1. Bitzer | 14. Honeywell |
| 2. Carlyle | 15. Johnson Controls |
| 3. Carrier | 16. Linde |
| 4. Copeland | 17. Maneurop |
| 5. Danfoss | 18. Mycom |
| 6. Delphi Automotive Systems | 19. Sabroe |
| 7. Dupont | 20. Thermo King |
| 8. Electrolux | 21. Trane |
| 9. Emerson | 22. Vickers |
| 10. Finsam | 23. Vilter |
| 11. General Electric | 24. Worthington |
| 12. Hartford | 25. York |
| 13. Henry | |

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ**

Κεφάλαιο Πρώτο **Εισαγωγικές γνώσεις θερμοδυναμικής**

1.1	Γενικά.	10
1.2	Πίεση.	10
1.3	Ενέργεια – Έργο – Ισχύς.	12
1.4	Θερμοκρασία.	12
1.5	Μορφές της ύλης – Εσωτερική ενέργεια.	12
1.6	Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα – Ειδική θερμοχωρητικότητα.	13
1.7	Επίδραση της πίεσεως στη θερμοκρασία ατμοποιήσεως – Κορεσμένος και υπέρθερμος ατμός.	17
1.8	Τέλεια αέρια – Μεταβολές αυτών.	18
1.9	Έργο ογκομεταβολής, ενθαλπία – Πρώτος και Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος.	19
1.10	Αντιστρεπτές διαδικασίες – Εντροπία – Κύκλος Carnot.	21
1.11	Μετάδοση θερμότητας.	22

Κεφάλαιο Δεύτερο **Βασικές αρχές ψύξεως**

2.1	Εισαγωγή στην ψύξη – Ιστορικά στοιχεία	27
2.2	Μέθοδοι παραγωγής ψύχους.	30
	2.2.1 Ψύξη χωρίς τη χρησιμοποίηση μηχανικού έργου ή θερμικής ενέργειας.	30
	2.2.2 Ψύξη με κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο.	32
2.3	Εφαρμογές ψύξεως.	38
	2.3.1 Βιομηχανική ψύξη.	38
	2.3.2 Κρυογονική.	44
	2.3.3 Κλιματισμός.	46

Κεφάλαιο Τρίτο **Ψυκτικοί κύκλοι με μηχανική συμπίεση ατμών**

3.1	Εισαγωγή.	47
3.2	Περιγραφή ψυκτικής μηχανής με μηχανική συμπίεση ατμών.	47
3.3	Διάγραμμα πίεσεως-ενθαλπίας.	50
3.4	Αναπαράσταση του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα p-h.	51
3.5	Αναπαράσταση του ψυκτικού κύκλου κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα T-s.	55
3.6	Ψυκτικό φορτίο – Ογκομετρική ικανότητα συμπίεσής.	56
	3.6.1 Ψυκτικό φορτίο.	56
	3.6.2 Ογκομετρική ικανότητα συμπίεσής.	57
3.7	Συντελεστής συμπεριφοράς ψυκτικής εγκαταστάσεως.	59
3.8	Ιδανικός ψυκτικός κύκλος Carnot.	61
3.9	Επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως.	63

3.10	Υπερθέρμανση και υπόψυξη του ψυκτικού μέσου..	67
3.10.1	Υπερθέρμανση ατμών ψυκτικού μέσου.	67
3.10.2	Υπόψυξη υγρού ψυκτικού μέσου.	69
3.10.3	Εναλλάκτης υποψύξεως-υπερθερμάνσεως ψυκτικού μέσου..	71
3.11	Επίδραση της πτώσεως πρέσεως λόγω των τριβών κατά τη ροή..	75
3.12	Πολυβάθμιες ψυκτικές εγκαταστάσεις..	76
3.13	Ασκήσεις..	78

Κεφάλαιο Τέταρτο

Ψυκτικά μέσα και ψυκτικά διαλύματα

4.1	Γενικά.	81
4.2	Άμεση και έμμεση ψύξη.	81
4.2.1	Δίκτυα ψυκτικών εγκαταστάσεων άμεσης ψύξεως..	82
4.2.2	Δίκτυα ψυκτικών εγκαταστάσεων έμμεσης ψύξεως.	83
4.3	Τα ψυκτικά μέσα και οι ιδιότητές τους..	84
4.3.1	Επιθυμητές ιδιότητες ψυκτικών μέσων.	84
4.3.2	Κατηγορίες ψυκτικών μέσων.	85
4.3.3	Κωδικοποίηση των ψυκτικών μέσων..	87
4.4	Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητά τους..	91
4.5	Ψυκτικά μέσα κατηγορίας Α (μη τοξικά).	92
4.5.1	Αζεοτροπικά μείγματα.	92
4.5.2	Ζεοτροπικά μείγματα.	93
4.5.3	Ζεοτροπικά μείγματα αντικαταστάσεως του R-22..	95
4.6	Ψυκτικά μέσα ομάδας Β (τοξικά).	95
4.7	Εκρηκτικά ψυκτικά μέσα.	95
4.8	Ψυκτικά μέσα που επιτρέπεται να εκλύονται στην ατμόσφαιρα.	96
4.9	Επίδραση των ψυκτικών μέσων στο περιβάλλον.	96
4.10	Ψυκτικά μέσα αντικαταστάσεως.	100
4.11	Συμβατότητα ψυκτικών μέσων με τα λιπαντικά λάδια..	101
4.12	Αποθήκευση και μεταφορά ψυκτικών μέσων.	102
4.13	Προφυλάξεις για ασφαλή χειρισμό των ψυκτικών μέσων.	102
4.14	Τα ψυκτικά διαλύματα και οι ιδιότητές τους.	103

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Κεφάλαιο Πέμπτο

Συμπιεστές

5.1	Γενικά περί συμπεστών.	108
5.2	Εμβολοφόροι παλινδρομικοί συμπεστές.	110
5.2.1	Γενικά – Περιγραφή λειτουργίας.	110
5.2.2	Ογκομετρική παροχή – Ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως.	112
5.2.3	Ισχύς συμπίεσεως – Ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως παλινδρομικού συμπεστί.	112
5.2.4	Παράγοντες που επιδρούν στην ογκομετρική και στην ισεντροπική απόδοση παλινδρομικού συμπεστί – Καμπύλες λειτουργίας.	114
5.2.5	Τύποι εμβολοφόρων συμπεστών.	115
5.2.6	Κύλινδροι – Έμβολα παλινδρομικών συμπεστών.	126
5.2.7	Βαλβίδες παλινδρομικών συμπεστών.	128
5.2.8	Λιπανση παλινδρομικών συμπεστών.	130

5.2.9	Ρύθμιση φορτίου παλινδρομικών συμπιεστών..	134
5.3	Περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρου τυμπάνου με σταθερό περύγιο.	144
5.4	Περιστροφικοί συμπιεστές έκκεντρου τυμπάνου με κινητά περύγια.	147
5.5	Περιστροφικοί σπειροειδείς συμπιεστές.	148
5.6	Ελικόμορφοι συμπιεστές.	149
5.7	Φυγοκεντρικοί συμπιεστές.	151
5.8	Ιδιότητες λαδιού λιπάνσεως συμπιεστών ψυκτικών εγκαταστάσεων.	151
5.9	Το δίκτυο του λαδιού και τα εξαρτήματά του.	154
5.9.1	Διαχωριστήρας λαδιού.	155
5.9.2	Ρυθμιστής στάθμης λαδιού.	156

Κεφάλαιο Έκτο

Συμπυκνωτές – Συλλέκτες υγρού – Απαερίωση ψυκτικών εγκαταστάσεων

6.1	Γενικά – Φορτίο συμπυκνωτή.	157
6.1.1	Μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά.	159
6.1.2	Παροχή μάζας και όγκου – Ανύψωση θερμοκρασίας μέσου συμπυκνώσεως.	161
6.2	Είδη συμπυκνωτών.	162
6.2.1	Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές.	162
6.2.2	Αερόψυκτοι συμπυκνωτές.	168
6.2.3	Εξατμιστικοί συμπυκνωτές.	172
6.3	Συλλέκτης υγρού.	174
6.4	Συστήματα απαερίωσης.	176

Κεφάλαιο Έβδομο

Ατμοποιτές ψυκτικών εγκαταστάσεων

7.1	Γενικά – Είδη ατμοποιτών.	181
7.2	Ισχύς ατμοποιτή.	184
7.3	Ατμοποιτές ψύξεως αέρα.	185
7.3.1	Ατμοποιτές ψύξεως αέρα φυσικής κυκλοφορίας.	185
7.3.2	Ατμοποιτές ψύξεως αέρα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.	187
7.4	Ατμοποιτές ψύξεως υγρών.	198
7.4.1	Ατμοποιτές ψύξεως υγρών με ομοαξονικούς αγωγούς	200
7.4.2	Ατμοποιτές ψύξεως υγρών με δοχείο αναδεύσεως.	200
7.4.3	Ατμοποιτές ψύξεως υγρών κελύφους-σπείρας.	200
7.4.4	Ατμοποιτές ξηρής εκτονώσεως, ψύξεως υγρών με καταιονισμό (Baudelot).	202
7.4.5	Ατμοποιτές ψύξεως υγρών με πλάκες.	202
7.4.6	Ατμοποιτές ψύξεως υγρών κελύφους-αυλών.	203
7.5	Ψύκτες αέρα.	204

Κεφάλαιο Όγδοο

Εκτονωτικές διατάξεις

8.1	Σκοπός εκτονωτικής βαλβίδας – Είδη βαλβίδων – Λειτουργία εγκαταστάσεως με κύκλο κενού (rump down cycle).	205
8.2	Τριχοειδής αγωγός.	206
8.3	Χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα.	208
8.4	Αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα.	210
8.5	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα.	214
8.5.1	Περιγραφή – Λειτουργία θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με εσωτερική εξισορρόπηση.	214

8.5.2	Λειτουργία θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας με πύση πίεσεως στον ατμοποιητή.	217
8.5.3	Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξισορρόπηση.	218
8.5.4	Είδη πληρώσεως και τοποθέτηση του θερμοστατικού βολβού.	219
8.6	Θερμοπλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα.	221
8.7	Ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα.	222
8.8	Εκτονωτική βαλβίδα χαμηλής πίεσεως με πλωτήρα.	224
8.9	Εκτονωτική βαλβίδα υψηλής πίεσεως με πλωτήρα.	226

Κεφάλαιο Ένατο

Σωληνώσεις – Βαλβίδες – Εξαρτήματα αυτοματισμού ψυκτικών εγκαταστάσεων

9.1	Γενικά.	227
9.2	Σωληνώσεις ψυκτικών εγκαταστάσεων.	227
9.2.1	Γενικά περί σωληνώσεων – Υλικά και διαστάσεις.	227
9.2.2	Διαμόρφωση σωληνώσεων για εξασφάλιση επιστροφής λαδιού.	229
9.3	Αντικραδασμικά εξαρτήματα σωληνώσεων.	230
9.4	Φίλτρα ψυκτικού μέσου.	231
9.5	Αφυγραντήρας.	233
9.6	Ενδείκτης ροής και υγρασίας.	235
9.7	Εναλλάκτης θερμότητας.	237
9.8	Διακόπτες δικτύου.	238
9.8.1	Χειροκίνητοι διακόπτες απομονώσεως.	238
9.8.2	Διακόπτες συντηρήσεως.	239
9.8.3	Διακόπτης συλλέκτη υγρού.	240
9.8.4	Βαλβίδες ερμητικών ψυκτικών εγκαταστάσεων.	240
9.9	Βαλβίδες ανεπιστροφής.	241
9.10	Ασφαλιστικά επιστόμια.	242
9.11	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.	244
9.12	Θερμοστατικοί και πιεζοστατικοί διακόπτες.	248
9.12.1	Θερμοστάτες – Γενικά.	248
9.12.2	Πιεζοστάτες – Γενικά.	255
9.13	Διακόπτης με πλωτήρα.	258
9.14	Βαλβίδα παρακάμψεως θερμού αερίου.	259
9.15	Ρυθμιστής πίεσεως ατμοποίησης.	262
9.16	Ρυθμιστής πίεσεως στροφαλοθαλάμου.	266

Κεφάλαιο Δέκατο

Λειτουργία – Συντήρηση – Βλάβες ψυκτικών εγκαταστάσεων

10.1	Εισαγωγή.	267
10.2	Γενικές αρχές συντηρήσεως ψυκτικών εγκαταστάσεων.	268
10.3	Επιθεώρηση και συντήρηση συμπιεστή.	269
10.3.1	Συμπλήρωση με λάδι.	270
10.4	Ανίχνευση διαρροών ψυκτικού μέσου.	271
10.5	Εργαλεία τεχνικού ψύξεως-κλιματισμού.	274
10.6	Αποθήκευση ψυκτικού μέσου.	277
10.7	Εκκένωση της εγκαταστάσεως – Ανάκτηση ψυκτικού μέσου.	279
10.8	Εκκένωση του ατμοποιητή και της γραμμής υγρού.	281
10.9	Καθαρισμός της εγκαταστάσεως.	281
10.10	Δημιουργία κενού – Αφύγρανση της εγκαταστάσεως.	282
10.11	Πλήρωση με ψυκτικό μέσο.	285

10.11.1 Συμπλήρωση αερίου ψυκτικού μέσου.	286
10.11.2 Συμπλήρωση υγρού ψυκτικού μέσου.	286
10.12 Έλεγχος για ύπαρξη αέρα στο συμπυκνωτή – Απαερίωση.	288
10.13 Αντικατάσταση ψυκτικών μέσων.	288
10.14 Διάγνωση και αποκατάσταση βλαβών ψυκτικών εγκαταστάσεων.	290
10.15 Ρύθμιση θερμοστατικής βαλβίδας – Βλάβες και αποκατάσταση.	300

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ
ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ

Κεφάλαιο Ενδέκατο
Ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων

11.1 Γενικά.	304
11.2 Ψυκτική εγκατάσταση συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου.	304
11.2.1 Γενικά.	304
11.2.2 Περιγραφή ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως εφοδίων πλοίου.	306
11.3 Κλιματιστική εγκατάσταση εμπορικού πλοίου.	310
11.3.1 Γενικά.	310
11.3.2 Κύρια κλιματιστική εγκατάσταση εμπορικού πλοίου.	311
11.3.3 Αυτόνομη κλιματιστική μονάδα εμπορικού πλοίου.	317
11.4 Πλοία ψυγεία.	317
11.4.1 Περιγραφή πλοίου ψυγείου.	317
11.4.2 Συστήματα κυκλοφορίας αέρα.	319
11.4.3 Κατασκευή ψυκτικών θαλάμων.	321
11.4.4 Ψυκτική εγκατάσταση πλοίου ψυγείου.	322
11.4.5 Μεταφορά σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα.	327
11.4.6 Προστασία προϊόντων με τη χρήση όζοντος	329
11.5 Εμπορευματοκιβώτια ψυγεία (Refrigerated containers).	329
11.5.1 Τύποι εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων.	329
11.5.2 Ψυκτική αυτόνομη εγκατάσταση εμπορευματοκιβωτίου ψυγείου.	332
11.5.3 Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ψυγείων.	334
11.6 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένων υδρογονανθράκων.	337
11.6.1 Γενικά.	337
11.6.2 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).	338
11.6.3 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων παραγωγών πετρελαίου (LPG).	342
11.7 Ψυκτικές εγκαταστάσεις αλιευτικών πλοίων.	346
11.8 Ψυκτικοί αφυγραντήρες αέρα ελέγχου (control air refrigerated dehydrators).	349
11.9 Μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις	349

Κεφάλαιο Δωδέκατο
Βασικές αρχές κλιματισμού – Κλιματιστικές εγκαταστάσεις πλοίων

12.1 Εισαγωγή.	357
12.2 Γενικά περί κλιματισμού.	357
12.3 Το αίσθημα της θερμοκρασιακής ανέσεως.	359
12.4 Θερμότητα – Θερμοκρασία ξηρού βολβού.	361
12.5 Ειδική υγρασία.	362
12.6 Κορεσμένος αέρας.	362
12.7 Απόλυτη υγρασία.	363
12.8 Σχετική υγρασία.	363

12.9	Θερμοκρασία υγρού βολβού.	364
12.10	Θερμοκρασία δρόσου.	364
12.11	Ειδικός όγκος.	365
12.12	Ειδική ενθαλπία.	365
12.13	Ο ψυχρομετρικός χάρτης.	366
12.14	Αερισμός χώρων – Περιγραφή λειτουργίας εγκαταστάσεως αερισμού–κλιματισμού.	368
12.15	Κλιματιστικές εγκαταστάσεις χώρων ενδიაίτησεως πληρώματος-επιβατών.	372
12.15.1	Περιγραφή-λειτουργία κλιματιστικής εγκαταστάσεως με εργαζόμενο ψυκτικό μέσο R-22 (άμεση ψύξη).	376
12.15.2	Περιγραφή-λειτουργία κλιματιστικής εγκαταστάσεως με εργαζόμενο μέσο φρέον R-22 και ενδιάμεσο μέσο άλμη (έμμεση ψύξη).	378
12.16	Περιγραφή λειτουργίας αυτόνομης κλιματιστικής εγκαταστάσεως.	378
12.17	Ασκήσεις.	383

Παράρτημα 1 Μέθοδοι και εφαρμογές ψύξεως

Π.1.Α	Ψύξη με ξηρό πάγο	388
Π.1.Β	Ψύξη με ατμοποίηση υγρών.	389
Π.1.Γ	Θερμοπλεκτρική ψύξη.	391
Π.1.Δ	Ψύξη με απορρόφηση ατμών.	392
Π.1.Ε	Συντήρηση τροφίμων.	400

Παράρτημα 2 Ιδιότητες ψυκτικών μέσων

Π.2.Α	Ψυκτικά μέσα κατηγορίας Α (ασφαλή ως προς την τοξικότητα).	405
Π.2.Β	Αζεοτροπικά μείγματα κατηγορίας Α (μη τοξικά).	406
Π.2.Γ	Ζεοτροπικά μείγματα κατηγορίας Α (μη τοξικά).	409
Π.2.Δ	Ζεοτροπικά μείγματα αντικαταστάσεως του R-22.	409
Π.2.Ε	Ψυκτικά μέσα κατηγορίας Β (τοξικά).	411

Παράρτημα 3 Συμπιεστές ψυκτικών εγκαταστάσεων

Π.3.Α	Ελικόμορφοι συμπιεστές.	415
Π.3.Α.1	Ελικόμορφοι συμπιεστές δύο στροφείων.	415
Π.3.Α.2	Ελικόμορφοι συμπιεστές μονού στροφείου.	420
Π.3.Α.3	Λίπανση ελικομόρφων συμπιεστών.	422
Π.3.Α.4	Βαθμός αποδόσεως ελικομόρφων συμπιεστών.	423
Π.3.Β	Φυγοκεντρικοί συμπιεστές.	425

Παράρτημα 4 Τύποι και κατασκευή θερμοστατικών βαλβίδων

Π.4.Α	Κατασκευή – Τύποι θερμοστατικών εκτονωτικών βαλβίδων.	428
-------	---	-----

Παράρτημα 5 Μέρη και εξαρτήματα ψυκτικών εγκαταστάσεων

Π.5.Α	Σωληνώσεις ψυκτικών εγκαταστάσεων.	435
Π.5.Α.1	Διαστάσεις χαλκοσωλήνων ψυκτικών εγκαταστάσεων.	435
Π.5.Α.2	Υπολογισμός σωληνώσεων.	435
Π.5.Β	Αντλία ψυκτικού μέσου.	436

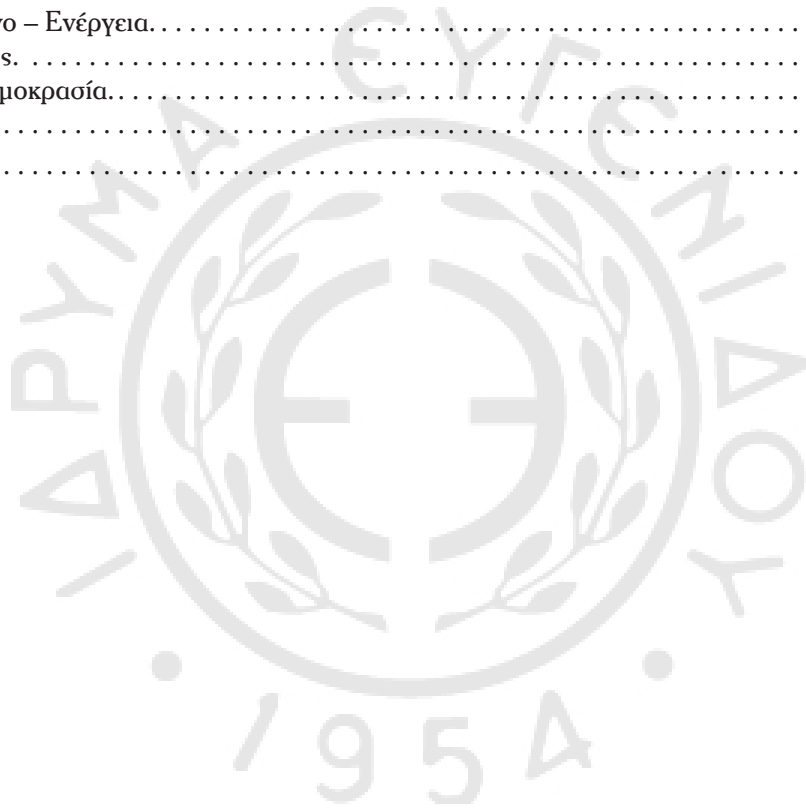
Παράρτημα 6 Ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων

Π.6.Α	Ψυκτική εγκατάσταση συντηρήσεως τροφίμων.	439
Π.6.Α.1	Συμπιεστής μονάδας συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου	439
Π.6.Α.2	Μονάδα συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου	440

Π.6.Α.3	Ελεγκτής αποχιονώσεως μονάδα συμπυκνώσεως ψυκτικής εγκαταστάσεως συντηρήσεως προμηθειών εμπορικού πλοίου.....	442
Π.6.Β	Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).....	442
Π.6.Β.1	Επανυγροποίηση ατμών σε πλοία.....	442

Παράρτημα 7 Μονάδες μετρήσεως μεγεθών

Π.7.Α	Γενικά.....	444
Π.7.Β	Διεθνές και αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων – Βασικές μονάδες μετρήσεως	444
Π.7.Β.1	Μήκος.....	445
Π.7.Β.2	Μάζα.....	445
Π.7.Γ	Μονάδες μετρήσεως παραγώγων μεγεθών στο διεθνές και στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων..	446
Π.7.Γ.1	Παροχή όγκου και παροχή μάζας.....	446
Π.7.Γ.2	Επιτάχυνση – δύναμη – βάρος.....	447
Π.7.Γ.3	Πίεση.....	448
Π.7.Γ.4	Έργο – Ενέργεια.....	449
Π.7.Γ.5	Ισχύς.....	451
Π.7.Γ.6	Θερμοκρασία.....	452
Βιβλιογραφία	455
Περιεχόμενα	456





*«Dunedin» το πρώτο, παγκοσμίως, πλοίο που
χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά φορτίου υπό ψύξη,
εθνικότητας Νέας Ζηλανδίας*

Ελαιογραφία, Frederick Tudgay (1876)