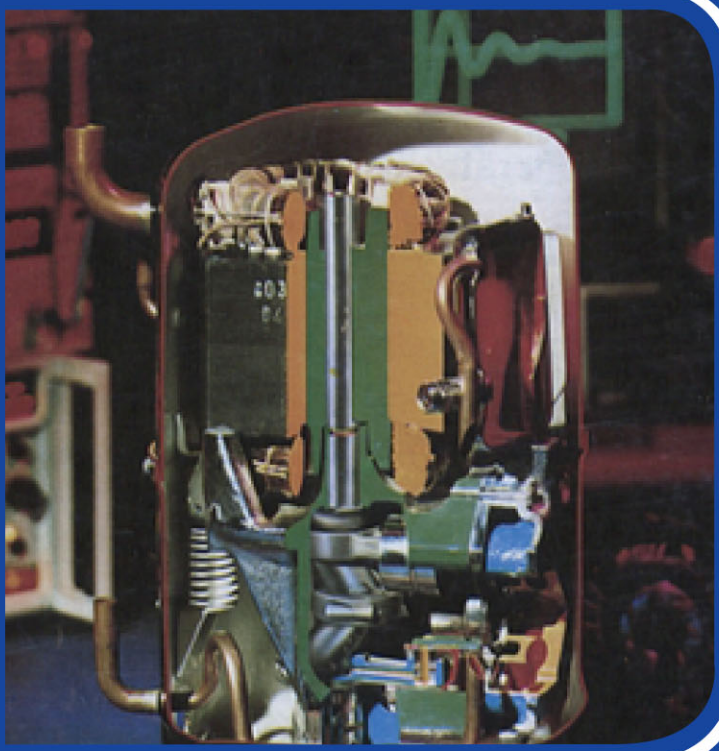
ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Δημήτριου Α. Κουρεμένου
ΤΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

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

Την πεποίθησή του αυτή τη 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, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το εργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης.

Κατά την κλιμάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα πρόταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διαπιστώθηκε 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.

Ειδικοτερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδεύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές.

Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61288/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και συγκροτήθηκε και η Επιτροπή Εκδόσεων.

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι σύμφωνο με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του Υ.Ε.Ν. είναι η παροχή προς τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

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

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 και τα

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

βιβλία αυτά έχουν προσεγμένη γλωσσική διατύπωση και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαιδεύσεως, για την οποία προορίζεται κάθε σειρά των βιβλίων.

Έτσι προσφέρονται στους καθηγητές, τους σπουδαστές της ναυτικής μας εκπαιδεύσεως και όλους τους αξιωματικούς του Ε.Ν. οι εκδόσεις του Ιδρύματος, των οποίων η συμβολή στην πραγματοποίηση του σκοπού του Ευγενίου Ευγενίδου ελπίζεται να είναι μεγάλη.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.
Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιως, Αντιπρόεδρος.
Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.
Στεφανάκης Ι., πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. Υ.Ε.Ν.
Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Α. ΚΟΥΡΕΜΕΝΟΥ
ΤΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ
2003

Α' ΕΚΔΟΣΗ 1980

Β' ΕΚΔΟΣΗ 1985

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται προς την τεχνική μέση εκπαίδευση. Σκοπεύει να δώσει τις βασικές θεωρητικές και τεχνολογικές γνώσεις γύρω από τη λειτουργία και σύνθεση των ψυκτικών διατάξεων.

Οι γνώσεις αυτές κατατάσσονται σε δύο μέρη: Το πρώτο περιλαμβάνει τις θεωρητικές γνώσεις, δηλαδή μέρη από τη θερμοδυναμική, τη γνώση των ψυκτικών μέσων και τη μετάδοση θερμότητας. Το δεύτερο περιέχει τη τεχνολογική περιγραφή των κυρίων τμημάτων των συνηθισμένων ψυκτικών διατάξεων.

Και στα δύο μέρη του βιβλίου εξετάζονται οι ψυκτικές διατάξεις με μηχανική συμπίεση ατμού ως ψυκτικού μέσου. Οι διατάξεις αυτές είναι οι πιο συνηθισμένες στην πράξη. Άλλες διατάξεις, όπως μηχανές με απορρόφηση, με συμπίεση αερίου/αέρα, με θερμοηλεκτρικό φαινόμενο κλπ. δεν εξετάζονται, επειδή δεν εφαρμόζονται τόσο συχνά.

Το σύστημα μονάδων το οποίον χρησιμοποιείται είναι τό Διεθνές. Υπάρχουν όμως πολλοί πίνακες καθώς και διαγράμματα τα οποία είναι εκφρασμένα στο παλαιό μετρικό σύστημα (kcal) και στο αγγλοσαξωνικό (BTu, °F κλπ.). Η χρησιμοποίησή τους είναι αναπόφευκτη, επειδή ακόμη δεν έχουν γίνει όλες οι σχετικές μετατροπές, και δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα στο Διεθνές σύστημα.

Ο συγγραφέας

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

1.1 Γενικά.

Όλες οι ψυκτικές διατάξεις έχουν ως σκοπό την ***αφαίρεση*** ποσού ***θερμότητας*** από μάζα η οποία, συνήθως, είναι περισσότερο κρύα από τον ατμοσφαιρικό αέρα του περιβάλλοντος.

Υπάρχουν:

- Μικρές ψυκτικές διατάξεις, όπως π.χ. το ψυγείο της κουζίνας στο οποίο διατηρούνται τα τρόφιμα.
- Μεγάλες ψυκτικές διατάξεις, όπως π.χ. αυτές που εξυπηρετούν αποθήκες-ψυγεία.
- Πολύ μεγάλες ψυκτικές διατάξεις, όπως αυτές που εξυπηρετούν βιομηχανίες καταψύξεως τροφίμων ή βιομηχανίες χημικών προϊόντων.

Ανεξάρτητα από το μέγεθος της εγκαταστάσεως, ο τρόπος και η αρχή λειτουργίας των ψυκτικών διατάξεων είναι βασικά ο ίδιος. Αλλάζει μόνο το μέγεθος των μηχανών, των συσκευών και των σωληνώσεων, καθώς και ο αριθμός των εξαρτημάτων και διατάξεων αυτοματισμού και προστασίας.

Για να κατανοήσει κανείς τη λειτουργία της ψυκτικής διατάξεως πρέπει να γνωρίζει ορισμένες βασικές έννοιες από τη ***Θερμοδυναμική.*** Οι βασικές αυτές έννοιες είναι:

- Η θερμοκρασία.
- Η θερμότητα.
- Η αρχή διατηρήσεως ενέργειας.
- Το μηχανικό έργο.

Για την εκτίμηση του ***μεγέθους*** των απαιτουμένων μηχανών και συσκευών, δεν αρκεί η γνώση των παραπάνω εννοιών. Απαιτούνται και γνώσεις από τη ***Μετάδοση θερμότητας.*** Για το λόγο αυτό στο βιβλίο αναπτύσσονται και βασικές έννοιες από τη Μετάδοση θερμότητας. Επίσης αναπτύσσονται και βασικές έννοιες που αφορούν θερμοδυναμικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν τα διάφορα υγρά - αέρια. Με αυτά λειτουργούν οι ψυκτικές διατάξεις και γι' αυτό ονομάζονται, ***ψυκτικά***

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

μέσα. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα για την εκλογή του κατάλληλου ψυκτικού μέσου για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Στο πρώτο μέρος του βιβλίου αναπτύσσονται οι βασικές έννοιες από τη Θερμοδυναμική, τη Μετάδοση θερμότητας και τις Ιδιότητες των ψυκτικών μέσων. Η γνώση των ιδιοτήτων κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση της λειτουργίας των ψυκτικών διατάξεων.

Στο δεύτερο μέρος του βιβλίου περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας των βασικότερων μηχανών, συσκευών και οργάνων που χρησιμοποιούνται στις ψυκτικές διατάξεις.

Για να λειτουργήσει οποιαδήποτε ψυκτική διάταξη απαιτείται κατανάλωση ενέργειας. Στις πιο συνηθισμένες ψυκτικές διατάξεις, απαιτείται μηχανική ενέργεια για την κίνηση του συμπιεστή της εγκαταστάσεως. Υπάρχουν όμως ειδικές διατάξεις οι οποίες για να λειτουργήσουν, απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας, όπως π.χ. θερμική, ηλεκτρική ή χημική. Στο βιβλίο αυτό εξετάζονται οι συνηθισμένες ψυκτικές διατάξεις οι οποίες λειτουργούν με την κατανάλωση μηχανικής ενέργειας.

Η αφαίρεση ποσών θερμότητας από τη μάζα, έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη της μάζας, δηλαδή τή ***μείωση της θερμοκρασίας*** της. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η αφαίρεση θερμότητας δεν αλλάζει τη θερμοκρασία της ψυχόμενης μάζας, αλλά την κατάστασή της, π.χ. η αλλαγή του νερού σε πάγο.

Η έννοια της θερμοκρασίας είναι βασική για όλη την τεχνολογία των ψυκτικών διατάξεων και γι' αυτό εξετάζεται διεξοδικά ως πρώτο θεμελιώδες μέγεθος.

1.2 Θερμοκρασία.

Σε όλους τους κλάδους των επιστημών υπάρχουν ορισμένες βασικές έννοιες οι οποίες θεωρούνται μεν αυτονόητες, αλλά δεν μπορούν να ορισθούν με αυστηρά επιστημονικό τρόπο. Στη θερμοδυναμική τέτοια βασική έννοια είναι η έννοια της θερμοκρασίας.

Μπορεί να εξηγήσει κανείς τι περίπου είναι η θερμοκρασία και πως χρησιμοποιείται. Δεν μπορεί όμως να δώσει έναν αυστηρό ορισμό του τι ακριβώς είναι η θερμοκρασία.

Η έννοια του μεγέθους «θερμοκρασία» είναι αισθητή στον άνθρωπο από τα ειδικά αισθητήρια όργανα τα οποία διαθέτει το σώμα του. Όταν πιάνει κανείς ένα κομμάτι πάγο, εκτός από την αίσθηση της αφής έχει και αίσθηση κάποιου άλλου μεγέθους. Αντιλαμβάνεται δηλαδή ότι το κομμάτι του πάγου είναι ***κρύο.*** Όταν αγγίζει ένα δοχείο επάνω στη φωτιά εκτός από την αίσθηση της αφής αντιλαμβάνεται ότι το δοχείο είναι ***ζεστό.*** Μια πρώτη επομένως κατάταξη των διαφόρων αντικειμένων είναι σε κρύα και σε ζεστά.

Η κατάταξη όμως αυτή δεν είναι ικανοποιητική, γιατί τα αισθητήρια του σώματος καταστρέφονται όταν έλθουν σε επαφή με πολύ ζεστά ή πολύ κρύα αντικείμενα. Εκτός από αυτό η κατάταξη σε ζεστό-κρύο είναι πολλές φορές υποκειμενική.

Για να καθορισθεί μονοσήμαντα και αντικειμενικά το μέγεθος ***κρύο-ζεστό*** είναι απαραίτητη η εισαγωγή της έννοιας: Θερμοκρασία. Είναι επίσης απαραίτητη και η εισαγωγή κατάλληλης μονάδας μετρήσεως της θερμοκρασίας καθώς επίσης και η εισαγωγή αντιστοίχων οργάνων μετρήσεως.

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι:

Θερμοκρασία είναι η ιδιότητα ενός σώματος η οποία μας δείχνει πόσο ζεστό ή κρύο είναι το σώμα αυτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο πιο ζεστό είναι το σώμα και αντίθετα.

1.3 Κλίμακα θερμοκρασιών.

Πολλές φυσικές ιδιότητες ή μεγέθη των διαφόρων σωμάτων αλλάζουν όταν αλλάζει η θερμοκρασία του σώματος.

Άλλες από τις αλλαγές αυτές είναι γνωστές πριν από πολλές εκατονταετίες, άλλες έγιναν γνωστές σχετικά πολύ πρόσφατα. Η διαστολή π.χ. του όγκου των στερεών και υγρών σωμάτων με την αύξηση της θερμοκρασίας και η συστολή του όγκου με την ελάττωση της θερμοκρασίας, είναι γνωστές πριν από πάρα πολλά χρόνια.

Επειδή η αλλαγή του όγκου είναι αποτέλεσμα της αλλαγής της θερμοκρασίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσομε τη μέτρηση της αλλαγής του όγκου του σώματος για την αντίστοιχη μέτρηση αλλαγής της θερμοκρασίας.

Για να γίνει μια οποιαδήποτε μέτρηση πρέπει να υπάρχει πρωταρχικά η μονάδα μετρήσεως και φυσικά, όταν πρόκειται για φυσικό μέγεθος, και το αντίστοιχο όργανο μετρήσεως. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς πολλές διαφορετικές μονάδες μετρήσεως. Σήμερα χρησιμοποιείται μόνο μία: η μονάδα της ***εκατονταβάθμιας κλίμακας*** ή ***κλίμακας Κελσίου.***

Στις Η.Π.Α., κατ' εξαίρεση, χρησιμοποιείται ακόμα στις τεχνολογικές εφαρμογές ως μονάδα μετρήσεως και η κλίμακα θερμοκρασίας ***Φαρενάϊτ,*** που όμως άρχισε να καταργείται σιγά-σιγά.

Όπως ήδη έχομε αναφέρει, η μέτρηση της θερμοκρασίας ανάγεται τελικά στη μέτρηση κάποιου άλλου μεγέθους το οποίο μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Για να γίνει όμως σωστή μέτρηση πρέπει να συντρέχουν αρκετές προϋποθέσεις. Ας εξετασθεί ως παράδειγμα η διαστολή ενός υγρού σώματος. Είναι γνωστά σε όλους τα θερμόμετρα υγρού, δηλαδή τα όργανα τα οποία μετρούν τη θερμοκρασία με τη βοήθεια της διαστολής του όγκου ενός υγρού, συνήθως υδραργύρου. Για να χαραχθεί επάνω στο όργανο μια ***γραμμική κλίμακα*** θερμοκρασιών, δηλαδή για να μεταβάλλεται το μήκος της υγρής στήλης ακριβώς ανάλογα με τη θερμοκρασία, θα πρέπει ο υδράργυρος ή το οποιοδήποτε άλλο υγρό, να έχει συντελεστή διαστολής σταθερό και ανεξάρτητο από τη θερμοκρασία του υγρού.

Δυστυχώς όμως δεν υπάρχουν υλικά σώματα τα οποία ανταποκρίνονται ακριβώς στην απαίτηση αυτή και συνεπώς, αν κατασκευασθεί ένα θερμόμετρο υγρού, μέ οποιοδήποτε υγρό και αν γεμίσει, δεν θα εμφανίζει ***γραμμική κλίμακα.***

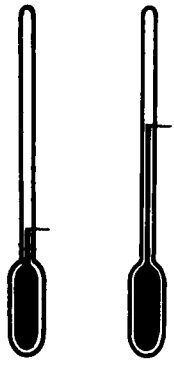
Αυτό θα γίνει πιο κατανοητό αν εξετάσομε πρώτα το πως γίνεται η βαθμονόμηση της κλίμακας. Ας πούμε έστω ότι πρέπει να βαθμονομηθεί ένα θερμόμετρο (σχ. 1.3α). Σε χαμηλή θερμοκρασία η στήλη συστέλλεται, όπως στο αριστερό μέρος του σχήματος, και σε υψηλότερη διαστέλλεται, όπως στο δεξιό μέρος.

Για να υπάρξει ομοιομορφία στη βαθμονόμηση, πρέπει να παραδεχθούμε ότι:

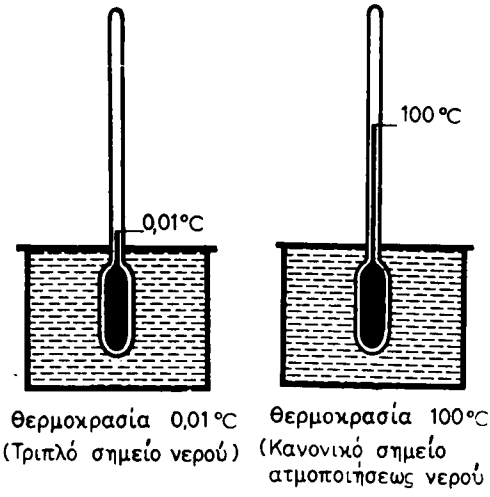
- Η θερμοκρασία του «κανονικού σημείου» ατμοποιήσεως του καθαρού νερού υπό πίεση 760 mm υδραργύρου είναι 100°C.
- Η θερμοκρασία του «τριπλού σημείου» του καθαρού νερού είναι 0,01°C.

Τριπλό σημείο ενός σώματος είναι η ***θερμοκρασία*** όπου συνυπάρχουν το ***στε-***

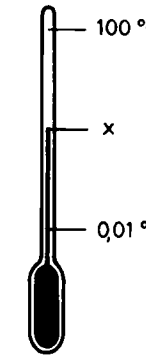
ρεό, το ***υγρό*** και ο ***ατμός*** του σώματος. Για καθαρό νερό το σημείο αυτό δεν είναι οι 0°C, αλλά η θερμοκρασία 0,01°C.



Σχ. 1.3α.
Γυάλινα θερμόμετρα.



Σχ. 1.3β.
Βαθμονόμηση θερμομέτρου με υνοό.



Σχ. 1.3γ.
Βαθμονομημενο θερμόμετρο σε ενδιάμεση θερμοκρασία.

Στο σχήμα 1.3β φαίνεται η βαθμονόμηση ενός θερμομέτρου με υγρό. Στο αριστερό μέρος τοποθετείται, σε ένα δοχείο με θερμοκρασία τριπλού σημείου νερού και χαράζεται η ένδειξη 0,01°C. Στο δεξιό μέρος τοποθετείται σε ένα δοχείο με μίγμα νερού και ατμού υπό πίεση 760 mm στήλης υδραργύρου και χαράζεται η ένδειξη 100°C. Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση εμφανίζεται η κατάσταση του σχήματος 1.3γ.

Όταν θερμόμετρο βρίσκεται σε κάποια θερμοκρασία μεταξύ των θερμοκρασιών βαθμονομήσεως 100°C και 0,01°C, ποια είναι η θερμοκρασία στη θέση x;

Παλιότερα γινόταν ***ισοδιαίρεση*** του μήκους μεταξύ των δύο ακραίων σημείων. Η μέθοδος όμως αυτή δίνει μόνο ***εμπειρική*** κλίμακα θερμοκρασίας γιατί η κλίμακα εξαρτάται από το συντελεστή διαστολής του υγρού που χρησιμοποιείται. Επομένως πρέπει να βρεθεί μια κλίμακα θερμοκρασίας ανεξάρτητη από τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η έρευνα στην κατεύθυνση αυτή οδήγησε στη χρήση της κλίμακας του ***τέλειου αερίου.*** Το τέλειο αέριο δεν υπάρχει στην πραγματικότητα, είναι κατασκεύασμα νοητό. Έχει την ιδιότητα όταν βρίσκεται υπό σταθερή πίεση να αλλάζει τον όγκο του ακριβώς ανάλογα με τη θερμοκρασία. Είναι συνεπώς κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί για τα θερμόμετρα. Το κακό όμως είναι ότι δεν υπάρχει στη φύση, αλλά μόνο στα βιβλία. Ευτυχώς όμως ορισμένα αέρια όπως το H_2, He και N_2 στις συνθήκες περιβάλλοντος συμπεριφέρονται με τρόπο που πλησιάζει τις ιδιότητες του τέλειου αερίου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή θερμομέτρων.

Όπως είναι γνωστό από τη Θερμοδυναμική, η θερμοκρασία κάθε σώματος

φθάνει ως ένα κατώτατο όριο που είναι κοινό για όλα τα σώματα. Το κοινό αυτό κατώτατο όριο θερμοκρασίας ονομάζεται ***απόλυτο μηδέν*** θερμοκρασίας και βρίσκεται στους:

− 273,15 °C	(απόλυτο μηδέν)

Επειδή στην Ελλάδα σε εφαρμογές ψύξεως ή κλιματισμού χρησιμοποιούνται ακόμα οι βαθμοί Φαρενάϊτ, δίνεται ο Πίνακας 1.3.1 ο οποίος δείχνει την αντιστοιχία βαθμών Φαρενάϊτ και εκατονταβάθμιας κλίμακας. Στην κλίμακα Φαρενάϊτ το σημείο που παγώνει το νερό έχει +32°F και το κανονικό σημείο ατμοποιήσεως +212°F.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
− 40,0	− 40	− 40,0	− 26,1	− 15	+ 5,0
− 39,4	− 39	− 38,2	− 25,6	− 14	+ 6,8
− 38,9	− 38	− 36,4	− 25,0	− 13	+ 8,6
− 38,3	− 37	− 34,6	− 24,4	− 12	+ 10,4
− 37,8	− 36	− 32,8	− 23,9	− 11	+ 12,2
− 37,2	− 35	− 31,0	− 23,3	− 10	+ 14,0
− 36,7	− 34	− 29,2	− 22,8	− 9	+ 15,8
− 36,1	− 33	− 27,4	− 22,2	− 8	+ 17,6
− 35,6	− 32	− 25,6	− 21,7	− 7	+ 19,4
− 35,0	− 31	− 23,8	− 21,1	− 6	+ 21,2
− 34,4	− 30	− 22,0	− 20,6	− 5	+ 23,0
− 33,9	− 29	− 20,2	− 20,0	− 4	+ 24,8
− 33,3	− 28	− 18,4	− 19,4	− 3	+ 26,6
− 32,8	− 27	− 16,6	− 18,9	− 2	+ 28,4
− 32,2	− 26	− 14,8	− 18,3	− 1	+ 30,2
− 31,7	− 25	− 13,0	− 17,8	0	+ 32,0
− 31,1	− 24	− 11,2	− 17,2	+ 1	+ 33,8
− 30,6	− 23	− 9,4	− 16,7	+ 2	+ 35,6
− 30,0	− 22	− 7,6	− 16,1	+ 3	+ 37,4
− 29,4	− 21	− 5,8	− 15,6	+ 4	+ 39,2
− 28,9	− 20	− 4,0	− 15,0	+ 5	+ 41,0
− 28,3	− 19	− 2,2	− 14,4	+ 6	+ 42,8
− 27,8	− 18	− 0,4	− 13,9	+ 7	+ 44,6
− 27,2	− 17	+ 1,4	− 13,3	+ 8	+ 46,4
− 26,7	− 16	+ 3,2	− 12,8	+ 9	+ 48,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
− 12,2	+ 10	+ 50,0	+ 10,0	+ 50	+ 122,0
− 11,7	+ 11	+ 51,8	+ 10,6	+ 51	+ 123,8
− 11,1	+ 12	+ 53,6	+ 11,1	+ 52	+ 125,6
− 10,6	+ 13	+ 55,4	+ 11,7	+ 53	+ 127,4
− 10,0	+ 14	+ 57,2	+ 12,2	+ 54	+ 129,2
− 9,4	+ 15	+ 59,0	+ 12,8	+ 55	+ 131,0
− 8,9	+ 16	+ 60,8	+ 13,3	+ 56	+ 132,8
− 8,3	+ 17	+ 62,6	+ 13,9	+ 57	+ 134,6
− 7,8	+ 18	+ 64,4	+ 14,4	+ 58	+ 136,4
− 7,2	+ 19	+ 66,2	+ 15,0	+ 59	+ 138,2
− 6,7	+ 20	+ 68,0	+ 15,6	+ 60	+ 140,0
− 6,1	+ 21	+ 69,8	+ 16,1	+ 61	+ 141,8
− 5,5	+ 22	+ 71,6	+ 16,7	+ 62	+ 143,6
− 5,0	+ 23	+ 73,4	+ 17,2	+ 63	+ 145,4
− 4,4	+ 24	+ 75,2	+ 17,8	+ 64	+ 147,2
− 3,9	+ 25	+ 77,0	+ 18,3	+ 65	+ 149,0
− 3,3	+ 26	+ 78,8	+ 18,9	+ 66	+ 150,8
− 2,8	+ 27	+ 80,6	+ 19,4	+ 67	+ 152,6
− 2,2	+ 28	+ 82,4	+ 20,0	+ 68	+ 154,4
− 1,7	+ 29	+ 84,2	+ 20,6	+ 69	+ 156,2
− 1,1	+ 30	+ 86,0	+ 21,1	+ 70	+ 158,0
− 0,6	+ 31	+ 87,8	+ 21,7	+ 71	+ 159,8
0	+ 32	+ 89,6	+ 22,2	+ 72	+ 161,6
+ 0,6	+ 33	+ 91,4	+ 22,8	+ 73	+ 163,4
+ 1,1	+ 34	+ 93,2	+ 23,3	+ 74	+ 165,2
+ 1,7	+ 35	+ 95,0	+ 23,9	+ 75	+ 167,0
+ 2,2	+ 36	+ 96,8	+ 24,2	+ 76	+ 168,8
+ 2,8	+ 37	+ 98,6	+ 25,0	+ 77	+ 170,6
+ 3,3	+ 38	+ 100,4	+ 25,6	+ 78	+ 172,4
+ 3,9	+ 39	+ 102,2	+ 26,1	+ 79	+ 174,2
+ 4,4	+ 40	+ 104,0	+ 26,7	+ 80	+ 176,0
+ 5,0	+ 41	+ 105,8	+ 27,2	+ 81	+ 177,8
+ 5,5	+ 42	+ 107,6	+ 27,8	+ 82	+ 179,6
+ 6,1	+ 43	+ 109,4	+ 28,3	+ 83	+ 181,4
+ 6,7	+ 44	+ 111,2	+ 28,9	+ 84	+ 183,2
+ 7,2	+ 45	+ 113,0	+ 29,4	+ 85	+ 185,0
+ 7,8	+ 46	+ 114,8	+ 30,0	+ 86	+ 186,8
+ 8,3	+ 47	+ 116,6	+ 30,6	+ 87	+ 188,6
+ 8,9	+ 48	+ 118,4	+ 31,1	+ 88	+ 190,4
+ 9,4	+ 49	+ 120,2	+ 31.7	+ 89	+ 192,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
+ 32,2	+ 90	+ 194,0	+ 54,4	+ 130	+ 266,0
+ 32,8	+ 91	+ 195,8	+ 55,0	+ 131	+ 267,8
+ 33,3	+ 92	+ 197,6	+ 55,6	+ 132	+ 269,6
+ 33,9	+ 93	+ 199,4	+ 56,1	+ 133	+ 271,4
+ 34,3	+ 94	+ 201,2	+ 56,7	+ 134	+ 273,2
+ 35,0	+ 95	+ 203,0	+ 57,2	+ 135	+ 275,0
+ 35,6	+ 96	+ 204,8	+ 57,8	+ 136	+ 276,8
+ 36,1	+ 97	+ 206,6	+ 58,3	+ 137	+ 278,6
+ 36,7	+ 98	+ 208,4	+ 58,9	+ 138	+ 280,4
+ 37,2	+ 99	+ 210,2	+ 59,4	+ 139	+ 282,2
+ 37,8	+ 100	+ 212,0	+ 60,0	+ 140	+ 282,0
+ 38,3	+ 101	+ 213,8	+ 60,6	+ 141	+ 285,8
+ 38,9	+ 102	+ 215,6	+ 61,1	+ 142	+ 287,6
+ 39,4	+ 103	+ 217,4	+ 61,7	+ 143	+ 289,4
+ 40,0	+ 104	+ 219,2	+ 62,2	+ 144	+ 291,2
+ 40,6	+ 105	+ 221,0	+ 62,8	+ 145	+ 293,0
+ 41,1	+ 106	+ 222,8	+ 63,3	+ 146	+ 294,8
+ 41,7	+ 107	+ 224,6	+ 63,9	+ 147	+ 296,6
+ 42,2	+ 108	+ 226,4	+ 64,4	+ 148	+ 298,4
+ 42,8	+ 109	+ 228,2	+ 65,0	+ 149	+ 300,2
+ 43,3	+ 110	+ 230,0	+ 65,6	+ 150	+ 302,0
+ 43,9	+ 111	+ 231,8	+ 66,1	+ 151	+ 303,8
+ 44,4	+ 112	+ 233,6	+ 66,7	+ 152	+ 305,6
+ 45,0	+ 113	+ 235,4	+ 67,2	+ 153	+ 307,4
+ 45,6	+ 114	+ 237,2	+ 67,8	+ 154	+ 309,2
+ 46,1	+ 115	+ 239,0	+ 68,3	+ 155	+ 311,0
+ 46,7	+ 116	+ 240,8	+ 68,9	+ 156	+ 312,8
+ 47,2	+ 117	+ 242,6	+ 69,4	+ 157	+ 314,6
+ 47,8	+ 118	+ 244,4	+ 70,0	+ 158	+ 316,4
+ 48,3	+ 119	+ 246,2	+ 70,6	+ 159	+ 318,2
+ 48,9	+ 120	+ 248,0	+ 71,1	+ 160	+ 320,0
+ 49,4	+ 121	+ 249,8	+ 71,7	+ 161	+ 321,8
+ 50,0	+ 122	+ 251,6	+ 72,2	+ 162	+ 323,6
+ 50,6	+ 123	+ 253,4	+ 72,8	+ 163	+ 325,4
+ 51,1	+ 124	+ 255,2	+ 73,3	+ 164	+ 327,2
+ 51,7	+ 125	+ 257,0	+ 73,9	+ 165	+ 329,0
+ 52,2	+ 126	+ 258,8	+ 74,4	+ 166	+ 330,8
+ 52,8	+ 127	+ 260,6	+ 75,0	+ 167	+ 332,6
+ 53,3	+ 128	+ 262,4	+ 75,6	+ 168	+ 334,4
+ 53,9	+ 129	+ 264,2	+ 76,1	+ 169	+ 336,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
+ 76,7	+ 170	+ 338,0	+ 98,9	+ 210	+ 410,0
+ 77,2	+ 171	+ 339,8	+ 99,4	+ 211	+ 411,8
+ 77,8	+ 172	+ 341,6	+ 100,0	+ 212	+ 413,6
+ 78,3	+ 173	+ 343,4	+ 100,6	+ 213	+ 415,4
+ 78,9	+ 174	+ 345,2	+ 101,1	+ 214	+ 417,2
+ 79,4	+ 175	+ 347,0	+ 101,7	+ 215	+ 419,0
+ 80,0	+ 176	+ 348,8	+ 102,2	+ 216	+ 420,8
+ 80,6	+ 177	+ 350,6	+ 102,8	+ 217	+ 422,6
+ 81,1	+ 178	+ 352,4	+ 103,3	+ 218	+ 424,4
+ 81,7	+ 179	+ 354,2	+ 103,9	+ 219	+ 426,2
+ 82,2	+ 180	+ 356,0	+ 104,4	+ 220	+ 428,0
+ 82,8	+ 181	+ 375,8	+ 105,0	+ 221	+ 429,8
+ 83,3	+ 182	+ 359,6	+ 105,6	+ 222	+ 431,6
+ 83,9	+ 183	+ 361,4	+ 106,1	+ 223	+ 433,4
+ 84,4	+ 184	+ 363,2	+ 106,7	+ 224	+ 435,2
+ 85,0	+ 185	+ 365,0	+ 107,2	+ 225	+ 437,0
+ 85,6	+ 186	+ 366,8	+ 107,8	+ 226	+ 438,8
+ 86,1	+ 187	+ 368,6	+ 108,3	+ 227	+ 440,6
+ 86,7	+ 188	+ 370,4	+ 108,9	+ 228	+ 442,4
+ 87,2	+ 189	+ 372,2	+ 109,4	+ 229	+ 444,2
+ 87,8	+ 190	+ 374,0	+ 110,0	+ 230	+ 446,0
+ 88,3	+ 191	+ 375,8	+ 110,6	+ 231	+ 447,8
+ 88,9	+ 192	+ 377,6	+ 111,1	+ 232	+ 449,6
+ 89,4	+ 193	+ 379,4	+ 111,7	+ 233	+ 451,4
+ 90,0	+ 194	+ 381,2	+ 112,2	+ 234	+ 453,2
+ 90,6	+ 195	+ 383,0	+ 112,8	+ 235	+ 455,0
+ 91,1	+ 196	+ 384,8	+ 113,3	+ 236	+ 456,8
+ 91,7	+ 197	+ 386,6	+ 113,9	+ 237	+ 458,6
+ 92,2	+ 198	+ 388,4	+ 114,4	+ 238	+ 460,4
+ 92,8	+ 199	+ 390,2	+ 115,0	+ 239	+ 462,2
+ 93,3	+ 200	+ 392,0	+ 115,6	+ 240	+ 464,0
+ 93,9	+ 201	+ 393,8	+ 116,1	+ 241	+ 465,8
+ 94,4	+ 202	+ 395,6	+ 116,7	+ 242	+ 467,6
+ 95,0	+ 203	+ 397,4	+ 117,2	+ 243	+ 469,4
+ 95,6	+ 204	+ 399,2	+ 117,8	+ 244	+ 471,2
+ 96,1	+ 205	+ 401,0	+ 118,3	+ 245	+ 473,0
+ 96,7	+ 206	+ 402,8	+ 118,9	+ 246	+ 474,8
+ 97,2	+ 207	+ 404,6	+ 119,4	+ 247	+ 476,6
+ 94,8	+ 208	+ 406,4	+ 120,0	+ 248	+ 478,4
+ 98,3	+ 209	+ 408,2	+ 120,6	+ 249	+ 480,2

(συνεχίζεται)

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιων °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
+ 121,1	+ 250	+ 482,0	+ 137,8	+ 280	+ 536,0
+ 122,4	+ 252	+ 485,6	+ 138,9	+ 282	+ 539,6
+ 123,3	+ 254	+ 489,2	+ 140,0	+ 284	+ 543,2
+ 124,4	+ 256	+ 492,8	+ 141,1	+ 286	+ 546,8
+ 125,5	+ 258	+ 496,4	+ 142,2	+ 288	+ 550,4
+ 126,7	+ 260	+ 500,0	+ 143,3	+ 290	+ 554,0
+ 127,8	+ 262	+ 503,6	+ 144,4	+ 292	+ 557,6
+ 128,9	+ 264	+ 507,2	+ 145,6	+ 294	+ 561,2
+ 130,0	+ 266	+ 510,8	+ 146,7	+ 296	+ 564,8
+ 131,3	+ 268	+ 514,4	+ 147,8	+ 298	+ 568,4
+ 132,2	+ 270	+ 518,0			
+ 133,3	+ 272	+ 521,6			
+ 134,4	+ 274	+ 525,2			
+ 135,6	+ 276	+ 528,8			
+ 136,7	+ 278	+ 532,4			

1.4 Μέτρηση θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία είναι το μέγεθος το οποίο μετρείται περισσότερο από όλα τα άλλα μεγέθη. Η μέτρησή της παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον και έχει εφαρμογές σε όλους τους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας, μέχρι και πριν από λίγες δεκαετίες, γινόταν με τα κλασικά γυάλινα θερμόμετρα υγρού. Τα θερμόμετρα αυτά έχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια μετρήσεως, αλλά είναι εύθραυστα και δεν έχουν τηλένδειξη.

Τα γυάλινα θερμόμετρα υγρού δεν εξυπηρετούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, όταν η εγκατάσταση έχει μεγάλη έκταση, όπως π.χ. σε αίθουσες θαλάμων - ψυγείων ή σε ένα εργοστάσιο με πολλά μηχανήματα.

Ακόμα, εκτός από την ανάγνωση, δεν δίνουν άλλου είδους σήματα τα οποία χρειάζονται π.χ. οι θερμοστάτες, οι διατάξεις ρυθμίσεως κλπ.

Για να εκπληρωθούν οι ανάγκες της σημερινής τεχνολογίας έχουν χρησιμοποιηθεί θερμόμετρα με αρχές λειτουργίας διαφορετικές από τα γυάλινα θερμόμετρα υγρού. Οι πιο σημαντικές από αυτές οδήγησαν στην κατασκευή θερμομέτρων όπως είναι τα:

- Θερμόμετρα υγρού.
- Θερμοηλεκτρικά στοιχεία.
- Θερμόμετρα αντιστάσεως.
- Θερμίστορς.
- Θερμόμετρα με υπέρυθρη ακτινοβολία.
- Διμεταλλικά θερμόμετρα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Όλα, εκτός από τα θερμόμετρα υγρού μπορούν να δώσουν τηλένδειξη και να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση και τον έλεγχο διατάξεων. Αλλά και ειδικές κατασκευές θερμομέτρων υγρού δίνουν τηλένδειξη ή την ένδειξη επιτεύξεως ή υπερβάσεως τοποθετηθέντος ορίου θερμοκρασίας.

1.5 Εσωτερική ενέργεια.

Η ***θερμότητα είναι μορφή μεταφερόμενης ενέργειας*** και δεν πρέπει να συγχέεται με τη θερμοκρασία.

Η διαφορά της έννοιας θερμότητα και θερμοκρασία έγινε γνωστή μόλις τον περασμένο αιώνα. Με τις σημερινές γνώσεις είναι δυνατόν να δοθεί ένας αυστηρά επιστημονικός ορισμός της έννοιας θερμότητα. Πρέπει όμως προηγουμένως να διευκρινισθούν δύο άλλες έννοιες:

– Η έννοια του αδιαβατικού ορίου και
– Η έννοια της εσωτερικής ενέργειας.

Στη Θερμοδυναμική γίνεται συχνά χρήση της έννοιας ***σύστημα.*** Σύστημα είναι ***μια ορισμένη ποσότητα ύλης*** η οποία μπορεί να εξετασθεί χωριστά από τον υπόλοιπο κόσμο. Η ύλη αυτή μπορεί να είναι πάντοτε η ***ίδια*** και να αλλάζει π.χ. όγκο, πίεση, θερμοκρασία, οπότε έχομε ***κλειστό σύστημα*** ή να ρέει και να αντικαθίσταται συνεχώς μέσα σε ***ένα προκαθορισμένο χώρο,*** οπότε έχομε ***ανοικτό σύστημα.*** Ένας αεροσυμπιεστής π.χ. αναρροφά αέρα από την ατμόσφαιρα, τον συμπιέζει σε υψηλή πίεση και τον στέλνει συνεχώς στα αντίστοιχα εργαλεία που κινεί. Η μάζα του αέρα συνεχώς αντικαθίσταται μέσα στο συμπιεστή σε κάθε εμβολισμό. Όταν εξετάζεται ο αεροσυμπιεστής ως σύστημα, τότε το σύστημα είναι ανοικτό.

Ο όρος «αδιαβατικός» σημαίνει απαγόρευση στη διάβαση. Τι όμως απαγορεύεται να περάσει; Στην ουσία αυτό που απαγορεύεται να περάσει είναι η ενέργεια - θερμότητα. Επειδή όμως η θερμότητα δεν έχει ορισθεί ακόμη, για απλές περιπτώσεις, όπως αυτές που αντιμετωπίζονται στις ψυκτικές διατάξεις, μπορεί να δοθεί ο εξής ορισμός:

Αδιαβατικό όριο είναι εκείνο το οποίο επιτρέπει να περνάει από ή προς το σύστημα μόνο μηχανική ενέργεια.

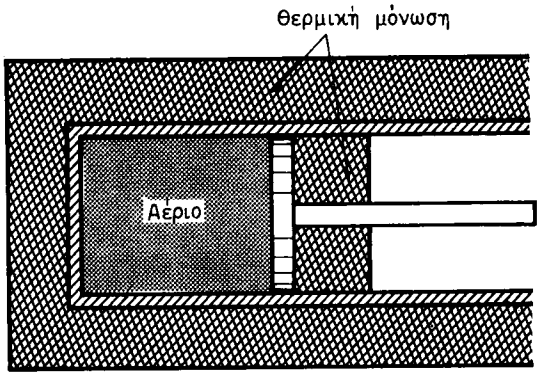
Αν υποθέσομε ότι η διάταξη του σχήματος 1.5α έχει αδιαβατικό όριο, τότε μπορούν να γίνουν τα εξής πειράματα:

α) Αδιαβατική συμπίεση του αερίου από την αρχική θέση 1 στην τελική θέση 2 (σχ. 1.5β).

β) Αδιαβατική συμπίεση του αερίου από την αρχική θέση 1 στην τελική θέση 2 με ενδιάμεση αποτόνωση στη θέση 3 (σχ. 1.5γ).

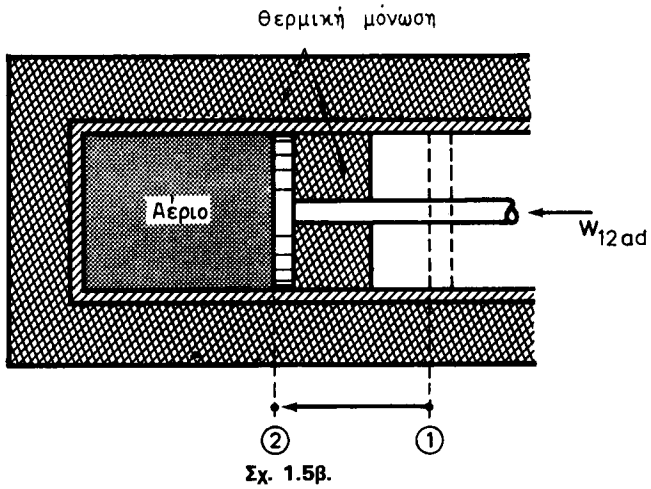
Για να γίνει η συμπίεση του αερίου 1-2, πρέπει να κινηθεί το έμβολο από την αρχική θέση 1 στην τελική θέση 2. Συνεπώς πρέπει να δοθεί μηχανικό έργο για να υπερνικηθεί η αντίσταση που προκύπτει από την πίεση του αερίου. Το έργο που απαιτείται για τη μεταβολή αυτή ας πούμε ότι μετρήθηκε και είναι: W_{12ad}. Ο δείκτης ad δηλώνει ότι η μεταβολή είναι αδιαβατική, δηλαδή αφορά σύστημα το οποίο έχει αδιαβατικό όριο.

Στη συμπίεση 1-3-2 του σχήματος 1.5γ διακρίνονται δύο φάσεις: Στην πρώτη φάση 1-3 το αέριο παράγει έργο W_{13ad}, γιατί αποτονώνεται και ωθεί το έμβολο.



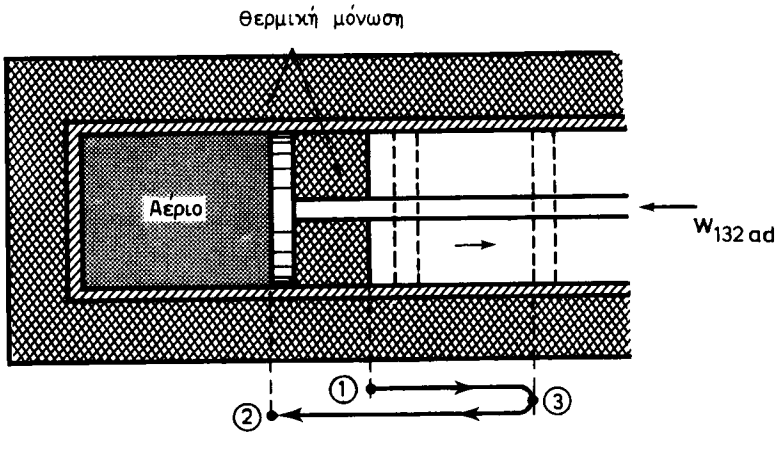
Σχ. 1.5α.

Αν η μόνωση του κυλίνδρου και του εμβόλου είναι τέλεια, τότε το αέριο είναι ένα αδιαβατικό σύστημα.



Σχ. 1.5β.

Αδιαβατική συμπίεση αερίου από αρχική θέση 1 σε τελική θέση 2.



Στη δεύτερη φάση 3-2 πρέπει να δοθεί από έξω έργο W_{31ad} για να γίνει η συμπίεση. Γενικά στις τεχνικές εφαρμογές της Θερμοδυναμικής παραδεχόμασθε ότι το έργο που ***παράγεται*** από το σύστημα είναι ***θετικό*** ενώ το έργο που καταναλώνεται από το σύστημα είναι ***αρνητικό.***

Κατά τη μεταβολή 1-3 το έργο είναι θετικό· κατά τη 3-2 είναι αρνητικό. Το έργο της μεταβολής 1-3-2 είναι:

$$W_{132ad} = W_{13ad} + W_{32ad} \tag{1.1}$$

Μετά τα δύο πειράματα των σχημάτων 1.5β και 1.5γ, τα οποία έχουν την ίδια αρχική και τελική κατάσταση συστήματος, συγκρίνονται τα έργα που απαιτούνται γι' αυτά.

Η ***πείρα*** δείχνει ότι:

$$W_{12ad} = W_{132ad} \tag{1.2}$$

Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει από αντίστοιχα πειράματα αν βέβαια, το όριο του συστήματος είναι αδιαβατικό. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι:

Το έργο αδιαβατικής μεταβολής είναι ανεξάρτητο από την οδό της μεταβολής και εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του συστήματος.

Ας εξετασθεί πάλι το σύστημα του σχήματος 1.5β. Όταν το έμβολο είναι στην αρχική θέση 1 το «σύστημα», και στην προκειμένη περίπτωση το αέριο, έχει ένα ορισμένο ποσό ενέργειας. Η ενέργεια αυτή οφείλεται στη μοριακή κίνηση, στις δονήσεις των ατόμων μέσα στη μοριακή δομή, στη δυναμική αλληλεπίδραση των υλικών σωματιδίων κλπ. Όταν το αέριο συμπιεσθεί στην τελική κατάσταση 2, η ενέργεια την οποία περικλείει έχει αυξηθεί, γιατί προστέθηκε και το ποσό μηχανικού έργου W_{12ad} το οποίο τελικά αποθηκεύεται με μορφή ενέργειας.

Το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας τις οποίες περιέχει ένα σύστημα λέγεται ***εσωτερική ενέργεια*** και συμβολίζεται με το γράμμα U.

Το σύστημα του σχήματος 1.5β στη θέση 1 έχει εσωτερική ενέργεια U_1 και στην τελική θέση 2 έχει εσωτερική ενέργεια U_2. Κατά την αδιαβατική συμπίεση 1-2 αυξήθηκε η εσωτερική ενέργεια από U_1 σε U_2 και επομένως:

$$U_2 - U_1 = -W_{12ad} \tag{1.3}$$

Κατά την αδιαβατική συμπίεση 1-3-2 του σχήματος 1.5:

$$U_2 - U_1 = -W_{132ad} \tag{1.4}$$

Η πείρα όμως δείχνει ότι:

$$W_{12ad} = W_{132ad}$$

και συνεπώς από τις σχέσεις (1.2), (1.3) και (1.4) προκύπτει ότι:

$$U_{32} = U_2 \tag{1.5}$$

Η σχέση (1.5) δείχνει ότι η εσωτερική ενέργεια είναι ***καταστατικό μέγεθος,*** δηλαδή η τιμή της εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύστημα και όχι από την «οδό», δηλαδή τις μεταβολές τις οποίες έχει υποστεί.

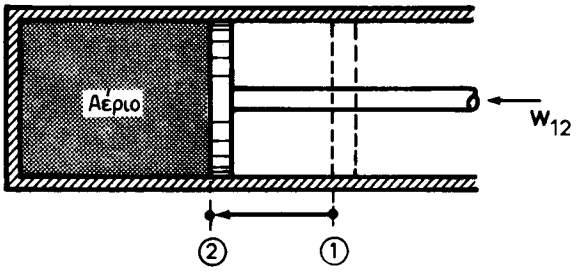
Μονάδες μετρήσεως της εσωτερικής ενέργειας είναι οι μονάδες ενέργειας. Αν τα μεγέθη αναφέρονται σε ολόκληρο το σύστημα συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα. Αν αναφέρονται στην μονάδα μάζας (1 kg), συμβολίζονται με μικρά γράμματα.

Συνοψίζοντας τα όσα έχομε αναφέρει καταλήγομε στο ότι:

$$\boxed{U_2 - U_1 = -W_{12ad}} \qquad (1.6)$$

1.6 Θερμότητα.

Για τον αυστηρά επιστημονικό ορισμό της θερμότητας, απαιτείται η γνώση της έννοιας εσωτερική ενέργεια την οποία περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η έννοια της θερμότητας εμφανίζεται σε συστήματα τα οποία δεν έχουν αδιαβατικά τοιχώματα. Ας εξετασθούν για το σκοπό αυτό οι ίδιες μεταβολές, όπως στα σχήματα 1.5β και 1.5γ, αλλά χωρίς μόνωση τοιχωμάτων όπως π.χ. στο σχήμα 1.6.



Σχ. 1.6.
Συμπίεση αερίου 12.

Κατά τη συμπίεση από την αρχική θέση 1 στην τελική θέση 2, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας στα τοιχώματα του κυλίνδρου και συνεπώς ροή ενέργειας προς το περιβάλλον. Η τελική θέση 2 έχει τον ίδιο όγκο αερίου, που έχει στο σχήμα 1.5β, αλλά τώρα η πίεση και η θερμοκρασία στη θέση 2 είναι μικρότερη από ό,τι κατά την αδιαβατική συμπίεση του σχήματος 1.5β. Η εσωτερική ενέργεια στη θέση 2 του σχήματος 1.6 , είναι τώρα μικρότερη από ότι στη θέση 2 του σχήματος 1.5β, γιατί μέρος από το μηχανικό έργο W_{12} δεν έχει αποθηκευθεί ως εσωτερική ενέργεια, αλλά έχει διαφύγει στο περιβάλλον. Στην περίπτωση λοιπόν του ***μη*** αδιαβατικού συστήματος έχομε:

$$U_2 - U_1 \neq -W_{12} \qquad (1.7)$$

Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και από την επανάληψη του πειράματος του σχήματος 1.5γ χωρίς αδιαβατικά τοιχώματα. Και στην περίπτωση αυτή βρίσκεται ότι:

$$U_2 - U_1 \neq -W_{123} \qquad (1.8)$$

Όταν το σύστημα έχει αδιαβατικά τοιχώματα, όσον αφορά την ενέργεια, εμφανίζονται δύο μεγέθη. Δηλαδή η εσωτερική ενέργεια και το μηχανικό έργο.

Όταν το σύστημα ***δεν*** έχει αδιαβατικά τοιχώματα τότε ο ισολογισμός ενέργειας (σχέσεις 1.7, 1.8) του συστήματος, δείχνει ότι υπάρχει συναλλαγή ενέργειας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος και άλλης μορφής από το μηχανικό έργο. Δηλαδή η εσωτερική ενέργεια του συστήματος δεν αυξομειώνεται μόνο με πρόσδοση ή αφαίρεση μηχανικού έργου, αλλά και με πρόσδοση ή αφαίρεση ***άλλης μορφής ενέργειας.*** Αυτή η άλλη μορφή ενέργειας ονομάζεται ***θερμότητα*** και συμβολίζεται με το γράμμα Q_{12} ή q_{12}.

Επειδή η γενική αρχή της διατηρήσεως της ενέργειας ισχύει πάντοτε, από τον ενεργειακό ισολογισμό του μη αδιαβατικού συστήματος πάντοτε θα ισχύει ότι:

$$\boxed{q_{12} = u_{12} + w_{12}} \qquad (1.9)$$

Η σχέση αυτή δίνει τον αυστηρά επιστημονικό ορισμό της θερμότητας με βάση τίς έννοιες του μηχανικού έργου w και της εσωτερικής ενέργειας.

Η θερμότητα λοιπόν εμφανίζεται μόνο όταν προκαλούνται μεταβολές της εσωτερικής ενέργειας u ενός συστήματος ή όταν συναλλάσσεται μηχανικό έργο w μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος ή όταν συνυπάρχουν και τα δύο. Σε ένα σύστημα που ισορροπεί και δεν αλλάζει η εσωτερική του ενέργεια και δεν συναλλάσσεται επίσης μηχανικό έργο με το περιβάλλον, τότε ***δεν*** υπάρχει θερμότητα. Το σύστημα δεν έχει αποθηκευμένη θερμότητα, αλλά έχει αποθηκευμένη εσωτερική ενέργεια.

Η θερμότητα μετρείται με μονάδες ενέργειας. Για τεχνικές εφαρμογές τα ποσά θερμότητας θεωρούνται θετικά, όταν προσδίδονται στο σύστημα που εξετάζεται, και αρνητικά όταν αφαιρούνται από το σύστημα. Μόνο σε περιπτώσεις μεταβολής καταστάσεως του συστήματος εμφανίζεται η έννοια της θερμότητας.

Η θερμότητα είναι ενέργεια που μετακομίζει.

Φορείς της μετακομίσεως της ενέργειας είναι τα μόρια, τα άτομα, τα ηλεκτρόνια και τα άλλα σωμάτια του μικρόκοσμου καθώς και τα αντίστοιχα δυναμικά πεδία.

1.7 Πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα.

Τα βασικότερα από τα αξιώματα πάνω στα οποία βασίζεται η θερμοδυναμική είναι το πρώτο και το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα.

Η διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος περιλαμβάνει δύο σκέλη. Το πρώτο ορίζει την εσωτερική ενέργεια με βάση τις αδιαβατικές μεταβολές και το δεύτερο ορίζει τη θερμότητα και περιλαμβάνει την αρχή διατηρήσεως ενέργειας. Η διατύπωσή του είναι:

Κάθε κλειστό σύστημα έχει ένα καταστατικό μέγεθος, την εσωτερική ενέργεια.
α) Για αδιαβατικές μεταβολές έχομε:

$$U_2 - U_1 = -W_{12\,ad}$$

β) Για μη αδιαβατικές μεταβολές έχομε:

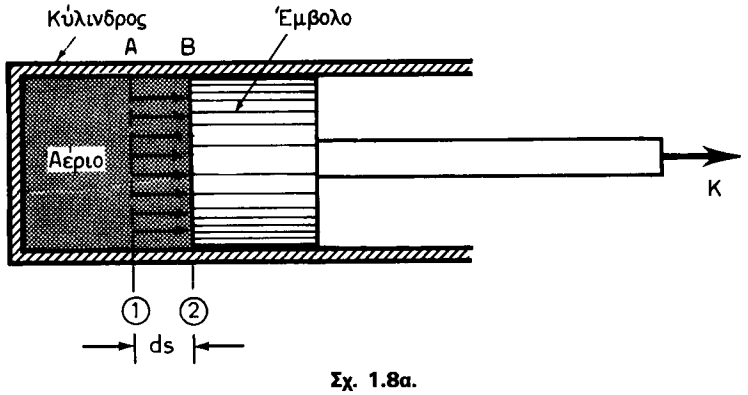
$$U_2 - U_1 = Q_{12} - W_{12}$$

Η ισχύς του αξιώματος αυτού είναι γενική. Στις επόμενες παραγράφους δίνονται ειδικότερες διατυπώσεις του για κλειστά και ανοικτά συστήματα, όταν οι αντίστοιχες μεταβολές είναι μικρές.

1.8 Έργο ογκομεταβολής.

Ο όρος ***έργο ογκομεταβολής*** περιγράφει το μηχανικό έργο το οποίο παράγει η καταναλώνει μια μάζα όταν αλλάζει ταυτόχρονα ο όγκος της και η πίεσή της.

Ο όρος αναφέρεται συνήθως σε συστήματα τα οποία περιέχουν αέριο και ως εργο ογκομεταβολής θεωρείται το έργο το οποίο είναι συνυφασμένο με την αλλαγή του όγκου του αερίου. Η λέξη «ογκομεταβολή», χρησιμοποιείται για να περιγραφεί το έργο το οποίο σχετίζεται με ***κλειστό σύστημα.*** Σε άλλη παράγραφο αναπτύσσεται η έννοια «τεχνικό έργο» η οποία περιγράφει το μηχανικό έργο των ανοικτών συστημάτων.



Σχ. 1.8α.
Το έμβολο ωθείται από το αέριο και παράγεται έργο ογκομεταβολής.

Στο σχήμα 1.8α παριστάνεται τυπική διάταξη κλειστού συστήματος. Μια σταθερή ποσότητα μάζας αερίου, το «σύστημα», βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο που φράσσεται αεροστεγώς με ένα κινητό έμβολο. Επάνω στην επιφάνεια του εμβόλου, η οποία έχει εμβαδόν F, δρα η πίεση p του αερίου, και ωθεί με δύναμη το έμβολο προς τα έξω. Η δύναμη K είναι:

$$K = pF \qquad (1.10)$$

Υποτίθεται ότι από την άλλη πλευρά του εμβόλου δεν υπάρχει ατμοσφαιρική ή άλλου είδους πίεση.

Όταν το έμβολο μετακινηθεί κατά ένα πολύ μικρό, στοιχειώδες, διάστημα ds, τότε παράγεται κατά την αποτόνωση του αερίου το στοιχειώδες έργο ογκομεταβολής dW το οποίο είναι:

$$dW = Kds$$
$$= pFds$$

Επειδή όμως το γινόμενο Fds παριστάνει τον πολύ μικρό στοιχειώδη όγκο 1AB2 (σχ. 1.8α), ο οποίος όγκος συμβολίζεται με dV, η σχέση αυτή μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$dW = pdV \qquad (1.11)$$

Η μεταβολή όμως του όγκου αναφέρεται σε όλη την ποσότητα της μάζας του συστήματος. Αν το σύστημα έχει μάζα αερίου m kg τότε η σχέση (1.11) δίνει:

ή
$$\frac{dW}{m} = p\,\frac{dV}{m}$$

$$\boxed{dw = pdv} \qquad (1.12)$$

Η σχέση αυτή έχει υπολογισθεί για την απλή περίπτωση του συστήματος του σχήματος 1.8α. Ισχύει όμως και για άλλες πιο σύνθετες μεταβολές όγκου αν βέβαια η μάζα αερίου ή το «εργαζόμενο μέσο», όπως συχνά ονομάζεται, είναι πάντοτε η ίδια και πάντοτε σταθερή. Η σχέση συνεπώς (1.12) δίνει το ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου μέσου μηχανικό έργο το οποίο συναλλάσσεται με το κλειστό σύστημα.

Αν από την άλλη πλευρά του εμβόλου (σχ. 1.8α) υπάρχει και άλλο αέριο το οποίο έχει πίεση p_0, μπορούμε εύκολα να προσδιορίσομε την πίεση που πρέπει να γραφεί στη σχέση (1.12) ως εξής:

Τό αέριο μέσα στον κύλινδρο του σχήματος 1.8α πιέζει το έμβολο και το μετακινεί προς τα έξω. Κατά τη μετακίνηση, το αέριο άγνοει το τι συμβαίνει από την άλλη πλευρά του εμβόλου, αν δηλαδή υπάρχει πίεση άλλου αερίου ή αν κάποια άλλη δύναμη, η οποία δρα στο στέλεχος του εμβόλου (βάκτρο), εμποδίζει τη μετακίνηση και δημιουργεί αντίσταση. Το όριο του συστήματος (αερίου) είναι η μέσα επιφάνεια του εμβόλου. Κατά τη μετακίνηση της επιφάνειας το σύστημα (αέριο) παράγει έργο: dW = pdV. Πού καταναλώνεται το έργο αυτό, το αγνοεί το αέριο. Είναι αδιάφορο για το αέριο αν μέρος από το έργο του χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει την πίεση άλλου αερίου (από την άλλη πλευρά του εμβόλου) ή αν ολόκληρο χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει την αντίσταση που επιβάλλεται στο βάκτρο από την κίνηση κάποιας μηχανής.

Στο σχήμα 1.8β εξετάζεται η απλή περίπτωση της κινήσεως εμβόλου μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Επάνω στις δύο επιφάνειες του εμβόλου δρουν διαφορετικές πιέσεις. Από τη μέσα πλευρά δρα η πίεση του αερίου p και από την έξω πλευρά δρα η ατμοσφαιρική πίεση p_{atm}.

Όταν γίνεται μια στοιχειώδης εκτόνωση, το αέριο παράγει έργο:

$$dW = pdV$$

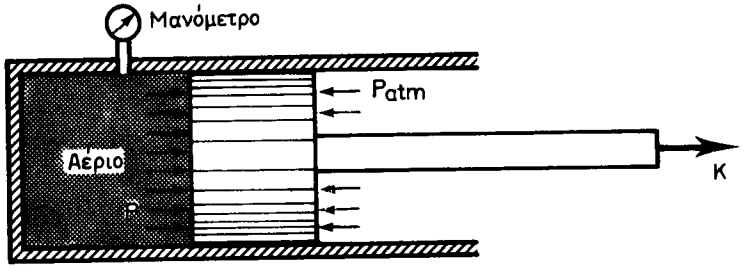
Όταν όμως το έμβολο κινείται, από την έξω πλευρά ο ατμοσφαιρικός αέρας με-

τακινείται με τον ίδιο στοιχειώδη όγκο dV και συνεπώς η ύπαρξη του ατμοσφαιρικού αέρα καταναλώνει ένα μέρος από το έργο που παράγει το αέριο. Η κατανάλωση αυτή του έργου, λόγω του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι:

$$dW_{atm} = - p_{atm}\, dV \tag{1.13}$$

Το έργο συνεπώς dWe το οποίο παραμένει διαθέσιμο για να μεταφερθεί από το βάκτρο του εμβόλου είναι τελικά:

$$\begin{aligned} dW_e &= dW + dW_{atm} \\ &= pdV - p_{atm}\, dV \\ &= (p - p_{atm})\, dV \end{aligned} \tag{1.14}$$



Σχ. 1.8β.
Αποτόνωση αερίου μέσα στην ατμόσφαιρα.

Το μέγεθος $(p - p_{atm})$ είναι η πίεση την οποία έχει το αέριο όταν αυτή μετρείται πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση. Όλα τα συνηθισμένα μανόμετρα τα οποία μετρούν την πίεση αερίων ή υγρών δείχνουν ακριβώς αυτό το μέγεθος $(p - p_{atm})$. Γι' αυτό η πίεση αυτή λέγεται ***μανομετρική πίεση.*** Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας την οποία έχει συμβολίζεται και με ειδικό δείκτη. Στην Αγγλοαμερικανική βιβλιογραφία συμβολίζεται με το δείκτη g (από τη Gauge) και στη γερμανική με το δείκτη ü (από τη λέξη Ueberdruck = υπερπίεση).

Πολλές φορές η πίεση p για να τονισθεί ότι ειναι η ***απόλυτη πίεση,*** συμβολίζεται και με τον δείκτη a.

Έτσι ισχύει πάντοτε η σχέση:

$$p_g = p_a - p_{atm} \tag{1.15}$$

ή με άλλο δείκτη.

$$p_{ü} = p_a - p_{atm} \tag{1.16}$$

Όταν στο εξής θα γράφεται πίεση p θα εννοείται πάντοτε η απόλυτη πίεση p_a. Ο δείκτης a λόγω συντομίας δεν θα χρησιμοποιείται.

Αν στο σχήμα 1.8β η κίνηση του εμβόλου γίνει αντίστροφα, αν δηλαδή συμπιεσθεί το αέριο και παραχθεί έργο από έξω, τότε η ατμοσφαιρική πίεση προσφέρει έργο στη συμπίεση. Αν το έμβολο του σχήματος 1.8β παλινδρομήσει διαδοχικά, όπως συμβαίνει συνήθως στις μηχανές, τότε το έργο του ατμοσφαιρικού αέρα α-

ναιρείται σε κάθε πλήρη κύκλο παλινδρομήσεως του εμβόλου. Η ύπαρξη της πιέσεως του αερίου από την άλλη πλευρά του εμβόλου μπορεί να αγνοηθεί.

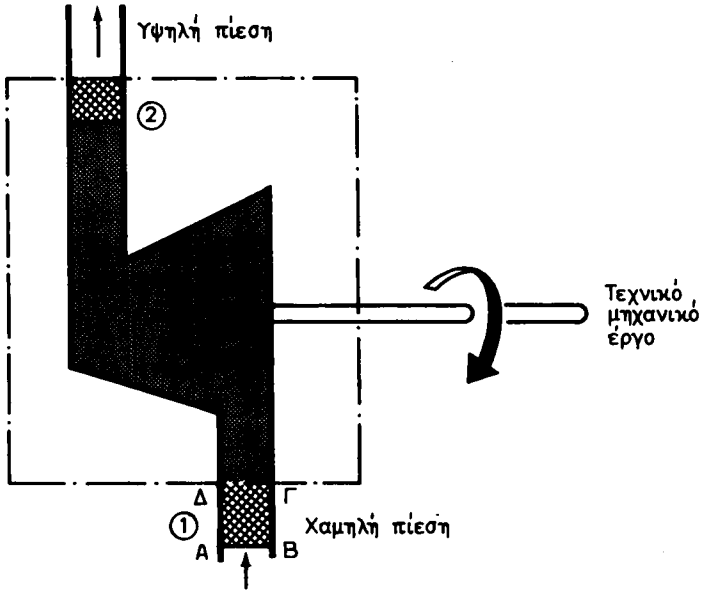
Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να πούμε ότι το έργο ογκομεταβολής ενός συστήματος είναι:

$$dw = pdv$$

Το έργο αυτό παράγεται από το σύστημα ή προσδίδεται σε αυτό. Για το ίδιο το σύστημα είναι αδιάφορο το που καταναλώνεται το έργο που παράγεται από αυτό ή αντίθετα από που προσδίδεται το έργο το οποίο καταναλώνεται από αυτό.

1.9 Τεχνικό έργο.

Ο όρος ***τεχνικό έργο*** αναφέρεται πάντοτε σε ***ανοικτό σύστημα.*** Στο σχήμα 1.9 παριστάνεται ένα ανοικτό σύστημα. Είναι ένας φυγοκεντρικός αεροσυμπιεστής ο οποίος αναρροφά αέρα χαμηλής πιέσεως (δείκτης 1) p_1 και τον συμπιέζει σε υψηλή πίεση p_2. Ο συμπιεστής συνεχώς αναρροφά τόση μάζα αέρα όση καταθλίβει στην έξοδο. Μέσα στο συμπιεστή υπάρχει πάντοτε σταθερή ποσότητα μάζας αέρα, η οποία συνεχώς ανανεώνεται. Η μονάδα της μάζας, π.χ. 1 kg αέρα, στην είσοδο (σχ. 1.9) έχει όγκο ΑΒΓΔ ίσο με v_1 ενώ στην έξοδο η ίδια μάζα έχει μικρότερο όγκο v_2.



Σχ. 1.9.
Σχηματική παράσταση στροβιλοσυμπιεστή αέρα.

Για να λειτουργεί ο συμπιεστής πρέπει να δοθεί από έξω μηχανικό έργο, το οποίο καταναλώνεται για τη συμπίεση του αέρα. Επειδή το σύστημα είναι ανοικτό,

όπως συμβαίνει να ειναι σε όλες σχεδόν τις τεχνικές εγκαταστάσεις, γι' αυτό λέγεται «τεχνικό έργο».

Στην προηγούμενη παράγραφο υπολογίσθηκε η τιμή του έργου ογκομεταβολής. Εδώ πρέπει να υπολογισθεί το τεχνικό έργο.

Η διαφορά η οποία υπάρχει ανάμεσα στο έργο ογκομεταβολής και στο τεχνικό έργο οφείλεται στη ροή μάζας δια μέσου των ορίων του συστήματος. Η ροή γίνεται στο ανοικτό σύστημα.

Στη θέση εισόδου του σχήματος 1.9 επικρατεί πίεση p_1. Για να συμπιεσθεί η μονάδα μάζας 1 kg η οποία έχει όγκο v_1 μέσα από τα όρια του συστήματος, πρέπει να καταναλωθεί έργο. Το σύστημα δηλαδή πρέπει να παραγάγει έργο:

$$p_1 v_1$$

Όταν η ίδια μάζα εγκαταλείπει το σύστημα, στη θέση 2 όπου έχει πίεση p_2 και όγκο v_2, καθώς βγαίνει από τα όρια, στο σύστημα πρέπει να καταβληθεί έργο:

$$- p_2 v_2$$

Για να περάσει η μάζα του 1 kg μέσα από τα όρια του συστήματος πρέπει συνεπώς να «παραχθεί» συνιστάμενο έργο:

$$- p_2 v_2 + p_1 v_1 = \div (p_2 v_2 - p_1 v_1)$$

Όταν οι μεταβολές είναι μικρές, το έργο αυτό είναι μικρό και ίσο με τη στοιχειώδη διαφορά:

$$- d(pv) \qquad (1.17)$$

Το έργο αυτό «πληρώνεται» ως τμήμα του μηχανικού έργου που προσδίδεται στον άξονα του συμπιεστή.

Το αέριο, αφού περάσει τα όρια του συστήματος στη θέση 1 και μέχρι την έξοδό του από τη θέση 2, δεν αντιλαμβάνεται αν είναι σε κλειστό ή ανοικτό σύστημα. Ουσιαστικά μέσα στα όρια δεν υπάρχει διαφορά. Έτσι το έργο το οποίο έχει άμεση σχέση με τις μεταβολές του αερίου μέσα στο σύστημα δίνεται από τη σχέση (1.12):

$$dw = pdv \qquad (1.12)$$

Επειδή το σύστημα είναι ανοικτό, το έργο τελικά το οποίο συνδέεται με μια στοιχειώδη μεταβολή, δίνεται από το αλγεβρικό άθροισμα των δύο έργων των σχέσεων (1.12) και (1.17).

Για την περίπτωση λοιπόν του ανοικτού συστήματος το στοιχειώδες τεχνικό έργο dw_t υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} dw_t &= dw - d(pv) \\ &= pdv - (pdv + vdp) \\ &= - vdp \end{aligned}$$

Για το στοιχειώδες τεχνικό έργο προκύπτει ότι:

$$\boxed{dw_t = -vdp} \qquad (1.18)$$

Σε όλες σχεδόν τις τεχνικές εγκαταστάσεις, όπως και στις ψυκτικές διατάξεις, τα θερμοδυναμικά συστήματα είναι ανοικτά και για το λόγο αυτό, οι σχετικοί υπολογισμοί γίνονται με το τεχνικό έργο, όπως ορίζεται από τη σχέση (1.18).

1.10 Ενθαλπία.

Στο σχήμα 1.9, όταν η μονάδα μάζας του εργαζόμενου μέσου περνάει το όριο στη θέση 1 του συστήματος και μπαίνει μέσα σε αυτό, προσδίδει στο σύστημα ενέργεια.

Η ενέργεια, η οποία προσδίδεται, αποτελείται από δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι η εσωτερική ενέργεια u_1 την οποία έχει το εργαζόμενο μέσο στη θέση εισόδου. Το άλλο μέρος προέρχεται από το μηχανικό έργο το οποίο απαιτείται για να περάσει η μονάδα μάζας τα όρια του συστήματος και είναι ίσο με: p_1v_1.

Στο σημείο λοιπόν 1 του ορίου, για κάθε 1 kg μάζας εργαζόμενου σώματος, το οποίο εισέρχεται στο σύστημα, η ενέργεια του συστήματος αυξάνει. Έχομε δηλαδή αύξηση κατά:

$$u_1 + p_1v_1$$

Το αντίστοιχο συμβαίνει στη θέση εξόδου 2. Όταν το 1 kg μάζας εγκαταλείπει το σύστημα έχει εσωτερική ενέργεια u_2 και το σύστημα καταναλώνει έργο p_2v_2 για να εκδιώξει το αέριο. Στη θέση λοιπόν 2 του ορίου του συστήματος το 1 kg μάζας, όταν εξέρχεται από το σύστημα, αφαιρεί ενέργεια ίση με:

$$u_2 + p_2v_2$$

Ανάλογες σχέσεις εμφανίζονται σε όλες τις θέσεις των ανοικτών συστημάτων, δηλαδή, η ενέργεια η οποία είναι συνδεμένη με τη μονάδα της μάζας αποτελείται από τα δύο μέρη u και pv. Επειδή όλες σχεδόν οι τεχνικές εγκαταστάσεις είναι ανοικτά συστήματα το μέγεθος αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Το μέγεθος ονομάζεται ***ενθαλπία.*** Συμβολίζεται διεθνώς με το γράμμα h και εξ ορισμού είναι:

$$\boxed{h = u + pv} \qquad (1.19)$$

Μονάδες μετρήσεως της ενθαλπίας είναι οι μονάδες μετρήσεως ενέργειας.

1.11 Πρώτο θερμοδυναμικό Αξίωμα για συστήματα p,v,T.

Στις συνηθισμένες τεχνικές εφαρμογές, τα θερμοδυναμικά συστήματα είναι μηχανές, συσκευές και διατάξεις, οι οποίες χρησιμοποιούν ως εργαζόμενα μέσα αέρια, ατμούς ή υγρά. Στις περιπτώσεις αυτές η θερμοδυναμική κατάσταση του εργαζόμενου σώματος είναι εντελώς καθορισμένη, όταν είναι γνωστά τα τρία βασικά μεγέθη: πίεση p θερμοκρασία T και ***ειδικός όγκος*** v (όγκος 1 kg μάζας).

Τα συστήματα αυτά που καθορίζονται πλήρως όταν δίνονται οι τιμές των μεγεθών p,v,T ονομάζονται για συντομία και συστήματα p,v,T.

Το πρώτο σκέλος του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος, όπως διατυπώθηκε στην παράγραφο 1.7, μένει αναλλοίωτο. Το δεύτερο σκέλος του, μπορεί να έχει την ειδική μορφή που απαιτείται αν αντί για τη γενική έκφραση του έργου, χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις (1.12) και (1.18). Από τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής:

α) Κλειστό σύστημα:

$$aq = du\text{-}dw$$

ή

$$dq = du + pdv \qquad (1.20)$$

β) Ανοικτό σύστημα: Από τη σχέση ορισμού της ενθαλπίας (σχέση 1.19) προκύπτει αμέσως ότι:

$$dh = du + pdv + vdp$$

ή

$$(du + pdv) = dh - vdp$$

Αν αυτή η σχέση αντικαταστήσει στη σχέση (1.20) την τιμή της εκφράσεως (du + pdv) προκύπτει ότι:

$$\boxed{dq = dh - vdp} \qquad (1.21)$$

Αν χρησιμοποιηθεί και ο ορισμός του τεχνικού έργου από τη σχέση (1.18), τότε από τη σχέση (1.21) προκύπτει ότι:

$$\boxed{dq = dh + dw_t} \qquad (1.22)$$

Συνοψίζοντας λοιπόν τις παραπάνω σχέσεις έχομε:

1ο θερμοδυναμικό αξίωμα για p,v,T.	
Ανοικτό σύστημα	***Κλειστό*** σύστημα
$dq = dh + dw_t$	$dq = du + dw$
$dq = dh - vdp$	$dq = du + pdv$

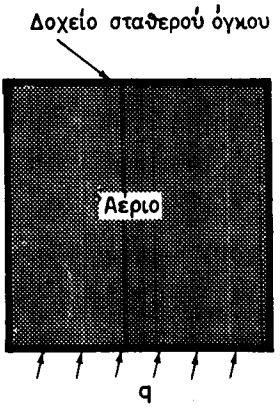
1.12 Ειδική Θερμοχωρητικότητα.

Όταν προσδίδεται θερμότητα σε ένα σώμα και δεν γίνεται αλλαγή καταστάσεως, δηλαδή δεν μετατρέπεται το σώμα π.χ. από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε ατμό κλπ., η θερμοκρασία του σώματος αυξάνει. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει όταν αφαιρείται θερμότητα από ένα σώμα.

Για να υπολογισθεί πόση θερμότητα πρέπει να προσδοθεί ή αφαιρεθεί, ώστε να επιτευχθούν οι καθορισμένες θερμοκρασιακές διαφορές, για την επιθυμητή ψύξη ή θέρμανση, πρέπει να είναι γνωστές ορισμένες σταθερές του αντίστοιχου εργαζόμενου μέσου.

Υπάρχουν συνήθως δύο τρόποι θερμάνσεως ή ψύξεως ενός μέσου. Ο πρώτος τρόπος είναι θέρμανση και ψύξη με σταθερό όγκο του αντίστοιχου μέσου. Ο δεύτερος τρόπος είναι θέρμανση και ψύξη με σταθερή πίεση. Στις τεχνικές εφαρμογές χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά ο δεύτερος τρόπος. Η μεταβολή που γίνεται με σταθερή πίεση λέγεται ***ισόβλιπτη.*** Η μεταβολή που γίνεται με σταθερό όγκο λέγεται ***ισόογκη.***

Ισόογκη μεταβολή είναι π.χ. η θέρμανση ενός αερίου που είναι κλεισμένο σε ένα δοχείο σταθερού όγκου (σχ. 1.12α).



Σχ. 1.12α.
Πρόσδοση θερμότητας.

Αν το αέριο έχει μάζα m kg, στην οποία προσδίδεται ένα μικρό ποσό θερμότητας Q_{12}, ώστε να ανέβει η θερμοκρασία της από T_1 σε T_2:

$$Q_{12v} = m \cdot c_v \ (T_2 - T_1) \qquad (1.23)$$

Το μέγεθος c_v ονομάζεται ***ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο.*** Η ίδια σχέση, όταν γραφεί για τη μονάδα της μάζας, δίνει:

$$\frac{Q_{12v}}{m} = q_{12v} = c_v \ (T_2 - T_1)$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει, για το c_v, ότι:

$$c_v = \frac{q_{12v}}{T_2 - T_1} \qquad (1.24)$$

Οι μονάδες του μεγέθους c_v είναι μονάδες ενέργειας ανά μονάδα μάζας και ανά βαθμό θερμοκρασίας, δηλαδή:

$$\left[\frac{kJ}{kg\,°C} \right]$$

Η τιμή του μεγέθους c_v εξαρτάται από το σώμα και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σώμα. Όταν αλλάζει η θερμοκρασία του σώματος αλλάζει και η τιμή του c_v.

Αν υπολογισθούν ποσά θερμότητας για μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας, πρέπει να υπολογισθούν και διάφορες τιμές για το c_v.

Επειδή το c_v αλλάζει με την αλλαγή θερμοκρασίας ο πιο ακριβής ορισμός του μεγέθους για στοιχειώδες ποσό θερμότητας dq που προκαλεί στοιχειώδη μεταβολή της θερμοκρασίας κατά dT είναι:

$$\boxed{c_v = \left(\frac{dq}{dT}\right)_v} \qquad (1.25)$$

Ο δείκτης v δείχνει ότι ο όγκος μένει σταθερός.

Οι τιμές του c_v προσδιορίζονται συνήθως από πειράματα και δίνονται σε πίνακες ή διαγράμματα.

Για ένα σύστημα p,v,T όταν η μεταβολή είναι ισόογκη (dv = 0) το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα δίνει:

$$dq = du + pdv$$

ή

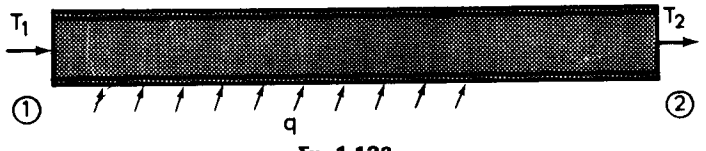
$$\boxed{(dq)_v = du} \qquad (1.26)$$

Αν όμως χρησιμοποιηθεί και ο ορισμός της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερό όγκο c_v (σχέση 1.25) τότε:

$$\boxed{(du)_v = c_v\, dT} \qquad (1.27)$$

Μπορεί λοιπόν αν είναι γνωστό το μέγεθος c_v να υπολογισθεί και η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας για συγκεκριμένη θερμοκρασιακή διαφορά.

Στις τεχνικές εφαρμογές όμως σπάνια χρησιμοποιείται θέρμανση ή ψύξη υπό σταθερό όγκο. Σε αυτές,οι μεταβολές γίνονται υπό σταθερή πίεση. Συνήθως χρησιμοποιούνται διατάξεις, όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 1.12β.



Σχ. 1.12β.
Ροή αερίου υπό σταθερή πίεση και θέρμανση.

Για την περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται το μέγεθος το οποίο ονομάζεται ***ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση.*** Η αντίστοιχη σχέση για τον υπολογισμό του ποσού θερμότητας είναι:

$$Q_{12p} = m \cdot c_p\, (T_2 - T_1)$$

Για τη μονάδα μάζας προκύπτει πάλι ότι:

$$\frac{Q_{12p}}{m} = q_{12p} = c_p\, (T_2 - T_1)$$

και

$$c_p = \frac{q_{12p}}{T_2 - T_1}$$

Για μικρές μεταβολές:

$$c_p = \left(\frac{dq_{12}}{dT}\right) p \qquad (1.28)$$

Οι μονάδες μετρήσεως του c_p είναι οι ίδιες με τις μονάδες του c_v.

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για ανοικτό σύστημα (σχέση 1.22) προκύπτει για μεταβολή με σταθερή πίεση (dp = 0) ότι:

$$dq = dh - vdp$$

ή

$$\boxed{(dq)_p = dh} \qquad (1.29)$$

Σε συνδυασμό με τη σχέση (1.28) προκύπτει ότι:

$$\boxed{(dh)_p = c_p \cdot dT} \qquad (1.30)$$

Από τη σχέση αυτή μπορούν να υπολογισθούν και οι διαφορές ενθαλπίας, αν είναι γνωστές οι τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση c_p.

Για τον υπολογισμό των ποσών θερμότητας για θέρμανση ή ψύξη, πρέπει να είναι γνωστές από μετρήσεις οι τιμές της ενθαλπίας ή εσωτερικής ενέργειας ή οι τιμές των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων c_p και c_v.

Στον Πίνακα 1.12.1 δίνονται οι τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση για διαφορετικά αέρια και διαφορετικές θερμοκρασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.12.1.

Ειδική μέση θερμοχωρητικότητα αερίων υπό σταθερή πίεση. Οι τιμές είναι σε kJ/kg °C.

°C	Αέρας	N_2	O_2	CO	H_2O	CO_2	SO_2
0	1,0033	1,0387	0,9148	1,0397	1,8584	0,8165	0,6083
25	1,0036	1,0387	0,9164	1,0399	1,8608	0,8299	0,6153
50	1,0042	1,0389	0,9182	1,0403	1,8640	0,8429	0,6224
100	1,0059	1,0396	1,9230	1,0416	1,8718	0,8677	0,6365
150	1,0081	1,0408	0,9288	1,0435	1,8814	0,8907	0,6503
200	1,0111	1,0426	0,9354	1,0462	1,8924	0,9122	0,6634
250	1,0145	1,0450	0,9425	1,0496	1,9046	0,9321	0,6700
300	1,0185	1,0480	0,9499	1,0537	1,9177	0,9509	0,6878
350	1,0229	1,0516	0,9574	1,0583	1,9316	0,9685	0,6988
400	1,0278	1,0556	0,9649	1,0634	1,9460	0,9850	0,7090
450	1,0328	1,0601	0,9721	1,0688	1,9608	1,0005	0,7186
500	1,0380	1,0648	0,9792	1,0745	1,9760	1,0152	0,7274
550	1,0434	1,0698	0,9860	1,0803	1,9915	1,0291	0,7357
600	1,0488	1,0750	0,9925	1,0862	2,0074	1,0422	0,7434
650	1,0542	1,0802	0,9987	1,0921	2,0236	1,0546	0,7505
700	1,0595	1,0855	1,0047	1,0979	2,0400	1,0663	0,7572
750	1,0648	1,0907	1,0103	1,1036	2,0566	1,0775	0,7634
800	1,0700	1,0960	1,0157	1,1092	2,0733	1,0880	0,7692
850	1,0751	1,1011	1,0209	1,1148	2,0901	1,0981	0,7747
900	1,0800	1,1062	1,0258	1,1201	2,1070	1,1076	0,7798

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.12.1. (συνέχεια)

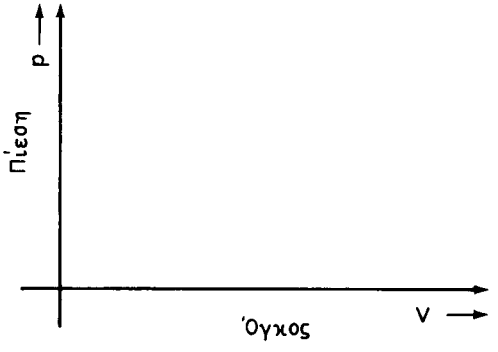
Ειδική μέση θερμοχωρητικότητα αερίων υπό σταθερή πίεση. Οι τιμές είναι σε kJ/kg °C.

°C	Αέρας	N_2	O_2	CO	H_2O	CO_2	SO_2
950	1,0848	1,1112	1,0305	1,11254	2,1239	1,1167	0,7846
1000	1,0895	1,1160	1,0350	1,1304	2,1408	1,1253	0,7891
1100	1,0985	1,1254	1,0434	1,1402	2,1744	1,1413	0,7975
1200	1,1069	1,1343	1,0511	1,1492	2,2075	1,1560	0,8050
1300		1,1426	1,0583	1,1577	2,2399	1,1693	0,8117
1400		1,1504	1,0651	1.1656	2,2716	1,1816	0,8179
1500		1,1578	1,0715	1,1730	2,3024	1,1928	0,8235
1600		1,1647	1,0775	1,1799	2,3322	1,2032	0,8286
1700		1,1711	1,0832	1,1863	2,3610	1,2128	0,8334
1800		1,1772	1,0888	1,1924	2,3889	1,2217	0,8378
1900		1,1829	1,0941	1,1980	2,4157	1,2299	0,8419
2000		1,1883	1,0993	1,2034	2,4416	1,2376	0,8457

.13 Διάγραμμα p-v.

Όταν ένα σύστημα p,v,T π.χ. ένα αέριο, αλλάζει συνεχώς καταστάσεις μέσα σε μια μηχανή ή συσκευή, τότε είναι δύσκολο να έχει κανείς μια εικόνα για τις μεταβολές αυτές.

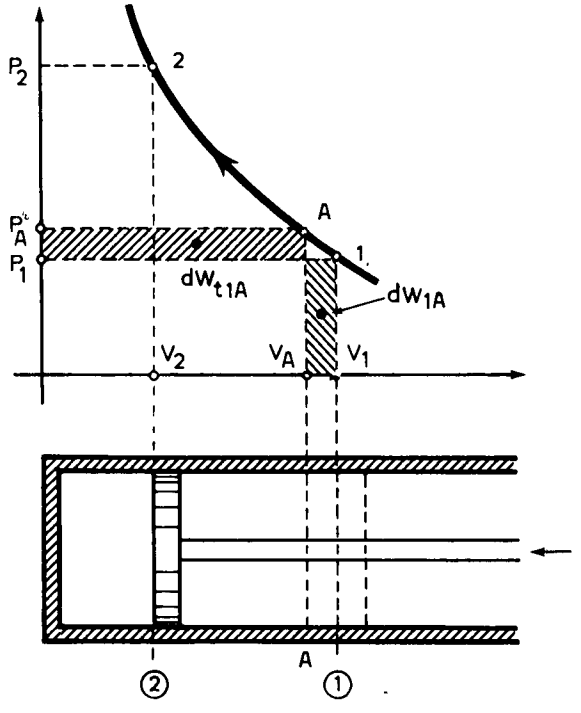
Για την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών αυτών χρησιμοποιούνται πολλές φορές κατάλληλα διαγράμματα πάνω στα οποία γίνονται οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.



Σχ. 1.13α.
Διάγραμμα με άξονες p (πίεση) και v (όγκος).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι διαγραμμάτων. Ένας από αυτούς είναι και ο τύπος του διαγράμματος στον οποίο ως άξονες χρησιμοποιούνται τα μεγέθη πίεση p και όγκος V (σχ. 1.13α). Πολλές φορές αντί για τον ολικό όγκο V χρησιμοποιείται και ο όγκος της μονάδας μάζας, δηλαδή ο ειδικός όγκος v.

Στο p-v διάγραμμα του σχήματος 1.13β παριστάνεται η μεταβολή μιας μάζας αερίου, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη θέση του εμβόλου το οποίο την περιορίζει μέσα στον κύλινδρο. Στη θέση 1 το αέριο έχει όγκο V_1 και p_1. Στη συνέχεια γίνεται μία γρήγορη συμπίεση και το αέριο καταλήγει σε τελικό όγκο V_2 και πίεση p_2. Οι καταστάσεις του αερίου κατά μήκος της συμπιέσεως, παριστάνονται από την καμπύλη 1-2 στο p-v διάγραμμα.



Σχ. 1.13β.
Παράσταση στο διάγραμμα p-v μιας συμπιέσεως.

Όταν το έμβολο κινηθεί λίγο από τη θέση 1 στη θέση A ώστε η μετακίνηση 1A να είναι πολύ μικρή, τότε το εμβαδό της μικρής επιφάνειας (V_A A1 V_1V_A) στο διάγραμμα p-v δίνει το έργο ογκομεταβολής, γιατί:

$$dW_{1A} = \text{εμβαδό}\ (V_A A1 V_1 V_A) = p(V_A - V_1) = p\ dV$$

Αντίστοιχα το εμβαδό της μικρής επιφάνειας (p_1 p_A A1 p_1) δίνει το τεχνικό έργο, γιατί:

$$dW_{t1A} = \text{εμβαδό}\ (p_1 p_A A1 p_1) = V(p_1 - p_A) = vdp$$

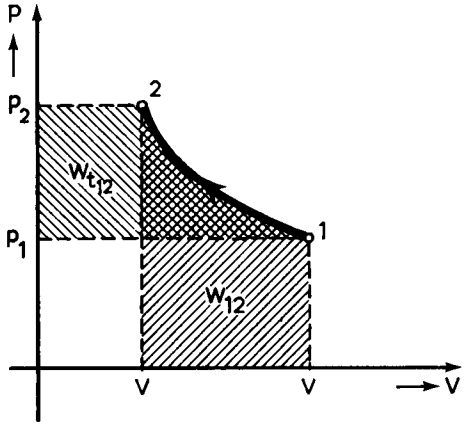
Προκύπτει λοιπόν ότι το εμβαδό του διαγράμματος p-v κάτω από μια καμπύλη δίνει τα εξής δύο μεγέθη του σχήματος 1.13γ.

Το εμβαδό μεταξύ καμπύλης και οριζόντιου άξονα όγκου v παριστάνει το έργο

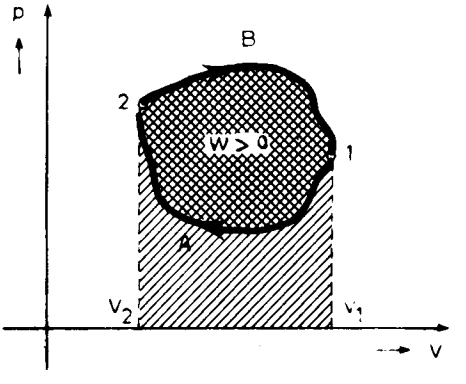
ογκομεταβολής της μεταβολής. Το εμβαδό μεταξύ καμπύλης και άξονα πιέσεως p παριστάνει το τεχνικό έργο της μεταβολής.

Το διάγραμμα p-v μιας μεταβολής αερίου σε εμβολοφόρο μηχανή μπορεί να μετρηθεί-καταγραφεί και πειραματικά με κατάλληλο όργανο το οποίο μετρά - καταγράφει την πίεση και τη διαδρομή του εμβόλου. Στην περίπτωση αυτό το μετρημένο πειραματικό διάγραμμα λέγεται ***δυναμοδεικτικό διάγραμμα*** ή διάγραμμα ***ενδείκτη.***

Στο διάγραμμα τοῦ σχήματος 1.13γ η μεταβολή 12 προκαλεί ελάττωση του όγκου από v_1 σε v_2. Άρα η μεταβολή dv είναι αρνητική. Επειδή η πίεση p είναι μέγεθος θετικό, το στοιχειώδες έργο καθώς και ολόκληρο το έργο είναι αρνητικό.



Σχ. 1.13γ.
Παράσταση έργου ογκομεταβολης W_{t_2} και τεχνικού έργου $W_{t_{12}}$ της μεταβολής 12 στο διάγραμμα p-v.



Σχ. 1.14α.
Δεξιόστροφη κυκλική μεταβολή με παραγωγή έργου.

1.14 Κυκλικές μεταβολές.

Στις περισσότερες σχεδόν μηχανές και συσκευές, το εργαζόμενο μέσο, συνήθως αέριο ή ατμός, περνάει από διαδοχικές μεταβολές καταστάσεων και τελικά καταλήγει στην ίδια ακριβώς κατάσταση από την οποία ξεκίνησε.

Μια τέτοια διαδοχή καταστάσεων ονομάζεται κυκλική μεταβολή ή και απλά θερμοδυναμικός κύκλος ή κύκλος.

Στο διάγραμμα p-v του σχήματος 1.14α παριστάνεται μία τέτοιου είδους κυκλική μεταβολή.

Το σύστημα (αέριο) ξεκινάει από αρχική κατάσταση 1, υφίσταται διαδοχικές μεταβολές κατά μήκος της καμπύλης 1A2, φθάνει στο σημείο 2, όπου έχει τον ελάχιστο όγκο και ακολουθεί τη μεταβολή 2B1 μέχρι το αρχικό σημείο 1.

Στο τμήμα της μεταβολής 1A2 προσδίνεται στο αέριο έργο από έξω, γιατί το εμβαδό της επιφάνειας (V_1 1A2V_2V_1) είναι αρνητικό. Κατά τη μεταβολή 2B1 παράγεται έργο από το αέριο ίσο με το εμβαδό της επιφάνειας ($V_2$2B$_1V_1V_2$). Όταν το αέριο επανέρχεται στην αρχική κατάσταση 1, συνολικά έχει παραχθεί έργο ίσο με το

εμβαδό της επιφάνειας που είναι μέσα στην καμπύλη της κυκλικής μεταβολής. Το έργο αυτό δεν έχει παραχθεί δωρεάν, γιατί κατά μήκος όλων των μεταβολών το αέριο ζεσταίνεται ή ψύχεται αντίστοιχα. Ως σύνολο έχει καταναλωθεί ένα ποσό θερμότητας για να παραχθεί μηχανικό έργο. Στο διάγραμμα p-v παριστάνονται μόνο τα ποσά μηχανικού έργου.

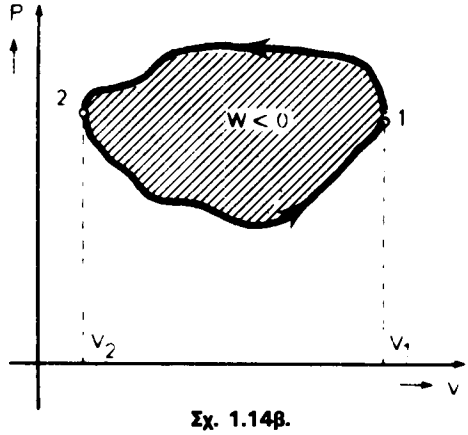
Ο κύκλος του σχήματος 1.14α είναι δεξιόστροφος και είναι κύκλος παραγωγής έργου. Στην περίπτωση αυτή στο θερμοδυναμικό σύστημα (π.χ. μηχανή αυτοκινήτου) προσφέρεται θερμότητα από έξω (καύση καυσίμου).

Ένα μέρος από τη θερμότητα μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Στις ***ψυκτικές διατάξεις*** η ***φορά*** του κύκλου είναι ***αριστερόστροφη*** (σχ. 1.14β).

Στις περιπτώσεις αυτές το συνιστάμενο έργο το οποίο είναι ίσο με το εμβαδό της επιφάνειας που περικλείεται από την κυκλική μεταβολή, είναι αρνητικό. Στο εργαζόμενο μέσο του κύκλου προσδίδεται έργο από έξω και το έργο αυτό καταναλώνεται από τη μηχανή για να αφαιρέσει θερμότητα από τα ψυχόμενα αντικείμενα και να την απορρίψει σε κάποιο θερμότερο από αυτά σώμα, π.χ. στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Στα σχήματα 1.14α και 1.14β η μορφή των καμπυλών των κύκλων δεν είναι πραγματική. Σε άλλη παράγραφο δίνεται λεπτομερειακή μορφή της κυκλικής μεταβολής των ψυκτικών διατάξεων.



Σχ. 1.14β.
Αριστερόστροφη κυκλική μεταβολή. Ψυκτικός κύκλος.

1.15 Στραγγαλισμός πιέσεως.

Όταν διατίθεται ένα αέριο ή ένα υγρό με υψηλή πίεση, τότε το αέριο ή το υγρό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει κάποια κατάλληλη μηχανή και να παραγάγει μηχανικό έργο.

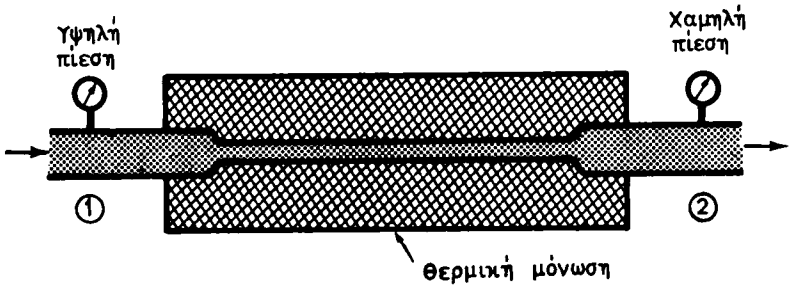
Αυτό όμως δεν συμβαίνει πάντοτε. Π.χ. το αέριο οξυγόνο το οποίο ευρίσκεται σε μία φιάλη και χρησιμοποιείται για οξυγονοκόλληση, έχει πίεση, αν η φιάλη είναι γεμάτη, περίπου 150 bar. Τελικά το αέριο οξυγόνο από αυτή τη μεγάλη πίεση καταλήγει στον αυλό συγκολλήσεως, όπου η πίεσή του είναι περίπου 2 bar. Η μείωση της πιέσεως του οξυγόνου από 150 bar σε 2 bar γίνεται μέσα στο μειωτήρα πιέσεως χωρίς το αέριο να παραγάγει μηχανικό έργο.

Μια τέτοια «καταστροφή» πιέσεως αερίου ή υγρού χωρίς παραγωγή μηχανικου έργου ονομάζεται στραγγαλισμός πιέσεως.

Όταν ο στραγγαλισμός γίνεται έτσι, ώστε το αέριο να είναι θερμικά μονωμένο από το περιβάλλον από το οποίο δεν παίρνει άλλα και δεν δίνει θερμότητα, τότε ο στραγγαλισμός είναι και αδιαβατικός.

Η μειωση της υψηλής πιεσεως ενός ρευστού, με στραγγαλισμό, χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις ψυκτικές διατάξεις και έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία τους. Είναι απαραίτητο λοιπόν να εξετασθεί αυτή η μεταβολή λεπτομερέστερα

Το σχήμα 1.15 δείχνει την αντίστοιχη σχηματική παράσταση, μιας διατάξεως αδιαβατικού στραγγαλισμού. Στην είσοδο επικρατεί υψηλή πίεση p_1 και στην έξοδο χαμηλή πίεση p_2. Ο στραγγαλισμός της πιέσεως μπορεί να γίνει με ένα κομμάτι από πολύ λεπτό σωλήνα ή με μία στένωση από ρυθμιστική βαλβίδα, με ένα πορώδες υλικό κλπ.



Σχ. 1.15.
Αδιαβατικός στραγγαλισμός αερίου. Ανοικτό σύστημα.

Για την εξέταση του φαινομένου από την άποψη της θερμοδυναμικής, δεν έχει σημασία πώς ακριβώς γίνεται ο στραγγαλισμός.

Η διάταξη στραγγαλισμού δεν παράγει και δεν καταναλώνει έργο. Συνεπώς για το ανοικτό σύστημα του σχήματος 1.15 το τεχνικό έργο είναι ίσο με μηδέν. Επειδή η μεταβολή είναι και αδιαβατική, το ποσό θερμότητας το οποίο συναλλάσσεται με το εργαζόμενο σώμα είναι και αυτό ίσο με μηδέν.

Δηλαδή:

$$Q_{12} = 0$$
$$W_{t\,12} = 0$$

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για ανοικτό σύστημα (σχέση 1.22) προκύπτει για την περίπτωση αυτή ότι:

$$\boxed{dh = 0}$$

ή

$$h_2 - h_1 = 0 \qquad (1.31)$$

Ο αδιαβατικός στραγγαλισμός λοιπόν γίνεται χωρίς να μεταβάλλεται η τιμή ενθαλπίας. Είναι δηλαδή μία μεταβολή ***ισενθαλπική.***

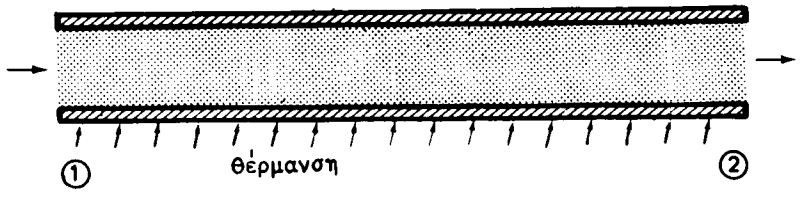
Η διαπίστωση αυτή δεν ισχύει και αντίστροφα. Δηλαδή μία ισενθαλπική μεταβολή δεν είναι οπωσδήποτε αδιαβατικός στραγγαλισμός. Μπορεί και άλλου είδους μεταβολές να αφήνουν την ενθαλπία αμετάβλητη.

Η διαπίστωση αυτή είναι πολύ χρήσιμη για τη χάραξη του θερμοδυναμικού κύκλου των ψυκτικών διατάξεων.

1.16 Ισόθλιπτη μεταβολή.

Η ισόθλιπτη μεταβολη μπορεί να αναφέρεται σε κλειστό ή σε ανοικτό σύστημα.

Το σχήμα 1.16α, δείχνει σχηματικά την ισόθλιπτη μεταβολή (θέρμανση) ενός αερίου. Στη θέση 1 επικρατεί θερμοκρασία T_1 και πίεση p_1. Στη θέση 2 επικρατεί μεγαλύτερη θερμοκρασία T_2, αλλά ίδια πίεση $p_2 = p_1$.



Σχ. 1.16α.
Ισόθλιπτη μεταβολή (θέρμανση) ανοικτού συστήματος.

Ενδιαφέρον σε κάθε μεταβολή παρουσιάζουν πάντοτε η θερμότητα και το μηχανικό έργο. Δηλαδή για κάθε μεταβολή πρέπει να είναι γνωστό το ποσό θερμότητας και το ποσό μηχανικού έργου που πρέπει να δοθεί ή αφαιρεθεί από το εργαζόμενο μέσο για να μπορεί να γίνει η μεταβολή.

α) Ανοικτό σύστημα.

Για την ισόθλιπτη μεταβολή ανοικτού συστήματος τα μεγέθη Θερμότητα και Μηχανικό Έργο έχουν υπολογισθεί σε προηγούμενες παραγράφους. Από την παράγραφο 1.12 είναι γνωστό (σχέση 1.29) το ποσό θερμότητας που απαιτείται. Δηλαδή:

$$\boxed{(q_{12})_p = h_2 - h_1} \qquad (1.32)$$

Επειδή δεν παράγεται, αλλά και δεν προσδίδεται τεχνικό έργο έχομε:

$$\boxed{(w_{t12})_p = 0} \qquad (1.33)$$

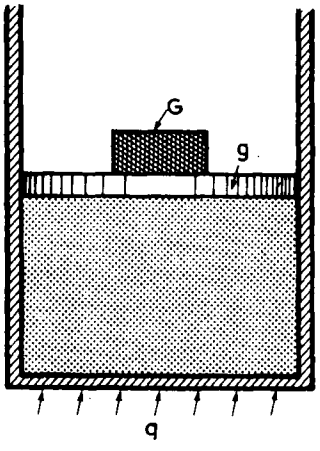
β) Κλειστό σύστημα.

Η ισόθλιπτη μεταβολή κλειστού συστήματος δεν έχει τεχνικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται όμως για εργαστηριακούς σκοπούς όταν γίνονται μετρήσεις των θερμοδυναμικών δεδομένων των διαφόρων ατμών, αερίων κλπ. Το σχήμα 1.16β δίνει την αντίστοιχη σχηματική παράσταση. Πρόκειται για ένα έμβολο το οποίο κινείται μέσα σε ένα κύλινδρο χωρίς τριβή. Επάνω στο έμβολο τοποθετούνται σταθερά βάρη. Επειδή η επιφάνεια του εμβόλου είναι αμετάβλητη και τα βάρη σταθερά, η πίεση την οποία εξασκούν πάνω στο αέριο είναι και αυτή σταθερή και ανε-

ξάρτητη από τη θέση του εμβόλου.

Όταν προστίθεται ή αφαιρείται θερμότητα, αλλάζει ο όγκος του αερίου και το έμβολο με τα βάρη μετακινείται. Το γεγονός αυτό υποχρεώνει το αέριο να παράγει ή να καταναλώνει το αντίστοιχο μηχανικό έργο. Ο υπολογισμός του μηχανικού έργου γίνεται πολύ εύκολα, γιατί η πίεση μένει σταθερή. Στην παράγραφο 1.8 (σχέση 1.12) έχει γίνει ήδη ο υπολογισμός του έργου ογκομεταβολής. Για την περίπτωση του σχήματος 1.16β προκύπτει ότι:

$$\boxed{(w_{12})_p = p\,(v_2 - v_1)} \qquad (1.34)$$



Σχ. 1.16β.
Ισόθλιπτη μεταβολή (θέρμανση) κλειστού συστήματος.

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για κλειστό σύστημα p,v,T όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.11 (σχέση 1.20), προκύπτει ότι:

$$(q_{12})_p = (u_2 - u_1) + (v_2 - v_1)p$$

ή

$$(q_{12})_p = (u_2 + pv_2) - (u_1 + pv_1) \qquad (1.35)$$

Αν όμως χρησιμοποιηθεί ο ορισμός της ενθαλπίας της παραγράφου 1.10 (σχέση 1.19) τότε η σχέση (1.35) δίνει:

$$\boxed{(q_{12})_p = h_2 - h_1} \qquad (1.32)$$

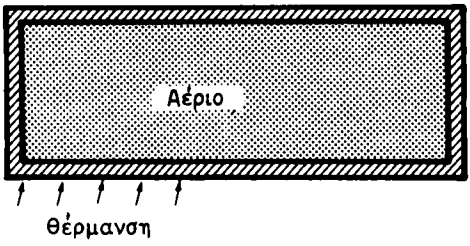
Προκύπτει δηλαδή και πάλι η σχέση (1.32).

Συμπεραίνομε λοιπόν ότι στην ισόθλιπτη μεταβολή το ποσό θερμότητας δίνεται από τις διαφορές ενθαλπίας του συστήματος.

1.17 Ισόογκη μεταβολή.

Το είδος αυτό της μεταβολής δεν βρίσκει ουσιαστική εφαρμογή στις τεχνικές εγκαταστάσεις και μηχανές. Ιδιαίτερα στις ψυκτικές διατάξεις, χρησιμοποιείται μόνο σε μια περίπτωση, η οποία όμως δεν περιγράφεται στο βιβλίο αυτό, γιατί αφορά

μηχανές παραγωγής ψυκτικής ισχύος σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα πρόκειται για μηχανές οι οποίες λειτουργούν με το θερμοδυναμικό κύκλο του Stirling.



Σχ. 1.17.
Ισόογκη θέρμανση αερίου.

Η ισόογκη μεταβολή για κλειστά συστήματα είναι πολύ απλή. Το σχήμα 1.17 δείχνει το είδος της μεταβολής.

Προφανώς έργο ογκομεταβολής δεν παράγεται, γιατί ο όγκος δεν μεταβάλλεται. Έτσι λοιπόν:

$$(w_{12})_v = 0$$

Η θερμότητα που πρέπει να δοθεί ή να αφαιρεθεί, υπολογίζεται αμέσως από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα και είναι:

$$(q_{12})_v = u_2 - u_1$$

Συνήθως στα διάφορα τεχνικά εγχειρίδια δεν δίνεται τιμή της εσωτερικής ενέργειας u, αλλά μόνο η τιμή της ενθαλπίας h. Όταν χρησιμοποιήσουμε τον ορισμό της ενθαλπίας [παράγραφος 1.10, σχέση (1.19)] η σχέση αυτή γίνεται:

$$(q_{12})_v = (h_2 - h_1) + v(p_2 - p_1)$$

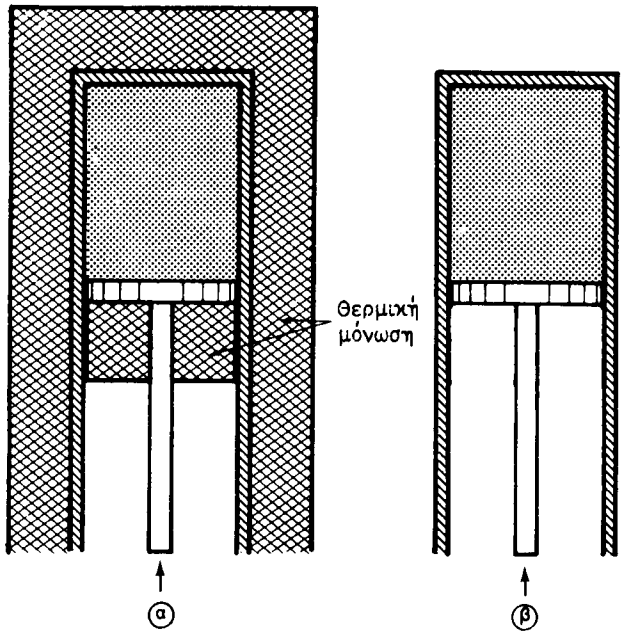
Μέχρι τώρα εξετάσαμε την ισόογκη μεταβολή κλειστού συστήματος. Υπάρχει και ισόογκη μεταβολή ανοικτού συστήματος η οποία όμως δεν έχει μεγάλο τεχνικό ενδιαφέρον και γι' αυτό δεν θα εξετασθεί σε αυτό το βιβλίο.

1.18 Αδιαβατική μεταβολή.

Το είδος αυτό της μεταβολής είναι ίσως το σημαντικότερο για τις τεχνικές εφαρμογές. Όπως φαίνεται από το όνομα της μεταβολής πρόκειται για μεταβολή στην οποία το εργαζόμενο σώμα δεν παίρνει, αλλά και δεν αποβάλλει θερμότητα.

Για να πραγματοποιηθεί μια αδιαβατική μεταβολή θα πρέπει τα όρια του συστήματος να είναι αδιαβατικά, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι τα τοιχώματα της αντίστοιχης μηχανής θα έχουν τέλεια θερμική μόνωση.

Στο σχήμα 1.18α φαίνονται δύο συστήματα κυλίνδρου-εμβόλου. Στο α υπάρχει πολύ καλή (θεωρητικά πρέπει να είναι τέλεια) θερμική μόνωση, ενώ στο β η μετα-



Σχ. 1.18α.
Αδιαβατική μεταβολή. α) Θερμικά μονωμένο σύστημα. β) Ταχεία μεταβολή.

βολή γίνεται πολύ γρήγορα ώστε η θερμότητα να μην προλαβαίνει να μεταδοθεί από το αέριο του κυλίνδρου στο περιβάλλον και αντίστροφα.

Φυσικά και οι δύο τρόποι δεν εξασφαλίζουν απολύτως αδιαβατική μεταβολή, αλλά κατά προσέγγιση.

Για την αδιαβατική μεταβολή πρέπει να υπολογισθούν μόνο τα ποσά μηχανικού έργου τα οποία απαιτούνται, γιατί δεν συναλλάσσεται θερμότητα με το σύστημα. Και εδώ θα γίνει διάκριση για ανοικτό και για κλειστό σύστημα.

α) Κλειστό σύστημα.

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα (σχέση 1.20) προκύπτει ότι:

$$0 = du + dw$$

ή για την μεταβολή 12 ότι:

$$0 = (u_2 - u_1) + w_{12}$$

Από αυτήν προκύπτει ότι:

$$\boxed{(w_{12})_{ad} = u_1 - u_2} \qquad (1.36)$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι το έργο το οποίο προσδίδεται σε μια συμπίεση αυξάνει την εσωτερική ενέργεια του αερίου. Αντίστροφα, αν γίνεται αποτόνωση και

παράγεται έργο, τότε η εσωτερική ενέργεια του αερίου ελαττώνεται τόσο ακριβώς όσο ελαττώνεται το έργο το οποίο παράγεται.

β) Ανοικτό σύστημα.

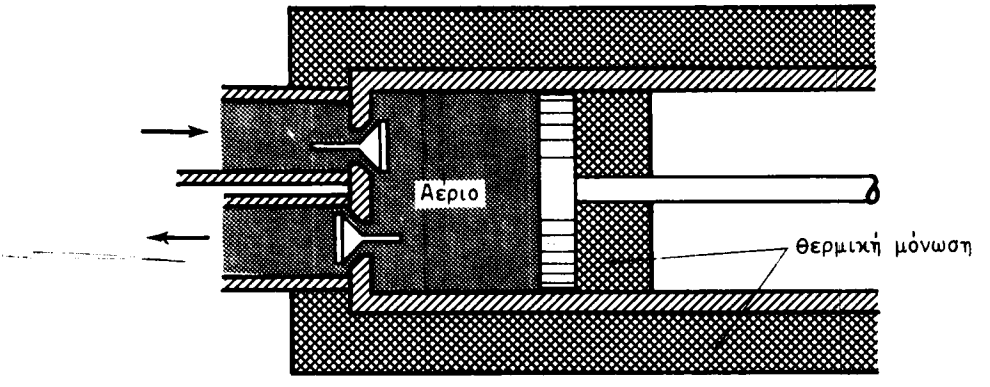
Και στο ανοικτό σύστημα χρησιμοποιείται το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για να υπολογισθεί το τεχνικό έργο. Το σχήμα 1.18β δείχνει ένα συμπιεστή αερίου.

Από τη σχέση (1.22) η οποία εκφράζει το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για ανοικτά συστήματα, επειδή η μεταβολή είναι αδιαβατική και επομένως dh = 0, προκύπτει ότι:

$$0 = dh + dw_t$$

ή για μεγάλη μεταβολή από κατάσταση αρχική 1 σε τελική κατάσταση 2 τότε:

$$\boxed{(w_{t\,12})_{ad} = h_1 - h_2} \qquad (1.37)$$



Σχ. 1.18β.
Αδιαβατική συμπίεση σε ανοικτό σύστημα.

Η σχέση αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία για το θερμοδυναμικό υπολογισμό των μηχανών. Τις περισσότερες φορές, οι μηχανές υποτίθεται ότι λειτουργούν σε πρώτη προσέγγιση, ως αδιαβατικές. Για να υπολογισθεί το έργο που παράγουν ή το έργο που απαιτείται για να κινηθούν αρκεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση (1.37). Αν δηλαδή, είναι γνωστή η ενθαλπία στη θέση εξόδου και στη θέση εισόδου της μηχανής, τότε το θεωρητικό μηχανικό έργο της μηχανής βρίσκεται αμέσως από την αφαίρεση των δύο μεγεθών.

Υπενθυμίζεται και πάλι η συνθήκη η οποία ισχύει για το πρόσημο του μηχανικού έργου:

Έργο θετικό: Παράγεται έργο από το σύστημα.

Έργο αρνητικό: Δίνεται έργο στο σύστημα απ' έξω.

Όταν γίνεται αδιαβατική συμπίεση τότε δίνεται μηχανικό έργο από έξω. Η ενθαλπία στο τέλος της συμπιέσεως (θέση 2) είναι μεγαλύτερη από την ενθαλπία

στην αρχή (θέση 1) και φυσικά το τεχνικό έργο από τη σχέση (1.37) προκύπτει αρνητικό. Αντίθετα, αν γίνει μια αδιαβατική αποτόνωση, τότε η ενθαλπία στην αρχή είναι μεγαλύτερη από ότι στο τέλος, η διαφορά θετική και, από τη σχέση (1.37), το τεχνικό έργο θετικό, δηλαδή παράγεται μηχανικό έργο.

Πρέπει να τονισθεί ότι η σχέση (1.37) ισχύει για ανοικτό αδιαβατικό σύστημα, και δεν ισχύει φυσικά για οποιαδήποτε μεταβολή.

Οι τιμές της ενθαλπίας οι οποίες απαιτούνται στη σχέση (1.37) ευρίσκονται από πίνακες ή διαγράμματα του κάθε εργαζόμενου μέσου. Υπάρχουν, στο κεφάλαιο όπου περιγράφονται τα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα, παρόμοια διαγράμματα και πίνακες.

1.19 Θερμικά και θερμιδομετρικά μεγέθη.

Για την περιγραφή της καταστάσεως ή των μεταβολών ενός θερμοδυναμικού συστήματος, χρησιμοποιούνται πολλά φυσικά μεγέθη, όπως η πίεση, η θερμοκρασία, η ενθαλπία, η εσωτερική ενέργεια κλπ.

Σε κάθε κατάσταση του συστήματος, τα μεγέθη αυτά έχουν μια συγκεκριμένη τιμή η οποία εξαρτάται ακριβώς από την κατάσταση στην οποία ευρίσκεται το σύστημα.

Τα φυσικά αυτά μεγέθη από την άποψη ενέργειας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Σε μεγέθη τα οποία περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος χωρίς να αναφέρονται στην ενέργεια που έχει το σύστημα. Τα μεγέθη αυτά λέγονται ***θερμικά.*** Τέτοια μεγέθη είναι π.χ. η πίεση p, η θερμοκρασία T, ο ειδικός όγκος v.
- Σε μεγέθη τα οποία εξαρτώνται από την ενέργεια την οποία έχει το σύστημα. Τα μεγέθη αυτά λέγονται ***θερμιδομετρικά.*** Τέτοια είναι η ενθαλπία h, η εσωτερική ενέργεια u κ.λπ.

Στις μεταβολές που εξετάσθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς που έγιναν και τα δύο μεγέθη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διάκριση αυτή γίνεται για τα μεγέθη εκείνα τα οποία έχουν τιμή που εξαρτάται από την κατάσταση του συστήματος ή, όπως λέγονται, για τα ***καταστατικά μεγέθη.***

Σημειώνομε ότι τα ποσά θερμότητας ή μηχανικού έργου που απαιτούνται για να γίνει μια μεταβολή συστήματος ***δεν*** είναι καταστατικά μεγέθη, γιατί η τιμή που έχουν εξαρτάται από το είδος της μεταβολής και όχι από την κατάσταση του συστήματος.

Τα μεγέθη διακρίνονται ακόμα:

- Σε ***εκτατικά*** και
- σε ***εντατικά.***

Εκτατικά είναι τα μεγέθη εκείνα των οποίων η τιμή εξαρτάται από τη μάζα του συστήματος. Η εσωτερική ενέργεια π.χ. είναι εκτατικό μέγεθος. Η μάζα 1 kg έχει εσωτερική ενέργεια u, και μάζα m kg, εσωτερική ενέργεια U = m.u.

Δηλαδή η τιμή της είναι ανάλογη με τη μάζα του συστήματος. Το ίδιο ισχύει και για άλλα μεγέθη, π.χ. για την ενθαλπία και τον όγκο του συστήματος.

Εντατικά είναι εκείνα τα μεγέθη τα οποία έχουν τιμή ανεξάρτητη από τη μάζα του συστήματος. Παράδειγμα σχετικό είναι τα μεγέθη πίεση p, θερμοκρασία T, και ειδικός όγκος v.

Πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα η ιδιομορφία του όγκου. Ο όγκος από ολόκληρο το σύστημα V είναι εκτατικό μέγεθος. Ο ειδικός όγκος, δηλαδή ο όγκος της μονάδας μάζας v είναι εντατικό μέγεθος.

1.20 Ατμοποίηση.

Μέχρι τώρα δεν αναφερθήκαμε στην αλλαγή καταστάσεως, δηλαδή στη μεταβολή του εργαζόμενου σώματος από υγρή κατάσταση σε κατάσταση ατμού ή αντίθετα. Οι αλλαγές όμως αυτές παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον για τις ψυκτικές διατάξεις, γιατί χρησιμοποιούνται από κάθε ψυκτικό κύκλο. Πρέπει λοιπόν να εξετασθούν και οι μεταβολές του είδους αυτού.

Αυτό το οποίο προσδιορίστηκε ήδη ως κατάσταση, πιο σωστά ονομάζεται ***φάση.*** Υπάρχουν τριών ειδών φάσεις:

- Στερεά.
- Υγρή
- ατμού ή αερίου.

Τα περισσότερα φυσικά σώματα μπορούν να εμφανισθούν και με τα τρία είδη των φάσεων, ανάλογα με τις συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας που ευρίσκονται.

Η μετάβαση ενός σώματος από τη μια φάση στην άλλη απαιτεί συναλλαγή ενέργειας. Πρέπει δηλαδή να δοθεί ή να αφαιρεθεί ενέργεια από το σώμα για να γίνει η αλλαγή της φάσεως. Η μορφή της ενέργειας η οποία απαιτείται για την αλλαγή της φάσεως μπορεί να είναι θερμική ή μηχανική ανάλογα με το είδος της μεταβολής. Στις συνηθισμένες τεχνικές εφαρμογές η αλλαγή φάσεως γίνεται με πρόσδοση ή αφαίρεση θερμότητας.

Το πιο συνηθισμένο είδος αλλαγής το οποιο χρησιμοποιείται είναι η ισόθλιπτη αλλαγή φάσεως. Γι' αυτό η αλλαγή φάσεως η οποία περιγράφεται στην παράγραφο αυτή αφορά την ισόθλιπτη αλλαγή φάσεως με συναλλαγή θερμότητας.

Πριν γίνει η λεπτομερειακή εξέταση του φαινομένου της αλλαγής φάσεως, πρέπει να γίνει μια διευκρίνιση με τη βοήθεια του σχήματος 1.20α.

Στο αριστερό μέρος υπάρχει ένα δοχείο το οποίο περιέχει ένα υγρό, π.χ. νερό. Το δοχείο είναι ανοιχτό και συγκοινωνεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επάνω στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού επιδρά η πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή τα μόρια του αέρα (αζώτου, οξυγόνου κλπ.). έρχονται σε επαφή με τα μόρια του νερού.

Στο δοχείο αυτό χορηγείται αρκετή θερμότητα ώστε να αρχίσει να παράγεται λίγος ατμός («αχνός»). Ο ατμός που παράγεται με τον τρόπο αυτό είναι αναμιγμένος με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ακριβώς επάνω στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού (στάθμη) υπάρχει τόσο υδρατμός όσο και αέρας.

Το είδος αυτό της αλλαγής φάσεως λέγεται ***εξάτμιση.*** Εξάτμιση λοιπόν είναι η αλλαγή φάσεως από υγρό σε ατμό η οποία γίνεται με την παρουσία ξένου αερίου.

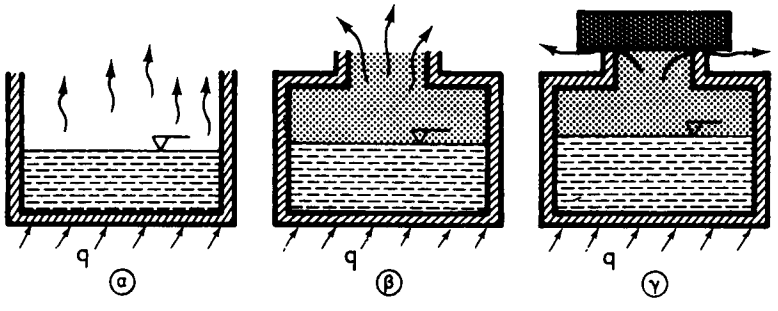
Στο σχήμα 1.20α (β) χορηγείται πολύ μεγαλύτερο ποσό θερμότητας στο υγρό

και επομένως παράγεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ατμού. Η ποσότητα ατμού είναι τόσο μεγάλη και η παραγωγή της τόσο έντονη, ώστε αν και το δοχείο είναι ανοιχτό, μέσα στο δοχείο δεν υπάρχει αέρας.

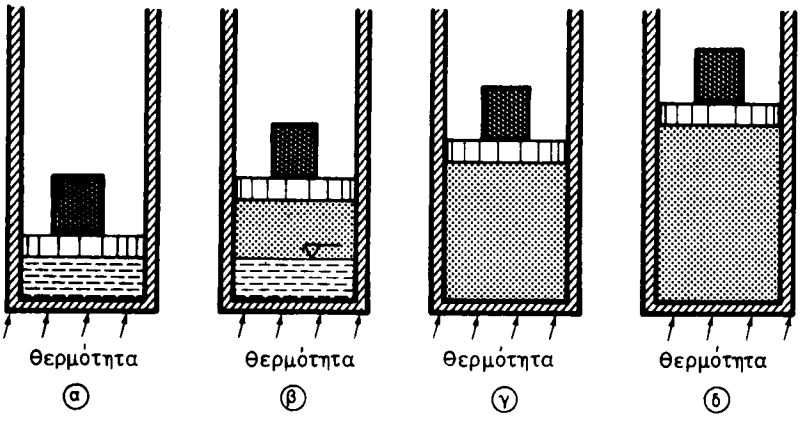
Η αλλαγή αυτή φάσεως ονομάζεται ***ατμοποίηση.*** Ατμοποίηση λοιπόν είναι η αλλαγή φάσεως από υγρό σε ατμό, η οποία γίνεται μόνο με παρουσία του σώματος το οποίο αλλάζει φάση. Δεν υπάρχει στην περίπτωση αυτή άλλο αδρανές αέριο το οποίο να συμμετέχει στην αλλαγή φάσεως.

Ειδικά στην περίπτωση του σχήματος 1.20α (β) το φαινόμενο είναι ατμοποίηση σε ατμοσφαιρική πίεση.

Τέλος στο σχήμα 1.20α (γ) επάνω στο άνοιγμα του δοχείου υπάρχει ένα βάρος. Με τον τρόπο αυτό η ατμοποίηση γίνεται σε πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.



Σχ. 1.20α.
Αλλαγή φάσεως από υγρό σε ατμό. α) Εξάτμιση. β) Ατμοποίηση σε ατμοσφαιρική πίεση. γ) Ατμοποίηση σε υψηλή πίεση.



Σχ. 1.20β.
Ισόθλιπτη ατμοποίηση σε κλειστό σύστημα.

Στις ψυκτικές διατάξεις χρησιμοποιείται μόνο η ισόθλιπτη ατμοποίηση. Στο σχήμα 1.20β δίνεται μια σχηματική περιγραφή ισόθλιπτης ατμοποιήσεως σε κλειστό σύστημα.

Στη θέση (α) το σύστημα περιέχει μόνο υγρό. Αρχίζει η πρόσδοση θερμότητας και έτσι η θερμοκρασία του υγρού αυξάνει.

Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας συνεχίζεται μέχρι να εμφανισθεί η πρώτη φυσαλίδα ατμού. Από το σημείο αυτό και μετά, όσο δηλαδή μέσα στο δοχείο υπάρχουν ταυτόχρονα υγρό και ατμός, η ***θερμοκρασία μένει σταθερή.***

Μετά την εμφάνιση της πρώτης φυσαλίδας ατμού, συνεχίζεται να προσδίδεται θερμότητα στο σύστημα. Η θερμότητα όμως αυτή τώρα δεν αυξάνει τη θερμοκρασία του συστήματος, αλλά χρησιμοποιείται από αυτό για την αλλαγή της φάσεως του υγρού σε ατμό.

Στο σχήμα 1.20β (β) η ατμοποίηση έχει προχωρήσει και μέσα στο δοχείο υπάρχει υγρό και ατμός. Η πρόσδοση θερμότητας συνεχίζεται και τελικά ατμοποιείται και η τελευταία σταγόνα υγρού [σχ. 1.20β (γ)].

Σε όλη τη διάρκεια της ισόθλιπτης ατμοποιήσεως η θερμοκρασία μένει σταθερή. Δηλαδή η ***ατμοποίηση*** είναι ταυτόχρονα και ***ισοθερμοκρασιακή*** και ***ισόθλιπτη.*** Στην περίπτωση αυτή για να καθορισθεί θερμοδυναμικά η κατάσταση, αρκεί να δοθεί μόνο η πίεση ή μόνο η θερμοκρασία. Το άλλο μέγεθος μπορεί να ευρεθεί από πίνακες ή διαγράμματα. Το γεγονός αυτό ισχύει μόνο όταν συνυπάρχουν και οι δύο φάσεις. Είναι δυνατόν δηλαδή να γίνεται μέτρηση πιέσεως με μανόμετρο και από αυτό να προκύπτει η θερμοκρασία. Το είδος αυτό της μετρήσεως γίνεται συχνά στις ψυκτικές διατάξεις όπου για κάθε ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται ειδικά μανόμετρα τα οποία είναι βαθμολογημένα σε μονάδες πιέσεως, αλλά και σε μονάδες θερμοκρασίας. Τα όργανα αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θέσεις της διατάξεως που υπάρχει μόνο ατμός, γιατί δεν μπορεί να μετρηθεί η θερμοκρασία μέσω της πιέσεως. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να μετρηθεί απλώς μόνο η πίεση.

Αν στο σχήμα 1.20β (γ) συνεχισθεί η πρόσδοση θερμότητας, τότε ο ατμός αυξάνει τη θερμοκρασία του και διαστέλλεται. Η θέρμανση του ατμού μπορεί να συνεχισθεί για όσους βαθμούς θερμοκρασίας είναι επιθυμητό.

Για τις διάφορες καταστάσεις του υγρού και ατμού έχουν καθιερωθεί διάφορα ονόματα τα οποία και τις περιγράφουν. Τα ονόματα αυτά αναφέρονται και εξηγούνται παρακάτω. Πρέπει όμως να τονισθεί και πάλι ότι η ατμοποίηση γίνεται ισόθλιπτα και σε πίεση στην οποία αντιστοιχεί μονοσήμαντα μια μόνο θερμοκρασία Τ:

1) ***Υπόψυκτο υγρό:*** Είναι υγρό το οποίο ευρίσκεται σε πίεση p, αλλά έχει θερμοκρασία μικρότερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία ατμοποιήσεως.

2) ***Κεκορεσμένο υγρό:*** Έχει πίεση και θερμοκρασία ατμοποιήσεως (ευρίσκεται σε επαφή με ατμό).

3) ***Κεκορεσμένος ατμός:*** Ατμός που έχει πίεση και θερμοκρασία ατμοποιήσεως (ευρίσκεται σε επαφή με κεκορεσμένο υγρό).

4) ***Ξηρός κεκορεσμένος ατμός:*** Ατμός που έχει πίεση και θερμοκρασία ατμοποιήσεως και δεν περιέχει σταγονίδια υγρού.

5) ***Υπέρθερμος ατμός:*** Ατμός με πίεση ατμοποιήσεως, αλλά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως.

Όταν στον ατμό συνεχισθεί η πρόσδοση θερμότητας ώστε η θερμοκρασία του να αυξηθεί πολύ και να γίνει πολύ υπέρθερμος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το όνομα αέριο αντί για ατμός.

Αέριο λοιπόν είναι ατμός ο οποίος απέχει αρκετά από το σημείο ατμοποιήσεως. Το οξυγόνο της ατμόσφαιρας π.χ. υγροποιείται όταν η θερμοκρασία του γίνει − 183°C και η πίεσή του είναι ίση με την ατμοσφαιρική.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

Όσα αναφέρθηκαν κατά την ατμοποίηση, με τη βοήθεια του σχήματος 1.20β, ισχύουν και αντίστροφα. Αν δηλαδή γίνει αρχή από υπέρθερμο ατμό,όπως στο σχήμα 1.20β (γ) και αφαιρείται συνεχώς θερμότητα, τότε θα εμφανισθεί τελικά η αρχική κατάσταση όπως στο σχήμα 1.20β (α).

Η εξήγηση του φαινομένου της ατμοποιήσεως έγινε για κλειστό σύστημα.

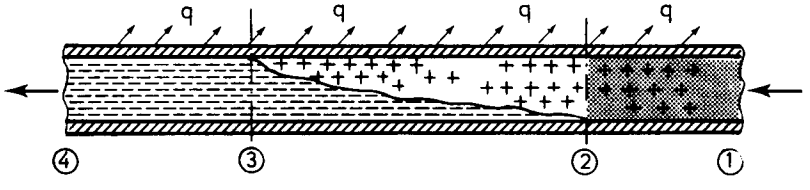
Για τον υπολογισμό των ποσών θερμότητας, ισχύουν φυσικά όσα έχουν αναπτυχθεί σε προηγούμενες παραγράφους για τις αντίστοιχες μεταβολές και συστήματα.

1.21 Συμπύκνωση.

Σε πολλές τεχνικές εγκαταστάσεις υπάρχει ανάγκη συμπυκνώσεως των ατμών. Η ανάγκη αυτή εμφανίζεται, γιατί πρέπει να αποκτηθεί το υλικό σε μορφή υγρού ή γιατί χρειάζεται η θερμότητα η οποία αφαιρείται κατά τη συμπύκνωση ή γιατί χρειάζονται και τα δύο ταυτόχρονα.

Στις ψυκτικές διατάξεις συγκεκριμένα, εμφανίζεται η ανάγκη της συμπυκνώσεως των ατμών του ψυκτικού μέσου για να χρησιμοποιηθεί το υγρό ψυκτικό μέσο ξανά μέσα στον ψυκτικό κύκλο.

Η συμπύκνωση γίνεται σε ανοιχτό σύστημα. Υπάρχει δηλαδή ροή ατμού μέσα από αγωγούς, ψύχονται τα τοιχώματα των αγωγών και έτσι αφαιρείται θερμότητα από τον ατμό ο οποίος τελικά συμπυκνώνεται (σχ. 1.21α).



Σχ. 1.21α.
Συμπύκνωση υπέρθερμου ατμού.

Στη θέση 1 εισέρχεται υπέρθεμος ατμός, δηλαδή ατμός ο οποίος έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία ατμοποιήσεως.

Στο τμήμα 1 - 2 του σωλήνα αφαιρείται θερμότητα. Ο υπέρθερμος ατμός ψύχεται και τελικά στη θέση 2 γίνεται ξηρός, κεκορεσμένος. Δηλαδή είναι έτοιμος να αρχίσει να συμπυκνώνεται.

Από τη θέση 2 μέχρι τη θέση 3 αφαιρείται και πάλι θερμότητα και ο ατμός συμπυκνώνεται. Σε όλο το τμήμα του σωλήνα μεταξύ των σημείων 2 και 3, όπου συνυπάρχει ατμός και υγρό, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Καθώς ο ατμός κινείται από τη θέση 2 προς τη θέση 3 όλο και μεγαλύτερη ποσότητα ατμού συμπυκνώνεται. Τελικά στο σημείο 3 έχει συμπυκνωθεί όλη η μάζα του ατμού και στο τμήμα του σωλήνα 3 - 4 ρέει υγρό.

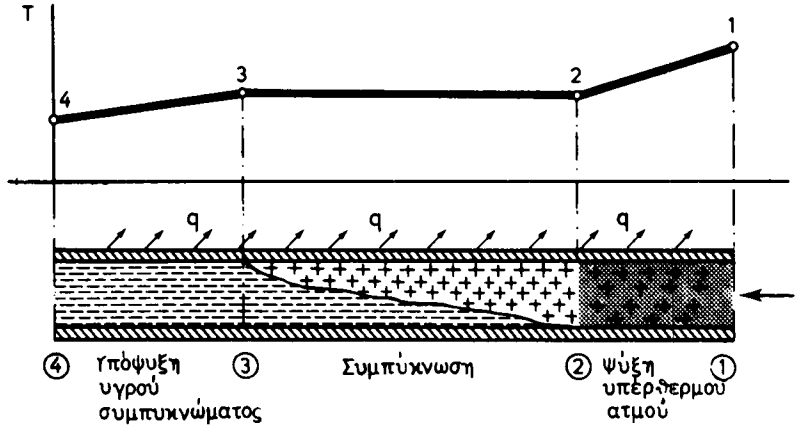
Και στο τμήμα 3 - 4 αφαιρείται όμως θερμότητα. Έτσι το υγρό το οποίο στη θέση 3 είναι κεκορεσμένο γίνεται στη συνέχεια υπόψυκτο.

Αν σχεδιασθεί η θερμοκρασία η οποία επικρατεί μέσα στο σωλήνα κατά μήκος

αυτού τότε για την περίπτωση της συμπυκνώσεως εμφανίζεται η κατάσταση όπως στο σχήμα 1.21β.

Για τον υπολογισμό των ποσών θερμότητας πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές των ενθαλπιών του μέσου το οποίο συμπυκνώνεται. Επειδή η μεταβολή είναι ισόθλιπτη, από τη σχέση (1.32) προκύπτει για τα αντίστοιχα ποσά θερμότητας ότι:

Ψύξη υπέρθερμου ατμού: $q_{12} = h_2 - h_1$
Συμπύκνωση: $q_{23} = h_3 - h_2$
Υπόψυξη υγρού: $q_{34} = h_4 - h_3$



Σχ. 1.21β.
Θερμοκρασία κατά μήκος συμπυκνώσεως.

Ειδικά το ποσό θερμότητας q_{23} δίνεται συνήθως κατ' ευθείαν στους αντίστοιχους πίνακες με την ονομασία θερμότητα ατμοποιήσεως.

Για συμπύκνωση σε κλειστό σύστημα ισχύουν τα ίδια με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο για την ατμοποίηση.

Όταν η αλλαγή φάσεως αφορά κλειστό σύστημα, τότε τα ποσά θερμότητας υπολογίζονται από τις αντίστοιχες τιμές εσωτερικών ενεργειών. Όταν βέβαια πρόκειται για μεταβολή υπό σταθερό όγκο.

Όταν η αλλαγή φάσεως αφορά ανοιχτό σύστημα και φυσικά ισόθλιπτη μεταβολή, τότε τα αντίστοιχα ποσά θερμότητας υπολογίζονται από τις διαφορές ενθαλπίας.

Σε κάθε ισόθλιπτη αλλαγή φάσεως, το χαρακτηριστικό μέγεθος το οποίο καθορίζει το σημείο στο οποίο γίνεται η αλλαγή, είναι η πίεση. Η κάθε όμως τιμή πιέσεως είναι συνυφασμένη με την αντίστοιχη τιμή θερμοκρασίας η οποία επικρατεί σέ όλη τη διάρκεια της αλλαγής φάσεως. Όταν π.χ. γίνεται ατμοποίηση ή συμπύκνωση νερού με πίεση p 760 mm στήλης υδραργύρου, η θερμοκρασία μένει σταθερή και ίση με 100°C.

Γι' αυτό πολλές φορές αναφέρεται η αντίστοιχη της πιέσεως θερμοκρασία αντί να αναφερθεί η πίεση στην οποία γίνεται η αλλαγή φάσεως. Σε ένα οικιακό ψυγείο π.χ., σε κάποια χρονική στιγμή μπορεί να γίνεται συμπύκνωση ψυκτικού μέσου

στους + 55°C και σε άλλη θέση του ψυγείου (στο χώρο καταψύξεως) ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου στους — 28°C.

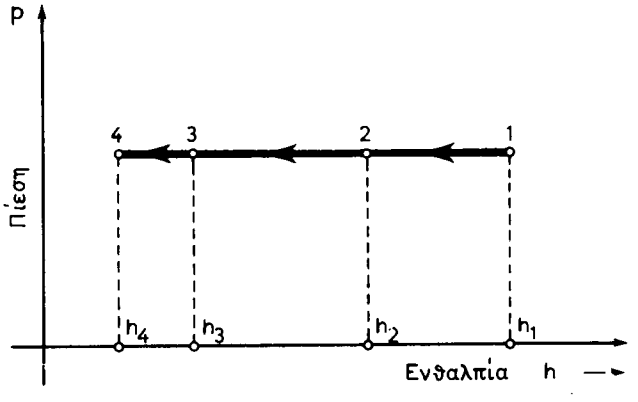
1.22 Διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας p - h.

Για να είναι εύκολη η παρακολούθηση των μεταβολών τις οποίες υφίσταται το ψυκτικό μέσο μέσα σε μια ψυκτική διάταξη, πρέπει να χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο διάγραμμα.

Μέχρι τώρα έχει αναφερθεί το διάγραμμα με άξονες πίεση p και όγκο V. Ένα άλλο διάγραμμα διατηρεί τον άξονα των πιέσεων p, αλλά στη θέση του άξονα των όγκων V, υπάρχει ο άξονας του μεγέθους ενθαλπία h.

Το γεγονός αυτό επιβάλλεται από την απλότητα με την οποία παριστάνονται οι υπολογισμοί των ψυκτικών κύκλων.

Ένα τέτοιο διάγραμμα παριστάνεται στο σχήμα 1.22α. Για να φανεί η ευκολία με την οποία παριστάνονται οι μεταβολές, οι οποίες αφορούν τις ψυκτικές διατάξεις, έχει παρασταθεί σε αυτό η συμπύκνωση η οποία εξετάσθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

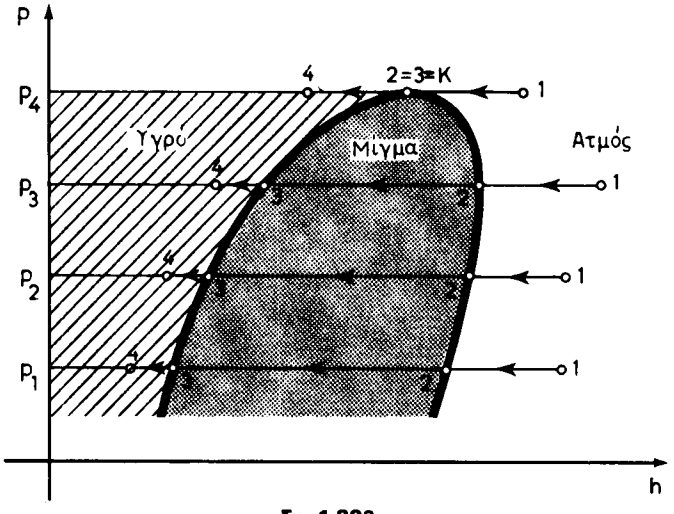


Σχ. 1.22α.
Διάγραμμα h - p.

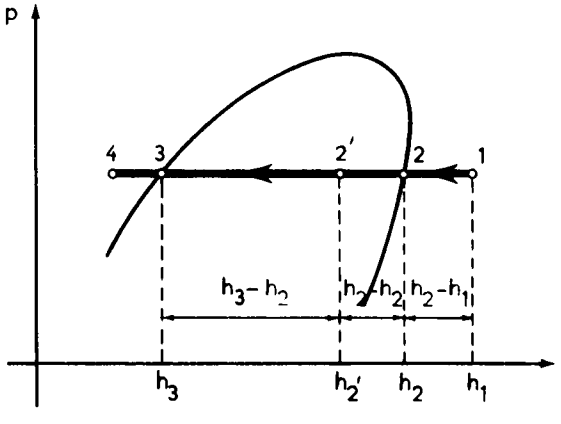
Η συμπύκνωση 1234 είναι ισόθλιπτη μεταβολή και συνεπώς όλα τα σημεία της ευρίκονται επάνω σε μία ευθεία σταθερής πιέσεως, δηλαδή σε μία γραμμή κάθετη στον άξονα των p. Τα ποσά θερμότητας κάθε μεταβολής μπορούν να ευρεθούν από τον άξονα των ενθαλπιών.

Αν επαναληφθεί το πείραμα του σχήματος 1.22α για πολλές διαφορετικές πιέσεις, τότε προκύπτει η κατάσταση που παρουσιάζει το σχήμα 1.22β. Αν τα σημεία 2 και 3 ενωθούν μεταξύ τους με μια καμπύλη τότε το διάγραμμα χωρίζεται σε τρεις βασικές περιοχές. Το αριστερό μέρος περιγράφει την υγρή φάση και το δεξιό και επάνω μέρος τη φάση του ατμού. Στο εσωτερικό της καμπύλης ευρίσκεται η περιοχή του μίγματος υγρού - ατμού.

Στο σχήμα 1.22γ είναι σχεδιασμένη η μεταβολή συμπυκνώσεως του σχήματος 1.21β. Από τον υπέρθερμο ατμό καταστάσεως 1 αφαιρείται ποσό θερμότητας ίσο



Σχ. 1.22β.
Αλλαγές καταστάσεως για p = σταθερό.



Σχ. 1.22γ.
Σημείο 2′ μερικής συμπυκνώσεως.

με τη διαφορά ενθαλπιών:

$$q_{12} = h_2 - h_1$$

Ο ατμός από υπέρθερμος γίνεται κεκορεσμένος.

Στη συνέχεια αφαιρείται η θερμότητα που δίνει η διαφορά $(h_{2'} - h_2)$. Σύμφωνα με το διάγραμμα ο αρχικό ατμός από την κατάσταση 2 έχει φθάσει στην κατάσταση 2′. Τι είναι όμως η κατάσταση 2′ ακριβώς;

Το σημείο 2′ είναι ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ του ξηρού κεκορεσμένου ατμού καταστάσεως 2 και του κεκορεσμένου υγρού καταστάσεως 3. Η ενδιάμεση

κατάσταση στην προκειμένη περίπτωση πρέπει να εννοηθεί ως μίγμα των καταστάσεων 2 και 3. Δηλαδή ένα μέρος από τον ατμό καταστάσεως 2 έχει συμπυκνωθεί και έχει γίνει υγρό κεκορεσμένο, καταστάσεως 3.

Η θέση του σημείου 2΄ ανάμεσα στα σημεία 2 και 3 δείχνει ακριβώς την αναλογία του μίγματος. Όσο το σημείο 2΄ είναι πιο κοντά στο σημείο 2, τόσο περισσότερο ατμό έχει τό μίγμα. Όσο το σημείο 2΄ πλησιάζει στο σημείο 3 του κεκορεσμένου υγρού, τόσο περισσότερο υγρό έχει το μίγμα.

Από την κατάσταση ξηρού κεκορεσμένου ατμού 2 όπου άρχισε η συμπύκνωση, μέχρι το σημείο 2΄ όπου έχει γίνει μερική συμπύκνωση, έχει αφαιρεθεί ποσό θερμότητας. Δηλαδή:

$$q_{2'2} = h_{2'} - h_2$$

Για να γίνει πλήρης συμπύκνωση του μίγματος, για να «φθάσει» δηλαδή το σημείο 2΄ του διαγράμματος στο σχήμα 1.22γ στη θέση του σημείου 3 πρέπει να αφαιρεθεί επί πλέον ποσό θερμότητας q'_{23}. Δηλαδή:

$$q_{2'3} = h_3 - h_{2'}$$

Στο σημείο 2΄ ένα μέρος από την αρχική ποσότητα ατμού έχει γίνει υγρό. Το υγρό στη θέση 2΄ και ο ατμός δίνονται από τα ευθύγραμμα τμήματα 2΄3 και 2΄2. Δηλαδή:

$$\boxed{\frac{\text{ποσότητα ατμού}}{\text{ποσότητα υγρού}} = \frac{h_3 - h_{2'}}{h_{2'} - h_2} = \frac{(2'3)}{(2'2)}} \qquad (1.38)$$

Η σχέση αυτή ισχύει και για την ατμοποίηση, γιατί αναφέρεται σε μια κατάσταση 2΄ που είναι μέσα στην περιοχή του μίγματος ή στην περιοχή υγρού ατμού, όπως συνήθως λέγεται.

Στο επάνω μέρος της καμπύλης του σχήματος 1.22β υπάρχει ένα σημείο 2 = 3 το οποίο έχει χαρακτηρισθεί με το γράμμα Κ. Το σημείο αυτό ονομάζεται ***κρίσιμο σημείο.*** Αν η πίεση του ατμού είναι μικρότερη από την πίεση που αντιστοιχεί στο κρίσιμο σημείο τότε ο ατμός μπορεί να υγροποιηθεί με ισόθλιπτη αφαίρεση θερμότητας.

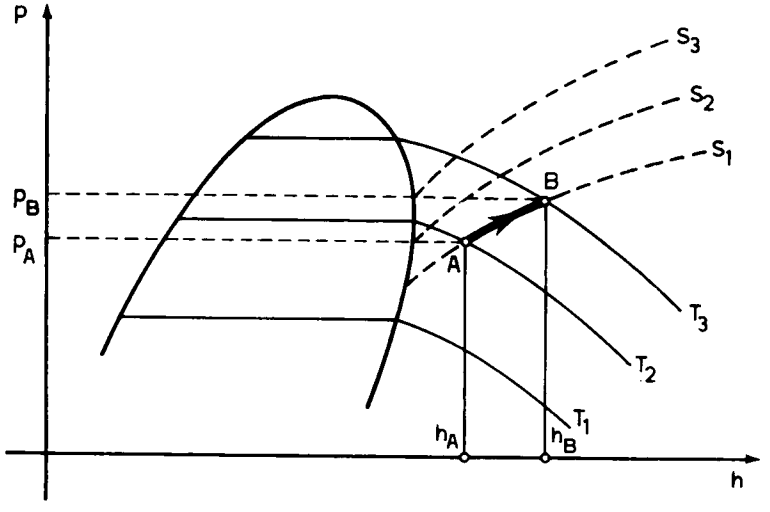
Αν όμως ο ατμός ευρίσκεται σε αρχική κατάσταση με πίεση μεγαλύτερη από την πίεση του κρίσιμου σημείου ή της κρίσιμης πιέσεως, όπως λέγεται, τότε η ισόθλιπτη ψύξη ***δεν*** μπορεί να εμφανίζει και άλλη φάση με μεγαλύτερη πυκνότητα.

Για να γίνουν οι υπολογισμοί των ποσών θερμότητας με το διάγραμμα p - h πρέπει να υπάρχει διάγραμμα για το αντίστοιχο εργαζόμενο μέσο.

Για να υπάρχει ακρίβεια στις τιμές οι οποίες ευρίσκονται από το διάγραμμα, γίνεται και μια άλλη συμπλήρωση. Η συμπλήρωση αυτή αφορά τον άξονα πιέσεων p. Τα μέρη των ψυκτικών διατάξεων άλλοτε έχουν ψυκτικό μέσο σε χαμηλή πίεση και άλλοτε σε υψηλή. Η διαφορά πιέσεως των δύο μερών είναι σημαντική. Αν η κλίμακα πιέσεων στο διάγραμμα p - h είναι γραμμική, δεν είναι εύκολη η ανάγνωση στις χαμηλές πιέσεις. Για να υπερνικηθεί η δυσκολία αυτή χρησιμοποιείται λογαριθμική κλίμακα πιέσεων. Η αλλαγή αυτή στη χρήση του διαγράμματος δεν παρουσιάζει καμιά διαφορά.

Στην περιοχή του ατμού στα διαγράμματα για τα διάφορα ψυκτικά μέσα, εκτός από τις γραμμές σταθερής πιέσεως χαράσσονται και άλλες καμπύλες οι οποίες υποβοηθούν τους υπολογισμούς.

Στο σχήμα 1.22δ δίνονται σχηματικά οι πιο συνηθισμένες από αυτές. Δηλαδή οι καμπύλες σταθερής θερμοκρασίας ή ισοθερμοκρασιακές Τ και οι καμπύλες των αδιαβατικών μεταβολών S. Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι οι καμπύλες S στην ουσία αναφέρονται σε άλλο θερμοδυναμικό μέγεθος, στην εντροπία. Σε πρώτη όμως προσέγγιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παράσταση αδιαβατικών μεταβολών. Στο διάγραμμα έχει παρασταθεί για παράδειγμα η μεταβολή ΑΒ.



Σχ. 1.22δ.
Παράσταση ισοθερμοκρασιακών Τ και καμπυλών αδιαβατικής μεταβολής S (στην ουσία ισεντροπικών).

Επειδή η μεταβολή αυτή ΑΒ γίνεται κατά μήκος της καμπύλης S, είναι ουσιαστικά αδιαβατική. Για ένα ανοιχτό σύστημα στην περίπτωση αυτή το έργο δίνεται από τη σχέση (1.37).

Η μεταβολή λοιπόν ΑΒ είναι μια αδιαβατική συμπίεση η οποία για να γίνει απαιτείται να δοθεί από έξω, προς το συμπιεζόμενο ατμό, τεχνικό έργο w_{tAB} το οποίο είναι ίσο με:

$$w_{tAB} = h_A - h_B \qquad (1.39)$$

Η θερμοκρασία στην αρχή της συμπιέσεως είναι T_2 και η πίεση του ατμού p_A. Στο τέλος της συμπιέσεως η θερμοκρασία ειναι T_3 και η πίεση p_B.

Για να συμπληρωθεί η περιγραφή όλων των μεταβολών που χρειάζονται για έναν ψυκτικό κύκλο πρέπει να περιγραφει ο στραγγαλισμός υγρού.

1.23 Στραγγαλισμός υγρού.

Και στην παράγραφο αυτή ο όρος στραγγαλισμός υπονοεί την «καταστροφή»

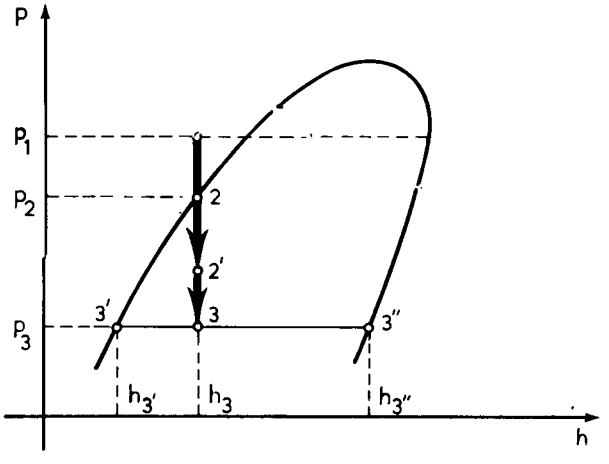
κάποιας υψηλής πιέσεως χωρίς αντίστοιχη παραγωγή μηχανικού έργου, όπως θα έπρεπε ίσως να γινόταν.

Εδώ θα εξετασθεί πιο συγκεκριμένα ο στραγγαλισμός της πιέσεως ενός υγρού το οποίο περνάει από υψηλή σε χαμηλή πίεση.

Στο σχήμα 1.23α φαίνεται μία διάταξη, όπως χρησιμοποιείται στα μικρά οικιακά ψυγεία. Από άποψη θερμοδυναμικής ο στραγγαλισμός θεωρείται αδιαβατικός. Επομένως, όπως υπολογίσθηκε στην παράγραφο 1.15, η μεταβολή αυτή είναι ταυτόχρονα και ισενθαλπική.



Σχ. 1.23α.
Στραγγαλισμός υγρού σε τριχοειδές σωληνάκι. Στό σημείο 2 αρχίζει η ατμοποίηση του υγρού.



Σχ. 1.23β.
Στραγγαλισμός υγρού καταστάσεως 1.

Το υγρό στην είσοδο έχει υψηλή πίεση p_1 και στην έξοδο χαμηλή πίεση p_3. Σε ένα ενδιάμεσο σημείο η πίεση είναι p_2.

Αν για να παρασταθεί η μεταβολή χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας τότε προκύπτει η κατάσταση του σχήματος 1.23β.

Το υγρό στην είσοδο έχει πίεση p_1 και χαρακτηριστικό σημείο 1. Καθώς ρέει μέσα στη διάταξη στραγγαλισμού, η πίεσή του μειώνεται συνεχώς ενώ η ενθαλπία παραμένει σταθερή. Γι' αυτό, το χαρακτηριστικό σημείο της μεταβολής κινείται πάνω στην ισενθαλπική ευθεία 122′3.

Το υγρό σε ένα σημείο του σωλήνα φθάνει στην κατάσταση 2 και στη συνέχεια στην 2′ και καταλήγει στην 3. Από το σημείο όμως 2 και μετά, όπως προκύπτει από το σχήμα 1.23β, το αρχικό υγρό ευρίσκεται πλέον μέσα στην περιοχή υγρού ατμού. Το γεγονός αυτό δηλώνει, ότι από το σημείο 2 και μετά, μέσα στο σωλήνα

δεν ρέει μόνο υγρό, αλλά και ατμός. Ένα μέρος δηλαδή του υγρού ατμοποιείται.

Όσο η πίεση πέφτει προς την έξοδο του σωλήνα, τόσο περισσότερο ποσοστό από την αρχική μάζα του υγρού ατμοποιείται. Τελικά στην έξοδο, όπου επικρατεί η κατάσταση του σημείου 3, έχει ατμοποιηθεί τόσο υγρό ως ποσοστό από την αρχική μάζα όσο δείχνει η αναλογία:

$$\frac{\text{ατμός}}{\text{ολική μάζα}} = \frac{(3'3)}{(3'3'')} = \frac{h_3 - h_{3'}}{h_{3''} - h_{3'}}$$

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή, ο στραγγαλισμός γίνεται αδιαβατικά. Τώρα το πώς γίνεται η ατμοποίηση ενός μέρους από το υγρό και από που δίνεται η θερμότητα ατμοποιήσεως θα το καταλάβομε από το διάγραμμα του σχήματος 1.23β.

Στη θέση 1 το υγρό έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από ό,τι στη θέση 3. Κατά το στραγγαλισμό, το ***υγρό ψύχεται*** και η θερμότητα που αφαιρείται από αυτό προσδίδεται σε μέρος του υγρού για να αλλάξει φάση και να ατμοποιηθεί.

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι στον αδιαβατικό στραγγαλισμό, με αλλαγή φάσεως, το εργαζόμενο σώμα ψύχεται. Η ψύξη γίνεται, γιατί υπήρχε στην αρχή υψηλή πίεση η οποία στο τέλος «καταστρέφεται».

Στις ψυκτικές διατάξεις όπου χρησιμοποιείται ο αδιαβατικός στραγγαλισμός, το φαινόμενο της ψύξεως του εργαζόμενου μέσου είναι επιθυμητό. Αντίθετα, η μερική ατμοποίηση η οποία συνδέεται με την ψύξη του εργαζόμενου μέσου δεν είναι καθόλου επιθυμητή.

Στην παράγραφο 1.15 όπου εξετάσθηκε γενικά ο σταγγαλισμός πιέσεως αερίου δεν αναφέρθηκε αν το εργαζόμενο μέσο στο τέλος του στραγγαλισμού, είναι πιο ζεστό ή πιο κρύο από ότι πριν από το στραγγαλισμό. Η απάντηση δεν είναι μονοσήμαντη. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από το εργαζόμενο μέσο και τις συνθήκες στραγγαλισμού.

Στις ψυκτικές διατάξεις ο στραγγαλισμός εφαρμόζεται σε υγρό το οποίο μόλις έχει συμπυκνωθεί και είναι κεκορεσμένο ή ελαφρά υπόψυκτο. Ο στραγγαλισμός στην περίπτωση αυτή οδηγεί πάντοτε σε ψύξη του εργαζόμενου σώματος.

Στο σχήμα 1.23α εξετάσθηκε ως παράδειγμα στραγγαλισμού η διάταξη τριχοειδούς σωλήνα, η οποία χρησιμοποιείται σε μικρά ψυγεία. Σε μεγαλύτερα χρησιμοποιούνται κατάλληλες βαλβίδες με βελονοειδές στέλεχος και κατάλληλη έδρα. Και εδώ ο υπολογισμός της θερμοδυναμικής μεταβολής είναι ο ίδιος.

1.24 Ψυκτικός κύκλος.

Ψυκτικός κύκλος είναι ο θερμοδυναμικός κύκλος με τον οποίο λειτουργούν οι ψυκτικές διατάξεις. Δηλαδή είναι το σύνολο των διαδοχικών μεταβολών τις οποίες υφίσταται το ψυκτικό μέσο. Πριν από τη θερμοδυναμική περιγραφή του ψυκτικού κύκλου, δίνεται μία περιγραφή του τρόπου παραγωγής ψυκτικής ισχύος.

Στο σχήμα 1.24α υπάρχει ένα δοχείο το οποίο συγκοινωνεί με την ατμόσφαιρα. Μέσα στο δοχειο υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο, π.χ. ψυκτικό μέσο R12.

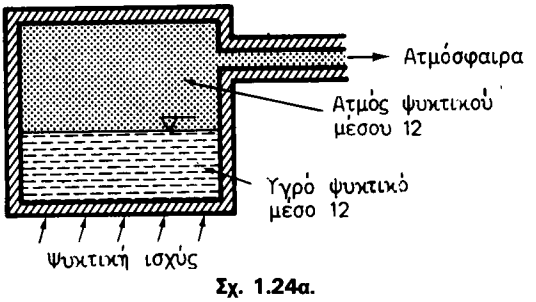
Επειδή το δοχείο συγκοινωνεί με την ατμόσφαιρα, η πίεση μέσα στο δοχείο είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Η πίεση οφείλεται στον ατμό του ψυκτικού μέσου ο οποίος όμως συνεχώς ρέει προς την ατμόσφαιρα.

Η πίεση μέσα στο δοχείο δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική,

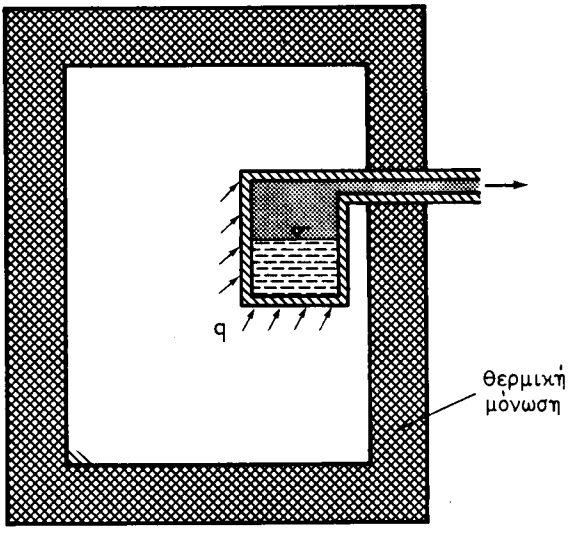
και παράγεται συνεχώς νέα ποσότητα ατμού από το υγρό το οποίο συνεχώς ελαττώνεται. Για την παραγωγή όμως ατμού από το υγρό, δηλαδή για την ατμοποίηση, απαιτείται να δοθεί στο υγρό η θερμότητα ατμοποιήσεως. Η θερμότητα αυτή δίνεται από το περιβάλλον στα τοιχώματα του δοχείου και από αυτά στο υγρό ψυκτικό μέσο.

Η ατμοποίηση γίνεται σε ατμοσφαιρκή πίεση και η θερμοκρασία που επικρατεί στό ψυκτικό μέσο προκύπτει μονοσήμαντα από την πίεση αυτή. Για το ψυκτικό μέσο R12 του παραδείγματος η θερμοκρασία ατμοποιήσεως είναι περίπου – 30°C.

Με τον τρόπο αυτό της ατμοποιήσεως υγρού ψυκτικού μέσου, επιτυγχάνεται η δημιουργία μιας ψυχρής επιφάνειας, με θερμοκρασία περίπου – 30°C, δηλαδή η εξωτερική επιφάνεια του δοχείου. Στην επιφάνεια αυτή προσδίδεται συνεχώς θερμότητα, η οποία αφαιρείται από τον αέρα του περιβάλλοντος.



Σχ. 1.24α.
Ατμοποίηση ψυκτικού μέσου.



Σχ. 1.24β.
Στοιχειώδης διάταξη ψυγείου.

Άν το δοχείο αυτό διαμορφωθεί γεωμετρικά κατάλληλα και τοποθετηθεί μέσα σε ένα κιβώτιο το οποίο έχει θερμική μόνωση, τότε δημιουργείται ένας θάλαμος - ψυγείο (σχ. 1.24β).

Η διάταξη αυτή είναι εξαιρετικά απλή στην κατασκευή της. Στην ουσία δεν απαιτεί την ύπαρξη ψυκτικής διατάξεως. Έχει όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα· λειτουργεί μόνο όσο υπάρχει ψυκτικό μέσο στο δοχείο. Όταν το ψυκτικό μέσο τελειώσει θα πρέπει να ανικατατασταθεί με νέα ποσότητα. Η λειτουργία ψυγείων με τον τρόπο αυτό δεν συμφέρει οικονομικά, γιατί τα ψυκτικά μέσα στοιχίζουν ακριβά. Πρέπει λοιπόν να ευρεθεί τρόπος ώστε να χρησιμοποιείται συνεχώς το ίδιο ψυκτικό μέσο. Για να γίνει αυτό, πρέπει να «πληρώνεται» μηχανική ενέργεια για τη λειτουργία του ψυγείου.

Για λόγους ***οικονομικής*** λειτουργίας απαιτείται η κατασκευή και λειτουργία των ψυκτικών μηχανών. Από απόψεως φυσικής λύσεως του προβλήματος αρκεί η διάταξη του σχήματος 1.24β.

Στη διάταξη αυτή η θερμότητα που αφαιρείται από το χώρο του ψυγείου προσδίδεται στο υγρό ψυκτικό μέσο στο οποίο ατμοποιείται. Ο υλικός φορέας που παραλαμβάνει και μεταφέρει τη θερμότητα είναι το ψυκτικό μέσο. Το φυσικό φαινόμενο που χρησιμοποιείται για την «απορρόφηση» της θερμότητας που απομακρύνεται, είναι η αλλαγή φάσεως, δηλαδή η ατμοποίηση.

Σε ένα χώρο ψυγείου ο αέρας πρέπει να έχει μια συγκεκριμένη χαμηλή θερμοκρασία, ανάλογα με τη χρήση του ψυγείου. Αν είναι π.χ. ψυγείο διατηρήσεως νωπών λαχανικών ή φρούτων, θα πρέπει να έχει θερμοκρασία περίπου + 4°C. Αν είναι ψυγείο διατηρήσεως κατεψυγμένων προϊόντων, θα πρέπει να έχει — 18°C ή και λιγότερο.

Για να πάει η θερμότητα από τον αέρα του ψυγείου στο υγρό ψυκτικό μέσο, θα πρέπει το υγρό ψυκτικό μέσο να είναι περισσότερο κρύο από τον αέρα του θαλάμου του ψυγείου ή, στην ιδανική θεωρητική περίπτωση, να έχει το πολύ ίση θερμοκρασία με τη θερμοκρασία του χώρου. Το συμπέρασμα λοιπόν είναι ότι η θερμοκρασία ατμοποιήσεως του ψυκτικού μέσου, και συνεπώς και η πίεση ατμοποιήσεως, καθορίζονται από τη θερμοκρασία του χώρου του θαλάμου.

Στον Πίνακα 1.24.1 δίνονται οι τιμές θερμοκρασίας - πιέσεως για ψυκτικό μέσο R12. Οι πιέσεις είναι οι απόλυτες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.24.1.
Αντιστοιχία πιέσεως - θερμοκρασίας για ατμοποίηση ψυκτικού μέσου R12

°C	− 50	− 45	− 40	− 35	− 30	− 25	− 20	− 15	− 10	− 5	0	+ 5	+ 10
bar	0,392	0,505	0,642	0,807	1,005	1,237	1,510	1,827	2,193	2,612	3,089	3,629	4,238

Αν στή διάταξη του σχήματος 1.24β, η ατμοποίηση γίνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία, π.χ. — 45°C, τότε μέσα στο δοχείο του ψυκτικού μέσου ή όπως ονομάζεται στο ***στοιχείο ατμοποιήσεως,*** θα πρέπει σύμφωνα με τον Πίνακα 1.24.1 να εξασφαλισθεί πίεση 0,505 bar.

Για να γίνεται εύκολα η ρύθμιση της πιέσεως και της ποσότητας που ατμοποιείται πρέπει να υπάρχει κάποιο σύστημα αναρροφήσεως του παραγόμενου ατμού. Την αναρρόφηση αυτή την κάνει ένας συμπιεστής ο οποίος όμως εξυπηρετεί όπως αναφέρεται αμέσως και άλλο σκοπό.

Ο ατμός του ψυκτικού μέσου για να χρησιμοποιηθεί και πάλι στην εγκατάστα-

ση, πρέπει να επανέλθει στην υγρή φάση. Πρέπει συνεπώς να γίνει συμπύκνωση, ατμού. Για να γίνει όμως συμπύκνωση, πρέπει να αφαιρεθεί από τον ατμό η θερμότητα συμπυκνώσεως. Η αφαίρεση θερμότητας μπορεί να γίνει μόνο όταν υπάρχει κάποιο άλλο σύστημα, στο οποίο θα δοθεί η θερμότητα που αφαιρείται. Τέτοιο όμως σύστημα δεν μπορεί να είναι τίποτε άλλο από το «περιβάλλον», δηλαδή τον ατμοσφαιρικό αέρα ή κάποιο ρεύμα νερού με θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το πρόβλημα είναι το εξής:

Πρέπει από ατμό με χαμηλή θερμοκρασία – 30°C να αφαιρεθεί θερμότητα συμπυκνώσεως και να δοθεί στο περιβάλλον, π.χ. στον αέρα, με θερμοκρασία + 35°C.

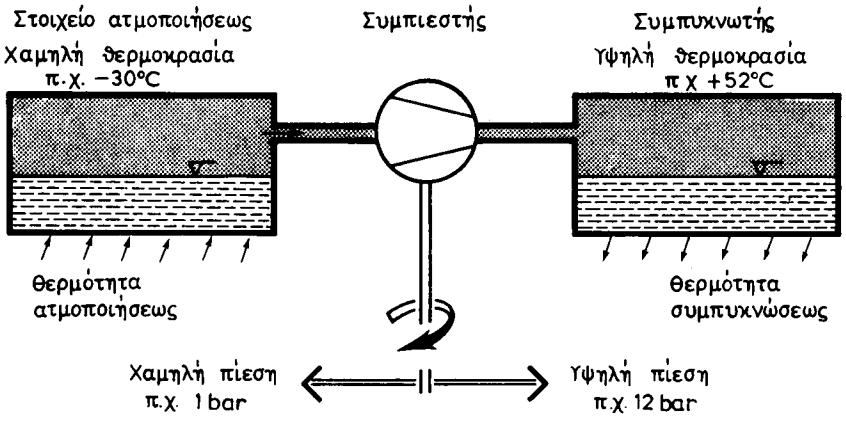
Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει μόνο του, γιατί θερμότητα δεν φεύγει μόνη της από κρύο σώμα με θερμοκρασία – 30°C για να πάει σε σώμα θερμότερο με θερμοκρασία + 35°C. Πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιηθεί μια μηχανή.

Η μηχανή που χρησιμοποιείται είναι ένας συμπιεστής ψυκτικού μέσου, ο οποίος αναρροφά τον κρύο ατμό χαμηλής πιέσεως και τον συμπιέζει σε υψηλή πίεση, π.χ. σε απόλυτη πίεση 13 bar. Με τον τρόπο αυτό, όταν «πληρώνεται» μηχανική ενέργεια για τη λειτουργία του συμπιεστή, αυξάνεται η πίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου.

Αυτή ακριβώς η αύξηση της πιέσεως επιτρέπει τώρα να γίνει η συμπύκνωση του ατμού. Όταν υπάρχει π.χ. ατμός ψυκτικού μέσου R12 σε απόλυτη πίεση 13 bar, η συμπύκνωση γίνεται σε θερμοκρασία + 52°C περίπου. Έτσι η θερμότητα συμπυκνώσεως του ατμού μπορεί να απορριφθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα, θερμοκρασίας π.χ. + 35°C.

Συμπέρασμα.

Ο συμπιεστής ανεβάζει την πίεση του ατμού για να αυξηθεί η θερμοκρασία συμπυκνώσεως σε τιμή μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.



Σχ. 1.24γ.
Τμήμα ψυκτικής διατάξεως.

Μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιηθεί τα εξής μέρη (σχ. 1.24γ) της ψυκτικής διατάξεως:

– Στοιχείο ατμοποιήσεως.

— Συμπιεστής.
— Συμπυκνωτής.

Με τον τρόπο αυτό το ψυκτικό μέσο δεν χάνεται, αλλά συμπιέζεται με το συμπιεστή και υγροποιείται ξανά.

Η διάταξη όμως και πάλι δεν είναι πλήρης, γιατί το ψυκτικό μέσο δεν επιστρέφει ξανά στο στοιχείο ατμοποιήσεως όπου ακριβώς χρειάζεται.

Πρέπει λοιπόν να γίνει μια συμπλήρωση της διατάξεως η οποία επιτρέπει την επιστροφή αυτή.

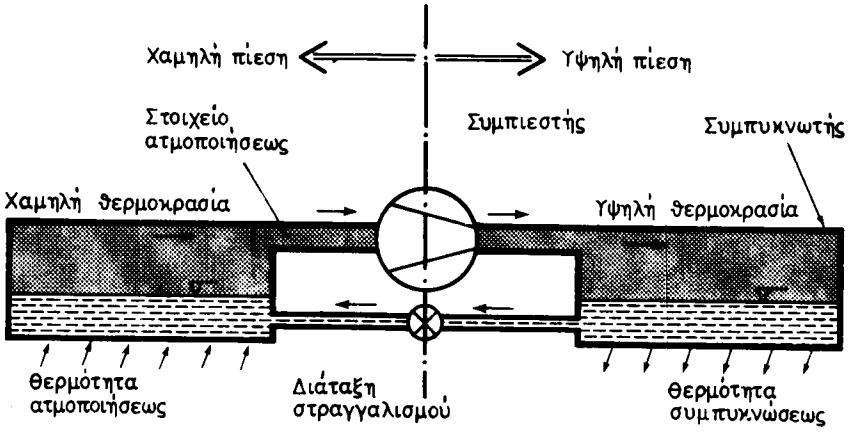
Επειδή η πίεση στο συμπυκνωτή είναι υψηλή, ενώ στο στοιχείο ατμοποιήσεως αντίθετα χαμηλή, η ροή μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς πρόσθετη ενέργεια. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι το συμπύκνωμα είναι ζεστό (π.χ. + 52°C) και πρέπει πρώτα να κρυώσει προτού διοχετευθεί στο στοιχείο ατμοποιήσεως.

Επίσης πρέπει η επιστροφή της μάζας να είναι ελεγχόμενη και να συμφωνεί με την παροχή μάζας του συμπιεστή. Όση ποσότητα συμπιέζει ο συμπιεστής προς το συμπυκνωτή τόση ποσότητα πρέπει να επιστρέφει από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως.

Η διάταξη λοιπόν επιστροφής του ψυκτικού μέσου στο στοιχείο ατμοποιήσεως πρέπει να εκτελεί βασικά τις εξής εργασίες:

— Στραγγαλισμό πιέσεως (και ταυτόχρονη ψύξη συμπυκνώματος).
— Ρύθμιση παροχής μάζας.

Οι διατάξεις αυτές εξετάζονται λεπτομερέστερα στο δεύτερο τόμο του βιβλίου. Για τον ψυκτικό κύκλο που εξετάζεται τώρα, η διάταξη αυτή είναι απλώς μια διάταξη αδιαβατικού στραγγαλισμού υγρού, όπως έχει περιγραφεί λεπτομερώς στην παράγραφο 1.23.



Σχ. 1.24δ.
Σχηματική παράσταση των τεσσάρων κυρίων μερών της ψυκτικής διατάξεως.

Τα κύρια λοιπόν μέρη σε μια τυπική διάταξη ψύξεως (σχ. 1.24δ) είναι:
— Στοιχείο ατμοποιήσεως.
— Συμπιεστής.
— Συμπυκνωτής.
— Διάταξη στραγγαλισμού.

Για να περιγραφούν στοιχειωδώς οι συνθήκες λειτουργίας μιας ψυκτικής διάταξεως πρέπει να αναφερθούν τουλάχιστον τα εξής χαρακτηριστικά μεγέθη:

- Θερμοκρασία ατμοποιήσεως.
- Θερμοκρασία συμπυκνώσεως.
- Ισχύς συμπιεστή.

Από όσα αναφέραμε σ' αυτή την παράγραφο προκύπτει ότι:

- ***Η θερμοκρασία ατμοποιήσεως*** καθορίζεται ουσιαστικά από τη θερμοκρασία αέρα του ψυχόμενου χώρου.
- ***Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως*** καθορίζεται ουσιαστικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- ***Η ισχύς συμπιεστή*** καθορίζεται από το μέγεθος της εγκαταστάσεως.

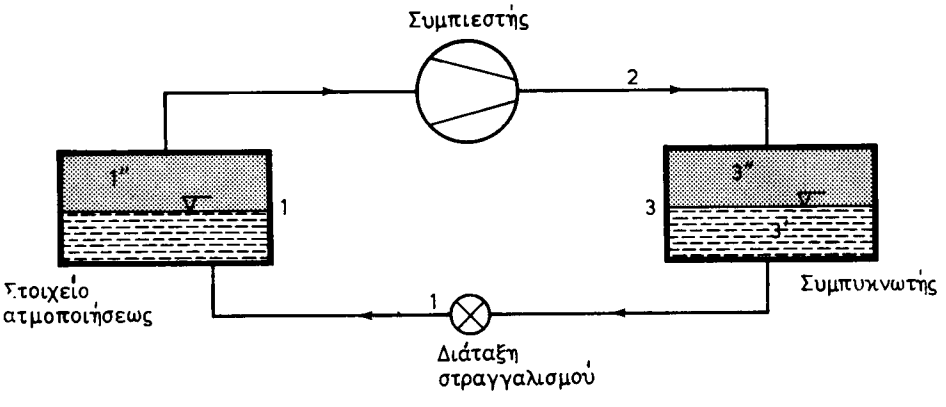
1.25 Παράσταση ψυκτικού κύκλου στο διάγραμμα p - h.

Ο ψυκτικός κύκλος τον οποίο διαγράφει το ψυκτικό μέσο παριστάνεται στο διάγραμμα p - h για να μπορούν να γίνουν οι αναγκαίοι υπολογισμοί των διαφόρων μεγεθών.

Όταν έγινε η ανάπτυξη του διαγράμματος p - h και στη συνέχεια, όταν εξετάσθηκε ο στραγγαλισμός υγρού, αναπτύχθηκαν οι μερικές μεταβολές καταστάσεως οι οποίες συνθέτουν τον ψυκτικό κύκλο.

Εδώ γίνεται η σύνθεση των μεταβολών αυτών για να μπορεί να παραχθεί ο ψυκτικός κύκλος στο διάγραμμα p - h.

Στο σχήμα 1.25α χαρακτηρίζονται οι διαφορετικές καταστάσεις του ψυκτικού μέσου με αντίστοιχους αριθμούς. Οι αριθμοί με έναν τόνο αναφέρονται στο κεκορεσμένο υγρό, οι αριθμοί με δύο τόνους στον αντίστοιχο ατμό.



Σχ. 1.25α.
Χαρακτηρισμός καταστάσεων ψυκτικού μέσου.

Ο συμπιεστής έχει στην αναρρόφησή του ξηρό κεκορεσμένο ατμό καταστάσεως 1''. Το σημείο 1'' στο διάγραμμα (σχ. 1.25β) ευρίσκεται επάνω στη γραμμή σταθερής πιέσεως p_A η οποία αντιστοιχεί στην πίεση ατμοποιήσεως και στη θέση ξηρού κεκορεσμένου ατμού, δηλαδή στη θέση όπου τελειώνει η ατμοποίηση του υγρού σε πίεση p_A .

Η συμπίεση του ατμού είναι η μεταβολή 1''2. Είναι αδιαβατική συμπίεση και συνεπώς ευρίσκεται επάνω στην καμπύλη S η οποία περνάει από το σημείο 1''. Το σημείο 2 ευρίσκεται στην τομή της καμπύλης S που περνάει από το αρχικό σημείο 1'', και της ισόθλιπτης p_Σ η οποία αντιστοιχεί στην πίεση συμπυκνώσεως της διατάξεως.

Ο ατμός στη θέση 2 είναι, φυσικά, υπέρθερμος. Ο ατμός της καταστάσεως αυτής, μέσα στο συμπυκνωτή, ψύχεται στην αρχή μέχρι την κατάσταση 3'' και γίνεται ξηρός κεκορεσμένος. Στη συνέχεια αρχίζει η συμπύκνωση του ατμού η οποία τελειώνει στο σημείο 3'.

Στο σημείο 3' το συμπύκνωμα είναι υγρό κεκορεσμένο. Στη συνέχεια στραγγαλίζεται αδιαβατικά μέχρι την κατάσταση 1.

Η κατάσταση 1 είναι μίγμα από κεκορεσμένο υγρό καταστάσεως 1' και από κεκορεσμένο ατμό καταστάσεως 1''.

Στο στοιχείο ατμοποιήσεως το υγρό μέρος του ψυκτικού μέσου ατμοποιείται και τελικά η μάζα του ψυκτικού μέσου αποκτά την κατάσταση 1'', και αναρροφάται ξανά από το συμπιεστή.

Μετά τη χάραξη του κύκλου στο διάγραμμα p - h (σχ. 1.25β) είναι εύκολο να γίνει και ο ενεργειακός ισολογισμός.

Η συναλλαγή της θερμότητας με το ψυκτικό μέσο γίνεται μόνο στο στοιχείο ατμοποιήσεως και στο συμπυκνωτή.

Μηχανικό έργο δίνεται μόνο στο συμπιεστή.

Τα αντίστοιχα ποσά αυτών των μεγεθών είναι ήδη γνωστά. Δηλαδή:

- Ατμοποίηση: $q_{11''} = h_{1''} - h_1 = q_A$
- Συμπύκνωση: $q_{23'} = h_{3'} - h_2 = q_\Sigma$
- Συμπίεση: $w_{t1''2} = h_{1''} - h_2 = w_t$

Για να χαραχθεί ο κύκλος, όπως στο σχήμα 1.25β, πρέπει να δοθούν μόνο οι δύο πιέσεις λειτουργίας του κύκλου ή οι αντίστοιχες δύο θερμοκρασίες. Φυσικά πρέπει να έχει καθορισθεί προηγουμένως το ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται ώστε να γίνει η εκλογή του κατάλληλου διαγράμματος p - h.

Από την άποψη ενεργειακού ισολογισμού το ψυκτικό μέσο παίρνει θερμότητα κατά την ατμοποίηση και μηχανικό έργο κατά τη συμπίεση. Αντίθετα κατά τη συμπύκνωση αποβάλλει θερμότητα.

Λόγω του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος, αυτά τα ποσά ενέργειας πρέπει να δίνουν αλγεβρικό άθροισμα μηδέν.

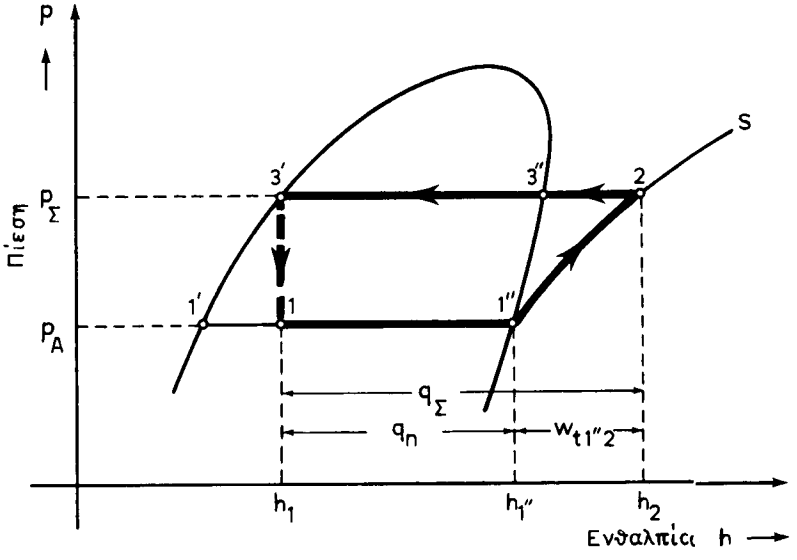
$$\boxed{q_A + q_\Sigma + w_t = 0} \qquad (1.40)$$

Αν η σχέση αυτή γραφεί μόνο με τις απόλυτες τιμές των μεγεθών, τότε:

$$|q_\Sigma| = |q_A| + |w_t| \qquad (1.41)$$

Δηλαδή η θερμότητα η οποία απορρίπτεται στο συμπυκνωτή, είναι μεγαλύτερη από τη θερμότητα η οποία δίνεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Το πόσο μεγαλύτε-

ρη είναι καθορίζεται ακριβώς από το μηχανικό έργο το οποίο χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως. Το έργο τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα και απορρίπτεται από το συμπυκνωτή.



Σχ. 1.25β.
Ψυκτικός κύκλος στο διάγραμμα p - h.

Η ψυκτική διάταξη συνεπώς καταναλώνει μηχανικό έργο το οποίο «καταστρέφει», το μετατρέπει σε θερμότητα και μόνο με τη δαπάνη αυτή του έργου μπορεί να αφαιρεθεί θερμότητα από το χώρο χαμηλής θερμοκρασίας του ψυγείου και να αποβάλλεται στο «περιβάλλον» το οποίο έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται ο θεωρητικός ψυκτικός κύκλος. Στην πράξη υπάρχουν πολλές αποκλίσεις οι οποίες όμως δεν εξετάζονται εδώ.

Οι κυριότερες από αυτές είναι:

- Η συμπίεση δεν είναι αδιαβατική.
- Ο ατμός στην αναρρόφηση του συμπιεστή είναι υπέρθερμος.
- Το υγρό στην είσοδο της διατάξεως στραγγαλισμού είναι υπόψυκτο.
- Η ατμοποίηση και η συμπύκνωση δεν είναι ιδανικά ισόθλιπτες.

1.26 Συντελεστής συμπεριφοράς.

Το περιβάλλον στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα έχει μια θερμοκρασία η οποία λίγο πολύ είναι καθορισμένη. Αν είναι καλοκαίρι τότε η θερμοκρασία αυτή είναι υψηλότερη, αν είναι χειμώνας χαμηλότερη.

Ας υποθέσομε ότι η λειτουργία εγκαταστάσεως εξετάζεται το καλοκαίρι. Στο σχήμα 1.26 η πίεση συμπυκνώσεως p_Σ καθορίζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Αν η εγκατάσταση λειτουργεί έτσι ώστε να εξυπηρετεί μια χαμηλή θερμοκρασία T_A για την οποία η ατμοποίηση γίνεται κατά τη μεταβολή $1_A \rightarrow 1''_A$, τότε το μηχανικό έργο που χρειάζεται για το συμπιεστή είναι ίσο με:

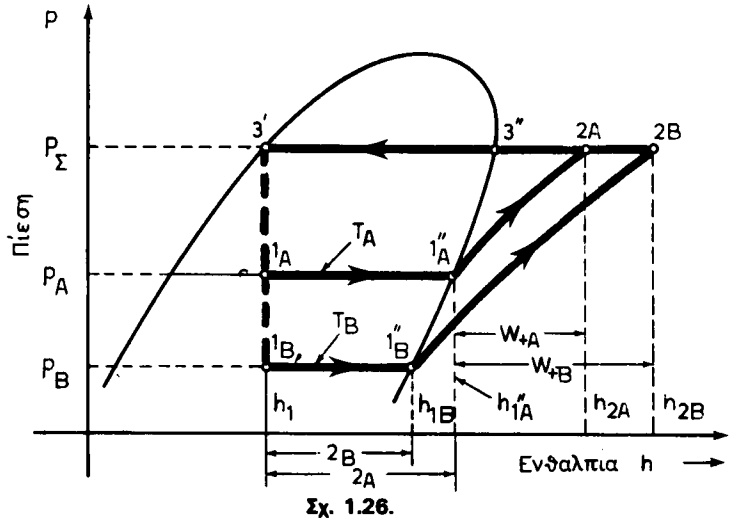
$$w_{tA} = h_{1}''A - h_{2A}$$

Για αυτή τη λειτουργία, η θερμότητα η οποία απάγεται από το ψυκτικό μέσο στο στοιχείο ατμοποιήσεως ειναι:

$$q_A = h_{1A} - h_{1}''A$$

Αν όμως η εγκατάσταση πρέπει να εξυπηρετήσει μία χαμηλότερη θερμοκρασία στο θάλαμο του ψυγείου, τότε η ατμοποίηση πρέπει να γίνει σε χαμηλότερη πίεση.

Στην περίπτωση αυτή (σχ. 1.26) η ατμοποίηση ακολουθεί τη μεταβολή $1_B \rightarrow 1''_B$.



Σχ. 1.26.
Κύκλοι για διαφορετικές χαμηλές θερμοκρασίες.

Είναι φανερό ότι, στη χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποιήσεως το ψυκτικό μέσο απορροφά λιγότερη θερμότητα. Πράγματι το ποσό θερμότητας για την ατμοποίηση που δίνεται τώρα είναι:

$$q_B = h_{1B} - h_{1}''B$$

Εξ άλλου, για τη λειτουργία με χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποιήσεως, απαιτείται και περισσότερο μηχανικό έργο, αφού πρέπει η συμπίεση να αρχίσει από χαμηλότερη πίεση. Έτσι στην περίπτωση αυτή το μηχανικό έργο που απαιτείται είναι:

$$w_{tB} = h_{1}''B - h_{2B}$$

Από όσα αναφέραμε είναι φανερό, ότι το ίδιο μηχανικό έργο δεν αποδίδει πάν-

τοτε το ίδιο αποτέλεσμα. Όσο περισσότερο απέχουν οι θερμοκρασίες (ή οι πιέσεις) ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως τόσο δυσκολότερα γίνονται τα πράγματα και τόσο περισσότερο μηχανικό έργο απαιτείται. Για να υπάρχει ένα μέτρο συγκρίσεως της δυσκολίας αυτής ή, καλύτερα, για να υπολογίζεται το μηχανικό έργο το οποίο καταναλώνεται για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως, εισάγεται ένας ειδικός αδιάστατος συντελεστής, ο ***συντελεστής συμπεριφοράς*** C P.

Ο ορισμός του συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$C\,P = \left| \frac{q_A}{w_t} \right| \qquad (1.42)$$

Είναι αριθμός θετικός, και δείχνει το ποσό θερμότητας που «αντλείται» από τη χαμηλή θερμοκρασία την οποία εξυπηρετεί η εγκατάσταση, για κάθε μονάδα μηχανικού έργου την οποία καταναλώνει.

Οι αριθμητικές τιμές του C P δεν είναι σταθερές. Όταν η θερμοκρασία ατμοποιήσεως είναι κοντά στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως τότε προκύπτουν τιμές αρκετά μεγαλύτερες από τη μονάδα. Όσο απομακρύνονται οι θερμοκρασίες τόσο ο συντελεστής συμπεριφοράς μικραίνει. Για εγκαταστάσεις π.χ. στις οποίες γίνεται η υγροποίηση υδρογόνου (– 250°C) ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι C P < 0,1 ενώ ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι C P < 0,01.

Για εγκαταστάσεις οι οποίες ψύχουν νερό για κλιματιστικές συσκευές (+ 4°C), ο αντίστοιχος θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι της τάξεως μεγέθους C P ≅ 10 ενώ ο πραγματικός περίπου 3,5.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς ο οποίος δίνεται από τη σχέση (1.42) είναι ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς ο οποίος προκύπτει από το θεωρητικό ψυκτικό κύκλο.

Ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς δεν υπολογίζεται, αλλά προσδιορίζεται πειραματικά.

Η αριθμητική τιμή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς εξαρτάται κυρίως από το ψυκτικό μέσο, τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως και τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως.

Για τις ίδιες θερμοκρασίες ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως, αν χρησιμοποιηθεί άλλο ψυκτικό μέσο, θα προκύψουν άλλες τιμές για το συντελεστή συμπεριφοράς.

Εκτός από τους τρεις παράγοντες που αναφέραμε παραπάνω, η τιμή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς εξαρτάται ακόμα και από την υπόψυξη του συμπυκνώματος καθώς και από την υπερθέρμανση του ατμού στο τέλος της ατμοποιήσεως.

Η ποιότητα μιας εγκαταστάσεως από την ενεργειακή άποψη, χαρακτηρίζεται από το συντελεστή συμπεριφοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο καλύτερη είναι η εγκατάσταση. Δηλαδή τόσο λιγότερη ενέργεια καταναλώνει για το ίδιο αποτέλεσμα.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς δεν είναι βαθμός αποδόσεως όπως στις μηχανές παραγωγής έργου, π.χ. κινητήρες Diesel. Ο βαθμός αποδόσεως σε αυτές είναι αριθμός πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα. Ο συντελεστής συμπεριφοράς αντίθετα μπορεί να είναι μικρότερος ή και μεγαλύτερος από τη μονάδα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

1.27 Ψυκτική ισχύς.

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε ψυκτικής διατάξεως είναι η ***ψυκτική ισχύς,*** το ποσό δηλαδή θερμότητας το οποίο η εγκατάσταση αφαιρεί στη μονάδα του χρόνου από το μέσο ή το χώρο τον οποίο ψύχει. Το μέγεθος αυτό μετρείται φυσικά σε μονάδες ισχύος, αφού η θερμότητα δεν είναι τίποτε άλλο από μια μορφή ενέργειας.

Η ψυκτική ισχύς λοιπόν μετρείται με kW. Δεν πρέπει όμως να συγχέεται με τη μηχανική ισχύ του συμπιεστή η οποία μετρείται με τις ίδιες μονάδες.

Στον υπολογισμό των διαφόρων ποσών θερμότητας και του μηχανικού έργου, ο οποίος γίνεται π.χ. με τη βοήθεια του διαγράμματος p - h, όπως στην παράγραφο 1.25, τα διάφορα ποσά ενέργειας αναφέρονται στη μονάδα μάζας 1 kg του ψυκτικού μέσου.

Αν μια εγκατάσταση π.χ. λειτουργεί με ψυκτικό μέσο R12 και έχει θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T = 52°C$ και θερμοκρασία ατμοποιήσεως $T_A = -20°C$, τότε από τους αντίστοιχους πίνακες ή το διάγραμμα p - h προκύπτει για τις καταστάσεις του κύκλου του σχήματος 1.25β ότι:

$$h_3' = 265 \text{ kJ/kg} = h_1$$
$$h_1'' = 397 \text{ kJ/kg}$$

Για κάθε 1 kg ψυκτικού μέσου το οποίο ατμοποιείται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, αφαιρείται από τον ψυχόμενο χώρο ποσό θερμότητας q_A:

$$q_A = q_{11''} = h_{1''} - h_1 = 132 \text{ kJ/kg}$$

Το μέγεθος αυτό, δηλαδή η ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου ποσότητα θερμότητας, η οποία προσδίδεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, λέγεται ***ψυκτική ικανότητα.***

Η ψυκτική ικανότητα είναι μικρότερη από τη θερμότητα ατμοποιήσεως. Για τη θερμότητα ατμοποιήσεως 1 kg υγρού παίρνει θερμότητα και γίνεται ατμός. Για την ψυκτική ικανότητα το 1 kg έχει ήδη αρχίσει την ατμοποίηση μέσα στη διάταξη στραγγαλισμού. Όταν το 1 kg εισέρχεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως το 1 kg είναι μίγμα ατμού και υγρού.

Για να υπολογισθεί η ψυκτική ισχύς από την ψυκτική ικανότητα η οποία προκύπτει από το διάγραμμα, πρέπει να είναι γνωστή η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου μέσα στην εγκατάσταση. Το μέγεθος αυτό συμβολίζεται συνήθως με $\dot{m}$ και έχει μονάδες [kg/s].

Η ψυκτική ισχύς συμβολίζεται με q_ψ και έχει μονάδες kW.

Η σχέση λοιπόν η οποία συνδέει την ψυκτική ισχύ με την ψυκτική ικανότητα είναι:

$$\boxed{q_\psi = \dot{m} \cdot q_A} \qquad (1.43)$$

Ανάλογη σχέση ισχύει και για τη μηχανική ισχύ.

Από το διάγραμμα p - h προκύπτει το μηχανικό έργο w_t το έργο δηλαδή το

οποίο απαιτείται για κάθε ένα 1 kg ψυκτικού μέσου σε μονάδες [kJ/kg]. Αν λοιπόν η ισχύς συμβολίζεται με N και έχει μονάδες [kW] ισχύει ότι:

$$\boxed{N = m \cdot w_t} \qquad (1.44)$$

Πολλές φορές οι σχέσεις (1.43) και (1.44) χρησιμοποιούνται αντίστροφα. Για τον προσδιορισμό δηλαδή της απαιτούμενης παροχής μάζας m του ψυκτικού μέσου της εγκαταστάσεως ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ψυκτική ισχύ.

Παλιότερα χρησιμοποιούνταν και άλλες μονάδες για τη μέτρηση αυτών των μεγεθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

2.1 Γενικά.

Τα ψυκτικά μέσα είναι το «εργαζόμενο σώμα» των θερμοδυναμικών κύκλων. Είναι ο υλικός φορέας οποίος παραλαμβάνει ποσά θερμότητας από θέσεις με χαμηλότερη θερμοκρασία, όπου είναι ανεπιθύμητα, και τα μεταφέρει σε θέσεις με υψηλότερη θερμοκρασία όπου και τα απορρίπτει.

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα υγρά-ατμοί ως ψυκτικά μέσα. Στις πρώτες ψυκτικές εγκαταστάσεις του περασμένου αιώνα καθώς και στις αρχές του εικοστού, χρησιμοποιήθηκαν ως ψυκτικά μέσα ουσίες όπως το θειικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου κλπ. Τα μέσα αυτά έχουν πλέον εγκαταλειφθεί, γιατί δεν πληρούν βασικές προδιαγραφές ασφαλείας, οι οποίες ισχύουν σήμερα και γιατί προκαλούν πολύ γρήγορα φθορά στις εγκαταστάσεις.

Στα παλιότερα χρόνια, η τεχνολογία υποχρεώθηκε να χρησιμοποιήσει τα υλικά αυτά, γιατί δεν υπήρχαν άλλα πιο κατάλληλα. Το μόνο ίσως ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιήθηκε από πολύ νωρίς και χρησιμοποιείται ευρύτατα ακόμα και σήμερα, είναι η αμμωνία.

Γενικά όμως τα ψυκτικά μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα, κατασκευάσθηκαν βιομηχανικά και χρησιμοποιήθηκαν στις Η.Π.Α. στις αρχές της δεκαετίας του 1930. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά είναι, από χημικής απόψεως, χλωριωμένοι ή φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες. Παρουσίαζαν πολλά πλεονεκτήματα και ορισμένα από αυτά τα ψυκτικά μέσα μέχρι και πριν από λίγα χρόνια θεωρούνταν τέλεια.

Τα τελευταία όμως χρόνια έχουν γίνει παρατηρήσεις στον εξωτερικό φλοιό της ατμόσφαιρας οι οποίες παρατηρήσεις έδειξαν ότι ο προστατευτικός φλοιός όζοντος καταστρέφεται από τα ψυκτικά μέσα τα οποία διαρρέουν στην ατμόσφαιρα. Πρέπει να τονισθεί όμως ότι σημαντικές ποσότητες ψυκτικού μέσου στην ατμόσφαιρα διαρρέουν και από τα διάφορα αεροζόλ (σπρέϋ) τα οποία χρησιμοποιούν τα ψυκτικά μέσα για την εκτόξευση των διαφόρων αρωμάτων, αποσμητικών, χρωμάτων κλπ. και όχι μόνο από τις ίδιες τις ψυκτικές εγκαταστάσεις. Στο μέλλον θα πρέπει να περιορισθούν οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες ψυκτικών μέσων.

Η εκλογή του κατάλληλου ψυκτικού μέσου για μια εγκατάσταση, δεν γίνεται μόνο με θερμοδυναμικά κριτήρια. Αποφαστικό ρόλο παίζουν επίσης και άλλες ιδιότητες του ψυκτικού μέσου, όπως η τοξικότητα, η αναφλεξιμότητα, το ιξώδες κλπ.

Κανένα ψυκτικό μέσο δεν είναι τέλειο.

Για την εκλογή του κατάλληλου ψυκτικού μέσου προσέχομε πολύ το είδος των μετάλλων τα οποία χρησιμοποιούνται στην ψυκτική εγκατάσταση. Για να εκλεγεί

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

π.χ. η αμμωνία (NH_3) ως ψυκτικό μέσο, η εγκατάσταση θα πρέπει να έχει μόνο σιδερένια ή χαλύβδινα μέρη. Ο χαλκός, το αλουμίνιο κλπ. καταστρέφονται σχεδόν αμέσως από την αμμωνία.

Επίσης προσέχομε τις υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες επικρατούν π.χ. μέσα στα τοιχώματα των εμβολοφόρων συμπιεστών. Πρέπει το ψυκτικό μέσο να είναι κατάλληλο γι' αυτές. Δεν πρέπει να παθαίνει χημική διάσπαση έστω και σε μικρά ίχνη, γιατί μπορεί να ελευθερωθεί χλώριο ή φθόριο, το οποίο θα προκαλέσει πάρα πολύ γρήγορα τη φθορά.

Άλλος σημαντικός παράγοντας για την εκλογή του ψυκτικού μέσου είναι η συνεργασία του με το λάδι λιπάνσεως. Όπως όλες οι μηχανές, έτσι και οι συμπιεστές ψυκτικών μέσων για να λειτουργήσουν πρέπει να λιπαίνονται. Μέσα λοιπόν στο συμπιεστή, στην ελαιολεκάνη του ή και αλλού, το ψυκτικό μέσο έρχεται σε επαφή με το λάδι. Από την επαφή αυτή το ψυκτικό μέσο διαλύεται μέσα στο λάδι, και ατμοί ή και σταγόνες λαδιού φεύγουν με το ψυκτικό μέσο προς το συμπυκνωτή. Εκεί αναμιγνύονται με το συμπυκνωμένο υγρό ψυκτικό μέσο και στη συνέχεια ίχνη ή μεγαλύτερες ποσότητες λαδιού κυκλοφορούν σε όλη την εγκατάσταση. Το ψυκτικό μέσο πρέπει λοιπόν να είναι τέτοιο, ώστε να διαλύει το λάδι σε όλες τις θέσεις της ψυκτικής διατάξεως.

Άλλη ιδιότητα του ψυκτικού μέσου είναι η ικανότητα να διαλύει νερό (υγρασία). Το ψυκτικό μέσο γενικά δεν δέχεται νερό, γιατί στις χαμηλές θερμοκρασίες το νερό ξεχωρίζει από το ψυκτικό μέσο και σχηματίζει παγοκρύσταλλους. Αυτό συμβαίνει συνήθως στη θέση στραγγαλισμού η οποία με το σχηματισμό του πάγου φράσσει εντελώς, ύστερα από ορισμένο χρόνο λειτουργίας και διακόπτει τη λειτουργία της εγκαταστάσεως.

Τα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα για μικρές διατάξεις είναι το R12 και το R22. Τα προτιμούμε γιατί παρουσιάζουν σχετικά μικρές πιέσεις, γιατί είναι ακίνδυνα από τοξικής απόψεως και γιατί η καμπύλη υγρού - ατμού στο διάγραμμα p - h ευρίσκεται σε ευνοϊκή περιοχή θερμοκρασιών. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε οικιακά ψυγεία και καταψύκτες καθώς και σε εμπορικά ψυγεία μέσα σε καταστήματα. Εκεί δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοξικό ψυκτικό μέσο, π.χ. αμμωνία, από φόβο διαρροής.

Τα R12 και R22 χρησιμοποιούνται και για μεγαλύτερες διατάξεις. Μεγαλύτερη όμως εφαρμογή έχει η αμμωνία.

Όσον αφορά την ονομασία των ψυκτικών μέσων επικρατεί κάποια σύγχυση. Είναι περισσότερο γνωστά με εμπορικά ονόματα εταιριών και έναν αριθμό. Π.χ. οι ονομασίες FREON12, FRIGEN 12, ARCTON 12, GENETRON 12, ALGOFRENE 12 κλπ. χαρακτηρίζουν όλες το ίδιο χημικό προϊόν CF_2Cl_2, και προέρχονται από διάφορες εταιρίες οι οποίες το κατασκευάζουν. Όμως το επίσημο όνομα του ψυκτικού αυτού μέσου είναι απλώς ***ψυκτικό μέσο R12.*** Το ίδιο ισχύει και για τα άλλα ψυκτικά μέσα.

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος του ψυκτικού μέσου είναι και η θερμότητα ατμοποιήσεως. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα ατμοποιήσεως τόσο μεγαλύτερη ειναι η ψυκτική ικανότητα. Όταν το ψυκτικό μέσο έχει μεγάλη ψυκτική ικανότητα, επιφέρει οικονομία στην παροχή μάζας m^* για μια δεδομένη ψυκτική ισχύ και συνεπώς μικρότερη εγκατάσταση από απόψεως όγκου.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Τα πιο συνηθισμένα ψυκτικά μέσα θα εξετασθούν λεπτομερώς στις επόμενες παραγράφους. Εκεί δίνονται οι πίνακες και τα διαγράμματα των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων.

2.2 Ονομασία ψυκτικών μέσων.

Εκτός από την αμμωνία, τα υπόλοιπα από τα εν χρήσει ψυκτικά μέσα προέρχονται βασικά από το μεθάνιο (CH_4) ή αιθάνιο (C_2H_6) με αντικατάσταση των ατόμων υδρογόνου από άτομα χλωρίου ή φθορίου. Τα ψυκτικά μέσα δημιουργούνται ανάλογα με το βαθμό αντικαταστάσεως και το αρχικό μόριο.

Τα ψυκτικά μέσα ονομάζονται με το λατινικό γράμμα R, από τη λέξη Refrigerant = (ψυκτικό μέσο), το οποίο ακολουθείται από έναν διψήφιο ή τριψήφιο αριθμό και σε ειδικές περιπτώσεις, και από ένα γράμμα του λατινικού αλφαβήτου. Παραδείγματα τέτοιων ονομάτων είναι τα εξής: R12, R13, R142b κλπ.

Τα ψηφία τα οποία ακολουθούν το αρχικό γράμμα προκύπτουν από έναν κώδικα που εξηγείται αμέσως από τη χημική σύνθεση του ψυκτικού μέσου. Επομένως ο αριθμός καθορίζει μονοσήμαντα και τη χημική ένωση.

Για παράγωγα της σειράς μεθανίου (CH_4) ή αιθανίου (C_2H_6) τα οποία έχουν στο μόριό τους άτομα υδρογόνου H, φθορίου F και χλωρίου Cl, ο γενικός χημικός τύπος έχει τή μορφή:

$$C_mH_nF_pCl_q$$

Επειδή ο άνθρακας είναι τετρασθενής και τα άλλα στοιχεία μονοσθενή, πρέπει για την περίπτωση αυτή να ισχύει η σχέση:

$$n + p + q = 2m + 2$$

Αν λοιπόν το μεγέθη n,m και p καθορισθούν, τότε η τιμή του q, δηλαδή το πόσα άτομα χλωρίου περιέχει το μόριο, προκύπτει από τη σχέση αυτή. Για το λόγο αυτό ο αριθμός ατόμων χλωρίου δεν αναφέρεται στην ονομασία των ψυκτικών μέσων.

Η ονομασία ενός ψυκτικού μέσου δίνεται με μια παράσταση της μορφής:

$$R\ x\psi z$$

όπου: xψz ψηφία τα οποία ορίζονται από τη σύνθεση του μορίου του ψυκτικού μέσου, δηλαδή από τους ακέραιους αριθμούς m,n,p ως εξής:

$x = m - 1$: Δηλαδή το πρώτο ψηφίο δείχνει τον αριθμό ατόμων άνθρακα μειωμένο κατά ένα.

$\psi = n + 1$: Δηλαδή το δεύτερο ψηφίο δείχνει τον αριθμό ατόμων υδρογόνου αυξημένο κατά ένα.

$z = p$: Δηλαδή το τρίτο ψηφίο δείχνει τον αριθμό ατόμων φθορίου.

Όταν το πρώτο ψηφίο έχει τιμή $x = 0$ τότε παραλείπεται. Δηλαδή τα ψυκτικά μέσα που έχουν ένα μόνο άτομο άνθρακα (σειρά μεθανίου) έχουν $x = 0$ και συνεπώς έχουν διψήφιο αριθμό μετά το R.

Παραδείγματα.

α) Ψυκτικό μέσο $CFCl_3$ (τριχλωροφθορομεθάνιο):
Η χημική σύστασή του είναι:

$$C_1F_1Cl_3$$

Δηλαδή: m = 1, n = 0, p = 1
Για τις τιμές x,ψ z προκύπτει ότι:

$$x = 1 - 1 = 0, \qquad \psi = 0 + 1 = 1, \qquad z = 1$$

Η ονομασία του λοιπόν είναι: ***R11.***

β) Ψυκτικό μέσο CF_2Cl_2 (διχλωροδιφθορομεθάνιο):
Η χημική σύστασή του είναι:

$$C_1F_2Cl_2$$

Δηλαδή: m = 1, n = 0, p = 2
Για τις τιμές x,ψ,z προκύπτει ότι:

$$x = 1 - 1 = 0, \qquad \psi = 0 + 1 = 1, \qquad z = 2$$

Η ονομασία του λοιπόν είναι: ***R12.***
Πρόκειται στην προκειμένη περίπτωση για το ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στις μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις ψύξεως.

γ) Ψυκτικό μέσο $C_2F_3Cl_3$ (τριχλωροτριφθοραιθάνιο):
Χημική σύσταση:

$$C_2F_3Cl_3$$

Δηλαδή: m = 2, n = 0, p = 3
Για τις τιμές x,ψ,z προκύπτει ότι:

$$x = 2 - 1 = 1, \qquad \psi = 0 + 1 = 1, \qquad z = 3$$

Η ονομασία του λοιπόν είναι: ***R113.***

Ο κανόνας ο οποίος αναφέρθηκε δεν ισχύει φυσικά για την αμμωνία (NH_3). Η αμμωνία αναφέρεται με το όνομά της ή με τον κωδικό αριθμό R717.

Παρακάτω θα αναφέρομε τις ιδιότητες ενός ψυκτικού μέσου με τον κωδικό αριθμό ***R502.***

Πρέπει να τονισθεί ότι όλα τα ψυκτικά μέσα των οποίων ο χαρακτηριστικός αριθμός αρχίζει από ***5*** είναι ***μίγματα*** δύο άλλων ψυκτικών μέσων και μάλιστα μίγματα με μία συγκεκριμένη αναλογία ώστε το ψυκτικό μέσο-μίγμα να είναι ***αζεοτροπικό.*** Αζεοτροπικά λέγονται εκείνα τα μίγματα τα οποία ατμοποιούνται όπως τα κοινά υγρά. Σε όλη δηλαδή τη διάρκεια της ισόθλιπτης ατμοποιήσεως η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Στα αζεοτροπικά μίγματα η σύσταση του υγρού και

του ατμού είναι η ίδια. Πρέπει να τονισθεί ότι αυτά τα δύο φαινόμενα δεν παρατηρούνται στα κοινά μίγματα. Σε ένα κοινό μίγμα όταν γίνεται ισόθλιπτη ατμοποίηση η θερμοκρασία ανεβαίνει συνεχώς και ο ατμός περιέχει περισσότερο από το πιο πτητικό υλικό.

Τα συνηθισμένα αζεοτροπικά μίγματα είναι:

- R500: Αζεοτροπικό μίγμα R12 και R152α
- R502: Αζεοτροπικό μίγμα R12 και R115
- R503: Αζεοτροπικό μίγμα R23 και R13
- R504: Αζεοτροπικό μίγμα R32 και R115

Εκείνο το οποίο χρησιμοποιείται περισσότερο είναι το R502.

2.3 Μονάδες μετρήσεως.

Οι μονάδες μετρήσεως των τεχνικών μεγεθών τα οποία ενδιαφέρουν τις ψυκτικές διατάξεις είναι:

α) Θερμοκρασία: °C, βαθμός εκατονταβάθμιας κλίμακας ή Κελσίου.
β) Πίεση: bar $= 10^5$ N/m^2
γ) Ενέργεια: kJ $= 10^3$ Nm
δ) Ισχύς: kW = kJ/s
ε) Μάζα: kg

Με αυτές τις μονάδες πρέπει να γίνονται όλοι οι υπολογισμοί.

Τα θερμοδυναμικά δεδομένα όμως τα οποία υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται δυστυχώς τις περισσότερες φορές με παλιότερες μονάδες μετρήσεως. Οι παλιότερες αυτές μονάδες είναι διαφορετικές στην Ευρώπη και διαφορετικές στην Αγγλία και στις Η.Π.Α. Έτσι το πρόβλημα γίνεται ακόμα περισσότερο πολύπλοκο.

Στην Ελλάδα δυστυχώς έχει επικρατήσει η συνήθεια υπολογισμού των μεγεθών των ψυκτικών και κλιματιστικών εγκαταστάσεων σε αγγλοσαξονικές μονάδες. Γι' αυτό στην παράγραφο αυτή δίνονται οι αντιστοιχίες και οι τρόποι μετατροπής.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία υπάρχουν πίνακες (Πίνακας 1.3), τους οποίους έχομε δει, μετατροπής από κλίμακα Κελσίου σε κλίμακα Φαρενάϊτ και αντίστροφα.

Πριν δοθούν οι αντίστοιχοι συντελεστές μετατροπής αναφέρονται και οι παλιότερες μονάδες για τις οποίες δίνονται οι τιμές:

α) Θερμοκρασία:	°F	Βαθμοί Φαρενάϊτ
β) Πίεση:	atm	Φυσική ατμόσφαιρα
	at	Τεχνική ατμόσφαιρα ή απλώς ατμόσφαιρα
	mmHg ή Tor	Χιλιοστά στήλης υδραργύρου
	psi	lbs/in^2
	inHg	Ίντσες στήλης υδραργύρου

γ) Ενέργεια: kcal
BTu

δ) Ισχύς: kcal/h
BTu/h
RT Ψυκτικός τόννος
PS Ίππος μετρικός
HP Ίππος αγγλοσαξωνικός

ε) Μάζα: lb

Οι μονάδες αυτές αρκούν για την περιγραφή των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων των ψυκτικών μέσων.

Στη συνέχεια της παραγράφου αυτής δίνονται οι συντελεστές μετατροπής των μονάδων:

α) Θερμοκρασία:

Αν T_C η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου
και T_F η θερμοκρασία σε βαθμούς Φαρενάϊτ
τότε:

$$T_C = (T_F - 32) \cdot (5/9)$$

και

$$T_F = 32 + (9/5) \cdot T_C$$

Στην παράγραφο 1.3 έχει δοθεί πίνακας μετατροπής (Πίνακας 1.3).

β) Πίεση:

Μετατροπή από	***σε***	***πολλαπλασίασε με:***
atm	bar	1,013
at	bar	0,980
mmHg	bar	$1{,}333 \cdot 10^{-3}$
psi	bar	0,0689
inHg	bar	0,0338

Υπενθυμίζονται και πάλι όσα αναφέρθηκαν για απόλυτη και μανομετρική πίεση στην παράγραφο 1.8.

Όσον αφορά τη μέτρηση κενού ορισμένα αναφέρονται στο τέλος της παραγράφου αυτής.

γ) Ενέργεια:

Μετατροπή από	***σε***	***πολλαπλασίασε με***
kcal	kJ	4,184
BTu	kJ	1,051

δ) Ισχύς:

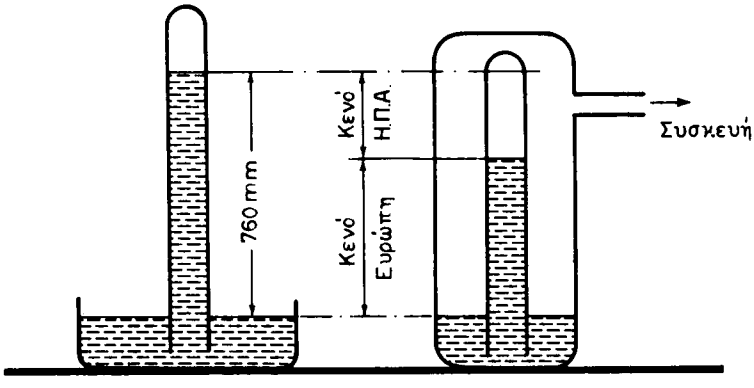
Μετατροπή από	***σε***	***πολλαπλασίασε με***
kcal/h	kW	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$
BTu/h	kW	$0{,}293 \cdot 10^{-3}$
RT	kW	3,519
PS	kW	0,736
HP	kW	0,746

ε) Μάζα:

Μετατροπή από	***σε***	***πολλαπλασίασε με***
lb	kg	0,454

Πρέπει να προσέξομε ιδιαίτερα τη μέτρηση της πιέσεως όταν πρόκειται για μέτρηση ***κενού.*** Όταν δηλαδή η απόλυτη πίεση είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική.

Στην ειδική αυτή περίπτωση η τιμή της πιέσεως δίνεται με την αριθμητική τιμή της ***απόλυτης*** πιέσεως ή μέ μέτρηση σχετικά με την ατμοσφαιρική πίεση. Στην πρώτη περίπτωση δεν παρουσιάζεται καμιά δυσκολία. Στη δεύτερη περίπτωση όμως η μέτρηση στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. διαφέρει (σχ. 2.3).



Σχ. 2.3.
Διαφορετικός τρόπος μετρήσεως κενού μεταξύ ευρωπαϊκών χωρών και Η.Π.Α.

Πρέπει το γεγονός αυτό να τονισθεί ιδιαίτερα για να αποφεύγονται λάθη. Ευτυχώς με την εισαγωγή της απόλυτης πιέσεως σε bar αποφεύγεται πια η σύγχυση στους θερμοδυναμικούς πίνακες. Παραμένει όμως το πρόβλημα στην τεχνολογία, όπως π.χ. κατά την αρχική δημιουργία κενού των ψυκτικών εγκαταστάσεων.

2.4 Ψυκτικό μέσο R12.

Τα συνηθισμένα μέσα που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις τρέχουσες τεχνολογικές εφαρμογές είναι:

NH_3, R11, R12, R13, R21, R22, R113, R114, R502

Στις περισσότερες συσκευές, αφού υπερτερούν σε αριθμό οι μικρές και μεσαίες ψυκτικές διατάξεις, χρησιμοποιείται το R12.

Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του R12 δίνονται με πίνακες και διάγραμμα p - h.

Οι πίνακες αναφέρονται πάντοτε στις θερμοδυναμικές ιδιότητες του κεκορεσμένου υγρού και κεκορεσμένου ατμού. Τιμές θερμοδυναμικών μεγεθών για υπέρθερμο ατμό, μπορούν να ληφθούν μόνο από τα διαγράμματα.

Ειδικά για το R12, επειδή έχει μεγάλη εφαρμογή και στην Ελλάδα και υπάρχουν εγκαταστάσεις με βιβλιογραφία Αμερικανική, καθώς και με Ευρωπαϊκή, δίνονται πίνακες και διαγράμματα και για τα δύο συστήματα μονάδων.

Στην ουσία πρόκειται για τις ίδιες τιμές οι οποίες δίνονται σε διαφορετικά συστήματα μονάδων. Αν όμως γίνουν ακριβείς μετατροπές και συγκρίσεις, ενδεχομένως να υπάρχουν μικροδιαφορές οι οποίες οφείλονται στη διαφορετική προέλευση των ψυκτικών μέσων.

Τα ψυκτικά μέσα ανάλογα με το εργοστάσιο κατασκευής και τη μέθοδο παρασκευής μπορεί να περιέχουν διαφορετικά ίχνη από άλλες ουσίες οι οποίες προκαλούν τις μικροδιαφορές.

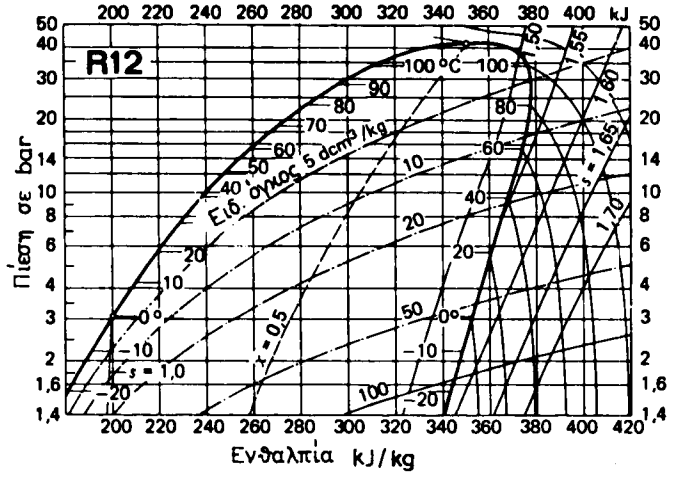
Στον Πίνακα 2.4.1 δίνονται οι τιμές του R12 για κεκορεσμένο υγρό και κεκορεσμένο ατμό, σε διεθνές σύστημα μονάδων.

Στο σχήμα 2.4α δίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας σε μετρικές μονάδες διεθνούς συστήματος. Εκτός από τις καμπύλες οι οποίες έχουν ήδη ε-

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1.

Ψυκτικό μέσο R12 Πίνακας ατμού - υγρού.

Θερμοκρασία T °C	Πίεση p bar	Ειδικός όγκος υγρού v′ l/kg	Ειδικός όγκος ατμού v″ l/kg	Ενθαλπία υγρού h′ kj/kg	Ενθαλπία ατμού h″ kj/kg	Θερμότητα ατμοποιήσεως r kj/kg
—50	0,392	0,647	384,11	155,06	329,30	174,24
—45	0,505	0,653	303,59	159,45	331,69	172,24
—40	0,642	0,659	242,72	163,58	334,07	170,22
—35	0,807	0,665	196,12	168,27	336,44	168,17
—30	1,005	0,672	160,01	172,72	338,80	166,08
—25	1,237	0,678	131,73	177,20	341,15	163,95
—20	1,510	0,685	109,34	181,70	343,48	161,78
—15	1,827	0,693	91,45	186,23	345,78	159,55
—10	2,193	0,700	77,03	190,78	348,06	157,28
— 5	2,612	0,708	65,29	195,38	350,52	154,94
0	3,089	0,716	55,68	200,00	352,54	152,54
5	3,629	0,725	47,74	204,66	354,72	150,06
10	4,238	0,734	41,13	209,35	356,68	147,51
15	4,921	0,743	35,60	214,10	358,96	144,86
20	5,682	0,753	30,94	218,88	361,01	142,13
25	6,529	0,764	26,99	223,72	363,00	139,28
30	7,465	0,775	23,63	228,62	364,94	136,32
35	8,498	0,786	20,75	233,58	366,80	133,22
40	9,634	0,799	18,26	238,62	368,60	129,98
45	10,878	0,812	16,11	243,75	370,31	126,56
50	12,236	0,827	14,24	248,96	371,92	122,96
55	13,717	0,842	12,60	254,29	373,43	119,14
60	15,326	0,859	11,17	259,75	374,82	115,07
65	17,070	0,877	9,90	265,35	376,07	110,72
70	18,957	0,897	8,78	271,13	377,16	106,03
75	20,995	0,920	7,77	277,10	378,05	100,95
80	23,191	0,946	6,87	283,32	378,71	95,39
85	25,554	0,975	6,06	289,84	379,08	89,24
90	28,092	1,010	5,32	296,74	379,08	82,34
95	30,814	1,053	4,64	304,14	378,57	74,43
100	33,799	0,000	0,00	000,00	00,000	00,000



Σχ. 2.4α.
Διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας για R12.

ξηγηθεί στην παράγραφο 1.22 υπάρχουν σχεδιασμένες και γραμμές σταθερού ειδικού όγκου καθώς επίσης και η γραμμή x = 0,5 η οποία αντιστοιχεί σε ατμοποίηση της μισής αρχικής μάζας.

Ο Πίνακας 2.4.1 είναι κατάλληλος για μια γενική εποπτεία των ιδιοτήτων του ψυκτικού μέσου R12. Δεν είναι όμως και τόσο λεπτομερής για τεχνικές εφαρμογές, γιατί το βήμα θερμοκρασίας είναι 5°C. Το διάγραμμα του σχήματος 2.4α επίσης είναι πολύ μικρό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ακριβείς υπολογισμούς ψυκτικών κύκλων. Είναι και αυτό κατάλληλο μόνο για μια πρώτη γενική εποπτεία των μεγεθών και μεταβολών. Για περισσότερο λεπτομερείς υπολογισμούς δίνεται ο Πίνακας 2.4.2 και το αντίστοιχο διάγραμμα του σχήματος 2.4β.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2.
Ψυκτικό μέσο R12.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h'' − h' kcal/kg
		ατμού v'' l/kg	υγρού v' m³/kg	υγρού ρ' kg/l	ατμού ρ'' kg/m³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
−70	0,1258	0,6234	1,1259	1,604	0,888	85,84	128,88	42,99
−69	0,1341	0,6246	1,0605	1,601	0,943	86,02	128,95	42,93
−68	0,1429	0,6258	0,9998	1,598	1,000	86,20	129,06	42,86
−67	0,1521	0,6270	0,9437	1,595	1,060	86,39	129,19	42,80
−66	0,1618	0,6281	0,8911	1,592	1,122	86,57	129,30	42,73
−65	0,1721	0,6289	0,8413	1,590	1,189	86,75	129,41	42,66
−64	0,1829	0,6301	0,7954	1,587	1,257	86,94	129,54	42,60
−63	0,1941	0,6313	0,7528	1,584	1,328	87,12	129,65	42,53
−62	0,2059	0,6325	0,7125	1,581	1,403	87,31	129,77	42,46
−61	0,2183	0,6337	0,6749	1,578	1,482	87,50	129,89	42,39
−60	0,2315	0,6349	0,6394	1,575	1,564	87,68	130,00	42,32

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2. (συνέχεια)

Ψυκτικό μέσο R12.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h″ − h′ kcal/kg
		ατμού v′ l/kg	υγρού v″ m³/kg	υγρού ρ′ kg/l	ατμού ρ″ kg/m³	υγρού h′ kcal/kg	ατμού h″ kcal/kg	
— 59	0,2451	0,6361	0,6064	1,572	1,649	87,87	130,12	42,25
— 58	0,2595	0,6373	0,5752	1,569	1,738	88,06	130,24	42,18
— 57	0,2744	0,6386	0,5461	1,566	1,831	88,25	130,36	42,11
— 56	0,2900	0,6394	0,5188	1,564	1,927	88,44	130,48	42,04
— 55	0,3065	0,6406	0,4930	1,561	2,028	88,63	130,59	41,96
— 54	0,3236	0,6418	0,4687	1,558	2,134	88,82	130,71	41,89
— 53	0,3414	0,6431	0,4461	1,555	2,242	89,01	130,83	41,82
— 52	0,3602	0,6443	0,4246	1,552	2,355	89,20	130,95	41,75
— 51	0,3797	0,6456	0,4043	1,549	2,473	89,39	131,06	41,67
— 50	0,3999	0,6468	0,3854	1,546	2,595	89,59	131,18	41,59
— 49	0,4212	0,6481	0,3673	1,543	2,723	89,78	131,30	41,52
— 48	0,4432	0,6493	0,3504	1,540	2,854	89,97	131,42	41,45
— 47	0,4662	0,6502	0,3344	1,538	2,990	90,17	131,54	41,37
— 46	0,4900	0,6515	0,3193	1,535	3,132	90,36	131,65	41,29
— 45	0,5150	0,6527	0,3050	1,532	3,279	90,56	131,77	41,21
— 44	0,5409	0,6540	0,2914	1,529	3,432	90,76	131,89	41,13
— 43	0,5678	0,6553	0,2787	1,526	3,588	90,95	132,01	41,06
— 42	0,5958	0,6566	0,2665	1,523	3,752	91,15	132,13	40,98
— 41	0,6247	0,6579	0,2551	1,520	3,920	91,35	132,24	40,89
— 40	0,6551	0,6592	0,2441	1,517	4,097	91,55	132,36	40,81
— 39	0,6865	0,6605	0,2337	1,514	4,279	91,75	132,48	40,73
— 38	0,7189	0,6618	0,2239	1,511	4,466	91,95	132,60	40,65
— 37	0,7523	0,6631	0,2146	1,508	4,660	92,15	132,72	40,57
— 36	0,7875	0,6645	0,2057	1,505	4,862	92,35	132,83	40,48
— 35	0,8238	0,6658	0,1973	1,502	5,069	92,55	132,95	40,40
— 34	0,8610	0,6671	0,1894	1,499	5,280	92,76	133,07	40,31
— 33	0,9000	0,6684	0,1818	1,496	5,501	92,96	133,19	40,23
— 32	0,9400	0,6698	0,1747	1,493	5,724	93,16	133,30	40,14
— 31	0,9818	0,6711	0,1678	1,490	5,960	93,37	133,43	40,06
— 30	1,0245	0,6725	0,1613	1,487	6,200	93,57	133,54	39,97
— 29	1,0688	0,6739	0,1551	1,484	6,447	93,78	133,66	39,88
— 28	1,1149	0,6752	0,1492	1,481	6,702	93,98	133,77	39,79
27	1,1622	0,6766	0,1436	1,478	6,964	94,19	133,90	39,71
26	1,2109	0,6780	0,1382	1,475	6,236	94,40	134,01	39,61
25	1,2616	0,6793	0,1331	1,472	7,513	94,61	134,13	39,52
— 24	1,3140	0,6807	0,1282	1,469	7,800	94,81	134,24	39,43
— 23	1,3678	0,6821	0,1235	1,466	8,097	95,02	134,36	39,34
22	1,4227	0,6835	0,1190	1,463	8,403	95,23	134,47	39,24
— 21	1,4805	0,6854	0,1147	1,459	8,718	95,44	134,59	39,15
— 20	1,5396	0,6868	0,1107	1,456	9,034	95,65	134,71	39,06
— 19	1,6005	0,6882	0,1067	1,453	9,372	95,87	134,83	38,96
— 18	1,6627	0,6897	0,1030	1,450	9,709	96,08	134,95	38,87
— 17	1,7275	0,6911	0,09938	1,447	10,06	96,29	135,06	38,77
— 16	1,7940	0,6925	0,09597	1,444	10,42	96,50	135,17	38,67
— 15	1,8622	0,6940	0,09268	1,441	10,79	96,72	135,29	38,57
— 14	1,9321	0,6954	0,08952	1,438	11,17	96,93	135,40	38,47
— 13	2,0050	0,6973	0,08650	1,434	11,56	97,15	135,52	38,37
— 12	2,0793	0,6988	0,08361	1,431	11,96	97,36	135,63	38,27
— 11	2,1555	0,7003	0,08082	1,428	12,37	97,58	135,75	38,17
— 10	2,2342	0,7018	0,07813	1,425	12,80	97,80	135,87	38,07
— 9	2,3148	0,7032	0,07558	1,422	13,23	98,02	135,98	37,96
— 8	2,3984	0,7047	0,07313	1,419	13,68	98,23	136,09	37,86
— 7	2,4833	0,7062	0,07078	1,416	14,13	98,45	136,20	37,75
— 6	2,5712	0,7077	0,06852	1,413	14,60	98,67	136,32	37,65
— 5	2,6602	0,7092	0,06635	1,410	15,08	98,89	136,43	37,54
— 4	2,7531	0,7107	0,06427	1,407	15,57	99,11	136,54	37,43
— 3	2,8479	0,7127	0,06226	1,403	16,07	99,33	136,65	37,32
— 2	2,9439	0,7143	0,06028	1,400	16,59	99,56	136,77	37,21
— 1	3,0446	0,7158	0,05844	1,397	17,11	99,78	136,88	37,10
0	3,1465	0,7173	0,05667	1,394	17,65	100,00	136,99	36,99

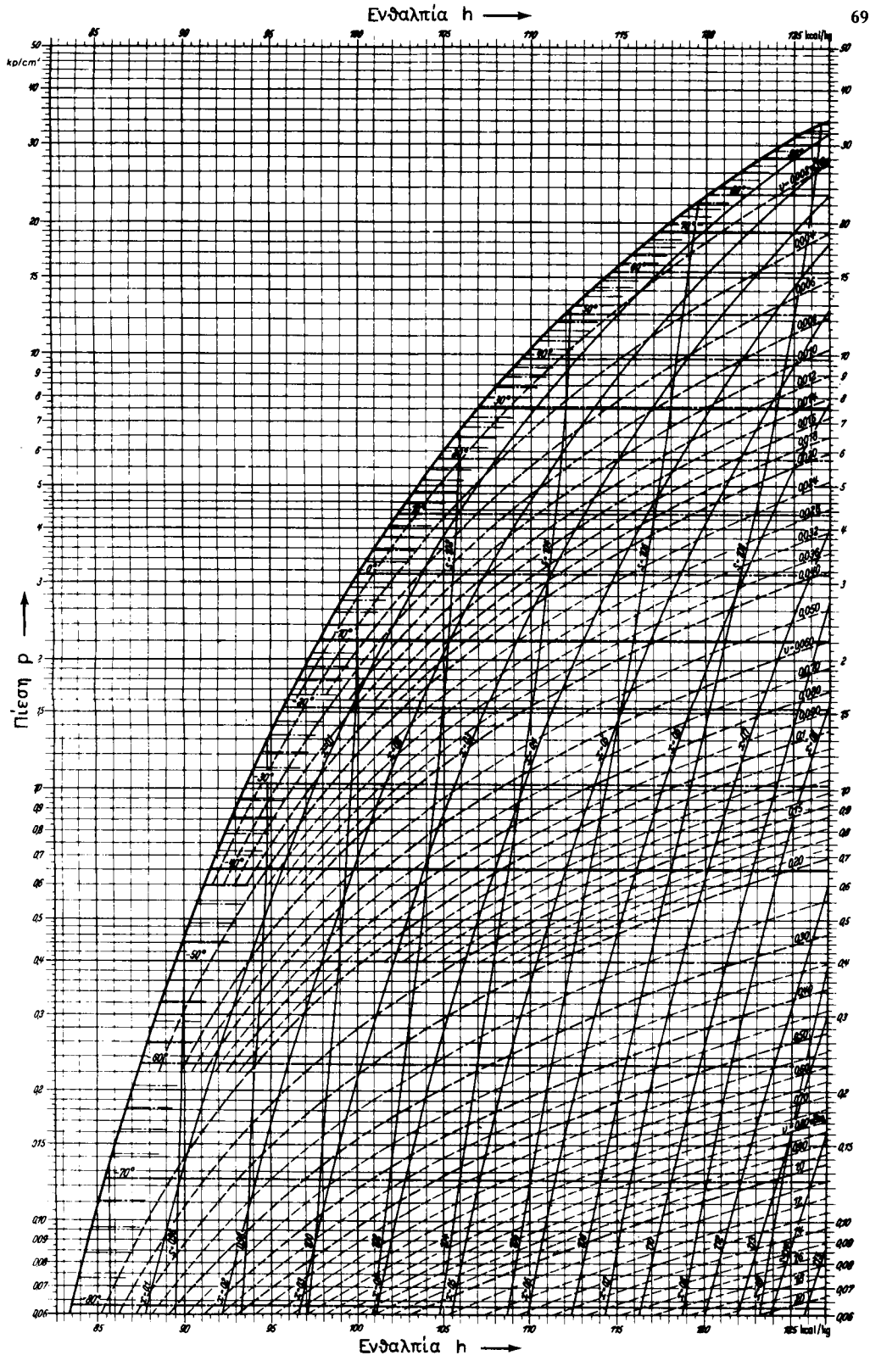
(συνεχίζεται)

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

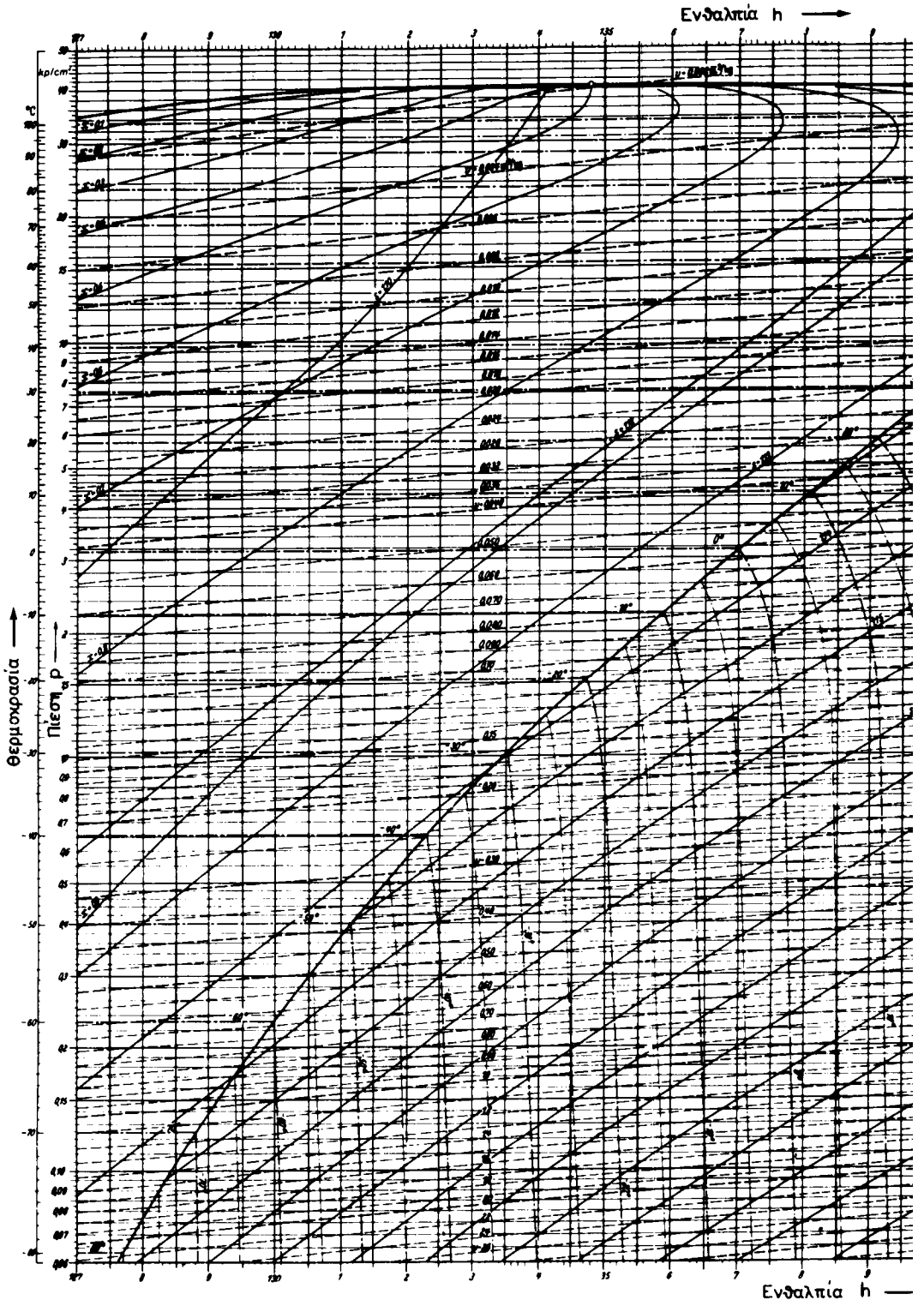
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2. (συνέχεια)
Ψυκτικό μέσο R12.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h'' − h' kcal/kg
		ατμού v' l/kg	υγρού v'' m³/kg	υγρού ρ' kg/l	ατμού ρ'' kg/m³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h' kcal/kg	
+ 1	3,2511	0,7189	0,05496	1,391	18,20	100,22	137,10	36,88
+ 2	3,3583	0,7205	0,05330	1,388	18,76	100,45	137,21	36,76
+ 3	3,4676	0,7220	0,05168	1,385	19,35	100,67	137,32	36,65
+ 4	3 5804	0,7241	0,05012	1,381	19,95	100,90	137,43	36,53
+ 5	3,6959	0,7257	0,04863	1,378	20,56	101,12	137,54	36,42
+ 6	3,8135	0,7273	0,04721	1,375	21,18	101,35	137,65	36,30
+ 7	3,9348	0,7289	0,04583	1,372	21,82	101,58	137,76	36,18
+ 8	4,0582	0,7310	0,04450	1,368	22,47	101,80	137,86	36,06
+ 9	4,1853	0,7326	0,04323	1,365	23,13	102,03	137,97	35,94
+ 10	4,3135	0,7342	0,04204	1,362	23,79	102,26	138,08	35,82
+ 11	4,4466	0,7358	0,04086	1,359	24,48	102,49	138,18	35,69
+ 12	4,5828	0,7380	0,03970	1,355	25,19	102,72	138,29	35,57
+ 13	4,7209	0,7396	0,03858	1,352	25,92	102,95	138,39	35,44
+ 14	4,8621	0,7413	0,03751	1,349	26,66	103,18	138,49	35,31
+ 15	5,0076	0,7435	0,03648	1,345	27,41	103,42	138,61	35,19
+ 16	5,1550	0,7452	0,03547	1,342	28,19	103,65	138,70	35,05
+ 17	5,3067	0,7468	0,03449	1,339	28,99	103,88	138,81	34,93
+ 18	5,4605	0,7491	0,03354	1,335	29,87	104,12	138,91	34,79
+ 19	5,6172	0,7507	0,03263	1,332	30,65	104,35	139,01	34,66
+ 20	5,7786	0,7524	0,03175	1,329	31,50	104,59	139,12	34,53
+ 21	5,9432	0,7547	0,03089	1,325	32,38	104,82	139,21	34,39
+ 22	6,1112	0,7570	0,03005	1,321	33,28	105,06	139,31	34,25
+ 23	6,2825	0,7587	0,02925	1,318	34,19	105,29	139,40	34,11
+ 24	6,4584	0,7605	0,02848	1,315	35,11	105,53	139,50	33,97
+ 25	6,6363	0,7628	0,02773	1,311	36,07	105,77	139,61	33,84
+ 26	6,8175	0,7645	0,02700	1,308	37,04	106,01	139,70	33,69
+ 27	7,0020	0,7669	0,02629	1,304	38,04	106,25	139,79	33,54
+ 28	7,1933	0,7692	0,02560	1,300	39,06	106,49	139,89	33,40
+ 29	7,3863	0,7710	0,02494	1,297	40,10	106,73	139,98	33,25
+ 30	7,5810	0,7734	0,02433	1,293	41,11	106,97	140,08	33,11
+ 31	7,7826	0,7758	0,02371	1,289	42,18	107,21	140,16	32,95
+ 32	7,9897	0,7782	0,02309	1,285	43,31	107,45	140,25	32,80
+ 33	8,2003	0,7800	0,02250	1,282	44,45	107,69	140,34	32,65
+ 34	8,4087	0,7825	0,02192	1,278	45,62	107,94	140,43	32,49
+ 35	8,6264	0,7849	0,02136	1,274	46,81	108,18	140,51	32,33
+ 36	8,8475	0,7874	0,02083	1,270	48,01	108,43	140,61	32,18
+ 37	9,0726	0,7893	0,02030	1,267	49,25	108,67	140,69	32,02
+ 38	9,2989	0,7918	0,01980	1,263	50,51	108,92	140,77	31,85
+ 39	9,5351	0,7943	0,01931	1,259	51,79	109,16	140,85	31,69
+ 40	9,7707	0,7968	0,01882	1,255	53,13	109,41	140,94	31,53
+ 41	10,014	0,7994	0,01835	1,251	54,49	109,66	141,02	31,36
+ 42	10,257	0,8019	0,01789	1,247	55,90	109,91	141,10	31,19
+ 43	10,511	0,8045	0,01744	1,243	57,34	110,16	141,18	31,02
+ 44	10,763	0,8071	0,01700	1,239	58,83	110,41	141,25	30,84
+ 45	11,023	0,8104	0,01656	1,234	60,38	110,66	141,33	30,67
+ 46	11,283	0,8130	0,01614	1,230	61,95	110,91	141,40	30,49
+ 47	11,553	0,8157	0,01573	1,226	63,57	111,15	141,48	30,31
+ 48	11,828	0,8190	0,01533	1,221	65,24	111,42	141,56	30,14
+ 49	12,108	0,8217	0,01494	1,217	66,94	111,67	141,64	29,97
+ 50	12,386	0,8244	0,01459	1,213	68,56	111,94	141,73	29,79
+ 55	13,868	0,8410	0,01316	1,189	75,98	113,25	142,13	28,88
+ 60	15,481	0,8568	0,01167	1,167	85,69	114,57	142,49	27,92
+ 65	17,216	0,8741	0,01036	1,114	96,52	115,92	142,82	26,90
+ 70	19,096	0,8936	0,00919	1,119	108,81	117,29	143,09	25,80
+ 75	21,125	0,9149	0,00814	1,093	122,85	118,69	143,31	24,62
+ 80	23,290	0,9398	0,00723	1,064	138,31	120,13	143,46	23,33
+ 85	25,620	0,9680	0,00639	1,033	156,49	121,61	143,51	21,90
+ 90	28,107	1,0009	0,00564	0,999	177,30	123,12	143,41	20,29
+ 95	30,771	1,0416	0,00497	0,960	201,20	124,69	143,11	18,42
+ 100	33,614	1,0952	0,00437	0,913	228,83	126,36	142,51	16,15
+ 105	36,654	1,1736	0,00359	0,852	278,48	128,13	141,51	13,38
+ 110	39,874	1,3513	0,00266	0,742	374,93	131,44	138,89	7,45
+ 115,5 (krit.)	40,879	1,7934	0,00179	0,558	557,59	134,75	134,75	0

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

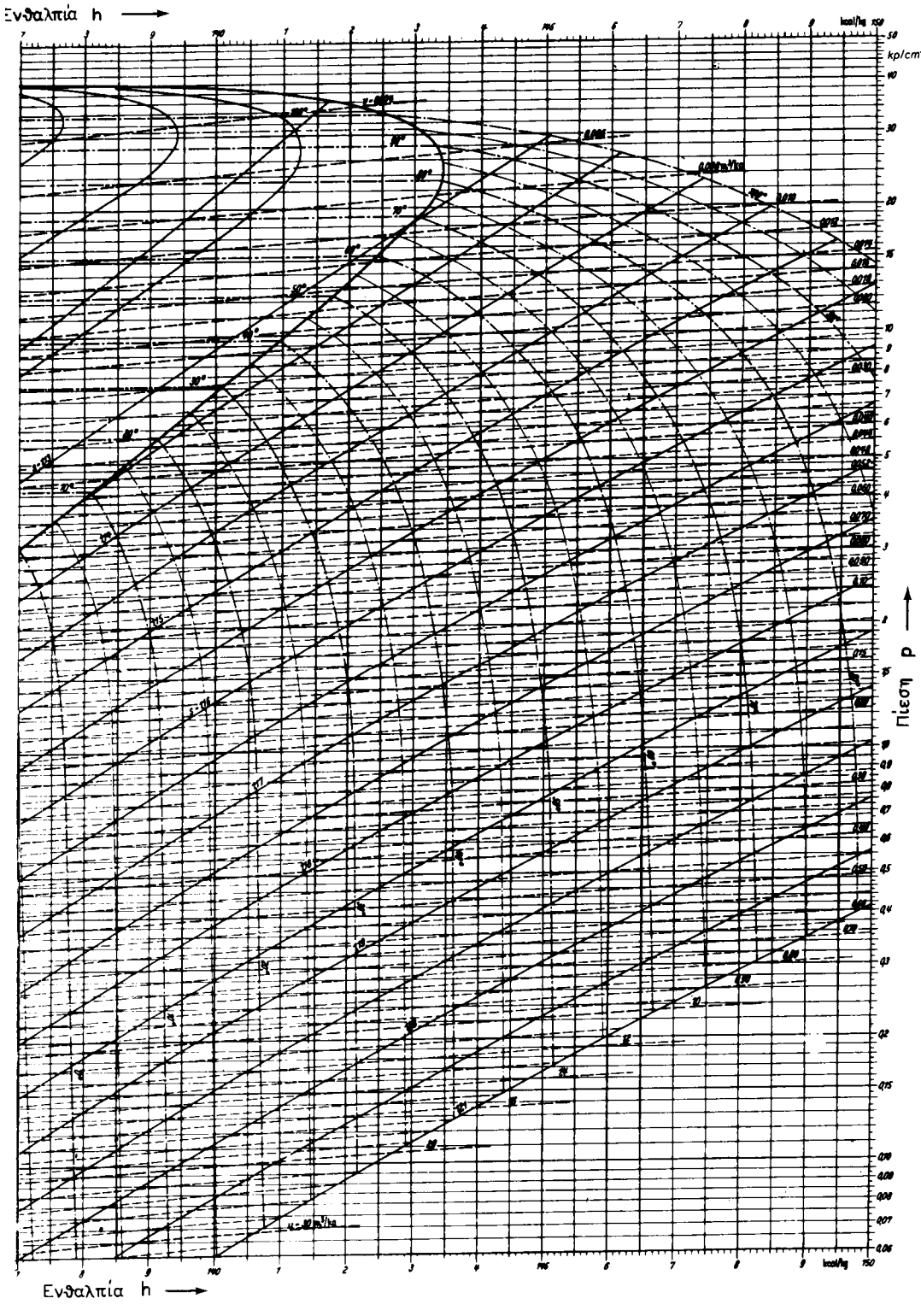


Σχ. 2.4β.
Ψυκτικό μέσο R12.



Σχ. 2.4β.
Ψυκτικό μέσο R12

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956


Ενθαλπία h
Πίεση p
kp/cm²
kcal/kg
Ενθαλπία h

Στον Πίνακα 2.4.2 και στο διάγραμμα του σχήματος 2.4β χρησιμοποιείται ως μονάδα πιέσεως η τεχνική ατμόσφαιρα at και ως μονάδα ενέργειας η χιλιοθερμίδα kcal. Αυτό πρέπει να το έχομε υπόψη μας κατά τους υπολογισμούς.

Για να γίνει ο υπολογισμός σε αγγλοσαξωνικές μονάδες, δίνονται ο Πίνακας 2.4.3 και τα διαγράμματα (σχ. 2.4γ και 2.4δ).

Το πρώτο από τα διαγράμματα αναφέρεται σε ολόκληρη την περιοχή του ψυκτικού μέσου R12 και το δεύτερο δίνει, με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, την περιοχή του υπέρθερμου ατμού όπου γίνεται η συμπίεση.

Πρέπει να τονισθεί ότι πολλοί από τους πίνακες και τα διαγράμματα έχουν διαφορετική αρχή μετρήσεως ενθαλπίας. Έτσι, μόνο ***διαφορές*** ενθαλπίας πρέπει να μεταφέρονται από ένα τύπο διαγράμματος ή από έναν πίνακα σε άλλο. Τις ίδιες τιμές ενθαλπίας έχουν οι εξής ομάδες:

- Πίνακας 2.4.1 και σχήμα 2.4α.
- Πίνακας 2.4.2 και σχήμα 2.4β.
- Πίνακας 2.4.3 και σχήμα 2.4γ και 2.4δ.

2.5 Ψυκτικό μέσο 717 (NH_3).

Έχει πολύ μεγάλη εφαρμογή κυρίως σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις.

Για να γίνουν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί δίνονται τα θερμοδυναμικά μεγέθη. Λόγω της μεγάλης διαδόσεώς του πρέπει να δοθούν οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών τόσο σε μετρικό όσο και σε αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων.

Ο Πίνακας 2.5.1 αναφέρεται σε μετρικές μονάδες. Έχει όμως ως μονάδα πιέσεως την τεχνική ατμόσφαιρα at και ως μονάδα ενέργειας τη χιλιοθερμίδα.

Το ίδιο από απόψεως μονάδων ισχύει και για τα δύο διαγράμματα των σχημάτων 2.5α και 2.5β. Το διάγραμμα του σχήματος 2.5α είναι καταλληλότερο για τις χαμηλές θερμοκρασίες και φυσικά και τις πιέσεις, ενώ το διάγραμμα στο σχήμα 2.5β είναι κατάλληλο για θερμοκρασίες πάνω από 0°C.

Ο Πίνακας 2.5.2 είναι για αγγλοσαξονικές μονάδες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασιακή κλίμακα σε βαθμούς Φαρενάϊτ είναι λεπτομερέστερη από την κλίμακα εκατονταβαθμίου, γιατί κάθε διαφορά ενός βαθμού Φαρενάϊτ αντιστοιχεί περίπου σε διαφορά μισού (ακριβώς 5/9) βαθμού Κελσίου.

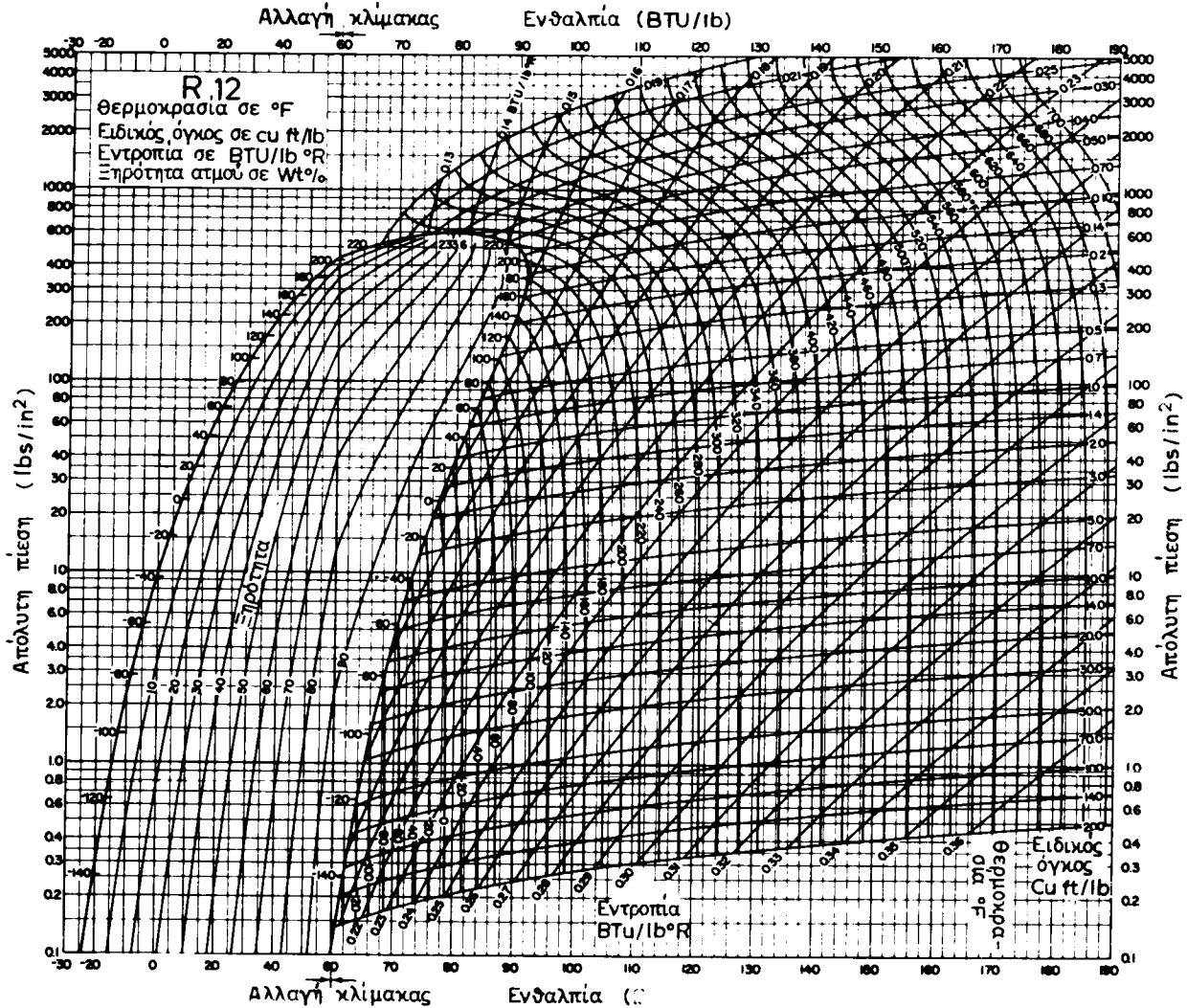
Το αντίστοιχο με τον Πίνακα 2.5.2 διάγραμμα με αγγλοσαξονικές μονάδες, είναι το διάγραμμα του σχήματος 2.5γ.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

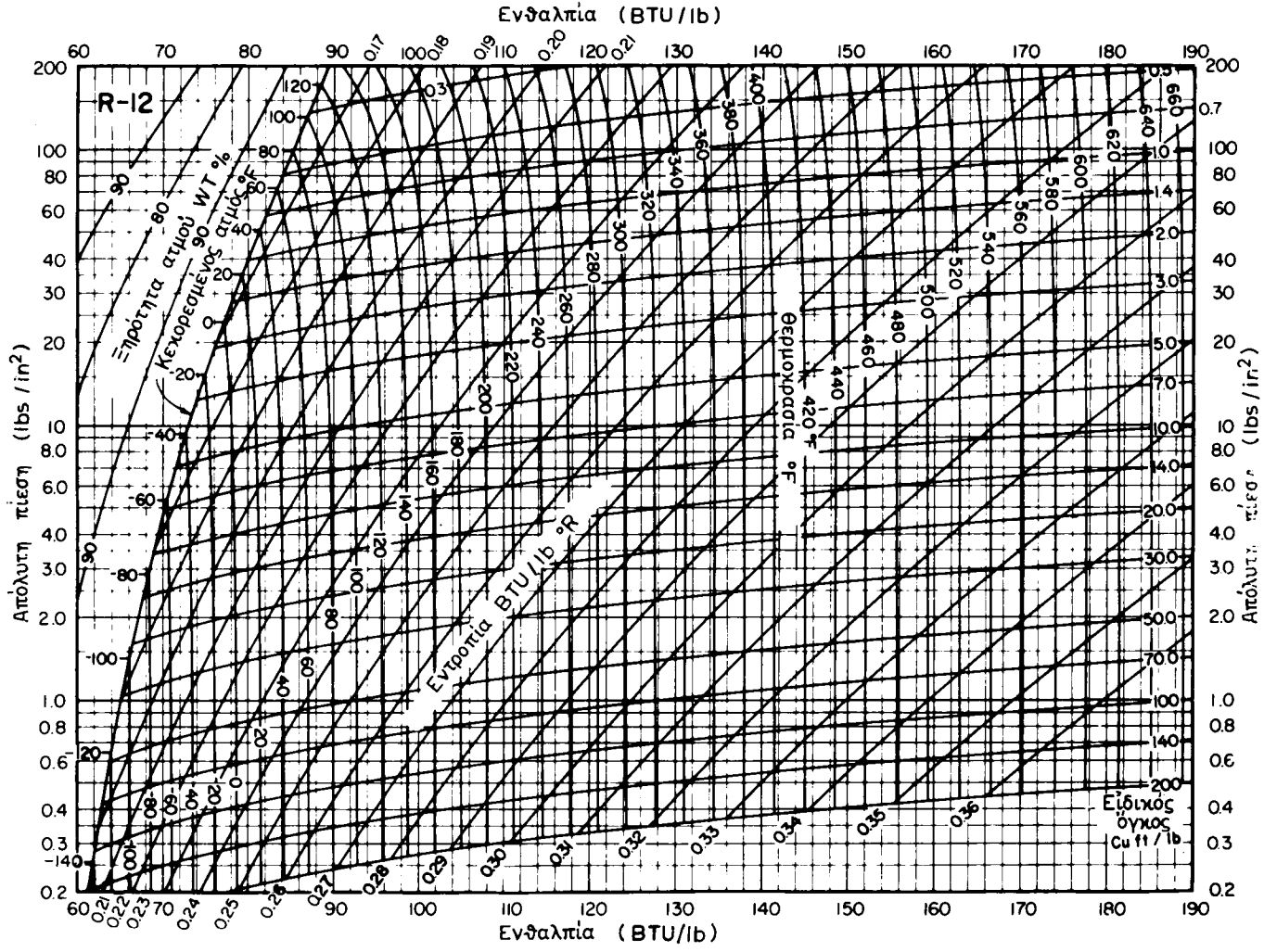
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.3.
Ψυκτικό μέσο R12 — Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότ. lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb		Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότ. lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/v_f$	υγρό h_f	ατμός h_g		psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/v_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
-152	0.13799	29.64024*	197.58	104.52	-23.106	60.628	55	66.743	52.047	0.60453	84.544	20.634	82.924
-150	0.15359	29.60849*	178.65	104.36	-22.697	60.837	56	67.853	53.157	.59495	84.425	20.859	83.021
-145	0.19933	29.51537*	139.83	103.95	-21.674	61.365	57	68.977	54.281	.58554	84.305	21.086	83.119
-140	0.25623	29.39951*	110.46	103.54	-20.652	61.896	58	70.115	55.419	.57632	84.185	21.312	83.215
-135	0.32641	29.25663*	88.023	103.13	-19.631	62.430	59	71.267	56.571	.56727	84.065	21.539	83.312
-130	0.41224	29.08187*	70.730	102.71	-18.609	62.968	60	72.433	57.737	0.55839	83.944	21.766	83.409
-125	0.51641	28.86978*	57.283	102.29	-17.587	63.509	61	73.613	58.917	.54967	83.823	21.993	83.505
-120	0.64190	28.61429*	46.741	101.87	-16.565	64.052	62	74.807	60.111	.54112	83.701	22.221	83.601
-115	0.79200	28.30869*	38.410	101.45	-15.541	64.598	63	76.016	61.320	.53273	83.580	22.448	83.696
-110	0.97034	27.94558*	31.777	101.02	-14.518	65.145	64	77.239	62.543	.52450	83.457	22.676	83.792
-105	1.1809	27.5169*	26.458	100.59	-13.492	65.696	65	78.477	63.781	0.51642	83.335	22.905	83.887
-100	1.4280	27.0138*	22.164	100.15	-12.466	66.248	66	79.729	65.033	.50848	83.212	23.133	83.982
- 95	1.7163	26.4268*	18.674	99.715	-11.438	66.801	67	80.996	66.300	.50070	83.089	23.362	84.077
- 90	2.0509	25.7456*	15.821	99.274	-10.409	67.355	68	82.279	67.583	.49305	82.965	23.591	84.171
- 85	2.4371	24.9593*	13.474	98.830	- 9.3782	67.911	69	83.576	68.880	.48555	82.841	23.821	84.266
- 80	2.8807	24.0560*	11.533	98.382	- 8.3451	68.467	70	84.888	70.192	0.47818	82.717	24.050	84.359
- 75	3.3879	23.0234*	9.9184	97.930	- 7.3101	69.023	71	86.216	71.520	.47094	82.592	24.281	84.453
- 70	3.9651	21.8482*	8.5687	97.475	- 6.2730	69.580	72	87.559	72.863	.46383	82.467	24.511	84.546
- 65	4.6139	20.5164*	7.4347	97.016	- 5.2336	70.137	73	88.918	74.222	.45686	82.341	24.741	84.639
- 60	5.3575	19.0133*	6.4774	96.553	- 4.1919	70.693	74	90.292	75.596	.45000	82.215	24.973	84.732
- 55	6.1874	17.3237*	5.6656	96.086	- 3.1477	71.249	75	91.682	76.986	0.44327	82.089	25.204	84.825
- 50	7.1168	15.4313*	4.9742	95.616	- 2.1011	71.805	76	93.087	78.391	.43666	81.962	25.435	84.916
- 45	8.1540	13.3196*	4.3828	95.141	- 1.0519	72.359	77	94.509	79.813	.43016	81.835	25.667	85.008
- 40	9.3076	10.9709*	3.8750	94.661	0.0000	72.913	78	95.946	81.250	.42378	81.707	25.899	85.100
- 35	10.586	8.367*	3.4373	94.178	1.0546	73.464	79	97.400	82.704	.41751	81.579	26.132	85.191
- 30	11.999	5.490*	3.0585	93.690	2.1120	74.015	80	98.870	84.174	0.41135	81.450	26.365	85.282
- 28	12.604	4.259*	2.9214	93.493	2.5358	74.234	81	100.36	85.66	.40530	81.322	26.598	85.373
- 26	13.233	2.979*	2.7917	93.296	2.9601	74.454	82	101.86	87.16	.39935	81.192	26.832	85.463
- 24	13.886	1.649*	2.6691	93.098	3.3848	74.673	83	103.38	88.68	.39351	81.063	27.065	85.553
- 22	14.564	0.270*	2.5529	92.899	3.8100	74.891	84	104.92	90.22	.38776	80.932	27.300	85.643
- 20	15.267	0.571	2.4429	92.699	4.2357	75.110	† 85	106.47	91.77	0.38212	80.802	27.534	85.732
- 18	15.996	1.300	2.3387	92.499	4.6618	75.328	86	108.04	93.34	.37657	80.671	27.769	85.821
- 16	16.753	2.057	2.2399	92.298	5.0885	75.545	87	109.63	94.93	.37111	80.539	28.005	85.910
- 14	17.536	2.840	2.1461	92.096	5.5157	75.762	88	111.23	96.53	.36575	80.407	28.241	85.998
- 12	18.348	3.652	2.0572	91.893	5.9434	75.979	89	112.85	98.15	.36047	80.275	28.477	86.086
- 10	19.189	4.493	1.9727	91.689	6.3716	76.196	90	114.49	99.79	0.35529	80.142	28.713	86.174
- 8	20.059	5.363	1.8924	91.485	6.8003	76.411	92	117.82	103.12	.34518	79.874	29.187	86.348
- 6	20.960	6.264	1.8161	91.280	7.2296	76.627	94	121.22	106.52	.33540	79.605	29.663	86.521
- 4	21.891	7.195	1.7436	91.074	7.6594	76.842	96	124.70	110.00	.32594	79.334	30.140	86.691
- 2	22.854	8.158	1.6745	90.867	8.0898	77.057	98	128.24	113.54	.31679	79.061	30.619	86.861
0	23.849	9.153	1.6089	90.659	8.5207	77.271	100	131.86	117.16	0.30794	78.785	31.100	87.029
2	24.878	10.182	1.5463	90.450	8.9522	77.485	102	135.56	120.86	.29937	78.508	31.583	87.196
4	25.939	11.243	1.4867	90.240	9.3843	77.698	104	139.33	124.63	.29106	78.228	32.067	87.360
† 5	26.483	11.787	1.4580	90.135	9.6005	77.805	106	143.18	128.48	.28303	77.946	32.553	87.523
6	27.036	12.340	1.4299	90.030	9.8169	77.911	108	147.11	132.41	.27524	77.662	33.041	87.684
8	28.167	13.471	1.3758	89.818	10.250	78.123	110	151.11	136.41	0.26769	77.376	33.531	87.844
10	29.335	14.639	1.3241	89.606	10.684	78.335	112	155.19	140.49	.26037	77.087	34.023	88.001
12	30.539	15.843	1.2748	89.392	11.118	78.546	114	159.36	144.66	.25328	76.795	34.517	88.156
14	31.780	17.084	1.2278	89.178	11.554	78.757	116	163.61	148.91	.24641	76.501	35.014	88.310
16	33.060	18.364	1.1828	88.962	11.989	78.966	118	167.94	153.24	.23974	76.205	35.512	88.461
18	34.378	19.682	1.1399	88.746	12.426	79.176	120	172.35	157.65	0.23326	75.906	36.013	88.610
20	35.736	21.040	1.0988	88.529	12.863	79.385	122	176.85	162.15	.22698	75.604	36.516	88.757
22	37.135	22.439	1.0596	88.310	13.300	79.593	124	181.43	166.73	.22089	75.299	37.021	88.902
24	38.574	23.878	1.0220	88.091	13.739	79.800	126	186.10	171.40	.21497	74.991	37.529	89.044
26	40.056	25.360	0.98612	87.870	14.178	80.007	128	190.86	176.16	.20922	74.680	38.040	89.184
28	41.580	26.884	0.95173	87.649	14.618	80.214	130	195.71	181.01	0.20364	74.367	38.553	89.321
30	43.148	28.452	.91880	87.426	15.058	80.419	132	200.64	185.94	.19821	74.050	39.069	89.456
31	43.948	29.252	.90286	87.314	15.279	80.422	134	205.67	190.97	.19294	73.729	39.588	89.588
32	44.760	30.064	.88725	87.202	15.500	80.624	136	210.79	196.09	.18782	73.406	40.110	89.718
33	45.583	30.887	.87197	87.090	15.720	80.726	138	216.01	201.31	.18283	73.079	40.634	89.844
34	46.417	31.721	0.85702	86.977	15.942	80.828	140	221.32	206.62	0.17799	72.748	41.162	89.967
35	47.263	32.567	.84237	86.865	16.163	80.930	145	235.00	220.30	.16644	71.904	42.495	90.261
36	48.120	33.424	.82803	86.751	16.384	81.031	150	249.31	234.61	.15564	71.035	43.850	90.534
37	48.989	34.293	.81399	86.638	16.606	81.133	155	264.24	249.54	.14552	70.137	45.229	90.783
38	49.870	35.174	.80023	86.524	16.828	81.234	160	279.82	265.12	.13604	69.209	46.633	91.006
39	50.763	36.067	0.78676	86.410	17.050	81.335	165	296.07	281.37	0.12712	68.245	48.065	91.199
40	51.667	36.971	.77357	86.296	17.273	81.436	170	313.00	298.30	.11873	67.244	49.529	91.359
41	52.548	37.888	.76064	86.181	17.495	81.537	175	330.64	315.94	.11080	66.198	51.026	91.481
42	53.513	38.817	.74798	86.066	17.718	81.637	180	349.00	334.30	.10330	65.102	52.562	91.561
43	54.454	39.758	.73557	85.951	17.941	81.737	185	368.11	353.41	.096190	63.949	54.141	91.590
44	55.407	40.711	0.72341	85.836	18.164	81.837	190	387.98	373.28	0.089418	62.728	55.769	91.561
45	56.373	41.677	.71149	85.720	18.387	81.937	195	408.63	393.93	.082946	61.426	57.453	91.462
46	57.352	42.656	.69982	85.604	18.611	82.037	200	430.09	415.39	.076728	60.026	59.203	91.278
47	58.343	43.647	.68837	85.487	18.835	82.136	205	452.38	437.68	.070714	58.502	61.032	90.987
48	59.347	44.651	.67715	85.371	19.059	82.236	210	475.52	460.82	.064843	56.816	62.959	90.558
49	60.364	45.668	0.66616	85.254	19.283	82.334	215	499.53	484.83	0.059030	54.908	65.014	89.939
50	61.394	46.698	.65537	85.136	19.507	82.433	220	524.43	509.73	.053140	52.670	67.246	89.036
51	62.437	47.741	.64480	85.018	19.732	82.532	225	550.26	535.56	.046900	49.868	69.763	87.651
52	63.494	48.798	.63444	84.900	19.957	82.630	230	577.03	562.33	.039435	45.758	72.893	85.122
53	64.563	49.867	.62428	84.782	20.182	82.728	233.6 (Critical)	596.9	582.2	.02870	34.84	78.86	78.86
54	65.646	50.950	.61431	84.663	20.408	82.826							

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 2.4γ.
Ψυκτικό μέσο R12.



Σχ. 2.46.
Ψυκτικό μέσο R12.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.1.
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH_3)

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p kg/cm²	Ειδικός Όγκος υγρού v′ l/kg	Ειδικός Όγκος ατμού v″ m³/kg	Πυκνότητα υγρού ρ′ kg/l	Πυκνότητα ατμού ρ″ kg/m³	Ενθαλπία υγρού h′ kcal/kg	Ενθαλπία ατμού h″ kcal/kg	Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h″ − h′ kcal/kg
— 75	0,0765	1,368	12,89	0,7310	0,0775	20,9	373,5	352,6
— 70	0,1114	1,3788	9,009	0,7253	0,1110	25,9	375,7	349,8
— 68	0,1287	1,3832	7,870	0,7230	0,1271	27,9	376,6	348,7
— 66	0,1485	1,3876	6,882	0,7207	0,1453	29,9	377,4	347,5
— 64	0,1706	1,3920	6,044	0,7184	0,1655	32,0	378,3	346,3
— 62	0,1954	1,3965	5,324	0,7161	0,1878	34,0	379,1	345,1
— 60	0,2233	1,4010	4,699	0,7138	0,2128	36,0	380,0	344,0
— 58	0,2543	1,4056	4,161	0,7114	0,2403	38,1	380,8	342,7
— 56	0,2889	1,4103	3,693	0,7091	0,2708	40,2	381,7	341,5
— 54	0,3272	1,4150	3,288	0,7067	0,3041	42,2	382,5	340,3
— 52	0,3697	1,4197	2,933	0,7044	0,3409	44,2	383,3	339,1
— 50	0,4168	1,4245	2,623	0,7020	0,3812	46,3	384,1	337,8
— 48	0,4686	1,4293	2,351	0,6996	0,425	48,4	384,9	336,6
— 46	0,5256	1,4242	2,112	0,6972	0,473	50,4	385,7	335,3
— 44	0,5882	1,4392	1,901	0,6948	0,526	52,5	386,5	334,0
— 42	0,6568	1,4442	1,715	0,6924	0,583	54,6	387,3	332,7
— 40	0,7318	1,4493	1,550	0,6900	0,645	56,8	388,1	331,3
— 39	0,7719	1,4519	1,4752	0,6888	0,678	57,82	388,49	330,67
— 38	0,8137	1,4545	1,4045	0,6875	0,712	58,88	388,88	329,99
— 37	0,8573	1,4571	1,3377	0,6863	0,748	59,94	389,27	329,31
— 36	0,9028	1,4597	1,2746	0,6851	0,785	61,01	389,65	328,63
— 35	0,9503	1,4623	1,2151	0,6839	0,823	62,08	390,03	327,95
— 34	0,9999	1,4649	1,1589	0,6826	0,863	63,15	390,41	327,26
— 33	1,0515	1,4676	1,1058	0,6814	0,905	64,21	390,79	326,57
— 32	1,1052	1,4703	1,0555	0,6801	0,948	65,28	391,17	325,88
— 31	1,1610	1,4730	1,0080	0,6789	0,992	66,35	391,54	325,19
— 30	1,2190	1,4757	0,9630	0,6777	1,038	67,42	391,91	324,49
— 29	1,279	1,4784	0,9204	0,6764	1,086	68,49	392,28	323,79
— 28	1,342	1,4811	0,8801	0,6752	1,136	69,56	392,64	323,08
— 27	1,407	1,4839	0,8418	0,6739	1,188	70,63	393,00	322,37
— 26	1,475	1,4867	0,8056	0,6726	1,242	71,71	393,36	321,66
— 25	1,546	1,4895	0,7712	0,6714	1,297	72,78	393,72	320,94
— 24	1,619	1,4923	0,7386	0,6701	1,354	73,86	394,07	320,22
— 23	1,695	1,4951	0,7076	0,6688	1,413	74,93	394,42	319,49
— 22	1,774	1,4980	0,6782	0,6676	1,474	76,01	394,77	318,76
— 21	1,856	1,5008	0,6502	0,6663	1,538	77,09	395,12	318,03
— 20	1,940	1,5037	0,6236	0,6650	1,604	78,17	395,46	317,29
— 19	2,027	1,5066	0,5983	0,6637	1,672	79,25	395,80	316,55
— 18	2,117	1,5096	0,5742	0,6624	1,742	80,33	396,13	315,80
— 17	2,211	1,5125	0,5513	0,6611	1,814	81,41	396,46	315,05
— 16	2,309	1,5155	0,5295	0,6598	1,889	82,50	396,79	314,29
— 15	2,410	1,5185	0,5087	0,6585	1,966	83,59	397,12	313,53
— 14	2,514	1,5215	0,4889	0,6572	2,046	84,68	397,44	312,76
— 13	2,621	1,5245	0,4700	0,6559	2,128	85,76	397,75	311,99
— 12	2,732	1,5276	0,4520	0,6546	2,213	86,85	398,06	311,21
— 11	2,847	1,5307	0,4348	0,6533	2,300	87,94	398,37	310,43
— 10	2,966	1,5338	0,4184	0,6520	2,390	89,03	398,67	309,64
— 9	3,089	1,5369	0,4028	0,6507	2,483	90,12	398,97	308,85
— 8	3,216	1,5400	0,3878	0,6493	2,579	91,21	399,27	308,06
— 7	3,347	1,5432	0,3735	0,6480	2,678	92,30	399,56	307,25
— 6	3,481	1,5464	0,3599	0,6467	2,779	93,40	399,85	306,45
— 5	3,619	1,5496	0,3469	0,6453	2,883	94,50	400,14	305,64
— 4	3,761	1,5528	0,3344	0,6440	2,991	95,59	400,42	304,83
— 3	3,908	1,5561	0,3225	0,6426	3,102	96,69	400,70	304,01
— 2	4,060	1,5594	0,3111	0,6413	3,216	97,79	400,98	303,19
— 1	4,217	1,5627	0,3002	0,6399	3,332	98,89	401,25	302,36
0	4,379	1,5660	0,2897	0,6386	3,452	100,00	401,52	301,52
+ 1	4,545	1,5694	0,2797	0,6372	3,576	101,10	401,78	300,68
+ 2	4,716	1,5727	0,2700	0,6358	3,703	102,21	402,04	299,84
+ 3	4,892	1,5761	0,2608	0,6345	3,834	103,32	402,30	298,99
+ 4	5,073	1,5796	0,2520	0,6331	3,969	104,43	402,55	298,13

(συνεχίζεται)

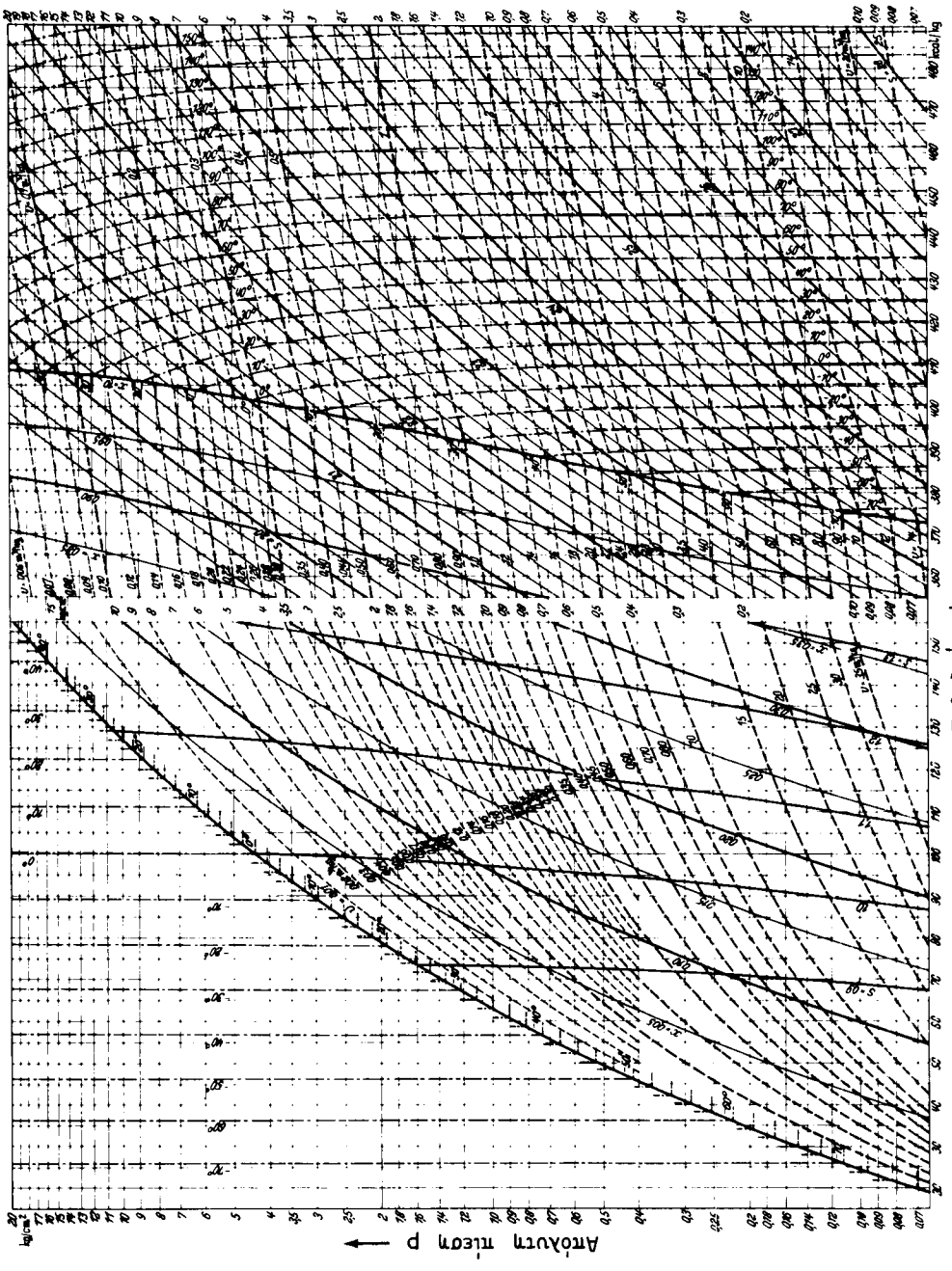
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.1. (συνέχεια)

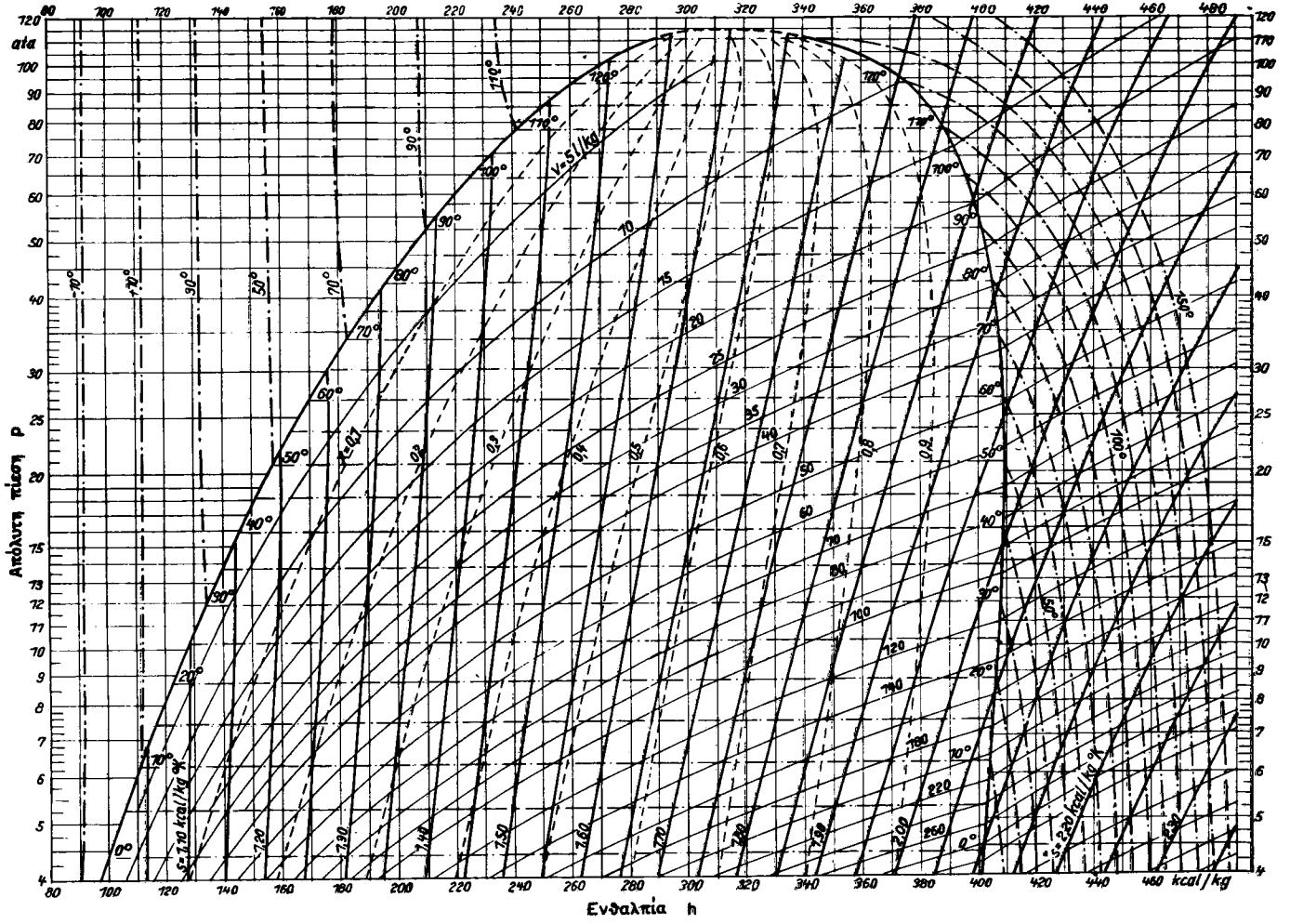
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH_3)

Θερμο-κρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός Όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h'' − h' kcal/kg
		υγρού v' l/kg	ατμού v'' m³/kg	υγρού ρ' kg/l	ατμού ρ'' kg/m³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
+ 5	5,259	1,5831	0,2435	0,6317	4,108	105,54	402,80	297,26
+ 6	5,450	1,5866	0,2353	0,6303	4,250	106,65	403,04	296,39
+ 7	5,647	1,5901	0,2275	0,6289	4,396	107,76	403,27	295,51
+ 8	5,849	1,5936	0,2200	0,6275	4,546	108,87	403,50	294,63
+ 9	6,057	1,5972	0,2128	0,6261	4,700	109,99	403,73	293,74
+ 10	6,271	1,6008	0,2058	0,6247	4,859	111,11	403,95	292,84
+ 11	6,490	1,6045	0,1992	0,6233	5,022	112,23	404,17	291,94
+ 12	6,715	1,6081	0,1927	0,6218	5,189	113,35	404,38	291,03
+ 13	6,946	1,6118	0,1866	0,6204	5,361	114,47	404,59	290,12
+ 14	7,183	1,6156	0,1806	0,6190	5,537	115,59	404,79	289,20
+ 15	7,427	1,6193	0,1749	0,6175	5,718	116,72	404,99	288,27
+ 16	7,677	1,6231	0,1694	0,6161	5,904	117,85	405,19	287,34
+ 17	7,933	1,6270	0,1642	0,6146	6,094	118,98	405,38	286,40
+ 18	8,196	1,6308	0,1591	0,6132	6,289	120,11	405,57	285,46
+ 19	8,465	1,6347	0,1542	0,6117	6,489	121,24	405,75	284,51
+ 20	8,741	1,6386	0,1494	0,6103	6,694	122,38	405,93	283,55
+ 21	9,024	1,6426	0,1449	0,6088	6,904	123,52	406,10	282,58
+ 22	9,314	1,6466	0,1405	0,6073	7,119	124,66	406,27	281,61
+ 23	9,611	1,6507	0,1363	0,6058	7,339	125,80	406,43	280,63
+ 24	9,915	1,6546	0,1322	0,6043	7,564	126,94	406,59	279,65
+ 25	10,225	1,6588	0,1283	0,6028	7,795	128,09	406,75	278,66
+ 26	10,544	1,6630	0,1245	0,6013	8,031	129,24	406,89	277,66
+ 27	10,870	1,6672	0,1209	0,5998	8,273	130,39	407,03	276,65
+ 28	11,204	1,6714	0,1174	0,5983	8,521	131,54	407,17	275,64
+ 29	11,546	1,6757	0,1140	0,5968	8,775	132,69	407,30	274,62
+ 30	11,895	1,6800	0,1107	0,5952	9,034	133,84	407,43	273,59
+ 31	12,252	1,6844	0,1075	0,5937	9,300	135,00	407,55	272,55
+ 32	12,617	1,6888	0,1045	0,5921	9,573	136,16	407,67	271,50
+ 33	12,991	1,6932	0,1015	0,5906	9,852	137,32	407,78	270,45
+ 34	13,374	1,6977	0,0986	0,5890	10,138	138,48	407,88	269,39
+ 35	13,765	1,7023	0,0959	0,5875	10,431	139,65	407,97	268,32
+ 36	14,165	1,7069	0,0932	0,5859	10,731	140,82	408,06	267,24
+ 37	14,573	1,7115	0,0906	0,5843	11,038	141,99	408,15	266,15
+ 38	14,990	1,7162	0,0881	0,5827	11,353	143,16	408,23	265,06
+ 39	15,415	1,7209	0,0857	0,5811	11,675	144,34	408,30	263,96
+ 40	15,850	1,7257	0,0833	0,5795	12,005	145,52	408,37	262,85
+ 41	16,294	1,7305	0,0810	0,5779	12,34	146,70	408,43	261,73
+ 42	16,747	1,7354	0,0788	0,5762	12,69	147,88	408,49	260,60
+ 43	17,210	1,7404	0,0767	0,5746	13,04	149,06	408,54	259,47
+ 44	17,682	1,7454	0,0746	0,5729	13,40	150,24	408,58	258,33
+ 45	18,165	1,7504	0,0726	0,5713	13,77	151,43	408,61	257,18
+ 46	18,658	1,7555	0,0707	0,5696	14,15	152,62	408,64	256,02
+ 47	19,161	1,7607	0,0688	0,5680	14,54	153,81	408,66	254,85
+ 48	19,673	1,7659	0,0670	0,5663	14,94	155,00	408,68	253,67
+ 49	20,195	1,7712	0,0652	0,5646	15,34	156,20	408,70	252,48
+ 50	20,727	1,7775	0,0635	0,5628	15,75	157,38	408,72	251,34
+ 52	21,83	1,788	0,0602	0,5591	16,59	159,8	408,7	248,9
+ 54	22,97	1,800	0,0572	0,5554	17,47	162,2	408,8	246,6
+ 56	24,15	1,812	0,0543	0,5516	18,39	164,6	408,8	244,2
+ 58	25,37	1,825	0,0515	0,5478	19,35	167,1	408,7	241,6
+ 60	26,66	1,838	0,0489	0,5440	20,35	169,6	408,6	238,0
+ 62	27,98	1,851	0,0464	0,5402	21,41	172,2	408,5	236,3
+ 64	29,36	1,864	0,0441	0,5364	22,53	174,8	408,3	233,5
+ 66	30,77	1,877	0,0420	0,5326	23,73	177,4	408,0	230,6
+ 68	32,25	1,891	0,0399	0,5288	25,01	180,0	407,7	227,7
+ 70	33,77	1,905	0,0379	0,5248	26,36	182,7	407,3	224,6

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 2.5α.


Απόλυτη πίεση p
ata
Ενθαλπία h
kcal/kg
v=5 l/kg
x=0.1
x=0.2
x=0.3
x=0.4
x=0.5
x=0.6
x=0.7
x=0.8
x=0.9
s=1.70 kcal/kg °K
s=1.80
s=1.90
s=2.00
s=2.10
s=2.20
s=2.30
s=2.40
s=2.50
s=2.60
s=2.70
s=2.80
s=2.90
s=3.00
s=3.10
s=3.20
s=3.30
s=3.40
s=3.50
s=3.60
s=3.70
s=3.80
s=3.90
s=4.00
s=4.10
s=4.20
s=4.30
s=4.40
s=4.50
s=4.60
s=4.70
s=4.80
s=4.90
s=5.00
s=5.10
s=5.20
s=5.30
s=5.40
s=5.50
s=5.60
s=5.70
s=5.80
s=5.90
s=6.00
s=6.10
s=6.20
s=6.30
s=6.40
s=6.50
s=6.60
s=6.70
s=6.80
s=6.90
s=7.00
s=7.10
s=7.20
s=7.30
s=7.40
s=7.50
s=7.60
s=7.70
s=7.80
s=7.90
s=8.00
s=8.10
s=8.20
s=8.30
s=8.40
s=8.50
s=8.60
s=8.70
s=8.80
s=8.90
s=9.00
s=9.10
s=9.20
s=9.30
s=9.40
s=9.50
s=9.60
s=9.70
s=9.80
s=9.90
s=10.00
s=10.10
s=10.20
s=10.30
s=10.40
s=10.50
s=10.60
s=10.70
s=10.80
s=10.90
s=11.00
s=11.10
s=11.20
s=11.30
s=11.40
s=11.50
s=11.60
s=11.70
s=11.80
s=11.90
s=12.00
s=12.10
s=12.20
s=12.30
s=12.40
s=12.50
s=12.60
s=12.70
s=12.80
s=12.90
s=13.00
s=13.10
s=13.20
s=13.30
s=13.40
s=13.50
s=13.60
s=13.70
s=13.80
s=13.90
s=14.00
s=14.10
s=14.20
s=14.30
s=14.40
s=14.50
s=14.60
s=14.70
s=14.80
s=14.90
s=15.00
s=15.10
s=15.20
s=15.30
s=15.40
s=15.50
s=15.60
s=15.70
s=15.80
s=15.90
s=16.00
s=16.10
s=16.20
s=16.30
s=16.40
s=16.50
s=16.60
s=16.70
s=16.80
s=16.90
s=17.00
s=17.10
s=17.20
s=17.30
s=17.40
s=17.50
s=17.60
s=17.70
s=17.80
s=17.90
s=18.00
s=18.10
s=18.20
s=18.30
s=18.40
s=18.50
s=18.60
s=18.70
s=18.80
s=18.90
s=19.00
s=19.10
s=19.20
s=19.30
s=19.40
s=19.50
s=19.60
s=19.70
s=19.80
s=19.90
s=20.00
s=20.10
s=20.20
s=20.30
s=20.40
s=20.50
s=20.60
s=20.70
s=20.80
s=20.90
s=21.00
s=21.10
s=21.20
s=21.30
s=21.40
s=21.50
s=21.60
s=21.70
s=21.80
s=21.90
s=22.00
s=22.10
s=22.20
s=22.30
s=22.40
s=22.50
s=22.60
s=22.70
s=22.80
s=22.90
s=23.00
s=23.10
s=23.20
s=23.30
s=23.40
s=23.50
s=23.60
s=23.70
s=23.80
s=23.90
s=24.00
s=24.10
s=24.20
s=24.30
s=24.40
s=24.50
s=24.60
s=24.70
s=24.80
s=24.90
s=25.00
s=25.10
s=25.20
s=25.30
s=25.40
s=25.50
s=25.60
s=25.70
s=25.80
s=25.90
s=26.00
s=26.10
s=26.20
s=26.30
s=26.40
s=26.50
s=26.60
s=26.70
s=26.80
s=26.90
s=27.00
s=27.10
s=27.20
s=27.30
s=27.40
s=27.50
s=27.60
s=27.70
s=27.80
s=27.90
s=28.00
s=28.10
s=28.20
s=28.30
s=28.40
s=28.50
s=28.60
s=28.70
s=28.80
s=28.90
s=29.00
s=29.10
s=29.20
s=29.30
s=29.40
s=29.50
s=29.60
s=29.70
s=29.80
s=29.90
s=30.00
s=30.10
s=30.20
s=30.30
s=30.40
s=30.50
s=30.60
s=30.70
s=30.80
s=30.90
s=31.00
s=31.10
s=31.20
s=31.30
s=31.40
s=31.50
s=31.60
s=31.70
s=31.80
s=31.90
s=32.00
s=32.10
s=32.20
s=32.30
s=32.40
s=32.50
s=32.60
s=32.70
s=32.80
s=32.90
s=33.00
s=33.10
s=33.20
s=33.30
s=33.40
s=33.50
s=33.60
s=33.70
s=33.80
s=33.90
s=34.00
s=34.10
s=34.20
s=34.30
s=34.40
s=34.50
s=34.60
s=34.70
s=34.80
s=34.90
s=35.00
s=35.10
s=35.20
s=35.30
s=35.40
s=35.50
s=35.60
s=35.70
s=35.80
s=35.90
s=36.00
s=36.10
s=36.20
s=36.30
s=36.40
s=36.50
s=36.60
s=36.70
s=36.80
s=36.90
s=37.00
s=37.10
s=37.20
s=37.30
s=37.40
s=37.50
s=37.60
s=37.70
s=37.80
s=37.90
s=38.00
s=38.10
s=38.20
s=38.30
s=38.40
s=38.50
s=38.60
s=38.70
s=38.80
s=38.90
s=39.00
s=39.10
s=39.20
s=39.30
s=39.40
s=39.50
s=39.60
s=39.70
s=39.80
s=39.90
s=40.00
s=40.10
s=40.20
s=40.30
s=40.40
s=40.50
s=40.60
s=40.70
s=40.80
s=40.90
s=41.00
s=41.10
s=41.20
s=41.30
s=41.40
s=41.50
s=41.60
s=41.70
s=41.80
s=41.90
s=42.00
s=42.10
s=42.20
s=42.30
s=42.40
s=42.50
s=42.60
s=42.70
s=42.80
s=42.90
s=43.00
s=43.10
s=43.20
s=43.30
s=43.40
s=43.50
s=43.60
s=43.70
s=43.80
s=43.90
s=44.00
s=44.10
s=44.20
s=44.30
s=44.40
s=44.50
s=44.60
s=44.70
s=44.80
s=44.90
s=45.00
s=45.10
s=45.20
s=45.30
s=45.40
s=45.50
s=45.60
s=45.70
s=45.80
s=45.90
s=46.00
s=46.10
s=46.20
s=46.30
s=46.40
s=46.50
s=46.60
s=46.70
s=46.80
s=46.90
s=47.00
s=47.10
s=47.20
s=47.30
s=47.40
s=47.50
s=47.60
s=47.70
s=47.80
s=47.90
s=48.00
s=48.10
s=48.20
s=48.30
s=48.40
s=48.50
s=48.60
s=48.70
s=48.80
s=48.90
s=49.00
s=49.10
s=49.20
s=49.30
s=49.40
s=49.50
s=49.60
s=49.70
s=49.80
s=49.90
s=50.00
s=50.10
s=50.20
s=50.30
s=50.40
s=50.50
s=50.60
s=50.70
s=50.80
s=50.90
s=51.00
s=51.10
s=51.20
s=51.30
s=51.40
s=51.50
s=51.60
s=51.70
s=51.80
s=51.90
s=52.00
s=52.10
s=52.20
s=52.30
s=52.40
s=52.50
s=52.60
s=52.70
s=52.80
s=52.90
s=53.00
s=53.10
s=53.20
s=53.30
s=53.40
s=53.50
s=53.60
s=53.70
s=53.80
s=53.90
s=54.00
s=54.10
s=54.20
s=54.30
s=54.40
s=54.50
s=54.60
s=54.70
s=54.80
s=54.90
s=55.00
s=55.10
s=55.20
s=55.30
s=55.40
s=55.50
s=55.60
s=55.70
s=55.80
s=55.90
s=56.00
s=56.10
s=56.20
s=56.30
s=56.40
s=56.50
s=56.60
s=56.70
s=56.80
s=56.90
s=57.00
s=57.10
s=57.20
s=57.30
s=57.40
s=57.50
s=57.60
s=57.70
s=57.80
s=57.90
s=58.00
s=58.10
s=58.20
s=58.30
s=58.40
s=58.50
s=58.60
s=58.70
s=58.80
s=58.90
s=59.00
s=59.10
s=59.20
s=59.30
s=59.40
s=59.50
s=59.60
s=59.70
s=59.80
s=59.90
s=60.00
s=60.10
s=60.20
s=60.30
s=60.40
s=60.50
s=60.60
s=60.70
s=60.80
s=60.90
s=61.00
s=61.10
s=61.20
s=61.30
s=61.40
s=61.50
s=61.60
s=61.70
s=61.80
s=61.90
s=62.00
s=62.10
s=62.20
s=62.30
s=62.40
s=62.50
s=62.60
s=62.70
s=62.80
s=62.90
s=63.00
s=63.10
s=63.20
s=63.30
s=63.40
s=63.50
s=63.60
s=63.70
s=63.80
s=63.90
s=64.00
s=64.10
s=64.20
s=64.30
s=64.40
s=64.50
s=64.60
s=64.70
s=64.80
s=64.90
s=65.00
s=65.10
s=65.20
s=65.30
s=65.40
s=65.50
s=65.60
s=65.70
s=65.80
s=65.90
s=66.00
s=66.10
s=66.20
s=66.30
s=66.40
s=66.50
s=66.60
s=66.70
s=66.80
s=66.90
s=67.00
s=67.10
s=67.20
s=67.30
s=67.40
s=67.50
s=67.60
s=67.70
s=67.80
s=67.90
s=68.00
s=68.10
s=68.20
s=68.30
s=68.40
s=68.50
s=68.60
s=68.70
s=68.80
s=68.90
s=69.00
s=69.10
s=69.20
s=69.30
s=69.40
s=69.50
s=69.60
s=69.70
s=69.80
s=69.90
s=70.00
s=70.10
s=70.20
s=70.30
s=70.40
s=70.50
s=70.60
s=70.70
s=70.80
s=70.90
s=71.00
s=71.10
s=71.20
s=71.30
s=71.40
s=71.50
s=71.60
s=71.70
s=71.80
s=71.90
s=72.00
s=72.10
s=72.20
s=72.30
s=72.40
s=72.50
s=72.60
s=72.70
s=72.80
s=72.90
s=73.00
s=73.10
s=73.20
s=73.30
s=73.40
s=73.50
s=73.60
s=73.70
s=73.80
s=73.90
s=74.00
s=74.10
s=74.20
s=74.30
s=74.40
s=74.50
s=74.60
s=74.70
s=74.80
s=74.90
s=75.00
s=75.10
s=75.20
s=75.30
s=75.40
s=75.50
s=75.60
s=75.70
s=75.80
s=75.90
s=76.00
s=76.10
s=76.20
s=76.30
s=76.40
s=76.50
s=76.60
s=76.70
s=76.80
s=76.90
s=77.00
s=77.10
s=77.20
s=77.30
s=77.40
s=77.50
s=77.60
s=77.70
s=77.80
s=77.90
s=78.00
s=78.10
s=78.20
s=78.30
s=78.40
s=78.50
s=78.60
s=78.70
s=78.80
s=78.90
s=79.00
s=79.10
s=79.20
s=79.30
s=79.40
s=79.50
s=79.60
s=79.70
s=79.80
s=79.90
s=80.00
s=80.10
s=80.20
s=80.30
s=80.40
s=80.50
s=80.60
s=80.70
s=80.80
s=80.90
s=81.00
s=81.10
s=81.20
s=81.30
s=81.40
s=81.50
s=81.60
s=81.70
s=81.80
s=81.90
s=82.00
s=82.10
s=82.20
s=82.30
s=82.40
s=82.50
s=82.60
s=82.70
s=82.80
s=82.90
s=83.00
s=83.10
s=83.20
s=83.30
s=83.40
s=83.50
s=83.60
s=83.70
s=83.80
s=83.90
s=84.00
s=84.10
s=84.20
s=84.30
s=84.40
s=84.50
s=84.60
s=84.70
s=84.80
s=84.90
s=85.00
s=85.10
s=85.20
s=85.30
s=85.40
s=85.50
s=85.60
s=85.70
s=85.80
s=85.90
s=86.00
s=86.10
s=86.20
s=86.30
s=86.40
s=86.50
s=86.60
s=86.70
s=86.80
s=86.90
s=87.00
s=87.10
s=87.20
s=87.30
s=87.40
s=87.50
s=87.60
s=87.70
s=87.80
s=87.90
s=88.00
s=88.10
s=88.20
s=88.30
s=88.40
s=88.50
s=88.60
s=88.70
s=88.80
s=88.90
s=89.00
s=89.10
s=89.20
s=89.30
s=89.40
s=89.50
s=89.60
s=89.70
s=89.80
s=89.90
s=90.00
s=90.10
s=90.20
s=90.30
s=90.40
s=90.50
s=90.60
s=90.70
s=90.80
s=90.90
s=91.00
s=91.10
s=91.20
s=91.30
s=91.40
s=91.50
s=91.60
s=91.70
s=91.80
s=91.90
s=92.00
s=92.10
s=92.20
s=92.30
s=92.40
s=92.50
s=92.60
s=92.70
s=92.80
s=92.90
s=93.00
s=93.10
s=93.20
s=93.30
s=93.40
s=93.50
s=93.60
s=93.70
s=93.80
s=93.90
s=94.00
s=94.10
s=94.20
s=94.30
s=94.40
s=94.50
s=94.60
s=94.70
s=94.80
s=94.90
s=95.00
s=95.10
s=95.20
s=95.30
s=95.40
s=95.50
s=95.60
s=95.70
s=95.80
s=95.90
s=96.00
s=96.10
s=96.20
s=96.30
s=96.40
s=96.50
s=96.60
s=96.70
s=96.80
s=96.90
s=97.00
s=97.10
s=97.20
s=97.30
s=97.40
s=97.50
s=97.60
s=97.70
s=97.80
s=97.90
s=98.00
s=98.10
s=98.20
s=98.30
s=98.40
s=98.50
s=98.60
s=98.70
s=98.80
s=98.90
s=99.00
s=99.10
s=99.20
s=99.30
s=99.40
s=99.50
s=99.60
s=99.70
s=99.80
s=99.90
s=100.00
s=100.10
s=100.20
s=100.30
s=100.40
s=100.50
s=100.60
s=100.70
s=100.80
s=100.90
s=101.00
s=101.10
s=101.20
s=101.30
s=101.40
s=101.50
s=101.60
s=101.70
s=101.80
s=101.90
s=102.00
s=102.10
s=102.20
s=102.30
s=102.40
s=102.50
s=102.60
s=102.70
s=102.80
s=102.90
s=103.00
s=103.10
s=103.20
s=103.30
s=103.40
s=103.50
s=103.60
s=103.70
s=103.80
s=103.90
s=104.00
s=104.10
s=104.20
s=104.30
s=104.40
s=104.50
s=104.60
s=104.70
s=104.80
s=104.90
s=105.00
s=105.10
s=105.20
s=105.30
s=105.40
s=105.50
s=105.60
s=105.70
s=105.80
s=105.90
s=106.00
s=106.10
s=106.20
s=106.30
s=106.40
s=106.50
s=106.60
s=106.70
s=106.80
s=106.90
s=107.00
s=107.10
s=107.20
s=107.30
s=107.40
s=107.50
s=107.60
s=107.70
s=107.80
s=107.90
s=108.00
s=108.10
s=108.20
s=108.30
s=108.40
s=108.50
s=108.60
s=108.70
s=108.80
s=108.90
s=109.00
s=109.10
s=109.20
s=109.30
s=109.40
s=109.50
s=109.60
s=109.70
s=109.80
s=109.90
s=110.00
s=110.10
s=110.20
s=110.30
s=110.40
s=110.50
s=110.60
s=110.70
s=110.80
s=110.90
s=111.00
s=111.10
s=111.20
s=111.30
s=111.40
s=111.50
s=111.60
s=111.70
s=111.80
s=111.90
s=112.00
s=112.10
s=112.20
s=112.30
s=112.40
s=112.50
s=112.60
s=112.70
s=112.80
s=112.90
s=113.00
s=113.10
s=113.20
s=113.30
s=113.40
s=113.50
s=113.60
s=113.70
s=113.80
s=113.90
s=114.00
s=114.10
s=114.20
s=114.30
s=114.40
s=114.50
s=114.60
s=114.70
s=114.80
s=114.90
s=115.00
s=115.10
s=115.20
s=115.30
s=115.40
s=115.50
s=115.60
s=115.70
s=115.80
s=115.90
s=116.00
s=116.10
s=116.20
s=116.30
s=116.40
s=116.50
s=116.60
s=116.70
s=116.80
s=116.90
s=117.00
s=117.10
s=117.20
s=117.30
s=117.40
s=117.50
s=117.60
s=117.70
s=117.80
s=117.90
s=118.00
s=118.10
s=118.20
s=118.30
s=118.40
s=118.50
s=118.60
s=118.70
s=118.80
s=118.90
s=119.00
s=119.10
s=119.20
s=119.30
s=119.40
s=119.50
s=119.60
s=119.70
s=119.80
s=119.90
s=120.00
s=120.10
s=120.20
s=120.30
s=120.40
s=120.50
s=120.60
s=120.70
s=120.80
s=120.90
s=121.00
s=121.10
s=121.20
s=121.30
s=121.40
s=121.50
s=121.60
s=121.70
s=121.80
s=121.90
s=122.00
s=122.10
s=122.20
s=122.30
s=122.40
s=122.50
s=122.60
s=122.70
s=122.80
s=122.90
s=123.00
s=123.10
s=123.20
s=123.30
s=123.40
s=123.50
s=123.60
s=123.70
s=123.80
s=123.90
s=124.00
s=124.10
s=124.20
s=124.30
s=124.40
s=124.50
s=124.60
s=124.70
s=124.80
s=124.90
s=125.00
s=125.10
s=125.20
s=125.30
s=125.40
s=125.50
s=125.60
s=125.70
s=125.80
s=125.90
s=126.00
s=126.10
s=126.20
s=126.30
s=126.40
s=126.50
s=126.60
s=126.70
s=126.80
s=126.90
s=127.00
s=127.10
s=127.20
s=127.30
s=127.40
s=127.50
s=127.60
s=127.70
s=127.80
s=127.90
s=128.00
s=128.10
s=128.20
s=128.30
s=128.40
s=128.50
s=128.60
s=128.70
s=128.80
s=128.90
s=129.00
s=129.10
s=129.20
s=129.30
s=129.40
s=129.50
s=129.60
s=129.70
s=129.80
s=129.90
s=130.00
s=130.10
s=130.20
s=130.30
s=130.40
s=130.50
s=130.60
s=130.70
s=130.80
s=130.90
s=131.00
s=131.10
s=131.20
s=131.30
s=131.40
s=131.50
s=131.60
s=131.70
s=131.80
s=131.90
s=132.00
s=132.10
s=132.20
s=132.30
s=132.40
s=132.50
s=132.60
s=132.70
s=132.80
s=132.90
s=133.00
s=133.10
s=133.20
s=133.30
s=133.40
s=133.50
s=133.60
s=133.70
s=133.80
s=133.90
s=134.00
s=134.10
s=134.20
s=134.30
s=134.40
s=134.50
s=134.60
s=134.70
s=134.80
s=134.90
s=135.00
s=135.10
s=135.20
s=135.30
s=135.40
s=135.50
s=135.60
s=135.70
s=135.80
s=135.90
s=136.00
s=136.10
s=136.20
s=136.30
s=136.40
s=136.50
s=136.60
s=136.70
s=136.80
s=136.90
s=137.00
s=137.10
s=137.20
s=137.30
s=137.40
s=137.50
s=137.60
s=137.70
s=137.80
s=137.90
s=138.00
s=138.10
s=138.20
s=138.30
s=138.40
s=138.50
s=138.60
s=138.70
s=138.80
s=138.90
s=139.00
s=139.10
s=139.20
s=139.30
s=139.40
s=139.50
s=139.60
s=139.70
s=139.80
s=139.90
s=140.00
s=140.10
s=140.20
s=140.30
s=140.40
s=140.50
s=140.60
s=140.70
s=140.80
s=140.90
s=141.00
s=141.10
s=141.20
s=141.30
s=141.40
s=141.50
s=141.60
s=141.70
s=141.80
s=141.90
s=142.00
s=142.10
s=142.20
s=142.30
s=142.40
s=142.50
s=142.60
s=142.70
s=142.80
s=142.90
s=143.00
s=143.10
s=143.20
s=143.30
s=143.40
s=143.50
s=143.60
s=143.70
s=143.80
s=143.90
s=144.00
s=144.10
s=144.20
s=144.30
s=144.40
s=144.50
s=144.60
s=144.70
s=144.80
s=144.90
s=145.00
s=145.10
s=145.20
s=145.30
s=145.40
s=145.50
s=145.60
s=145.70
s=145.80
s=145.90
s=146.00
s=146.10
s=146.20
s=146.30
s=146.40
s=146.50
s=146.60
s=146.70
s=146.80
s=146.90
s=147.00
s=147.10
s=147.20
s=147.30
s=147.40
s=147.50
s=147.60
s=147.70
s=147.80
s=147.90
s=148.00
s=148.10
s=148.20
s=148.30
s=148.40
s=148.50
s=148.60
s=148.70
s=148.80
s=148.90
s=149.00
s=149.10
s=149.20
s=149.30
s=149.40
s=149.50
s=149.60
s=149.70
s=149.80
s=149.90
s=150.00
s=150.10
s=150.20
s=150.30
s=150.40
s=150.50
s=150.60
s=150.70
s=150.80
s=150.90
s=151.00
s=151.10
s=151.20
s=151.30
s=151.40
s=151.50
s=151.60
s=151.70
s=151.80
s=151.90
s=152.00
s=152.10
s=152.20
s=152.30
s=152.40
s=152.50
s=152.60
s=152.70
s=152.80
s=152.90
s=153.00
s=153.10
s=153.20
s=153.30
s=153.40
s=153.50
s=153.60
s=153.70
s=153.80
s=153.90
s=154.00
s=154.10
s=154.20
s=154.30
s=154.40
s=154.50
s=154.60
s=154.70
s=154.80
s=154.90
s=155.00
s=155.10
s=155.20
s=155.30
s=155.40
s=155.50
s=155.60
s=155.70
s=155.80
s=155.90
s=156.00
s=156.10
s=156.20
s=156.30
s=156.40
s=156.50
s=156.60
s=156.70
s=156.80
s=156.90
s=157.00
s=157.10
s=157.20
s=157.30
s=157.40
s=157.50
s=157.60
s=157.70
s=157.80
s=157.90
s=158.00
s=158.10
s=158.20
s=158.30
s=158.40
s=158.50
s=158.60
s=158.70
s=158.80
s=158.90
s=159.00
s=159.10
s=159.20
s=159.30
s=159.40
s=159.50
s=159.60
s=159.70
s=159.80
s=159.90
s=160.00
s=160.10
s=160.20
s=160.30
s=160.40
s=160.50
s=160.60
s=160.70
s=160.80
s=160.90
s=161.00
s=161.10
s=161.20
s=161.30
s=161.40
s=161.50
s=161.60
s=161.70
s=161.80
s=161.90
s=162.00
s=162.10
s=162.20
s=162.30
s=162.40
s=162.50
s=162.60
s=162.70
s=162.80
s=162.90
s=163.00
s=163.10
s=163.20
s=163.30
s=163.40
s=163.50
s=163.60
s=163.70
s=163.80
s=163.90
s=164.00
s=164.10
s=164.20
s=164.30
s=164.40
s=164.50
s=164.60
s=164.70
s=164.80
s=164.90
s=165.00
s=165.10
s=165.20
s=165.30
s=165.40
s=165.50
s=165.60
s=165.70
s=165.80
s=165.90
s=166.00
s=166.10
s=166.20
s=166.30
s=166.40
s=166.50
s=166.60
s=166.70
s=166.80
s=166.90
s=167.00
s=167.10
s=167.20
s=167.30
s=167.40
s=167.50
s=167.60
s=167.70
s=167.80
s=167.90
s=168.00
s=168.10
s=168.20
s=168.30
s=168.40
s=168.50
s=168.60
s=168.70
s=168.80
s=168.90
s=169.00
s=169.10
s=169.20
s=169.30
s=169.40
s=169.50
s=169.60
s=169.70
s=169.80
s=169.90
s=170.00
s=170.10
s=170.20
s=170.30
s=170.40
s=170.50
s=170.60
s=170.70
s=170.80
s=170.90
s=171.00
s=171.10
s=171.20
s=171.30
s=171.40
s=171.50
s=171.60
s=171.70
s=171.80
s=171.90
s=172.00
s=172.10
s=172.20
s=172.30
s=172.40
s=172.50
s=172.60
s=172.70
s=172.80
s=172.90
s=173.00
s=173.10
s=173.20
s=173.30
s=173.40
s=173.50
s=173.60
s=173.70
s=173.80
s=173.90
s=174.00
s=174.10
s=174.20
s=174.30
s=174.40
s=174.50
s=174.60
s=174.70
s=174.80
s=174.90
s=175.00
s=175.10
s=175.20
s=175.30
s=175.40
s=175.50
s=175.60
s=175.70
s=175.80
s=175.90
s=176.00
s=176.10
s=176.20
s=176.30
s=176.40
s=176.50
s=176.60
s=176.70
s=176.80
s=176.90
s=177.00
s=177.10
s=177.20
s=177.30
s=177.40
s=177.50
s=177.60
s=177.70
s=177.80
s=177.90
s=178.00
s=178.10
s=178.20
s=178.30
s=178.40
s=178.50
s=178.60
s=178.70
s=178.80
s=178.90
s=179.00
s=179.10
s=179.20
s=179.30
s=179.40
s=179.50
s=179.60
s=179.70
s=179.80
s=179.90
s=180.00
s=180.10
s=180.20
s=180.30
s=180.40
s=180.50
s=180.60
s=180.70
s=180.80
s=180.90
s=181.00
s=181.10
s=181.20
s=181.30
s=181.40
s=181.50
s=181.60
s=181.70
s=181.80
s=181.90
s=182.00
s=182.10
s=182.20
s=182.30
s=182.40
s=182.50
s=182.60
s=182.70
s=182.80
s=182.90
s=183.00
s=183.10
s=183.20
s=183.30
s=183.40
s=183.50
s=183.60
s=183.70
s=183.80
s=183.90
s=184.00
s=184.10
s=184.20
s=184.30
s=184.40
s=184.50
s=184.60
s=184.70
s=184.80
s=184.90
s=185.00
s=185.10
s=185.20
s=185.30
s=185.40
s=185.50
s=185.60
s=185.70
s=185.80
s=185.90
s=186.00
s=186.10
s=186.20
s=186.30
s=186.40
s=186.50
s=186.60
s=186.70
s=186.80
s=186.90
s=187.00
s=187.10
s=187.20
s=187.30
s=187.40
s=187.50
s=187.60
s=187.70
s=187.80
s=187.90
s=188.00
s=188.10
s=188.20
s=188.30
s=188.40
s=188.50
s=188.60
s=188.70
s=188.80
s=188.90
s=189.00
s=189.10
s=189.20
s=189.30
s=189.40
s=189.50
s=189.60
s=189.70
s=189.80
s=189.90
s=190.00
s=190.10
s=190.20
s=190.30
s=190.40
s=190.50
s=190.60
s=190.70
s=190.80
s=190.90
s=191.00
s=191.10
s=191.20
s=191.30
s=191.40
s=191.50
s=191.60
s=191.70
s=191.80
s=191.90
s=192.00
s=192.10
s=192.20
s=192.30
s=192.40
s=192.50
s=192.60
s=192.70
s=192.80
s=192.90
s=193.00
s=193.10
s=193.20
s=193.30
s=193.40
s=193.50
s=193.60
s=193.70
s=193.80
s=193.90
s=194.00
s=194.10
s=194.20
s=194.30
s=194.40
s=194.50
s=194.60
s=194.70
s=194.80
s=194.90
s=195.00
s=195.10
s=195.20
s=195.30
s=195.40
s=195.50
s=195.60
s=195.70
s=195.80
s=195.90
s=196.00
s=196.10
s=196.20
s=196.30
s=196.40
s=196.50
s=196.60
s=196.70
s=196.80
s=196.90
s=197.00
s=197.10
s=197.20
s=197.30
s=197.40
s=197.50
s=197.60
s=197.70
s=197.80
s=197.90
s=198.00
s=198.10
s=198.20
s=198.30
s=198.40
s=198.50
s=198.60
s=198.70
s=198.80
s=198.90
s=199.00
s=199.10
s=199.20
s=199.30
s=199.40
s=199.50
s=199.60
s=199.70
s=199.80
s=199.90
s=200.00
s=200.10
s=200.20
s=200.30
s=200.40
s=200.50
s=200.60
s=200.70
s=200.80
s=200.90
s=201.00
s=201.10
s=201.20
s=201.30
s=201.40
s=201.50
s=201.60
s=201.70
s=201.80
s=201.90
s=202.00
s=202.10
s=202.20
s=202.30
s=202.40
s=202.50
s=202.60
s=202.70
s=202.80
s=202.90
s=203.00
s=203.10
s=203.20
s=203.30
s=203.40
s=203.50
s=203.60
s=203.70
s=203.80
s=203.90
s=204.00
s=204.10
s=204.20
s=204.30
s=204.40
s=204.50
s=204.60
s=204.70
s=204.80
s=204.90
s=205.00
s=205.10
s=205.20
s=205.30
s=205.40
s=205.50
s=205.60
s=205.70
s=205.80
s=205.90
s=206.00
s=206.10
s=206.20
s=206.30
s=206.40
s=206.50
s=206.60
s=206.70
s=206.80
s=206.90
s=207.00
s=207.10
s=207.20
s=207.30
s=207.40
s=207.50
s=207.60
s=207.70
s=207.80
s=207.90
s=208.00
s=208.10
s=208.20
s=208.30
s=208.40
s=208.50
s=208.60
s=208.70
s=208.80
s=208.90
s=209.00
s=209.10
s=209.20
s=209.30
s=209.40
s=209.50
s=209.60
s=209.70
s=209.80
s=209.90
s=210.00
s=210.10
s=210.20
s=210.30
s=210.40
s=210.50
s=210.60
s=210.70
s=210.80
s=210.90
s=211.00
s=211.10
s=211.20
s=211.30
s=211.40
s=211.50
s=211.60
s=211.70
s=211.80
s=211.90
s=212.00
s=212.10
s=212.20
s=212.30
s=212.40
s=212.50
s=212.60
s=212.70
s=212.80
s=212.90
s=213.00
s=213.10
s=213.20
s=213.30
s=213.40
s=213.50
s=213.60
s=213.70
s=213.80
s=213.90
s=214.00
s=214.10
s=214.20
s=214.30
s=214.40
s=214.50
s=214.60
s=214.70
s=214.80
s=214.90
s=215.00
s=215.10
s=215.20
s=215.30
s=215.40
s=215.50
s=215.60
s=215.70
s=215.80
s=215.90
s=216.00
s=216.10
s=216.20
s=216.30
s=216.40
s=216.50
s=216.60
s=216.70
s=216.80
s=216.90
s=217.00
s=217.10
s=217.20
s=217.30
s=217.40
s=217.50
s=217.60
s=217.70
s=217.80
s=217.90
s=218.00
s=218.10
s=218.20
s=218.30
s=218.40
s=218.50
s=218.60
s=218.70
s=218.80
s=218.90
s=219.00
s=219.10
s=219.20
s=219.30
s=219.40
s=219.50
s=219.60
s=219.70
s=219.80
s=219.90
s=220.00
s=220.10
s=220.20
s=220.30
s=220.40
s=220.50
s=220.60
s=220.70
s=220.80
s=220.90
s=221.00
s=221.10
s=221.20
s=221.30
s=221.40
s=221.50
s=221.60
s=221.70
s=221.80
s=221.90
s=222.00
s=222.10
s=222.20
s=222.30
s=222.40
s=222.50
s=222.60
s=222.70
s=222.80
s=222.90
s=223.00
s=223.10
s=223.20
s=223.30
s=223.40
s=223.50
s=223.60
s=223.70
s=223.80
s=223.90
s=224.00
s=224.10
s=224.20
s=224.30
s=224.40
s=224.50
s=224.60
s=224.70
s=224.80
s=224.90
s=225.00
s=225.10
s=225.20
s=225.30
s=225.40
s=225.50
s=225.60
s=225.70
s=225.80
s=225.90
s=226.00
s=226.10
s=226.20
s=226.30
s=226.40
s=226.50
s=226.60
s=226.70
s=226.80
s=226.90
s=227.00
s=227.10
s=227.20
s=227.30
s=227.40
s=227.50
s=227.60
s=227.70
s=227.80
s=227.90
s=228.00
s=228.10
s=228.20
s=228.30
s=228.40
s=228.50
s=228.60
s=228.70
s=228.80
s=228.90
s=229.00
s=229.10
s=229.20
s=229.30
s=229.40
s=229.50
s=229.60
s=229.70
s=229.80
s=229.90
s=230.00
s=230.10
s=230.20
s=230.30
s=230.40
s=230.50
s=230.60
s=230.70
s=230.80
s=230.90
s=231.00
s=231.10
s=231.20
s=231.30
s=231.40
s=231.50
s=231.60
s=231.70
s=231.80
s=231.90
s=232.00
s=232.10
s=232.20
s=232.30
s=232.40
s=232.50
s=232.60
s=232.70
s=232.80
s=232.90
s=233.00
s=233.10
s=233.20
s=233.30
s=233.40
s=233.50
s=233.60
s=233.70
s=233.80
s=233.90
s=234.00
s=234.10
s=234.20
s=234.30
s=234.40
s=234.50
s=234.60
s=234.70
s=234.80
s=234.90
s=235.00
s=235.10
s=235.20
s=235.30
s=235.40
s=235.50
s=235.60
s=235.70
s=235.80
s=235.90
s=236.00
s=236.10
s=236.20
s=236.30
s=236.40
s=236.50
s=236.60
s=236.70
s=236.80
s=236.90
s=237.00
s=237.10
s=237.20
s=237.30
s=237.40
s=237.50
s=237.60
s=237.70
s=237.80
s=237.90
s=238.00
s=238.10
s=238.20
s=238.30
s=238.40
s=238.50
s=238.60
s=238.70
s=238.80
s=238.90
s=239.00
s=239.10
s=239.20
s=239.30
s=239.40
s=239.50
s=239.60
s=239.70
s=239.80
s=239.90
s=240.00
s=240.10
s=240.20
s=240.30
s=240.40
s=240.50
s=240.60
s=240.70
s=240.80
s=240.90
s=241.00
s=241.10
s=241.20
s=241.30
s=241.40
s=241.50
s=241.60
s=241.70
s=241.80
s=241.90
s=242.00
s=242.10
s=242.20
s=242.30
s=242.40
s=242.50
s=242.60
s=242.70
s=242.80
s=242.90
s=243.00
s=243.10
s=243.20
s=243.30
s=243.40
s=243.50
s=243.60
s=243.70
s=243.80
s=243.90
s=244.00
s=244.10
s=244.20
s=244.30
s=244.40
s=244.50
s=244.60
s=244.70
s=244.80
s=244.90
s=245.00
s=245.10
s=245.20
s=245.30
s=245.40
s=245.50
s=245.60
s=245.70
s=245.80
s=245.90
s=246.00
s=246.10
s=246.20
s=246.30
s=246.40
s=246.50
s=246.60
s=246.70
s=246.80
s=246.90
s=247.00
s=247.10
s=247.20
s=247.30
s=247.40
s=247.50
s=247.60
s=247.70
s=247.80
s=247.90
s=248.00
s=248.10
s=248.20
s=248.30
s=248.40
s=248.50
s=248.60
s=248.70
s=248.80
s=248.90
s=249.00
s=249.10
s=249.20
s=249.30
s=249.40
s=249.50
s=249.60
s=249.70
s=249.80
s=249.90
s=250.00
s=250.10
s=250.20
s=250.30
s=250.40
s=250.50
s=250.60
s=250.70
s=250.80
s=250.90
s=251.00
s=251.10
s=251.20
s=251.30
s=251.40
s=251.50
s=251.60
s=251.70
s=251.80
s=251.90
s=252.00
s=252.10
s=252.20
s=252.30
s=252.40
s=252.50
s=252.60
s=252.70
s=252.80
s=252.90
s=253.00
s=253.10
s=253.20
s=253.30
s=253.40
s=253.50
s=253.60
s=253.70
s=253.80
s=253.90
s=254.00
s=254.10
s=254.20
s=254.30
s=254.40
s=254.50
s=254.60
s=254.70
s=254.80
s=254.90
s=255.00
s=255.10
s=255.20
s=255.30
s=255.40
s=255.50
s=255.60
s=255.70
s=255.80
s=255.90
s=256.00
s=256.10
s=256.20
s=256.30
s=256.40
s=256.50
s=256.60
s=256.70
s=256.80
s=256.90
s=257.00
s=257.10
s=257.20
s=257.30
s=257.40
s=257.50
s=257.60
s=257.70
s=257.80
s=257.90
s=258.00
s=258.10
s=258.20
s=258.30
s=258.40
s=258.50
s=258.60
s=258.70
s=258.80
s=258.90
s=259.00
s=259.10
s=259.20
s=259.30
s=259.40
s=259.50
s=259.60
s=259.70
s=259.80
s=259.90
s=260.00
s=260.10
s=260.20
s=260.30
s=260.40
s=260.50
s=260.60
s=260.70
s=260.80
s=260.90
s=261.00
s=261.10
s=261.20
s=261.30
s=261.40
s=261.50
s=261.60
s=261.70
s=261.80
s=261.90
s=262.00
s=262.10
s=262.20
s=262.30
s=262.40
s=262.50
s=262.60
s=262.70
s=262.80
s=262.90
s=263.00
s=263.10
s=263.20
s=263.30
s=263.40
s=263.50
s=263.60
s=263.70
s=263.80
s=263.90
s=264.00
s=264.10
s=264.20
s=264.30
s=264.40
s=264.50
s=264.60
s=264.70
s=264.80
s=264.90
s=265.00
s=265.10
s=265.20
s=265.30
s=265.40
s=265.50
s=265.60

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.2.
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH_3)
Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb		Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	ατμός h_g	υγρό h_f		psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
−105	0.996	27.9*	223.2	45.71	−68.5	570.3	− 30	13.90	1.6*	18.97	42.65	10.7	601.4
−104	1.041	27.8*	214.2	45.67	−67.5	570.7	− 29	14.30	0.8*	18.48	42.61	11.7	601.7
−103	1.087	27.7*	205.7	45.63	−66.4	571.2	− 28	14.71	0.0	18.00	42.57	12.8	602.1
−102	1.135	27.6*	197.6	45.59	−65.4	571.6	− 27	15.12	0.4	17.54	42.54	13.9	602.5
−101	1.184	27.5*	189.8	45.55	−64.3	572.1	− 26	15.55	0.8	17.09	42.48	14.9	602.8
							− 25	15.98	1.3	16.66	42.44	16.0	603.2
−100	1.24	27.4*	182.4	45.52	−63.3	572.5	− 24	16.24	1.7	16.24	42.40	17.1	603.6
− 99	1.29	27.3*	175.3	45.47	−62.2	572.9	− 23	16.88	2.2	15.83	42.35	18.1	603.9
− 98	1.34	27.2*	168.5	45.43	−61.2	573.4	− 22	17.34	2.6	15.43	42.31	19.2	604.3
− 97	1.40	27.1*	162.1	45.40	−60.1	573.8	− 21	17.81	3.1	15.05	42.26	20.3	604.6
− 96	1.46	26.9*	155.9	45.36	−59.1	574.3							
− 95	1.52	26.8*	150.0	45.32	−58.0	574.7	− 20	18.30	3.6	14.68	42.22	21.4	605.0
− 94	1.59	26.7*	144.3	45.28	−57.0	575.1	− 19	18.79	4.1	14.32	42.18	22.4	605.3
− 93	1.65	26.6*	138.9	45.24	−55.9	575.6	− 18	19.30	4.6	13.97	42.13	23.5	605.7
− 92	1.72	26.4*	133.8	45.20	−54.9	576.0	− 17	19.81	5.1	13.62	42.09	24.6	606.1
− 91	1.79	26.3*	128.9	45.16	−53.8	576.5	− 16	20.34	5.6	13.29	42.04	25.6	606.4
− 90	1.86	26.1*	124.1	45.12	−52.8	576.9	−15	20.88	6.2	12.97	42.00	26.7	606.7
− 89	1.94	26.0*	119.6	45.08	−51.7	577.3	−14	21.43	6.7	12.66	41.96	27.8	607.1
− 88	2.02	25.8*	115.3	45.04	−50.7	577.8	−13	21.99	7.3	12.36	41.91	28.9	607.5
− 87	2.10	25.6*	111.1	45.00	−49.6	578.2	−12	22.56	7.9	12.06	41.87	30.0	607.8
− 86	2.18	25.5*	107.1	44.96	−48.6	578.6	−11	23.15	8.5	11.78	41.82	31.0	608.1
− 85	2.27	25.3*	103.3	44.92	−47.5	579.1							
− 84	2.35	25.1*	99.68	44.88	−46.5	579.5	−10	23.74	9.0	11.50	41.78	32.1	608.5
− 83	2.45	24.9*	96.17	44.84	−45.4	579.9	− 9	24.35	9.7	11.23	41.74	33.2	608.8
− 82	2.54	24.7*	92.81	44.80	−44.4	580.4	− 8	24.97	10.3	10.97	41.69	34.3	609.2
− 81	2.64	24.5*	89.59	44.76	−43.3	580.8	− 7	25.61	10.9	10.71	41.65	35.4	609.5
							− 6	26.26	11.6	10.47	41.60	36.4	609.8
− 80	2.74	24.3*	86.50	44.73	−42.2	581.2	− 5	26.92	12.2	10.23	41.56	37.5	610.1
− 79	2.84	24.1*	83.54	44.68	−41.2	581.6	− 4	27.59	12.9	9.991	41.52	38.6	610.5
− 78	2.95	23.9*	80.69	44.64	−40.1	582.1	− 3	28.28	13.6	9.763	41.47	39.7	610.8
− 77	3.06	23.7*	77.96	44.60	−39.1	582.5	− 2	28.98	14.3	9.541	41.43	40.7	611.1
− 76	3.18	23.5*	75.33	44.56	−38.0	582.9	− 1	29.69	15.0	9.326	41.38	41.8	611.4
− 75	3.29	23.2*	72.81	44.52	−37.0	583.3							
− 74	3.42	23.0*	70.39	44.48	−35.9	583.8	0	30.42	15.7	9.116	41.34	42.9	611.8
− 73	3.54	22.7*	68.06	44.44	−34.9	584.2	1	31.16	16.5	8.912	41.29	44.0	612.1
− 72	3.67	22.4*	65.82	44.40	−33.8	584.6	2	31.92	17.2	8.714	41.25	45.1	612.4
− 71	3.80	22.2*	63.67	44.36	−32.8	585.0	3	32.69	18.0	8.521	41.20	46.2	612.7
							4	33.47	18.8	8.333	41.16	47.2	613.0
− 70	3.94	21.9*	61.60	44.32	−31.7	585.5	5†	34.27	19.6	8.150	41.11	48.3	613.3
− 69	4.08	21.6*	59.61	44.28	−30.7	585.9	6	35.09	20.4	7.971	41.07	49.4	613.6
− 68	4.23	21.3*	57.69	44.24	−29.6	586.3	7	35.92	21.2	7.798	41.01	50.5	613.9
− 67	4.38	21.0*	55.85	44.19	−28.6	586.7	8	36.77	22.1	7.629	40.98	51.6	614.3
− 66	4.53	20.7*	54.08	44.15	−27.5	587.1	9	37.63	22.9	7.464	40.93	52.7	614.6
− 65	4.69	20.4*	52.37	44.11	−26.5	587.5							
− 64	4.85	20.0*	50.73	44.07	−25.4	588.0	10	38.51	23.8	7.304	40.89	53.8	614.9
− 63	5.02	19.7*	49.14	44.03	−24.4	588.4	11	39.40	24.7	7.148	40.84	54.9	615.2
− 62	5.19	19.4*	47.62	43.99	−23.3	588.8	12	40.31	25.6	6.996	40.80	56.0	615.5
− 61	5.37	19.0*	46.15	43.95	−22.2	589.2	13	41.24	26.5	6.847	40.75	57.1	615.8
							14	42.18	27.5	6.703	40.71	58.2	616.1
− 60	5.55	18.6*	44.73	43.91	−21.2	589.6	15	43.14	28.4	6.562	40.66	59.2	616.3
− 59	5.74	18.2*	43.37	43.87	−20.1	590.0	16	44.12	29.4	6.425	40.61	60.3	616.6
− 58	5.93	17.8*	42.05	43.83	−19.1	590.4	17	45.12	30.4	6.291	40.57	61.4	616.9
− 57	6.13	17.4*	40.79	43.78	−18.0	590.8	18	46.13	31.4	6.161	40.52	62.5	617.2
− 56	6.33	17.0*	39.56	43.74	−17.0	591.2	19	47.16	32.5	6.034	40.48	63.6	617.5
− 55	6.54	16.6*	38.38	43.70	−15.9	591.6							
− 54	6.75	16.2*	37.24	43.66	−14.8	592.1	20	48.21	33.5	5.910	40.43	64.7	617.8
− 53	6.97	15.7*	36.15	43.62	−13.8	592.4	21	49.28	34.6	5.789	40.38	65.8	618.0
− 52	7.20	15.3*	35.09	43.58	−12.7	592.9	22	50.36	35.7	5.671	40.34	66.9	618.3
− 51	7.43	14.8*	34.06	43.54	−11.7	593.2	23	51.47	36.8	5.556	40.29	68.0	618.6
							24	52.59	37.9	5.443	40.25	69.1	618.9
− 50	7.67	14.3*	33.08	43.49	−10.6	593.7	25	53.73	39.0	5.334	40.20	70.2	619.1
− 49	7.91	13.8*	32.12	43.45	− 9.6	594.0	26	54.90	40.2	5.227	40.15	71.3	619.4
− 48	8.16	13.3*	31.20	43.41	− 8.5	594.4	27	56.08	41.4	5.123	40.10	72.4	619.7
− 47	8.42	12.8*	30.31	43.37	− 7.4	594.9	28	57.28	42.6	5.021	40.06	73.5	619.9
− 46	8.68	12.2*	29.45	43.33	− 6.4	595.2	29	58.50	43.8	4.922	40.01	74.6	620.2
− 45	8.95	11.7*	28.62	43.28	− 5.3	595.6							
− 44	9.23	11.1*	27.82	43.24	− 4.3	596.0	30	59.74	45.0	4.825	39.96	75.7	620.5
− 43	9.51	10.6*	27.04	43.20	− 3.2	596.4	31	61.00	46.3	4.730	39.91	76.8	620.7
− 42	9.81	10.0*	26.29	43.16	− 2.1	596.8	32	62.29	47.6	4.637	39.86	77.9	621.0
− 41	10.10	9.3*	25.56	43.12	− 1.1	597.2	33	63.59	48.9	4.547	39.82	79.0	621.2
							34	64.91	50.2	4.459	39.77	80.1	621.5
− 40	10.41	8.7*	24.86	43.08	0.0	597.6	35	66.26	51.6	4.373	39.72	81.2	621.7
− 39	10.72	8.1*	24.18	43.04	1.1	598.0	36	67.63	52.9	4.289	39.67	82.3	622.0
− 38	11.04	7.4*	23.53	42.99	2.1	598.3	37	69.02	54.3	4.207	39.63	83.4	622.2
− 37	11.37	6.8*	22.89	42.95	3.2	598.7	38	70.43	55.7	4.126	39.58	84.6	622.5
− 36	11.71	6.1*	22.27	42.90	4.3	599.1	39	71.87	57.2	4.048	39.54	85.7	622.7
− 35	12.05	5.4*	21.68	42.86	5.3	599.5							
− 34	12.41	4.7*	21.10	42.82	6.4	599.9	40	73.32	58.6	3.971	39.49	86.8	623.0
− 33	12.77	3.9*	20.54	42.78	7.4	600.2	41	74.80	60.1	3.897	39.44	87.9	623.2
− 32	13.14	3.2*	20.00	42.73	8.5	600.6	42	76.31	61.6	3.823	39.39	89.0	623.4
− 31	13.52	2.4*	19.48	42.69	9.6	601.0	43	77.83	63.1	3.752	39.34	90.1	623.7

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.2. (συνέχεια)
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH_3)
Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
44	79.38	64.7	3.682	39.29	91.2	623.9
45	80.96	66.3	3.614	39.24	92.3	624.1
46	82.55	67.9	3.547	39.19	93.5	624.4
47	84.18	69.5	3.481	39.14	94.6	624.6
48	85.82	71.1	3.418	39.10	95.7	624.8
49	87.49	72.8	3.355	39.05	96.8	625.0
50	89.19	74.5	3.294	39.00	97.9	625.2
51	90.91	76.2	3.234	38.95	99.1	625.5
52	92.66	78.0	3.176	38.90	100.2	625.7
53	94.43	79.7	3.119	38.85	101.3	625.9
54	96.23	81.5	3.063	38.80	102.4	626.1
55	98.06	83.4	3.008	38.75	103.5	626.3
56	99.91	85.2	2.954	38.70	104.7	626.5
57	101.8	87.1	2.902	38.65	105.8	626.7
58	103.7	89.0	2.851	38.60	106.9	626.9
59	105.6	90.9	2.800	38.55	108.1	627.1
60	107.6	92.9	2.751	38.50	109.2	627.3
61	109.6	94.9	2.703	38.45	110.3	627.5
62	111.6	96.9	2.656	38.40	111.5	627.7
63	113.6	98.9	2.610	38.35	112.6	627.9
64	115.7	101.0	2.565	38.30	113.7	628.0
65	117.8	103.1	2.520	38.25	114.8	628.2
66	120.0	105.3	2.477	38.20	116.0	628.4
67	122.1	107.4	2.435	38.15	117.1	628.6
68	124.3	109.6	2.393	38.10	118.3	628.8
69	126.5	111.8	2.352	38.05	119.4	628.9
70	128.8	114.1	2.312	38.00	120.5	629.1
71	131.1	116.4	2.273	37.95	121.7	629.3
72	133.4	118.7	2.235	37.90	122.8	629.4
73	135.7	121.0	2.197	37.84	124.0	629.6
74	138.1	123.4	2.161	37.79	125.1	629.8
75	140.5	125.8	2.125	37.74	126.2	629.9
76	143.0	128.3	2.089	37.69	127.4	630.1
77	145.4	130.7	2.055	37.64	128.5	630.2
78	147.9	133.2	2.021	37.58	129.7	630.4
79	150.5	135.8	1.988	37.53	130.8	630.5
80	153.0	138.3	1.955	37.48	132.0	630.7
81	155.6	140.9	1.923	37.43	133.1	630.8
82	158.3	143.6	1.892	37.37	134.3	631.0
83	161.0	146.3	1.861	37.32	135.4	631.1
84	163.7	149.0	1.831	37.26	136.6	631.3
85	166.4	151.7	1.801	37.21	137.8	631.4
86†	169.2	154.5	1.772	37.16	138.9	631.5
87	172.0	157.3	1.744	37.11	140.1	631.7
88	174.8	160.1	1.716	37.05	141.2	631.8
89	177.7	163.0	1.688	37.00	142.4	631.9
90	180.6	165.9	1.661	36.95	143.5	632.0
91	183.6	168.9	1.635	36.89	144.7	632.1
92	186.6	171.9	1.609	36.84	145.8	632.2
93	189.6	174.9	1.584	36.78	147.0	632.3
94	192.7	178.0	1.559	36.73	148.2	632.5
95	195.8	181.1	1.534	36.67	149.4	632.6
96	198.9	184.2	1.510	36.62	150.5	632.6
97	202.1	187.4	1.487	36.56	151.7	632.8
98	205.3	190.6	1.464	36.51	152.9	632.9
99	208.6	193.9	1.441	36.45	154.0	632.9
100	211.9	197.2	1.419	36.40	155.2	633.0
101	215.2	200.5	1.397	36.34	156.4	633.1
102	218.6	203.9	1.375	36.29	157.6	633.2
103	222.0	207.3	1.354	36.23	158.7	633.3
104	225.4	210.7	1.334	36.18	159.9	633.4
105	228.9	214.2	1.313	36.12	161.1	633.4
106	232.5	217.8	1.293	36.06	162.3	633.5
107	236.0	221.3	1.274	36.01	163.5	633.6
108	239.7	225.0	1.254	35.95	164.6	633.6
109	243.3	228.6	1.235	35.90	165.8	633.7
110	247.0	232.3	1.217	35.84	167.0	633.7
111	250.8	236.1	1.198	35.78	168.2	633.8
112	254.5	239.8	1.180	35.72	169.4	633.8
113	258.4	243.7	1.163	35.67	170.6	633.9
114	262.2	247.5	1.145	35.61	171.8	633.9
115	266.2	251.5	1.128	35.55	173.0	633.9
116	270.1	255.4	1.112	35.49	174.2	634.0
117	274.1	259.4	1.095	35.43	175.4	634.0
118	278.2	263.5	1.079	35.38	176.6	634.0
119	282.3	267.6	1.063	35.32	177.8	634.0
120	286.4	271.7	1.047	25.26	179.0	634.0
121	290.6	275.9	1.032	35.20	180.2	634.0
122	294.8	280.1	1.017	35.14	181.4	634.0
123	299.1	284.4	1.002	35.08	182.6	634.0
124	303.4	288.7	0.987	35.02	183.9	634.0
125	307.8	293.1	0.973	34.96	185.1	634.0

* in στήλης υδραργύρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)

2.6 Ψυκτικό μέσο R22.

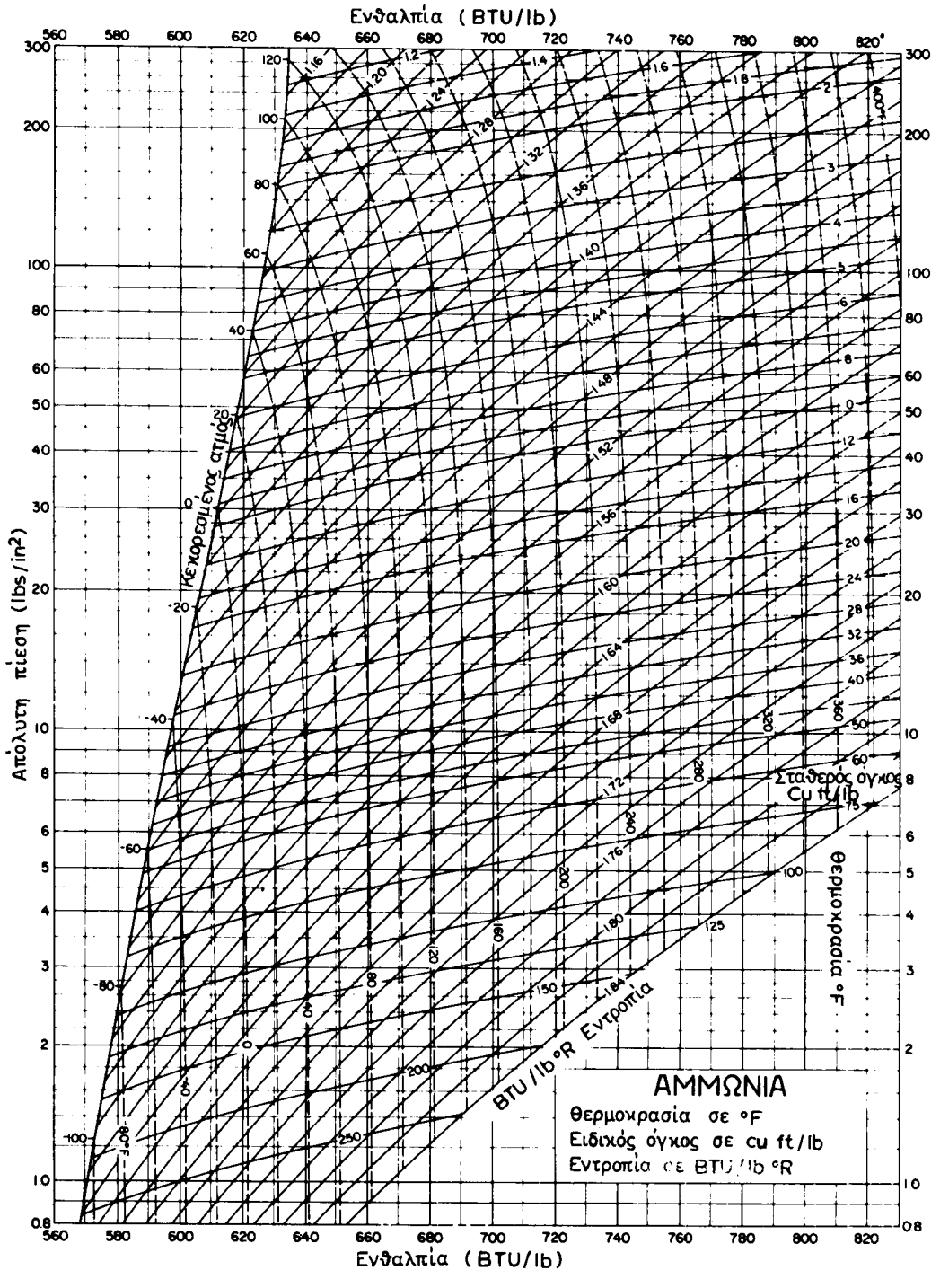
Έχει μεγάλη εφαρμογή και για το λόγο αυτό δίνονται λεπτομερώς τα θερμοδυναμικά του μεγέθη. Σχετικά με το R12 και την NH_3 έχει μεγαλύτερες πιέσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες και είναι κατάλληλο για διατάξεις χαμηλών θερμοκρασιών.

Για τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα δεν επιτρέπει ο χώρος του βιβλίου αυτού να δοθούν με τις ίδιες λεπτομέρειες από θερμοδυναμικής απόψεως.

Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά και ορισμένες ιδιότητές τους.

Στον Πίνακα 2.6.1 δίνονται συνοπτικά με μετρικές μονάδες οι τιμές για το R22 και στο σχήμα 2.6α το συνοπτικό διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας.

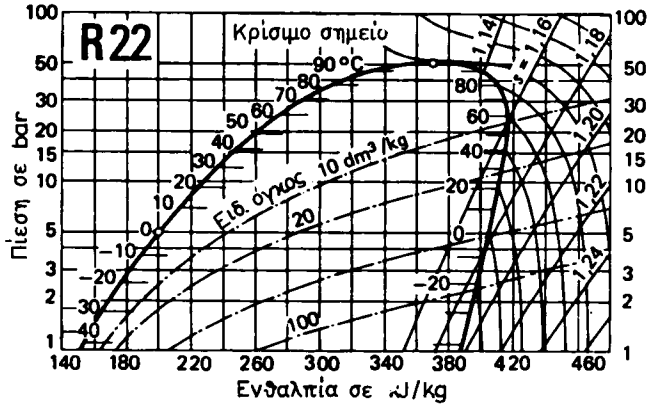
Στον Πίνακα 2.6.2 και στο διάγραμμα του σχήματος 2.6β, δίνονται λεπτομερώς οι τιμές του R22 πάλι σε μετρικό σύστημα. Στον Πίνακα 2.6.3 και στα σχήματα 2.6γ και 2.6δ χρησιμοποιείται το σύστημα μονάδων των Η.Π.Α.



Σχ. 2.5γ.
Ψυκτικό μέσο 717 (NH_3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.1.
Ψυκτικό μέσο R22

Θερμοκρασία T °C	Πίεση p bar	Ειδικός Όγκος		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r kJ/kg
		υγρού v′ l/kg	ατμού v″ l/kg	υγρού h′ kJ/kg	ατμού h″ kJ/kg	
—20	2,455	0,740	92,93	176,33	397,07	220,74
—18	2,650	0,744	86,44	178,66	397,92	219,26
—16	2,856	0,747	80,49	180,99	398,75	217,76
—14	3,057	0,751	75,03	183,34	399,58	216,24
—12	3,306	0,754	70,01	185,69	400,38	214,69
—10	3,550	0,758	65,40	188,06	401,18	213,12
— 8	3,807	0,762	61,15	190,43	401,96	211,53
— 6	4,078	0,766	57,24	192,81	402,73	209,92
— 4	4,364	0,770	53,62	195,20	403,48	208,28
— 2	4,664	0,774	50,28	197,59	404,21	206,62
0	4,980	0,778	47,18	200,00	404,93	204,93
2	5,311	0,782	44,32	202,41	405,63	203,22
4	5,659	0,786	41,66	204,83	406,32	201,49
6	6,023	0,790	39,19	207,25	406,99	199,74
8	6,404	0,795	36,89	209,67	407,64	197,97
10	6,803	0,799	34,75	212,10	408,27	196,17
12	7,220	0,804	32,76	214,54	408,88	194,34
14	7,656	0,809	30,91	216,98	409,48	192,50
16	8,112	0,814	29,17	219,44	410,06	190,62
18	8,586	0,819	27,56	221,88	410,61	188,73
20	9,081	0,824	26,04	224,34	411,15	186,81
25	10,411	0,837	22,66	230,50	412,39	181,89
30	11,880	0,852	19,78	236,70	413,49	176,79
35	13,496	0,867	17,31	242,93	414,43	171,50
40	15,269	0,884	15,17	249,21	415,19	165,98
45	17,209	0,902	13,32	255,57	415,76	160,19
50	19,327	0,923	11,70	262,03	416,11	154,08
55	21,635	0,945	10,29	268,62	416,20	147,58
60	24,146	0,970	9,03	275,40	415,99	140,59
65	26,873	0,999	7,92	282,44	415,40	132,96



Σχ. 2.6α.
Ψυκτικό μέσο R22. Διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.2.
Ψυκτικό μέσο R22.

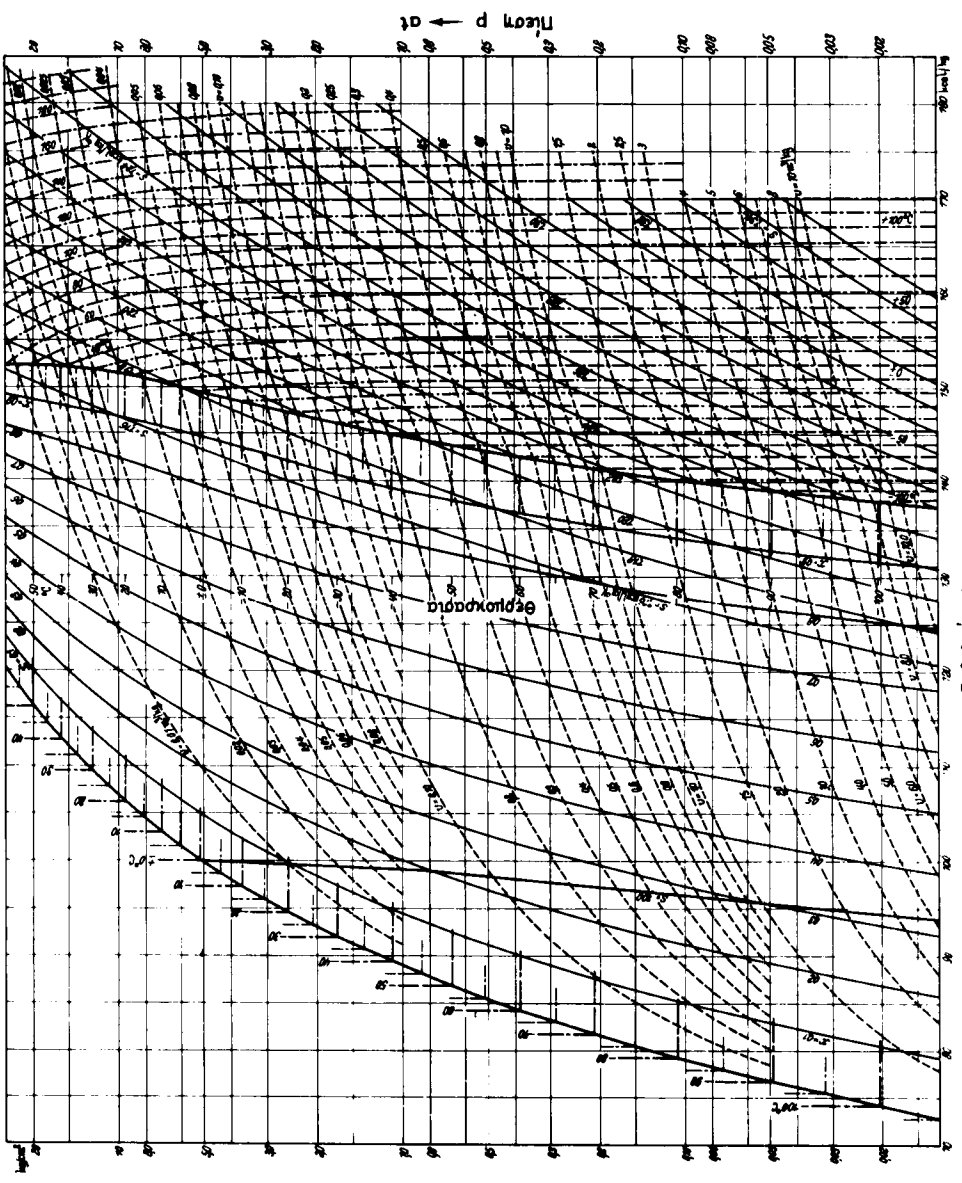
Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h'' − h' kcal/kg
		υγρού v' l/kg	ατμού v'' m³/kg	υγρού kg/l	ατμού kg/m³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
— 100	0,0210	0,6409	8,340	1,560	0,1199	74,12	137,92	63,80
— 98	0,0243	0,6429	6,980	1,555	0,1433	74,63	138,16	63,53
— 96	0,0292	0,6450	5,890	1,550	0,1868	75,14	138,40	63,26
— 94	0,0348	0,6470	4,985	1,545	0,2006	75,63	138,62	62,99
— 92	0,0410	0,6490	4,250	1,540	0,2353	76,12	138,84	62,72
— 90	0,0489	0,6510	3,634	1,536	0,2752	76,63	139,14	62,51
— 88	0,0575	0,6530	3,117	1,531	0,3208	77,14	139,34	62,20
— 86	0,0670	0,6550	2,709	1,526	0,3691	77,65	139,58	61,93
— 84	0,0781	0,6570	2,330	1,522	0,4292	78,15	139,81	61,66
— 82	0,0910	0,6592	2,030	1,517	0,4926	78,65	140,05	61,40
— 80	0,1050	0,6612	1,775	1,512	0,5634	79,14	140,29	61,15
— 78	0,1213	0,6632	1,547	1,507	0,6464	79,65	140,54	60,89
— 76	0,1400	0,6653	1,363	1,503	0,7337	80,14	140,77	60,63
— 74	0,1605	0,6675	1,206	1,498	0,8292	80,64	141,01	60,37
— 72	0,1832	0,6693	1,060	1,494	0,9434	81,15	141,26	60,11
— 70	0,2088	0,6714	0,940	1,489	1,064	81,64	141,49	59,85
— 68	0,2370	0,6735	0,885	1,484	1,130	82,15	141,74	59,59
— 66	0,267	0,6756	0,746	1,480	1,341	82,64	141,96	59,32
— 64	0,303	0,6778	0,661	1,475	1,513	83,15	142,21	59,06
— 62	0,341	0,6801	0,592	1,470	1,689	83,65	142,44	58,79
— 60	0,382	0,6824	0,535	1,465	1,869	84,15	142,74	58,59
— 58	0,428	0,6849	0,481	1,460	2,079	84,65	142,91	58,26
— 56	0,479	0,6874	0,434	1,455	2,304	85,16	143,16	58,00
— 54	0,534	0,6897	0,393	1,450	2,545	85,67	143,40	57,73
— 52	0,593	0,6923	0,355	1,444	2,817	86,18	143,65	57,47
— 50	0,660	0,6950	0,323	1,439	3,096	86,70	143,90	57,20
— 48	0,730	0,6977	0,293	1,433	3,413	87,21	144,15	56,94
— 46	0,807	0,7005	0,267	1,427	3,745	87,72	144,39	56,67
— 44	0,891	0,7030	0,244	1,422	4,098	88,25	144,63	56,38
— 42	0,979	0,7058	0,223	1,416	4,484	88,75	144,85	56,10
— 40	1,076	0,7086	0,205	1,411	4,878	89,27	145,12	55,85
— 38	1,182	0,7113	0,188	1,405	5,319	89,77	145,29	55,52
— 36	1,295	0,7142	0,173	1,400	5,780	90,32	145,56	55,24
— 34	1,414	0,7173	0,158	1,395	6,329	90,85	145,79	54,94
— 32	1,542	0,7205	0,146	1,388	6,849	91,37	146,02	54,65
— 30	1,679	0,7235	0,135	1,382	7 407	91,90	146,25	54,35
— 28	1,824	0,7270	0,125	1,375	8,000	92,45	146,48	54,03
— 26	1,978	0,7304	0,116	1,369	8,621	93,00	146,71	53,71
— 24	2,14	0,7337	0,108	1,363	9,259	93,51	146,91	53,40
— 22	2,32	0,7370	0,100	1,356	10,00	94,04	147,12	53,08
— 20	2,51	0,7405	0,0929	1,350	10,76	94,58	147,35	52,77

Συνεχίζεται

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.2.
Ψυκτικό μέσο R22.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h'' − h' kcal/kg
		υγρού v' l/kg	ατμού v'' m³/kg	υγρού kg/l	ατμού kg/m³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
— 18	2,70	0,7437	0,0864	1,344	11,57	95,12	147,58	52,46
— 16	2,92	0,7472	0,0805	1,338	12,43	95,65	147,80	52,15
— 14	3,14	0,7508	0,0751	1,331	13,32	96,18	148,02	51,84
— 12	3,37	0,7545	0,0700	1,325	14,29	96,70	148,23	51,53
— 10	3,63	0,7582	0,0654	1,318	15,29	97,25	148,45	51,20
— 8	3,89	0,7620	0,0611	1,312	16,37	97,78	148,63	50,85
— 6	4,17	0,7658	0,0572	1,305	17,48	98,31	148,83	50,52
— 4	4,46	0,7697	0,0536	1,299	18,66	98,87	149,03	50,16
— 2	4,77	0,7739	0,0502	1,292	19,92	99,43	149,23	49,80
0	5,10	0,7785	0,0471	1,285	21,23	100,00	149,43	49,43
+ 2	5,44	0,7823	0,0443	1,278	22,57	100,58	149,63	49,05
+ 4	5,82	0,7867	0,0416	1,271	24,04	101,16	149,81	48,65
+ 6	6,18	0,7912	0,0390	1,264	25,64	101,77	150,01	48,24
+ 8	6,57	0,7957	0,0367	1,257	27,25	102,40	150,20	47,80
+ 10	6,99	0,8004	0,0346	1,249	28,90	103,02	150,36	47,40
+ 12	7,42	0,8050	0,0326	1,242	30,67	103,60	150,52	46,92
+ 14	7,87	0,8096	0,0307	1,235	32,57	104,25	150,72	46,47
+ 16	8,34	0,8145	0,0289	1,228	34,60	104,87	150,87	46,00
+ 18	8,83	0,8194	0,0273	1,220	36,63	105,50	151,00	45,50
+ 20	9,35	0,8244	0,0258	1,213	38,76	106,13	151,13	45,00
+ 22	9,89	0,8294	0,0243	1,206	41,15	106,78	151,27	44,49
+ 24	10,45	0,8345	0,0230	1,198	43,48	107,38	151,38	43,96
+ 26	11,03	0,8398	0,0217	1,190	46,08	108,10	151,54	43,44
+ 28	11,63	0,8455	0,0206	1,183	48,54	108,75	151,65	42,90
+ 30	12,26	0,8501	0,0194	1,176	51,55	109,44	151,78	42,34
+ 32	12,92	0,8570	0,0184	1,167	54,34	110,10	151,87	41,77
+ 34	13,60	0,8632	0,0174	1,158	57,47	110,77	151,97	41,20
+ 36	14,30	0,8695	0,0165	1,150	60,61	111,43	152,03	40,60
+ 38	15,02	0,8760	0,0156	1,141	64,10	112,10	152,07	39,97
+ 40	15,79	0,8830	0,0148	1,132	67,57	112,77	152,12	38,35
+ 42	16,58	0,8900	0,0140	1,123	71,43	113,45	152,19	38,74
+ 44	17,39	0,8972	0,0133	1,114	75,19	114,13	152,23	38,10
+ 46	18,23	0,9049	0,0126	1,105	79,37	114,82	152,26	37,44
+ 48	19,10	0,9132	0,0120	1,095	83,33	115,51	152,29	39,78
+ 50	20,00	0,9214	0,0113	1,085	88,50	116,27	152,37	36,10
+ 52	20,93	0,9303	0,0107	1,0750	93,457	116,97	152,43	35,46
+ 54	21,886	0,9395	0,0100	1,0644	100,000	117,65	152,47	34,82
+ 56	22,879	0,9491	0,0093	1,0536	107,526	118,32	152,50	34,18
+ 58	23,905	0,9591	0,0086	1,0426	116,279	118,99	152,53	33,54
+ 60	24,969	0,9696	0,0079	1,0314	126,582	119,66	152,56	32,90

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 2.6β.
Ψυκτικό μέσο R22.

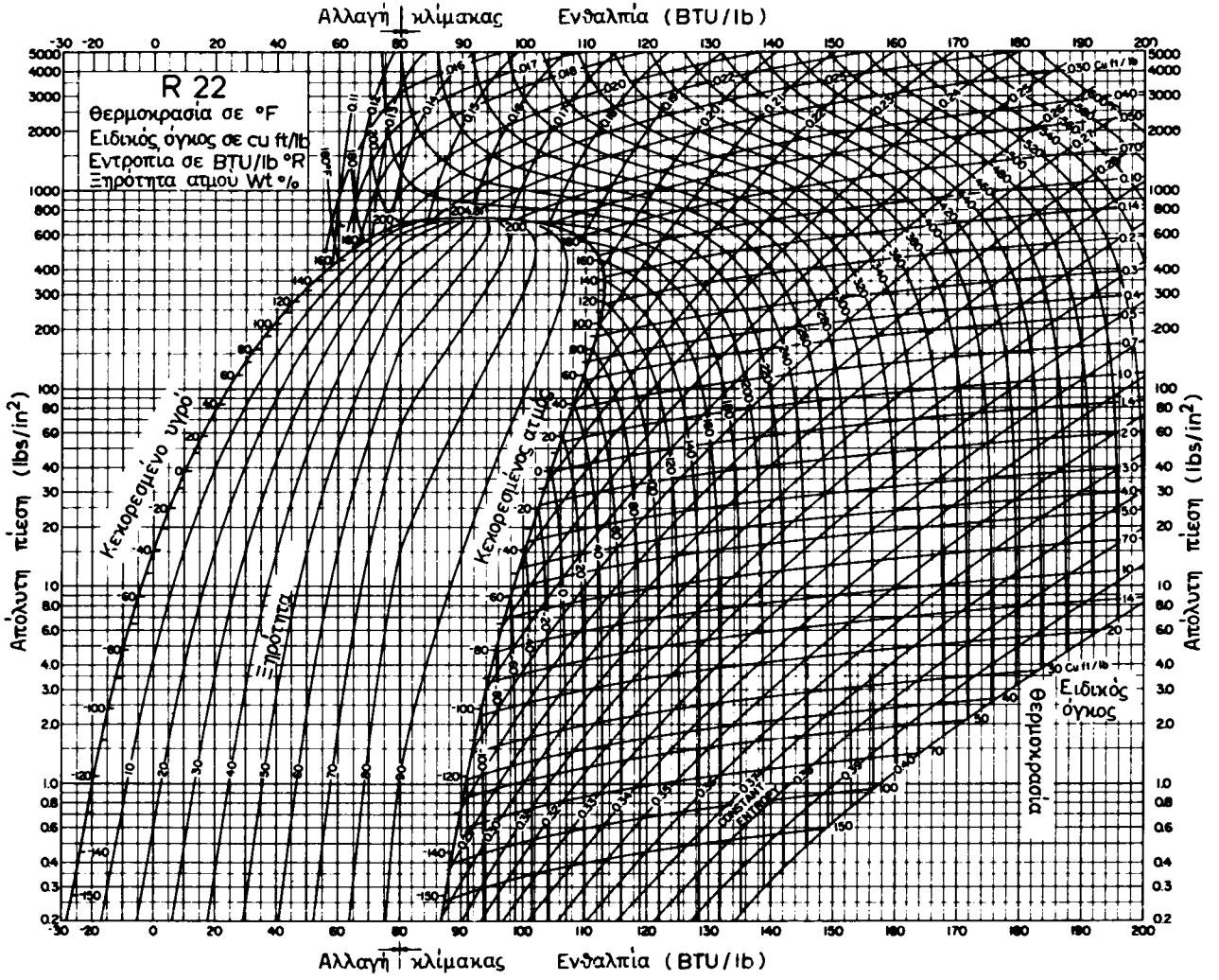
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.3.
Ψυκτικό μέσο R22
Μονάδες Η.Π.Α.

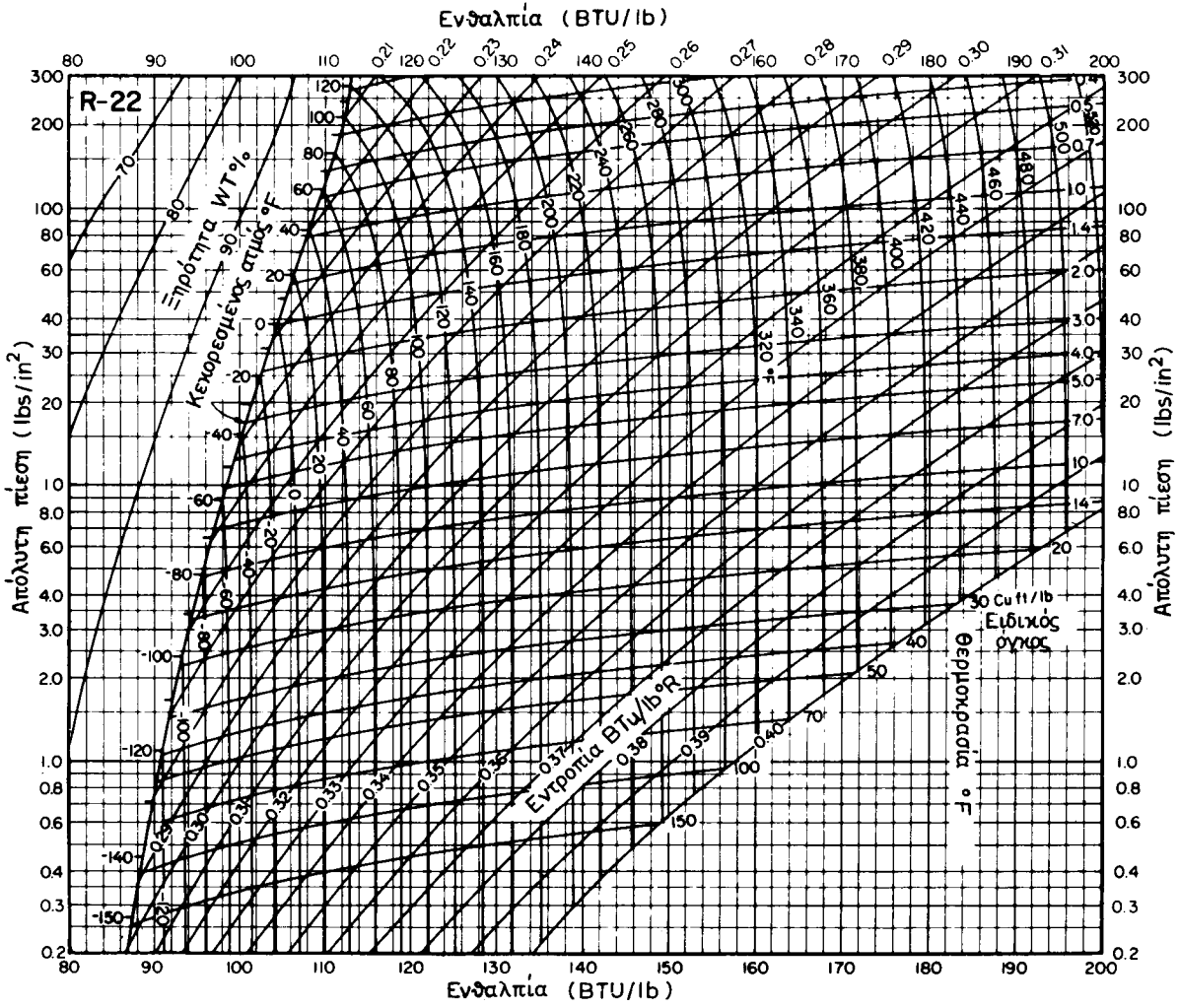
Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός v_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
−150	0.27163	29.36816*	141.23	98.236	−25.974	87.521
−145	0.34999	29.20861*	111.34	97.800	−24.851	88.100
−140	0.44692	29.01126*	88.532	97.363	−23.725	88.681
−135	0.56584	28.76914*	70.981	96.922	−22.596	89.263
−130	0.71060	28.47441*	57.356	96.480	−21.463	89.848
−125	0.88551	28.11829*	46.692	96.035	−20.326	90.433
−120	1.0954	27.6910*	38.280	95.587	−19.185	91.020
−115	1.3455	27.1818*	31.594	95.137	−18.038	91.608
−110	1.6417	26.5788*	26.242	94.684	−16.886	92.196
−105	1.9903	25.8689*	21.930	94.228	−15.728	92.783
−100	2.3983	25.0383*	18.433	93.770	−14.564	93.371
− 98	2.5798	24.6688*	17.222	93.585	−14.097	93.606
− 96	2.7724	24.2765*	16.104	93.401	−13.628	93.840
− 94	2.9768	23.8604*	15.072	93.215	−13.158	94.075
− 92	3.1934	23.4193*	14.118	93.030	−12.688	94.309
− 90	3.4229	22.9522*	13.235	92.843	−12.216	94.544
− 88	3.6657	22.4579*	12.417	92.657	−11.743	94.777
− 86	3.9224	21.9352*	11.659	92.469	−11.268	95.011
− 84	4.1936	21.3829*	10.955	92.282	−10.793	95.244
− 82	4.4800	20.7998*	10.302	92.093	−10.316	95.478
− 80	4.7822	20.1846*	9.6949	91.905	− 9.838	95.710
− 78	5.1007	19.5361*	9.1301	91.715	− 9.359	95.943
− 76	5.4363	18.8528*	8.6043	91.525	− 8.878	96.175
− 74	5.7896	18.1334*	8.1145	91.335	− 8.397	96.406
− 72	6.1614	17.3766*	7.6579	91.144	− 7.914	96.637
− 70	6.5522	16.5809*	7.2318	90.952	− 7.429	96.868
− 68	6.9628	15.7449*	6.8339	90.760	− 6.944	97.098
− 66	7.3939	14.8671*	6.4621	90.568	− 6.457	97.328
− 64	7.8463	13.9460*	6.1144	90.374	− 5.968	97.557
− 62	8.3208	12.9800*	5.7891	90.180	− 5.479	97.786
− 60	8.8180	11.9677*	5.4844	89.986	− 4.987	98.014
− 58	9.3388	10.9074*	5.1989	89.791	− 4.495	98.241
− 56	9.8839	9.7975*	4.9312	89.595	− 4.001	98.468
− 54	10.454	8.636*	4.6799	89.399	− 3.506	98.694
− 52	11.051	7.422*	4.4440	89.202	− 3.009	98.920
− 50	11.674	6.154*	4.2224	89.004	− 2.511	99.144
− 48	12.324	4.829*	4.0140	88.806	− 2.012	99.369
− 46	13.004	3.445*	3.8179	88.607	− 1.511	99.592
− 44	13.712	2.002*	3.6334	88.407	− 1.009	99.814
− 42	14.451	0.498*	3.4596	88.207	− 0.505	100.036
− 40	15.222	0.526	3.2957	88.006	0.000	100.257
− 38	16.024	1.328	3.1412	87.805	0.506	100.477
− 36	16.859	2.163	2.9954	87.602	1.014	100.696
− 34	17.728	3.032	2.8578	87.399	1.524	100.914
− 32	18.633	3.937	2.7278	87.195	2.035	101.132
− 30	19.573	4.877	3.6049	86.991	2.547	101.348
− 28	20.549	5.853	2.4887	86.785	3.061	101.564
− 26	21.564	6.868	2.3787	86.579	3.576	101.778
− 24	22.617	7.921	2.2746	86.372	4.093	101.992
− 22	23.711	9.015	2.1760	86.165	4.611	102.204
− 20	24.845	10.149	2.0826	85.956	5.131	102.415
− 18	26.020	11.324	1.9940	85.747	5.652	102.626
− 16	27.239	12.543	1.9099	85.537	6.175	102.835
− 14	28.501	13.805	1.8302	85.326	6.699	103.043
− 12	29.809	15.113	1.7544	85.114	7.224	103.250
− 10	31.162	16.466	1.6825	84.901	7.751	103.455
− 8	32.563	17.867	1.6141	84.688	8.280	103.660
− 6	34.011	19.315	1.5491	84.473	8.810	103.863
− 4	35.509	20.813	1.4872	84.258	9.341	104.065
− 2	37.057	22.361	1.4283	84.042	9.874	104.266
0	38.657	23.961	1.3723	83.825	10.409	104.465
2	40.309	25.613	1.3189	83.606	10.945	104.663
4	42.014	27.318	1.2680	83.387	11.483	104.860
5†	42.888	28.192	1.2434	83.277	11.752	104.958
6	43.775	29.079	1.2195	83.167	12.022	105.056
8	45.591	30.895	1.1732	82.946	12.562	105.250
10	47.464	32.768	1.1290	82.724	13.104	105.442
12	49.396	34.700	1.0869	82.501	13.648	105.633
14	51.387	36.691	1.0466	82.276	14.193	105.823
16	53.438	38.742	1.0082	82.051	14.739	106.011
18	55.551	40.855	0.97144	81.825	15.288	106.198
20	57.727	43.031	0.93631	81.597	15.837	106.383
22	59.967	45.271	0.90270	81.368	16.389	106.566
24	62.272	47.576	0.87055	81.138	16.942	106.748
26	64.644	49.948	0.83978	80.907	17.496	106.928
28	67.083	52.387	0.81031	80.675	18.052	107.107
30	69.591	54.895	0.78208	80.441	18.609	107.284
32	72.169	57.473	0.75503	80.207	19.169	107.459
34	74.818	60.122	0.72911	79.971	19.729	107.632
36	77.540	62.844	0.70425	79.733	20.292	107.804
38	80.336	65.640	0.68041	79.495	20.856	107.974
40	83.206	68.510	0.65753	79.255	21.422	108.142
42	86.153	71.457	0.63557	79.013	21.989	108.308

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός v_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
44	89.177	74.481	0.61448	78.770	22.558	108.472
46	92.280	77.584	0.59422	78.526	23.129	108.634
48	95.463	80.767	0.57476	78.280	23.701	108.795
50	98.727	84.031	0.55606	78.033	24.275	108.953
52	102.07	87.38	0.53808	77.784	24.851	109.109
54	105.50	90.81	0.52078	77.534	25.429	109.263
56	109.02	94.32	0.50414	77.282	26.008	109.415
58	112.62	97.93	0.48813	77.028	26.589	109.564
60	116.31	101.62	0.47272	76.773	27.172	109.712
62	120.09	105.39	0.45788	76.515	27.757	109.857
64	123.96	109.26	0.44358	76.257	28.344	110.000
66	127.92	113.22	0.42981	75.996	28.932	110.140
68	131.97	117.28	0.41653	75.733	29.523	110.278
70	136.12	121.43	0.40373	75.469	30.116	110.414
72	140.37	125.67	0.39139	75.202	30.710	110.547
74	144.71	130.01	0.37949	74.934	31.307	110.677
76	149.15	134.45	0.36800	74.664	31.906	110.805
78	153.69	138.99	0.35691	74.391	32.506	110.930
80	158.33	143.63	0.34621	74.116	33.109	111.052
82	163.07	148.37	0.33587	73.839	33.714	111.171
84	167.92	153.22	0.32588	73.560	34.322	111.288
86†	172.87	158.17	0.31623	73.278	34.931	111.401
88	177.93	163.23	0.30690	72.994	35.543	111.512
90	183.09	168.40	0.29789	72.708	36.158	111.619
92	188.37	173.67	0.28917	72.419	36.774	111.723
94	193.76	179.06	0.28073	72.127	37.394	111.824
96	199.26	184.56	0.27257	71.833	38.016	111.921
98	204.87	190.18	0.26467	71.536	38.640	112.015
100	210.60	195.91	0.25702	71.236	39.267	112.105
102	216.45	201.76	0.24962	70.933	39.897	112.192
104	222.42	207.72	0.24244	70.626	40.530	112.274
106	228.50	213.81	0.23549	70.317	41.166	112.353
108	234.71	220.02	0.22875	70.005	41.804	112.427
110	241.04	226.35	0.22222	69.689	42.446	112.498
112	247.50	232.80	0.21589	69.369	43.091	112.564
114	254.08	239.38	0.20974	69.046	43.739	112.626
116	260.79	246.10	0.20378	68.719	44.391	112.682
118	267.63	252.94	0.19800	68.388	45.046	112.735
120	274.60	259.91	0.19238	68.054	45.705	112.782
122	281.71	267.01	0.18692	67.714	46.368	112.824
124	288.95	274.25	0.18163	67.371	47.034	112.860
126	296.33	281.63	0.17648	67.023	47.705	112.891
128	303.84	289.14	0.17147	66.670	48.380	112.917
130	311.50	296.80	0.16661	66.312	49.059	112.936
132	319.29	304.60	0.16187	65.949	49.743	112.949
134	327.23	312.54	0.15727	65.581	50.432	112.955
136	335.32	320.63	0.15279	65.207	51.125	112.954
138	343.56	328.86	0.14843	64.826	51.824	112.947
140	351.94	337.25	0.14418	64.440	52.528	112.931
142	360.48	345.79	0.14004	64.047	53.238	112.908
144	369.17	354.48	0.13600	63.647	53.955	112.877
146	378.02	363.32	0.13207	63.240	54.677	112.836
148	387.03	372.33	0.12823	62.825	55.406	112.787
150	369.19	381.50	0.12448	62.402	56.143	112.728
152	405.52	390.83	0.12083	61.970	56.887	112.658
154	415.02	400.32	0.11726	61.529	57.638	112.577
156	424.68	409.99	0.11376	61.079	58.399	112.485
158	434.52	419.82	0.11035	60.617	59.168	112.381
160	444.53	429.83	0.10701	60.145	59.948	112.263
162	454.71	440.01	0.10374	59.660	60.737	112.131
164	465.07	450.37	0.10054	59.163	61.538	111.984
166	475.61	460.92	0.09739	58.651	62.351	111.820
168	486.34	471.65	0.09430	58.125	63.178	111.639
170	497.26	482.56	0.09127	57.581	64.019	111.438
172	508.37	493.67	0.08829	57.019	64.875	111.216
174	519.67	504.97	0.08536	56.438	65.750	110.970
176	531.17	516.47	0.08247	55.834	66.643	110.699
178	542.87	528.18	0.07961	55.205	67.558	110.400
180	554.78	540.09	0.07679	54.549	68.498	110.068
182	566.90	552.21	0.07398	53.861	69.465	109.700
184	579.24	564.54	0.07120	53.136	70.464	109.290
186	591.80	577.10	0.06842	52.370	71.500	108.832
188	604.58	589.88	0.06563	51.553	72.579	108.317
190	617.59	602.89	0.06283	50.677	73.711	107.734
192	630.84	616.14	0.05999	49.728	74.907	107.067
194	644.33	629.64	0.05709	48.685	76.184	106.295
196	658.08	643.38	0.05408	47.518	77.568	105.381
198	672.08	657.39	0.05091	46.178	79.102	104.270
200	686.36	671.66	0.04743	44.571	80.862	102.853
202	700.91	686.21	0.04337	42.476	83.030	100.870
204	715.75	701.05	0.03754	38.991	86.309	97.260
204.8	721.91	707.21	0.030525	32.760	91.329	91.329

* in στήλης υδραργύρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)



Σχ. 2.6γ.
Ψυκτικό μέσο R22.



Σχ. 2.6δ.

Ψυκτικό μέσο R22. Περιοχή υπέρθερμου ατμού.

2.7 Ψυκτικό μέσο R13.

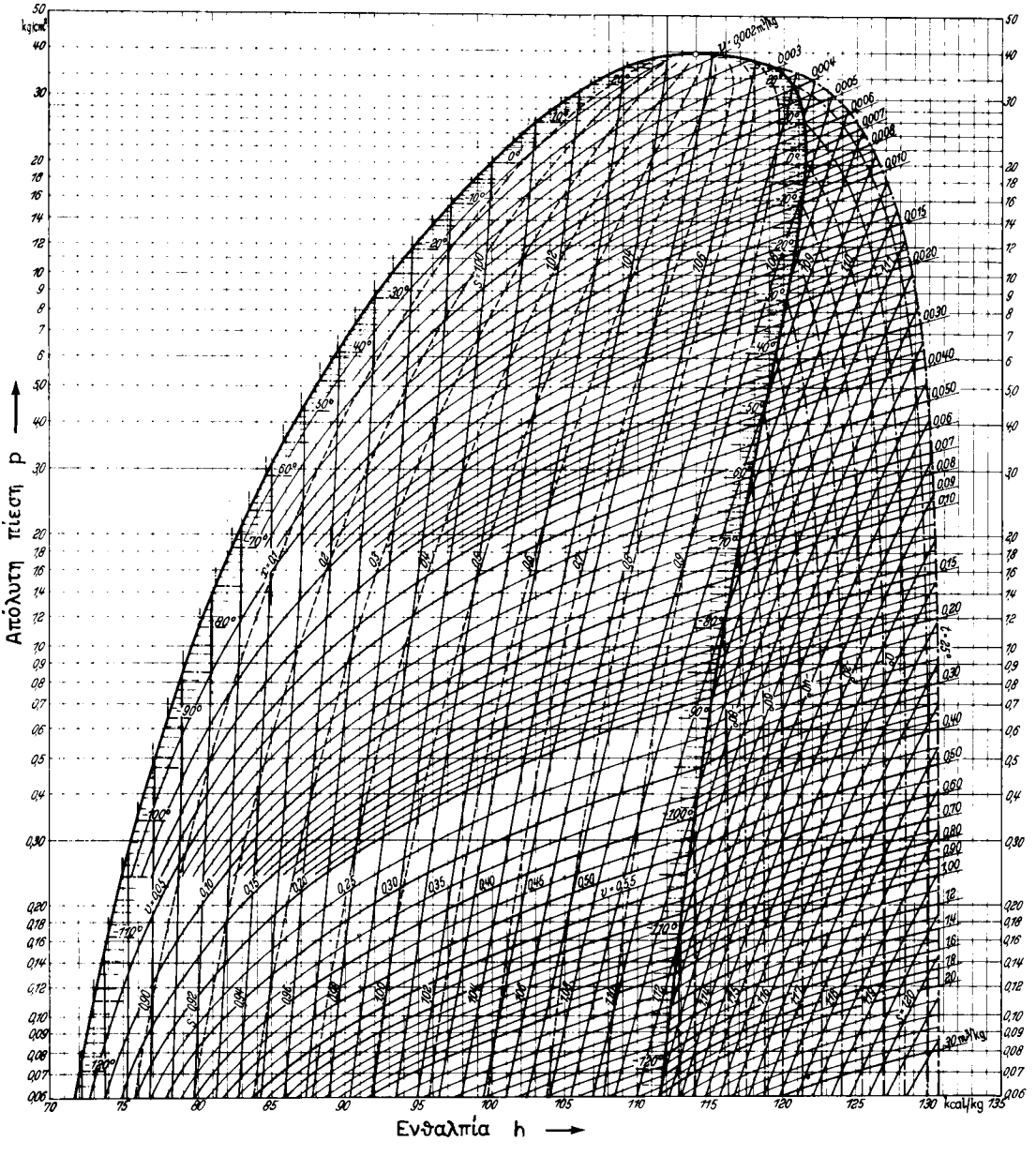
Το ψυκτικό μέσο R13 χρησιμοποιείται για εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Στις συνηθισμένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχει ήδη σημαντική πίεση, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2.7.1.

Στον Πίνακα 2.7.1 δίνονται τα θερμοδυναμικά μεγέθη σε μετρικό σύστημα, όπως και στο διάγραμμα του σχήματος 2.7α. Στον Πίνακα 2.7.2 δίνονται οι θερμοδυναμικές ιδιότητες σε αγγλοσαξονικό σύστημα, όπως και στα σχήματα 2.7β και 2.7γ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1.
Ψυκτικό μέσο R13.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός Όγκος		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποιήσεως r = h'' − h' kcal/kg
		υγρού v' l/kg	ατμού v'' m³/kg	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
— 140	0,0087	0,576	12,378	68,46	109,90	41,44
— 135	0,0157	0,581	7,112	69,33	110,37	41,04
— 130	0,0271	0,587	4,273	70,24	110,86	40,62
— 125	0,448	0,593	2,673	71,15	111,34	40,19
— 120	0,0714	0,599	1,732	72,09	111,84	39,75
— 115	0,1100	0,605	1,158	73,04	112,34	39,30
— 110	0,1643	0,612	0,798	74,01	112,84	38,83
— 105	0,2391	0,619	0,563	74,99	113,34	38,35
— 100	0,3392	0,626	0,4070	76,00	113,85	37,85
— 95	0,4705	0,634	0,3005	77,03	114,36	37,33
— 90	0,640	0,642	0,2259	78,08	114,86	36,78
— 85	0,854	0,649	0,1728	79,13	115,36	36,23
— 80	1,120	0,658	0,1342	80,21	115,86	35,65
— 75	1,446	0,666	0,1057	81,30	116,35	35,05
— 70	1,841	0,675	0,0844	82,40	116,84	34,44
— 65	2,313	0,685	0,0681	83,52	117,32	33,80
— 60	2,873	0,695	0,05542	84,67	117,78	33,11
— 55	3,528	0,706	0,04555	85,84	118,23	32,39
— 50	4,287	0,717	0,03774	87,03	118,66	31,63
— 45	5,164	0,728	0,03148	88,25	119,08	30,83
— 40	6,17	0,741	0,02642	89,49	119,48	29,99
— 35	7,31	0,754	0,02230	90,74	119,85	29,11
— 30	8,59	0,769	0,01889	92,01	120,19	28,18
— 25	10,04	0,785	0,01608	93,30	120,50	27,20
— 20	11,66	0,802	0,01373	94,61	120,77	26,16
— 15	13,46	0,821	0,01175	95,94	121,02	25,08
— 10	15,45	0,842	0,01010	97,27	121,22	23,95
— 5	17,66	0,866	0,00868	98,61	121,37	22,76
— 0	20,09	0,894	0,00747	100,00	121,48	21,48
+ 5	22,76	0,923	0,00642	101,44	121,51	20,07
+ 10	25,69	0,962	0,00549	102,99	121,42	18,43
+ 15	28,91	1,·11	0,00463	104,74	121,16	16,42
+ 20	32,41	1,079	0,003829	106,75	120,59	13,84
+ 25	36,24	1,193	0,002990	109,29	119,33	10,04
+ 28,8	39,36	1,712	0,001721	113,94	113,94	0,00

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

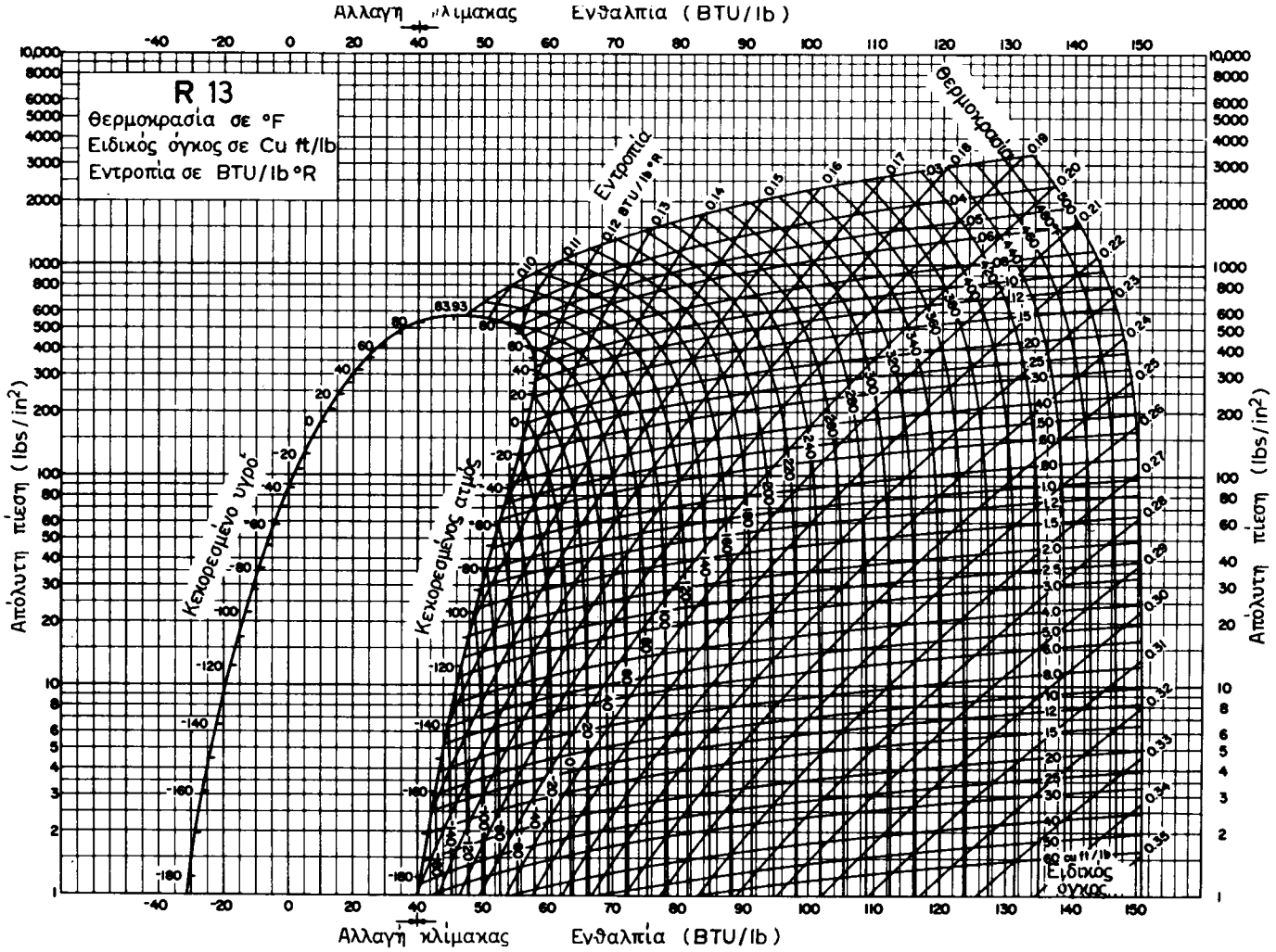


Σχ. 2.7α.
Ψυκτικό μέσο R13.

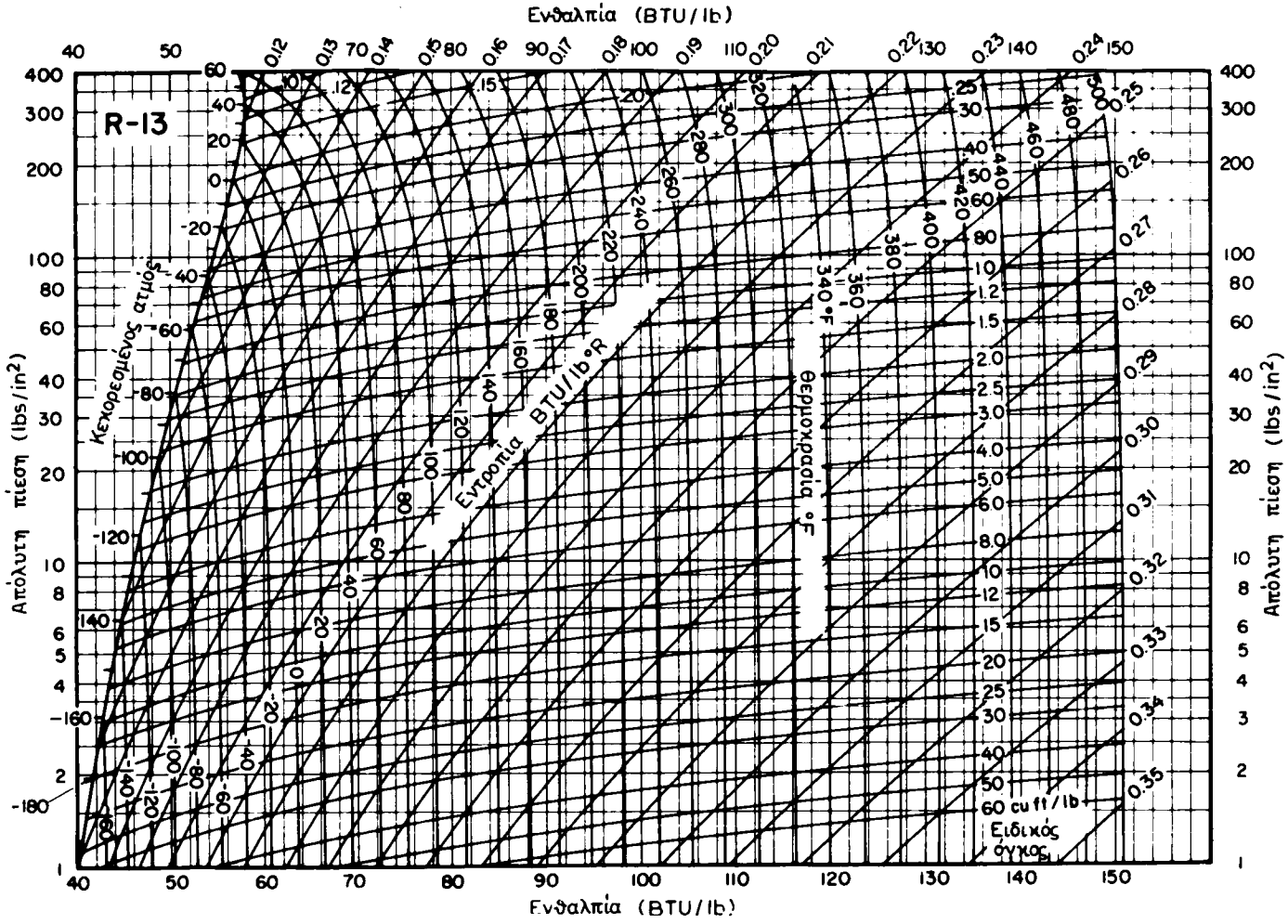
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.2.
Ψυκτικό μέσο R13
Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb		Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g		psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
−200	0.4329	29.04*	61.33	105.6	−34.551	38.545	−20	126.4	111.7	0.2930	80.71	4.809	55.477
−190	0.7490	28.40*	36.74	104.4	−32.429	39.600	−10	150.1	135.4	.2454	78.86	7.484	56.114
−180	1.238	27.40*	22.99	103.2	−30.298	40.672	0	176.8	162.1	.2066	76.98	10.052	56.690
−170	1.967	25.92*	14.942	102.0	−28.208	41.696	10	206.8	192.1	.17443	74.91	12.696	57.175
−160	3.104	23.60*	9.750	100.8	−26.083	42.725	20	240.4	225.7	.14732	72.73	15.443	57.543
−150	4.464	20.83*	6.976	99.60	−24.010	43.773	30	277.9	263.2	0.12437	70.32	18.247	57.719
−140	6.455	16.78*	4.950	98.33	−21.902	44.794	40	319.6	304.9	.10455	67.70	21.370	57.820
−130	9.080	11.43*	3.605	96.99	−19.792	45.804	45	342.2	327.5	.09565	66.27	22.979	57.748
−120	12.48	4.51*	2.681	95.69	−17.671	46.802	50	365.9	351.2	.08734	64.68	24.651	57.609
−110	16.81	2.11	2.031	94.34	−15.527	47.789	55	390.8	376.1	.07945	62.97	26.418	57.364
−100	22.23	7.53	1.5642	93.02	−13.387	48.751	60	417.0	402.3	0.07189	61.09	28.310	56.987
− 90	28.89	14.19	1.2232	91.66	−11.241	49.700	65	444.5	429.8	.06468	58.96	30.322	56.459
− 80	36.98	22.28	0.9689	90.17	− 9.052	50.620	70	473.4	458.7	.05767	56.46	32.515	55.708
− 70	46 68	31.98	0.7766	88.73	− 6.843	51.519	75	503.7	489.0	.05027	53.36	35.110	54.492
− 60	58.19	43.49	0.6289	87.26	− 4.604	52.389	80	535.5	520.8	.04131	48.85	38.527	52.092
− 50	71.71	57.01	0.5139	85.69	− 2.320	53.226	83.93 (Critical)	561.3	546.6	0.02772	36.08	45.271	45.271
− 40	87.43	72.73	.4234	84.10	0.000	54.023							
− 30	105.6	90.90	.3512	82.44	2.363	54.416							

* in στήλης υδραργύρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)



Σχ. 2.7β.
Ψυκτικό μέσο R13.

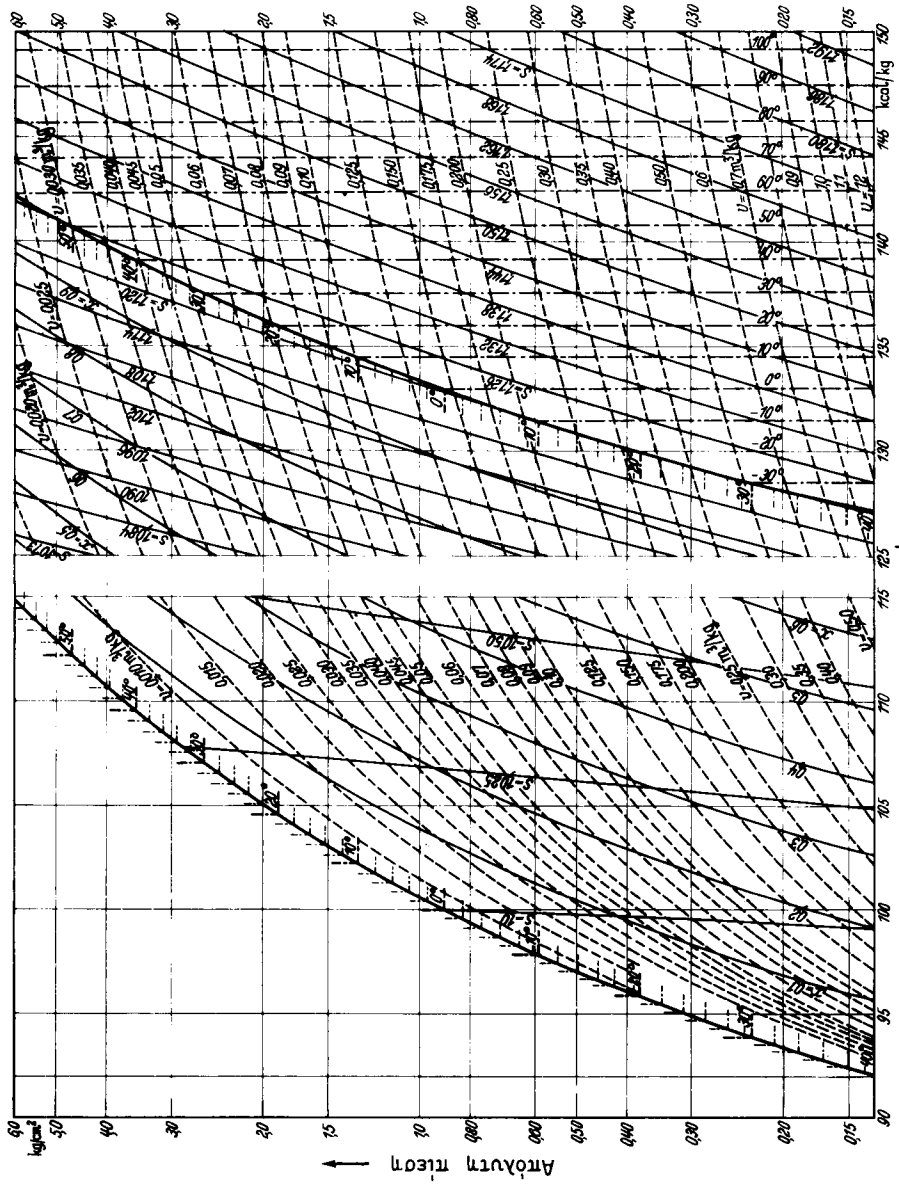


Σχ. 2.7γ.
Ψυκτικό μέσο R13. Περιοχή υπέρθερμου ατμού.

2.8 Ψυκτικό μέσο R114.

Το R114 είναι ψυκτικό μέσο με χαμηλές πιέσεις σε συνηθισμένες θερμοκρασίες. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για ψυγεία με μικρούς ερμητικούς συμπιεστές, αλλά αντικαταστάθηκε αργότερα από το R12. Σήμερα χρησιμοποιείται μόνο σε εγκαταστάσεις με στροβιλοσυμπιεστές.

Στο σχήμα 2.8α φαίνεται το διάγραμμα p - h, στον Πίνακα 2.8.1 οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών και στα σχήματα 2.8β και 2.8γ το διάγραμμα p - h, σε αγγλοσαξονικές μονάδες.



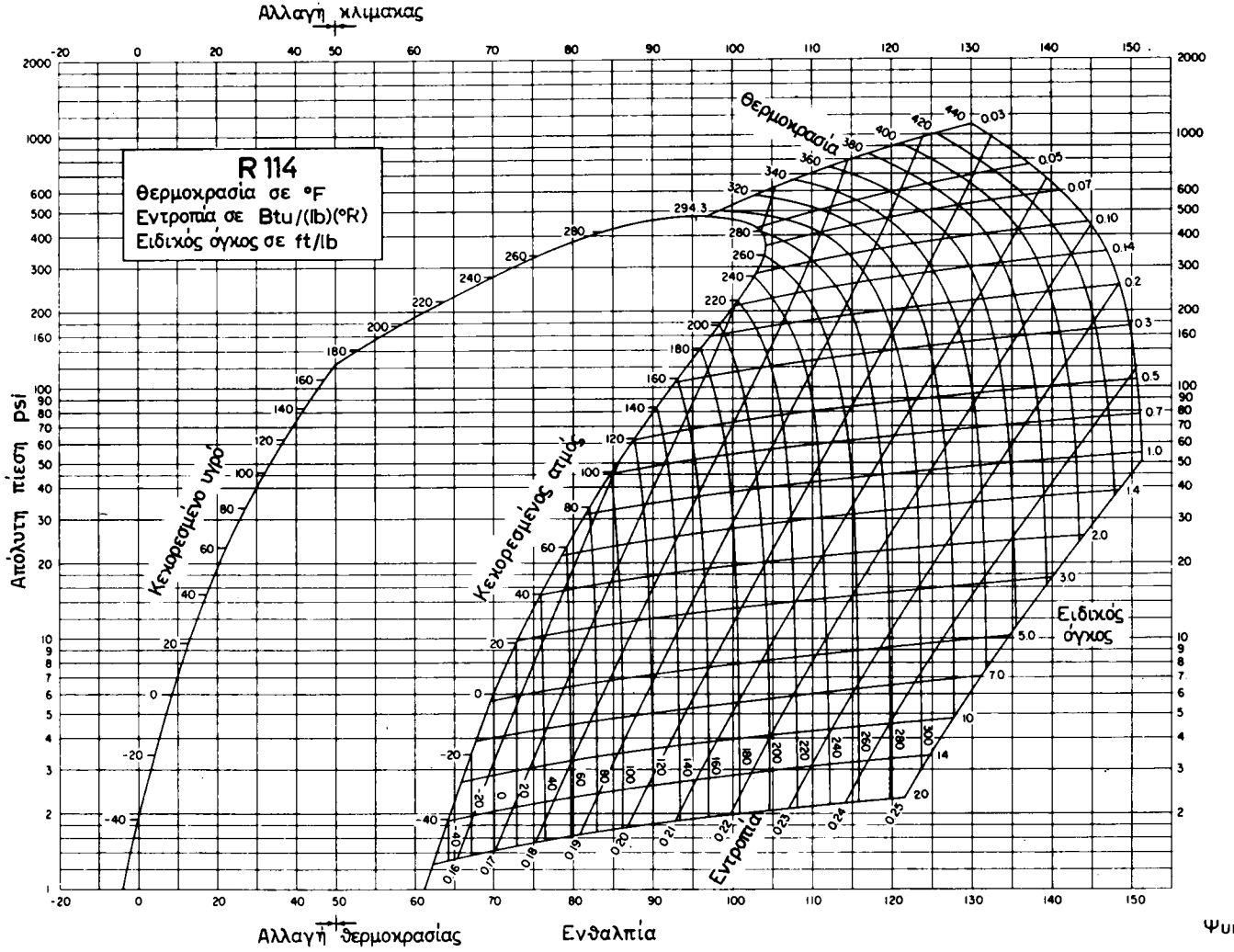
Σχ. 2.8α.
Ψυκτικό μέσο R114.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8.1

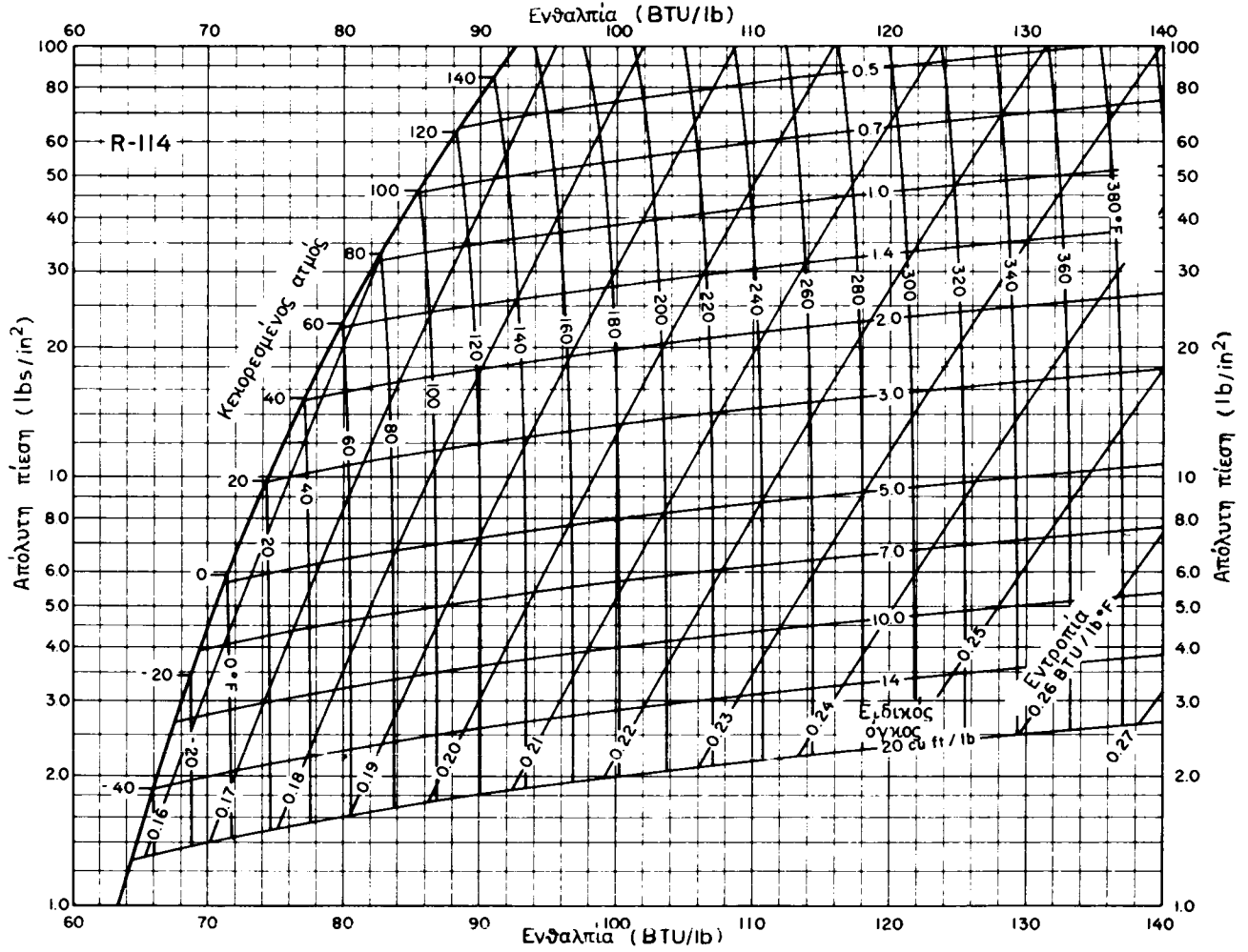
Ψυκτικό μέσο R114

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb		Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig*	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g		psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
-135	0.034	29.852	603.346523	109.8970	-18.182	51.282	70	27.261	12.561	1.142969	91.6512	24.444	80.277
-130	.045	29.830	463.532655	109.5052	-17.277	51.908	72	28.282	13.582	1.103851	91.4416	24.926	80.574
-125	.058	29.802	359.388410	109.1114	-16.368	52.540	74	29.331	14.631	1.066355	91.2310	25.409	80.871
-120	.076	29.767	281.079992	108.7157	-15.453	53.178	76	30.410	15.710	1.030402	91.0196	25.893	81.168
-115	.098	29.722	221.666914	108.3179	-14.533	53.821	78	31.519	16.819	0.995918	90.8072	26.379	81.464
-110	0.124	29.668	176.201685	107.9182	-13.607	54.470	80	32.659	17.959	0.962831	90.5939	26.865	81.760
-105	.158	29.600	141.123750	107.5164	-12.676	55.124	82	33.829	19.129	.931075	90.3796	27.353	82.056
-100	.198	29.518	113.847231	107.1124	-11.740	55.783	84	35.032	20.332	.900588	90.1643	27.843	82.352
-95	.247	29.418	92.477644	106.7063	-10.797	56.448	86	36.266	21.566	.871308	89.9481	28.333	82.647
-90	.306	29.297	75.615391	106.2979	- 9.848	57.117	88	37.533	22.833	.843179	89.7308	28.825	82.942
-85	0.377	29.153	62.218156	105.8873	- 8.894	57.792	90	38.833	24.133	0.816148	89.5125	29.318	83.237
-80	.462	28.981	51.503710	105.4744	- 7.933	58.472	92	40.167	25.467	.790164	89.2931	29.812	83.531
-75	.561	28.778	42.880661	105.0591	- 6.965	59.156	94	41.535	26.835	.765180	89.0727	30.307	83.825
-70	.679	28.539	35.898716	104.6414	- 5.991	59.844	96	42.938	28.238	.741149	88.8512	30.804	84.119
-65	.817	28.258	30.212674	104.2211	- 5.011	60.538	98	44.377	29.677	.718028	88.6286	31.302	84.413
-60	0.977	27.932	25.556162	103.7984	- 4.023	61.235	100	45.851	31.151	0.695777	88.4049	31.801	84.706
-58	1.048	27.787	23.933843	103.6286	- 3.626	61.515	102	47.362	32.662	.674356	88.1800	32.301	84.998
-56	1.124	27.633	22.431598	103.4583	- 3.228	61.796	104	48.910	34.210	.653729	87.9540	32.803	85.290
-54	1.204	27.471	21.039402	103.2876	- 2.828	62.077	106	50.495	35.795	.633861	87.7268	33.305	85.582
-52	1.288	27.298	19.748155	103.1165	- 2.428	62.359	108	52.119	37.419	.614718	87.4985	33.809	85.873
-50	1.378	27.116	18.549588	102.9450	- 2.026	62.642	110	53.782	39.082	0.596269	87.2689	34.314	86.164
-48	1.472	26.923	17.436181	102.7730	- 1.623	62.925	112	55.483	40.783	.578484	87.0380	34.820	86.454
-46	1.572	26.720	16.401089	102.6006	- 1.219	63.209	114	57.225	42.525	.561335	86.8059	35.327	86.744
-44	1.678	26.505	15.438076	102.4278	- 0.814	63.493	116	59.007	44.307	.544793	86.5725	35.835	87.033
-42	1.789	26.279	14.541455	102.2545	- 0.408	63.778	118	60.830	46.130	.528835	86.3379	36.345	87.322
-40	1.906	26.040	13.706038	102.0807	0.000	64.064	120	62.695	47.995	0.513434	86.1018	36.855	87.610
-38	2.030	25.788	12.927084	101.9065	0.409	64.350	122	64.602	49.902	.498568	85.8644	37.367	87.897
-36	2.160	25.523	12.200362	101.7318	0.819	64.637	124	66.551	51.851	.484214	85.6257	37.880	88.184
-34	2.297	25.244	11.521608	101.5566	1.230	64.924	126	68.544	53.864	.470351	85.3855	38.394	88.470
-32	2.441	24.951	10.887491	101.3810	1.643	65.212	128	70.581	55.881	.456959	85.1439	38.909	88.755
-30	2.593	24.642	10.294588	101.2049	2.057	65.500	130	72.662	57.962	0.444019	84.9008	39.425	89.040
-28	2.752	24.319	9.739848	101.0283	2.472	65.789	132	74.789	60.089	.431512	84.6562	39.943	89.324
-26	2.919	23.979	9.220474	100.8512	2.888	66.078	134	76.961	62.261	.419421	84.4101	40.461	89.608
-24	3.094	23.622	8.733894	100.6737	3.306	66.367	136	79.179	64.479	.407729	84.1624	40.981	89.890
-22	3.277	23.248	8.277746	100.4956	3.725	66.657	138	81.444	66.744	.396420	83.9131	41.501	90.172
-20	3.470	22.857	7.849858	100.3170	4.145	66.948	140	83.757	69.057	0.385479	83.6622	42.023	90.453
-18	3.671	22.446	7.448229	100.1379	4.567	67.239	142	86.118	71.418	.374892	83.4096	42.546	90.733
-16	3.882	22.017	7.071017	99.9583	4.990	67.530	144	88.527	73.827	.364644	83.1554	43.070	91.012
-14	4.103	21.568	6.716525	99.7782	5.414	67.822	146	90.986	76.286	.354723	82.8994	43.595	91.291
-12	4.334	21.098	6.383184	99.5976	5.839	68.114	148	93.495	78.795	.345116	82.6416	44.121	91.568
-10	4.575	20.607	6.069551	99.4164	6.266	68.407	150	96.054	81.354	0.335810	82.3820	44.648	91.845
-8	4.827	20.094	5.774289	99.2347	6.694	68.700	152	98.665	83.965	.326794	82.1206	45.176	92.120
-6	5.090	19.559	5.496164	99.0524	7.124	68.993	154	101.327	86.627	.318058	81.8572	45.705	92.395
-4	5.364	19.000	5.234035	98.8696	7.555	69.287	156	104.042	89.342	.309590	81.5919	46.236	92.669
-2	5.650	18.417	4.986844	98.6862	7.987	69.581	158	106.810	92.110	.301380	81.3246	46.767	92.941
0	5.949	17.810	4.753614	98.5023	8.420	69.875	160	109.632	94.932	0.293419	81.0553	47.300	93.212
2	6.260	17.177	4.533437	98.3178	8.855	70.170	162	112.508	97.808	.285697	80.7839	47.833	93.483
4	6.583	16.517	4.325473	98.1327	9.291	70.465	164	115.439	100.739	.278205	80.5103	48.368	93.752
6	6.921	15.831	4.128942	97.9471	9.729	70.760	166	118.426	103.726	.270936	80.2346	48.904	94.019
8	7.271	15.117	3.943119	97.7608	10.168	71.056	168	121.469	106.769	.263880	79.9566	49.441	94.286
10	7.636	14.374	3.767332	97.5740	10.608	71.351	170	124.570	109.870	0.257030	79.6763	49.979	94.551
12	8.016	13.601	3.600955	97.3865	11.050	71.647	172	127.728	113.028	.250379	79.3936	50.518	94.815
14	8.410	12.799	3.443408	97.1985	11.493	71.944	174	130.944	116.244	.243919	79.1084	51.059	95.078
16	8.819	11.965	3.294147	97.0098	11.937	72.240	176	134.220	119.520	.237643	78.8208	51.600	95.339
18	9.244	11.100	3.152670	96.8205	12.383	72.537	178	137.556	122.856	.231545	78.5306	52.143	95.599
20	9.686	10.201	3.018507	96.6306	12.830	72.834	180	140.952	126.252	0.225618	78.2377	52.687	95.857
22	10.143	9.269	2.891220	96.4400	13.278	73.131	182	144.410	129.710	.219857	77.9422	53.232	96.113
24	10.618	8.303	2.770402	96.2488	13.728	73.428	184	147.930	133.230	.214254	77.6438	53.778	96.368
26	11.110	7.301	2.655670	96.0569	14.179	73.725	186	151.512	136.812	.208806	77.3425	54.325	96.622
28	11.620	6.263	2.546670	95.8644	14.632	74.023	188	155.159	140.459	.203506	77.0382	54.874	96.873
30	12.148	5.188	2.443070	95.6712	15.085	74.320	190	158.869	144.169	0.198349	76.7309	55.424	97.123
32	12.695	4.074	2.344558	95.4773	15.541	74.618	192	162.645	147.945	.193330	76.4204	55.975	97.371
34	13.261	2.922	2.250844	95.2827	15.997	74.916	194	166.487	151.787	.188444	76.1066	56.528	97.617
36	13.847	1.730	2.161657	95.0874	16.455	75.214	196	170.396	155.696	.183686	75.7895	57.082	97.861
38	14.452	0.496	2.076742	94.8914	16.914	75.512	198	174.372	159.672	.179053	75.4689	57.637	98.102
40	15.078	0.378	1.995861	94.6947	17.375	75.810	200	178.417	163.717	0.174539	75.1446	58.194	98.342
42	15.726	1.026	1.918791	94.4973	17.837	76.108	205	188.836	174.136	.163752	74.3173	59.592	98.931
44	16.394	1.694	1.845323	94.2991	18.300	76.406	210	199.702	185.002	.153627	73.4845	61.000	99.505
46	17.085	2.385	1.775259	94.1002	18.765	76.704	215	211.032	196.332	.144107	72.6455	62.418	100.062
48	17.798	3.098	1.708417	93.9005	19.231	77.002	220	222.841	208.141	.135141	71.8014	63.848	100.599
50	18.534	3.834	1.644623	93.7001	19.698	77.300	225	235.148	220.448	0.126680	70.7246	65.291	101.115
52	19.293	4.593	1.583714	93.4989	20.167	77.598	230	247.971	233.271	.118681	69.7391	66.749	101.607
54	20.076	5.376	1.525539	93.2969	20.637	77.896	235	261.330	246.630	.111101	68.7096	68.224	102.072
56	20.884	6.184	1.469953	93.0941	21.108	78.194	240	275.250	260.550	.103900	67.6300	69.718	102.505
58	21.716	7.016	1.416822	92.8905	21.581	78.492	245	289.754	275.054	.097039	66.4923	71.236	102.901
60	22.574	7.874	1.366019	92.6860	22.055	78.790	250	304.872	290.172	0.090480	65.2865	72.781	103.254
62	23.458	8.758	1.317424	92.4808	22.530	79.087	260	337.085	322.385	.078107	62.6138	75.983	103.795
64	24.368	9.668	1.270924	92.2747	23.007	79.385	270	372.216	357.516	.066411	59.4330	79.416	104.010
66	25.304	10.604	1.226414	92.0677	23.484	79.683	280	410.739	396.039	.054798	55.3261	83.303	103.629
68	26.269	11.569	1.183794	91.8599	23.964	79.980	290	453.419	438.719	.041364	48.6173	88.548	101.575

* in στήλης υδραργύρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)



Σχ. 2.8β.
Ψυκτικό μέσο R114.



Σχ. 2.8γ.
Ψυκτικό μέσο R114. Περιοχή υπέρθερμου ατμού.

2.9 Θερμική σύγκριση ψυκτικών μέσων.

Όπως είναι γνωστό, όλα τα υγρά σώματα όταν θερμανθούν, ατμοποιούνται και αντίστροφα συμπυκνώνονται. Από την άποψη λοιπόν της θερμοδυναμικής θα μπορούσαμε ίσως να πούμε, ότι κάθε διαθέσιμο υγρό είναι κατάλληλο για ψυκτικό μέσο.

Ο ισχυρισμός αυτός θα ήταν σωστός για την κατασκευή μιας ψυκτικής μονάδας για κάποιο εργαστήριο. Επειδή όμως οι ψυκτικές διατάξεις εξυπηρετούν ανάγκες όπως η συντήρηση τροφίμων, κλιματισμός χώρων κλπ. δραστηριότητες δηλαδή που έχουν άμεση επίδραση στην υγεία και ασφάλεια των ανθρώπων, υπάρχουν πολλοί περιορισμοί όσον αφορά την εκλογή των καταλλήλων ψυκτικών μέσων.

Για να είναι ένα υλικό κατάλληλο για ψυκτικό μέσο, πρέπει να ανταποκρίνεται στις εξής απαιτήσεις:

α) Χημικές απαιτήσεις:

- Σταθερότητα.
- Αδράνεια.
- Μη αναφλεξιμότητα.

β) Φυσικές απαιτήσεις:

- Κατάλληλες πιέσεις — θερμοκρασίες.
- Κατάλληλη θερμότητα ατμοποιήσεως.
- Κατάλληλο ιξώδες.
- Διαλυτότητα με λάδι λιπάνσεως.
- Διαλυτότητα νερού.
- Ηλεκτρική μόνωση.

γ) Φυσιολογικές απαιτήσεις:

- Μη δηλητηριώδες.
- Οσμή. Επιθυμητή για επικίνδυνα μέσα (π.χ. NH_3).
- Έλλειψη από επιβλαβή επίδραση σε ψυχόμενα αγαθά.

δ) Οικονομικές απαιτήσεις:

- Τιμή.
- Διαθεσιμότητα.
- Ειδική ψυκτική ικανότητα.

Τα καθιερωμένα πλέον ψυκτικά μέσα εκπληρώνουν σε μεγάλο ποσοστό τις απαιτήσεις αυτές. Η παραγωγή τέτοιων ψυκτικών μέσων γίνεται από τις χημικές βιομηχανίες. Το πρόβλημα της τεχνολογίας των ψυκτικών εγκαταστάσεων είναι η επιλογή του κατάλληλου ψυκτικού μέσου για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Για το πρόβλημα αυτό, φυσικά, ενδιαφέρουν κυρίως οι τιμές πιέσεων - θερμοκρασιών, η θερμότητα ατμοποιήσεως και η ειδική ψυκτική ικανότητα η οποία θα προκύψει για το συγκεκριμένο ψυκτικό κύκλο.

Στη συνέχεια της παραγράφου αυτής δίνονται ορισμένα συγκριτικά στοιχεία από τα κυριότερα ψυκτικά μέσα για τις συνηθισμένες θερμοκρασίες λειτουργίας ψυκτικών εγκαταστάσεων.

Από την πλευρά συγκρίσεως τιμων πιέσεων - θερμοκρασίας ίσως ο πιο γρήγο-

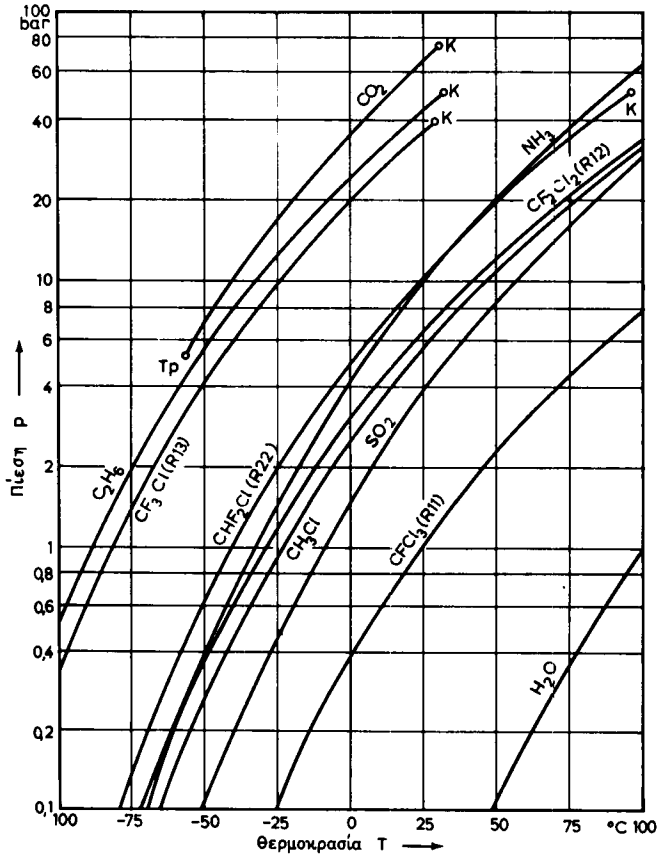
ρος τρόπος εργασίας είναι η εξέταση διαγραμμάτων με άξονες πίεση - θερμοκρασία πάνω στα οποία έχουν χαραχθεί οι αντίστοιχες καμπύλες από τα διάφορα ψυκτικά μέσα.

Αντίστοιχα το σχήμα 2.9β δίνει μια εικόνα της μορφής αυτής για χαμηλές και πάρα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και αφορά κυρίως ψυκτικά μέσω πολύ χαμηλών θερμοκρασιων. Το σχήμα 2.9α αναφέρεται σε ψυκτικά μέσα για συνηθισμένες χρήσεις.

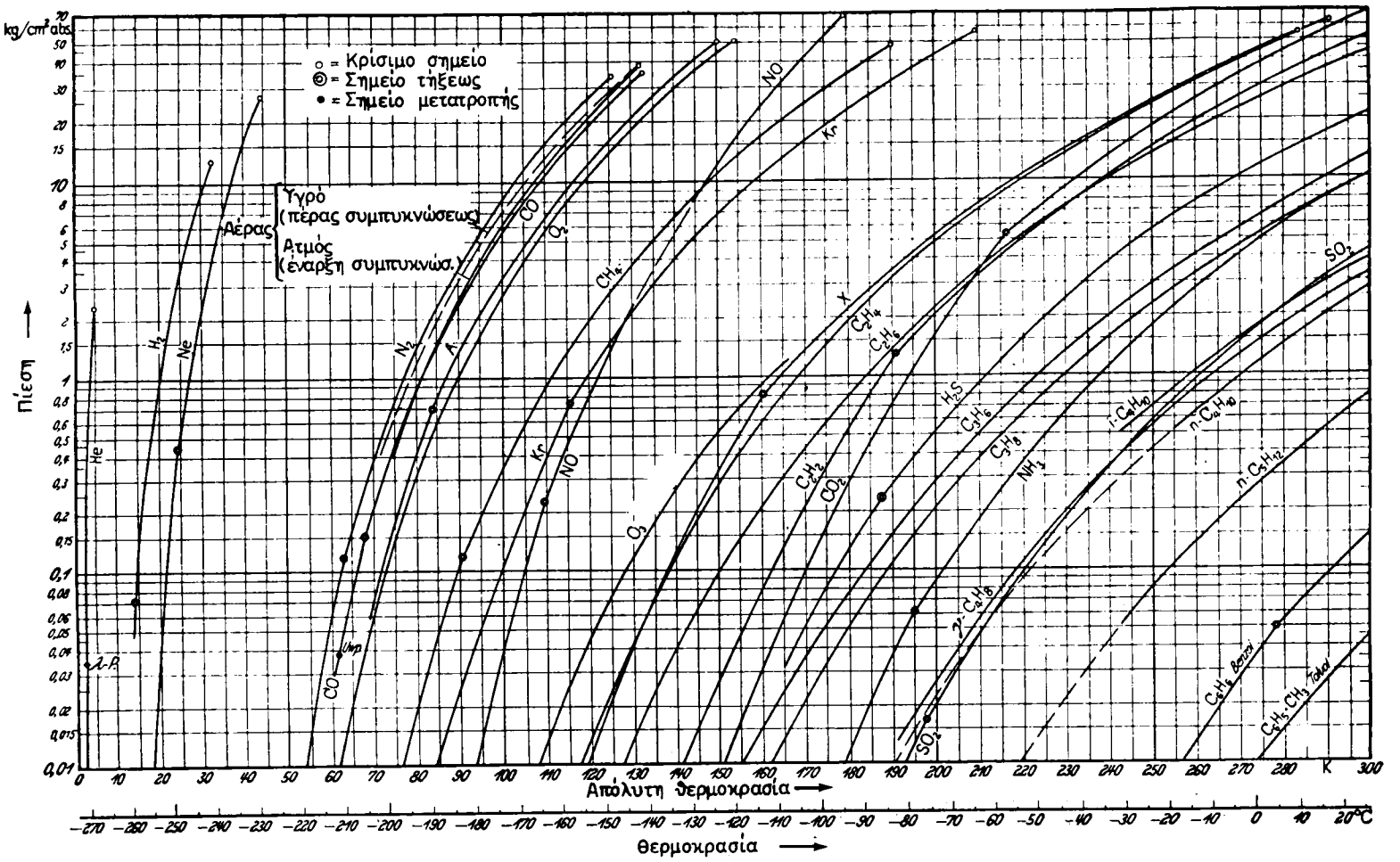
Από τα διαγράμματα αυτά φαίνονται αμέσως οι πιέσεις λειτουργίας οι οποίες θα επικρατούν, για τις επιθυμητές θερμοκρασίες λειτουργίας του κύκλου.

Για το κριτήριο της θερμότητας ατμοποιήσεως μπορεί να χρησιμοποιηθούν φυσικά οι πίνακες και τα διαγράμματα του κάθε ψυκτικού μέσου. Για πιο γρήγορη όμως συσχέτιση, είναι καλύτερα τα διαγράμματα του είδους του σχήματος 2.9γ.

Εκείνο όμως το μέγεθος το οποίο παίζει σπουδαίο ρόλο στην απόδοση του ψυκτικού μέσου είναι η ***ογκομετρική ψυκτική ικανότητα.*** Το ποσό δηλαδή θερμότητας το οποίο αφαιρείται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, ανηγμένο όμως όχι στη μονάδα μάζης 1 kg, αλλά στη μονάδα όγκου 1 m^3 ατμού.



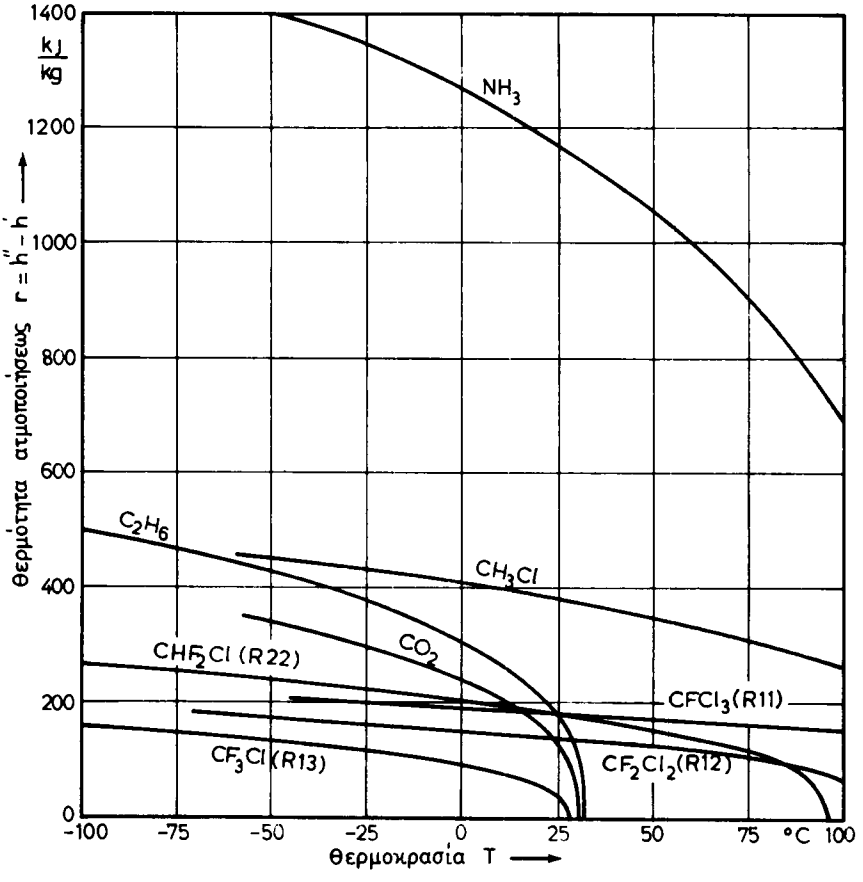
Σχ. 2.9 α.
Καμπύλες πιέσεως - θερμοκρασίας ατμών διαφόρων ψυκτικών μέσων.



Σχ. 2.9 β.

Πίεση κεκορεσμένου ατμού σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 2.9γ.
Θερμότητα ατμοποιήσεως διαφόρων ψυκτικών μέσων.

2.10 Ογκομετρική ψυκτική ικανότητα.

Ο συμπιεστής της ψυκτικής εγκαταστάσεως είναι μία μηχανή η οποία σχεδόν πάντοτε λειτουργεί με σταθερό αριθμό περιστροφών. Σε κάθε περιστροφή του συμπιεστή αναρροφάται ένας σταθερός όγκος ατμού ψυκτικού μέσου ο οποίος συμπιέζεται σε μεγάλη πίεση και οδηγείται στο συμπυκνωτή.

Αν παραλείψομε τις τυχόν μικρομεταβολές όσον αφορά το ψυκτικό μέσο στην αναρρόφηση του συμπιεστή, όταν ο ***αριθμός στροφών*** είναι ***σταθερός*** και ο ***συμπιεστής εμβολοφόρος*** μπορούμε να πούμε ότι:

Στην αναρρόφηση του συμπιεστή η παροχή όγκου ατμου είναι σταθερή.

Η διαπίστωση αυτή εξηγεί, γιατί η ***ογκομετρική*** ψυκτική ικανότητα καθορίζει τη συμπεριφορά του ψυκτικού μέσου και συνεπώς και την οικονομικότητα λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου.

Για ένα δεδομένο ψυκτικό μέσο και συμπιεστή, όσο μικραίνει η θερμοκρασία ατμοποιήσεως τόσο μικραίνει και η πίεση του αντίστοιχου ατμού και συνεπώς και η πυκνότητά του. Επειδή η παροχή όγκου V' μένει σταθερή και η πυκνότητα του ατμού ρ ελαττώνεται, η παροχή μάζας m' η οποία είναι:

$$m' = \rho.V' \qquad (15)$$

ελατώνεται.

Με τις συνθήκες λοιπόν αυτές ο συμπιεστής προωθεί προς το συμπυκνωτή μικρότερη παροχή μάζας ψυκτικού μέσου και η ψυκτική ισχύς ελαττώνεται.

Επαναλαμβάνεται και πάλι ότι:

Ογκομετρική ψυκτική ικανότητα είναι η ψυκτική ικανότητα ανά μονάδα όγκου ατμού ψυκτικού μέσου.

Για τα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα και τις συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας οι τιμές της δίνονται στους Πίνακες 2.10.1, 2.10.2 και 2.10.3.

Στους Πίνακες 2.10.1 ως 2.10.3 φαίνεται πολύ καθαρά και η σημασία της υποψύξεως του συμπυκνώματος στην ψυκτική ικανότητα.

Όσο ισχυρότερη είναι η υπόψυξη, τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία εισόδου στη διάταξη στραγγαλισμού και τόσο μεγαλύτερη η ογκομετρική ψυκτική ικανότητα του ψυκτικού μέσου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.1.

Ογκομετρική ψυκτική ικανότητα ψυκτικού μέσου 717 (NH_3)

Μονάδες: [kcal/m³]

Θερμοκρασία ατμοποιήσεως °C	Θερμοκρασία στην είσοδο στρανγαλισμού [°C]																	Θερμοκρασία ατμοποιήσεως °C
	−30	−25	−20	−15	−10	−5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	
−70	34,2	33,6	33,0	32,4	31,8	31,2	30,6	30,0	29,4	28,7	28,1	27,5	26,8	26,2	25,6	24,9	24,2	−70
−67,5	40,6	39,9	39,2	38,5	37,8	37,0	36,3	35,6	34,9	34,1	33,4	32,6	31,9	31,1	30,3	29,6	28,8	−67,5
−65	48,0	47,2	46,4	45,5	44,7	43,8	43,0	42,1	41,3	40,4	39,5	39,6	37,8	36,9	35,9	35,0	34,1	−65
−62,5	56,6	55,6	54,6	53,7	52,7	51,7	50,7	49,7	48,7	47,6	46,6	45,6	44,5	43,5	42,4	41,3	40,2	−62,5
−60	66,5	65,4	64,2	63,1	61,9	60,8	59,6	58,4	57,2	56,0	54,8	53,6	52,4	51,1	49,9	48,6	47,4	−60
−57,5	77,5	76,2	74,9	73,5	72,2	70,9	69,5	68,1	66,7	65,4	64,0	62,5	61,1	59,7	58,2	56,8	55,3	−57,5
−55	90,2	88,6	87,1	85,5	84,0	82,4	80,8	79,2	77,6	76,0	74,4	72,8	71,1	69,5	67,8	66,1	64,4	−55
−52,5	104,5	102,7	100,9	99,1	97,3	95,5	93,7	91,9	90,0	88,2	86,3	84,4	82,5	80,6	78,6	76,7	74,7	−52,5
−50	120,7	118,7	116,6	114,6	112,5	110,4	108,3	106,2	104,1	101,9	99,8	97,6	95,4	93,2	91,0	88,7	86,4	−50
−47,5	138,6	136,3	134,0	131,6	129,2	126,8	124,4	122,0	119,6	117,2	114,7	112,2	109,7	107,2	104,6	102,0	99,4	−47,5
−45	158,9	156,4	153,8	151,1	148,4	145,7	142,9	140,1	137,3	134,4	131,5	128,6	125,7	122,8	119,9	117,0	114,0	−45
−42,5	181,5	178,5	175,4	172,3	169,2	166,1	163,0	159,9	156,8	153,6	150,4	147,1	143,8	140,5	137,2	133,8	130,4	−42,5
−40	206,9	203,4	200,0	196,5	192,9	189,4	185,9	182,3	178,7	175,1	171,4	167,7	164,0	160,3	156,5	152,7	148,8	−40
−37,5	234,6	230,7	226,8	222,8	218,8	214,8	210,8	206,8	202,8	198,8	194,6	190,4	186,2	182,0	177,7	173,4	169,1	−37,5
−35	265,5	261,1	256,7	252,2	247,7	243,2	238,7	234,1	229,5	224,9	220,3	215,6	210,8	206,1	201,2	196,4	191,5	−35
−32,5	299,4	294,4	289,4	284,4	279,4	274,3	269,2	264,1	259,0	253,8	248,6	243,4	238,1	232,7	227,2	221,7	216,2	−32,5
−30	337,0	331,4	325,8	320,2	314,5	308,8	303,1	297,4	291,6	285,8	279,9	274,0	268,0	262,0	255,9	249,7	243,5	−30
−27,5	—	371,8	365,5	359,2	352,9	346,5	340,1	333,7	327,3	320,8	314,2	307,6	300,9	294,2	287,4	280,5	273,5	−27,5
−25	—	416,2	409,2	402,1	395,1	388,0	380,9	373,7	366,4	359,2	351,8	344,4	337,0	329,4	321,8	314,2	306,4	−25
−22,5	—	—	456,7	448,9	441,0	433,1	425,2	417,2	409,2	401,2	393,0	384,7	376,4	368,1	359,7	351,1	342,4	−22,5
−20	—	—	508,8	500,1	491,4	482,6	473,8	464,9	456,0	447,0	437,9	428,8	419,5	410,2	400,8	391,3	381,8	−20
−17,5	—	—	—	555,7	546,0	536,3	526,5	516,7	506,9	496,9	486,9	476,8	466,5	456,2	445,8	435,4	424,7	−17,5
−15	—	—	—	616,3	605,6	594,9	584,1	573,2	562,1	551,2	540,1	528,9	517,6	506,1	494,6	483,0	471,3	−15
−12,5	—	—	—	—	670,0	658,1	646,2	634,3	622,3	610,1	597,8	585,5	573,0	560,0	547,7	534,9	521,9	−12,5
−10	—	—	—	—	740,1	727,0	713,8	700,6	687,3	673,9	660,3	646,7	633,0	619,0	605,0	590,9	576,7	−10
− 7,5	—	—	—	—	—	801,0	786,6	772,0	757,4	742,6	727,8	712,8	697,8	682,6	667,0	651,5	635,8	− 7,5
− 5	—	—	—	—	—	881,1	865,2	849,2	833,2	817,0	800,7	784,2	767,7	751,0	734,0	716,9	699,8	− 5
− 2,5	—	—	—	—	—	—	947,1	930,3	913,2	896,2	878,8	861,0	843,0	824,7	806,1	787,4	768,4	− 2,5
0	—	—	—	—	—	—	1040,8	1021,7	1002,5	983,1	963,5	943,8	924,0	903,9	883,7	863,3	842,7	0
+ 2,5	—	—	—	—	—	—	—	1117,7	1096,9	1075,7	1054,3	1032,8	1011,2	989,3	967,2	944,9	922,4	+ 2,5
+ 5	—	—	—	—	—	—	—	1220,8	1198,0	1175,0	1151,6	1128,2	1104,6	1080,7	1056,6	1032,3	1008,0	+ 5
+ 7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	1306,6	1281,5	1256,2	1230,7	1205,0	1179,0	1152,8	1126,4	1099,7	+ 7,5
+ 10	—	—	—	—	—	—	—	—	1422,9	1395,7	1368,2	1340,4	1312,5	1284,3	1255,7	1227,0	1198,1	+ 10

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.2.

Ογκομετρική ψυκτική ικανότητα ψυκτικού μέσου R12

Μονάδες: [kcal/m³]

Θερμοκρασία ατμοποιήσεως °C	Θερμοκρασία στην είσοδο στραγγαλισμου [°C]																	Θερμοκρασ ατμοποιήσ °C
	−30	−25	−20	−15	−10	−5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	
−70	31,36	30,44	29,51	28,56	27,60	26,64	25,65	24,66	23,6	22,6	21,6	20,5	19,5	—	—	—	—	−70
−65	42,60	41,36	40,13	38,86	37,57	36,28	34,96	33,63	32,3	30,9	29,5	28,1	26,7	—	—	—	—	−65
−60	56,98	55,35	53,72	52,05	50,36	48,65	46,92	45,17	43,4	41,6	39,7	37,9	36,0	—	—	—	—	−60
−55	75,09	72,98	70,87	68,70	66,51	64,30	62,05	59,78	57,5	55,1	52,7	50,3	47,9	—	—	—	—	−55
−50	97,59	94,89	92,19	89,41	86,61	83,78	80,90	78,00	75,0	72,0	69,0	65,9	62,8	—	—	—	—	−50
−45	125,2	121,8	118,4	114,9	111,4	107,8	104,2	100,5	96,8	93,0	89,1	85,2	81,3	—	—	—	—	−45
−40	158,9	154,6	150,4	146,0	141,6	137,1	132,6	128,0	123,3	118,6	113,8	108,9	104,0	99,1	—	—	—	−40
−35	199,6	194,3	189,1	183,6	178,2	172,6	167,0	161,3	155,5	149,7	143,7	137,8	131,7	125,5	—	—	—	−35
−30	247,8	241,4	234,9	228,3	221,6	214,8	207,9	201,0	193,9	186,7	179,5	172,2	164,7	157,2	149,6	—	—	−30
−27,5	—	267,7	260,6	253,3	245,9	238,5	230,9	223,3	215,7	207,8	199,8	191,7	183,5	175,1	166,7	—	—	−27,5
−25	—	296,9	289,1	281,1	273,0	264,8	256,4	248,0	239,4	230,7	221,9	213,1	204,1	195,0	178,7	176,3	—	−25
−22,5	—	—	319,9	311,1	302,1	293,2	284,0	274,8	265,1	255,6	245,9	236,2	226,3	216,5	206,4	196,0	—	−22,5
−20	—	—	352,8	343,2	333,4	323,6	313,6	303,4	293,1	282,7	272,1	261,4	250,6	239,7	228,5	217,3	206,0	−20
−17,5	—	—	—	378,6	368,0	357,2	346,2	335,1	323,6	312,2	300,6	288,9	277,1	265,3	253,1	240,8	228,4	−17,5
−15	—	—	—	416,1	4,404	392,7	380,7	368,6	356,4	343,9	331,2	318,5	305,6	292,4	279,2	265,7	252,2	−15
−12,5	—	—	—	—	444,5	431,6	418,6	405,4	391,7	378,0	364,3	350,4	336,3	322,4	307,9	293,2	278,5	−12,5
−10	—	—	—	—	487,5	473,5	459,3	444,9	430,2	415,3	400,4	385,3	369,9	354,5	338,8	322,8	306,8	−10
− 7,5	—	—	—	—	—	518,1	502,6	487,1	471,0	455,2	438,6	422,2	405,5	388,9	371,8	354,4	337,0	− 7,5
− 5	—	—	—	—	—	—	—	531,8	515,0	497,5	479,9	462,1	444,0	425,5	406,9	388,1	369,3	− 5
− 2,5	—	—	—	—	—	—	—	581,4	562,3	543,3	524,2	505,0	485,4	466,0	445,9	425,5	405,1	− 2,5
0	—	—	—	—	—	—	—	632,6	612,8	592,4	571,7	550,9	529,7	508,1	486,4	464,4	442,3	0
+ 2,5	—	—	—	—	—	—	—	688,6	667,0	644,9	622,6	600,1	577,3	554,1	530,7	506,9	483,0	+ 2,5
+ 5	—	—	—	—	—	—	—	749,4	725,5	701,6	677,6	653,3	628,6	604,1	578,8	553,1	527,4	+ 5
+ 7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	787,0	761,3	735,4	709,3	682,8	657,2	629,9	602,2	574,5	+ 7,5
+ 10	—	—	—	—	—	—	—	—	852,0	824,5	796,6	768,6	740,0	711,9	682,6	652,9	623,1	+ 10

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.3.

Ογκομετρική ψυκτική ικανότητα ψυκτικού μέσου R22

Μονάδες: [kcal/m³]

Θερμοκρασία ατμοποιήσεως °C	Θερμοκρασία στην είσοδο στραγγαλισμού [°C]																					
	−55	−50	−45	−40	−35	−30	−25	−20	−15	−10	−5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
−100	6,3	6,1	6,0	5,8	5,7	5,6	5,4	5,2	5,0	4,9	4,7	4,6	4,4	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
− 95	9,8	9,6	9,3	9,1	8,9	8,7	8,4	8,1	7,9	7,6	7,4	7,1	6,8	6,6	6,3	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,4	4,1
− 90	14,8	14,4	14,1	13,7	13,4	13,1	12,6	12,2	11,9	11,5	11,1	10,8	10,4	9,9	9,5	9,1	8,6	8,2	7,7	7,2	6,8	6,3
− 85	21,6	21,1	20,6	20,1	19,6	19,0	18,5	18,0	17,4	16,9	16,4	15,8	15,2	14,6	14,0	13,4	12,7	12,0	11,4	10,7	10,0	9,3
− 80	30,9	30,2	29,5	28,7	28,0	27,3	26,5	25,8	25,0	24,2	23,5	22,7	21,8	21,0	20,1	19,2	18,3	17,4	16,4	15,5	14,5	13,6
− 75	43,3	42,3	41,3	40,3	39,3	38,2	37,2	36,2	35,1	34,1	33,0	31,9	30,8	29,6	28,4	27,1	25,8	24,6	23,3	22,0	20,6	19,2
− 70	59,7	58,3	56,9	55,6	54,2	52,8	51,3	49,9	48,5	47,1	45,6	44,1	42,5	41,0	39,3	37,6	35,8	34,1	32,3	30,6	28,7	26,9
− 65	80,5	78,7	76,9	75,0	73,2	71,3	69,4	67,5	65,6	63,7	61,8	59,8	57,7	55,5	53,3	51,1	48,7	46,4	44,0	41,6	39,2	36,7
− 60	107	105	102	99,8	97,4	94,9	92,4	89,9	87,4	84,9	82,4	79,8	77,0	74,2	71,2	68,3	65,2	62,1	59,0	55,9	52,6	49,4
− 55	140	137	134	131	128	125	121	118	115	112	108	105	101	97,8	94,0	90,2	86,1	82,1	78,1	74,0	69,8	65,7
− 50	—	177	173	169	165	161	157	153	149	144	140	136	131	127	122	117	112	107	102	96,4	91,0	85,7
− 45	—	—	222	217	211	206	201	196	191	185	180	175	169	163	157	150	144	137	131	124	118	111
− 40	—	—	—	272	266	260	253	247	240	234	227	221	213	205	198	190	182	174	166	158	149	141
− 35	—	—	—	—	334	326	318	310	302	294	285	277	268	259	249	240	230	220	210	199	189	178
− 30	—	—	—	—	—	403	393	383	373	363	353	343	331	320	309	297	285	273	260	248	235	222
− 25	—	—	—	—	—	—	478	466	454	442	430	418	405	391	377	363	348	334	319	304	288	273
− 20	—	—	—	—	—	—	—	568	554	539	525	510	494	477	461	444	426	408	390	372	354	335
− 15	—	—	—	—	—	—	—	—	667	650	633	615	596	577	556	536	515	494	473	451	429	407
− 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	783	762	741	718	695	671	647	621	596	571	546	519	493
− 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	908	883	856	829	801	773	742	713	683	653	621	590
0												1049	1018	986	953	919	884	849	814	778	741	705
+ 5												—	1201	1164	1125	1086	1045	1004	963	922	878	836
+ 10												—	—	1369	1324	1278	1230	1183	1135	1086	1036	986
+ 15												—	—	—	1551	1499	1442	1388	1332	1276	1217	1160
+ 20													-	—	—	1744	1679	1616	1552	1487	1419	1353
+ 25												—	—	—	—	—	1949	1876	1802	1727	1650	1573
+ 30												—	—	—	—	—	—	2182	2097	2011	1921	1832
+ 35												—	—	—	—	—	—	--	2421	2321	2218	2117
+ 40												—	—	—	—	—	—	—	—	2659	2541	2425
+ 45												—	—	—	—	—	—	—	—	—	2926	2792
+ 50												—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3195

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

2.11 Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικών μέσων.

Για να γίνει σύγκριση της αποδόσεως των διαφόρων ψυκτικών μέσων πρέπει κατ' αρχήν να αποκλεισθεί η επέμβαση των μηχανικών ατελειών της εγκαταστάσεως. Έτσι η σύγκριση γίνεται με βάση το θεωρητικό ψυκτικό κύκλο ο οποίος χαράζεται στο διάγραμμα p - h κάθε ψυκτικού μέσου.

Για ομοιομορφία στη σύγκριση, πρέπει τα διάφορα ψυκτικά μέσα να εξετασθούν για το ίδιο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας ατμοποιήσεως και θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.

Επί πλέον η σύγκριση πρέπει να γίνει για την ίδια ψυκτική ισχύ για όλα τα εξεταζόμενα ψυκτικά μέσα.

Οι προϋποθέσεις λοιπόν συγκρίσεως της συμπεριφοράς των διαφόρων ψυκτικών μέσων είναι:

- Θεωρητικός κύκλος.
- Προκαθορισμένες θερμοκρασίες ατμοποιήσεως, συμπυκνώσεως.
- Προκαθορισμένη ψυκτική ισχύς.

Από τις συνθήκες αυτές προκύπτει ο Πίνακας 2.11.1. Αναφέρεται σε ψυκτική ισχύ ενός ψυκτικού τόννου (RT) όπου 1RT $\simeq$ 3,52 kW. Η σημαντικότερη στήλη στον πίνακα ίσως είναι η τρίτη από τα δεξιά όπου δίνεται η θεωρητική μηχανική ισχύς σε PS για την ψυκτική ισχύ του 1RT.

Στον Πίνακα 2.11.2 δίνονται αντίστοιχες τιμές για διαφορετικά ζεύγη θερμοκρασιών ατμοποιήσεως - συμπυκνώσεως. Τα ζεύγη αυτά αντιπροσωπεύουν διάφορες τυπικές εγκαταστάσεις ψύξεως.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11.1.

Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικών μέσων για παραγωγή ψυκτικής ισχύος 1 RT (3,52 kW)
Θερμοκρασία ατμοποιήσεως — 15°C (+ 5°F), θερμοκρασία συμπυκνώσεως + 30°C (86°F).

Ψυκτικό μέσο			Πίεση Ατμοποιήσεως $P_ψ$	Πίεση Συμπυκνώσεως $P_Σ$	Σχέση Συμπιέσεως (Λόγος όγκ.)	Ψυκτική ικανότητα	Παροχή μάζας ψυκτικ. μέσου	Παροχή ψυκτικ. υγρού	Ειδικ. όγκος αναρροφ. ατμού	Εκτοπιζόμ. όγκος από συμπιεστή	Μηχανική ισχύς συμπίεσεως	Θεωρ. συντελ. συμπεριφοράς CP $_{th}$	Τελική θερμοκρασία συμπιέσεως
Σύμβολο	Ονομασία	Χημικός Τύπος	atü	atü	—	kJ/kg	kg/min	l/min	l/kg	m³/h	PS	—	°C
170	Αιθάνιο	CH_3CH_3	15,5	46,5	2,86	136,3	1,55	5,62	33,1	3,10	1,98	2,41	50,0
744A	Οξείδιο Αζώτου	N_2O	20,7	64,8	3,03	198,1	1,06	1,17	17,5	1,12	1,33	3,60	—
744	Διοξείδιο Άνθρακα	CO_2	22,3	72,5	3,15	129,0	1,64	2,74	16,8	1,63	1,87	2,56	66,1
13B1	Βρωμοτριφθοριομεθάνιο	$CBr F_3$	4,4	17,3	3,36	68,1	3,11	2,03	23,7	4,47	1,044	4,25	51,1
1270	Προπυλένιο	$CH_3CH = CH_2$	2,6	11,7	3,51	402,3	0,50	1,01	162,9	5,15	1,06	4,51	42,2
290	Προπάνιο	$CH_3CH_2CH_3$	1,9	9,9	3,70	281,4	0,75	1,54	154,8	6,95	1,044	4,58	36,1
502	22/115 Αζεοτροπικό μίγμα	—	2,5	12,3	3,75	106,3	1,99	1,63	51,2	6,13	1,094	4,37	37,2
22	Χλωροδιφθοριομεθάνιο	$CHClF_2$	2,0	11,1	4,03	162,8	1,30	1,10	77,4	6,03	1,025	4,66	53,3
115*	Χλωροπενταφθοραιθάνιο	$CClF_2CF_3$	1,7	9,5	3,89	67,7	3,12	2,47	48,1	9,00	1,186	4,02	30,0
717	Αμμωνία	NH_3	1,4	10,9	4,94	1103,3	0,191	0,32	508,8	5,84	1,002	4,76	98,9
500	12/152α Αζεοτροπικό μίγμα	—	1,2	7,9	4,12	141,0	1,50	1,32	93,6	8,41	1,024	4,65	40,6
12	Διχλωροδιφθοριομεθάνιο	CCl_2F_2	0,8	6,6	4,08	116,3	1,81	1,40	91,1	9,90	1,016	4,70	38,3
40	Μεθυλοχλωρίδιο	CH_3Cl	0,46	5,6	4,48	349,3	0,60	0,67	279,1	10,11	0,975	4,90	77,8
600α	Ισοβουτάνιο	$CH(CH_3)_3$	− 0,11	3,1	4,54	259,3	0,81	1,49	400,2	19,53	1,098	4,36	26,7
764	Διοξείδιο θείου	SO_2	− 0,20	3,6	5,63	328,9	0,64	0,44	400,8	15,44	0,981	4,87	88,3
630	Μεθυλαμίνη	CH_3NH_2	− 0,34	3,3	6,13	707,0	0,30	0,46	970,1	17,38	0,992	4,81	—
600	Βουτάνιο	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	− 0,46	1,9	5,07	299,1	0,71	1,24	623,0	26,37	0,966	4,95	31,1
114*	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	$CClF_2CClF_2$	− 0,55	1,5	5,42	100,3	2,10	1,46	271	34,24	1.064	4,49	30,0
21	Διχλωροφθοριομεθάνιο	$CHCl_2F$	− 0,66	1,2	5,96	208,1	1,02	0,75	570	34,71	0,954	5,01	61,1
160	Αιθυλικό Χλώριο	CH_3CH_2Cl	− 0,71	0,87	5,83	331,0	0,66	0,75	1065	42,17	0,919	5,21	41,1
631	Αιθυλαμίνη	$C_2H_5NH_2$	− 0,80	0,70	7,40	524,4	0,40	5,72	2017	65,70	0,867	5,52	—
11	Τριχλωροφθοριομεθάνιο	CCl_3F	− 0,83	0,25	6,19	155,3	1,36	0,93	762	62,08	0,951	5,03	43,9
610	Διαιθυλαιθήρας	$C_2H_2OC_2H_5$	− 0,93	−0,17	8,20	293,7	0,72	1,03	2185	94,13	0,833	5,74	—
30	Μεθυλενοχλωρίδιο	CH_2Cl_2	− 0,95	−0,33	8,60	313,0	0,68	0,51	3115	126,2	0,976	4,90	96,1
113*	Τριχλωροτριφθοραιθάνιο	CCl_2FCClF_2	0,96	−0,48	8,02	124,9	1,69	1,09	1709	173,3	0,986	4,84	30,0
1130	Διχλωραιθυλένιο	$CHCl = CHCl$	− 0,98	−0,55	8,42	265,8	0,79	0,63	3970	188,9	0,986	4,83	—
1120	Τριχλωραιθυλένιο	$CHCl = CCl_2$	− 1,02	−0,90	11,65	213,3	0,99	0,68	4321	852,9	0,994	4,82	

* Για τα ψυκτικά μέσα 113, 114 και 115 υποτίθεται ελαφρώς υπέρθερμος ατμός στην αναρρόφηση του συμπιεστή ώστε στην έξοδό του να προκύπτει ακριβώς κεκορεσμένος ατμός.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11.2.

Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικών μέσων για παραγωγή ψυκτικής ισχύος 1 RT (3,52 kW), με διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως.

Ψυκτικό μέσο		Θερμοκρασία αναρροφήσεως συμπιεστή	Πίεση ατμοποιήσεως	Πίεση συμπυκνώσεως	Σχέση συμπιέσεως (Λόγος όγκων)	Ψυκτική ικανότητα	Παροχή μάζας ψυκτικού μέσου	Ειδικός όγκος ατμού	Εκτοπιζόμενος όγκος από συμπιεστή	Μηχανική ισχύς συμπιέσεως
Σύμβολο	Ονομασία	°C	atü	atü	–	kJ/kg	kg/min	*l*/kg	m^3/h	PS
A. – 90°C Ατμοποίηση, – 40°C Συμπύκνωση										
1150	Αιθυλένιο	–90	1,14	13,8	6,8	328,8	0,644	232,2	8,95	–
744A	Οξείδιο Αζώτου N_2O	–90	–0,03	8,6	9,6	303,5	0,694	362,1	15,10	–
170	Αιθάνιο	–90	–0,08	6,9	8,3	360,7	0,585	509,4	17,87	1,62
13	Μονοχλωροτριφθορομεθάνιο	–90	– 0,39	5,1	9,6	106,5	1,980	225,1	26,74	1,70
B. – 73,3°C Ατμοποίηση, – 22°C Συμπύκνωση										
170	Αιθάνιο	– 73,3	1,17	8,5	4,3	357,7	0,590	241,6	8,55	1,55
13	Μονοχλωροτριφθορομεθάνιο	–73,3	0,53	6,4	4,8	108	1,955	97,4	11,46	1,15
22	Μονοχλωροδιφθορομεθάνιο	–73,3	–0,86	3,4	8,2	211,2	0,998	1150,6	68,96	1,08
C. – 60°C Ατμοποίηση – 15°C Συμπύκνωση										
1150	Αιθυλένιο	– 60	6,68	28,1	3,8	268	0,789	71,2	3,36	–
744A	Οξείδιο Αζώτου N_2O	–60	3,50	20,7	4,8	270,7	0,780	82,4	3,86	1,62
170	Αιθάνιο	–60	2,84	15,5	4,3	304,9	0,694	143,6	5,96	1,32
13	Χλωροτριφθομεθάνιο	–60	1,84	12,5	4,7	92,1	2,291	55,6	7,65	1,36
13B1	Βρωμοτριφθορομεθάνιο	–60	–0,13	4,4	6,0	109,3	1,928	120,5	13,93	–
290	Προπάνιο	–60	–0,60	1,9	6,8	340,5	0,621	923,9	34,35	1,13
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	–60	– 0,65	2,0	7,9	196,3	1,075	536,9	34,63	1,20
717	Αμμωνία	–60	–0,81	1,4	10,7	1240,7	0,168	4700,9	47,99	1,26
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	–60	–0,80	0,83	8,1	137,9	1,529	638,0	58,55	1,19

Συνεχίζεται

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11.2.

Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικών μέσων για παραγωγή ψυκτικής ισχύος 1 RT (3,52 kW), με διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως.

Ψυκτικό μέσο		Θερμοκρασία αναρροφήσεως συμπιεστή	Πίεση ατμοποιήσεως	Πίεση συμπυκνώσεως	Σχέση συμπιέσεως (Λόγος όγκων)	Ψυκτική ικανότητα	Παροχή μάζας ψυκτικού μέσου	Ειδικός όγκος ατμού	Εκτοπιζόμενος όγκος από συμπιεστή	Μηχανική ισχύς συμπιέσεως
Σύμβολο	Ονομασία	°C	atü	atü	–	kJ/kg	kg/min	*l*/kg	m³/h	PS
D. –40°C Ατμοποίηση, 20°C Συμπύκνωση										
744	Διοξείδιο Άνθρακα	–40	9,22	57,4	5,7	176,5	1,197	38,1	2,74	–
13B1	Βρωμοτριφθορομεθάνιο	–40	1,24	13,6	6,5	70,5	2,994	54,9	9,88	–
290	Προπάνιο	–40	0,11	7,7	7,6	278,4	0,757	382,7	17,40	–
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	–40	0,03	8,2	8,7	164,4	1,284	206,0	15,83	1,59
717	Αμμωνία	–40	–0,30	7,7	11,9	1114,7	0,191	1552,1	17,64	1,62
500	12/152α Αζεοτροπικό Μίγμα	–40	–0,26	5,8	8,9	139,5	1,510	249,1	22,60	1,57
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	–40	–0,38	4,8	8,8	114,7	1,842	242,2	26,69	1,58
E. – 23°C Ατμοποίηση, + 37,8°C Συμπύκνωση										
11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	–23,3	–0,90	6,2	12,2	144,4	1,460	1128,7	98,98	1,42
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	–23,3	–0,79	1,8	11,6	195,3	1,080	838,4	54,30	1,42
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	–15,0	–0,71	2,2	10,2	87,4	2,409	393,9	56,95	1,67
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	–23,3	0,32	8,2	6,9	104,9	2,009	123,0	14,85	1,55
717	Αμμωνία	–23,3	0,63	13,9	8,9	1054,2	0,200	717,9	8,61	1,51
115	Χλωροπενταφθοραιθάνιο	–11,1	0,96	11,8	6,5	54,7	3,865	64,9	15,10	2,14
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	–23,3	1,16	13,8	6,8	149,3	1,415	104,9	8,90	1,56
502	22/115 Αζεοτροπικό Μίγμα	–23,3	1,60	15,1	6,1	92,1	2,295	68,7	9,45	1,74
F. – 23,3°C Ατμοποίηση, + 37,8°C Συμπύκνωση										
11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	+ 18,3	–0,90	6,2	12,2	144,4	1,461	1322,9	115,98	1,65
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	+18,3	–0,79	1,8	11,6	195,3	1,080	447,0	64,61	1,66
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	+18,3	–0,71	2,2	10,2	87,4	2,409	394,0	56,97	1,89
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	+18,3	0,32	8,2	6,9	104,9	2,009	147,3	17,74	1,82
717	Αμμωνία	+18,3	0,63	13,9	8,9	1054,2	0,200	854,0	10,23	1,77
115	Χλωροπενταφθοραιθάνιο	+18,3	0,96	11,8	6,5	54,7	3,865	75,5	17,50	2,55
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	+18,3	1,16	13,8	6,8	149,3	1,415	126,1	10,67	1,88
502	22/115 Αζεοτροπικό Μίγμα	+18,3	1,60	15,1	6,1	92,1	2,295	82,4	11,32	2,15

G. — 23,3°C Ατμοποίηση, με ψυκτική ισχύ ως + 18,3°, + 37,8°C, Συμπύκνωση										
11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	18,3	−0,90	6,2	12,2	167,2	1,261	1322,9	100,17	1,42
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	18,3	−0,79	1,8	11,6	218,1	0,966	980,8	57,00	1,48
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	18,3	−0,71	2,2	10,2	113,7	1,855	447,0	49,68	1,46
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	18,3	0,32	8,2	6,9	130,0	1,624	147,3	14,34	1,51
717	Αμμωνία	18,3	0,63	13,9	8,9	1149,3	0,181	854,0	9,41	1,63
115	Χλωροπενταφθοραιθάνιο	18,3	0,96	11,8	6,5	84,7	2,495	75,5	11,32	1,65
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	18,3	1,16	13,8	6,8	176,6	1,193	126,1	9,02	1,58
502	22/115 Αζοτροπικό Μίγμα	18,3	1,60	15,1	6,1	120,0	1,755	82,4	8,67	1,63
H. — 6,7°C Ατμοποίηση, + 26,7°C Συμπύκνωση										
290	Προπάνιο	−6,7	2,87	9,0	2,6	300,2	0,703	118,6	5,00	—
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	−6,7	3,02	10,1	2,7	170,5	1,238	58,7	4,35	0,70
717	Αμμωνία	−6,7	2,36	9,7	3,2	1129,8	0,186	369,0	4,13	0,68
500	12/152α Αζεοτροπικό Μίγμα	−6,7	1,92	7,2	2,8	149,1	1,415	70,5	5,98	0,69
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	−6,7	1,48	5,9	2,8	123,3	1,710	68,7	7,05	0,69
40	Μεθυλοχλωρίδιο	−6,7	1,02	5,0	3,0	359,3	0,585	206,6	7,29	0,67
600α	Ισοβουτάνιο	−6,7	0,25	2,8	3,0	277,9	0,757	292,2	13,30	—
764	Διοξείδιο θείου	−6,7	0,18	3,2	3,5	336,1	0,626	280,3	10,55	—
600	Βουτάνιο	−6,7	−0,22	1,6	3,2	317,7	0,662	451,4	18,00	—
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	−1,1	−0,35	1,3	3,54	108,4	1.946	192,3	22,41	0,71
I. + 4,4°C Ατμοποίηση, + 37,8°C Συμπύκνωση										
290	Προπάνιο	+4,4	4,45	12,1	2,4	282,6	0,748	85,5	3,82	—
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	+4,4	4,81	13,7	2,5	160,3	1,315	41,2	3,25	0,69
717	Αμμωνία	+4,4	4,12	13,9	2,9	1087,9	0,195	247,8	2,89	0,66
500	12/152α Αζεοτροπικό Μίγμα	+4,4	3,24	9,9	2,6	141,0	1,497	49,3	4,43	0,68
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	+4,4	2,60	8,2	2,6	117,0	1,800	48,1	5,22	0,67
40	Μεθυλοχλωρίδιο	+4,4	2,01	7,2	2,7	346,7	0,608	143,0	5,22	0,64
600α	Ισοβουτάνιο	+4,4	0,86	4,1	3,7	258,1	0,816	201,0	9,85	—
764	Διοξείδιο θείου	+4,4	0,87	4,9	3,1	315,1	0,671	180,4	7,24	—
600	Βουτάνιο	+4,4	0,21	2,6	2,9	306,6	0,690	297,8	12,30	—
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	+11,1	0,03	2,2	3,0	104,0	2,032	127,4	15,55	0,91
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	4,4	−0,17	1,8	3,2	209,3	1,007	257,8	15,58	0,64
11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	4,4	−0,54	0,6	3,3	158,4	1,334	339,0	27,10	0,63
30	Μεθυλενοχλωρίδιο	4,4	−0,80	−0,10	3,9	311,6	0,676	1161,2	47,16	—
113	Τριχλωροτριφθοραιθάνιο	8,3	−0,85	−0,30	4,0	129,6	1,628	677,4	66,18	0,66
718	Νερό	4,4	−1,03	−0,97	7,8	2350,6	0,091	152638,0	821,99	—

2.12 Πεδία εφαρμογής ψυκτικών μέσων.

Από την πληθώρα ψυκτικών μέσων τα οποία υπάρχουν για τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές, χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά ορισμένα από αυτά.

Στην παράγραφο αυτή εξετάζονται ακριβώς αυτά τα πεδία εφαρμογής των ψυκτικών μέσων τα οποία από θερμοδυναμικής απόψεως έχουν ήδη περιγραφεί.

Στην περιοχή των κοινών ψυκτικών εγκαταστάσεων υπάγονται οι εγκαταστάσεις οι οποίες παράγουν ψυκτική ισχύ σε θερμοκρασίες ατμοποιήσεως ψυκτικού μέσου, μέχρι και — 100°C.

Για περιοχές εφαρμογής με θερμοκρασίες παραγωγής ψυκτικής ισχύος κάτω από — 100°C, υπάρχει ειδικός κλάδος της Τεχνολογίας της Ψύξεως που τις μελετά. Αυτή ονομάζεται ***Κρυογεννετική*** (Cryogenics).

Η περιοχή θερμοκρασιών μεταξύ — 50°C και — 100°C χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε εφαρμογές χημικών βιομηχανιών και σε υγροποίηση φυσικών αερίων. Για να εξυπηρετηθεί η περιοχή αυτή ειναι ανάγκη να χρησιμοποιηθούν ***διβάθμιες*** εγκαταστάσεις. Οι εγκαταστάσεις αυτές περιλαμβάνουν στην ουσία δυο ψυκτικές εγκαταστάσεις. Η πρώτη λειτουργεί μεταξύ της χαμηλής θερμοκρασίας και μιας ενδιάμεσης, π.χ. — 10°C στην οποία γίνεται η συμπύκνωση. Η θερμότητα συμπυκνώσεως της πρώτης εγκαταστάσεως είναι η ψυκτική ισχύς της δεύτερης η οποία λειτουργεί, π.χ. μεταξύ — 10°C και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η διβάθμια εγκατάσταση χρησιμοποιείται, γιατί είναι αδύνατη η λειτουργία με μονοβάθμια εγκατάσταση σε μια τόσο μεγάλη διαφορά θερμοκρασιών και πιέσεων.

Οι περισσότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν σε θερμοκρασίες πάνω από — 50°C και μπορούν να είναι μονοβάθμιες. Για τις χαμηλότερες όμως θερμοκρασίες (— 50° ως — 30°C) πολλές φορές η εγκατάσταση διβάθμιας διατάξεως δίνει οικονομικότερα αποτελέσματα.

Τα πιο συνηθισμένα ψυκτικά μέσα είναι τα παρακάτω και χρησιμοποιούνται ως εξής:

1) ***R12.*** Έχει τη μεγαλύτερη εφαρμογή από όλα τα παράγωγα της σειράς μεθανίου - αιθανίου. Χρησιμοποιείται στα οικιακά ψυγεία, στα μικρά και μεσαία επαγγελματικά ψυγεία, στις μικρές αυτόνομες κλιματιστικές συσκευές και μονάδες και στις κλιματιστικές συσκευές οχημάτων.

2) ***NH_3***. Χρησιμοποιείται σε μεσαίες, μεγάλες και πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις. Είναι πολύ φθηνό ψυκτικό μέσο και επειδή έχει μεγάλη ψυκτική ικανότητα απαιτεί μικρότερες διαστάσεις σωληνώσεων, συσκευών κλπ. Λόγω της τοξικότητας την οποία έχει δεν χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα.

3) ***R22.*** Χρησιμοποιείται για επίτευξη «χαμηλών θερμοκρασιών» (— 20°C ως — 40°C) αντί για το R12 το οποίο στην περιοχή αυτή έχει χαμηλές πιέσεις. Πολλές φορές αντικαθιστά το R12 για αύξηση της ψυκτικής ισχύος (έχει ογκομετρική ψυκτική ικανότητα 60% περίπου μεγαλύτερη από το R12) της υπάρχουσας εγκαταστάσεως, αν η μηχανική αντοχή το επιτρέπει. Φυσικά απαιτείται κινητήρας με μεγαλύτερη ισχύ και ιδιαίτερη προσοχή στη συμπεριφορά του με το λάδι λιπάνσεως.

4) ***R13.*** Χρησιμοποιείται για εγκαταστάσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Συνήθως χρησιμοποιείται στη βαθμίδα χαμηλών θερμοκρασιών διβαθμίων ή πολυβαθμίων εγκαταστάσεων. Πρέπει να προσέχομε όταν η εγκατάσταση δεν λειτουργεί, γιατί αναπτύσσονται υψηλές πιέσεις.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

5) ***R114.*** Λόγω της μικρής ογκομετρικής ψυκτικής ικανότητας είναι κατάλληλο (όπως και το R113) για φυγοκεντρικούς συμπιεστές όπου απαιτούνται μεγάλες παροχές όγκου για ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως συμπιεστή.

Ειδικότερα για φυγοκεντρικούς συμπιεστές τα ψυκτικά μέσα είναι συνήθως τα R11, R113 και R114 και η επιλογή από αυτά γίνεται ανάλογα με τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

Για χαμηλές θερμοκρασίες (– 30°C) χρησιμοποιείται συχνά και το αζεοτροπικό μίγμα R502 το οποίο προέρχεται από ανάμιξη R22 (48,8%) και R115 (51,2%). Το μίγμα χρησιμοποιείται, γιατί έχει ψυκτική ικανότητα καλύτερη από την ψυκτική ικανότητα των δύο συνιστωσών.

Οι ιδιότητες των ψυκτικών μέσων που αναφέρθηκαν προκύπτουν λεπτομερώς από τον Πίνακα 2.11.2 όπου γίνεται σύγκριση της αποδόσεως των διαφόρων ψυκτικών μέσων.

Εκτός από τις ιδιότητες του πίνακα αυτού βασικό ρόλο στη συμπεριφορά του ψυκτικού μέσου σε κάθε εγκατάσταση, παίζει και η συνεργασία του με το λάδι λιπάνσεως.

2.13 Επιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας.

Για να λειτουργεί ικανοποιητικά μια ψυκτική εγκατάσταση πρέπει το ψυκτικό μέσο να περιέχει όσο το δυνατόν μικρότερα ποσά από ίχνη υγρασίας.

Κατά την κατασκευή και εγκατάσταση των ψυκτικών διατάξεων λαμβάνεται πάντοτε πρόνοια για την κατάλληλη αφαίρεση της υγρασίας πριν από την τοποθέτηση του ψυκτικού μέσου που και αυτό επίσης πρέπει να είναι απαλλαγμένο από υγρασία. Όμως η υγρασία τελικά φθάνει μέσα στο ψυκτικό μέσο από τον αέρα της ατμόσφαιρας.

Οι λόγοι που η υγρασία φθάνει τελικά στο ψυκτικό μέσο είναι:

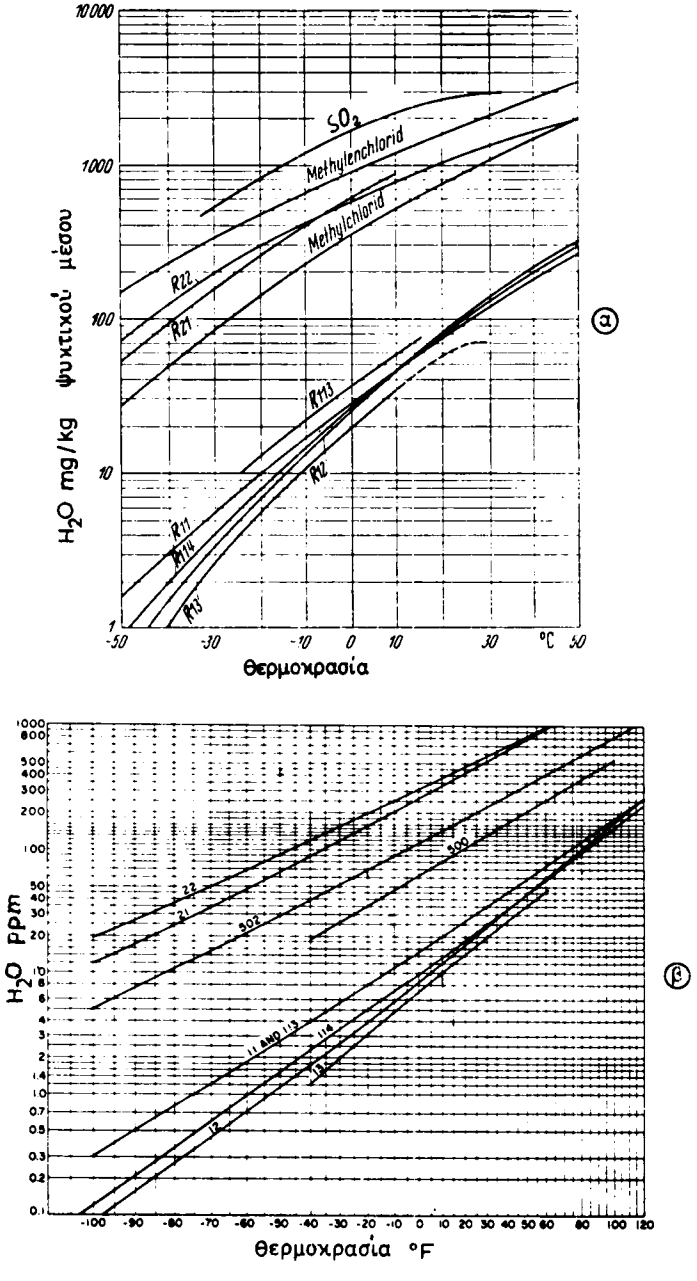
- Ανεπαρκής ξήρανση εσωτερικού συσκευών.
- Εισαγωγή κατά την κατασκευή της εγκαταστάσεως στο εργοτάξιο.
- Διαρροή στο τμήμα χαμηλής πιέσεως και ενδεχόμενη είσοδος αέρα (όταν η πίεση ατμοποιήσεως είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική).
- Διαρροή σε υδρόψυκτο συμπυκνωτή.
- Παραγωγή υδρατμού από χημική διάσπαση ψυκτικού μέσου και λαδιού.
- Υγρασία στό λάδι λιπάνσεως ή το ψυκτικό μέσο πριν από την τοποθέτηση στη διάταξη.
- Διάσπαση της κυτταρίνης η οποία χρησιμοποιείται ως μονωτικό ηλεκτροκινητήρα.

Η υγρασία είναι ανεπιθύμητη, γιατί προκαλεί σοβαρές φθορές και σε μεγαλύτερες ποσότητες ακόμη και διακοπή λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Οι φθορές προέρχονται από οξείδωση των μετάλλων, από επιχάλκωση, η οποία γίνεται λόγω φθοράς της χάλκινης επιφάνειας (κυρίως σύρμα ηλεκτρικού τυλίγματος κινητήρων) και επικαθήσεως σε μη χάλκινες μεταλλικές επιφάνειες και από χημική βλάβη του υλικού ηλεκτρικής μονώσεως του τυλίγματος των ηλεκτροκινητήρων.

Η διακοπή λειτουργίας προκαλείται από το σχηματισμό πάγου στη στένωση της διατάξεως στραγγαλισμού η οποία αποφράσσει τη ροή του ψυκτικού μέσου.

Για να μην εμφανίζονται οι δυσκολίες αυτές θα πρέπει το ψυκτικό μέσο να δια-

λύει μεγάλες ποσότητες υγρασίες σε όλες τις θερμοκρασίες. Όμως το μόνο ψυκτικό μέσο που διαλύει τεράστιες ποσότητες υγρασίας είναι η αμμωνία (NH_3). Τα άλλα διαλύουν μόνο ίχνη υγρασίας (σχ. 2.13α).



Σχ. 2.13α.
Διαλυτότητα υγρασίας (H_2O) σε υγρό ψυκτικό μέσο. α) Θερμοκρασίες °C. β) Θερμοκρασίες °F.

Η ποσότητα H_2O δίνεται και στα δύο διαγράμματα με την ίδια μονάδα μετρήσεως, γιατί ppm (parts per million) σημαίνει «μέρη στο εκατομμύριο», δηλαδή είναι το ίδιο με mg/kg.

Από τα σχήματα αυτά φαίνεται αμέσως η διαφορά ανάμεσα στα ψυκτικά μέσα R12 και R22 και η υπεροχή του R22.

Οι ακριβείς τιμές της διαλυτότητας H_2O στα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα στην υγρή φάση δίνονται στον Πίνακα 2.13.1.

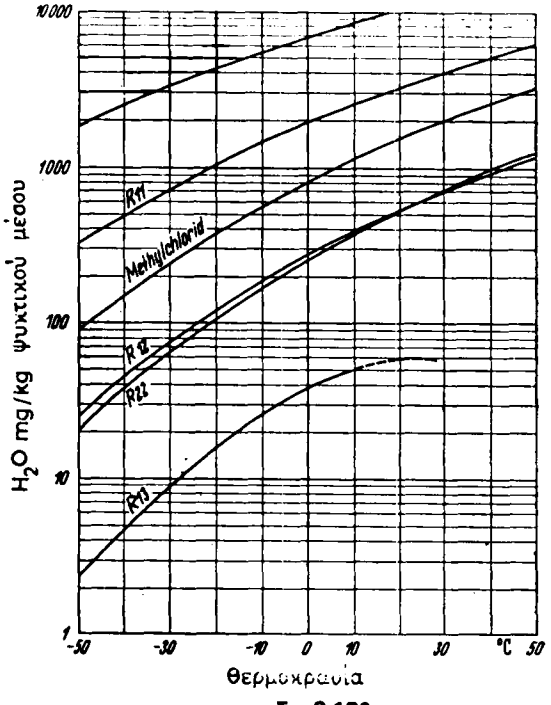
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13.1.
Διαλυτότητα του H_2O σε ψυκτικά μέσα

Θερμοκρασία °F	Ψυκτικό μέσο								Θερμοκρασία °C
	11	12	13	21	22	113	114	502	
160	460	700	—	4700	4100	460	450	1780	71.1
150	400	560	—	4200	3600	400	380	1580	65.6
140	340	440	—	3600	3150	344	320	1400	60.0
130	290	350	—	3200	2750	290	270	1220	54.4
120	240	270	—	2700	2400	240	220	1080	48.9
110	200	210	—	2350	2100	200	180	930	43.3
100	168	165	—	1980	1800	168	148	810	37.8
90	140	128	—	1700	1580	140	120	690	32.2
80	113	98	—	1410	1350	113	95	580	26.7
70	90	76	—	1150	1140	90	74	490	21.1
60	70	58	44	960	970	70	57	400	15.6
50	55	44	—	800	830	55	44	335	10.0
40	44	32	26	645	690	44	33	278	4.4
30	34	23.3	—	512	573	34	25	225	−1.1
20	26	16.6	14	398	472	26	18	180	−6.7
10	20	11.8	—	314	384	20	13	146	−12.2
0	15	8.3	7	260	308	15	10	115	−17.8
−10	11	5.7	—	205	244	11	7	90	−23.3
−20	8	3.8	3	158	195	8	5	69	−28.9
−30	6	2.5	—	118	152	6	3	53	−34.4
−40	4	1.7	1	90	120	—	2	40	−40.0
−50	3	1.1	—	66	91	—	1.5	30	−45.6
−60	2	0.7	—	49	68	—	1	22	−51.1
−70	1	0.4	—	35	50	—	0.6	16	−56.7
−80	0.8	0.3	—	25	37	—	0.4	11	−62.2
−90	0.5	0.1	—	17	27	—	0.2	8	−67.8
−100	0.3	0.1	—	12	19	—	0.1	5	−73.3

Όταν τα ψυκτικά μέσα είναι σε μορφή ατμού μπορεί να περιέχουν περισσότερη ή λιγότερη υγρασία από την αντίστοιχη υγρή φάση ανάλογα με το είδος του ψυκτικού μέσου. Στο σχήμα 2.13β φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές για συνηθισμένα ψυκτικά μέσα.

Από τη σύγκριση των σχημάτων 2.13α και 2.13β φαίνεται πόσο αλλάζουν οι τιμές από την υγρή στη φάση του ατμού. Ακριβώς τη μεταβολή αυτή δίνει και ο Πίνακας 2.13.2. Το ψυκτικό μέσο R12 π.χ. όταν είναι ατμός, μπορεί να έχει δεκαπλάσια περίπου ποσότητα υγρασίας από το αντίστοιχο υγρό. Αντίθετα το R22 όταν είναι ατμός, μπορεί να περιέχει μόνο το 1/3 περίπου από την περιεκτικότητα του υγρού.

Οι απαιτήσεις για την καθαρότητα του ψυκτικού μέσου μιας ψυκτικής εγκατα-



Σχ. 2.13β.
Μέγιστη περιεκτικότητα υγρασίας σε ατμούς ψυκτικών μέσων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13.2.
Περιεκτικότητα H_2O στο υγρό. Περιεκτικότητα H_2 στον ατμό

Θερμοκρασία °F	Ψυκτικό μέσο						Θερμοκρασία °C
	11	12	22	113	114	502	
−40	—	17.1	0.203	—	52.2	0.40	−40
−20	71.0	15.3	.251	172.6	37.4	0.47	−28.9
0	62.4	13.1	.301	140.9	32.1	0.53	−17.8
20	57.9	11.9	.351	120.7	29.5	0.61	−6.7
30	—	11.2	0.378	111.4	26.9	0.65	−1.1
40	50.5	9.89	.390	99.3	24.7	0.66	4.4
50	—	9.0	.391	89.3	21.7	0.66	10.0
60	43.1	8.2	.401	79.0	19.7	0.66	15.6
70	—	7.5	0.404	68.6	17.6	0.66	21.1
80	34.8	6.3	.405	61.4	16.0	0.65	26.7
90	—	6.1	.397	54.6	14.4	0.64	32.2
100	30.1	5.5	.400	50.2	13.3	0.63	37.8

στάσεως κυμαίνονται ανάλογα με το μέγεθος και το είδος της. Παλιότερα για ψυκτικό R12 οι προδιαγραφόμενες τιμές ήταν μεταξύ 20 και 25 περίπου mgH_2O/kg R12. Οι σημερινές ανεκτές τιμές υγρασίας ως μέσος όρος από μετρήσεις που έγιναν σε πολλές εγκαταστάσεις δίνονται στον Πίνακα 2.13.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13.3.
Ανεκτές τιμές υγρασίας ψυκτικού μέσου για διάφορες εφαρμογές.

Ειδος εφαρμογής	ppm Μέγιστη ανεκτή υγρασία		
	R12	R22	R502
Οικιακά ψυγεία και καταψύκτες Ψυγεία βιτρίνες Βιτρίνες κατεψυγμένων	10*	50 - 100	25
Κλιματιστικές	15	50 - 200	–
Κλιματιστικές παραθύρου και αυτόνομες	20	50 - 150	–
Κλιματιστικές αυτοκινήτων	60	–	–

* ή χαμηλότερα για εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών.

Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία ατμοποιήσεως, τόσο λιγότερη υγρασία επιτρέπεται στο ψυκτικό μέσο (σχ. 2.13α και 2.13β).

Τα ψυκτικά μέσα τα οποία προμηθεύουν οι κατασκευάστριες εταιρίες περιέχουν ίχνη υγρασίας. Τα ανεκτά όρια για αυτά είναι θέμα προδιαγραφών οι οποίες δεν είναι πάντοτε οι ίδιες. Όσο όμως λιγότερη υγρασία περιέχουν τόσο καλύτερα είναι.

Για τον έλεγχο της υγρασίας μέσα στις ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ειδικοί δείκτες οι οποίοι βρέχονται από το ψυκτικό μέσο. Οι δείκτες είναι πίσω από ένα μικρό γυάλινο πώμα μέσα στο κύκλωμα του ψυκτικού μέσου και αλλάζουν χρώμα όταν η υγρασία υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο. Συνήθως μέσα στις εγκαταστάσεις τοποθετούνται και ξηραντήρες οι οποίοι απομακρύνουν την υγρασία από το ψυκτικό μέσο και την κατακρατούν δια προσροφήσεως. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους ξηραντήρες είναι το silica gell, ο ζεόλιθος και ενεργοποιημένη alumina.

2.14 Συνεργασία με λάδι λιπάνσεως.

Το λάδι είναι απαραίτητο στη λειτουργία του συμπιεστή για τη μείωση των μηχανικών τριβών. Επειδή ενδιαφέρει κυρίως η λίπανση της περιστρεφόμενης ατράκτου (ή στροφαλοφόρου άξονα) και της επιφάνειας του κυλίνδρου, το λάδι έρχεται οπωσδήποτε σε επαφή με το ψυκτικό μέσο. Η διαλυτότητα με το ψυκτικό μέσο είναι μια επιθυμητή ιδιότητα η οποία όμως δεν εξασφαλίζεται σε όλες τις θερμοκρασίες του κύκλου και για όλα τα ψυκτικά μέσα.

Το λάδι στις ψυκτικές εγκαταστάσεις πρέπει να εκπληρώνει και άλλες απαιτήσεις εκτός από την επιθυμητή λίπανση. Πρέπει, μέσα από την ελαιολεκάνη, να απάγει θερμότητα προς το κέλυφος του συμπιεστή, να επιφέρει απόσβεση στον παραγόμενο ήχο, να έχει ηλεκτρική μονωτική ικανότητα και να παραμένει λεπτόρευστο στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Το θέμα της επιλογής του κατάλληλου λαδιού είναι θέμα της εταιρίας που κατα-

σκευάζει το συμπιεστή και πρέπει να ακολουθούνται κατά γράμμα οι παρεχόμενες από αυτήν οδηγίες. Για μεγάλες εγκαταστάσεις το πρόβλημα γίνεται περισσότερο έντονο, γιατί πρέπει να ληφθούν υπ' όψη οι σωληνώσεις, οι διατάξεις ασφάλειας και τα αποφρακτικά όργανα στα οποία μπορεί να συσσωρεύεται λάδι.

Το ιξώδες του λαδιού δείχνει αν το λάδι είναι λεπτόρευστο ή παχύρευστο. Μετρική μονάδα του μεγέθους ειναι το Stokes (St) η οποία είναι 1 St = 1 cm^2/s η συνήθως το ένα εκατοστό της, δηλαδή το Centistokes (cs). Μονάδα ιξώδους στις Η.Π.Α. είναι η SSU (Saybolt Universal Viscosity). Οι τιμές για τα διάφορα ψυκτικά μέσα και για τους διάφορους τύπους συμπιεστών δίνονται στον Πίνακα 2.14.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14.1.
Α. Μικρά συστήματα

Ψυκτικό μέσο	Είδος συμπιεστού	Ιξώδες λαδιού σε 37,8°C (100°F)	
		SSU	cs
Αμμωνία	Κοχλιόμορφος	280 - 300	60 - 65
Αμμωνία	Παλινδρομικός	150 - 300	32 - 65
CO_2	Παλινδρομικός	280 - 300*	60 - 65*
R11	Φυγοκεντρικός	280 - 300	60 - 65
R12	Παλινδρομικός	150 - 300	32 - 65
R12	Φυγοκεντρικός	280 - 300	60 - 65
R12	Περιστροφικός	280 - 300	60 - 65
R22	Παλινδρομικός	150 - 300	32 - 65
Άλλοι τύποι αλογονωμένων ψυκτικών μέσων	Φυγοκεντρικός	280 - 300	60 - 65
	Περιστροφικός	280 - 300	60 - 65
Αλογονωμένα ψυκτικά μέσα	Κοχλιόμορφος	150 - 300	32 - 65

Β. Βιομηχανικά συστήματα.
Συμπιεστές αμμωνίας ή CO_2

Είδος συμπιεστή	Ιξώδες λαδιού 37,8°C (100°F)	
	SSU	cs
Όπου το λάδι μπορεί να εισέλθει στο ψυκτικό μέσο ή στον κύλινδρο του συμπιεστή	150 - 300	32 - 65
Όπου το λάδι δεν μπορεί να εισέλθει στο ψυκτικό μέσο ή στο σύστημα:		
Σύστημα εξαναγκασμένης ροής ή ροής με βαρύτητα	500 - 600	108 - 129
Συστήματα εκτινάξεως	150 - 160	32 - 34
Ατμοκίνητοι συμπιεστές (κύλινδροι) όταν το συμπύκνωμα χρησιμοποιείται για παραγωγή πάγου	λάδι με μεγάλο ιξώδες 140 - 165 SSU σε 210°F.	30 - 35

Η αναμιξιμότητα ορυκτών λαδιών με τα πιο συνηθισμένα ψυκτικά μέσα δίνεται στον Πίνακα 2.14.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14.2.
Αναμιξιμότητα λαδιού

Πλήρης αναμιξιμότητα	Μερική αναμιξιμότητα			Μή αναμίξιμα
	Υψηλή	Μέση	Χαμηλή	
R-11 R-12 R-21 R-113 R-500	R-13B1 R-501	R-22 R-114	R-13 R-14 R-115 R-152a R-C318 R-502	Αμμωνία CO_2

2.15 Δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα (Άλμες).

Όταν οι απαιτήσεις, όσον αφορά την ψυκτική ισχύ, είναι κατανεμημένες στο χώρο μακριά από το στοιχείο ατμοποιήσεως, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα υγρό το οποίο θα «μεταφέρει» την ψυκτική ισχύ. Το υγρό αυτό πρέπει δηλαδή να ψύχεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως και να θερμαίνεται στη θέση όπου είναι τα ψυκτικά φορτία.

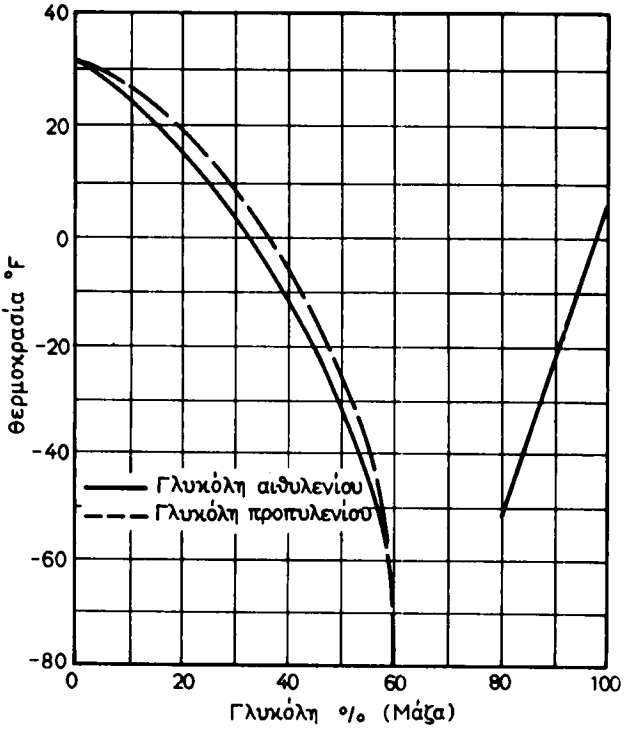
Το ρευστό αυτό πρέπει να είναι υγρό και όχι ατμός, γιατί τα υγρά έχουν πολύ μεγαλύτερη ειδική θερμοχωρητικότητα από ό,τι οι ατμοί. Το κατάλληλο και από οικονομικής πλευράς, μέσο, είναι το νερό. Το νερό χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις κλιματιστικές συσκευές στις οποίες οι επιθυμητές θερμοκρασίες είναι πάνω από το σημείο στερεοποιήσεως του νερού (0°C).

Όταν όμως υπάρχουν εφαρμογές για θερμοκρασίες κάτω από 0°C τότε το νερό μόνο του είναι ακατάλληλο, γιατί παγώνει. Για να παραμείνει όμως η οικονομία της χρησιμοποιήσεως νερού, προστίθεται στο νερό και κάποιο κατάλληλο υλικό, ώστε το μίγμα που προκύπτει να έχει θερμοκρασία στερεοποιήσεως πολύ κάτω από 0°C.

Παλιότερα για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε αλάτι (NaCl) ή χλωριούχο ασβέστιο ($CaCl_2$). Η θερμοκρασία στερεοποιήσεως εξαρτάται από τη σύσταση του μίγματος. Τώρα αντί για αλάτι ή χλωριούχο ασβέστιο χρησιμοποιούνται γλυκόλες, οι οποίες προστίθενται στο νερό (όπως π.χ. στο νερό του συστήματος ψύξεως αυτοκινήτων). Συνήθως χρησιμοποιείται γλυκόλη του αιθυλενίου ή του προπυλενίου. Μίγματα με νερό σε αναλογία περίπου 50 με 50% δίνουν θερμοκρασία στερεοποιήσεως περίπου – 35°F. Στο σχήμα 2.15 φαίνονται οι αντίστοιχες θερμοκρασίες στερεοποιήσεως των διαφόρων μιγμάτων.

Το διάλυμα νερού με NaCl ή $CaCl_2$ ή άλμη (σαλαμούρα) όπως λέγεται, μπορεί να προκαλέσει οξειδώσεις όταν περιέχει αέρα ή οξυγόνο. Πρέπει λοιπόν να αποφεύγονται οι ελεύθερες επιφάνειες του υγρού και να διατηρείται το μίγμα σε αλκαλική κατάσταση (pH 7,0 ως 8,5) με προσθήκη χρωμιούχου ή διχρωμιούχου νατρίου.

Μερικές φορές αντί για άλμη χρησιμοποιούνται κοινά ψυκτικά μέσα, όπως τα R12, R11, R30 και R1120.



Σχ. 2.15.
Σημείο στερεοποιήσεως διαλυμάτων νερού και γλυκόλης.

2.16 Μίγματα ψυκτικών μέσων (R502).

Στο τέλος της παραγράφου 2.2 αναφέρθηκαν τα κυριότερα αζεοτροπικά μίγματα ψυκτικών μέσων καθώς και το τι είναι αζεοτροπικό μίγμα.

Πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι σε συνηθισμένες εγκαταστάσεις ψυκτικών διατάξεων με συμπιεστή όταν χρησιμοποιούνται μίγματα είναι αζεοτροπικά.

Άλλα μίγματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Λόγω των διαφορών θερμοκρασίας οι οποίες επικρατούν στις διάφορες θέσεις, επέρχεται διαχωρισμός του μίγματος στις δύο συνιστώσες και επομένως καθίσταται αδύνατη η λειτουργία.

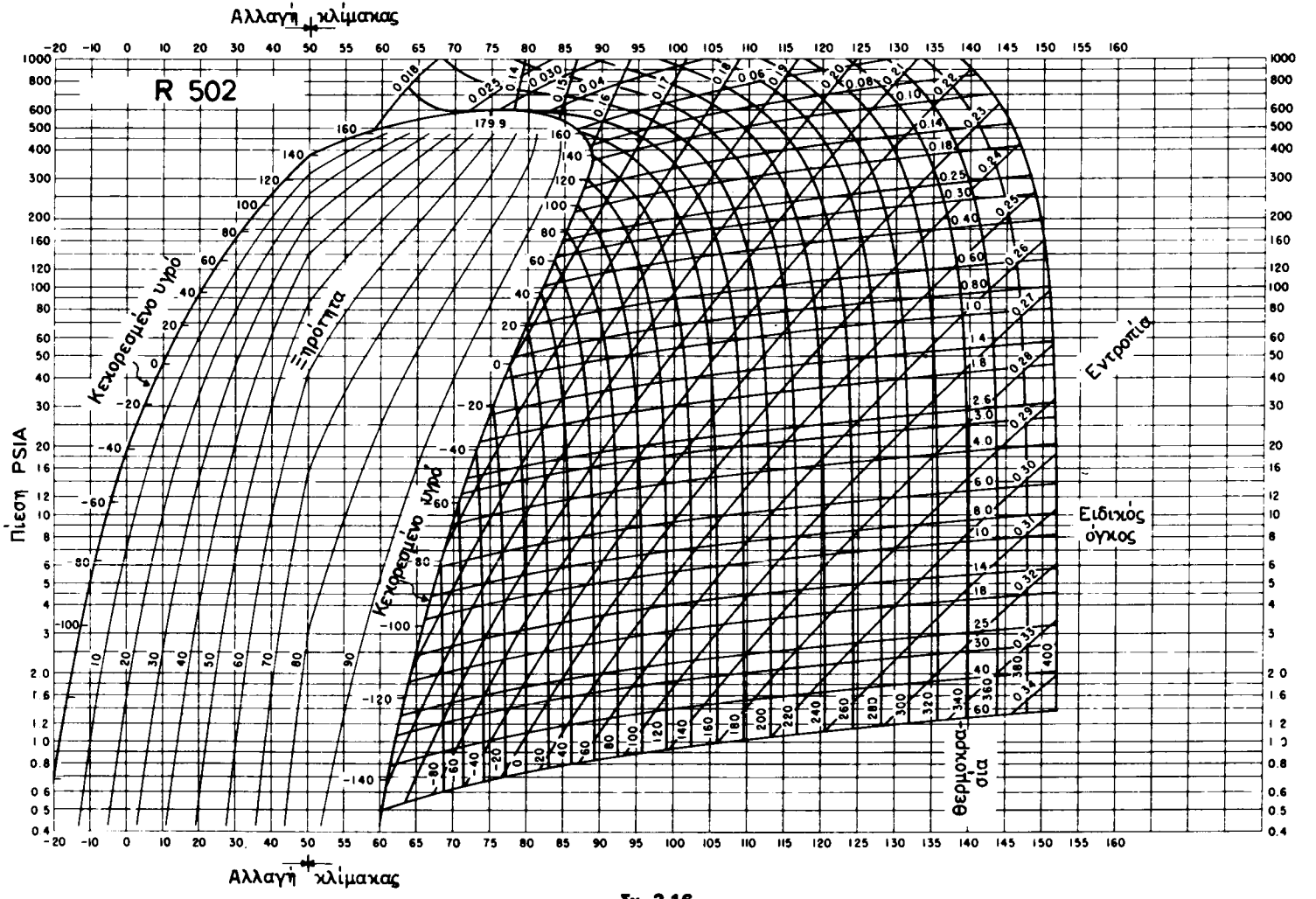
Η εφαρμογή του αζεοτροπικού μίγματος και συγκεκριμένα του R500, έλυσε το εξής πρόβλημα: Οι μικροί συμπιεστές που κατασκευάζονταν στις Η.Π.Α. είχανε ηλεκτροκινητήρα κατάλληλο για ηλεκτρικό δίκτυο 60 περιόδων, δηλαδή κινητήρα ο οποίος λειτουργούσε με 1800 στροφές το λεπτό. Όταν οι συμπιεστές αυτοί χρησιμοποιούνταν στην Ευρώπη με το ηλεκτρικό δίκτυο των 50 περιόδων, λειτουργούσαν με 1500 στροφές το λεπτό και συνεπώς απέδιδαν παροχή όγκου ψυκτικού μέσου μειωμένη. Το ποσοστό μειώσεως ήταν περίπου 1500/1800 = 5/6. Για να λειτουργήσει η εγκατάσταση με μειωμένη παροχή όγκου, αλλά με ίδια ψυκτική ισχύ, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί άλλο ψυκτικό μέσο αντί του R12, το οποίο έπρεπε να αποδίδει μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ κατά 1/6 περίπου. Επειδή για το

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.16.1
Ψυκτικό μέσο R502.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
−150	0.4267	29.05*	69.573	102.87	−21.37	59.91
−145	0.540	28.82*	55.867	102.38	−20.54	60.49
−140	0.677	28.54*	45.200	101.89	−19.71	61.08
−135	0.843	28.20*	36.834	101.39	−18.86	61.68
−130	1.043	27.80*	30.222	100.89	−18.00	62.27
−125	1.281	27.31*	24.958	100.39	−17.13	62.87
−120	1.562	26.74*	20.739	99.896	−16.24	63.47
−115	1.894	26.06*	17.336	99.391	−15.34	64.07
−110	2.283	25.27*	14.572	98.882	−14.42	64.67
−105	2.736	24.35*	12.315	98.371	−13.49	65.28
−100	3.261	23.28*	10.461	97.857	−12.55	65.89
− 98	3.493	22.81*	9.8145	97.650	−12.17	66.13
− 96	3.739	22.31*	9.2142	97.443	−11.78	66.37
− 94	3.998	21.78*	8.6572	97.24	−11.39	66.61
− 92	4.272	21.22*	8.1399	97.03	−11.01	66.86
− 90	4.5612	20.63*	7.6591	96.82	−10.61	67.10
− 88	4.867	20.01*	7.2118	96.61	−10.22	67.34
− 86	5.188	19.36*	6.7954	96.40	− 9.82	67.59
− 84	5.527	18.67*	6.4074	96.19	− 9.42	67.83
− 82	5.883	17.94*	6.0457	95.98	− 9.02	68.07
− 80	6.258	17.18*	5.7081	95.77	− 8.62	68.31
− 78	6.652	16.38*	5.3930	95.55	− 8.21	68.56
− 76	7.066	15.53*	5.0985	95.34	− 7.80	68.80
− 74	7.501	14.65*	4.8231	95.13	− 7.39	69.04
− 72	7.956	13.72*	4.5654	94.91	− 6.98	69.28
− 70	8.434	12.75*	4.3241	94.70	− 6.56	69.53
− 68	8.935	11.73*	4.0980	94.48	− 6.14	69.77
− 66	9.459	10.66*	3.8859	94.27	− 5.72	70.01
− 64	10.01	9.54*	3.6870	94.05	− 5.29	70.25
− 62	10.58	8.38*	3.5002	93.83	− 4.87	70.49
− 60	11.18	7.15*	3.3248	93.62	− 4.44	70.73
− 58	11.81	5.88*	3.1589	93.40	− 4.01	70.97
− 56	12.46	4.54*	3.0047	93.18	− 3.57	71.21
− 54	13.15	3.15*	2.8586	92.96	− 3.13	71.45
− 52	13.86	1.70*	2.7211	92.74	− 2.69	71.69
− 50	14.60	0.19*	2.5915	92.51	− 2.25	71.93
− 48	15.38	0.68	2.4693	92.29	− 1.81	72.17
− 46	16.18	1.49	2.3540	92.07	− 1.36	72.40
− 44	17.02	2.33	2.2452	91.84	− 0.91	72.64
− 42	17.89	3.20	2.1424	91.62	− 0.46	72.88
− 40	18.80	4.11	2.0453	91.39	0.00	73.11
− 38	19.75	5.05	1.9535	91.17	0.46	73.35
− 36	20.73	6.03	1.8666	90.94	0.92	73.59
− 34	21.74	7.05	1.7844	90.71	1.38	73.82
− 32	22.80	8.10	1.7065	90.48	1.85	74.05
− 30	23.90	9.20	1.6328	90.25	2.32	74.29
− 28	25.03	10.34	1.5628	90.02	2.79	74.52
− 26	26.21	11.52	1.4965	89.79	3.26	74.75
− 24	27.43	12.74	1.4336	89.56	3.73	74.98
− 22	28.70	14.00	1.3739	89.32	4.21	75.21
− 20	30.01	15.31	1.3171	89.09	4.69	75.44
− 18	31.36	16.66	1.2632	88.85	5.18	75.67
− 16	32.76	18.07	1.2120	88.62	5.66	75.90
− 14	34.21	19.52	1.1632	88.38	6.15	76.13
− 12	35.71	21.01	1.1168	88.14	6.64	76.35
− 10	37.26	22.56	1.0727	87.90	7.13	76.58
− 8	38.85	24.16	1.0307	87.66	7.63	76.80
− 6	40.50	25.81	0.9907	87.42	8.13	77.03
− 4	42.21	27.51	0.9525	87.17	8.63	77.25
− 2	43.96	29.27	0.9161	86.93	9.13	77.47
0	45.78	31.08	0.8814	86.68	9.63	77.69
1	46.70	32.01	0.8646	86.55	9.89	77.80
2	47.64	32.95	0.8482	86.43	10.14	77.91
3	48.60	33.90	0.8322	86.31	10.40	78.02
4	49.57	34.87	0.8166	86.19	10.65	78.13
5	50.55	35.86	0.8013	86.06	10.91	78.24
6	51.55	36.86	0.7864	85.94	11.16	78.35
7	52.57	37.87	0.7718	85.81	11.42	78.45
8	53.59	38.90	0.7574	85.69	11.68	78.56
9	54.64	39.94	0.7435	85.56	11.93	78.67
10	55.70	41.00	0.7299	85.43	12.19	78.78
11	56.77	42.08	0.7165	85.31	12.45	78.89
12	57.86	43.17	0.7035	85.18	12.71	78.99
13	58.97	44.27	0.6907	85.05	12.97	79.10
14	60.09	45.39	0.673	84.93	13.23	79.20
15	61.23	46.53	0.6660	84.80	13.49	79.31
16	62.38	47.68	0.6541	84.67	13.76	79.42
17	63.55	48.85	0.6424	84.54	14.02	79.52
18	64.73	50.04	0.6310	84.41	14.28	79.63
19	65.94	51.24	0.6198	84.28	14.55	79.73
20	67.16	52.46	0.6088	84.15	14.81	79.84
21	68.39	53.70	0.5981	84.02	15.07	79.94
22	69.64	54.95	0.5876	83.89	15.34	80.04
23	70.91	56.22	0.5774	83.76	15.60	80.15
24	72.20	57.50	0.5673	83.63	15.87	80.25

Θερμοκρασία. °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ενθαλπία Btu/lb	
	psia	psig	ατμός V_g	υγρό $1/V_f$	υγρό h_f	ατμός h_g
25	73.50	58.81	0.5575	83.50	16.14	80.35
26	74.82	60.13	0.5478	83.37	16.41	80.46
27	76.16	61.47	0.5384	83.23	16.67	80.56
28	77.52	62.82	0.5291	83.10	16.94	80.66
29	78.89	64.20	0.5201	82.97	17.21	80.76
30	80.29	65.59	0.5112	82.83	17.48	80.86
31	81.70	67.00	0.5025	82.70	17.75	80.96
32	83.13	68.43	0.4940	82.56	18.02	81.06
33	84.57	69.88	0.4857	82.43	18.29	81.16
34	86.04	71.34	0.4775	82.29	18.56	81.26
35	87.52	72.83	0.4695	82.16	18.84	81.36
36	89.03	74.33	0.4616	82.02	19.11	81.46
37	90.55	75.85	0.4539	81.88	19.38	81.56
38	92.09	77.39	0.4464	81.75	19.65	81.66
39	93.65	78.95	0.4390	81.61	19.93	81.75
40	95.23	80.53	0.4318	81.47	20.20	81.85
41	96.83	82.13	0.4246	81.33	20.48	81.95
42	98.45	83.75	0.4177	81.19	20.75	82.04
43	100.08	85.38	0.4108	81.05	21.03	82.14
44	101.74	87.04	0.4041	80.91	21.31	82.24
45	103.42	88.72	0.3976	80.77	21.58	82.33
46	105.12	90.42	0.3911	80.62	21.86	82.43
47	106.84	92.14	0.3848	80.49	22.14	82.52
48	108.58	93.88	0.3786	80.35	22.42	82.61
49	110.34	95.64	0.3725	80.20	22.70	82.71
50	112.12	97.42	0.3666	80.06	22.98	82.80
51	113.92	99.22	0.3607	79.91	23.26	82.89
52	115.74	101.05	0.3550	79.77	23.54	82.98
53	117.59	102.89	0.3493	79.62	23.82	83.08
54	119.45	104.75	0.3438	79.48	24.10	83.17
55	121.34	106.64	0.3383	79.33	24.38	83.26
56	123.25	108.55	0.3330	79.19	24.66	83.35
57	125.18	110.48	0.3278	79.04	24.95	83.44
58	127.13	112.43	0.3226	78.89	25.23	83.53
59	129.10	114.41	0.3176	78.74	25.51	83.62
60	131.10	116.40	0.3126	78.59	25.80	83.70
62	135.16	120.46	0.3030	78.29	26.37	83.88
64	139.31	124.61	0.2937	77.99	26.94	84.05
66	143.55	128.86	0.2847	77.68	27.52	84.22
68	147.89	133.19	0.2761	77.37	28.09	84.39
70	152.32	137.62	0.2677	77.06	28.67	84.55
72	156.84	142.15	0.2596	76.75	29.25	84.72
74	161.46	146.77	0.2518	76.43	29.83	84.88
76	166.18	151.49	0.2443	76.11	30.41	85.04
78	171.00	156.30	0.2370	75.78	31.00	85.19
80	175.92	161.22	0.2300	75.46	31.59	85.35
82	180.94	166.24	0.2231	75.13	32.18	85.50
84	186.06	171.36	0.2165	74.79	32.77	85.64
86	191.28	176.59	0.2102	74.45	33.36	85.79
88	196.62	181.92	0.2040	74.11	33.95	85.93
90	202.05	187.36	0.1980	73.76	34.55	86.07
92	207.60	192.90	0.1922	73.41	35.15	86.20
94	213.25	198.56	0.1866	73.06	35.75	86.34
96	219.02	204.32	0.1812	72.70	36.35	86.47
98	224.90	210.20	0.1759	72.34	36.96	86.59
100	230.89	216.19	0.1708	71.97	37.56	86.71
102	237.00	222.30	0.1658	71.59	38.17	86.83
104	243.22	228.52	0.1610	71.21	38.78	86.94
106	249.56	234.87	0.1563	70.83	39.40	87.05
108	256.02	241.33	0.1518	70.44	40.01	87.16
110	262.61	247.91	0.1474	70.04	40.63	87.26
112	269.31	254.62	0.1431	69.64	41.25	87.35
114	276.15	261.45	0.1389	69.23	41.88	87.44
116	283.10	268.41	0.1349	68.81	42.50	87.53
118	290.19	275.50	0.1310	68.39	43.13	87.61
120	297.41	282.71	0.1271	67.96	43.77	87.68
122	304.76	290.06	0.1234	67.52	44.40	87.75
124	312.25	297.55	0.1197	67.07	45.04	87.81
126	319.87	305.17	0.1162	66.61	45.68	87.86
128	327.63	312.94	0.1127	66.14	46.33	87.91
130	335.54	320.84	0.1093	65.66	46.98	87.95
132	343.59	328.89	0.1061	65.17	47.64	87.98
134	351.79	337.09	0.1028	64.67	48.30	88.00
136	360.13	345.44	0.09968	64.15	48.97	88.01
138	368.63	353.94	0.09660	63.63	49.64	88.01
140	377.29	362.60	0.09359	63.08	50.32	88.00
145	399.64	384.95	0.08630	61.65	52.05	87.93
150	423.06	408.35	0.07934	60.09	53.85	87.76
155	447.61	432.91	0.07261	58.37	55.73	87.47
160	473.38	458.69	0.06604	56.43	57.73	87.01
165	500.50	485.80	0.05948	54.17	59.93	86.32
170	529.11	514.41	0.05271	51.39	62.45	85.25
175	559.41	544.72	0.04512	47.55	65.69	83.37
179.889	591.00	576.30	0.02857	35.00	74.65	74.65

* in στήλης υδραργύρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)



Σχ. 2.16.
Ψυκτικό μέσο R502.

σκοπό αυτό δεν υπήρχε μόνο του ψυκτικό μέσο κατάλληλο, έγινε εφαρμογή του μίγματος R500.

Σήμερα το αζεοτροπικό μίγμα χρησιμοποιείται και ως συνηθισμένο ψυκτικό μέσο. Εκτός από το R500 χρησιμοποιείται συχνά και το R502. Αποτελείται από 48,8% R22 και 51,2% R115 (αναλογία κατά μάζα). Οι θερμοδυναμικές ιδιότητές του δίνονται στον Πίνακα 2.16.1 και στο σχήμα 2.16.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 Γενικά.

Ο όρος μετάδοση θερμότητας χαρακτηρίζει τον κλάδο της επιστήμης ο οποίος ασχολείται με τα προβλήματα ροής θερμότητας από μία θέση όπου επικρατεί υψηλότερη θερμοκρασία σε μιαν άλλη όπου επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία.

Βασική προϋπόθεση λοιπόν για να υπάρξει πρόβλημα μεταδόσεως θερμότητας είναι να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας, $\Delta T = T_1 - T_2$ όπου: T_1 είναι η θερμοκρασία της θέσεως από την οποία φεύγει η θερμότητα και T_2 η θερμοκρασία της θέσεως στην οποία καταλήγει η θερμότητα.

Φυσικά η θερμότητα δεν φεύγει από τη θέση αλλά από τη μάζα η οποία ευρίσκεται στη θέση. Πολλές φορές όμως γίνεται αυτή η απλούστευση στην έκφραση λόγω της φύσεως του προβλήματος.

Η «μετακόμιση» αυτή της θερμότητας γίνεται μόνο επειδή υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας.

Ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, άλλοτε είναι επιθυμητή έντονη ροή θερμότητας και άλλοτε όσο το δυνατό μικρότερη. Στο στοιχείο ατμοποιήσεως π.χ. είναι επιθυμητή έντονη μεταφορά θερμότητας. Αντίθετα τα τοιχώματα του ψυγείου έχουν μόνωση για να παραμένει πολύ μικρό το ρεύμα θερμότητας και να μην ανεβαίνει η θερμοκρασία του χώρου με θερμότητα που εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον.

Όταν οι θερμοκρασίες οι οποίες καθορίζουν το πρόβλημα είναι σταθερές και σταθερές επίσης μένουν και οι ιδιότητες των υλικών από τα οποία διέρχεται το ρεύμα θερμότητας, τότε το πρόβλημα είναι ***χρονικώς μόνιμο*** ή απλώς ***μόνιμο.***

Για τις εφαρμογές των ψυκτικών εγκαταστάσεων η θερμότητα διέρχεται μέσα από στερεά, όπως π.χ. τοιχώματα σωλήνων, πτερύγια ψύξεως, μονώσεις θαλάμων κλπ., από υγρά, όπως π.χ. ψυκτικά μέσα στο συμπιεστή, στο τμήμα υποψύξεως κλπ., ή τέλος από ατμούς όπως μέσα στο συμπιεστή, στην είσοδο του συμπυκνωτή κλπ.

Πρέπει λοιπόν να εξετασθούν προβλήματα τα οποία αφορούν και τις τρεις φάσεις από τις οποίες τα υγρά και οι ατμοί αφορούν κυρίως το ψυκτικό μέσο.

Επίσης πρέπει να εξετασθούν και ο αέρας και το νερό του περιβάλλοντος, γιατί και αυτά επιδρούν στη λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Ειδική περίπτωση στη μετάδοση θερμότητας αποτελεί και το φαινόμενο της αλλαγής φάσεως, όπως συμβαίνει π.χ. στο στοιχείο ατμοποιήσεως (ατμοποίηση) και στο συμπυκνωτή (συμπύκνωση).

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Για να υπολογισθούν τα αντίστοιχα μεγέθη των προβλημάτων απαιτούνται ειδικές γνώσεις και πείρα. Στο βιβλίο αυτό δίνονται μόνο βασικές γνώσεις και στοιχειώδη δεδομένα για να είναι δυνατή η εκτίμηση τάξεως μεγέθους.

Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα το οποίο συναντάται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι το εξής: Δίνεται η γεωμετρία, τα υλικά, η κατάσταση από απόψεως ροής και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες και ζητείται να υπολογισθεί η απαιτούμενη επιφάνεια για να υπάρξει συγκεκριμένη ροή θερμότητας.

Η μετάδοση θερμότητας από μια μάζα υψηλότερης θερμοκρασίας σε μια μάζα χαμηλότερης θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μέσα από υλικά σώματα ή και χωρίς υλικά σώματα μέσα από το κενό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της δεύτερης περιπτώσεως είναι το σύστημα Ήλιος - Γη. Στην περίπτωση αυτή η μετάδοση γίνεται με ***ακτινοβολία.*** Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συγκεκριμένη κατανομή ενέργειας σε συνεχές φάσμα συχνοτήτων.

Στην περίπτωση αυτή ο όρος «θερμότητα» αναφέρεται ουσιαστικά μονο στην εκπομπή και στη λήψη.

Όταν χρησιμοποιείται υλικός φορέας για τη μεταφορά της θερμότητας από την αρχική στην τελική θέση, τότε ο φορέας αυτός μπορεί να έχει μακροσκοπική εσωτερική κίνηση ή να είναι ακίνητος. Πιο απλά, ο φορέας μπορεί να είναι ρευστό ή στερεό. Όταν ο φορέας είναι στερεό τότε υπάρχει ***αγωγή*** της θερμότητας. Όταν ο φορέας είναι ρευστό, δηλαδή υγρό, αέριο, ατμός κλπ. και εμφανίζει μακροσκοπική κίνηση, τότε το φαινόμενο ονομάζεται ***συναγωγή.***

Η μεταφορά λοιπόν θερμότητας γίνεται με την:

— Αγωγή.
— Συναγωγή.
— Ακτινοβολία.

Στα περισσότερα τεχνολογικά προβλήματα, όπως φυσικά και στις εγκαταστάσεις ψύξεως, οι τρεις αυτοί τρόποι εμφανίζονται συνδυασμένοι άλλοτε ανά δύο και σπανιότερα και οι τρεις μαζί.

Στις επόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου εξετάζονται πρώτα οι τρεις τρόποι χωριστά και ανεξάρτητα, και ύστερα γίνονται ορισμένοι συνδυασμοί από τους πιο συνηθισμένους του είδους.

Στο βιβλίο αυτό εξετάζονται μόνο μόνιμα φαινόμενα ροής θερμότητας.

Το βασικό μέγεθος των προβλημάτων του είδους αυτού είναι η θερμότητα και μάλιστα η θερμότητα ανά μονάδα χρόνου. Το μέγεθος αυτό έχει φυσικά μονάδες μηχανικής ισχύος, αλλά δεν έχει τη φυσική έννοια της ισχύος. Είναι στην ουσία μία ***παροχή θερμότητας.*** Όταν ο υπολογισμός γίνεται για τη μονάδα επιφάνειας και εξετάζεται το αντίστοιχο ρεύμα θερμότητας, τότε, προφανώς, εξετάζεται η ***πυκνότητα παροχής θερμότητας*** (μονάδες π.χ. kW/m^2).

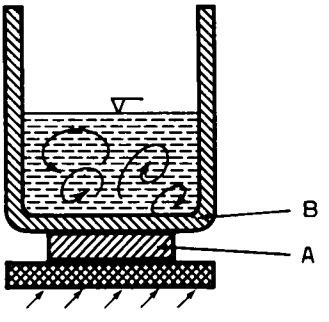
Σε περιπτώσεις ψύξεως αέρα με επιφάνειες θερμοκρασίας χαμηλότερης από 0°C, εμφανίζεται συμπύκνωση του υδρατμού του αέρα, και πολλές φορές, σχηματισμός χιονιού ή πάγου.

3.2 Αγωγή.

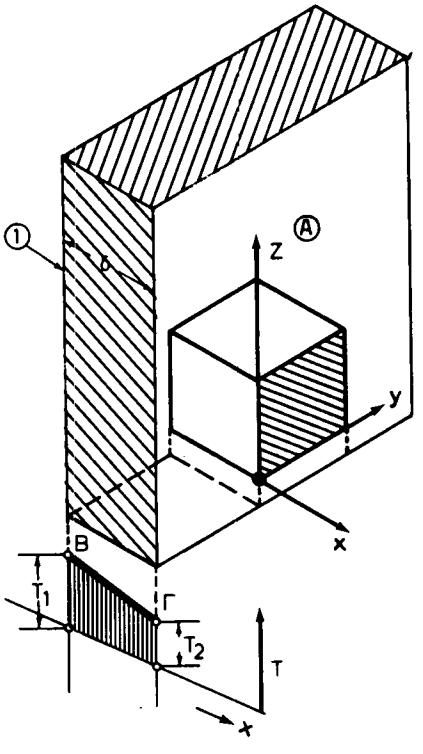
Αγωγή είναι ο ένας από τους τρεις τρόπους μεταδόσεως θερμότητας και αναφέρεται βασικά σε μετάδοση θερμότητας μέσα από στερεά σώματα. Με τον τρό-

πο αυτό μεταδόσεως θερμότητας ο υλικός φορέας μέσα από τον οποίο περνά η θερμότητα, δηλαδή το στερεό σώμα, δεν εμφανίζει μακροσκοπικά καμία κίνηση.

Στο σχήμα 3.2α φαίνεται η συνηθισμένη περίπτωση θερμάνσεως υγρού από ένα θερμαινόμενο πυθμένα. Το δοχείο έχει μία μεταλλική πλάκα Α π.χ. από χαλκό και τον πυθμένα Β από το μέταλλο του δοχείου, π.χ. ανοξείδωτο χάλυβα. Στην πλάκα Α δίνεται θερμότητα από μία ηλεκτρικά θερμαινόμενη πλάκα.



Σχ. 3.2α.
Θέρμανση υγρού από θερμά τοιχώματα.



Σχ. 3.2β.
Αγωγή θερμότητας.

Η θερμότητα περνά μέσα από την πλάκα Α και τον πυθμένα Β με ***αγωγή.*** Από το ζεστό πυθμένα Β περνά στον υγρό του δοχείου το οποίο κινείται με μικρά ρεύματα, επειδή ζεσταίνεται στο κάτω μέρος και γίνεται ελαφρότερο· στη θέση αυτή εμφανίζεται ***συναγωγή*** θερμότητας.

Για να υπάρχει συναγωγή πρέπει ο υλικός φορέας να είναι οπωσδήποτε ρευστό. Αντίθετα η αγωγή εμφανίζεται συνήθως σε στερεά. Μπορεί όμως να εμφανισθεί και σε υγρά με ορισμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζουν ακινησία του υγρού, δηλαδή να μην επιτρέπουν τη δημιουργία μακροσκοπικής κινήσεως ώστε να εμφανισθεί συναγωγή.

Από τεχνολογικής απόψεως είναι συνήθως επιθυμητή η συναγωγή, διότι έτσι προκύπτουν μεγαλύτερες πυκνότητες παροχής θερμότητας και οικονομικότερες εγκαταστάσεις. Εξαίρεση αποτελούν οι μονώσεις όπου γίνεται προσπάθεια κατα-

στολής της συναγωγής ώστε να μειωθεί η παροχή θερμότητας, και συνεπώς οι θερμικές απώλειες.

Η εξέταση του μόνιμου φαινομένου αγωγής γίνεται πολύ απλή όταν το πρόβλημα είναι μονοδιάστατο, όταν δηλαδή η ροή θερμότητας γίνεται προς μία μόνη κατεύθυνση. Παράδειγμα του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 3.2β. Η επιφάνεια 1 της μεγάλης πλάκας με πάχος δ, έχει θερμοκρασία T_1 και η άλλη επιφάνεια 2 θερμοκρασία T_2. Επειδή $T_1 > T_2$ η θερμότητα ρέει από την επιφάνεια 1 προς την επιφάνεια 2. Η παροχή θερμότητας είναι $\dot{Q}$ και η πυκνότητα παροχής q: Το διαγραμμισμένο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο έχει βάσεις ίσες με τη μονάδα επιφάνειας και συνεπώς μέσα από αυτό περνά ρεύμα θερμότητας ίσο με την πυκνότητα παροχής θερμότητας q:

Για τον υπολογισμό αυτού του απλού φαινομένου της μόνιμης μονοδιάστατης ροής ισχύει η σχέση:

$$\boxed{\dot{Q} = A(\lambda/\delta)\,(T_1 - T_2)} \qquad (3.1)$$

όπου:

Q η παροχή θερμότητας σε W,
A η εγκάρσια επιφάνεια σε m^2,
δ το πάχος τοιχώματος σε m,
λ η ***ειδική θερμική αγωγιμότητα*** σε W/m °C,
$(T_1 - T_2)$ η θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα σε °C.

Η ειδική θερμική αγωγιμότητα είναι φυσική σταθερά του σώματος μέσα στο οποίο ρέει η θερμότητα. Οι καλοί αγωγοί της θερμότητας, όπως είναι τα μέταλλα, έχουν μεγάλες τιμές λ, ενώ αντίθετα τα μονωτικά υλικά έχουν μικρές τιμές λ.

Η τιμή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ κάθε σώματος μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία του σώματος και με το ποσόν υγρασίας το οποίο περιέχει το σώμα. Για συνηθισμένα προβλήματα όμως η μεταβολή αυτή συνήθως παραλείπεται και έτσι στη σχέση (3.1) η αριθμητική τιμή του λ θεωρείται σταθερή.

Στην περίπτωση αυτή η μεταβολή της θερμοκρασίας μέσα στο σώμα είναι γραμμική, δηλαδή η γραμμή ΒΓ στο σχήμα 3.2β, η οποία δίνει τη γραφική παράσταση θερμοκρασίας, είναι ευθύγραμμο τμήμα και όχι καμπύλη.

Όταν ο υπολογισμός γίνεται για τη μονάδα επιφάνειας της εγκάρσιας επιφάνειας, τότε από τη σχέση (3.1) προκύπτει ότι:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{\delta}(T_1 - T_2)$$

ή

$$\boxed{\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta}(T_1 - T_2)} \qquad (3.2)$$

Συνήθως οι υπολογισμοί γίνονται με τη σχέση αυτή, και όταν καθορισθεί η τιμή της πυκνότητας παροχής θερμότητας q; η παροχή θερμότητας προκύπτει από τη σχέση:

$$\boxed{\dot{Q} = \dot{q}\,A} \qquad (3.3)$$

Οι σχέσεις (3.1) και (3.2) ισχύουν όταν μέσα στο υλικό μέσο ούτε παράγεται ούτε καταναλώνεται θερμότητα. Αν π.χ. η πλάκα του σχήματος 3.2β είναι από ραδιενεργό υλικό και παράγεται μέσα σε αυτή και θερμότητα από απορρόφηση ακτινοβολίας, τότε οι σχέσεις (3.1) και (3.2) δεν ισχύουν.

3.3 Ειδική θερμική αγωγιμότητα.

Για να υπολογισθούν οι αριθμητικές τιμές των $Q^{\cdot}$ ή $q^{\cdot}$ πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ. Στην παράγραφο αυτή δίνονται τιμές για τα πιο συνηθισμένα υλικά τα οποία συναντώνται στις εγκαταστάσεις ψύξεως.

Ο Πίνακας 3.3.1 δίνει μία γενική εικόνα για την τάξη μεγέθους των τιμών του λ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1.
Ειδική θερμική αγωγιμότητα λ.

Υλικό	λ W/mK	Υλικό	λ W/mK
Μέταλλα, καθαρά	7 ... 420	Μονωτικά, οργανικά	0,03 ... 0,07
Κράματα	11 ... 150	Μονωτικά, ανόργανα	0,05 ... 0,11
Φυσικοί λίθοι	1,5 ... 4	Αέρια	0,01 ... 0,23
Δομικά υλικά	0,2... 3,5	Αέρας	0,023
Πυρίμαχα υλικά	0,7 ... 3,5	Υγρά	0,1 ... 0,6

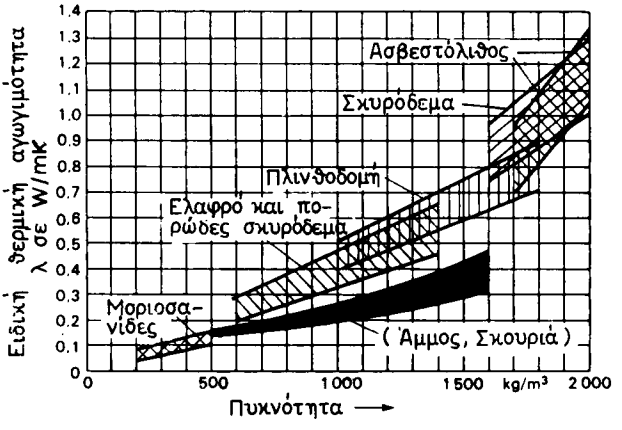
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2
Ειδική θερμική αγωγιμότητα μετάλλων σε W/mK

Υλικό	λ W/mK	Υλικό	λ W/mK
Μέταλλα		***Μέταλλα***	
Αλουμίνο 99,75%	229	Μαγνήσιο καθαρό	123
Αλουμίνιο 99%	208	Μαγκάνιο	50
Μολύβι	35,1	Νικέλιο 99,94%	87
Σίδηρος 99,12%	71	Νικέλιο 97 ÷ 99%	58
Σφυρήλατος καθαρός	58		
Χυτοσίδηρος 3% C	56 ÷ 64	Πλατίνα	71
Χυτοσίδηρος 1% Ni	50	Υδράργυρος 0°C	8 ÷ 10
Ανθρακοχάλυβας	37 ÷ 52	Άργυρος καθαρός	418
		Άργυρος 99,9%	413
Χρυσός	311	Βισμούθιο	7,8
Χαλκός καθαρός	394	Ψευδάργυρος καθαρός	112
Χαλκός εμπορίου	372	Κασσίτερος καθαρός	63
Κράματα		***Κράματα***	
Μπρουντζος αλουμινίου	83	Νεάργυρος 62% Cu, 15% Ni	
Μπρουντζος 90% Cu, 10% Sn	42	22% fn	25
Μπρούντζος 75% Cu, 25% Sn	26	Νικελιούχος χάλυβας 5% Ni	35
Χρωμονικελιούχος χάλυβας	10 ÷ 15	Νικελιούχος χάλυβας 15% Ni	22
Χρωμιούχος χάλυβας 5% Cr	20 ÷ 37	Νικελιούχος χάλυβας 30% Ni	12,2
Ντουραλουμίνιο	165	Νικελιούχος χάλυβας 50% Ni	14,5
Κράμα εμβόλων	135 ÷ 144	Μπρούντζος φωσφόρου	36 - 79
Κονσταντάνη	22,7	Κόκκινο μέταλλο	60
Μαγκανίνη	21,9	Χάλυβας V2A	15
Ορείχαλκος 70% Cu, 30% Sn	112	Χάλυβας Βολφραμίου	
Μονέλ 29% Cu, 67% Ni, 2% Fe	22	1 W, 0,6 Cr, 0,3 C	40

Οι τιμές για αέρια, αέρα και υγρά ισχύουν για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κίνηση (ρεύματα) μέσα σ' αυτά. Αυτή η περίπτωση εμφανίζεται μόνον, όταν η θερμοκρασιακή διαφορά ($T_1 - T_2$) είναι πολύ μικρή (λίγοι βαθμοί °C) ή όταν το πάχος δ είναι μόνο λίγα mm. Όταν δεν ισχύουν αυτές οι προϋποθέσεις, τότε εμφανίζονται ρεύματα λόγω διαφοράς πυκνότητας και εμφανίζεται και άλλος τρόπος μεταδόσεως θερμότητας, δηλαδή ***συναγωγή.***

Οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας οι οποίες συνήθως ενδιαφέρουν την τεχνολογία των εγκαταστάσεων ψύξεως, αναφέρονται σε στερεά σώματα και κυρίως σε μέταλλα, μονωτικά και δομικά υλικά. Τιμές της λ για τις περιπτώσεις αυτές δίνονται στον Πίνακα 3.3.2. Ο πίνακας αναφέρεται σε μέταλλα και σε κράματα.

Στο σχήμα 3.3α δίνονται τιμές λ για δομικά υλικά. Οι τιμές αυτές μεταβάλλονται με την πυκνότητα του υλικού.



Σχ. 3.3α.
Τιμές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ δομικών υλικών.

Στον Πίνακα 3.3.3 αναφέρονται τιμές των λ για περισσότερα δομικά υλικά σε κατάσταση «λειτουργίας», όπως είναι στο κτίριο.

Ειδικότερα στον Πίνακα 3.3.4 δίνονται τα υλικά για επένδυση των δαπέδων.

Για τα μονωτικά υλικά δίνεται το σχήμα 3.3β. Στα υλικά αυτά η τιμή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία και την πυκνότητα.

Για τιμές περισσοτέρων μονωτικών υλικών δίνεται ο Πίνακας 3.3.5.

Εκτός από τα μέταλλα και τα δομικά και μονωτικά υλικά χρειάζεται επίσης και η ειδική θερμική αγωγιμότητα του πάγου. Σε πολλά σημεία των ψυκτικών εγκαταστάσεων σχηματίζεται πάγος ο οποίος στην ουσία, από απόψεως ροής θερμότητας, είναι μονωτικό υλικό. Ο Πίνακας 3.3.6 δίνει σχετικές τιμές.

Πρέπει όμως να διευκρινισθεί ότι η δημιουργία πάγου συνδέεται με αφαίρεση θερμότητας από το νερό το οποίο αλλάζει φάση και στερεοποιείται. Όταν σχηματισθεί σημαντικό πάχος πάγου τότε πλέον το στρώμα αυτό δρα ως «μονωτικό». Το φαινόμενο αυτό είναι συνήθως ανεπιθύμητο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.

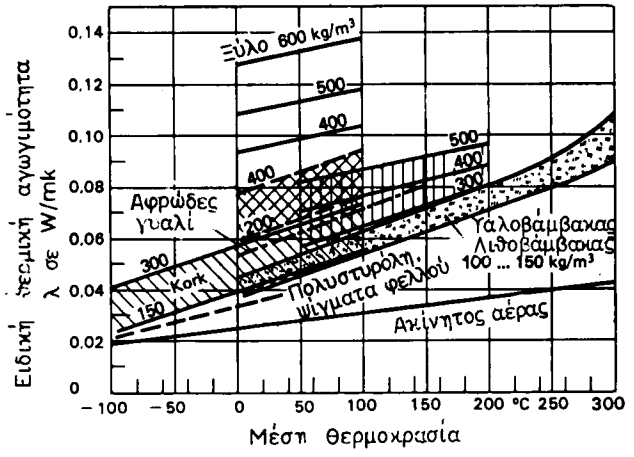
Ειδική θερμική αγωγιμότητα δομικών υλικών σε κατάσταση λειτουργίας για θερμοκρασία 20°C. Το λ σε W/mK

Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m³	λ W/mK
Άσφαλτος	2100	0,70
Σκυρόδεμα (Μπετόν)	1600 - 1800	0,75 ...0,95
Τοίχος από ελαφρό σκυρόδεμα	1800 - 2200	0,95 ... 1,50
	800	0,47
	1000	0,56
	1200	0,65
	1400	0,74
	1600	0,81
Ελαφρό σκυρόδεμα, πλάκες	800	0,31
	1000	0,42
	1200	0,53
	1600	0,81
Έδαφος στεγνό	1000 - 2000	0,17...0,58
Έδαφος 10% υγρασία	1000 - 2000	0,50...2,10
Έδαφος 20% υγρασία	1000 - 2000	0,80...2,60
Πλακάκια		1,05
Γυψοσανίδες	800	0,31
Υαλοπίνακες	2400 - 3200	0,58 ... 1,05
Ελαστικό επίστρωμα	1500	0,17
Χαρτόνι	790	0,15
Ξύλο κάθετα στις ίνες		
Ελαφρό ξύλο (μπάλσα)	200 - 300	0,08...0,10
Πεύκο, Κυπαρίσσι	400 - 600	0,12...0,16
Δρυς	700 - 900	0,16...0,21
Λινόλεουμ	1200	0,19
Μάρμαρο	2500 - 2800	2,10...3,50
Σοβάς σε τούβλα	1600 ÷ 1800	0,70...0,93
Σοβάς σε τσιμεντόλιθους	1600 ÷ 1800	0,93...1,16
Άμμος θαλάσσης στεγνή	1600	0,31
Άμμος θαλάσσης 10% υγρασία		1,24
Άμμος θαλάσσης 20% υγρασία		1,76
Άμμος θαλάσσης κορεσμένη		2,44
Οπτόπλινθος (τούβλο)	1600 - 1800	0,38..0,52
Οπτοπλινθοδομή συμπαγής εσωτερική	1600 - 1800	0,70
Οπτοπλινθοδομή συμπαγής εξωτερική	1600 - 1800	0,87
Οπτοπλινθοδομή πορώδης εξωτερική	800	0,40
	1200	0,56
Οπτοπλινθοδομή (διάτρητα τούβλα)	800	0,35...0,52
	1600	0,52...0,76

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.4.

Ειδική θερμική αγωγιμότητα λ, υλικών δαπέδων.

Υλικό δαπέδου	λ W/mK	Υλικό	λ W/mK
Λίθινο	1,430	Νάυλον-Τσόχα	0,035
Κολλητό παρκέ	1,120	Τσόχα PVC κολλητή	0,043
Παρκέ	0,205	Χαλί με λάστιχο	0,070
Νάυλον και λάστιχο	0,060	Φελός-PVC	0,052
		Μάλλινο	0,050



Σχ. 3.3β.
Ειδική θερμική αγωγιμότητα μονωτικών υλικών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.5.
Ειδική θερμική αγωγιμότητα λ μονωτικών υλικών σε W/mK

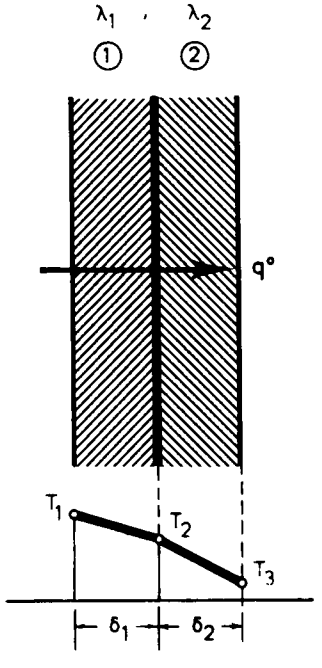
Υλικό	Πυκνότητα kg/m³	λ W/mK	Υλικό	Πυκνότητα kg/m³	λ W/mK
Φύλλο Αλουμινίου	3,6	0,033	Σφαιρίδια φελλού διογκωμένου	35 ÷ 60	0,035
Χαρτί Αμιάντου	500	0,070	Σκουριά λεβήτων	750	0,326
Χαρτί Αμιάντου	1000	0,151	Μαγνησία ή πυριτικά σε 100°C	200	0,055
Πλάκες Αμιάντου	2000	0,698		300	0,063
Ίνες Αμιάντου	50	0,058		400	0,073
	100	0,058		500	0,087
	300	0,093		600	0,106
	500	0,160		800	0,157
Βαμβάκι αφράτο	81	0,059	Συνθετικά σπογγώδη		
Βαμβάκι ύφασμα	330	0,070	Πολυστηρόλη	15 ÷ 30	0,038
Βαμβάκι σε βάττες	10	0,041	Μολτοπρέν	20 ÷ 70	0,042
Υαλοβάμβακας, Σκωριοβάμβακας	100	0,046	Ελαφρό σε λιθοδομή	600	0,047
Λιθοβάμβακας	200	0,041	Πορώδες μπετόν	800	0,477
				1000	0,570
Κετσές από μαλλιά	270	0,03 ÷ 0,08		1200	0,662
Ροκανίδια	100 ÷ 140	0,093		1400	0,780
Μοριοσανίδες	200	0,046			
	300	0,051	Ελαφρές πλάκες από ίνες ξύλου	200	0,061
	400	0,055	Εμποτισμένες	300	0,072
	500	0,064		400	0,082
	600	0,074		500	0,105
Πλάκες φελλού ή τύρφης	100	0,037		600	0,128
Φελλός	150	0,042	Σπογγώδες γυαλί	~150	0,053
	200	0,048			
	300	0,059			

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.6.
Ειδική θερμική αγωγιμότητα πάγου.

Υλικό	Πυκνότητα kg/m³	λ W/mK
Πάγος στους 0°C	917	2,21
Πάγος στους – 20°C	920	2,44

3.4 Πολλαπλά στρώματα.

Σε πολλές εφαρμογές υπάρχουν τοιχώματα τα οποία αποτελούνται από περισσότερα διαφορετικά υλικά. Για την περίπτωση αυτή ο υπολογισμός για την αγωγή θερμότητας γίνεται ως εξής:



Σχ. 3.4.
Αγωγή θερμότητας μέσα από διπλό τοίχωμα.

Στο σχήμα 3.4 για δύο στρώματα υπάρχει πυκνότητα παροχής θερμότητας q˙. Για το στρώμα 1 ισχύει η σχέση (3.2) και είναι:

$$q^{\cdot} = (\lambda_1/\delta_1)\ (T_1 - T_2) \qquad (3.4)$$

και για το στρώμα (2) αντίστοιχα:

$$q^{\cdot} = (\lambda_2/\delta_2)\ (T_2 - T_3) \qquad (3.5)$$

Επειδή η πυκνότητα παροχής θερμότητας είναι η ίδια, πρέπει οι δύο σχέσεις να είναι ίσες μεταξύ τους. Προκύπτει λοιπόν ότι:

$$(\lambda_1/\delta_1)\ (T_1 - T_2) = (\lambda_2/\delta_2)\ (T_2 - T_3)$$

ή $$\frac{\lambda_1/\delta_1}{T_2 - T_3} = \frac{\lambda_2/\delta_2}{T_1 - T_2}$$

Από τις ιδιότητες των αναλογιών προκύπτει ότι:

$$\frac{\lambda_1/\delta_1}{T_2 - T_3} = \frac{\lambda_2/\delta_2}{T_1 - T_2} = \frac{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)}{(T_2 - T_3) + (T_1 - T_2)} = \frac{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)}{T_1 - T_3}$$

Η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο εξωτερικών επιφανειών είναι $(T_1 - T_3)$. Η θερμοκρασιακή διαφορά στο τοίχωμα 1 είναι $(T_1 - T_2)$ και αν είναι γνωστή, η $(T_1 \quad T_3)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την παραπάνω σχέση. Δηλαδή:

$$(T_1 - T_2) = (T_1 - T_3) \quad \frac{\lambda_2/\delta_2}{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)} \tag{3.6}$$

Αντίστοιχα για τη θερμοκρασιακή διαφορά στο άλλο στρώμα με δείκτη 2, θα ισχύει:

$$(T_2 - T_3) = (T_1 - T_3) \quad \frac{\lambda_1/\delta_1}{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)}$$

Για να παρασταθεί το πρόβλημα της αγωγής θερμότητας σε πολλαπλά στρώματα με ***ένα*** ισοδύναμο τοίχωμα το οποίο έχει το ίδιο συνολικά αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται οι σχέσεις (3.4) και (3.5). Έτσι προκύπτει ότι:

$$\frac{q'}{\lambda_1/\delta_1} = T_1 - T_2$$

$$\frac{q'}{\lambda_2/\delta_2} = T_2 - T_3$$

Η πρόσθεση των δύο αυτών σχέσεων δίνει:

$$\frac{q'}{\lambda_1/\delta_1} + \frac{q'}{\lambda_2/\delta_2} = (T_1 - T_2) + (T_2 - T_3) = T_1 - T_3$$

ή $$q' = \frac{1}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2} \quad (T_1 - T_3) \tag{3.5}$$

Αν το φανταστικό ισοδύναμο τοίχωμα υποτεθεί με τιμή (λ/δ) τότε θα ισχύει:

$$q' = (\lambda/\delta)\ (T_1 - T_3)$$

και από τη σχέση (3.5) τελικά προκύπτει ότι:

$$\frac{\lambda}{\delta} = \frac{1}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2}$$

ή

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \tag{3.6}$$

Αν τα στρώματα είναι περισσότερα, ας υποτεθεί ν τον αριθμό, τότε η σχέση (3.6) γίνεται:

$$\frac{\delta}{\lambda} = \sum_{v} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \qquad (3.7)$$

Το μέγεθος δ/λ συχνά ονομάζεται και ***θερμική αντίσταση*** του στρώματος.

Έτσι η σχέση (3.7) δείχνει ότι η θερμική αντίσταση ενός πολλαπλού στρώματος είναι ίση με το άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων των διαφόρων στρωμάτων τα οποία το αποτελούν.

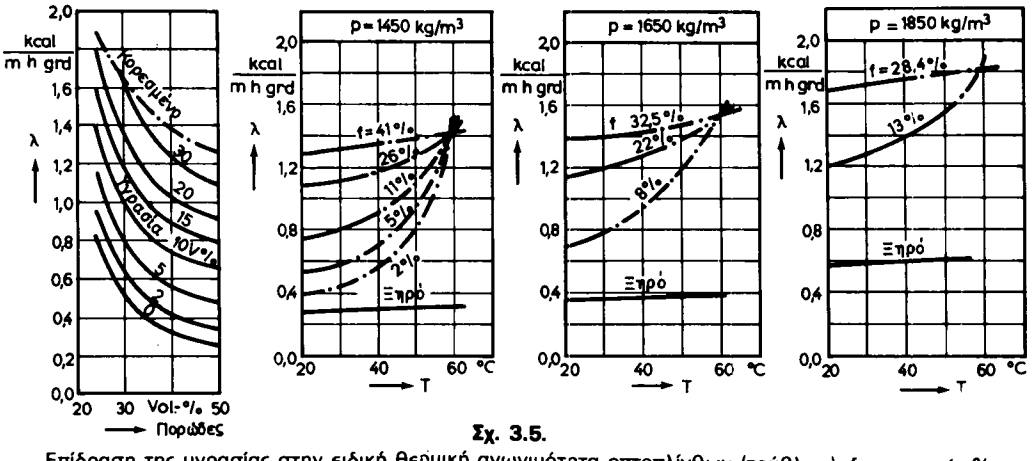
3.5 Υγρασία μονώσεων.

Στις σχέσεις της προηγούμενης παραγράφου πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας των υλικών τα οποία συνθέτουν την κατασκευή. Για πολλά υλικά, οι τιμές αυτές δίνονται στην παράγραφο 3.3. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι οι τιμές αυτές αναφέρονται σε ***ξηρά,*** υλικά. Όταν υπάρχει υγρασία οι τιμές διαφέρουν, γιατί η υγρασία μειώνει τη μονωτική ικανότητα των υλικών.

Όταν το τοίχωμα, το οποίο εξετάζεται, έχει θερμοκρασίες κοντά στους 0°C, τότε ο αέρας ο οποίος διεισδύει σ' αυτό ψύχεται πολύ. Αποτέλεσμα αυτού το γεγονότος είναι η συμπύκνωση του υδρατμού που περιέχει ο αέρας. Το συμπύκνωμα αυτό μένει μέσα στο υλικό σαν νερό και η ποσότητά του συνεχώς αυξάνει, γιατί διεισδύει νέος αέρας με νέα ποσότητα υδρατμού. Αν η θερμοκρασία στο τοίχωμα είναι κάτω από 0°C, τότε σχηματίζεται μέσα στο μονωτικό υλικό όχι μόνο νερό αλλά και χιόνι και πάγος.

Το φαινόμενο αυτό μειώνει πολύ τη μονωτική ικανότητα και μπορεί να προκαλέσει και καταστροφή της κατασκευής λόγω της συσσωρεύσεως πάγου ο οποίος πιέζει τα τοιχώματα από μέσα προς τα έξω.

Για να μην υπάρχουν οι κίνδυνοι αυτοί, πρέπει τα τοιχώματα των μονώσεων χαμηλών θερμοκρασιών, να έχουν ένα ***φραγμό υδρατμού,*** δηλαδή κάποια κατάλληλη μεμβράνη, ή μεταλλικά λεπτά φύλλα.



Σχ. 3.5.

Επίδραση της υγρασίας στην ειδική θερμική αγωγιμότητα οπτοπλίνθων (τούβλων). f = υγρασία % κατ' όγκο ρ = πυκνότητα.

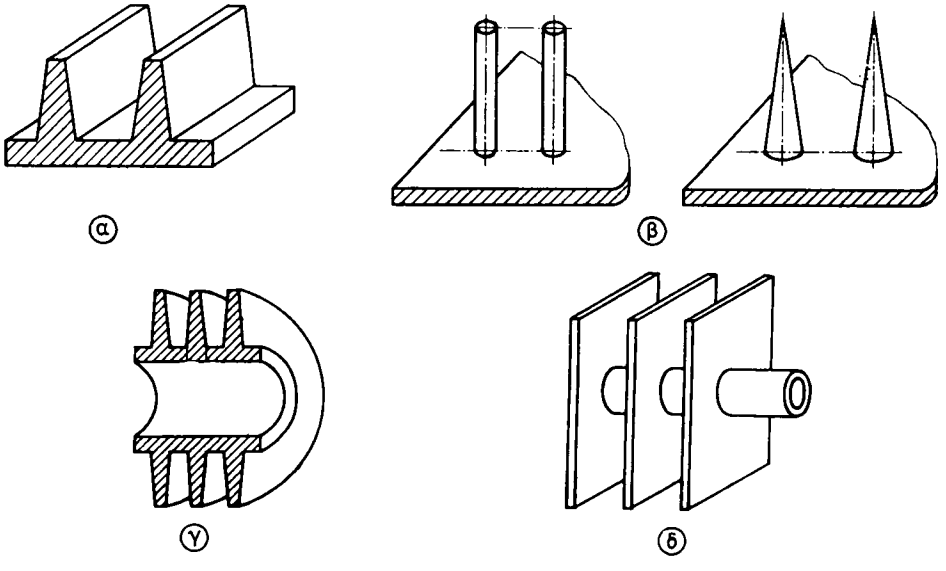
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Στο σχήμα 3.5 δίνεται η μεταβολή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ των οπτοπλίνθων με την υγρασία.

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται η σημαντική αύξηση της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ με την υγρασία. Για μεγάλα ποσοστά υγρασίας φθάνει μέχρι και τετραπλάσιες τιμές από ό,τι σε στεγνή κατάσταση. Το γεγονός αυτό πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα γιατί μπορεί να προκαλέσει πολύ μεγάλες διαφορές κατά τον υπολογισμό των ποσών θερμότητας (φορτία) των ψυκτικών θαλάμων.

3.6 Πτερύγια συναλλαγής θερμότητας.

Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί συνήθως μέσα σε σωλήνες. Ιδιαίτερα στο στοιχείο ατμοποιήσεως και στο συμπυκνωτή όπου το ψυκτικό μέσο ευρίσκεται σε συναλλαγή θερμότητας με τον αέρα (αερόψυκτη εγκατάσταση) η επιφάνεια των σωλήνων δεν είναι αρκετή για τη μετάδοση της θερμότητας.



Σχ. 3.6.
Πτερύγια συναλλαγης θερμότητας.

Για να αυξηθεί η επιφάνεια των σωλήνων προστίθενται εξωτερικά μεταλλικά πτερύγια ή σύρματα (σχ. 3.6). Με τον τρόπο αυτό αυξάνει βέβαια η επιφάνεια, αλλά η κατά μήκος του πτερυγίου θερμοκρασία αλλάζει. Αυτό γίνεται αμέσως κατανοητό αν εξετασθεί ο μηχανισμός μεταδόσεως θερμότητας. Η θερμότητα πρέπει να φύγει από το εσωτερικό του σωλήνα (συμπυκνωτής) του σχήματος 3.6 (δ), π.χ. να περάσει το τοίχωμα του σωλήνα, να εξαπλωθεί στο πτερύγιο και να κινηθεί μέσα από αυτό προς τον αέρα. Καθώς όμως ρέει η θερμότητα δημιουργείται θερμοκρασιακή πτώση σύμφωνα με τη σχέση (3.2). Από αυτό συμπεραίνομε ότι η επιφάνεια του πτερυγίου δεν έχει παντού την ίδια θερμοκρασία. Για συμπυκνωτή, το μέρος κοντά στο σωλήνα είναι θερμότερο και η περιφέρεια ψυχρότερη. Γιά στοιχείο ατμοποιήσεως είναι αντίθετα.

Επειδή το πτερύγιο δεν έχει παντού τη θερμοκρασία του σωλήνα, γι' αυτό δεν αποδίδει όλη η επιφάνεια τόσο καλά όσο το κέντρο του.

Λόγω αυτής ακριβώς της πτώσεως θερμοκρασίας δεν είναι δυνατόν να κατασκευαθούν μεγάλα πτερύγια, γιατί είναι άχρηστα. Όσο μεγάλη και αν γίνει η επιφάνειά τους, μόνο το τμήμα της γύρω από το σωλήνα είναι ενεργό. Το υπόλοιπο δεν συμβάλλει σχεδόν καθόλου. Συνήθως τα πτερύγια γίνονται από αλουμίνιο, επειδή έχει μεγάλη ειδική θερμική αγωγιμότητα λ και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες επιφάνειες. Πτερύγια από σίδηρο χρησιμοποιούνται μόνο για εγκαταστάσεις αμμωνίας και μειονεκτούν ως προς το αλουμίνιο από απόψεως ειδικής θερμικής αγωγιμότητας.

Ο υπολογισμός της ροής της θερμότητας μέσα από πτερύγια διαφόρων μορφών είναι πολύ σύνθετος και δεν αναφέρεται στο βιβλίο αυτό.

Η απόσταση των πτερυγίων καθορίζεται από την αντίσταση που προκαλούν στον αέρα ή το υγρό όταν περνά ανάμεσά τους.

3.7 Συναγωγή.

Η συναγωγή είναι μεταφορά θερμότητας με μακροσκοπική κίνηση ρευστού. Με την κίνηση αυτή, θερμότερες μάζες ρευστού κατευθύνονται προς περιοχές με ψυχρότερες μάζες στις οποίες δίνουν τη θερμότητα. Το ρευστό, υγρό ή αέριο είναι το «μεταφορικό μέσο» το οποίο μεταφέρει τη θερμότητα από το ένα μέρος στο άλλο.

Η κίνηση του ρευστού μπορεί να γίνεται με κάποια μηχανή ή συσκευή, όπως π.χ. με ανεμιστήρα, αντλία κλπ., η οποία εξαναγκάζει το ρευστό σε κίνηση και το θέτει σε κυκλοφορία. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται ***συναγωγή με εξαναγκασμένη κυκλοφορία.***

Μπορεί όμως η κίνηση αυτή να γίνεται και μόνη της λόγω ακριβώς της συναλλαγής θερμότητας. Παράδειγμα του είδους αυτού είναι το ζεστό σώμα κεντρικής θερμάνσεως (καλοριφέρ). Όταν ο αέρας του δωματίου έρχεται σε επαφή με το ζεστό σώμα, θερμαίνεται, γίνεται ελαφρότερος και ανεβαίνει προς τα πάνω. Η κίνηση αυτή ονομάζεται ***φυσική κίνηση*** σε αντιδιαστολή με την ***εξαναγκασμένη.*** Στην περίπτωση αυτή γίνεται λόγος για ***συναγωγή με φυσική κυκλοφορία.***

Στην τεχνολογία της ψύξεως το φαινόμενο της συναγωγής παρουσιάζεται συνήθως με την εξής μορφή: Μια επιφάνεια στερεού σώματος είναι σε επαφή με ένα ρευστό και η θερμότητα συναλλάσσεται μεταξύ στερεού - ρευστού.

Για ***φυσική*** κυκλοφορία ισχύει:

- ***Στερεό σώμα θερμότερο*** από το ρευστό προκαλεί ***ροή ρευστού προς τα επάνω.***
- ***Στερεό σώμα ψυχρότερο*** από το ρευστό προκαλεί ***ροή ρευστού προς τα κάτω.***

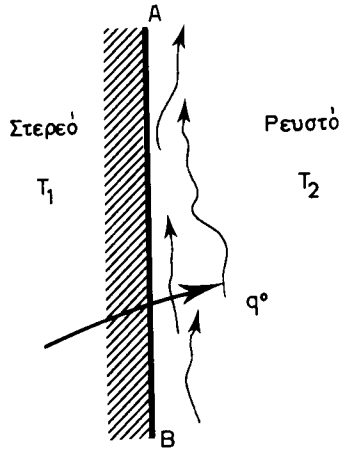
Για την εξαναγκασμένη κυκλοφορία η ροή του ρευστού μπορεί να γίνει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση λόγω του μηχανικού έργου που διατίθεται για τη διατήρηση της ροής.

Και στη συναγωγή, η ροή θερμότητας προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της στερεάς επιφάνειας και του ρευστού. Αν η στερεά επίπεδη επιφάνεια AB (σχ. 3.7α) έχει θερμοκρασία T_1 και το ρευστό, μακρυά από τη στερεά επιφάνεια, έχει θερμοκρασία T_2, τότε η πυκνότητα παροχής θερμότητας q δίνεται από τη σχέση:

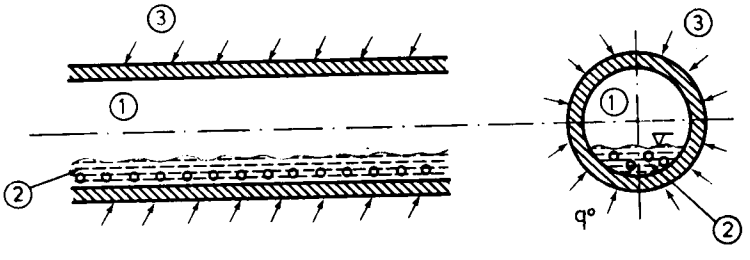
$$q' = a(T_1 - T_2) \qquad (3.7)$$

Το μέγεθος α ονομάζεται ***ειδική (θερμική) συναγωγιμότητα:*** [W/m² °C]. Γενικά στα προβλήματα αυτά, η δυσκολία του υπολογισμού ευρίσκεται στον καθορισμό της τιμής του α.

Στις ψυκτικές διατάξεις η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι πολλές φορές συνδεδεμένη με αλλαγή φάσεως του ρευστού. Αν εξετάζεται τμήμα του συμπυκνωτή είναι συμπύκνωση, αν εξετάζεται τμήμα του στοιχείου ατμοποιήσεως είναι ατμοποίηση.



Σχ. 3.7α.
Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή.



Σχ. 3.7β.
Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή και ταυτόχρονη αλλαγή φάσεως.

Στο σχήμα 3.7β υπάρχει σχηματικά η κατάσταση από ένα τμήμα σωλήνα στοιχείου ατμοποιήσεως.

Στο εσωτερικό υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο (2) το οποίο ατμοποιείται, αλλά υπάρχει και ατμός (1). Στο εξωτερικό υπάρχει ο αέρας (3) ο οποίος ψύχεται από το σωλήνα. Η θερμότητα αφαιρείται από τον αέρα (3) και προσδίδεται στο υγρό ψυκτικό μέσο (2).

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και στις δύο επιφάνειες της στερεάς επιφάνειας (σωλήνας). Στην εξωτερική επιφάνεια είναι μεταφορά θερμότητας από αέρα σε σωλήνα και στην εσωτερική επιφάνεια είναι μεταφορά θερμότητας από σωλήνα σε ψυκτικό μέσο με ταυτόχρονη αλλαγή φά-

σεως. Η σχέση (3.7) ισχύει και για τις δύο επιφάνειες. Φυσικά για τις δύο περιπτώσεις άλλες τιμές έχει το α και άλλες η διαφορά θερμοκρασίας.

Η σχέση (3.7) δεν προέρχεται από επιστημονικούς συλλογισμούς, αλλά είναι ένας απλός ορισμός. Για το λόγο αυτό ο θεωρητικός υπολογισμός του α είναι ακόμη πιο δύσκολος, γιατί δεν περιγράφει κάποιο μονοσήμαντα καθορισμένο φυσικό φαινόμενο.

3.8 Ειδική (θερμική) συναγωγιμότητα.

Η αριθμητική τιμή της ειδικής συναγωγιμότητας δεν είναι μία φυσική σταθερά του υλικού μέσου όπως συμβαίνει με την ειδική θερμική αγωγιμότητα. Η τιμή της εξαρτάται βέβαια και από το ρευστό, αλλά ταυτόχρονα εξαρτάται πολύ περισσότερο από τη μορφή της ροής στην επιφάνεια.

Για να προσδιορισθεί λοιπόν η τιμη της ειδικής θερμικής συναγωγιμότητας ***α*** πρέπει να είναι γνωστά και να ληφθούν υπόψη πολλά δεδομένα.

Στις επόμενες παραγράφους δίνονται πιο αναλυτικά στοιχεία για τις αντίστοιχες περιπτώσεις. Για μία πρώτη γενική εικόνα αρκούν ίσως οι εξής τιμές των αντιστοίχων διατάξεων.

- Αέρας εγκάρσια γύρω από σωλήνα (ελεύθερη συναγωγή): $\alpha = 1 \div 12$ W/m² °C.
- Αέρας εγκάρσια γύρω από σωλήνες (εξαναγκασμένη συναγωγή): $\alpha = 10 \div 300$ W/m² °C.
- Νερό μέσα σε σωλήνες: $\alpha = 200 \div 3000$ W/m² °C.
- Νερό εγκάρσια γύρω από σωλήνες (ελεύθερη συναγωγή): $\alpha = 600 \div 1500$ W/m² °C.

Πρέπει για κάθε περίπτωση, να γνωρίζομε την τιμή του α, γιατί αυτή καθορίζει το μέγεθος της επιφάνειας η οποία απαιτείται για την κατασκευή της συσκευής.

Οι πιο μεγάλες τιμές ειδικής συναγωγιμότητας εμφανίζονται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει αλλαγή φάσεως του ρευστού. Ειδικά για αλλαγή φάσεως νερού οι τιμές αυτές γίνονται πολύ μεγάλες. Χαρακτηριστικές τιμές είναι οι εξής:

α) Νερό σε δοχεία και λέβητες.

- Νερό χωρίς ατμοποίηση ή ανάδευση: $\alpha = 600 \div 3500$ W/m² °C.
- Νερό χωρίς ατμοποίηση με ανάδευση: $\alpha = 2300 \div 4500$ W/m² °C.
- Νερό με ατμοποίηση: $\alpha = 2300 \div 7000$ W/m² °C.

Για αντίστοιχες καταστάσεις ψυκτικών μέσων και όχι νερού οι τιμές είναι πολύ μικρότερες. Για ατμοποίηση π.χ. σε στοιχείο ατμοποιήσεως κατάλληλο για κλιματιστική εγκατάσταση, όπου η θερμοκρασία ατμοποιήσεως είναι περίπου 0°C οι αντίστοιχες τιμές της ειδικής συναγωγιμότητας α είναι οι εξής:

β) Ατμοποίηση ψυκτικού μέσου 0°C.

Για $\Delta T = 10$°C: $\alpha = 170 \div 230$ W/m² °C.
Για $\Delta T = 20$°C: $\alpha = 800 \div 1150$ W/m² °C.

Από τις τιμές αυτές φαίνεται η σημαντική επίδραση την οποία έχει η διαφορά

θερμοκρασίας ΔΤ η οποία επικρατεί μεταξύ ρευστού και τοιχώματος στη μετάδοση θερμότητας.

Σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζεται ταυτόχρονα μετάδοση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να γίνει ο υπολογισμός ανεξάρτητα για την κάθε περίπτωση και υπάρχει και κάποια αλληλεπίδραση.

Για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις η συναγωγή εμφανίζεται συνήθως για αέρα, νερό και ψυκτικά μέσα, και για αυτό το λόγο εξετάζονται στις επόμενες παραγράφους οι αντίστοιχες περιπτώσεις.

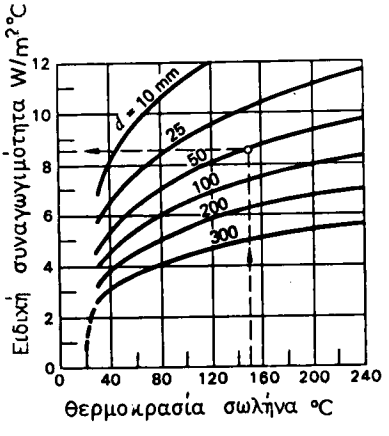
3.9 Συναγωγή αέρα.

Οι πιο συνηθισμένες γεωμετρικές επιφάνειες οι οποίες εμφανίζονται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι ο κύλινδρος (σωλήνες) και το επίπεδο (πτερύγια). Για τις επιφάνειες αυτές δίνονται στην παράγραφο αυτή σχετικές τιμές.

Από την άποψη της κυκλοφορίας του αέρα, μπορεί να εμφανίζεται φυσική κυκλοφορία ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν δύο υποπεριπτώσεις ανάλογα με την ταχύτητα κινήσεως του αέρα. Μπορεί δηλαδή η ροή να είναι στρωτή χωρίς στροβιλισμούς και δίνες (μικρή ταχύτητα) ή μπορεί να είναι με στροβιλισμούς και τοπικές ανωμαλίες (τυρβώδης).

3.9.1 Φυσική κυκλοφορία.

Για την απλή περίπτωση της φυσικής κυκλοφορίας αέρα γύρω από οριζόντιο σωλήνα ισχύει το διάγραμμα του σχήματος 3.9α. Πρέπει να τονισθεί ότι το διάγραμμα αυτό ισχύει ακριβώς για αέρα 20°C. Για άλλη θερμοκρασία αέρα υπάρχουν μικροδιαφορές.



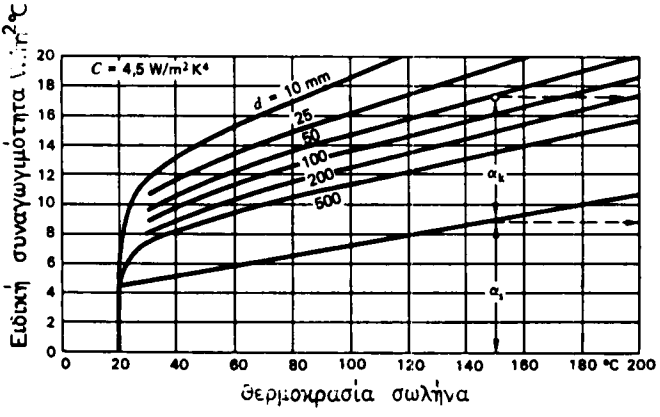
Σχ. 3.9α.
Ειδική συναγωγιμότητα για φυσική κυκλοφορία αέρα θερμοκρασίας 20° C γύρω από οριζόντιο σωλήνα (χωρίς ακτινοβολία).

Για να τονισθεί η ύπαρξη και της ακτινοβολίας, ταυτόχρονα με τη συναγωγή, δίνεται και το διάγραμμα του σχήματος 3.9β. Στο κάτω μέρος του το τμήμα που χαρακτηρίζεται με α_s είναι η επίδραση της ακτινοβολίας που προστίθεται στο τμήμα $\alpha_κ$ το οποίο οφείλεται στη συναγωγή.

Το σχήμα 3.9β αναφέρεται σε σωλήνα ο ο οποίος έχει συντελεστή ακτινοβολίας C = 4,5 W/m²K⁴. Λεπτομέρειες γι' αυτό αναφέρονται στην αντίστοιχη παράγραφο 3.12.

Για να γίνει σαφής η διαφορά ας εξετάσομε το παρακάτω παράδειγμα:

Έχομε ένα σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου 100 mm και θερμοκρασίας 80 °C.



Σχ. 3.9β.

Συνολική ειδική συναγωγιμότητα a_{ges} οφειλόμενη σε συναγωγή α_k και ακτινοβολία α_s. Αφορά αέρα 20°C (φυσική κυκλοφορία) γύρω από οριζόντιο σωλήνα.

Από το σχήμα 3.9α προκύπτει ότι:

Ειδική συναγωγιμότητα $\alpha_K = 6$ W/m²k.

Από το σχήμα 3.9β αντίστοιχα ότι:

Ολική ειδική συναγωγιμότητα $\alpha_{ges} = \sim 13$ W/m²k.

Ώστε η τιμή η οποία πραγματικά υπάρχει στη μετάδοση θερμότητας είναι 13 W/m²K, γιατί η ακτινοβολία υπερδιπλασιάζει στην περίπτωση αυτή τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή.

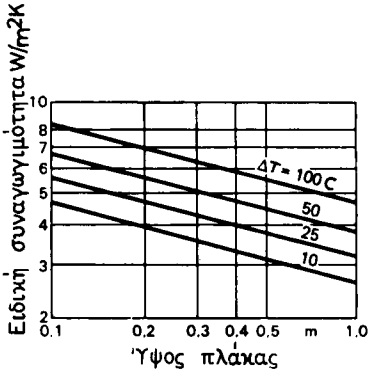
Για φυσική κυκλοφορία αέρα και επίπεδη ***κατακόρυφη*** πλάκα χωρίς την επίδραση ακτινοβολίας, ισχύει το διάγραμμα του σχήματος 3.9γ.

Για οριζόντιες επίπεδες επιφάνειες οι τιμές της ειδικής συναγωγιμότητας υπολογίζονται από τις εξής σχέσεις στις οποίες το ΔT πρέπει να είναι σε °C.

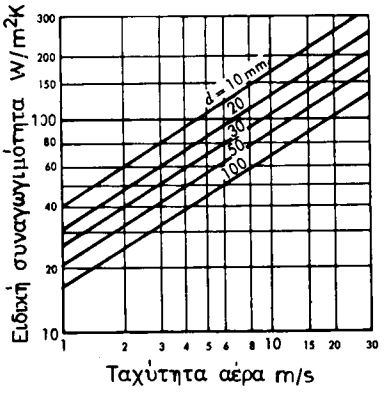
Οριζόντια πλάκα:

- Θέρμανση προς τα πάνω: $\alpha = (2{,}7 \div 3{,}3) \cdot \sqrt[4]{\Delta T}$ W/m² °C
- Θέρμανση προς τα κάτω: $\alpha = (0{,}6 \div 1{,}3) \cdot \sqrt[4]{\Delta T}$ W/m² °C

Η διαφορά στις δύο περιπτώσεις οφείλεται στα ανοδικά ρεύματα που σχηματίζονται. Θέρμανση προς τα πάνω ευνοεί την κυκλοφορία και ανανέωση του αέρα κοντά στην πλάκα. Θέρμανση προς τα κάτω εμποδίζει την κυκλοφορία, γιατί ο ζεστός αέρα ανεβαίνει προς τα πάνω και είναι συνεπώς ο ίδιος ζεστός αέρας που έρχεται σε επαφή με την πλάκα.



Σχ. 3.9γ.
Είδική συναγωγιμότητα για κατακόρυφη πλάκα σε αέρα 20°C. Φυσική κυκλοφορία.



Σχ. 3.9δ.
Ειδική συναγωγιμότητα για εξαναγκασμένη ροή αέρα γύρω από σωλήνα. Χωρίς ακτινοβολία.

3.9.2 Εξαναγκασμένη κυκλοφορία.

Για εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα εγκάρσια γύρω από σωλήνα, ισχύει το διάγραμμα του σχήματος 3.9δ. Οι τιμές του ισχύουν για συνηθισμένες θερμοκρασίες αέρα και δίνει αρκετή ακρίβεια, μέχρι και 100°C.

Βασική παράμετρος η οποία επηρεάζει την τιμή της ειδικής συναγωγιμότητας είναι η ταχύτητα του αέρα. Όσο αυξάνει η ταχύτητα τόσο αυξάνει και η τιμή της ειδικής συναγωγιμότητας.

Όταν υπάρχουν πολλοί σωλήνες παράλληλοι, όπως π.χ. συμβαίνει σε στοιχεία ατμοποιήσεως ή αερόψυκτους συμπυκνωτές, τότε υπάρχει αλληλεπίδραση και πρέπει να γίνουν κατάλληλες διορθώσεις.

Για εξαναγκασμένη ροή σε κατακόρυφη πλάκα ισχύουν οι εξής σχέσεις για τον υπολογισμό της ειδικής θερμικής συναγωγιμότητας:

– Ταχύτητα αέρα $w < 5$ m/s:

$$a = 5{,}8 + 4 \cdot w \qquad \text{σε } W/m^2\,°C$$

– Ταχύτητα αέρα $w > 5$ m/s:

$$a = 7{,}15 \cdot w^{0{,}78} \qquad \text{σε } W/m^2\,°C$$

Ο υπολογισμός της τελευταίας σχέσεως μπορεί να γίνει με λογάριθμους ή με κατάλληλη αριθμομηχανή.

3.10 Συναγωγή νερού.

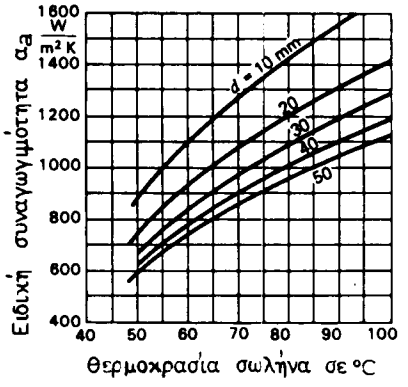
Και στην περίπτωση του νερού οι κύριες γεωμετρικές μορφές οι οποίες εμφανίζονται στις τεχνολογικές εγκαταστάσεις είναι οι κύλινδροι (σωλήνες) και τα επίπεδα.

Στην περίπτωση όμως του νερού εμφανίζεται επί πλέον και ροή μέσα σε σωλήνες.

Οι σχετικές περιπτώσεις εξετάζονται στην παράγραφο αυτή με συντομία.

3.10.1 Φυσική κυκλοφορία.

Στο σχήμα 3.10α υπάρχει το κατάλληλο διάγραμμα για τον υπολογισμό της ειδικής συναγωγιμότητας. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του σωλήνα τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της α. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι η μικρή διάμετρος d συνεπάγεται και μικρή επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας.



Σχ. 3.10α.
Ειδική συναγωγιμότητα για οριζόντιους σωλήνες μέσα σε νερό 40°C. Φυσική κυκλοφορία (στρωτή).

Σύγκριση του σχήματος 3.10α με το σχήμα 3.9α δείχνει ότι η ειδική συναγωγιμότητα για νερό, είναι περίπου 100 ως 200 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για αέρα. Η διαφορά οφείλεται κυρίως στη διαφορετική πυκνότητα των δύο ρευστών. Και στο σχήμα 3.10α δεν υπάρχει η επίδραση της ακτινοβολίας η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη χωριστά. Εδώ όμως η απορρόφηση της ακτινοβολίας από το νερό είναι έντονη και δεν υπάρχουν διαφορές όπως στην περίπτωση αέρα.

Επίπεδες επιφάνειες μέσα σε νερό (πτερύγια) δεν χρησιμοποιούνται συνήθως, γιατί η επιφάνεια του σωλήνα επαρκεί όταν είναι βυθισμένος σε νερό.

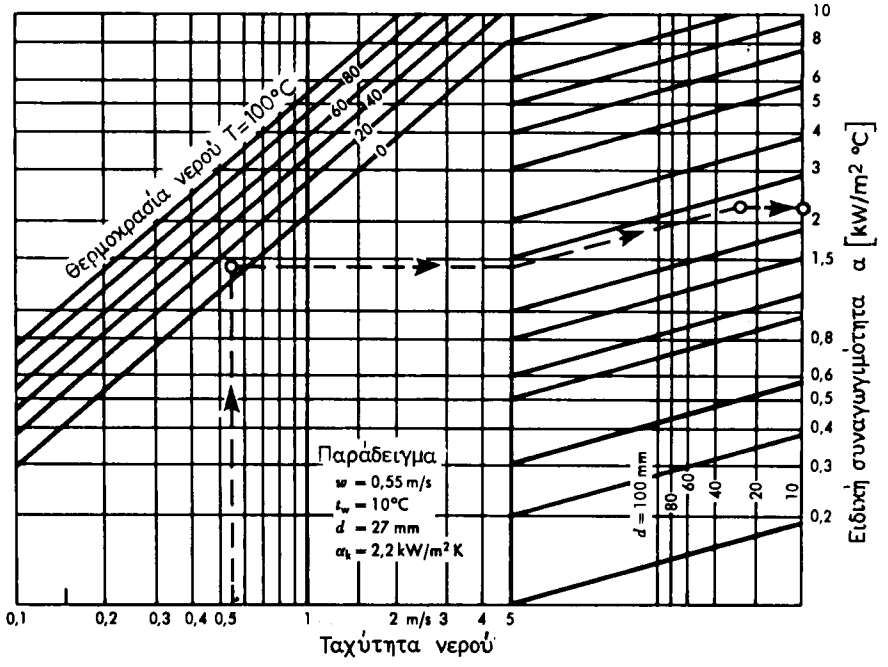
3.10.2 Εξαναγκασμένη κυκλοφορία.

Η ροή νερού μέσα σε σωλήνες εμφανίζεται συχνά σε εγκαταστάσεις ψύξεως. Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις είναι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές όπου μέσα στους σωλήνες κυκλοφορεί νερό που απάγει τη θερμότητα και έξω από τους σωλήνες συμπυκνώνεται το ψυκτικό μέσο και οι εναλλάκτες θερμότητας όπου ψύχονται δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα (άλμες).

Για τις περιπτώσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα του σχήματος 3.10β. Πρέπει να δώσομε προσοχή στο ότι οι τιμές της ειδικής συναγωγιμότητας, είναι σε kW και όχι σε W. Τονίζεται ιδιαίτερα η επίδραση της ταχύτητας.

Για μεγάλες ταχύτητες νερού, δηλαδή 3 - 5 m/s, επιτυγχάνονται εύκολα πολύ μεγάλες τιμές ειδικής συναγωγιμότητας, μέχρι και 10 kW/m² °C. Το γεγονός αυτό είναι καλό όταν είναι επιθυμητή έντονη συναλλαγή θερμότητας. Όταν όμως επιδιώκεται μόνωση των σωλήνων ώστε να αποφεύγονται θερμικές απώλειες, τότε η μεγάλη τιμή της ειδικής συναγωγιμότητας δημιουργεί προβλήματα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 3.10β.
Ειδική συναγωγιμότητα για ροή νερού μέσα σε σωλήνα.

3.11 Συναγωγή με αλλαγή φάσεως.

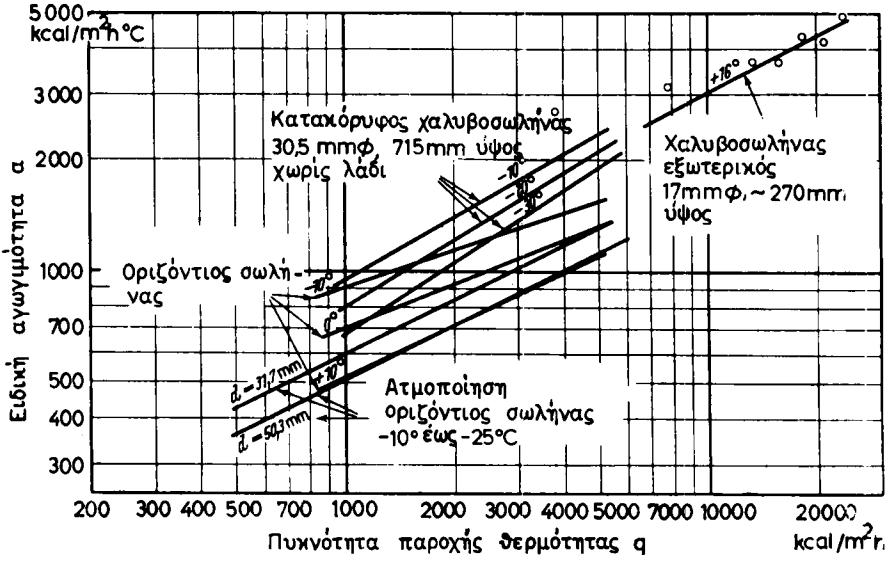
Όταν γίνεται αλλαγή φάσεως τότε εμφανίζονται πολύ καλές συνθήκες μεταδόσεως θερμότητας για συναγωγή. Για τις περιπτώσεις αυτές εμφανίζονται οι μεγαλύτερες δυνατές τιμές ειδικής συναγωγιμότητας.

Αλλαγή φάσεως εμφανίζεται τόσο στο συμπυκνωτή όσο και στο στοιχείο ατμοποιήσεως όπου το ψυκτικό μέσο αλλάζει κατάσταση. Για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις λοιπόν, ενδιαφέρον παρουσιάζει η ειδική συναγωγιμότητα για την περίπτωση αλλαγής φάσεως ψυκτικού μέσου. Η περίπτωση ατμοποιήσεως ή συμπυκνώσεως νερού εμφανίζεται μόνο σε πολύ ειδικές περιπτώσεις οι οποίες δεν εξετάζονται στο βιβλίο αυτό.

Οι ακριβείς τιμές ειδικής συναγωγιμότητας οι οποίες επικρατούν σε κάθε εγκατάσταση με αλλαγή φάσεως πρέπει να μετρηθούν πειραματικά. Ο υπολογισμός τους είναι πολύ αβέβαιος, γιατί επηρεάζονται από πάρα πολλούς παράγοντες, όπως είναι π.χ. η περιεκτικότητα υγρού-ατμού, το ποσοστό λαδιού που υπάρχει, ο τρόπος λειτουργίας, το είδος της διατάξεως σταγγαλισμού κλπ. Στην παράγραφο 3.8 έχουν δοθεί ήδη μερικές ενδεικτικές τιμές.

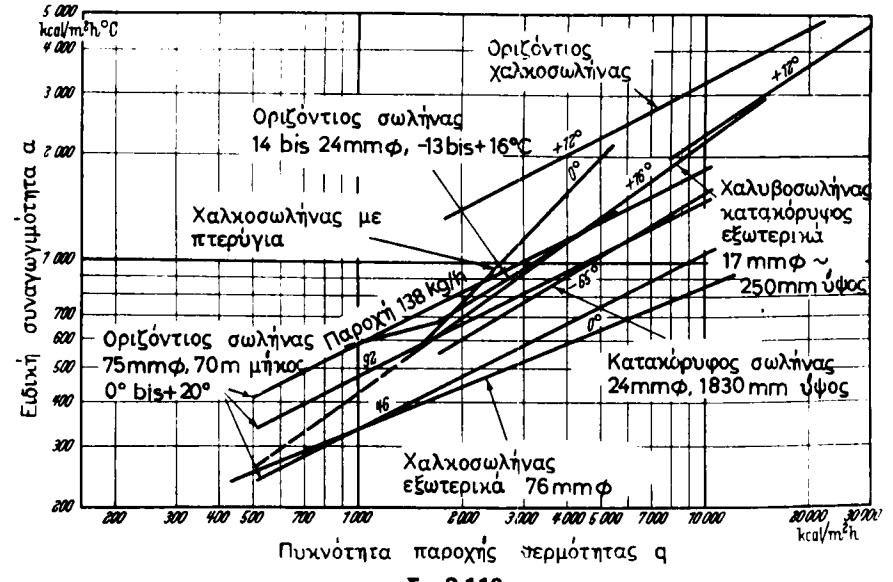
Στα επόμενα σχήματα δίνονται συνοπτικά μερικά αποτελέσματα από σχετικές μετρήσεις. Έχει παρατηρηθεί ότι είναι καλύτερα να δίνονται οι σχετικές τιμές της ειδικής συναγωγιμότητας α ως συνάρτηση της πυκνότητας παροχής θερμότητας q.

Στο σχήμα 3.11α εμφανίζονται τιμές για ατμοποίηση αμμωνίας. Οι τιμές αυτές,



Σχ. 3.11α.

Τιμές ειδικης συναγωγιμότητας για ατμοποίηση αμμωνίας.



Σχ. 3.11β.

Ειδική συναγωγιμότητα για ατμοποίηση R12.

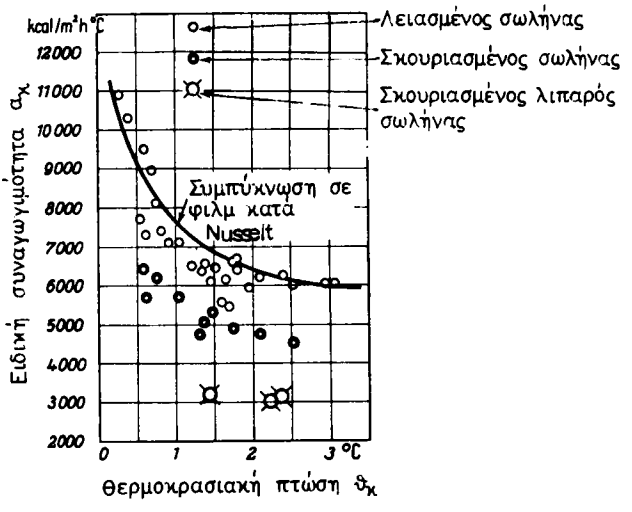
πρέπει να τονίσθεί, αφορούν τις εγκαταστάσεις στις οποίες μετρήθηκαν και δίνουν μόνο εικόνα της τάξεως μεγέθους του φαινομένου. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτούσιες για άλλες εγκαταστάσεις.

Αντίστοιχες τιμές για ψυκτικό μέσο R12 δίνονται στο σχήμα 3.11β. Από σύγκριση των τιμών για NH_3 και R12 γίνεται αμέσως φανερό ότι η αμμωνία έχει σχεδόν διπλάσιες τιμές.

Οι τιμές αυτές επηρεάζονται αποφασιστικά από την παρουσία λαδιού. Όσο πε-

ρισσότερο λάδι υπάρχει στο ψυκτικο μεσο, τόσο χειρότερη (μικρότερη) γίνεται η ειδική συναγωγιμότητα.

Για τη συμπύκνωση δεν ισχύουν οι ίδιες τιμές που ισχύουν για την ατμοποίηση. Το φαινόμενο της συμπυκνώσεως είναι πολλές φορές όχι τέλεια καθορισμένο, γιατί η μορφή του συμπυκνώματος, π.χ. σταγόνες ή φιλμ συνεχές, αλλάζει, με την καθαρότητα της μεταλλικής επιφάνειας. Ενδεικτικές τιμές δίνονται στο σχήμα 3.11γ.



Σχ. 3.11γ.
Ειδική συναγωγιμότητα για συμπύκνωση αμμωνίας.

3.12 Ακτινοβολία.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο σχηματίζεται ανάμεσα σε σώματα διαφορετικών θερμοκρασιών.

Κάθε υλικό σώμα εκπέμπει και δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με περιοχές μήκους κύματος 0,02 ως 800 μm. Η ακτινοβολία αυτή λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών τα οποία τη διακρίνουν, λέγεται ***θερμική ακτινοβολία.***

Ένα σώμα με απόλυτη θερμοκρασία T = (273,15 + °C) εκπέμπει θερμική ακτινοβολία της οποίας η ενέργεια Q_e για κάθε μονάδα επιφάνειας του σώματος, είναι ίση με:

$$Q_e = C\left(\frac{T}{100}\right)^4 \qquad W/m^2 \qquad (3.8)$$

Η σταθερά C έχει τη μέγιστη τιμή όταν η επιφάνεια είναι ***μαύρου*** χρώματος. Σ' αυτή την περίπτωση ισχύει ότι:

$$C = C_s = 5{,}77 \qquad W/m^2K^4$$

Επιφάνεια μαύρου χρώματος σημαίνει ότι η επιφάνεια ***απορροφά*** όλες τις ακτινοβολίες οι οποίες πέφτουν επάνω της. Στην πράξη όμως δεν υπάρχουν τέτοιες επιφάνειες, και όλα τα σώματα απορροφούν μόνο ένα μέρος από την ακτινοβολία η

οποία πέφτει επάνω τους. Για το λόγο αυτό η σχέση (3.8) γράφεται και ως εξής:

$$Q_e = \epsilon C_s \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad W/m^2 \qquad (3.8)$$

επειδή $C = \epsilon C_s$ όπου $\epsilon < 1$.

Υποτίθεται δηλαδή ότι το σώμα απορροφά ένα καθορισμένο ποσοστό ε από την αντίστοιχη ακτινοβολία την οποία απορροφά το μαύρο σώμα. Ο Πίνακας 3.12.1 δίνει χαρακτηριστικές τιμές για το μέγεθος $C = \epsilon C_s$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12.1.
Συντελεστής ακτινοβολίας $C = \epsilon C_s$ για $T = 0$ ως 2000 K σε W/m^2K^4.

Υλικό ή επιφάνεια	W/m^2K^4
Απολύτως μαύρο σώμα	5,77
Ευγενή μέταλλα στιλβωμένα	0,1 ως 0,3
Μη ευγενή μέταλλα στιλβωμένα	0,15 ως 0,4
Μέταλλα	
Αλουμίνιο μη επεξεργασμένο	0,40 ως 0,50
Αλουμίνιο στιλβωμένο	0,29
Σίδηρος, χάλυβας από έλαση ή χυτήριο	4,3 ως 4,7
Πρόσφατη λείανση	1,4 ως 2,6
Εντελώς οξειδωμένος (κόκκινος)	4,0
Γαλβανισμένος (ματ)	0,5
Γαλβανισμένος	1,3 ως 1,6
Χαλκός γυαλισμένος	0,5
οξειδωμένος μαύρος	4,5
Ορείχαλκος, στιλβωμένος	0,3
Πρόσφατη λείανση	1,2
Επίστρωμα χρώματος καφέ	2,4
Ορείχαλκος αλουμινίου	2,0 ως 2,5
Χρώματα	
Λευκό εμαγιέ	5,2
Χρώμα θερμαντικών σωμάτων (οποιουδήποτε χρωματισμού)	5,2
Ελαιοχρώματα οποιαδήποτε, ακόμη και άσπρο	5,1 ως 5.6
Χρώματα οινοπνεύματος, μαύρο γυαλιστερό	4,8
Διάφορα	
Για πυρακτωμένο κάρβουνο, φωτεινή φλόγα	~ 4,7
Ανθρώπινη επιδερμίδα	~ 4,7
Γύψος, μάρμαρο, σοβάς, πλακάκια	5,2 ως 5,4
Πάγος, γυαλί, νερό	5,4 ως 5,5
Σκυρόδεμα, αιθάλη	5,4 ως 5,7

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

Ο συντελεστής ε περιγράφει όχι μόνο την απορρόφηση, αλλά ταυτόχρονα και την εκπομπή ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται θεωρητικά και είναι το συμπέρασμα του αντίστοιχου νόμου του Kirchhoff.

Η τιμή του συντελεστή C περιγράφει μόνο ένα σώμα. Όταν όμως υπάρχει μετάδοση θερμότητας από ένα σώμα 1 σε ένα άλλο σώμα 2, τότε πρέπει να είναι γνωστές και οι δύο τιμές C των δύο σωμάτων, δηλαδή πρέπει να είναι γνωστά τα μεγέθη C_1 και C_2. Εκτός από αυτό πρέπει να είναι γνωστές φυσικά και οι απόλυτες θερμοκρασίες T_1 και T_2 των δύο σωμάτων.

Στην περίπτωση των δύο σωμάτων, το σώμα 1 εκπέμπει ακτινοβολία σε όλο το χώρο και φυσικά και στο σώμα 2· ακριβώς το ίδιο κάνει και το σώμα 2. Έτσι κάθε ένα από τα δύο σώματα εκπέμπει και δέχεται ακτινοβολία ταυτόχρονα. Όταν η ακτινοβολία που δέχεται είναι μεγαλύτερη από την ακτινοβολία που εκπέμπει, τότε το σώμα συνολικά παίρνει θερμότητα. Το αντίθετο φυσικά συμβαίνει όταν ακτινοβολεί θερμότητα περισσότερη από ό,τι δέχεται.

Στον υπολογισμό των ποσών ενέργειας τα οποία δέχεται ένα σώμα παίζει σημαντικό ρόλο και η γεωμετρία του συστήματος, δηλαδή η στερεά γωνία με την οποία ο πομπός «φωτίζει» το δέκτη. Ανάλογα με τη γεωμετρία και τις τιμές των συντελεστών C_1 και C_2 προκύπτουν και οι ποσότητες ενέργειας για δεδομένες τιμές θερμοκρασίας T_1 και T_2. Η παροχή θερμότητας Q· σε ένα σώμα επιφάνειας A με συντελεστή C_2 και θερμοκρασία T_2 από ένα σώμα με συντελεστή C_1 και θερμοκρασία T_1 δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{Q} = A\ C\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \tag{3.9}$$

Η πυκνότητα παροχής αντίστοιχα είναι:

$$\boxed{\frac{\dot{Q}}{A} = \dot{q} = C\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]} \tag{3.10}$$

Η τιμή του συντελεστή C προσδιορίζεται από τις αντίστοιχες τιμές C_1 και C_2 και από τη γεωμετρική τοποθέτηση των δύο σωμάτων.

Για απλές γεωμετρικές τοποθετήσεις ισχύουν τα εξής:

1) Παράλληλα επίπεδα:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}\right)}$$

2) Επιφάνεια $A_1 >> A_2$ (Σωλήνας στο χώρο):

$$C = C_1$$

3) Η επιφάνεια A_2 περιβάλλει εντελώς την A_1.

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{A_1}{A_2}\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}}$$

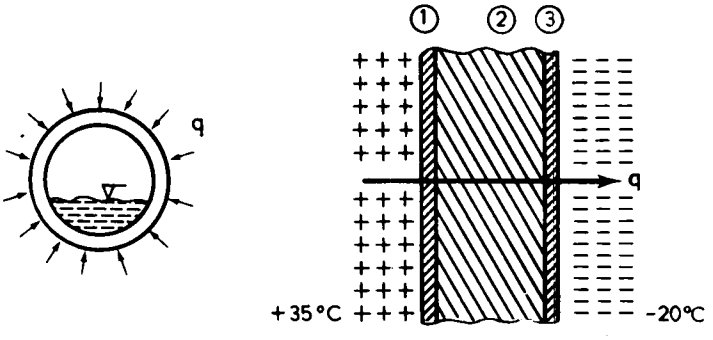
Υπενθυμίζεται ότι οι συντελεστές C_1, C_2, C_s περιγράφουν τα σώματα επιφάνειας A_1, A_2 και το μαύρο σώμα αντίστοιχα.

Για γεωμετρικά σύνθετες περιπτώσεις ο υπολογισμός του συντελεστή C είναι πολύ δύσκολος και πολλές φορές αδύνατος. Σε τέτοιες περιπτώσεις γίνεται προσομοίωση του προβλήματος με κατάλληλη διάταξη και πειραματικός προσδορισμός του C.

3.13 Διάβαση.

Το όνομα ***διάβαση*** χαρακτηρίζει το φαινόμενο της μεταδόσεως θερμότητας διά μέσου ενός απλού ή πολλαπλού τοιχώματος και δύο ρευστών ανάμεσα από τα οποία ευρίσκεται το τοίχωμα.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα φαίνονται στο σχήμα 3.13α. Στο αριστερό μέρος είναι, σε τομή, ένας σωλήνας στοιχείου ατμοποιήσεως. Η θερμότητα φεύγει από τον εξωτερικό αέρα και περνά με συναγωγή στο σωλήνα. Η θερμότητα στο τοίχωμα του σωλήνα περνά με αγωγή και τελικά δίνεται με συναγωγή στο ψυκτικό μέσο.



Σχ. 3.13α.
Διάβαση θερμότητας.

Στο δεξιό μέρος του ίδιου σχήματος υπάρχει ένα τμήμα από ένα τοίχωμα ψυγείου. Στο εξωτερικό περιβάλλον ο αέρας έχει θερμοκρασία + 35°C και στον ψυχόμενο χώρο – 20°C. Η θερμότητα περνά με συναγωγή από το ζεστό αέρα του περιβάλλοντος στο πολλαπλό τοίχωμα. Μέσα στο τοίχωμα διαδίδεται με αγωγή και τελικά πάλι με συναγωγή προσδίδεται από την κρύα πλευρά του τοιχώματος προς τον κρύο αέρα του ψυχόμενου θαλάμου (– 20°C).

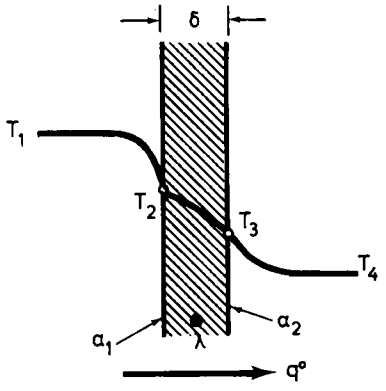
Η διάβαση θερμότητας είναι πολύ διαδεδομένη στις ψυκτικές εγκαταστάσεις. Σχεδόν παντού μεταφέρεται θερμότητα από τον αέρα στο ψυκτικό μέσο ή αντίστροφα. Επειδή ο αέρας και το ψυκτικό μέσο διαχωρίζονται με τα τοιχώματα της συσκευής, που είναι συνήθως τοιχώματα σωλήνα, η θερμότητα πρέπει να περάσει και μέσα από αυτά.

Η συνηθισμένη λοιπόν διαδρομή την οποία ακολουθεί η θερμότητα είναι η εξής:

Ρευστό → στερεό → ρευστό

Δηλαδή περίπτωση διαβάσεως.

Στο σχήμα 3.13β εξετάζεται η απλή περίπτωση ενός επίπεδου τοιχώματος το οποίο έχει πάχος δ, ειδική θερμική αγωγιμότητα λ και ευρίσκεται μεταξύ δύο ρευστών με θερμοκρασίες T_1 και T_4 όπου $T_1 > T_4$. Προς την πλευρά του ζεστού ρευστού η ειδική συναγωγιμότητα έχει τιμή α_1 και προς την πλευρά του κρύου ρευστού τιμή α_2.



Σχ. 3.13β.
Διάβαση θερμότητας.

Από τις αντίστοιχες σχέσεις για αγωγή και συναγωγή προκύπτει ότι:

$$q^{\cdot} = \alpha_1(T_1 - T_2) = (\lambda/\delta)\,(T_2 - T_3) = \alpha_2(T_3 - T_4)$$

Από αυτήν προκύπτει ότι:

$$q^{\cdot} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{1}{\alpha_2}}$$

Από τη σχέση αυτή και τις ιδιότητες των αναλογιών προκύπτει με πρόσθεση ότι:

$$q^{\cdot} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{1}{\alpha_2}} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.11)$$

Για να προκύψει μια σχέση ανάλογη με εκείνη η οποία περιγράφει τη μετάδοση θερμότητας με αγωγή μόνο, συνηθίζεται αντί για τη σχέση (3.11) να γράφεται ανάλογα προς την σχέση 3.5.

$$\boxed{q' = \frac{1}{k}\Delta T} \quad (3.12)$$

Επειδή $\Delta T = T_1 - T_4$ από τη σχέση (3.11), προκύπτει για την τιμή του k ότι:

$$\boxed{\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.13)$$

Το μέγεθος k λέγεται ***συντελεστής διαβάσεως (θερμότητας)*** ή ***ειδική διαβατότητα*** και έχει τις ίδιες μονάδες όπως η ειδική συναγωγιμότητα α.

Αν το τοίχωμα είναι πολλαπλό και αποτελείται από διαδοχικά στρώματα 1,2,3...ν, με πάχη δ_1, δ_2, δ_3 ... δ_ν και αντίστοιχες ειδικές αγωγιμότητες λ_1, λ_2, λ_3 ... λ_ν, τότε η ειδική διαβατότητα θα είναι αναλογικά με τη σχέση (3.13):

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum^{\nu} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \qquad (3.14)$$

Για τον υπολογισμό της τιμής του k χρησιμοποιούνται οι τιμές των α και λ οι οποίες έχουν δοθεί στις αντίστοιχες προηγούμενες παραγράφους.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

1.1 Εισαγωγή.

Ο συμπιεστής, όπως ήδη αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.24 του Α' Μέρους, είναι η καρδιά της ψυκτικής διατάξεως.

Διατηρεί σε κυκλοφορία το ψυκτικό μέσο μέσα στους αγωγούς και τις επί μέρους συσκευές των ψυκτικών μηχανών, υπερνικώντας τόσο τις τριβές ροής του ίδιου του μέσου, όσο και τη διαφορά πιέσεως, η οποία επικρατεί μεταξύ του συμπυκνωτή και του στοιχείου ατμοποιήσεως. Ο συμπιεστής για να λειτουργήσει, χρειάζεται μηχανική ενέργεια, η οποία πρέπει να προσδοθεί στον άξονα περιστροφής του. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η κίνηση του συμπιεστή, γίνεται με ηλεκτροκινητήρα.

Η μηχανική ενέργεια, που δίνεται στο συμπιεστή για τη λειτουργία του, μετατρέπεται τελικά σε θερμότητα, η οποία πρέπει να αποβάλλεται συνεχώς, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανσή του. Κατά τη λειτουργία του συμπιεστή αντιμετωπίζονται προβλήματα, όπως ο θόρυβος, οι κραδασμοί, οι ενδεχόμενες δυσκολίες εκκινήσεως καθώς και η λίπανση των στοιχείων του συμπιεστή, τα οποία περιστρέφονται ή παλινδρομούν.

Για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του συμπιεστή, χρησιμοποιούνται αντίστοιχες διατάξεις και συσκευές ρυθμίσεως και προστασίας. Διατάξεις του είδους αυτού προστατεύουν από υπερθέρμανση ή από υπερπίεση, ρυθμίζουν την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου της διατάξεως κλπ. Τις διατάξεις αυτές θα γνωρίσομε σε επόμενη παράγραφο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (Μέρος Α' σελ. 55), ***ο συντελεστής συμπεριφοράς*** χαρακτηρίζει την ποιότητα λειτουργίας μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως και ειδικότερα την ποιότητα λειτουργίας του συμπιεστή της. Υπενθυμίζομε ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς μπορεί να παίρνει τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες από τη μονάδα.

Διακρίνομε διάφορους τύπους συμπιεστών, ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση καθώς και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.

Έτσι, ανάλογα με τον ***τρόπο κινήσεως*** του συμπιεστή διακρίνομε τους εξής τύπους:

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

- Εμβολοφόρους συμπιεστές.
- Φυγοκεντρικούς συμπιεστές.
- Κοχλιόμορφους συμπιεστές.
- Συμπιεστές τυμπάνου.

Τα υλικά κατασκευής των συμπιεστών είναι κατάλληλα, για να συνεργάζονται με το ψυκτικό μέσο και το λάδι λιπάνσεως, κατά τρόπο που να αποκλείει την εμφάνιση χημικών επιδράσεων. Τέτοιες επιδράσεις είναι π.χ. η οξείδωση των μετάλλων, η προσβολή των πλαστικών ή λαστιχένιων μέσων στεγανοποιήσεως, η προσβολή του χαλκού του τυλίγματος του ηλεκτροκινητήρα, ο σχηματισμός νέων χημικών ενώσεων λόγω κυρίως της υψηλής θερμοκρασίας και της παρουσίας υγρασίας, η καταλυτική διάσπαση του ψυκτικού μέσου κλπ.

Ως προς τη ***στεγανότητα*** οι συμπιεστές διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τους ***κλειστούς*** ή ***ερμητικούς*** και τους ***ανοικτούς.***

Στους ερμητικούς συμπιεστές ο ηλεκτροκινητήρας και ο συμπιεστής βρίσκονται μέσα στο ίδιο ***στεγανό*** κέλυφος και έτσι δεν υπάρχει διαρροή ψυκτικού μέσου προς το περιβάλλον. Στους ανοικτούς συμπιεστές η περιστρεφόμενη άτρακτος του συμπιεστή, διαπερνά, το κατά τα άλλα στεγανό περίβλημα για να συνδεθεί με τον κινητήρα. Η θέση, στην οποία η άτρακτος διαπερνά το συμπιεστή, έχει συνήθως ευαισθησία ως προς τη στεγανότητα. Ερμητικοί συμπιεστές κατασκευάζονται μόνο για πολύ μικρή ή μικρή ισχύ.

Κάθε συμπιεστής είναι κατάλληλος μόνο για ορισμένα συγκεκριμένα ψυκτικά μέσα, λόγω των υλικών κατασκευής και της συμβιβαστότητας ως προς τις χημικές επιδράσεις. Επίσης γι' αυτά τα συγκεκριμένα ψυκτικά μέσα, ο συμπιεστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μια περιοχή πιέσεων λειτουργίας, για την οποία έχει κατασκευασθεί και αντέχει μηχανικά.

Στην επόμενη παράγραφο θα μελετήσομε ιδιαίτερα τους διάφορους τύπους των συμπιεστών και θα γνωρίσομε επίσης ποιοι τύποι είναι καταλληλότεροι να χρησιμοποιούνται στις διάφορες ψυκτικές εφαρμογές.

1.2 Γενική περιγραφή των κυριοτέρων τύπων συμπιεστών.

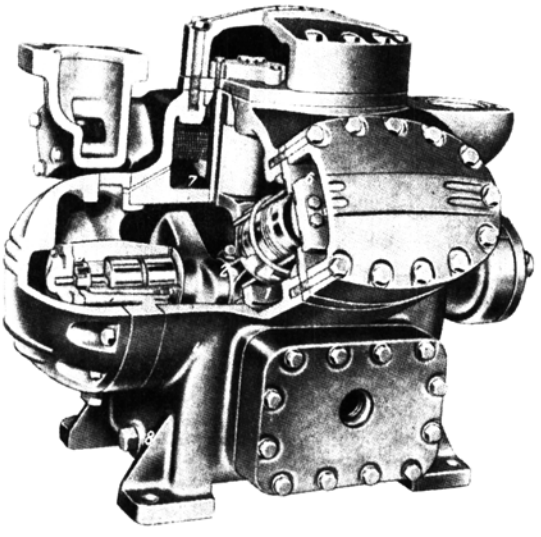
1.2.1 Εμβολοφόροι συμπιεστές.

Στους εμβολοφόρους συμπιεστές το ψυκτικό μέσο συμπιέζεται μέσα σε έναν ή περισσότερους κυλίνδρους, με τη βοήθεια ενός ή περισσοτέρων εμβόλων, που παλινδρομούν.

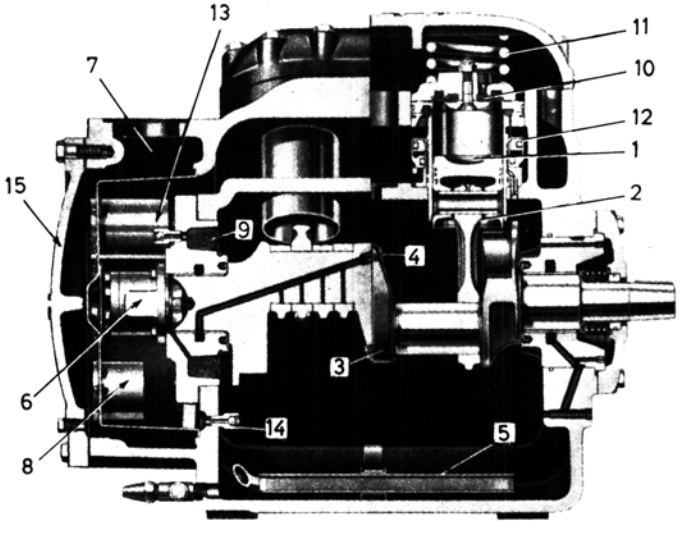
Στο σχήμα 1.2α φαίνεται σε ημιτομή εμβολοφόρος συμπιεστής μέσης ισχύος ανοικτού τύπου. Στο σχήμα 1.2β φαίνεται σε τομή 8κύλινδρος εμβολοφόρος συμπιεστής ανοικτού τύπου.

Οι διατάξεις ανακουφίσεως εκκινήσεως, που φαίνονται στα σχήματα 1.2α και 1.2β, βοηθούν το συμπιεστή και κατ' επέκταση τον ηλεκτροκινητήρα του, να αντιμετωπίσουν, χωρίς αυξημένη καταπόνηση, τις σχετικά υψηλές πιέσεις που αναπτύσσονται σε όλα τα μέρη του συμπιεστή, μετά από μεγάλη περίοδο στάσεως της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Στο σχήμα 1.2γ φαίνεται η εξωτερική μορφή ενός εμβολοφόρου συμπιεστή, και σε μια μικρή τομή, η στροφαλοφόρος άτρακτος, ο διωστήρας, το έμβολο και η κε-

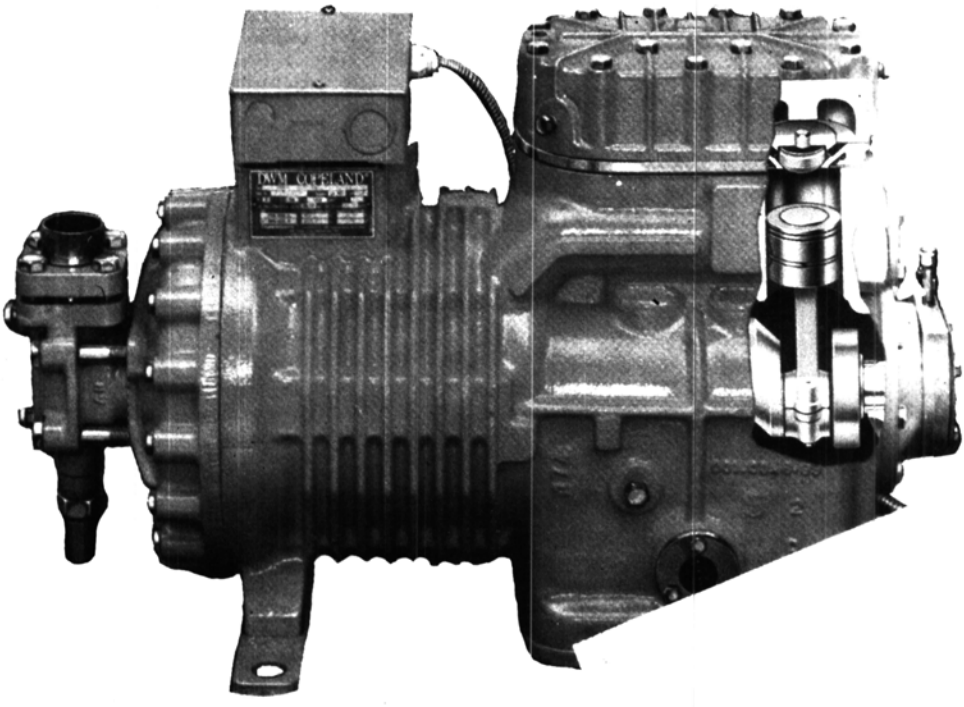


Σχ. 1.2α.
Πολυκύλινδρος εμβολοφόρος συμπιεστής ανοικτού τύπου σε ημιτομή.



Σχ. 1.2β.
Τομή 8κύλινδρου συμπιεστή ανοικτού τύπου.
1. Έμβολο από αλουμίνιο. 2. Διωστήρας από αλουμίνιο. 3. Στροφαλοφόρος άτρακτος από χυτοσίδηρο. 4. Μαγνητικές τάπες. 5. Πλέγμα αναρροφήσεως λαδιού. 6. Αντλία λαδιού. 7. Θάλαμος αναρροφήσεως ψυκτικού μέσου. 8. Φίλτρο λαδιού. 9. Διάταξη συγκρατήσεως του αφρού του λαδιού. 10. Σιγαστήρας από teflon. 11. Στήριξη αφαιρετής κεφαλής κυλίνδρου. 12. Ανακούφιση εκκινήσεως, ελεγχόμενη με την πίεση του λαδιού. 13. Πλέγμα αναρροφήσεως ψυκτικού μέσου. 14. Βαλβίδα αποφράξεως λαδιού. 15. Πώμα στόματος κυλίνδρων.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 1.2γ.
Εμβολοφόρος συμπιεστής ημιερμητικού τύπου.

φαλή με τις βαλβίδες. Στο αριστερό μέρος του σχήματος διακρίνεται ο ηλεκτροκινητήρας.

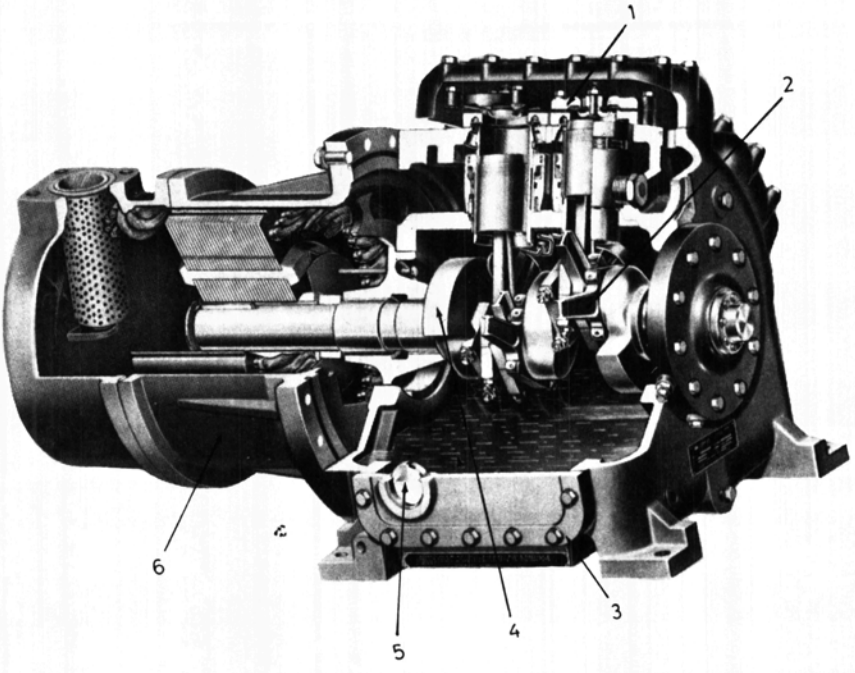
Όπως ήδη αναφέραμε στην εισαγωγή, διακρίνομε ερμητικούς και ανοικτούς συμπιεστές. Κατασκευάζονται όμως και ***ημιερμητικοί συμπιεστές*** που είναι μεν στεγανοί, αλλά μπορούν να αποσυναρμολογηθούν, αν παραστεί ανάγκη. Τόσο ο συμπιεστής του σχήματος 1.2γ όσο και ο συμπιεστής του σχήματος 1.2δ είναι ημιερμητικού τύπου.

Οι μικροί εμβολοφόροι συμπιεστές, που χρησιμοποιούνται στα οικιακά ψυγεία και στα μικρά επαγγελματικά είναι ερμητικοί. Στο σχήμα 1.2ε φαίνεται σε απλή μορφή η διάταξη ενός ερμητικού συμπιεστή με ισχύ 1/12 PS για ψυκτικό μέσο

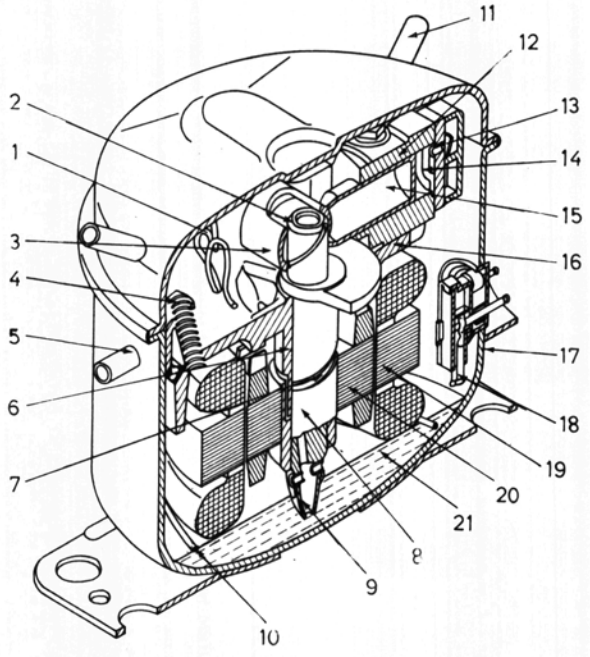
→

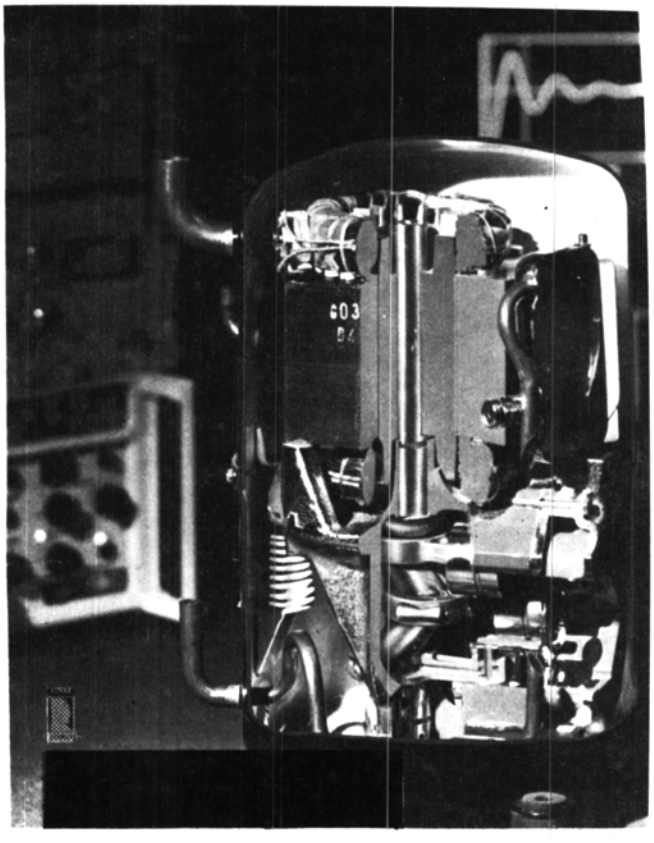
Σχ. 1.2ε.
Διάταξη ερμητικού συμπιεστή 1/12 PS.
1. Βρόχος αγωγού υψηλής πιέσεως. 2. Γόμφος στροφαλοφόρου ατράκτου. 3. Κέλυφος αρθρώσεως ολισθήσεως. 4. Ελατήριο αναρτήσεως. 5. Αναμονή υψηλής πιέσεως. 6. Έδρανο στροφαλοφόρου ατράκτου. 7. Αυλάκι λιπάνσεως. 8. Στροφαλοφόρος άτρακτος. 9. Προστατευτικό έλασμα. 10. Φυγόκεντρη αντλία λιπάνσεως. 11. Αναμονή αναρροφήσεως. 12. Κύλινδρος. 13. Βαλβίδα καταθλίψεως. 14. Βαλβίδα αναρροφήσεως. 15. Έμβολο. 16. Περίβλημα στροφαλοφόρου ατράκτου. 17. Κέλυφος. 18. Γυάλινος μονωτήρας διαβάσεως ηλεκτρικού ρεύματος. 19. Ελάσματα και τύλιγμα ηλεκτροκινητήρα. 20. Στροφείο ηλεκτροκινητήρα. 21. Στάθμη λαδιού.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 1.26.
Πολυκύλινδρος συμπιεστής, ημιερμητικού τύπου.
1. Κεφαλή με τις βαλβίδες. 2. Διωστήρας-στρόφαλος. 3. Ελαιολεκάνη. 4. Στροφαλοφόρος άτρακτος.
5. Δείκτης στάθμης λαδιού. 6. Ηλεκτροκινητήρας.





Σχ. 1.2στ.
Ερμητικός συμπιεστής σε τομή.

R12. Στο σχήμα 1.2στ φαίνεται ερμητικός συμπιεστής σε τομή.

Στα παρακάτω θα ασχοληθούμε ιδιαίτερα με τους διάφορους τύπους των εμβολοφόρων συμπιεστών, λόγω της σπουδαιότητας και του ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν για τον τεχνικό ψυκτικό.

1.2.1α Ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές.

Οι ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές μπορούν να διακριθούν στους συμπιεστές κλασματικής ισχύος, δηλαδή μηχανικής ισχύος, η οποία μετράται σε κλάσματα του ίππου, όπως π.χ. 1/15 ως 1/6 PS, και τους μεγαλύτερους απ' αυτούς, των οποίων η ισχύς φθάνει τους 5 ή και 10 PS ανάλογα με το εργοστάσιο κατασκευής.

Οι συμπιεστές κλασματικής ισχύος κατασκευάζονται για να καλύψουν τις ανάγκες των κατασκευαστών οικιακών ψυγείων ή καταψυκτών οικιακής χρήσεως. Οι μεγαλύτεροι ερμητικοί συμπιεστές καλύπτουν τις ανάγκες των μικρών επαγγελματικών ψυγείων ή των βιτρινών με κατεψυγμένα προϊόντα καθώς επίσης και τις

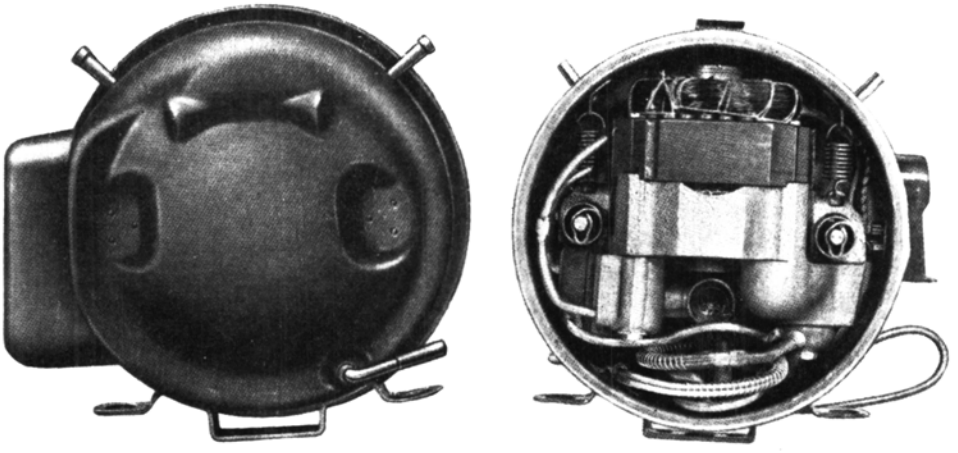
ανάγκες των μικρών κλιματιστικών συσκευών, οι οποίες εξυπηρετούν ένα χώρο ή μικρές κατοικίες και καταστήματα.

Οι ερμητικοί συμπιεστές περιστρέφονται από ενσωματωμένο ηλεκτροκινητήρα και έχουν σταθερό αριθμό στροφών, αφού ο αριθμός αυτός καθορίζεται από τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος του δικτύου (50 Hz) και από τον αριθμό ζευγών μαγνητικών πόλων του ηλεκτροκινητήρα. Οι συμπιεστές κλασματικής ισχύος έχουν διπολικούς κινητήρες και έτσι περιστρέφονται με ονομαστικό αριθμό στροφών 3000 rpm.

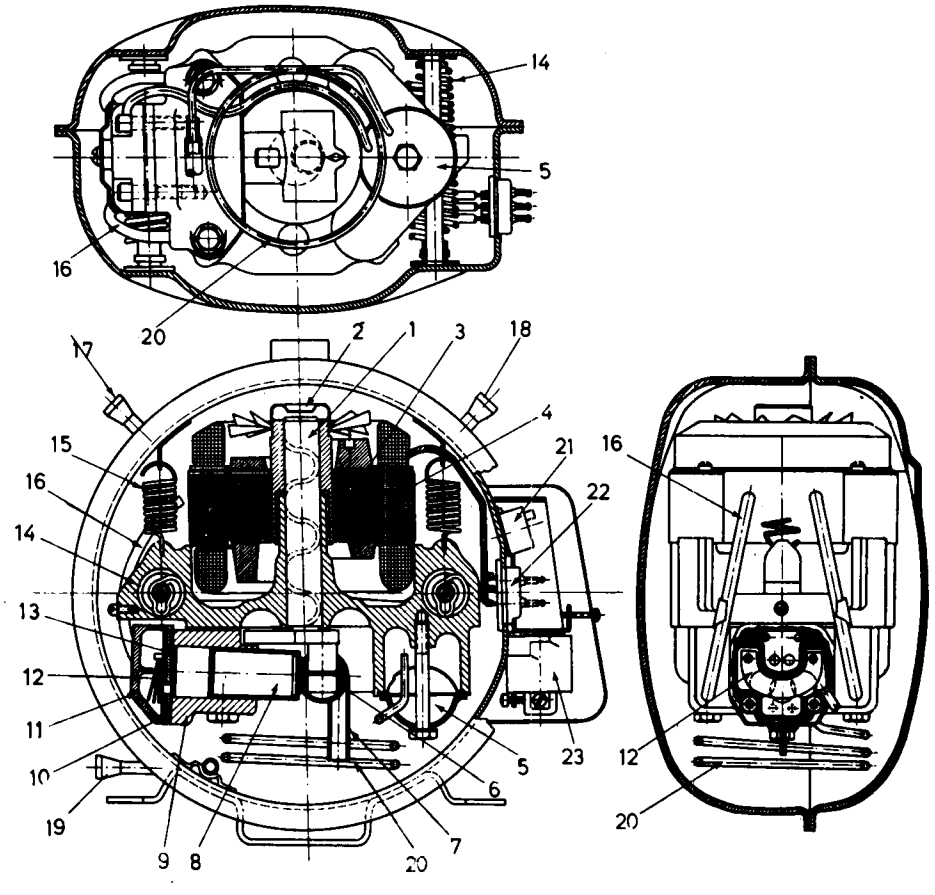
Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται στους ερμητικούς εμβολοφόρους συμπιεστές είναι κυρίως το ψυκτικό μέσο R12 (CF_2Cl_2) για συνηθισμένες εφαρμογές ψυγείων. Για καταψύκτες χρησιμοποιείται συχνά και το ψυκτικό μέσο R22 (CHF_2Cl) το οποίο στις χαμηλότερες θερμοκρασίες αναπτύσσει μεγαλύτερες πιέσεις από το R12, και έτσι αποφεύγεται η λειτουργία του στοιχείου ατμοποιήσεως με πίεση χαμηλότερη από αυτήν του ατμοσφαιρικού αέρα.

Οι ερμητικοί συμπιεστές, ανάλογα με την ισχύ, κατασκευάζονται μονοκύλινδροι ως τετρακύλινδροι με οριζόντιους κυλίνδρους και άξονα κατά κανόνα κατακόρυφο.

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν ήδη μερικοί τύποι ερμητικών συμπιεστών. Στο σχήμα 1.2ζ φαίνεται η εξωτερική μορφή και το εσωτερικό ενός παλιότερου μεν αλλά κλασσικού τύπου συμπιεστή κλασματικής ισχύος 1/8 PS. Η εξωτερική μορφή του συμπιεστή, η οποία είναι πεπλατυσμένη, οδήγησε στο να ονομασθεί ο συμπιεστής αυτός «τηγανίτα» (pancake). Οι συμπιεστές του είδους αυτού κατασκευάστηκαν σε εκατομμύρια κομμάτια και είχαν πολύ μεγάλη επιτυχία. Στη μορφή αυτή της «τηγανίτας», η ισχύς του συμπιεστή ήταν 1/12 ως 1/4 PS για οικιακά ψυγεία και μικρά επαγγελματικά, ενώ για κλιματισμό, όπου οι θερμοκρασίες και οι πυκνότητες του ψυκτικού μέσου είναι αντίστοιχα μεγαλύτερες, η ισχύς των συμπιεστών κυμαίνονταν, ανάλογα με το μέγεθός τους, μεταξύ 1/6 και 1



Σχ. 1.2ζ.
Ερμητικός εμβολοφόρος μονοκύλινδρος συμπιεστής τύπου «τηγανίτας», κλασματικής ισχύος 1/8 PS.
α) Εξωτερική μορφή. β) Τομή.



Σχ. 1.2η.

Κατασκευαστική διαμόρφωση του συμπιεστή του σχήματος 1.2ζ, ισχύος 1/8 PS.
1. Στροφαλοφόρος άτρακτος με ελικοειδή αυλάκωση λιπάνσεως. 2. Φτερωτή ανεμιστήρα ψύξεως του κινητήρα. 3. Δρομέας του ηλεκτροκινητήρα. 4. Μαγνητικά ελάσματα και τύλιγμα στατού μέρους ηλεκτροκινητήρα. 5. Σιγαστήρας. 6. Άρθρωση ολισθήσεως. 7. Σωλήνας αναρροφήσεως λαδιού. 8. Έμβολο με σωλήνα οδηγήσεως του εδράνου ολισθήσεως. 9. Κύλινδρος. 10. Πλάκα εδράσεως βαλβίδων. 11. Κεφαλή κυλίνδρου. 12. Βαλβίδα καταθλίψεως. 13. Βαλβίδα αναρροφήσεως. 14. Ελατήρια πλευρικής στηρίξεως. 15. Ελατήρια αναρτήσεως. 16. Σωλήνας αναρροφήσεως. 17. Στόμιο πληρώσεως. 18. Στόμιο αναρροφήσεως. 19. Στόμιο εξαγωγής. 20. Σπειροειδής σωλήνας. 21. Αυτόματος διακόπτης προστασίας ηλεκτροκινητήρα. 22. Γυάλινοι μονωτήρες διαβάσεως ηλεκτρικού ρεύματος. 23. Ηλεκτρονόμος (ρελαί) εκκινήσεως.

PS. Οι λεπτομέρειες της κατασκευαστικής διαμορφώσεως του συμπιεστή φαίνονται στο σχήμα 1.2η.

Σ' αυτόν το συμπιεστή η διάμετρος του εμβόλου είναι μόλις 26,2 mm, ενώ η διαδρομή, την οποία εκτελεί το έμβολο, είναι 15,9 mm. Η μέγιστη διάμετρος του κελύφους του κινητήρα, εκεί όπου γίνεται η συγκόλληση των δυο κομματιών [σχ.

1.2ζ(α)], είναι 248 mm. Επειδή οι διαστάσεις του εμβόλου είναι τόσο μικρές, γι' αυτό χρησιμοποιείται εδώ αυτή η ειδική διαμόρφωση του «διωστήρα», ο οποίος στην ουσία είναι μια «άρθρωση» ολισθήσεως (σχ. 1.2η). Ολόκληρος ο συμπιεστής και ο ηλεκτροκινητήρας συνδέονται με το εξωτερικό κέλυφος μέσω πλευρικών και κατακορύφων ελατηρίων, τα οποία μειώνουν τη μετάδοση των κραδασμών προς το κέλυφος και μέσω αυτού προς τη συσκευή γενικά.

Στον άξονα των ελικοειδών ελατηρίων υπάρχουν πύροι, οι οποίοι προλαμβάνουν κτυπήματα του συστήματος ηλεκτροκινητήρας - συμπιεστής με το εξωτερικό κέλυφος γενικά, είτε σε περιπτώσεις μεταφοράς της συσκευής, είτε σε περιπτώσεις αποτόμων αναπηδήσεων ιδίως κατά την εκκίνηση.

Η λίπανση των εδράνων στο στρόφαλο και στη στροφαλοφόρο άτρακτο δεν γίνεται με αντλία λιπάνσεως, όπως στους μεγαλύτερους συμπιεστές, αλλά με την περιστροφική κίνηση του σωλήνα αναρροφήσεως λαδιού [σχ. 1.2η(7)] και τη λοξή θέση του εμβόλου. Με τη μέθοδο αυτή το λάδι ανεβαίνει και μέσα στην ελικοειδή εγκοπή της στροφαλοφόρου ατράκτου. Η ψύξη του συμπιεστή και του ηλεκτροκινητήρα επικουρείται από τη φτερωτή ενός ανεμιστήρα, που είναι τοποθετημένη στο επάνω άκρο της ατράκτου [σχ. 1.2η(2)]. Η βαλβίδα εξαγωγής αποτελείται από μια μεταλλική ελαστική πλάκα με μορφή μισοφέγγαρου [σχ. 1.2η(12)]. Πρέπει να τονισθεί ότι η διατομή των βαλβίδων παίζει σημαντικό ρόλο στην πτώση πιέσεως του ατμού του ψυκτικού μέσου μέσα από αυτές. Επιδιώκεται πάντοτε η κατά το δυνατόν μικρότερη απώλεια πιέσεως, γιατί έτσι ελαττώνονται οι τριβές και η απαιτούμενη μηχανική ισχύς λειτουργίας του συμπιεστή.

Ο ατμός υψηλής πιέσεως αφού περάσει μέσα από τη βαλβίδα εξαγωγής οδηγείται στο σιγαστήρα όπου γίνεται απόσβεση του παραγόμενου θορύβου. Ο ατμός μετά οδηγείται μέσα από το σπειροειδή σωλήνα [σχ. 1.2η(20)] προς το στόμιο εξαγωγής [σχ. 1.2η(19)]. Η σχετική κατασκευαστική διαμόρφωση φαίνεται αρκετά καλά στο σχήμα 1.2ζ. Ο ***σπειροειδής*** σωλήνας εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς, μεταξύ των οποίων, θερμαίνει με το ζεστό ατμό το λάδι για να μην διαλύει μέσα του ψυκτικό μέσο και δημιουργείται αφρός κατά την εκκίνηση, εξασφαλίζει ελαστικότητα στη σύνδεση κελύφους - συμπιεστή, ώστε να μη μεταδίδονται οι κραδασμοί προς τα έξω, και προψύχει τον υπέρθερμο ατμό του ψυκτικού μέσου με το λάδι, που βρίσκεται στο κάτω μέρος του συμπιεστή.

Η εξέταση των σχημάτων 1.2ζ και 1.2η δείχνει τον τρόπο διόδου του ηλεκτρικού ρεύματος, με τη βοήθεια των δυο μονωτήρων διαβάσεως από γυαλί [σχ. 1.2η(22)]. Έτσι εξασφαλίζεται η στεγανότητα του κελύφους. Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα του ηλεκτροκινητήρα, δηλαδή ο αυτόματος διακόπτης προστασίας [σχ. 1.2η(21)] και ο ηλεκτρονόμος εκκινήσεως [σχ. 1.2η(23)] είναι στο εξωτερικό μέρος, έξω από το στεγανό κέλυφος, κάτω από ένα μικρό προστατευτικό κέλυφος. Έτσι είναι εύκολος ο έλεγχός τους και η ενδεχόμενη επισκευή ή αντικατάστασή τους.

Η εξωτερική μορφή συγχρόνων ερμητικών εμβολοφόρων συμπιεστών, διαφόρων μεγεθών, φαίνεται στο σχήμα 1.2θ. Κάτω από κάθε συμπιεστή είναι γραμμένη είτε η ονομαστική ισχύς (HP) την οποία καταναλώνει και απορροφά από το ηλεκτρικό δίκτυο με μορφή ηλεκτρικής ισχύος, είτε η ψυκτική του ισχύς σε αγγλοσαξωνικές μονάδες (BTU/h). Όλες οι τιμές αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας, οι οποίες, όπως είναι γνωστό, επιδρούν στην απόδοση του συμπιεστή.



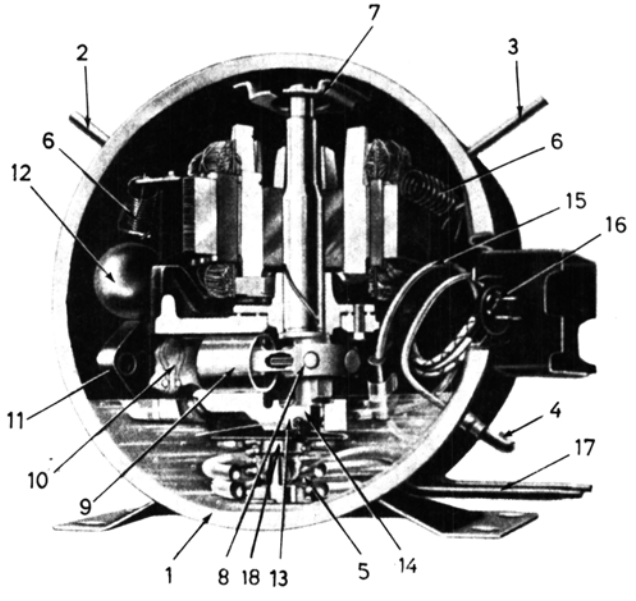
Σχ. 1.2θ.
Εξωτερική μορφή ερμητικών εμβολοφόρων συμπιεστών, σύγχρονης τεχνολογίας.

Η λειτουργία του συμπιεστή και του ηλεκτροκινητήρα του απαιτεί δυστυχώς λίπανση με λάδι, το οποίο δημιουργεί επί πλέον προβλήματα στον ψυκτικό κύκλο και στη μετάδοση θερμότητας στο στοιχείο ατμοποιήσεως και στο συμπυκνωτή. Η ποσότητα λαδιού που απαιτείται εξαρτάται φυσικά από το μέγεθος του συμπιεστή και από την ελαιολεκάνη την οποία διαθέτει. Μια παραστατική εικόνα της θέσεως της ελαιολεκάνης και της ποσότητας του λαδιού που περιέχει, σε ένα ερμητικό συμπιεστή κλασματικής ισχύος δίνεται στο σχήμα 1.2ι.

Η ποσότητα λαδιού για κάθε συμπιεστή είναι καθορισμένη από τον κατασκευαστή και πρέπει να τηρείται με ακρίβεια. Η εικόνα στο σχήμα 1.2ι δείχνει τη στάθμη και την ποσότητα του λαδιού σε περίπτωση κανονικής λειτουργίας.

Ως προς την ασφάλεια λειτουργίας του συμπιεστή, πρέπει όλη η ψυκτική διάταξη να είναι έτσι σχεδιασμένη, ώστε το λάδι, όταν η συσκευή είναι όρθια στη σωστή της θέση, να επανέρχεται αμέσως και όλο στην ελαιολεκάνη του. Εδώ τονίζεται ότι για ορισμένους τύπους μικρών ερμητικών συμπιεστών, η ακρίβεια με την οποία καθορίζεται η απαιτούμενη ποσότητα λαδιού είναι ± 10 γραμμάρια, σε μια ολική ποσότητα 500 g περίπου.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 1.2ι.

Συμπιεστής ψυκτικού μέσου R12, με μορφή «τηγανίτας». Ηλεκτρική ισχύς 1/8 ως 1/3 PS με τετραπολικό ή διπολικό κινητήρα.

1. Χείλος συγκολλήσεως κελύφους. 2. Στόμιο αναρροφήσεως. 3. Στόμιο πληρώσεως. 4. Στόμιο εξαγωγής ατμού υψηλής πιέσεως. 5. Ελατήριο υποστηρίξεως. 6. Ελατήριο συγκρατήσεως. 7. Περιοριστής δονήσεων. 8. Διωστήρας. 9. Έμβολο. 10. Βαλβίδα αναρροφήσεως (εισαγωγής). 11. Κεφαλή κυλίνδρου. 12. Σιγαστήρας αναρροφήσεως. 13. Τριχοειδής αγωγός λαδιού. 14. Αντλία λαδιού τύπου στρεφόμενου σύρτη. 15. Σπείρα σωλήνα υψηλής πιέσεως. 16. Γυάλινοι μονωτήρες διαβάσεως. 17. Σωλήνες ψύξεως λαδιού. 18. Ελαιολεκάνη.

Οι ερμητικοί συμπιεστές υπόκεινται στα εργοστάσια κατασκευής τους σε ειδική επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες, με κατάλληλο αέριο, με το οποίο ξεπλύνονται ώστε να απαλλαγούν κατά το δυνατόν τελειότερα από την υγρασία η οποία παραμένει στις εσωτερικές μεταλλικές επιφάνειες και στο τύλιγμα του ηλεκτροκινητήρα.

Μετά τη διαδικασία αυτή, οι ερμητικοί συμπιεστές γεμίζονται κατά κανόνα με ξηρό αδρανές αέριο, συνήθως άζωτο, ή με ατμό ψυκτικού μέσου π.χ. R11, και κλείνονται στα στόμιά τους αεροστεγώς με ελαστικά ή πλαστικά πώματα, ώστε να μην ξαναμπεί υγρασία από τον αέρα του περιβάλλοντος.

Αν εντούτοις πρόκειται ο συμπιεστής να τοποθετηθεί σε εγκατάσταση, η οποία συναρμολογείται στον τόπο του έργου, τότε πριν από το γέμισμα της εγκατάστάσεως με λάδι και ψυκτικό μέσο, απαιτείται να δημιουργηθεί κενό στην εγκατάσταση με κατάλληλη αντλία κενού, ώστε να επιτευχθεί τιμή 0,1 Torr. Ύστερα απ' αυτό, η εγκατάσταση αφήνεται για 1 ώρα περίπου έτσι, ώστε η υγρασία να εξατμισθεί και στη συνέχεια γεμίζεται με ατμό ψυκτικού μέσου. Μετά ξαναδημιουργείται το ίδιο κενό, όπως προηγουμένως, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές.

Οι ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές, επειδή ακριβώς είναι στεγανοί, δεν είναι δυνατόν γενικά να ανοιχθούν και ούτε και να επισκευασθούν. Για το λόγο αυτό, σε περίπτωση βλάβης, πρέπει να αντικατασταθούν.

1.2.1β Ημιερμητικοί και ανοικτοί εμβολοφόροι συμπιεστές.

Οι ημιερμητικοί συμπιεστές περιστρέφονται από ηλεκτροκινητήρες, ενσωματωμένους στο στεγανό κέλυφος που περικλείει και τον ίδιο το συμπιεστή. Ο ηλεκτροκινητήρας και ο συμπιεστής έχουν κοινό άξονα, και η κατασκευή είναι, ως προς την αρχή της, περίπου η ίδια με εκείνη των ερμητικών συμπιεστών. Στην περίπτωση όμως των ημιερμητικών συμπιεστών το εξωτερικό στεγανό κέλυφος του συστήματος είναι διαιρούμενο από χυτό μέταλλο, και έχει μια ή περισσότερες θέσεις με φλάντζες και βίδες, όπου μπορεί να ανοιχτεί ώστε να επιθεωρείται και να επισκευάζεται το εσωτερικό μέρος του.

Τη μορφή ημιερμητικών εμβολοφόρων συμπιεστών γνωρίσαμε ήδη στα σχήματα 1.2γ και 1.2δ. Στην κατασκευή του σχήματος 1.2γ, υπάρχει μια μόνο κύρια φλάντζα διαχωρισμού του εξωτερικού κυλινδρικού κελύφους, η οποία έχει τη μορφή πώματος, προς την πλευρά του ηλεκτροκινητήρα, ενώ στο άλλο άκρο της στροφαλοφόρου ατράκτου προς τα δεξιά, υπάρχει μια μικρότερη για την επίσκεψη και επιθεώρηση του εδράνου. Η αντίστοιχη κατασκευή στο σχήμα 1.2δ, έχει κυλινδρικό κέλυφος, το οποίο είναι δυνατόν να διαιρείται σε δυο θέσεις.

Στους συμπιεστές ανοικτού τύπου, το ένα άκρο της στροφαλοφόρου ατράκτου διαπερνά το κέλυφος και καταλήγει συνήθως σε τροχαλία με ιμάντα κινήσεως ή σε φλάντζα πάνω στην οποία βιδώνεται αντίστοιχη φλάντζα της κινητήριας ατράκτου. Οι ανοικτοί εμβολοφόροι συμπιεστές κινούνται συνήθως με μηχανές εσωτερικής καύσεως ή με ηλεκτροκινητήρες.

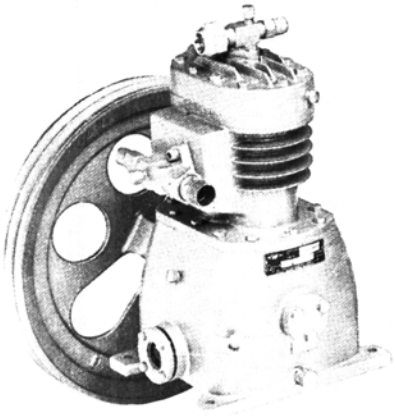
Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές ανοικτού τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις μεγάλης ισχύος, όπου η ειδική κατασκευή ερμητικού ηλεκτροκινητήρα, ενσωματωμένου στο κέλυφος, είτε είναι αδύνατη είτε είναι ασύμφορη. Με την πάροδο του χρόνου όμως εμφανίζονται όλο και μεγαλύτερες μονάδες με ημιερμητικούς συμπιεστές, γιατί πάντοτε είναι πιο ευπρόσδεκτοι, σε σχέση με τους αντίστοιχους συμπιεστές ανοικτού τύπου.

Ανοικτοί εμβολοφόροι συμπιεστές μικρού μεγέθους κινούνται επίσης με ιμάντα από ηλεκτροκινητήρα. Στις περιπτώσεις αυτές, ο συνηθισμένος αριθμός περιστροφών των τετραπολικών κινητήρων (~ 1500 rpm) μπορεί να προσαρμοσθεί στις ανάγκες της εγκαταστάσεως με το λόγο διαμέτρων των δυο τροχαλιών, και συνήθως επιδιώκεται μείωση των στροφών. Εμβολοφόροι συμπιεστές του είδους αυτού φαίνονται στα σχήματα 1.2ια και 1.2ιβ.

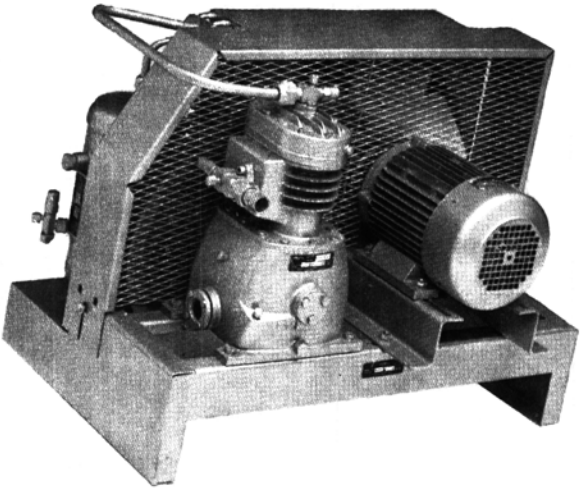
Στο σχήμα 1.2ια φαίνεται ένας μικρός μονοκύλινδρος εμβολοφόρος συμπιεστής ανοικτού τύπου, μαζί με την τροχαλία κινήσεως μέσω ιμάντα. Ο ίδιος συμπιεστής, τοποθετημένος με τον ηλεκτροκινητήρα του σε μια μονάδα, μαζί με το συμπυκνωτή και το δοχείο ψυκτικού μέσου, φαίνεται στο σχήμα 1.2ιβ. Στο ίδιο σχήμα φαίνονται πίσω από το προστατευτικό πλέγμα, οι τροχαλίες του ηλεκτροκινητήρα και του συμπιεστή. Για τετραπολικό ηλεκτροκινητήρα (1500 rpm) και λόγο διαμέτρων τροχαλιών 1:3,3 περίπου, ο αριθμός στροφών του συμπιεστή είναι 1500:3,3 = 450 rpm. Τα πλεονεκτήματα της κατασκευής του είδους αυτού είναι αρκετά, ώστε να αντισταθμίζουν το μειονέκτημα του ανοικτού άξονα. Τα πιο χαρακτηριστικά ίσως είναι τα εξής:

- Χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας κοινού τύπου.
- Υπάρχει δυνατότητα μεταβολής του αριθμού στροφών με αλλαγή τροχαλίας.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 1.2ια.
Ανοικτός εμβολοφόρος συμπιεστής κινούμενος με ιμάντα από ηλεκτροκινητήρα.



Σχ. 1.2ιβ.
Ανοικτός εμβολοφόρος μονοκύλινδρος συμπιεστής με τον ηλεκτροκινητήρα του, το στοιχείο συμπυκνώσεως και τον ανεμιστήρα.

- Η μέση ταχύτητα του εμβόλου είναι χαμηλή και κατά συνέπεια οι φθορές πολύ μικρές.
- Χρησιμοποιείται ο ίδιος κινητήρας και για την κίνηση της φτερωτής του ανεμιστήρα του στοιχείου συμπυκνώσεως.
- Η εκλογή του ψυκτικού μέσου δεν περιορίζεται από τα μονωτικά υλικά του τυλίγματος του κινητήρα.

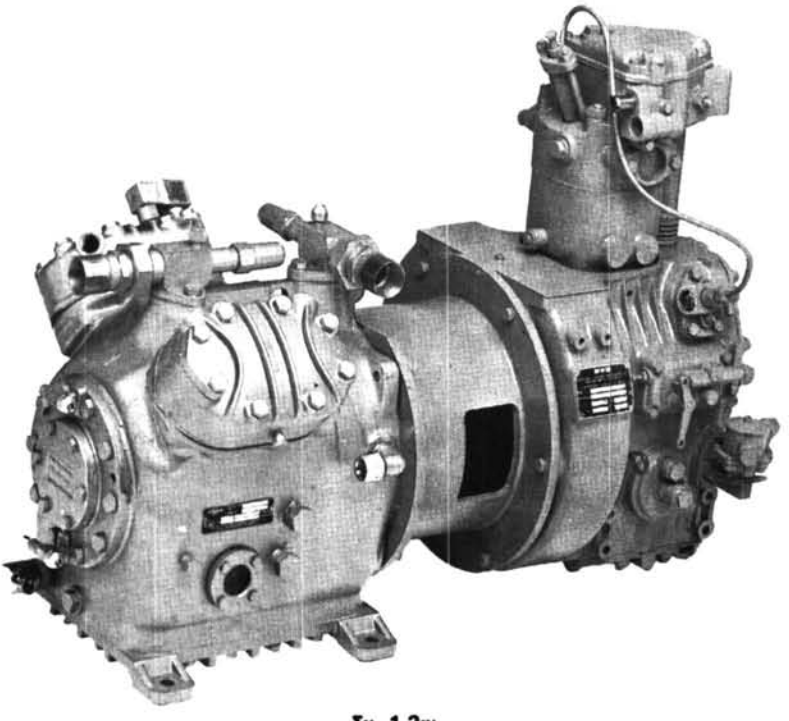
Στα πλεονεκτήματα αυτά πρέπει να προστεθεί και η απλότητα της αποσυναρμολογήσεως και επισκευής.

Το μεγάλο όμως μειονέκτημα του ανοικτού άξονα είναι σημαντικό και δημιουργεί, πολλές φορές, προβλήματα διαρροής ψυκτικού μέσου.

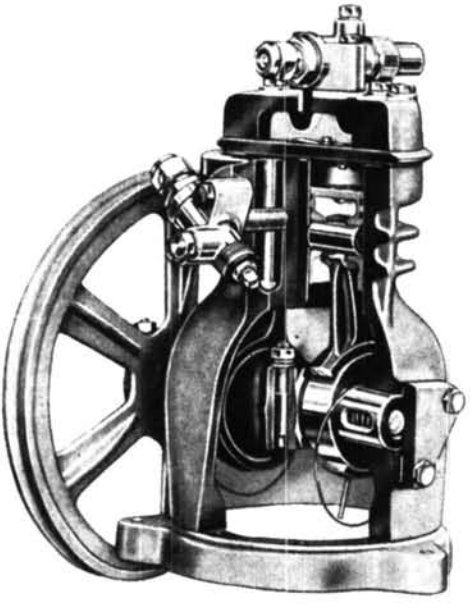
Στο σχήμα 1.2ιγ, φαίνεται η εικόνα ενός ανοικτού εμβολοφόρου συμπιεστή, πολυκύλινδρου, ο οποίος είναι απ' ευθείας συζευγμένος με ένα μικρό κινητήρα Diesel μονοκύλινδρο. Τέτοιες κατασκευές χρησιμοποιούνται σε μέρη ή εφαρμογές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρική ενέργεια. Η κίνηση του συμπιεστή ανοικτού τύπου από μηχανές εσωτερικής καύσεως, είτε αυτές είναι Diesel είτε είναι βενζινομηχανές, μπορεί φυσικά να γίνεται και με σύστημα ιμάντα - τροχαλιών.

Το πρόβλημα της στεγανοποιήσεως του ανοικτού άκρου της στροφαλοφόρου ατράκτου είναι πάντοτε σημαντικό παρά τις πολυετείς επίμονες προσπάθειες των κατασκευαστών συμπιεστών ψυκτικών μέσων.

Το εσωτερικό ενός μονοκύλινδρου εμβολοφόρου συμπιεστή ανοικτού τύπου, παλιότερης μεν κατασκευής, αλλά που ακόμα σήμερα χρησιμοποιείται φαίνεται στο σχήμα 1.2ιδ, ενώ στο σχήμα 1.2ιε

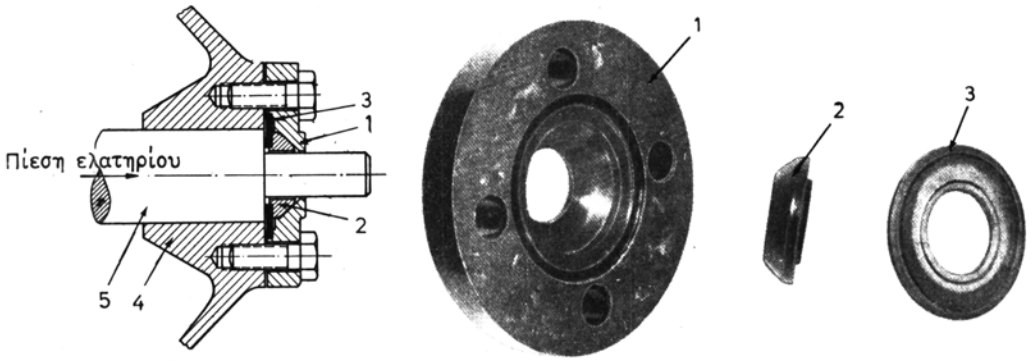


Σχ. 1.2ιγ.
Εμβολοφόρος συμπιεστής ανοικτού τύπου, που κινείται από μικρό κινητήρα Diesel.



Σχ. 1.2ιδ.
Μονοκύλινδρος εμβολοφόρος συμπιεστής ανοικτού τύπου (μέσα στο κοίλο άκρο της στροφαλοφόρου ατράκτου φαίνεται η μπίλια και το ελατήριο).

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



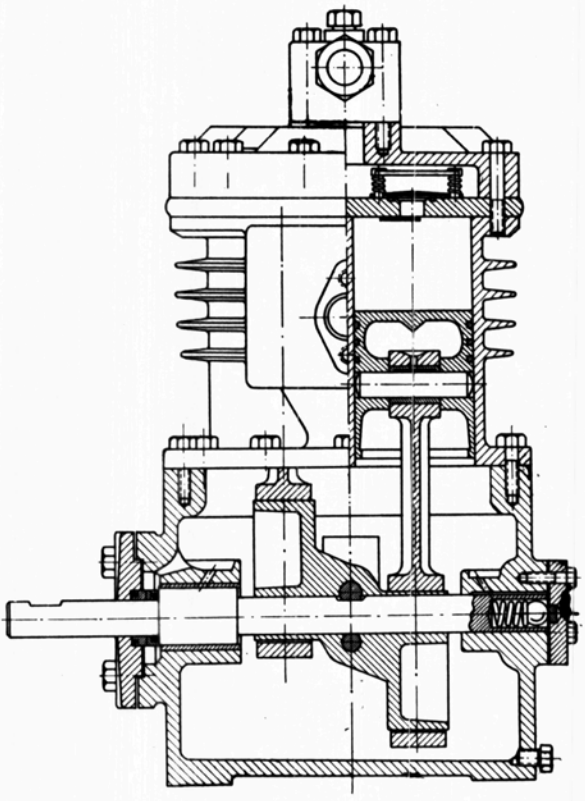
Σχ. 1.2ιε.
Τρόπος και μέσα στεγανοποιήσεως της περιστρεφόμενης ατράκτου του συμπιεστή του σχήματος 1.2ιδ.
1. Φλάντζα από θερμοπλαστικό υλικό. 2. Σφαιροειδής δακτύλιος από θερμοπλαστικό υλικό. 3. Δακτύλιος ολισθήσεως από υλικό Perbunan. 4. Κέλυφος συμπιεστή. 5. Στροφαλοφόρος άτρακτος.

φαίνονται το σχέδιο και η εικόνα των μέσων στεγανότητας τα οποια τοποθετούνται γύρω από την περιστρεφόμενη άτρακτο. Η στεγανότητα επιτυγχάνεται κυρίως με δακτύλιο ολισθήσεως πάνω στον οποίο πιέζεται ένας δεύτερος δακτύλιος με σφαιροειδή μορφή. Για να υπάρχει επαφή μεταξύ των κομματιών που ολισθαίνουν και να δημιουργείται στεγανή σύνδεση, απαιτείται μια αξονική δύναμη, η οποία να τα συμπιέζει. Η δύναμη αυτή εξασφαλίζεται από το ελατήριο που είναι στο κοίλο άκρο της στροφαλοφόρου ατράκτου (σχήμα 1.2ιδ), το οποίο πιέζει συνεχώς την άτρακτο προς το αντίθετο άκρο.

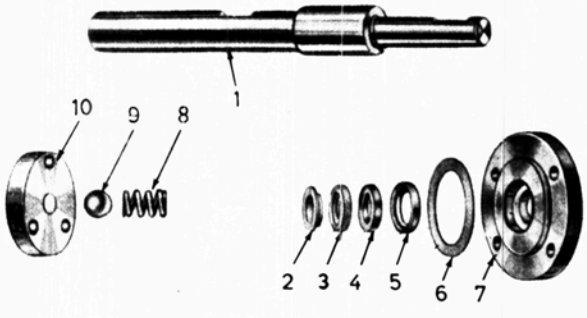
Το παράδειγμα αυτό της στεγανοποιήσεως είναι μια σχετικά απλή κατασκευή. Η ίδια αρχή στεγανοποιήσεως, αλλά με μια κάπως πιο σύνθετη κατασκευή για μικρούς εμβολοφόρους ανοικτούς συμπιεστές, φαίνεται στο σχήμα 1.2ιστ. Εδώ διακρίνεται πολύ καλά το κοίλο άκρο της στροφαλοφόρου ατράκτου με το σπειροειδές ελατήριο και την μπίλια, για τη δημιουργία της αξονικής δυνάμεως. Η μπίλια χρησιμεύει ως έδρανο μεταξύ του περιστρεφόμενου ελατηρίου και της ακίνητης φλάντζας, στην οποία εδράζεται. Οι δακτύλιοι στεγανότητας του ανοικτού άκρου φαίνονται στο σχήμα 1.2ιζ. Στην κατασκευή αυτή η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται τελικά ανάμεσα στους δυο μεταλλικούς δακτύλιους από χάλυβα και μπρούντζο [σχ. 1.2ιζ(3) και (4)]. Ο χαλύβδινος δακτύλιος (3) περιστρέφεται μαζί με την άτρακτο, ενώ ο μπρούτζινος δακτύλιος (4) μένει ακίνητος. Έτσι η μια μεταλλική επιφάνεια ολισθαίνει πάνω στην άλλη ενώ ανάμεσά τους υπάρχει το λάδι λιπάνσεως, το οποίο και στεγανοποιεί την κατασκευή. Όταν όμως η εγκατάσταση δεν λειτουργεί, και ο άξονας δεν περιστρέφεται, τότε, ιδίως αν υπάρχει ήδη φθορά των μεταλλικών δακτυλίων, υπάρχει κίνδυνος να εμφανισθεί διαρροή.

Το πρόβλημα αυτό είναι περίπου το ίδιο για όλες τις κατασκευές στεγανοποιήσεως οι οποίες εφαρμόζονται από τους διάφορους κατασκευαστές συμπιεστών ανοικτού τύπου.

Στο σχήμα 1.2ιη(α), φαίνεται η κατασκευή ενός άλλου συμπιεστή ανοικτού τύπου με ελεύθερο άκρο άξονα στο δεξιό μέρος της εικόνας, όπου υπάρχει και η στεγανοποίηση της ατράκτου. Οι δακτύλιοι στεγανοποιήσεως φαίνονται στο σχήμα 1.2ιη(β). Στην κατασκευή αυτή, το ελατήριο της αξονικής ωθήσεως, πιέζει το δακτύλιο στεγανότητας και όχι τη στροφαλοφόρο άτρακτο, όπως συμβαίνει στην κατασκευή των σχημάτων 1.2ιστ και 1.2ιζ.

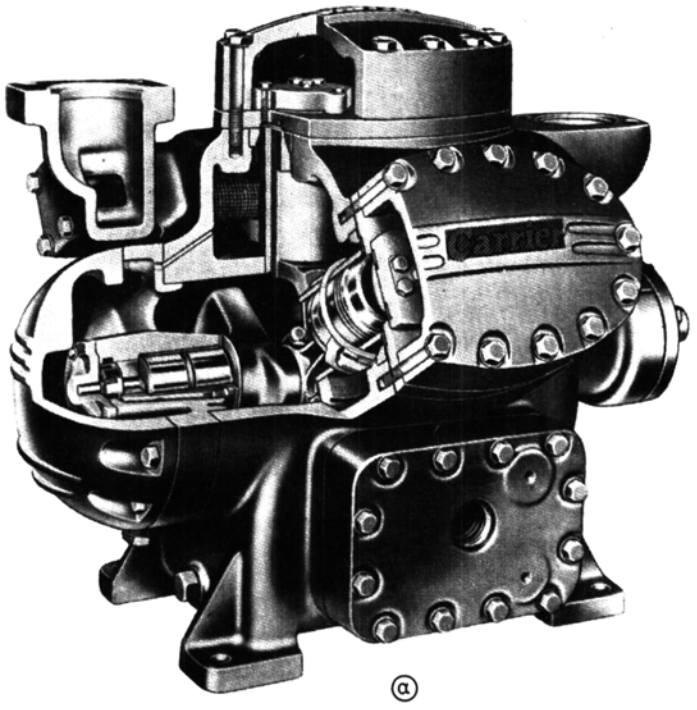


Σχ. 1.2ιστ.
Στεγανοποίηση του ανοικτού άκρου της στροφαλοφόρου ατράκτου ενός εμβολοφόρου συμπιεστή.

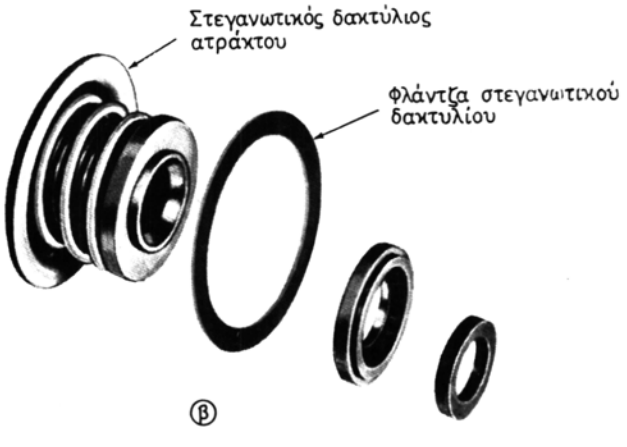


Σχ. 1.2ιζ.
Εξαρτήματα στεγανοποιήσεως ανοικτού άκρου στροφαλοφόρου ατράκτου του συμπιεστή του σχήματος 1.2ιστ.
1. Στροφαλοφόρος άτρακτος. 2. Δακτύλιος από λάστιχο. 3. Χαλύβδινος δακτύλιος περιστρεφόμενος. 4. Δακτύλιος από μπρούντζο, σταθερός. 5. Δακτύλιος από λάστιχο. 6. Στεγανωτικός δακτύλιος. 7. Φλάντζα. 8. Ελατήριο αξονικής ωθήσεως. 9. Μπίλια αντιτριβής. 10. Φλάντζα αντωθήσεως με κομμάτι αντιτριβής.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



ⓐ



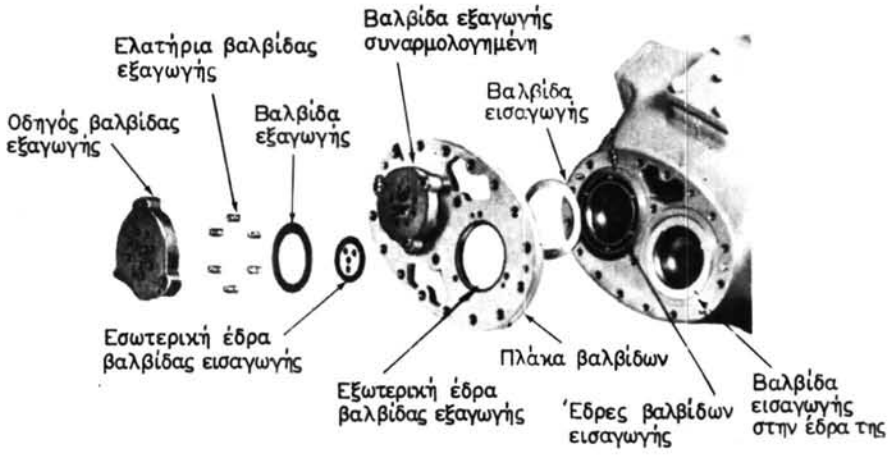
ⓑ

Σχ. 1.2ιη.

α) Πολυκύλινδρος εμβολοφόρος συμπιεστής ανοικτού τύπου. β) Εξαρτήματα στεγανοποιήσεως του ανοικτού άκρου της στροφαλοφόρου ατράκτου του συμπιεστή.

1.2.1γ Βαλβίδες εμβολοφόρων συμπιεστών.

Απαραίτητο εξάρτημα για τη λειτουργία των εμβολοφόρων συμπιεστών είναι οι βαλβίδες, γιατί αυτές ρυθμίζουν τη ροή του ψυκτικού μέσου προς και από τους κυλίνδρους των συμπιεστών. Έτσι και στις ψυκτικές μηχανές, όπως και στις μηχανές εσωτερικής καύσεως, διακρίνομε βαλβίδες ***εισαγωγής*** και βαλβίδες ***εξαγωγής***.



Σχ. 1.2ιθ.
Βαλβίδες εισαγωγής (αναρροφήσεως) και εξαγωγής (καταθλίψεως) εμβολοφόρου συμπιεστή.

Στο σχήμα 1.2ιθ φαίνονται λεπτομέρειες από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής καθώς οι αντίστοιχες έδρες των βαλβίδων. Στους εμβολοφόρους συμπιεστές ψυκτικών μέσων, οι βαλβίδες έχουν συνήθως τη μορφή επιπέδων κυκλικών δακτυλίων ή επιπέδων ημικυκλίων ή επιπέδων τόξων κύκλου ή άλλων σχετικών μορφών. Οι έδρες τους έχουν αντίστοιχο σχήμα και η στεγανότητα επιτυγχάνεται με την επαφή των δυο μεταλλικών επιφανειών, χωρίς παρέμβυσμα.

Οι βαλβίδες είτε λειτουργούν με τη βοήθεια ελατηρίων, τα οποία τις ωθούν, είτε είναι οι ίδιες από κατάλληλο μέταλλο οπότε λειτουργούν ταυτόχρονα και σαν ελατήρια οι ίδιες.

Στο σχήμα 1.2ιθ φαίνονται και τα σπειροειδή ελατήρια τα οποία συμβάλλουν στη σωστή λειτουργία των βαλβίδων. Η κίνηση των βαλβίδων στους εμβολοφόρους συμπιεστές ψυκτικών μέσων γίνεται από την υποπίεση ή την υπερπίεση την οποία δημιουργεί η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου. Οι βαλβίδες, δεν ελέγχονται, όπως γίνεται στους κινητήρες εσωτερικής καύσεως, από ιδιαίτερο μηχανισμό, αλλά πρέπει να είναι έτσι κατασκευασμένες ώστε να παρακολουθούν την κίνηση του εμβόλου και να συμβάλλουν χωρίς απώλειες, κατά το δυνατόν, στη σωστή λειτουργία της συμπιέσεως.

Οι τύποι των βαλβίδων που χρησιμοποιούνται σήμερα, μπορούν να καταταγούν σε τέσσερις μεγάλες ομάδες, ως προς τη μορφή, τον τρόπο ελαστικής επαναφοράς στην αρχική τους θέση, και τη μέθοδο στηρίξεως.

- Ως προς τη μορφή οι βαλβίδες είναι παράκυκλοι, ή ομοκεντρικοί παράκυκλοι με οδήγηση στο κέντρο.
- Ως προς την επαναφορά, είτε χρησιμοποιούνται ξεχωριστά ελατήρια διαφόρων μορφών, είτε οι ίδιες οι βαλβίδες είναι ελατηριωτές.
- Ως προς την πλευρά στηρίξεως τα ελάσματα των βαλβίδων μπορεί να είναι ελεύθερα τελείως ή πακτωμένα στο ένα άκρο.

Από τις παραπάνω δυνατότητες γίνονται διάφοροι συνδυαμοί, από τους οποίους οι πιο συνηθισμένοι οδηγούν σε βαλβίδες των εξής τύπων:

1) ***Ελεύθερη (χωρίς στήριγμα) ελατηριωτή βαλβίδα.*** Είναι απλή, αλλά κατάλληλη μόνο για μικρές διατομές. Για μεγαλύτερες παροχές απαιτούνται πολλές παράλληλες. Η λειτουργία της απαιτεί πλευρική οδήγηση και διάταξη τερματισμού διαδρομής.

2) ***Ελατηριωτή βαλβίδα, πακτωμένη στο ένα άκρο.*** Απαιτείται και εδώ διάταξη τερματισμού του ελεύθερου άκρου. Ο σχεδιασμός της απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

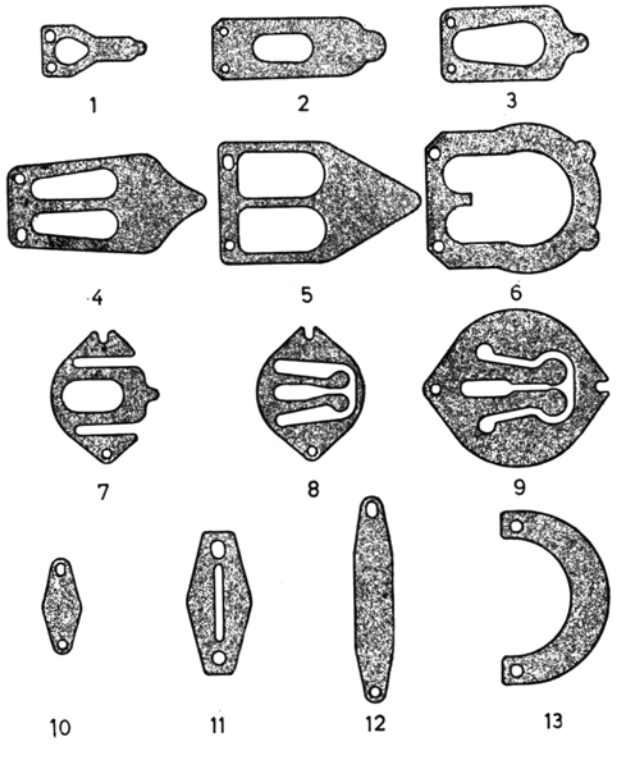
3) ***Ελεύθερη δακτυλιοειδής βαλβίδα.*** Έχει μορφή παράκυκλου με υποβοήθηση εξωτερικών ελατηρίων επαναφοράς (σχ. 1.2ιθ).

4) ***Βαλβίδα διακεκομμένου δακτυλίου.*** Το κυκλικό άνοιγμα δεν είναι πλήρες, αλλά υπάρχουν νεκροί τομείς. Η μορφή χρησιμοποιείται και για περισσότερους ομοκεντρικούς δακτύλιους.

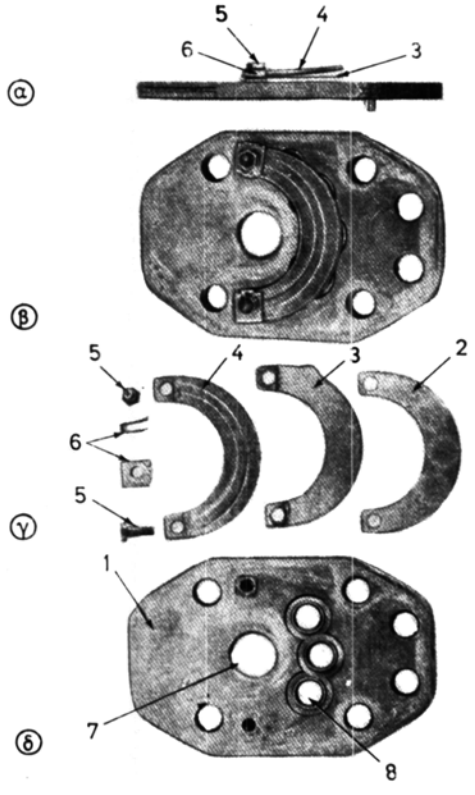
Στο σχήμα 1.2κ φαίνονται διάφορες μορφές βαλβίδων. Οι πρώτοι (9) τύποι είναι βαλβίδες αναρροφήσεως, ενώ οι υπόλοιποι (4) είναι βαλβίδες εξαγωγής. Από τις βαλβίδες εισαγωγής οι υπ' αριθμόν (8) και (9) είναι ελεύθερου τύπου.

Στο σχήμα 1.2κα φαίνονται οι λεπτομέρειες μιας βαλβίδας εξαγωγής μαζί με την έδρα της και τα αντίστοιχα ελατήρια και τις διατάξεις τερματισμού. Η βαλβίδα αυτή αποτελείται ουσιαστικά από τρεις παράλληλους οχετούς εξαγωγής [σχ. 1.2κα (8)], οι οποίοι καλύπτονται από την επίπεδη βαλβίδα, που έχει μορφή μισοφέγγαρου.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και άλλες μορφές βαλβίδων, όπως αυτές π.χ. στο σχήμα 1.2γ, οι οποίες έχουν κωνική μορφή, αλλά η περιγραφή των οποίων ξεφεύγει από τα πλαίσια του βιβλίου αυτού.



Σχ. 1.2κ.
Επίπεδες βαλβίδες συμπιεστών ψυκτικών μέσων από χάλυβα ελατηρίων.
1-9. Βαλβίδες αναρροφήσεως. 10-13. Βαλβίδες εξαγωγής.



Σχ. 1.2κα.
Έδρα βαλβίδας και βαλβίδα εξαγωγής.
Διακρίνονται: α) Πλάγια όψη. β) Κάτοψη. γ,δ) Τα αποσυναρμολογημένα τεμάχια. Τα τεμάχια είναι: 1. Πλάκα εδράσεως βαλβίδας (πλευρά βαλβίδας). 2. Καθ' αυτό βαλβίδα εξαγωγής με μορφή μισοφέγγαρου. 3. Έλασμα προσυγκρατήσεως βαλβίδας. 4. Τερματιστής διαδρομής. 5. Βίδες στερεώσεως. 6. Ασφάλεια συγκρατήσεως και έλασμα αποστάσεως. 7. Οχετοί βαλβίδας εισαγωγής (δεν εικονίζεται στο σχήμα). 8. Οχετοί βαλβίδας εξαγωγής (8 συνολικά).

1.2.1δ Γενικά χαρακτηριστικά των εμβολοφόρων συμπιεστών.

Στον πίνακα 1.2.1 συνοψίζονται μερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των εμβολοφόρων συμπιεστών. Από τον πίνακα αυτό ο μαθητής μπορεί εύκολα να κατανοήσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εμβολοφόρων συμπιεστών, που σε έκταση αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

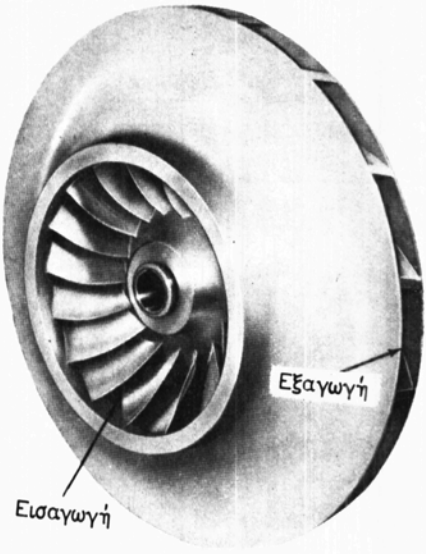
Εδώ πρέπει όμως να επαναλάβομε ότι τα ψυκτικά μέσα, που χρησιμοποιούνται στους εμβολοφόρους συμπιεστές είναι η αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες ή αμμωνία. Αμμωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ψυκτικές εγκαταστάσεις με συμπιεστές ανοικτού τύπου γιατί η αμμωνία προσβάλλει το χαλκό του τυλίγματος των ηλεκτρομαγνητικών πόλων του κινητήρα και έτσι ο ηλεκτροκινητήρας δεν μπορεί να κλεισθεί στο ίδιο κέλυφος με το συμπιεστή. Για τους συμπιεστές αμμωνίας, τα υλικά ολόκληρου του συμπιεστή και φυσικά και τα υλικά των δακτυλίων στεγανοποιήσεως πρέπει να είναι μόνο από υλικό ανθεκτικό στην αμμωνία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.1.
Χαρακτηριστικά γνωρίσματα εμβολοφόρων συμπιεστών.

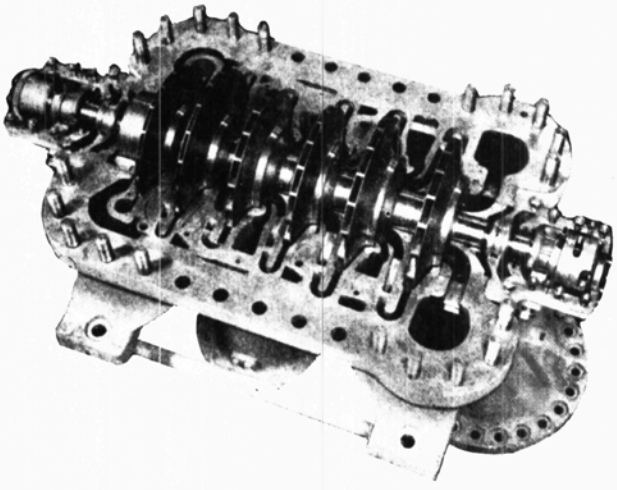
Χαρακτηριστικό	Συμπιεστές αλογονανθράκων			Συμπιεστές αμμωνίας
	Ανοικτοί	Ημιερμητικοί	Ερμητικοί	Ανοικτοί
1. Αριθμός κυλίνδρων:	1-16	1-12	1-6	1-16
2. Ισχύς (HP)	1/6-150	1/2-150	1/6-20	10 και άνω
(kW)	0,12-110	0,7-110	0,12-15	7 και άνω
3. Διάταξη κυλίνδρων.				
α. Κατακόρυφη, μορφής V ή W ή ακτινωτή.	X	X		
β. Ακτινωτή, οριζόντιοι αντίθετοι.			X	
γ. Οριζόντια, κατακόρυφη, V ή W.				X
4. Κίνηση.				
α. Ηλεκτροκινήρες ερμητικού τύπου.		X	X	
β. Άμεση κίνηση στον άξονα, ιμάντες V, αλυσσίδα, οδοντωτός τροχός.	X			X
5. Λίπανση.				
Εκτίναξη, εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, εμβάπτιση.	X	X	X	X
6. Βαλβίδες εισαγωγής - εξαγωγής, δακτυλιοειδείς, ελατηριωτές.	X	X	X	X
7. Αριθμός στροφών ηλεκτροκινητήρα (θεωρητικός).	250-3000	1500-3000	1500-3000	250-3000

1.2.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές.

Στους φυγοκεντρικούς συμπιεστές ο ατμός του ψυκτικού μέσου εισέρχεται από το κέντρο ενός περιστρεφόμενου στροφείου και περνά μέσα από τα πτερύγια του στροφείου όπου και συμπιέζεται. Έτσι, μετά τη συμπίεσή του ο ατμός εξέρχεται από την περιφέρεια του στροφείου με αυξημένη πίεση. Δηλαδή, η αρχή λειτουργίας του συμπιεστή αυτού βασίζεται στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας περιστροφής, σε δυναμική ενέργεια που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πιέσεως του ατμού. Για τη μετατροπή αυτή χρειάζεται, εκτός από το στροφείο και ένα ακίνητο κέλυφος, το οποίο υποδέχεται τον ατμό, όταν αυτός εξέρχεται από την περιφέρεια του στροφείου. Μπορούν να υπάρχουν περισσότερα από ένα στροφεία, των οποίων η μορφή μπορεί να ποικίλλει και εξαρτάται από τον αριθμό στροφών, την παροχή του ψυκτικού μέσου και την πίεση που πρέπει να αναπτυχθεί. Στο σχήμα 1.2κβ φαίνεται ένα είδος στροφείου φυγοκεντρικού συμπιεστή· διακρίνονται επίσης πολύ καλά η είσοδος του ψυκτικού μέσου στο κέντρο και οι θέσεις εξόδου στην περίμετρο.



Σχ. 1.2κβ.
Στροφείο φυγοκεντρικού συμπιεστή.



Σχ. 1.2κγ.
Φυγοκεντρικός συμπιεστής 6 βαθμίδων.

'Οταν οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές, λειτουργούν με μεγάλη διαφορά πιέσεως μεταξύ εξόδου και εισόδου, τότε απαιτούνται πολλές βαθμίδες συμπιέσεως και χρησιμοποιούνται πολλά στροφεία στον ίδιο άξονα, στα οποία γίνεται διαδοχικά η συμπίεση. 'Ενας 6βάθμιος συμπιεστής φαίνεται στο σχήμα 1.2κγ. Στο δεξιό μέρος είναι η είσοδος του ατμού, όπου επικρατεί η χαμηλή πίεση. Γι' αυτό, στο σημείο αυτό, οι διατομές στο στροφείο και στο κέλυφος είναι μεγάλες ώστε να περνάει ο ατμός που έχει πολύ μεγάλο όγκο, εξαιτίας της χαμηλής πιέσεως.

'Οσο ο ατμός συμπιέζεται, και ο όγκος του μειώνεται, απαιτούνται μικρότερες διατομές για τη ροή της ίδιας μάζας ατμού. 'Ετσι στο αριστερό άκρο του σχήματος 1.2κγ, οι διατομές στα στροφεία και στο κέλυφος είναι μικρότερες.

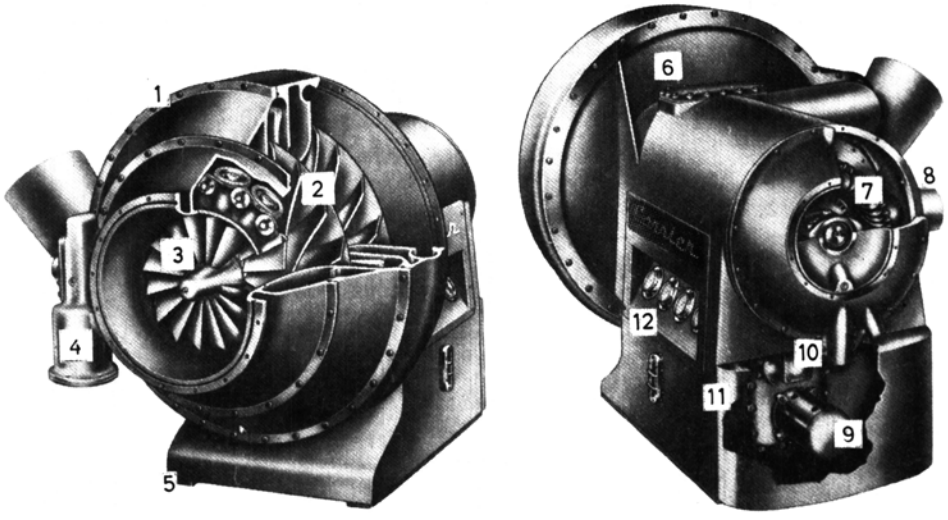
Στο σχήμα 1.2κδ φαίνεται η εξωτερική μορφή ενός ερμητικού φυγοκεντρικού συμπιεστή με δυο βαθμίδες συμπιέσεως, καθώς και μερικές λεπτομέρειες του εσωτερικού του.

'Ενας φυγοκεντρικός συμπιεστής ανοικτού τύπου σε τομή, φαίνεται στο σχήμα 1.2κε. Στο σχήμα διακρίνονται επίσης τα δυο στροφεία των δυο βαθμίδων συμπιέσεως καθώς επίσης ο άξονας, τα έδρανα και λεπτομέρειες από τις αύλακες λιπάνσεως των γόμφων του άξονα.

Οι περιοχές εφαρμογής των φυγοκεντρικών και των εμβολοφόρων συμπιεστών ψυκτικών μέσων φαίνονται στο σχήμα 1.2κστ. Ο διαχωρισμός των περιοχών γίνεται με βάση την παροχή όγκου του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση και το λόγο πιέσεων στην έξοδο και την είσοδο του συμπιεστή.

Για μεγάλες πιέσεις και μικρές ή μεσαίες παροχές εφαρμόζονται οι εμβολοφόροι συμπιεστές, ενώ για μικρότερες πιέσεις και μεγαλύτερες παροχές οι φυγοκεντρικοί.

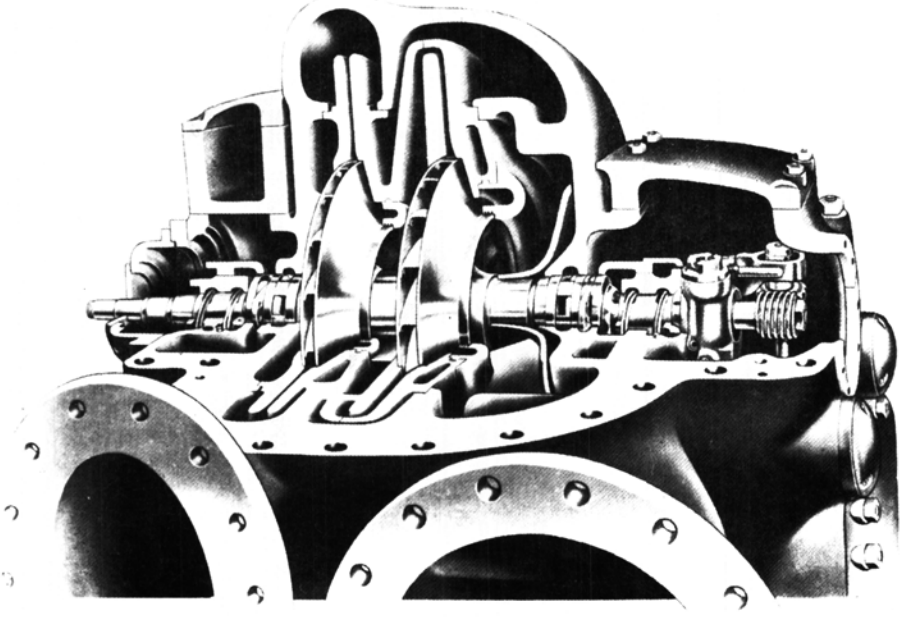
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 1.2κδ.

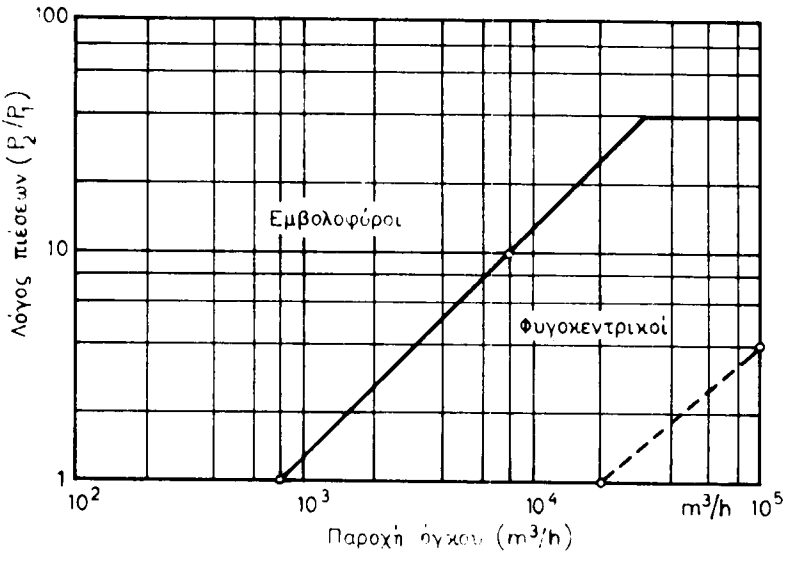
Φυγοκεντρικός ερμητικός συμπιεστής.

1. Διβάθμιος συμπιεστής και ηλεκτροκινητήρας. 2. Στροφείο από μπρούντζο αλουμινίου. 3. Οδηγά πτερύγια προσυστροφής για τη ρύθμιση της ισχύος. 4. Υδραυλική βαλβίδα διπλής ώσεως για την περιστροφή των οδηγών πτερυγίων. 5. Πλάκες και βίδες για την οριζοντίωση (αλφάδιασμα) της μονάδας. 6. Πώμα επιθεωρήσεως για τα κύρια έδρανα του άξονα του στροφείου. 7. Τύλιγμα ηλεκτροκινητήρα με μόνωση από ίνες γυαλιού και βερνίκι αδιάλυτο από το ψυκτικό μέσο. 8. Είσοδος ατμού ψυκτικού μέσου για τήρηση σταθερής θερμοκρασίας του συμπιεστή. 9. Αντλία λαδιού, εκτοπίσεως με δικό της ηλεκτροκινητήρα. 10. Φίλτρο λαδιού. 11. Βυθισμένο στο λάδι θερμαντικό στοιχείο, για να προλαμβάνεται η δημιουργία αφρού στο λάδι κατά την εκκίνηση και να αποφεύγεται η απορρόφηση ψυκτικού μέσου από το λάδι. 12. Θερμόμετρα θερμοκρασίας εδράνων, θερμοκρασίας λαδιού και μανόμετρο λαδιού.



Σχ. 1.2κε.

Διβάθμιος φυγοκεντρικός συμπιεστής ανοικτού τύπου.



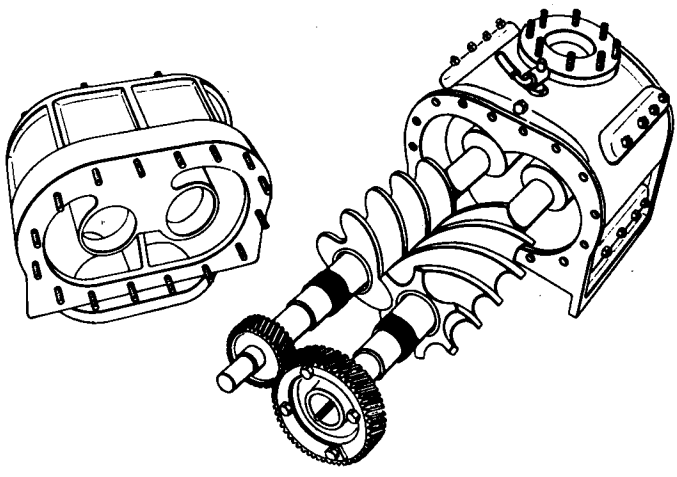
Σχ. 1.2κστ.
Περιοχές εφαρμογής εμβολοφόρων και φυγοκεντρικών συμπιεστών.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές ψυκτικών μέσων κατασκευάζονται για ψυκτική ισχύ από 70 μέχρι και 10000 ψυκτικούς τόνους. Χρησιμοποιούνται αριθμοί περιστροφών από 2000 rpm μέχρι και 25000 rpm. Οι όγκοι ψυκτικού μέσου, στην αναρρόφηση, κυμαίνονται μεταξύ 500 m^3/h και 60000 m^3/h περίπου. Ο λόγος πιέσεων εξόδου-εισόδου είναι συνήθως μεταξύ 2 και 30. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πολυβάθμιοι συμπιεστές με αριθμό βαθμίδων μέχρι και 8 ή 9. Η τελική πίεση, που επιτυγχάνεται, φθάνει και τα 100 bar.

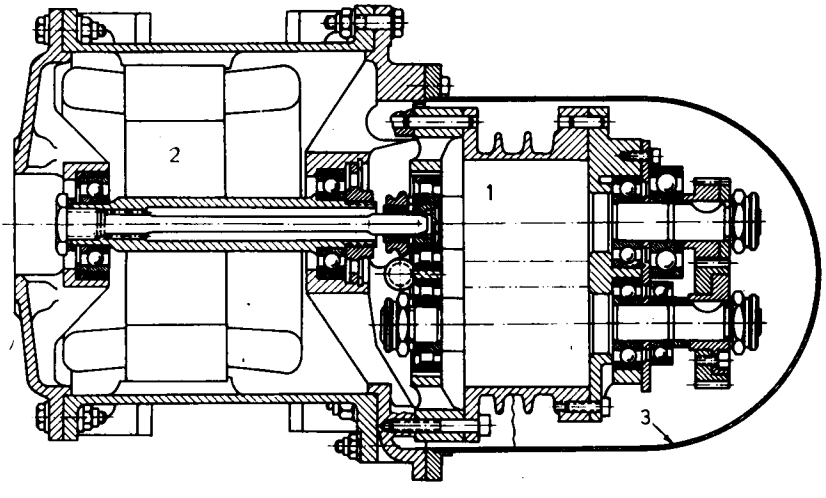
Οι θερμοκρασίες ατμοποιήσεως που εξυπηρετούν αρχίζουν από −100°C με ψυκτικό μέσο το αιθυλένιο, και φθάνουν μέχρι τις συνηθισμένες θερμοκρασίες + 4°C και πιο πάνω ακόμη, για εφαρμογές εγκαταστάσεων κλιματισμού.

1.2.3 Κοχλιόμορφοι συμπιεστές.

Οι κοχλιόμορφοι συμπιεστές πρωτοκατασκευάστηκαν το 1934 και από τότε βελτιώνονται συνεχώς. Στους συμπιεστές αυτούς η συμπίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου γίνεται με περιστρεφόμενα μέρη, και όχι παλινδρομικά, όπως στους εμβολοφόρους συμπιεστές. Όπως όμως και στους εμβολοφόρους, η λειτουργία τους βασίζεται στην ***αρχή της εκτοπίσεως.*** Συγκεκριμένα, το ψυκτικό μέσο αναγκάζεται να συμπιεσθεί ωθούμενο από δυο συζευγμένους αντίθετα περιστρεφόμενους κοχλίες. Στο σχήμα 1.2κζ φαίνεται η αρχή του τρόπου λειτουργίας των κοχλιομόρφων συμπιεστών. Υπάρχουν δυο άτρακτοι με κοχλιόμορφη διαμόρφωση μεγάλου βήματος οι οποίες περιστρέφονται αντίθετα. Καθώς ο λοβοί της μιας ατράκτου εμπλέκονται με τους λοβούς της άλλης ο ατμός ωθείται ή αλλοιώς ***εκτοπίζεται*** από τη χαμηλή προς την υψηλή πίεση. Είναι φανερό ότι στους συμπιεστές του τύπου αυτού δεν υπάρχουν βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.



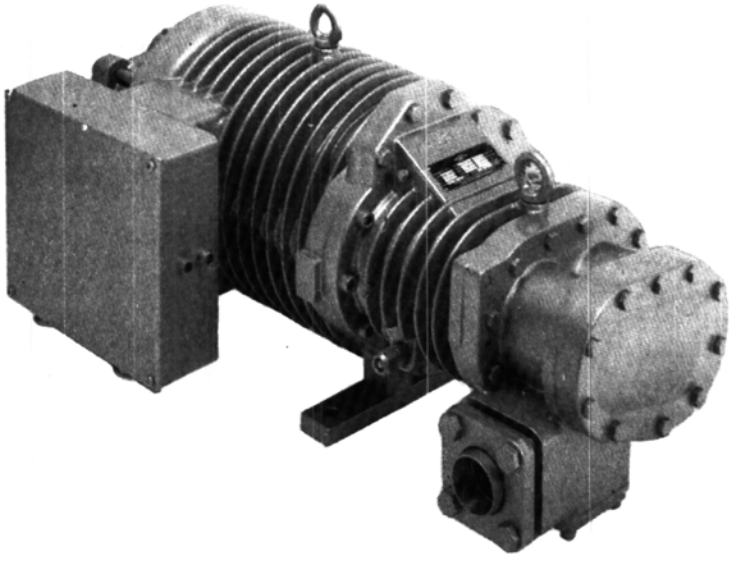
Σχ. 1.2κζ.
Τα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία ενός κοχλιόμορφου συμπιεστή.



Σχ. 1.2κη.
Ημιερμητικός κοχλιόμορφος συμπιεστής με ηλεκτροκινητήρα.
1. Συμπιεστής. 2. Ηλεκτροκινητήρας. 3. Κέλυφος.

Η εσωτερική διαμόρφωση ενός κοχλιόμορφου συμπιεστή φαίνεται στο σχήμα 1.2κη ενώ στο σχήμα 1.2κθ φαίνεται η εξωτερική μορφή ενός σύγχρονου κοχλιόμορφου συμπιεστή ημιερμητικού τύπου.

Οι συμπιεστές του τύπου αυτού, ανάλογα με τον τρόπο λιπάνσεως διακρίνονται σε δυο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα κατατάσσονται οι συμπιεστές που λειτουργούν χωρίς λίπανση στις επιφάνειες των κοχλιών. Με τη σκέψη αυτή, είχαν κατασκευα-



Σχ. 1.2κθ.
Κοχλιόμορφος ημιερμητικός συμπιεστής, μεγάλης ισχύος, σύγχρονης κατασκευής.

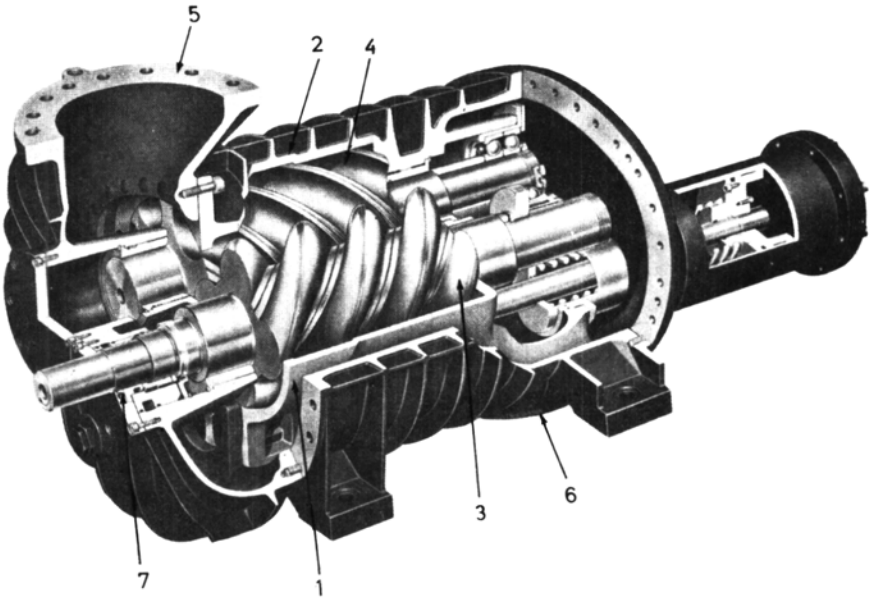
σθεί οι πρώτοι τέτοιοι συμπιεστές. Σήμερα όμως η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο για πολύ ειδικές εφαρμογές, όπου το λάδι είναι ανεπιθύμητο.

Στη δεύτερη ομάδα υπάγονται οι κοχλιόμορφοι συμπιεστές οι οποίοι στις επιφάνειες των κοχλιών που συνεργάζονται λιπαίνονται με έγχυση λαδιού. Έτσι, με τη λίπανση αυτή, εξασφαλίζεται πολύ καλύτερη στεγανότητα και μπορούν και επιτυγχάνονται μεγαλύτερες συμπιέσεις ενώ μειώνονται οι απώλειες λόγω διαρροών.

Πολλές φορές η έγχυση λαδιού γίνεται με ακροφύσια σε διάφορες θέσεις κατά μήκος των περιστρεφομένων λοβών. Αν και η ακρίβεια της μηχανουργικής κατεργασίας των λοβών είναι πολύ μεγάλη, εντούτοις το είδος της κατασκευής τους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.2λ, ευνοεί τη χρήση του λαδιού, το οποίο όχι μόνο στεγανοποιεί αλλά και ψύχει το συμπιεστή με αντίστοιχη βελτίωση της αποδόσεώς του.

Οι συμπιεστές αυτοί, λόγω του είδους της κατασκευής που τους χαρακτηρίζει, δεν είναι τόσο ευαίσθητοι στις ποσότητες ***υγρού*** ψυκτικού μέσου, που κατά καιρούς μπορεί να φθάσουν στο συμπιεστή. Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές με όλα τα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα, δηλαδή R12, R22, R502 και αμμωνία. Τα μεγέθη τους κυμαίνονται ως προς την ψυκτική ισχύ από 100 μέχρι 1000 RT (ψυκτικούς τόνους), ενώ ο αριθμός στροφών λειτουργίας μεταβάλλεται από τα συνηθισμένα όρια των ηλεκτροκινητήρων μέχρι και τις 22500 rpm. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί σε λειτουργία διπολικών ηλεκτροκινητήρων με ηλεκτρικό δίκτυο συχνότητας 400 Hz το οποίο υπάρχει σε πλοία ή αεροπλάνα.

Ενώ στους εμβολοφόρους συμπιεστές η απόλυτη πίεση αναρροφήσεως δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 0,1 ata, γιατί από κει και κάτω δε λειτουργεί πλέον ικανοποιητικά ο συμπιεστής, στους κοχλιόμορφους συμπιεστές η πίεση αναρροφή-



Σχ. 1.2λ.
Κοχλιόμορφος συμπιεστής.
1. Κέλυφος συμπιέσεως, αρσενικού λοβού. 2. Κέλυφος συμπιέσεως θηλυκού λοβού. 3. Αρσενικός λοβός ανοικτού τύπου. 4. Θηλυκός λοβός. 5. Αναρρόφηση. 6. Εξαγωγή. 7. Στεγανοποίηση ανοικτού άξονα.

σεως μπορεί να φτάσει και μέχρι 0,05 ως 0,02 ata. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή τους σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Οι συμπιεστές αυτοί κατασκευάζονται για ογκομετρικές παροχές 200 μέχρι 30000 m^3/h.

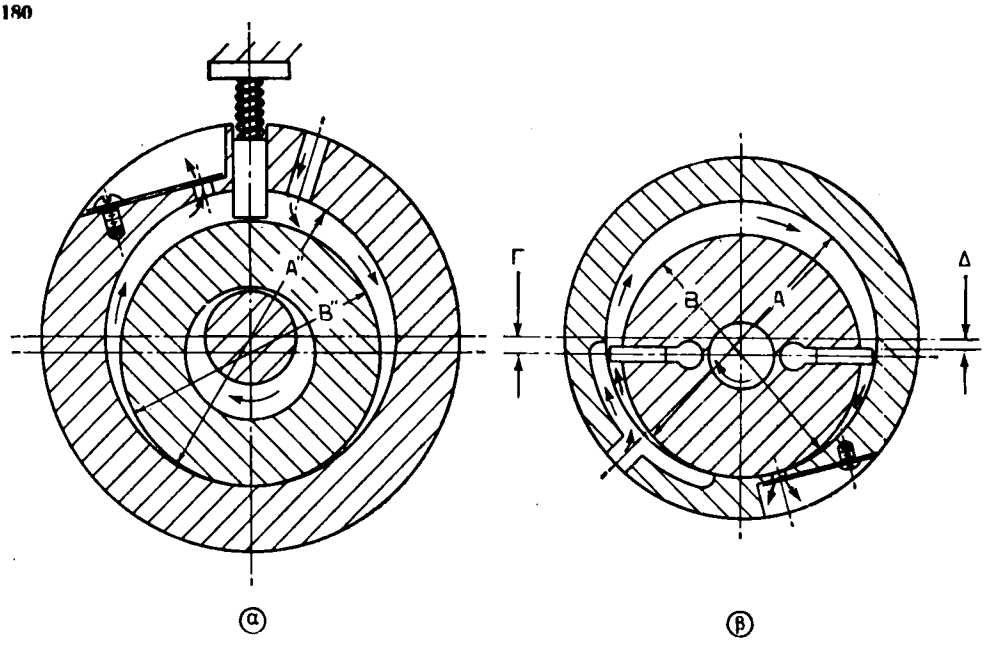
Το πρόβλημα στους κοχλιόμορφους συμπιεστές είναι ο διαχωρισμός του λαδιού από το ψυκτικό μέσο. Ο διαχωριστήρας πρέπει να έχει βαθμό αποδόσεως διαχωρισμού τουλάχιστον 99%, ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική λειτουργία του συμπυκνωτή και του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Οι κοχλιόμορφοι συμπιεστές στην τελευταία δεκαπενταετία κατασκευάζονται από περισσότερες εταιρίες και γίνεται προσπάθεια διαδόσεώς τους.

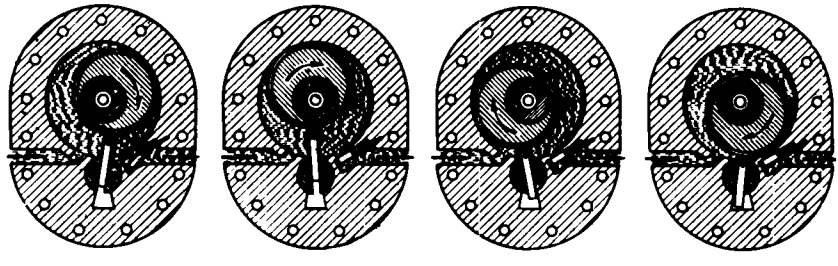
1.2.4 Συμπιεστές τυμπάνου.

Με την ονομασία αυτή χαρακτηρίζεται ο τύπος των συμπιεστών που χρησιμοποιούν την περιστροφή ενός κυλινδρικού τυμπάνου και κατάλληλους σύρτες, για να επιτύχουν τη συμπίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου. Πολλές φορές ονομάζονται και «περιστροφικοί» συμπιεστές, από το αγγλικό rotary compressors, αν και το όνομα αυτό, στα ελληνικά τουλάχιστο, δημιουργεί σύγχυση, γιατί όλοι οι τύποι των συμπιεστών έχουν περιστρεφόμενο το κύριο μέρος τους, ακόμη και οι εμβολοφόροι.

Οι συμπιεστές τυμπάνου λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της εκτοπίσεως, ό-



Σχ. 1.2λα.
Αρχές λειτουργίας συμπιεστών τυμπάνου.
α) Τύπος εκκέντρου τυμπάνου. β) Τύπος περιστρεφόμενου σύρτη.



Σχ. 1.2λβ.
Αρχή λειτουργίας εκκέντρου τυμπάνου.

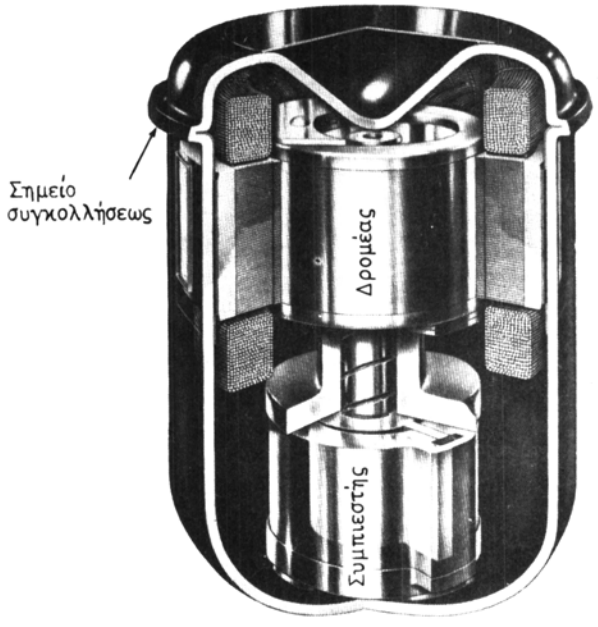
πως ακριβώς και οι εμβολοφόροι και οι κοχλιόμορφοι. Έχουν όμως αναπτυχθεί δυο ιδιαίτεροι τρόποι λειτουργίας των συμπιεστών τυμπάνων, καθώς και δυο αντίστοιχοι τύποι συμπιεστών:

— Ο τύπος εκκέντρου τυμπάνου με σταθερό σύρτη, και
— ο τύπος περιστρεφόμενου σύρτη.

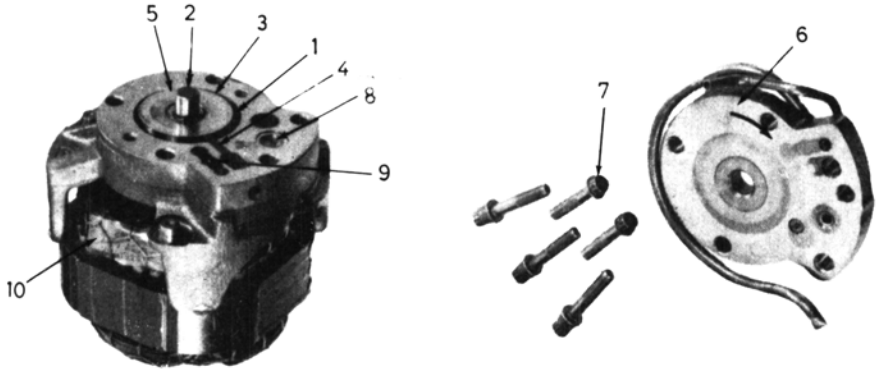
Στο σχήμα 1.2λα φαίνονται οι δυο αυτοί τρόποι λειτουργίας.

Στο σχήμα 1.2λβ φαίνεται η αρχή λειτουργίας του εκκέντρου τυμπάνου με σταθερό σύρτη σε τέσσερις διαφορετικές θέσεις λειτουργίας.

Συμπιεστές του είδους αυτού κατασκευάζονται για διάφορα μεγέθη και διάφο-



Σχ. 1.2λγ.
Μικρός ερμητικός συμπιεστής κλασματικής ισχύος με ακίνητο σύρτη.

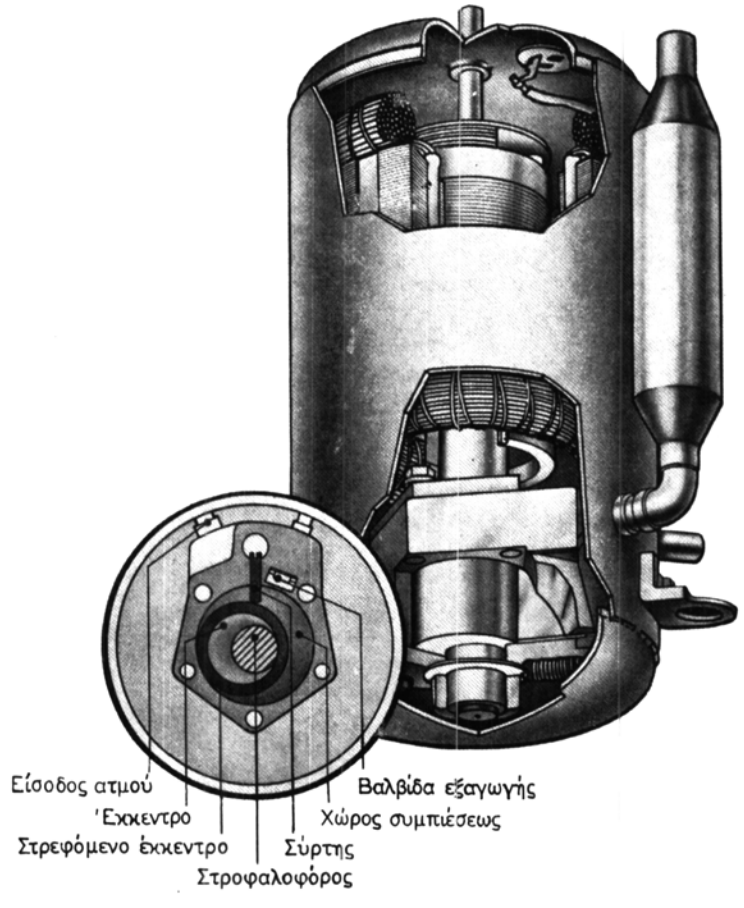


Σχ. 1.2λδ.
Συμπιεστής τυμπάνου με ακίνητο σύρτη.
1. Κύλινδρος. 2. Έκκεντρο. 3. Στροφείο. 4. Απλός σύρτης. 5. Έδραση άξονα. 6. Πλάκα κυλίνδρου. 7. Βίδες. 8. Αναρρόφηση ατμού. 9. Εξαγωγή ατμού προς το συμπυκνωτή. 10. Τύλιγμα ηλεκτροκινητήρα.

ρα ψυκτικά μέσα, ώστε να καλύπτονται οι συγκεκριμένες ανάγκες. Έτσι υπάρχουν τύποι συμπιεστών από κλασματικής ισχύος, σαν αυτόν του σχήματος 1.2λγ ή τον αντίστοιχο του σχήματος 1.2λδ, μέχρι και πολλών δεκάδων ή εκατοντάδων kW. Οι μεγάλοι συμπιεστές του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται συνήθως σαν προσυμ-

πιεστές (booster) για να καλύψουν μικρές διαφορές πιέσεως και μεγάλες παροχές όγκου, ώστε να τροφοδοτούν άλλους τύπους συμπιεστών οι οποίοι εργάζονται με μεγαλύτερες διαφορές πιέσεων και μικρότερες παροχές όγκου, όπως π.χ. είναι οι εμβολοφόροι.

Το είδος αυτό συμπιεστών με τύμπανο, χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια και για εγκαταστάσεις αντλίας θερμότητας. Ένας ερμητικός συμπιεστής του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 1.2λε. Είναι ερμητικός και χρησιμοποιεί ψυκτικό μέσο R22.



Σχ. 1.2λε.
Συμπιεστής τυμπάνου ερμητικός με εξωτερικό σιγαστήρα, κατάλληλος για χρήση αντλίας θερμότητας με ψυκτικό μέσο R22.

1.3 Εφαρμογές συμπιεστών.

Σχεδόν όλες οι ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν κάποιο τύπο συμπιεστή για να λειτουργήσουν. Για το λόγο αυτό είναι χρήσιμο να αναφερθούν οι πιο συνηθισμένες περιοχές της τεχνολογίας, πολλές άλλωστε από τις οποίες έχουν σχέση με την καθημερινή μας ζωή, στις οποίες εμφανίζονται συμπιεστές ψυκτικού μέσου.

1.3.1 Ψύξη για κλιματισμό ανέσεως.

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται οι εγκαταστάσεις κλιματισμού αέρα, οι οποίες ελέγχουν τις συνθήκες του αέρα κάποιου χώρου ώστε όσοι ζουν σ' αυτόν (κατοικούν ή εργάζονται) να αισθάνονται πιο άνετα. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα αναφέρομε τους τύπους των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στις διάφορες κατηγορίες των κλιματιστικών εγκαταστάσεων ανέσεως. Σχετικά με τις εγκαταστάσεις κλιματισμού ο μαθητής μπορεί να αναφερθεί στο βιβλίο «Κλιματισμός» του Ιδρύματος Ευγενίδου.

α) Ψύξη για κλιματισμό κατοικιών.

Σε χώρες με θερμά κλίματα ή σε θερμές εποχές του έτους, πολλές φορές είναι όχι μόνο επιθυμητή αλλά και αναγκαία η ψύξη του αέρα των χώρων της κατοικίας. Η ανάγκη αυτή, μπορεί να εμφανίζεται και για λόγους υγείας ευπαθών ή ασθενών ατόμων. Σε μικρές κλιματιστικές εγκαταστάσεις μονοκατοικιών ή μικρών πολυκατοικιών χρησιμοποιούνται εμβολοφόροι συμπιεστές. Σε μεγάλα συγκροτήματα κατοικιών ή πολυκατοικιών χρησιμοποιούνται και άλλες μορφές των συμπιεστών, ιδίως φυγοκεντρικοί.

β) Ψύξη για κλιματισμό καταστημάτων.

Εδώ ο κλιματισμός είναι αναγκαίος, πολύ περισσότερο, γιατί τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί πολύ οι ανάγκες σε φωτισμό, πράγμα που συνεπάγεται αυξημένα θερμικά φορτία. Οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως εμβολοφόροι στις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις, ή και φυγοκεντρικοί σε μεγάλες εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν συγκροτήματα καταστημάτων.

γ) Ψύξη για κλιματισμό κτηρίων - γραφείων.

Στις περιπτώσεις αυτές οι ανάγκες για ψύξη των χώρων εξυπηρετούν τα εργαζόμενα άτομα ή όσους συναλλάσσονται ή εξυπηρετούνται μέσα στο χώρο, αλλά και διατηρούν κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος για τις διάφορες μηχανές γραφείου οι οποίες είναι εγκαταστημένες σ' αυτά. Έτσι οι υπολογιστές, οι τερματικές οθόνες των υπολογιστών, τα τηλέτυπα, διάφορες μορφές γραφομηχανών και γενικά πολλοί τύποι ψηφιακών ηλεκτρονικών συσκευών, λειτουργούν ικανοποιητικά μόνο σε περιορισμένη περιοχή θερμοκρασιών του αέρα που τις περιβάλλει. Αν σε όλα αυτά προστεθεί και η θέρμανση από τον άπλετο φωτισμό, τότε οι ανάγκες για ψύξη είναι μεγάλες. Για κτήρια γραφείων, όπου και εδώ εμφανίζονται σχετικά μεγάλα φορτία, χρησιμοποιούνται μεγάλοι εμβολοφόροι συμπιεστές ή σχετικά μικροί φυγοκεντρικοί.

δ) Ψύξη για κλιματισμό σχολείων.

Μόνο ένα μικρό ποσοστό των αιθουσών διδασκαλίας έχουν κλιματισμό ακόμη και σε χώρες με μεγάλες οικονομικές δυνατότητες. Σε μερικές αίθουσες πανεπιστημίων υπάρχει κεντρικός κλιματισμός, ενώ πολλά μικρά ιδρύματα χρησιμοποιούν μικρές συσκευές τοπικές με μικρούς εμβολοφόρους συμπιεστές ερμητικούς ή ημιερμητικούς.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ε) Ψύξη για κλιματισμό νοσοκομείων.

Εδώ οι απαιτήσεις για ψύξη είναι συνήθως μεγάλες και χρησιμοποιούνται κεντρικά μηχανοστάσια με συμπιεστές, οι οποίοι απαιτούν για τη λειτουργία τους αρκετές εκατοντάδες κιλοβάτ ισχύος. Ανάλογα με την ανάγκη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλοι οι τύποι των μεγάλων μονάδων παραγωγής ψυκτικής ισχύος, όπως εμβολοφόροι συμπιεστές, φυγοκεντρικοί κλπ.

στ) Ψύξη για κλιματισμό οχημάτων.

Με τον όρο οχήματα εννοούνται τα χερσαία μέσα μεταφοράς. Έτσι υπάρχουν ανάγκες για οχήματα σιδηροδρόμων, για λεωφορεία και για μικρά επιβατηγά οχήματα. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μικροί ή μεσαίοι συμπιεστές ψυκτικού μέσου, για να καλύψουν τις αντίστοιχες ανάγκες. Η κίνηση του συμπιεστή γίνεται ή με ιμάντα και τροχαλία, ή χρησιμοποιείται ειδική μικρή μηχανή εσωτερικής καύσεως ή τέλος ηλεκτροκινητήρας.

Ζ) Ψύξη για κλιματισμό αεροσκαφών.

Το κύριο πρόβλημα στα αεροσκάφη, για όλες τις συσκευές, είναι το βάρος. Έτσι, και για τις εγκαταστάσεις ψύξεως, πρέπει να χρησιμοποιούνται συσκευές όσο το δυνατόν ελαφρότερες. Τα συνηθισμένα αεροσκάφη έχουν εγκαταστάσεις με συμπιεστές οι οποίες αποδίδουν 4 ως 26 ψυκτικούς τόνους (14 - 90 kW). Χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικοί συμπιεστές με ψυκτικό μέσο R12 ή R114.

η) Ψύξη για κλιματισμό πλοίων.

Το μέγεθος του συμπιεστή, ο τύπος και το ψυκτικό μέσο εξαρτώνται για τις περιπτώσεις πλοίων από το μέγεθος, το είδος του πλοίου και τα μέρη στα οποία ταξιδεύει. Για να μπορούν εύκολα να προμηθεύονται ψυκτικό μέσο, τα πλοία προτιμούν να χρησιμοποιούν ψυκτικό μέσο R12. Το γεγονός όμως αυτό επιβάλλει τη χρήση εμβολοφόρων συμπιεστών και προκαλεί δυσκολίες, όταν απαιτούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι σιγά-σιγά με τη διάδοση και του ψυκτικού μέσου R22 και τη δυνατότητα εξευρέσεώς του και σε πιο απόμερα λιμάνια, υπάρχουν πλοία τα οποία το χρησιμοποιούν.

Πλοία που έχουν ψυκτικές ανάγκες κλιματισμού μεγαλύτερες από 150 ψυκτικούς τόνους, εργάζονται οικονομικότερα με φυγοκεντρικούς συμπιεστές και ψυκτικό μέσο R11 ή R114.

1.3.2 Ψύξη για βιομηχανικό κλιματισμό.

Με τον όρο βιομηχανικός κλιματισμός εννοείται η χρήση του ελεγχόμενου κλιματολογικού περιβάλλοντος του χώρου προς όφελος των βιομηχανικών προϊόντων ή των μεθόδων παραγωγής ή επεξεργασίας τους.

Υπάρχουν δηλαδή πολλές βιομηχανίες, στις οποίες απαιτείται διατήρηση σταθερών συνθηκών κλιματολογικού περιβάλλοντος για την παραγωγή ή επεξεργασία των προϊόντων που τους αφορούν. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι βιομηχανίες φωτογραφικού χαρτιού και φιλμς, οι βιομηχανίες ευαισθήτων οπτικών οργάνων, οι υφαντουργικές και νηματουργικές βιομηχανίες, τα τυπογραφεία πολυχρώμων εκ-

τυπώσεων, η βιομηχανία ελαστικού ή πλαστικών ειδών, η καπνοβιομηχανία ή βιομηχανία μικροηλεκτρονικών εξαρτημάτων κλπ.

Ως προς τα προϊόντα, σημαντικές απαιτήσεις για ψυκτική ισχύ εμφανίζουν οι χώροι αποθηκεύσεως φρούτων, γεωμήλων (πατάτας) γλυκυσμάτων, αρτοσκευασμάτων καθώς επίσης και οι χώροι - ψυγεία διατηρήσεως κρεάτων, πουλερικών, ψαριών καθώς επίσης και οι εγκαταστάσεις όπου γίνεται κατάψυξη αυτών των προϊόντων.

Ως προς το συμπιεστή ψυκτικών εγκαταστάσεων γίνεται σαφώς διάκριση μεταξύ εγκαταστάσεων κλιματισμού και εγκαταστάσεων συντηρήσεως τροφίμων ή συντηρήσεως κατεψυγμένων ή εγκαταστάσεων καταψύξεως. Κατάψυξη τροφίμων ή διατήρηση κατεψυγμένων, σημαίνει οπωσδήποτε θερμοκρασίες αέρα χαμηλότερες από το όριο θερμοκρασίας 0°C, όπου παγώνει το νερό. Αντίθετα η διατήρηση νωπών τροφίμων, όπως π.χ. μήλων ή πατάτας προϋποθέτει θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 0°C, για παράδειγμα περίπου +4°C.

1.3.3 Βιομηχανική ψύξη.

Στο είδος αυτό κατατάσσονται εκείνες οι ψυκτικές εγκαταστάσεις, στις οποίες η θερμότητα αφαιρείται από τα μέσα που ενδιαφέρουν άμεσα και όχι με τη μεσολάβηση του αέρα του περιβάλλοντος χώρου. Συνηθισμένες εφαρμογές του είδους αυτού συναντώνται στις εγκαταστάσεις παραγωγής πάγου, στα παγοδρόμια, στην ψύξη μεγάλων όγκων οπλισμένου σκυροδέματος κατά τη διάστρωσή του και μετά καθώς και στις χημικές βιομηχανίες.

α) Ψύξη για παραγωγή πάγου.

Ο κοινός πάγος έχει ακόμα σημαντικά πεδία εφαρμογών είτε σε μεγάλους όγκους (κολώνες) είτε σε μικρά κομμάτια διαφόρων μορφών. Μέχρι το 1940 περίπου, η παραγωγή του πάγου γίνονταν μόνο σε μεγάλες εγκαταστάσεις, και σε κολώνες, που έπρεπε στη συνέχεια να θρυμματίζονται αν χρειαζόταν μικρότερο μέγεθος. Σήμερα όμως υπάρχει πλήθος αυτονόμων εγκαταστάσεων ψύξεως, οι οποίες παράγουν πάγο σε μικρά κομμάτια και σε ποσότητες από 10 μέχρι 500 kg το 24ωρο περίπου. Οι μικρές αυτόνομες εγκαταστάσεις για βιομηχανική χρήση παράγουν από 50 μέχρι 2000 kg πάγο στο 24ωρο, ενώ οι μεγαλύτερες βιομηχανικές πάντοτε από 3 μέχρι 40 τόνους πάγου το 24ωρο. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για συντήρηση τροφίμων και ψύξη ποτών από τα εστιατόρια, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία κλπ.

Για τη χρήση αυτή χρησιμοποιούνται συμπιεστές εμβολοφόροι με ψυκτικό μέσο R12 συνήθως.

Οι μεγάλες βιομηχανικές μονάδες παραγωγής πάγου, όπως είναι π.χ. αυτές στην ζυθοποιΐα ή τις χημικές βιομηχανίες, χρησιμοποιούν αποκλειστικά σχεδόν ως ψυκτικό μέσο την αμμωνία και εμβολοφόρους συμπιεστές, οι οποίοι δεν λιπαίνονται στο έμβολο και τον κύλινδρο, ώστε να αποφεύγεται η ανάμιξη λαδιού και ψυκτικού μέσου. Η ανάμιξη αποφεύγεται με ειδική κατασκευή του συστήματος κυλίνδρου - διωστήρα - στροφάλου. Η κατασκευή αυτή γίνεται με βάκτρο, που οδηγείται ακριβώς· κατά συνέπεια με τον ίδιο τρόπο οδηγείται και το έμβολο, το οποίο δεν έχει

μηχανική επαφή, άρα ούτε τριβή, με τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Η στεγανότητα μεταξύ κυλίνδρου και εμβόλου, κατά τη συμπίεση του ατμού της αμμωνίας, εξασφαλίζεται με κατάλληλες αυλακώσεις στις επιφάνειες του κυλίνδρου και εμβόλου οι οποίες, μαζί με τη μικρή ανοχή διαστάσεων των διαμέτρων κυλίνδρου - εμβόλου, δημιουργούν ένα λαβύρινθο, ο οποίος συγκρατεί το αέριο.

Ένας συμπιεστής του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 1.3α. Πρόκειται για συμπιεστή αμμωνίας με έμβολο διπλής δράσεως. Δηλαδή συμπιέζει αμμωνία και στην πάνω και στην κάτω πλευρά του εμβόλου κατά τη διάρκεια της ανόδου και της καθόδου του εμβόλου. Η κατασκευή συμπιεστή του είδους αυτού απαιτεί άριστη εκτέλεση των μηχανουργικών κατεργασιών, γιατί είναι δύσκολη η επίτευξη της ακρίβειας η οποία απαιτείται στη χωρίς τριβή οδήγηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο.

Συμπιεστές κατακόρυφοι του τύποι αυτού χρησιμοποιούνται συνήθως για εγκαταστάσεις παγοποιΐας, όπου η απαιτούμενη παραγωγή δεν απαιτεί ψυκτική ισχύ μεγαλύτερη από 75 ψυκτικούς τόνους. Υπάρχουν παρόμοιες κατασκευές και για οριζόντια έμβολα.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή πάγου εξαρτάται βέβαια από την αρχική θερμοκρασία του νερού. Γενικώς όμως οι επιτυγχανόμενες τιμές, κυμαίνονται γύρω στις 50 kWh ανά τόνο πάγου ως 53 kWh ανά τόνο πάγου, για νερό αρχικής θερμοκρασίας 21°C.

β) Ψύξη για παγοδρόμια.

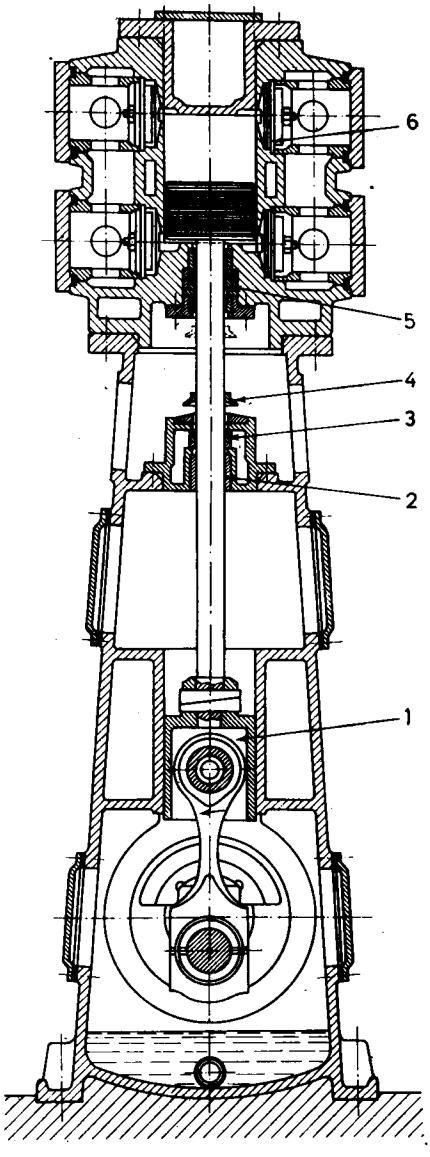
Παλιότερα για την εφαρμογή αυτή εχρησιμοποιείτο αποκλειστικά η αμμωνία ως ψυκτικό μέσο. Τελευταία αυξάνουν συνεχώς οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν ως ψυκτικό μέσο το R22, γιατί είναι πιο εύχρηστο και δεν έχει την οσμή και την τοξικότητα της αμμωνίας.

Η θερμοκρασία του πάγου στην επιφάνειά του πρέπει να είναι γύρω στους −5,5°C ως −3,3°C ανάλογα με την υγρασία του αέρα, και ανάλογα με τη χρήση του παγοδρομίου. Η χαμηλότερη θερμοκρασία είναι επιθυμητή για μεγαλύτερες ταχύτητες κινήσεως των παικτών όπως π.χ. γίνεται στο χόκεϋ. Η υψηλότερη θερμοκρασία επιβάλλεται για το συνηθισμένο κοινό το οποίο χρησιμοποιεί το παγοδρόμιο για διασκέδαση και αναψυχή.

Για να αναπτυχθούν οι θερμοκρασίες αυτές, κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνες στο δάπεδο άλμη, η οποία ψύχεται από την ψυκτική εγκατάσταση. Η θερμοκρασία της άλμης πρέπει να είναι −11°C ή −9°C, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία πάγου για τις παγοδρομίες. Η αντίστοιχη θερμοκρασία του ατμού ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή είναι γύρω στους −15°C ως −12°C.

γ) Ψύξη για οπλισμένο σκυρόδεμα ή χωματουργικά έργα.

Από τη στιγμή της αναμίξεως των αδρανών υλικών με το τσιμέντο και το νερό για την ετοιμασία του σκυροδέματος (μπετόν) αρχίζει να παράγεται θερμότητα από τις χημικές διεργασίες που προκαλούνται. Όταν οι ποσότητες του σκυροδέματος είναι μεγάλες, τότε η θερμότητα που παράγεται δεν απάγεται εύκολα προς το περιβάλλον με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες, οι οποίες βλά-



Σχ. 1.3α.
Συμπιεστής διπλής δράσεως, χωρίς λίπανση κυλίνδρου.
1. Βάκτρο και οδήγηση. 2. Έδρανο οδηγήσεως. 3. Συγκράτηση λαδιού. 4. Δακτύλιος συγκρατήσεως λαδιού. 5. Στυπιοθλίπτης. 6. Δισκοβαλβίδες.

πτουν την ποιότητα και την αντοχή του σκυροδέματος. Για να αποφευχθεί το γεγονός αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως δυο τρόποι: Είτε χρησιμοποιείται για την ετοιμασία του μίγματος νερό κρύο, ανακατωμένο με κατάλληλη ποσότητα από ψήγματα πάγου, είτε τοποθετούνται σωλήνες ψύξεως μέσα στη μάζα του σκυροδέματος ώστε να κυκλοφορεί, για όσο χρόνο απαιτείται, κρύα άλμη η οποία απάγει τη θερμότητα που παράγεται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

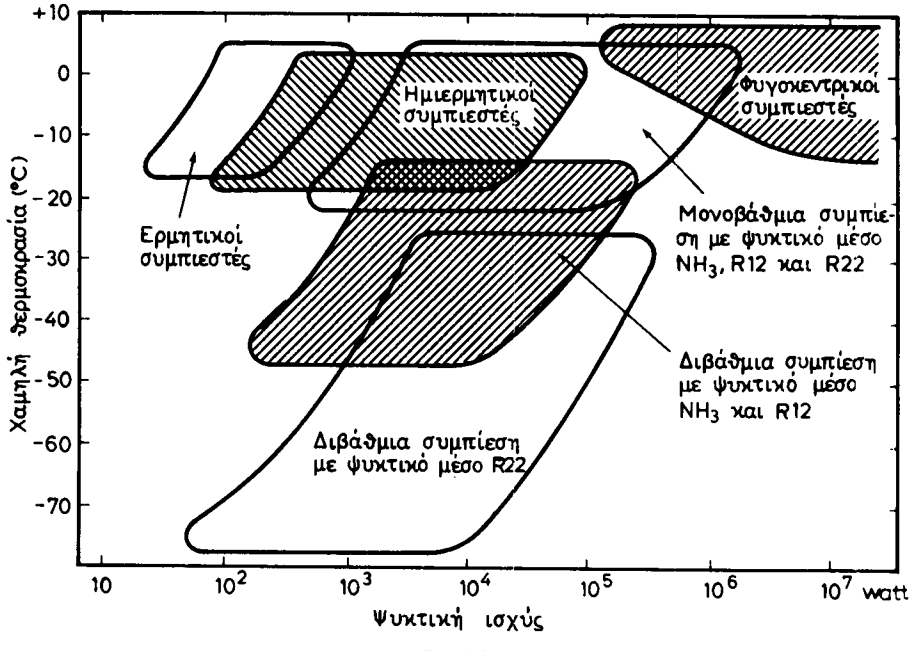
δ) Ψύξη για χημικές βιομηχανίες.

Υπάρχουν πάρα πολλές χημικές διεργασίες και αντίστοιχες εγκαταστάσεις οι οποίες απαιτούν τη χρήση σημαντικών ψυκτικών εγκαταστάσεων και μάλιστα σε διαφορετικές θερμοκρασίες, ανάλογα με τα υπόψη προϊόντα. Σε πολλές περιπτώσεις χημικών διεργασιών απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στη ρύθμιση των απαιτουμένων θερμοκρασιών, και για το λόγο αυτό οι αυτοματισμοί και ο έλεγχος γενικά των εγκαταστάσεων έχει συνήθως αυξημένες απαιτήσεις για τις προδιαγραφές λειτουργίας.

Μια άλλη ιδιομορφία των χημικών εγκαταστάσεων είναι οι χημικές επιδράσεις στα μέταλλα της εγκαταστάσεως ψύξεως. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή λόγω των συνθηκών λειτουργίας, οι οποίες μπορεί να απαιτούν υψηλές πιέσεις για τα ρευστά, τα οποία ψύχει η ψυκτική εγκατάσταση και συνεπώς να εμφανισθούν απαιτήσεις αντοχής ιδιαίτερα υψηλές.

1.3.4 Μεγέθη συμπιεστών.

Όπως ήδη είδαμε, οι ανάγκες, που εξυπηρετούνται από εγκαταστάσεις ψύξεως, είναι πολλές και διαφορετικές. Έτσι υπάρχουν και πολλά μεγέθη και τύποι συμπιεστών οι οποίοι τις καλύπτουν. Στο σχήμα 1.3β έχει γίνει μια συνοπτική αναπαράσταση των συνηθισμένων ψυκτικών εφαρμογών, με άξονες στο διάγραμμα, την ψυκτική ισχύ της εγκαταστάσεως και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Καλύπτονται φυσικά οι εγκαταστάσεις που λειτουργούν με κύκλο μηχανικής συμπιέσεως ατμού με συμπιεστή. Για μεγάλες τιμές ψυκτικής ισχύος και σχετικά υψηλότερες θερμο-



Σχ. 1.3β.
Περιοχή συνηθισμένων εφαρμογών, ψυκτικών εγκαταστάσεων με συμπιεστή.

κρασίες κατάλληλοι είναι οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές. Για μεσαίες τιμές ψυκτικής ισχύος χρησιμοποιούνται οι ημιερμητικοί συμπιεστές, είτε αυτοί είναι εμβολοφόροι ή κοχλιοφόροι ή τυμπάνου, ενώ για μεσαίες τιμές ψυκτικής ισχύος και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται οπωσδήποτε διαβάθμιες εγκαταστάσεις με συνηθισμένα ψυκτικά μέσα τα R12, NH_3 και R22.

Υπενθυμίζομε ότι διβάθμιες ονομάζονται οι ψυκτικές εγκαταστάσεις εκείνες, στις οποίες η ψύξη γίνεται διαδοχικά σε δυο στάδια. Έτσι η θερμότητα του ψυχρότερου συμπυκνωτή δίνεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως της δεύτερης διατάξεως, που λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

1.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συμπιεστών.

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ενός συμπιεστή, ή απλά μόνο χαρακτηριστικές λειτουργίες, λέγονται τα διαγράμματα εκείνα, τα οποία περιγράφουν την ικανότητα και τις επιδόσεις του συμπιεστή, κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας.

Οι συνθήκες λειτουργίας ενός συμπιεστή καθορίζονται από αρκετές παραμέτρους, που οι σημαντικότερες είναι οι εξής:

1. Αριθμός περιστροφών στη μονάδα του χρόνου (rpm).
2. Είδος ψυκτικού μέσου.
3. Θερμοκρασία ατμοποιήσεως (και πίεση).
4. Θερμοκρασία συμπυκνώσεως (και πίεση).
5. Υπόψυξη συμπυκνώματος.
6. Υπερθέρμανση αναρροφήσεως.
7. Είδος λαδιού λιπάνσεως.
8. Ποσότητα λαδιού λιπάνσεως.
9. Σταθερότητα παροχής ψυκτικού μέσου.
10. Θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα περιβάλλοντος χώρου (ψύξη συμπιεστή).
11. Ψύξη λαδιού (αν χρησιμοποιείται).

Άλλα από τα μεγέθη αυτά επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία και τις χαρακτηριστικές του συμπιεστή και άλλα πάλι λιγότερο. Πάντως πρέπει να είναι γνωστά όλα αυτά, όταν συγκρίνονται ή κατασκευάζονται εγκαταστάσεις. Σύντομη επεξήγηση των επιδράσεων αυτών είναι η ακόλουθη:

1) ***Ο αριθμός των περιστροφών*** ενός συμπιεστή εξαρτάται από την κινητήρια μηχανή, που περιστρέφει το συμπιεστή και από την αντίσταση την οποία προβάλλει στην κίνηση αυτή ο ίδιος ο συμπιεστής. Έτσι ο αριθμός στροφών του ζεύγους κινητήρας - συμπιεστής είναι το σημείο εκείνο λειτουργίας, όπου και οι δυο μηχανές έχουν την ίδια μηχανική ροπή στρέψεως και φυσικά την ίδια ισχύ. Για την περίπτωση ηλεκτροκινητήρα τα περιθώρια μεταβολής του αριθμού στροφών (εκτός από τις περιπτώσεις με διπλά τυλίγματα κινητήρα) είναι περιορισμένα και είναι μόνο ελάχιστες δεκάδες rpm στον ονομαστικό αριθμό στροφών 1500 rpm ή 3000 rpm.

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι ο αριθμός περιστροφών των ηλεκτροκινήτων συμπιεστών μεταβάλλεται με τις διακυμάνσεις του δικτύου ηλεκτροδοτήσεως. Οι διακυμάνσεις αυτές αφορούν τόσο στην τάση όσο και στη συχνότητα. Οι μετρήσεις

των χαρακτηριστικών λειτουργίας ενός ηλεκτροκίνητου συμπιεστή γίνονται με σταθεροποιημένη τάση δικτύου, και συχνότητα 50 Hz.

Στην πραγματικότητα, ο ακριβής αριθμός περιστροφών ενός ηλεκτροκίνητου συμπιεστή δεν μπορεί να καθορισθεί από το χειριστή ή τον κατασκευαστή. Μόνο η περιοχή λειτουργίας του είναι καθορισμένη από τη συχνότητα του δικτύου και τον αριθμό των ζευγών πόλων του ηλεκτροκινητήρα. Ο ακριβής αριθμός περιστροφών καθορίζεται από το φορτίο του συμπιεστή, δηλαδή από τις συνθήκες λειτουργίας.

2) ***Το ψυκτικό μέσο,*** η δεύτερη παράμετρος που επηρεάζει τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ενός συμπιεστή, καθορίζεται σαφώς από τον κατασκευαστή για τον κάθε τύπο συμπιεστή, και είναι πάντα γραμμένο επάνω στα σχετικά διαγράμματα. Αυτό συμβαίνει γιατί πολλές φορές ο ίδιος συμπιεστής είναι κατάλληλος και λειτουργεί με περισσότερα ψυκτικά μέσα, όπως π.χ. με R12 ή R22.

3) ***Η θερμοκρασία ατμοποιήσεως*** επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά, και συνεπώς τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας του συμπιεστή. Έχομε ήδη αναπτύξει, στην παράγραφο 1.24 του Α' Μέρους του βιβλίου, πώς θεωρητικά ορίζεται η θερμοκρασία αυτή για μια ιδανική εγκατάσταση· είναι δηλαδή η θερμοκρασία κορεσμού του ψυκτικού μέσου που αντιστοιχεί στην πίεση ατμοποιήσεως. Σε μια πραγματική όμως εγκατάσταση η θερμοκρασία αυτή είναι δύσκολο να ορισθεί. Αυτό συμβαίνει γιατί στο στοιχείο ατμοποιήσεως κατά τη ροή και την ταυτόχρονη αλλαγή φάσεως του μίγματος υγρού - ατμού, αναπτύσσονται τριβές με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πτώσεις πιέσεως. Εφόσον λοιπόν η πίεση πέφτει κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου μέσα από το στοιχείο ατμοποιήσεως, πέφτει αντίστοιχα και η θερμοκρασία. Έτσι είναι δύσκολο να ορισθεί μια συγκεκριμένη τιμή ως «θερμοκρασία ατμοποιήσεως». Βέβαια η πτώση της θερμοκρασίας είναι της τάξεως των 1-2°C, αρκετή όμως για να προκαλέσει μεταβολή στην ψυκτική ισχύ κατά 10-20%.

4) ***Θερμοκρασία συμπυκνώσεως***· γι' αυτήν ισχύουν περίπου τα ίδια όπως και για τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Και κατά τη συμπύκνωση η ροή του ψυκτικού μέσου γίνεται με πτώση πιέσεως· άρα λόγω της τριβής, αλλάζει ελαφρά η πίεση κατά μήκος του στοιχείου συμπυκνώσεως.

5) ***Υπόψυξη συμπυκνώματος*** λέγεται, όπως είναι ήδη γνωστό από το Α' Μέρος του βιβλίου αυτού, η διαφορά θερμοκρασίας που προκύπτει αν αφαιρέσομε από τη θερμοκρασία στο τέλος της συμπυκνώσεως τη θερμοκρασία που επικρατεί στην είσοδο στο στοιχείο στραγγαλισμού του ψυκτικού μέσου. Στο σημείο αυτό με τον όρο «τέλος συμπυκνώσεως» εννοείται η θέση του στοιχείου ατμοποιήσεως, όπου εξαφανίζεται λόγω συμπυκνώσεως και το τελευταίο ίχνος ατμού.

Η υπόψυξη (σελίδα 38, Μέρος Α') όπως έχει αναφερθεί, συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της ψυκτικής ικανότητας, και συνεπώς και της ψυκτικής ισχύος του αντίστοιχου ψυκτικού κύκλου. Ο καθορισμός της τιμής της με ακρίβεια έχει σημαντική αξία, όταν καθορίζονται η συμπεριφορά και οι αντίστοιχες χαρακτηριστικές καμπύλες του συμπιεστή.

6) ***Η υπερθέρμανση αναρροφήσεως*** αναφέρεται στον ατμό, που ρέει στην είσοδο του συμπιεστή. Σε πολλές περιπτώσεις ο ατμός αυτός δεν είναι κορεσμένος, όπως θα ήταν θεωρητικά στο τέλος της ατμοποιήσεως, αλλά υφίσταται και μια

υπερθέρμανση (σελίδα 38, Μέρος Α') που οφείλεται στους συνδετικούς αγωγούς αλλά και για να αποφευχθεί η συμπίεση ποσοτήτων υγρού ψυκτικού μέσου. Η υπερθέρμανη όμως αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της ογκομετρικής ψυκτικής ικανότητας (σελ. 99, Μέρος Α').

7) Το είδος του ***λαδιού λιπάνσεως*** επηρεάζει τις χαρακτηριστικές λειτουργίας τόσο με τις λιπαντικές του ιδιότητες, λόγω μειώσεως τριβών και εξοικονομήσεως ισχύος και ελαττώσεως παραγωγής θερμότητας, όσο και με τις ιδιότητές του για αναμιξιμότητα με το υγρό ψυκτικό μέσο (σελίδα 113, Μέρος Α'). Σε κανονικές συνθήκες συνεχούς λειτουργίας το λάδι, που συμπαρασύρεται σαν ατμός ή σταγονίδια μαζί με τον υπέρθερμο ατμό υψηλής πιέσεως από το συμπιεστή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως, πρέπει να συμπυκνώνεται και να φεύγει μαζί με το υγρό ψυκτικό μέσο μέσα από τη διάταξη στραγγαλισμού. Η παρουσία όμως και ιχνών λαδιού επηρεάζει τη λειτουργία της εγκαταστάσεως.

8) ***Η ποσότητα του λαδιού λιπάνσεως*** επηρεάζει τη λειτουργία της ψυκτικής διατάξεως έμμεσα και όχι άμεσα, γιατί επιδρά στην ποσότητα λαδιού η οποία παρασύρεται με τον ατμό του ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως.

9) ***Η σταθερότητα παροχής ψυκτικού μέσου*** συνδέεται με τη σταθερότητα λειτουργίας ολόκληρης της ψυκτικής διατάξεως. Όπως έχει αναπτυχθεί στο Α' Μέρος του βιβλίου αυτού, το ψυκτικό μέσο, καθώς κινείται κυκλικά μέσα στην ψυκτική εγκατάσταση, περνάει διαδοχικά από δυο συσκευές που συνδέονται σε σειρά, όπου γίνεται έλεγχος της παροχής μάζας του ψυκτικού μέσου. Τις συσκευές αυτές αποτελούν ο συμπιεστής και το στοιχείο στραγγαλισμού. Αν το σύστημα ολόκληρο δεν είναι ευσταθές, τότε εμφανίζονται περιοδικές αυξομειώσεις στην παροχή μάζας και η λειτουργία δεν είναι χρονικώς σταθερή ή μόνιμη, όπως λέγεται.

10) ***Η θερμοκρασία λειτουργίας του συμπιεστή-κινητήρα,*** επιδρά έντονα στη συμπεριφορά της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Όσο ανεβαίνουν οι θερμοκρασίες των μερών των μηχανών αυτών, τόσο ελαττώνεται η ψυκτική απόδοση.

11) ***Η ψύξη του λαδιού*** στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή, επιδρά και αυτή στην απόδοση και τη λειτουργία του συμπιεστή. Για μεσαίους και μεγάλους συμπιεστές χρησιμοποιείται κανονικό ψυγείο λαδιού. Ενώ κατά τη λειτουργία της εγκαταστάσεως απαιτείται ψύξη του λαδιού, σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν η εγκατάσταση δεν λειτουργεί, απαιτείται θέρμανση του λαδιού. Έτσι αποφεύγεται η διάλυση σ' αυτό του ψυκτικού μέσου, το οποίο μετά, κατά την εκκίνηση, εκλύεται πάλι λόγω της χαμηλής πιέσεως και δημιουργεί αφρό. Ο αφρός αυτός μπορεί να αναρροφηθεί στο έμβολο και μαζί με αυτόν υγρό, που μπορεί να προκαλέσει μηχανικές βλάβες λόγω κρούσεως. Τέτοιες διατάξεις θερμάνσεως χρησιμοποιούνται όταν το ψυκτικό σύστημα έχει αρκετή ποσότητα ψυκτικού μέσου, ώστε να κάνει λεπτόρρευστο το λάδι λόγω της ποσότητας αυτής. Χρησιμοποιούνται επίσης όταν ο συμπιεστής, σε ώρες εκτός λειτουργίας, εκτίθεται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μικρότερες από τις αντίστοιχες του στοιχείου ατμοποιήσεως, οπότε εμφανίζεται συμπύκνωση στην ελαιολεκάνη.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας είναι διαγράμματα στα οποία στον άξονα των τετμημένων (οριζόντιος άξονας x) απεικονίζεται η θερμοκρασία ατμοποιήσεως, ενώ στον άξονα των τεταγμένων (κατακόρυφος άξονας y) η ψυκτική ισχύς. Οι καμπύλες πάνω σ' αυτόν τον τύπο διαγράμματος είναι για σταθερές τιμές θερμοκρασίας συμπυκνώσεως. Ταυτόχρονα, πάνω στο ίδιο διάγραμμα, με διαφο-

ρετικά μεγέθη στον άξονα των y μπορεί να υπάρχουν σχεδιασμένες και άλλες καμπύλες πάλι για διαφορετικές τιμές θερμοκρασιών συμπυκνώσεως.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του είδους αυτού χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας συμπιεστή-συστήματος ψύξεως φαίνεται στο σχήμα 1.4α. Αναφέρεται σ' έναν εμβολοφόρο συμπιεστή, ο οποίος δουλεύει με ψυκτικό μέσο R22 και κινείται από ηλεκτροκινητήρα σταθερού αριθμού περιστροφών, με τιμή 1720 rpm. Πρόκειται για λειτουργία σε δίκτυο 60 περιόδων και τετραπολικό κινητήρα με ονομαστικό αριθμό περιστροφών 1800 rpm.

Οι μονάδες του διαγράμματος του σχήματος 1.4α είναι οι αγγλοσαξωνικές. Η υπόψυξη του συμπυκνώματος είναι 10°F (5,5°C) και η υπερθέρμανση στην αναρρόφηση του συμπιεστή 20°F (11°C). Οι καμπύλες αφορούν τρεις θερμοκρασίες συμπυκνώσεως με αντίστοιχες τιμές 100°F (37,8°C), 115°F (46,1°C), 130°F (54,4°C) και 145°F (62,8°C). Η ηλεκτρική ισχύς στο δεξιό κατακόρυφο άξονα είναι μετρημένη σε kW. Η ψυκτική ισχύς αναγράφεται στον αριστερό κατακόρυφο άξονα σε χιλιάδες BTU/h. Δηλαδή, ο συμπιεστής αυτός λειτουργεί με ηλεκτρική ισχύ, που κυμαίνεται μεταξύ 7,5 και 17,5 kW περίπου, και παράγει ψυκτική ισχύ μεταξύ 30 000 BTU/h και 200 000 BTU/h.

Από τις καμπύλες αυτές φαίνεται πολύ καθαρά η έντονη επίδραση στη λειτουργία του συμπιεστή της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως καθώς επίσης και της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως.

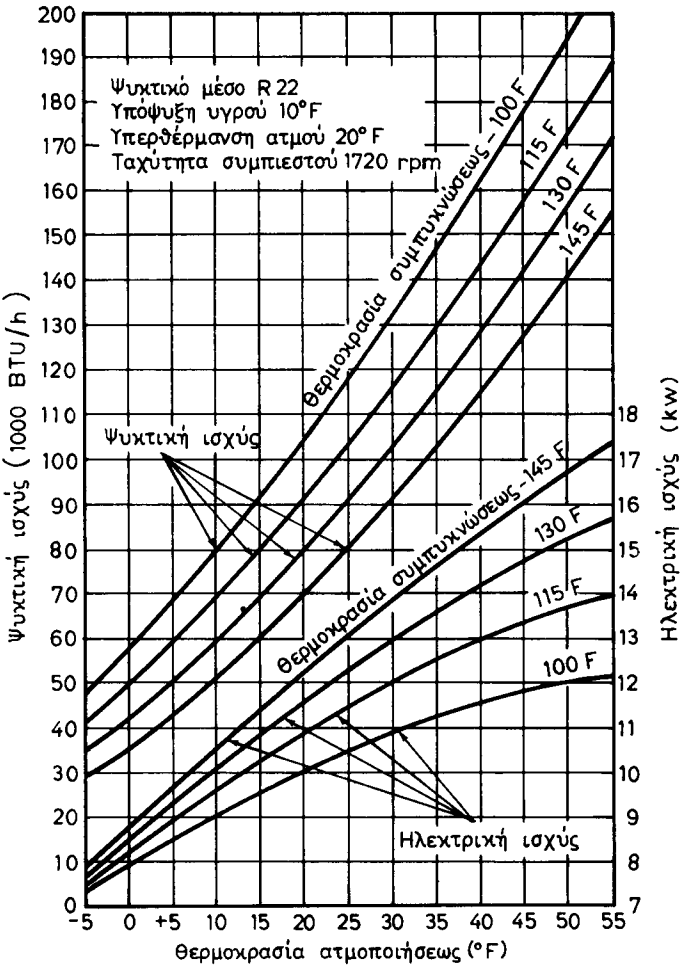
Η ομάδα των τεσσάρων κάτω καμπυλών αναφέρεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας με τις δυο αυτές θερμοκρασίες. Ενώ ο αριθμός στροφών μένει σταθερός περίπου στις 1720 rpm, η ηλεκτρική ισχύς μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας από 7,5 kW ελάχιστο σε 17,5 kW μέγιστο.

Το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στο συμπυκνωτή, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Α΄ Μέρος είναι, με βάση το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα, το άθροισμα της ψυκτικής ισχύος και της αντίστοιχης ηλεκτρικής ισχύος (προσοχή! στην πρόσθεση πρέπει να χρησιμοποιούνται ίδιες μονάδες). Για να αποφεύγεται η πρόσθεση αυτή, μερικές φορές χαρακτηριστικές καμπύλες δίνουν και το ποσό της απορριπτόμενης θερμότητας, όπως γίνεται π.χ. στο σχήμα 1.4β για την περίπτωση του συμπιεστή του σχήματος 1.4α. Οι καμπύλες αυτές χρησιμεύουν κυρίως για τον υπολογισμό του μεγέθους του συμπυκνωτή.

Στη συνέχεια, θα μελετήσομε χωριστά τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των διαφόρων τύπων συμπιεστών, που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους.

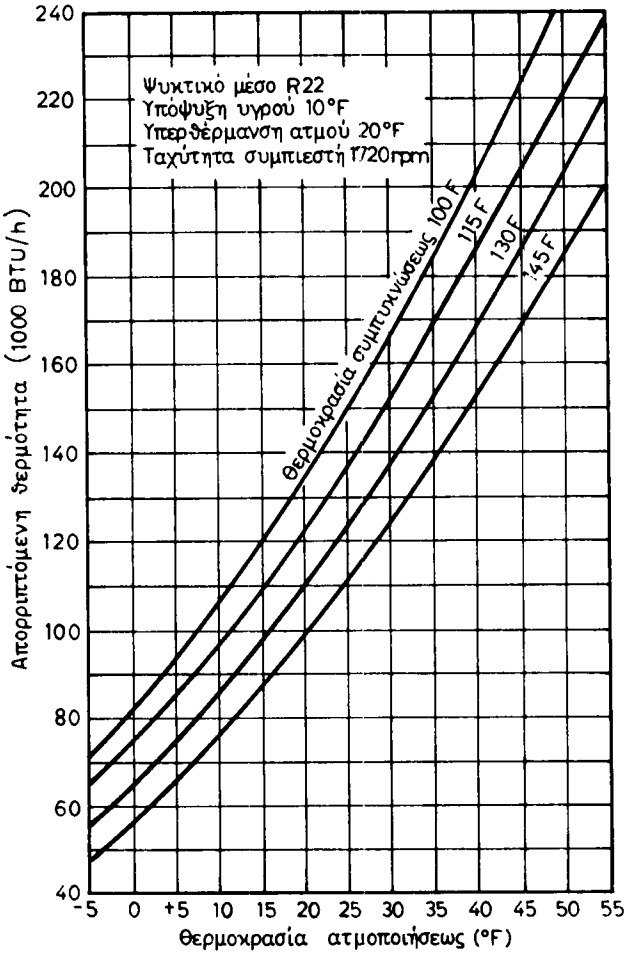
1.4.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας εμβολοφόρων συμπιεστών.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των εμβολοφόρων ερμητικών συμπιεστών κλασματικής ισχύος, είναι στη μορφή τους παρόμοιες προς τις αντίστοιχες καμπύλες των μεγαλυτέρων συμπιεστών, όπως ήδη τις γνωρίσαμε στα σχήματα 1.4α και 1.4β. Έτσι στο σχήμα 1.4γ απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ενός συμπιεστή παλιότερου τύπου σε μορφή «τηγανίτας», σαν αυτόν που εικονίζεται στο σχήμα 1.2ι με ονομαστική μηχανική ισχύ 1/2 PS. Τα χαρακτηριστικά του είναι, βάρος 14 kg, διάμετρος εμβόλου 35,0 mm, διαδρομή εμβόλου 15,9 mm, όγκος εμβολισμού 15,2 cm^3, θεωρητική (γεωμετρική) ογκομετρική παροχή 3,20 m^3/h με εξωτερικές διαστάσεις: διάμετρος 263 mm, βάθος 158 mm και ύψος 163 mm.



Σχ. 1.4α.
Τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες εμβολοφόρου ερμητικού συμπιεστή. Δίνεται η πραγματική ψυκτική ισχύς και η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς.

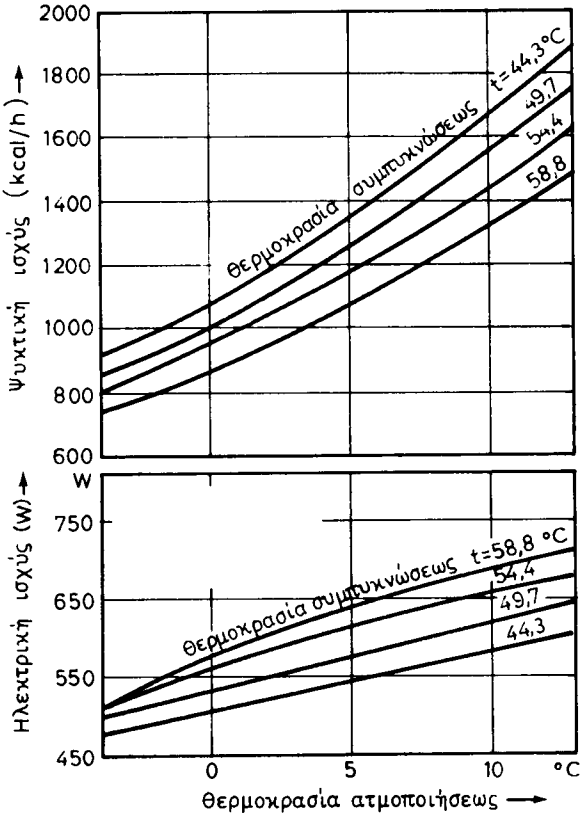
Από τον άξονα των τετμημένων του σχήματος 1.4γ, όπου απεικονίζονται θερμοκρασίες ατμοποιήσεως, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συμπιεστής αυτός προορίζεται για χρήσεις μικρών συσκευών κλιματισμού. Στις χρήσεις αυτές οι θερμοκρασίες ατμοποιήσεως του ψυκτικού μέσου δεν είναι χαμηλότερες από 0°C για να αποφεύγεται το πάγωμα του νερού στους σωλήνες, ή η δημιουργία χιονιού πάνω στις επιφάνειες που ψύχουν τον αέρα. Στο σχήμα 1.4γ δίνονται τα ίδια μεγέθη και κατά τον ίδιο τρόπο, όπως δόθηκαν για το μεγαλύτερο συμπιεστή στα σχήματα 1.4β και 1.4γ. Εδώ όμως έχει γίνει μετατροπή των αγγλοσαξωνικών μονάδων σε μετρικές. Επειδή όμως ο συμπιεστής είναι παλιότερου τύπου, στο διάγραμμα, η ψυκτική ισχύς αναφέρεται σε μονάδες kcal/h. Οι καμπύλες ισχύουν για υπερθέρμανση μέχρι θερμοκρασία + 35°C και για υπόψυξη συμπυκνώματος κατά 8,3°C (15°F). Η επίδραση έστω και μιας διαφοράς ενός βαθμού Κελσίου στη θερμοκρασία ατμοποιήσεως, είναι αρκετά σημαντική στην ψυκτική ισχύ και μπορεί να προκαλέσει μεταβολή της τάξεως των 50 Watt! Το γεγονός αυτό ενισχύει την ανάγκη για αυξημένη προσοχή, όταν γίνονται συγκρίσεις ή υπολογισμοί κατασκευής ή μελέτης κάποιας εγκαταστάσεως.



Σχ. 1.4β.
Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος απορριπτόμενης θερμότητας του συμπιεστή με τις χαρακτηριστικές λειτουργίας που δίνονται στο σχήμα 1.4α.

Όταν ο συμπιεστής είναι ερμητικού ή ημιερμητικού τύπου, η καθ' αυτό μηχανική ισχύς στην άτρακτό του δε μπορεί να μετρηθεί εύκολα ή μάλλον είναι πρακτικά περίπου αδύνατο. Γι αυτό στις χαρακτηριστικές καμπύλες του συμπιεστή σαν χαρακτηριστικό μέγεθος δίνεται η ***ηλεκτρική ισχύς,*** όπως αυτή μετράται στους ακροδέκτες εισόδου, δηλαδή στους μονωτήρες διαβάσεως στο τοίχωμα του στεγανού κελύφους.

Για τις περιπτώσεις συμπιεστών ανοικτού τύπου, η άτρακτος που κινεί το συμπιεστή είναι προσιτή· έτσι παρόλο που είναι δύσκολο εντούτοις μπορεί να μετρηθεί η μηχανική ισχύς, που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή. Για τη μέτρηση αυτή είτε χρησιμοποιείται ειδικός κινητήρας βαθμονομημένος κατάλληλα, οπότε γίνεται μόνο στο εργαστήριο, ή γίνεται μετρώντας τη μηχανική ροπή στρέψεως



Σχ. 1.4γ.

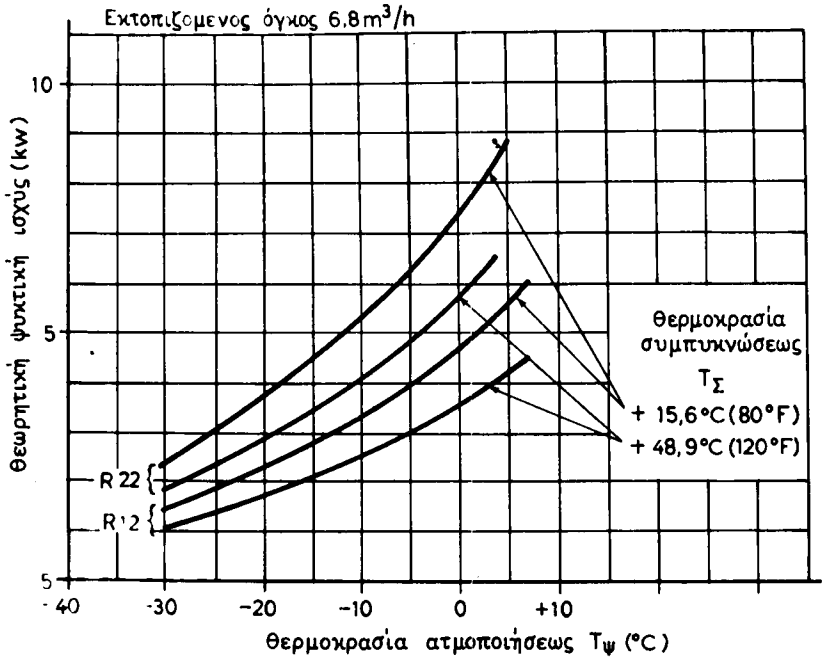
Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ερμητικού εμβολοφόρου συμπιεστή με ονομαστική ισχύ 1/2 PS και ψυκτικό μέσο R12. Ονομαστικός αριθμός στροφών 3500 rpm σε δίκτυο 60 Hz.

του άξονα και ταυτόχρονα του αριθμού περιστροφών, οπότε υπολογίζεται η ισχύς. Η μέτρηση, και στις δυο περιπτώσεις, απαιτεί ακριβά όργανα και μεγάλη προετοιμασία.

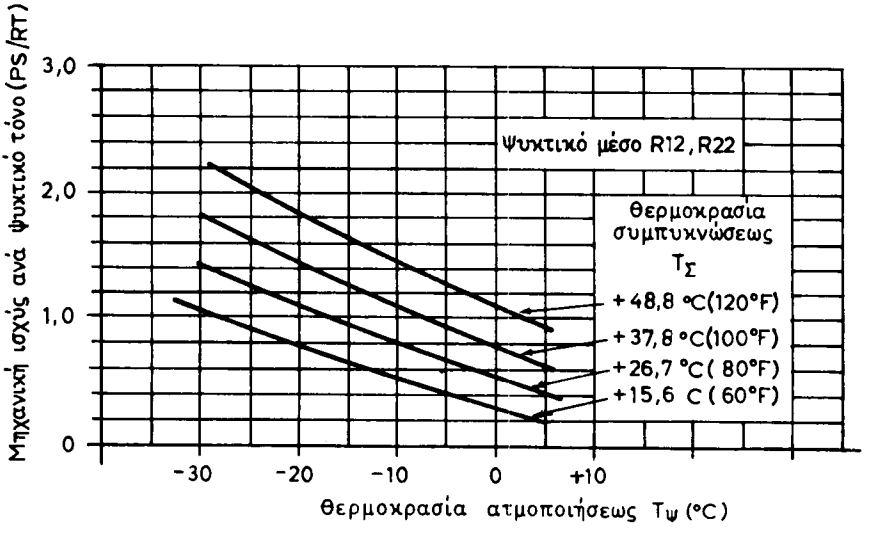
Αντίθετα η μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος των ερμητικών συμπιεστών απαιτεί μόνο ένα κατάλληλο μονοφασικό ή τριφασικό βαττόμετρο, και γίνεται ευκολότατα. Όταν μετρούμε την ισχύ κινητήρων ερμητικών συμπιεστών, στον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος κινήσεως υπολογίζεται και η απώλεια ισχύος του ηλεκτροκινητήρα.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας που αναφέραμε αφορούν σε ***πραγματικούς*** εμβολοφόρους συμπιεστές και είναι αποτελέσματα μακροχρονίων και επιπόνων μετρήσεων. Για να υπολογισθούν πρέπει να επαναληφθούν σειρές μετρήσεων με διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και να βρεθούν οι απαιτούμενες τιμές.

Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι υπάρχουν και οι αντίστοιχες ***θεωρητικές*** χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας, που ουσιαστικά εξαρτώνται μόνο από το ψυκτι-



Σχ. 1.4δ.
Θεωρητική ψυκτική ισχύς για ογκομετρική παροχή 6,8 m³/h και διάφορες θερμοκρασίες ατμοποιήσεως και συμπυκνώσεως με ψυκτικό μέσο R12 ή R22.



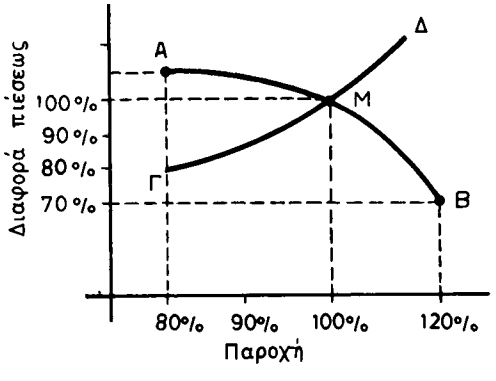
Σχ. 1.4ε.
Η θεωρητική μηχανική ισχύς για κάθε ψυκτικό τόνο, η οποία απαιτείται για συμπιεστή με σταθερή ογκομετρική παροχή 6,8 m³/h όπως στο σχήμα 1.4δ.

κό μέσο, που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση και από τις δυο καθοριστικές θερμοκρασίες λειτουργίας, δηλαδή τη χαμηλή θερμοκρασία ατμοποιήσεως και την υψηλή θερμοκρασία συμπυκνώσεως. Για τον υπολογισμό των καμπυλών αυτών υποτίθεται συμπιεστής ψυκτικού μέσου με ογκομετρική παροχή σταθερά ανεξάρτητη από τις πιέσεις λειτουργίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του είδους αυτού των θεωρητικών χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας ενός συμπιεστή με ογκομετρική παροχή 6,8 m^3/h δίνεται στα σχήματα 1.4δ και 1.4ε. Στο σχήμα 1.4δ φαίνεται η θεωρητική ψυκτική ισχύς, ενώ στο σχήμα 1.4ε στον άξονα των τεταγμένων απεικονίζεται η μηχανική ισχύς για κάθε ψυκτικό τόνο, που δεν είναι παρά το αντίστροφο μέγεθος του συντελεστή συμπεριφοράς, τον οποίο ορίσαμε στην παράγραφο 1.26 του Α΄ Μέρους. Και στο διάγραμμα αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες σταθερές τιμές θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.

1.4.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας φυγοκεντρικών συμπιεστών.

Η λειτουργία του φυγοκεντρικού συμπιεστή, όπως άλλωστε συμβαίνει σχεδόν με όλες τις φυγοκεντρικές μηχανές, περιγράφεται σε ένα διάγραμμα, όπου στον άξονα των τετμημένων (άξονας x) απεικονίζεται η παροχή του ψυκτικού, στον δε άξονα των τεταγμένων (άξονας y) η διαφορά πιέσεως που αναπτύσσει ο φυγοκεντρικός συμπιεστής μεταξύ εισόδου και εξόδου του ατμού.

Ένα τέτοιο διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 1.4στ, όπου η καμπύλη ΑΒ περιγράφει τη λειτουργία του συμπιεστή. Αυτό σημαίνει ότι ο συμπιεστής μπορεί να λειτουργεί σε οποιοδήποτε σημείο της καμπύλης αυτής. Έτσι μπορεί να λειτουργεί στο σημείο Μ της καμπύλης και να δίνει το 100% της ονομαστικής του παροχής και να δημιουργεί το 100% της ονομαστικής διαφοράς πιέσεως εισόδου-εξόδου. Μπορεί επίσης να λειτουργεί στο σημείο Α, οπότε δίνει λιγότερη παροχή, μόνο το 80%, αφού εργάζεται με μεγαλύτερη διαφορά πιέσεως που φθάνει, για το παράδειγμα, το 105% της ονομαστικής τιμής. Αν πάλι η διαφορά πιέσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου μειωθεί και γίνει π.χ. μόνο το 70% της ονομαστικής τιμής, όπως



Σχ. 1.4στ.
Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας φυγοκεντρικού συμπιεστή ΑΒ, και καμπύλη αντιστάσεως ροής ΓΔ.

στο σημείο Β, τότε η παροχή αυξάνει και γίνεται το 120% της ονομαστικής τιμής της.

Η καμπύλη ΑΒ ισχύει για ένα συγκεκριμένο αριθμό περιστροφών του συμπιεστή. Όταν αυτός ο αριθμός στροφών αυξηθεί, τότε προκύπτει μια νέα χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας, σαν την ΑΒ, η οποία όμως βρίσκεται ψηλότερα στο διάγραμμα. Δηλαδή με μεγαλύτερο αριθμό περιστροφών και για την ίδια παροχή ψυκτικού μέσου, ο συμπιεστής επιτυγχάνει μεγαλύτερη διαφορά πιέσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου. Αυτό μπορεί να το πει κανείς και διαφορετικά: με μεγαλύτερο αριθμό στροφών και για την ίδια διαφορά πιέσεως μεταξύ εισόδου - εξόδου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη παροχή ψυκτικού μέσου.

Τα αντίθετα συμβαίνουν όταν μειωθεί ο αριθμός στροφών του φυγοκεντρικού συμπιεστή. Έτσι για κάθε αριθμό στροφών του συμπιεστή, προκύπτει και μια χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας η οποία μοιάζει στη μορφή της κάπως με την αρχική καμπύλη, που ισχύει για τον ονομαστικό αριθμό περιστροφών.

Όπως λοιπόν είδαμε στο σχήμα 1.4στ, για έναν ορισμένο αριθμό περιστροφών, η λειτουργία του συμπιεστή περιγράφεται από την καμπύλη ΑΒ. Ενδιαφέρει όμως το ακριβές σημείο της καμπύλης όπου λειτουργεί ο συμπιεστής ή όπως λέμε το ***χαρακτηριστικό σημείο λειτουργίας.*** Το σημείο αυτό, πάνω στην καμπύλη ΑΒ, καθορίζεται από τη διαφορά πιέσεως που επικρατεί μεταξύ εισόδου και εξόδου του συμπιεστή, μέγεθος που επηρεάζεται από τη συμπεριφορά όλης της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Η συμπεριφορά αυτή της υπόλοιπης εγκαταστάσεως, εκτός από το συμπιεστή, μπορεί να περιγραφεί από μια άλλη χαρακτηριστική καμπύλη, που κατά κάποιον τρόπο δείχνει την αντίσταση που προβάλλει το εξωτερικό κύκλωμα, εκτός από το συμπιεστή, στη ροή του ψυκτικού μέσου. Ένα παράδειγμα τέτοιας χαρακτηριστικής καμπύλης αντιστάσεως φαίνεται με την καμπύλη ΓΔ του σχήματος 1.4στ. Απ' αυτήν την καμπύλη προκύπτει αμέσως το εξής: όσο μεγαλώνει η παροχή ψυκτικού μέσου, τόσο αυξάνει η διαφορά πιέσεως μεταξύ εξόδου και εισόδου του συμπιεστή, που απαιτείται για να διατηρηθεί η ροή του ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα που συνθέτουν ο συμπυκνωτής, το στοιχείο στραγγαλισμού και το στοιχείο ατμοποιήσεως, και αντιστρόφως.

Φυσικά αυτή η καμπύλη αντιστάσεως περιλαμβάνει και τη διαφορά πιέσεως συμπυκνωτή - στοιχείου ατμοποιήσεως, που οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου στις δυο αυτές συσκευές, αλλά και τη διαφορά πιέσεως λόγω τριβών που δημιουργούνται κατά την κίνηση του ρευστού.

Έτσι, επειδή το σημείο λειτουργίας της εγκαταστάσεως πρέπει να βρίσκεται ταυτόχρονα και πάνω στην καμπύλη ΑΒ, λόγω του συγκεκριμένου αριθμού στροφών λειτουργίας του στροφείου, αλλά και πάνω στην καμπύλη ΓΔ, λόγω της χαρακτηριστικής αντιστάσεως του εξωτερικού κυκλώματος, το χαρακτηριστικό αυτό σημείο θα είναι το σημείο τομής Μ των δυο καμπυλών ΑΒ και ΓΔ.

Όταν η χαρακτηριστική καμπύλη αντιστάσεως ΓΔ είναι καθορισμένη, τότε η παροχή ψυκτικού μέσου, για δεδομένο αριθμό στροφών, είναι και αυτή ορισμένη. Για να αλλάξει η παροχή στην περίπτωση αυτή πρέπει να αλλάξει ο αριθμός στροφών λειτουργίας του φυγοκεντρικού συμπιεστή.

Η σχεδίαση όμως του φυγοκεντρικού συμπιεστή είναι τέτοια, ώστε να αποδίδει

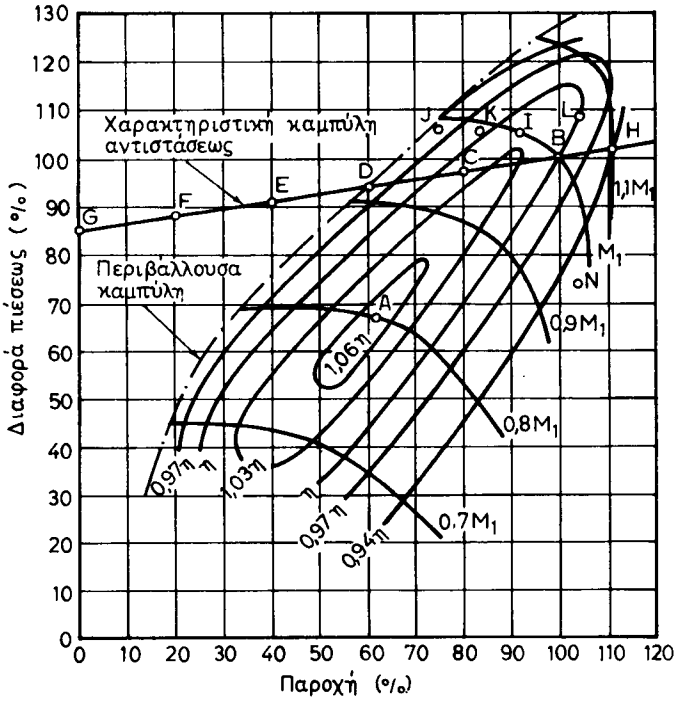
τα καλύτερα αποτελέσματα μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες στροφών και παροχής ψυκτικού μέσου. Όταν ο αριθμός στροφών αλλάζει, τότε ο βαθμός αποδόσεως του φυγοκεντρικού συμπιεστή ελαττώνεται. Για κατασκευαστικούς λόγους, ο φυγοκεντρικός συμπιεστής λειτουργεί με τον καλύτερο δυνατό βαθμό αποδόσεως μόνο σε ορισμένη περιοχή στροφών και παροχής ψυκτικού μέσου.

Πολλές φορές στο διάγραμμα του συμπιεστή, σαν αυτό που φαίνεται στο σχήμα 1.4στ, χαράζονται και οι αντίστοιχες καμπύλες που δίνουν το βαθμό αποδόσεώς του. Συνήθως χαράζονται ισοϋψείς καμπύλες με σταθερή τιμή βαθμού αποδόσεως και μάλιστα σαν ποσοστό του μέγιστου δυνατού βαθμού αποδόσεως.

Στο σχήμα 1.4ζ φαίνεται ένα παρόμοιο πλήρες διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας φυγοκεντρικού συμπιεστή και χαρακτηριστικής καμπύλης αντιστάσεων GH. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας του φυγοκεντρικού συμπιεστή χαρακτηρίζονται με το γράμμα M_1 που δείχνει την ταχύτητα λειτουργίας. Έτσι υπάρχουν πέντε χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας που έχουν χαραχθεί με βήμα το ένα δέκατο του αριθμού στροφών λειτουργίας στο σημείο Β.

Στο αριστερό μέρος του σχήματος υπάρχει μια οριακή γραμμή, που είναι σαν περιβάλλουσα καμπύλη. Στα αριστερά από την καμπύλη αυτή η λειτουργία του συμπιεστή είναι ασταθής, γιατί προκαλείται παλινδρόμιση ροής προς την ορθή και την αντίστροφη ροή μέσω του συμπιεστή.

Όσο αυξάνει ο αριθμός περιστροφών, τόσο μεγαλώνει και το ποσοστό της ονο-



Σχ. 1.4ζ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας φυγοκεντρικού συμπιεστή σε διάφορους αριθμούς στροφών.

μαστικής παροχής, με το οποίο δουλεύει ικανοποιητικά ο συμπιεστής, χωρίς να εμφανίζεται αστάθεια.

Προς τα δεξιά του σχήματος 1.4ζ το όριο των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας, που υπάρχει, οφείλεται στη μεγάλη ταχύτητα εκροής του ατμού από την περιφέρεια του στροφείου. Με τις ταχύτητες αυτές, που φθάνουν και ξεπερνάνε την ταχύτητα του ήχου, εμφανίζονται φαινόμενα κρουστικά, τα οποία δεν επιτρέπουν ικανοποιητική λειτουργία για μεγαλύτερες παροχές ατμού ψυκτικού μέσου.

Πάνω στο ίδιο διάγραμμα είναι σχεδιασμένες και οι ισοϋψείς καμπύλες σταθερού βαθμού αποδόσεως. Η μέγιστη τιμή του βαθμού αποδόσεως υπάρχει για λειτουργία στο χαρακτηριστικό σημείο Α, το οποίο λέγεται και σημείο σχεδιασμού του συμπιεστή. Όταν ο συμπιεστής λειτουργεί σε άλλο σημείο, τότε ο βαθμός αποδόσεώς του είναι μικρότερος απ' όσο είναι στη θέση Α της μέγιστης τιμής του.

Ο συμπιεστής του σχήματος 1.4ζ εργάζεται με ένα ψυκτικό σύστημα, που παρουσιάζει τη χαρακτηριστική καμπύλη αντιστάσεως GFEDCBH. Το σημείο G δίνει τη διαφορά πιέσεως για την υποθετική λειτουργία, όπου η παροχή ψυκτικού μέσου είναι μηδενική. Δηλαδή, η διαφορά πιέσεως που αντιστοιχεί στο σημείο G, που ισούται με το 85% της ολικής διαφοράς πιέσεως, αντιπροσωπεύει τη ***στατική*** διαφορά πιέσεως που προκαλείται από τη διαφορα θερμοκρασιών που επικρατούν στο στοιχείο συμπυκνώσεως και το στοιχείο ατμοποιήσεως. Η αύξηση της πιέσεως από το σημείο G και πέρα προκαλείται από τις τριβές ροής του ψυκτικού μέσου και αυξάνει όλο και περισσότερο καθώς αυξάνει η παροχή. Τα σημεία, επάνω στη χαρακτηριστική καμπύλη αντιστάσεως έχουν σχεδιασθεί με βήμα 10% της παροχής.

1.4.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας κοχλιομόρφων συμπιεστών.

Όπως ήδη έχομε αναπτύξει, και οι κοχλιόμορφοι συμπιεστές λειτουργούν με την αρχή της εκτοπίσεως του ψυκτικού μέσου, και συνεπώς οι χαρακτηριστικές τους καμπύλες είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες των εμβολοφόρων συμπιεστών.

Στο σχήμα 1.4η υπάρχουν οι χαρακτηριστικές καμπύλες συμπεριφοράς ενός κοχλιόμορφου συμπιεστή ονομαστικής ψυκτικής ισχύος 250 RT για ψυκτικό μέσο R22, ο οποίος εργάζεται με 10°F (5,5°C) υπόψυξη συμπυκνώματος και μείωση όγκου ψυκτικού μέσου λόγω αυξήσεως πιέσεως κατά 2,6 φορές.

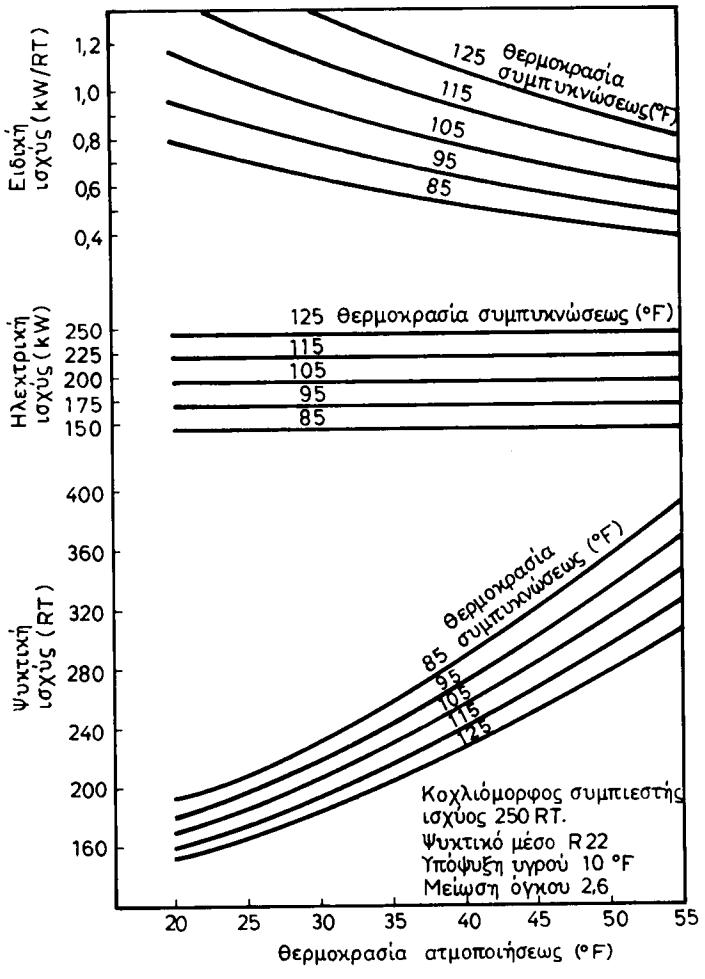
Στο πάνω μέρος του σχήματος δίνεται η απαιτούμενη ειδική ισχύς λειτουργίας ανοιγμένη ανά ψυκτικό τόνο. Το μέγεθος αυτό είνει το αντίστροφο του συντελεστή συμπεριφοράς, δηλαδή έχει την τιμή (1/CP).

Όλες οι χαρακτηριστικές καμπύλες δίνονται για σταθερή θερμοκρασία συμπυκνώσεως με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 85°F (29,4°C) και 125°F (51,7°C).

1.4.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συμπιεστών τυμπάνου.

Οι συμπιεστές τυμπάνου είναι, όπως οι εμβολοφόροι, συμπιεστές που εκτοπίζουν μηχανικά τον ατμό από την αναρρόφηση προς την εξαγωγή. Για το λόγο αυτό οι χαρακτηριστικές λειτουργίας τους μοιάζουν με τις αντίστοιχες των εμβολοφόρων. Ένα παράδειγμα τέτοιων χαρακτηριστικών φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 1.4θ, όπου περιγράφεται η συμπεριφορά ενός συμπιεστή τυμπάνου. Τα μεγέθη δίνονται σε αγγλοσαξωνικές μονάδες, και αφορούν λειτουργία με ψυκτικό

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 1.4η.

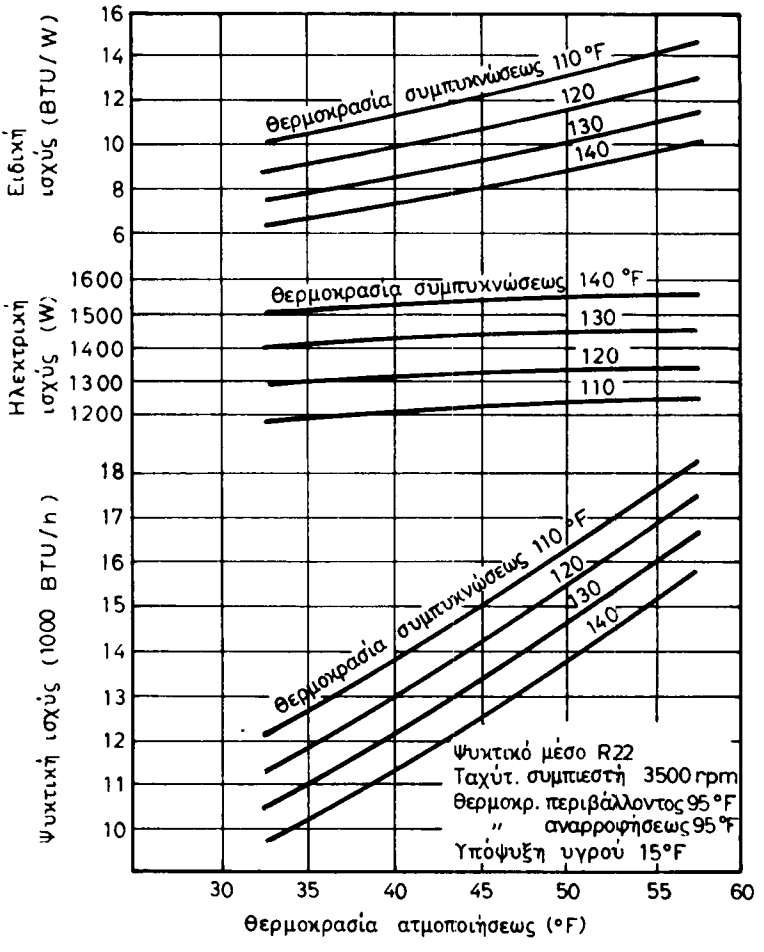
Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας κοχλιόμορφου συμπιεστή με λίπανση στους λοβούς.

μέσο R22 και θερμοκρασία αναρροφήσεως 95°F (35°C), ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Πρόκειται δηλαδή για λειτουργία, όπου η υπερθέρμανση είναι μεταβλητή. Αντίστοιχα η υπόψυξη του συμπυκνώματος είναι σταθερή και ίση με διαφορά θερμοκρασία 15°F (8,3°C).

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις στις οποίες οι χαρακτηριστικές καμπύλες των συμπιεστών αυτών δεν δίνονται με την τυποποιημένη μορφή των εμβολοφόρων συμπιεστών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας περιπτώσεως αποτελεί ο συμπιεστής του σχήματος 1.2λδ, που όπως είδαμε, χρησιμοποιείται σε αντλία θερμότητας*.

---

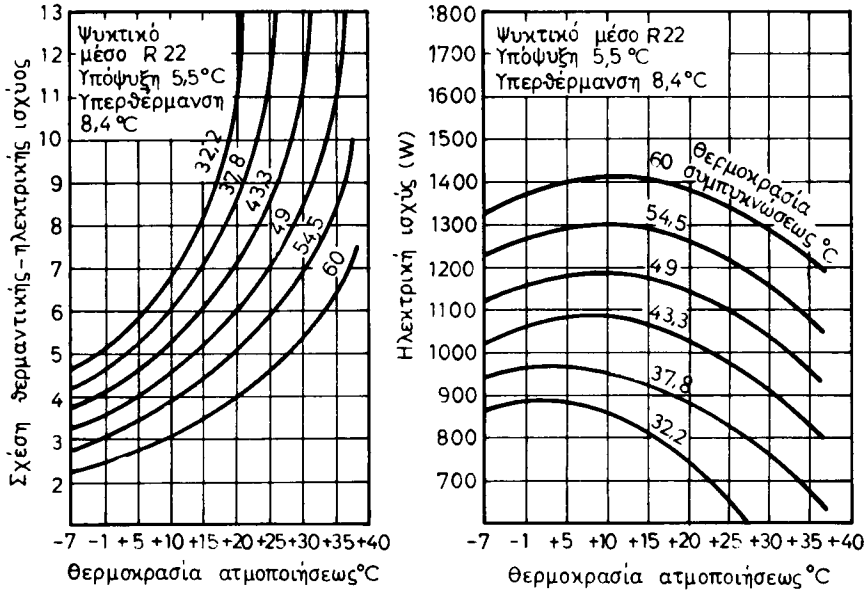
* Περισσότερα στοιχεία για τις αντλίες θερμότητας, ο μαθητής μπορεί να βρει στο βιβλίο «Θερμάνσεις - Κεφάλαιο 6» του Ιδρύματος Ευγενίδου.



Σχ. 1.48.
Χαρακτηριστικές καμπύλες τυπικής συμπεριφοράς συμπιεστή τυμπάνου.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας του συμπιεστή αυτού δίνονται στο σχήμα 1.4ι. Στον άξονα των τετμημένων (άξονας x) απεικονίζεται η θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Στον άξονα των τεταγμένων (άξονας y) στο μεν δεξιό διάγραμμα απεικονίζεται η ηλεκτρική ισχύς την οποία απορροφά ο συμπιεστής, στο δε αριστερό ο συντελεστής που δείχνει πόσες φορές η θερμαντική ισχύς είναι μεγαλύτερη της ηλεκτρικής ισχύος.

Και στα δυο διαγράμματα οι καμπύλες είναι για σταθερή θερμοκρασία συμπυκνώσεως με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 32,2°C και 60°C. Οι τιμές που δίνονται από τον κατασκευαστή, ισχύουν για υπόψυξη συμπυκνώματος κατά 5,5°C και υπερθέρμανση κατά 8,4°C.



Σχ. 1.4ι.

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας, συμπιεστή τυμπάνου για εφαρμογές αντλίας θερμότητας. α) Διάγραμμα σχέσεως θερμαντικής ηλεκτρικής ισχύος. β) Διάγραμμα ηλεκτρικής ισχύος.

1.5 Απόδοση εμβολοφόρων συμπιεστών.

Για τη λειτουργία των συμπιεστών απαιτείται κατανάλωση μηχανικού έργου, δηλαδή μετατροπή του μηχανικού έργου σε θερμότητα η οποία θερμότητα τελικά απορρίπτεται στο περιβάλλον. Αυτό το γεγονός είναι αναπόφευκτη συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος, όπως έχει αναπτυχθεί στο Α΄ Μέρος του βιβλίου αυτού.

Όπως ήδη γνωρίζομε, η ποιότητα λειτουργίας μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως περιγράφεται από το ***συντελεστή συμπεριφοράς.*** Έχει ήδη αναπτυχθεί στο Α΄ Μέρος του βιβλίου ότι ο συνετελεστής συμπεριφοράς ορίζεται ως ο λόγος της ψυκτικής ισχύος προς τη μηχανική ισχύ, που απαιτείται για τη λειτουργία αυτή. Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, από τους οποίους σημαντικότεροι είναι το ψυκτικό μέσο, οι θερμοκρασίες συμπυκνώσεως και ατμοποιήσεως και η ποιότητα της κατασκευής του συμπιεστή.

Ο καθορισμός της τιμής του πραγματικού συντελεστή συμπεριφοράς γίνεται μόνο με μετρήσεις στο εργαστήριο, σε αυστηρά καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας και με προδιαγεγραμμένες μεθόδους μετρήσεων, ώστε να υπάρχει ομοιομορφία και συγκρισιμότητα αποτελεσμάτων. Εκτός από αυτά όμως, ο συντελεστής συμπεριφοράς προσφέρει και άλλες υπηρεσίες στον κλάδο της ψύξεως. Στο στάδιο της προμελέτης, με τις τιμές του μπορεί να γίνει προεκτίμηση της μηχανικής ισχύος, η οποία απαιτείται για ένα συγκεκριμένο σκοπό.

Για όλους τους συμπιεστές, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή, υπάρχουν ορι-

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5.1.

Τυπικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς (CP) εμβολοφόρων συμπιεστών.

Μέγεθος και είδος συμπιεστή		Ψυκτικό μέσο και συνθήκες λειτουργίας			
		−40°C, Ατμοποίηση +40°C, Συμπύκνωση +18°C Αναρρόφηση Χωρίς υπόψυξη συμπυκνώματος	−18°C Ατμοποίηση +43°C Συμπύκνωση +18°C Αναρρόφηση Χωρίς υπόψυξη συμπυκνώματος	+4,4°C Ατμοποίηση +40°C Συμπύκνωση +13°C Αναρρόφηση Χωρίς υπόψυξη συμπυκνώματος	+7°C Ατμοποίηση +55°C Συμπύκνωση +18°C Αναρρόφηση Χωρίς υπόψυξη συμπυκνώματος
		R-12, 500, 502	R-12, 500, 502	R-12, 500, 502	R-12, 500, 502, 22
σχύς > 25 PS	Ανοικτός Ερμητικός	0,21 RT/PS 0,92 Watt-Ψ/W	0,40 RT/PS 1,76 Watt-Ψ/W	0,90 RT/PS 3,85 Watt-Ψ/W	0,73 RT/PS 2,90 Watt-Ψ/W
Ισχύς 5-25 PE	Ανοικτός Ερμητικός	0,19 RT/PS 0,84 Watt-Ψ/W	0,37 RT/PS 1,61 Watt-Ψ/W	0,82 RT/PS 3,52 Watt-Ψ/W	0,64 RT/PS 2,68 Watt-Ψ/W
Ισχύς < 5 PS	Ανοικτός Ερμητικός	– –	– 1,13 Watt-Ψ/W	– 2,97 Watt-Ψ/W	– 2,28 Watt-Ψ/W

σμένα όρια μέσα στα οποία κυμαίνονται οι τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς τους. Οι τιμές αυτές επηρεάζονται κυρίως από το μέγεθος του συμπιεστή και από τη χρήση για την οποία προορίζεται, δηλαδή ουσιαστικά από τις θερμοκρασίες λειτουργίες, μεταξύ των οποίων μεταφέρεται η θερμότητα. Με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα, οι αποδόσεις λειτουργίας των εμβολοφόρων συμπιεστών ψυκτικών μέσων κυμαίνονται γύρω από τα όρια που δίνει ο πίνακας 1.5.1. Σε κάθε θέση του πίνακα αναγράφονται δυο τιμές, οι οποίες όμως είναι ισοδύναμες και εκφράζουν το ίδιο μέγεθος με διαφορετικές μονάδες μετρήσεως. Στο μετρικό σύστημα η ψυκτική ισχύς υπολογίζεται και αυτή με Watt, όπως και η μηχανική ή η ηλεκτρική ισχύς. Για να αποφεύγεται η σύγχυση, όταν πρόκειται για ψυκτική ισχύ, γράφεται το σύμβολο Watt-Ψ, που δηλώνει Watt ψυκτικής ισχύος. Το ισοδύναμο μέγεθος δίνει την απόδοση του συμπιεστή σε μονάδες «ψυκτικοί τόνοι/ίππο (RT/PS)». Το μέγεθος αυτό παρέχεται υποβοηθητικά, γιατί χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα τόσο στην ελληνική πράξη όσο και σε αγγλοσαξωνικές χώρες.

Από τον πίνακα 1.5.1 φαίνεται σαφώς, ότι οι συμπιεστές με μεγαλύτερο μέγεθος έχουν καλύτερη απόδοση από τους μικρούς. Φαίνεται επίσης και η έντονη επίδραση των συνθηκών λειτουργίας. Έτσι για τους μεγαλύτερους συμπιεστές, ο συντελεστής συμπεριφοράς, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, παίρνει τιμές από 0,92 Watt - Ψ/W μέχρι 3,85 Watt - Ψ/W. Δηλαδή για κάθε Watt μηχανικής ισχύος που καταναλώνεται, η ψυκτική εγκατάσταση αντλεί, με τη βοήθεια του συμπιεστή, ισχύ θερμότητας 0,92 W ως 3,85 W από τη χαμηλή προς την υψηλή θερμοκρασία.

Τονίζεται και πάλι με την ευκαιρία αυτή ότι η θερμότητα που απορρίπτεται στο περιβάλλον είναι το άθροισμα της μηχανικής και της ψυκτικής ισχύος (σελίδα 52 Α' Μέρους), δηλαδή αν η εγκατάσταση έχει συντελεστή συμπεριφοράς CP, τότε για κάθε Watt μηχανικής ενέργειας που καταναλίσκεται, απορρίπτεται στο περιβάλλον θερμική ισχύς (1 + CP) Watt. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τις «αντλίες θερμότητας», δηλαδή τις ψυκτικές εγκαταστάσεις που λειτουργούν για να προσφέρουν τη θερμότητα που απορρίπτουν στο στοιχείο συμπυκνώσεως σε κάποιο χώρο τον οποίο θερμαίνουν. Έτσι από τον πίνακα 1.5.1 όταν πρόκειται π.χ. για συμπιεστή με ισχύ κινήσεως μεγαλύτερη

από 25 PS, και λειτουργία ανάμεσα σε θερμοκρασίες +4,4°C για ατμοποίηση και 40°C για συμπύκνωση, τότε ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι περίπου 3,85 Watt - Ψ/W και για κάθε W ηλεκτρικής ισχύος αποβάλλεται θερμική ισχύς (1 + 3,85) = 4,85 W.

Για τις τιμές του πίνακα 1.5.1 σε κάθε θέση πρέπει επί πλέον να διευκρινισθεί ότι δεν είναι ακριβώς ισοδύναμες. Το γεγονός οφείλεται στη διαφορά μεταξύ ερμητικών και ανοικτών συμπιεστών ως προς τη μέτρηση της ισχύος κινήσεως, όπως έχει ήδη αναφερθεί λεπτομερώς σε προηγούμενη παράγραφο.

Πολλές φορές οι αποδόσεις των συμπιεστών ολοκλήρων σειρών κατασκευής περιγράφονται συνοπτικά με ένα μόνο ή δυο ή τρία από τα χαρακτηριστικά σημεία λειτουργίας. Έτσι, ενώ δεν υπάρχουν σε πρώτη ζήτηση οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας, υπάρχουν συγκριτικά στοιχεία, τα οποία δείχνουν την απόδοση. Ως σχετικό παράδειγμα αναφέρονται οι συμπιεστές μιας εταιρίας με σειρά κατασκευής 06D, σαν αυτόν που φαίνεται στο σχήμα 1.5, και με επιδόσεις που αναφέρονται στον πίνακα 1.5.2.

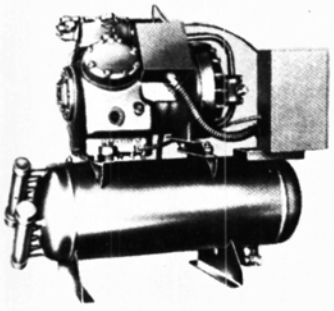
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5.2.

Τεχνικά χαρακτηριστικά ημιερμητικών εμβολοφόρων συμπιεστών τύπου 06D.

Τύπος		Ψυκτικό μέσο	Ψυκτική ισχύς σε kcal/h και Ηλεκτρική ισχύς σε W							
			−5°C		−10°C		−20°C		−30°C	
			kcal/h	kW	kcal/h	kW	kcal/h	kW	kcal/h	kW
6D21	HMT*	12	6320	1,79	3320	1,58	2020	1,34	800	0,76
6D23	H	12	5560	1,46	2640	1,23				
6D23	H	500	6300	1,75	3060	1,40				
6D24	HM	22	10250	2,68	5175	2,37	3150	1,98		
6D24	HM	500	7280	2,03	3930	1,82	2400	1,55		
6D28	HM	22	8375	2,06	4090	1,79	2210	1,44		
6D40	HM	12	8550	2,33	4150	1,87	2350	1,34		
6D41	MT	12			5950	2,83	3750	2,43	1625	1,44
6D42	MT	12			7250	2,91	4425	2,43	1550	1,39
6D43	HM	12	11250	3,25	5950	2,85	3710	2,20		
6D44	HM	500	15110	3,85	7330	3,19				
6D45	H	22	13850	3,56	6310	3,12				
6D47	HM	12	13725	3,35	7325	2,94	4375	2,43		
6D47	M	22			11120	4,61	6140	3,84		
6D48	HM	22	21820	5,14	11450	4,54	6900	3,79		
6D48	HM	500	16200	3,85	8810	3,40	5500	2,90		
6D62	HMT	12	17400	4,42	9250	3,65	5450	2,98	2150	1,68
6D63	HM	12	17675	4,24	9200	3,68	5550	2,86		
6D63	HM	500	20550	4,86	10730	4,22	6300	3,40		
6D67	HM	22	27700	6,70	14450	5,81	8530	4,74		
6D68	HM	22	26950	6,40	14250	5,75	8520	4,81		
6D72	MT	12			14300	5,90	9175	4,72	3790	2,34
6D73	HM	12	27300	7,36	14400	5,85	9295	4,72		
6D73	HM	500	31625	7,94	16760	6,58	10375	5,37		
6D75	HM	22	41700	11,15	22625	9,00	13625	7,25		

Όλες οι ισχείς για 1450 rpm και συμπύκνωση σε 35°C.

* Η = υψηλή θερμοκρασία, Μ = μέση θερμοκρασία, Τ = χαμηλή θερμοκρασία.



Σχ. 1.5.
Συμπιεστής εμβολοφόρος ημιερμητικός, με υδρόψυκτο συμπυκνωτή κυλινδρικής μορφής. Τύπος 06D με ψυκτική ισχύ 2 ως 15 ψυκτικούς τόνους.

Στον πίνακα 1.5.2 δίνονται τρία χαρακτηριστικά σημεία λειτουργίας για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία συμπυκνώσεως των 35°C και για θερμοκρασίες ατμοποιήσεως −5°C, −10°, −20°C και −30°C για ορισμένους τύπους συμπιεστών. Για κάθε ένα από τα σημεία αυτά δίνεται η ψυκτική ισχύς σε kcal/h και η ηλεκτρική ισχύς σε kW.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς CP μπορεί να υπολογισθεί εύκολα από τις τιμές αυτές, αρκεί να μετατραπούν και τα δυο μεγέθη στις ίδιες μονάδες μετρήσεως. Έτσι π.χ. για τον τύπο 6D62 η ψυκτική ισχύς στις αντίστοιχες θερμοκρασίες και ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι ως εξής:

Θερμοκρασία ατμοποιήσεως	−5°C	−10°C	−20°C	−30°C
Ψυκτική ισχύς σε kWatt	20,24	7,95	4,69	1,85
Ηλεκτρική ισχύς σε kWatt	4,42	3,65	2,98	1,68
Συντελεστής συμπεριφοράς	4,58	2,18	1,57	1,10

Και εδώ είναι πάλι φανερή η έντονη επίδραση της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως. Έτσι ο ίδιος συμπιεστής, για εγκαταστάσεις με θερμοκρασία ατμοποιήσεως −5°C έχει συντελεστή συμπεριφοράς 4,58, ενώ για κατάψυξη προϊόντων με θερμοκρασία ατμοποιήσεως −30°C, έχει αντίστοιχη τιμή 1,10.

Για να υπάρχει δυνατότητα συγκρίσεως μεταξύ συμπιεστών διαφορετικών εργοστασίων κατασκευής, πρέπει να υπάρχει τρόπος, ώστε να έχουν μετρηθεί όλοι με τις ίδιες συνθήκες, και με τις ίδιες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές και οι λοιπές λεπτομέρειες μετρήσεως της αποδόσεως συμπιεστών ***θετικής εκτοπίσεως*** (άρα οι φυγοκεντρικοί δεν περιλαμβάνονται σ' αυτούς) περιλαμβάνονται στον κανονισμό 23-67 ASHRAE της ενώσεως αμερικανών μηχανικών θερμάνσεως, ψύξεως και κλιματισμού.

Η μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος του κινητήρα δεν παρουσιάζει δυσκολίες, απαιτεί όμως τη χρήση οργάνων με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι τα βαττόμετρα π.χ. πρέπει να έχουν ακρίβεια ±0,5% από τη μέγιστη τιμή της κλίμακάς τους. Η μέτρηση της μηχανικής ισχύος, για συμπιεστές ανοικτού τύπου, γίνεται ή με δυναμόμετρο ή με βαθμονομημένο ηλεκτροκινητήρα ή με μέτρηση της στρεπτικής ροπής του άξονα με τη βοήθεια μηκυνσιομέτρων. Η μέτρηση της ψυκτικής ισχύος είναι δύσκολη και απαιτεί ιδιαίτερο εργαστηριακό εξοπλισμό και ιδιοσυσκευές.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

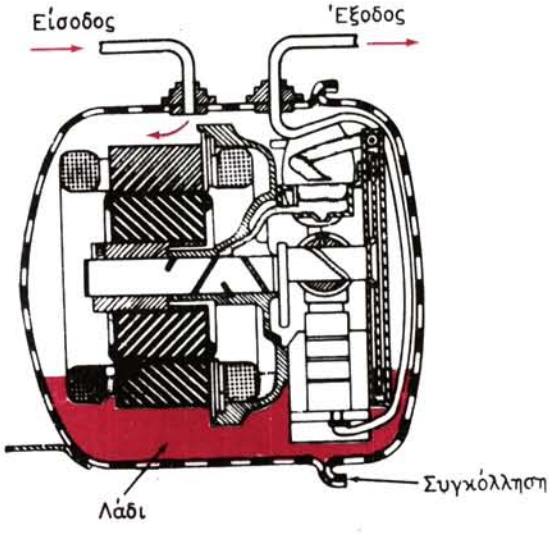
1.6 Λίπανση συμπιεστών.

1.6.1 Λίπανση εμβολοφόρων συμπιεστών.

Όλοι οι συμπιεστές, ανεξάρτητα από τον τύπο κατασκευής, έχουν περιστρεφόμενα μέρη, ενώ οι εμβολοφόροι έχουν επί πλέον τμήματα που κινούνται παλινδρομικά. Γα όλες αυτές τις κινήσεις υπάρχουν έδρανα και επιφάνειες ολισθήσεως, όπου υπάρχει μηχανική τριβή. Για να ελαττωθεί η τριβή και η φθορά των μετάλλων και για να απάγεται η θερμότητα που παράγεται με την τριβή, γιατί αλλοιώς θα προκαλούσε μεγάλες θερμοκρασίες και βλάβες, χρησιμοποιείται αναγκαστικά το λάδι λιπάνσεως του κινητήρα.

Το λάδι για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι αναγκαίο κακό. Ενώ ο συμπιεστής το χρειάζεται οπωσδήποτε, γιατί χωρίς αυτό καταστρέφεται, ο συμπυκνωτής και το στοιχείο ατμοποιήσεως ελαττώνουν την απόδοσή τους ακριβώς επειδή υπάρχει το λάδι, όπως έχει αναφερθεί και στο Α' Μέρος του βιβλίου αυτού.

Η κύρια ποσότητα του λαδιού λιπάνσεως, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, βρίσκεται στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή (σχ. 1.6α), από όπου και αναρροφάται η ποσότητα που απαιτείται για τη λίπανση του συμπιεστή. Ο τρόπος της αναρροφήσεως ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος και το είδος του συμπιεστή. Στην ουσία όμως η εκλογή του τρόπου, με τον οποίο κυκλοφορεί το λάδι, εξαρτάται από τις δυνάμεις που ασκούνται στις αντίστοιχες επιφάνειες που τρίβονται, και πιο συγκεκριμένα από την ειδική πίεση των επιφανειών τριβής. Έτσι διακρίνομε τους εξής τρόπους λιπάνσεως των εμβολοφόρων συμπιεστών:



Σχ. 1.6α.
Η θέση του λαδιού στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή.

α) Λίπανση με εκτίναξη.

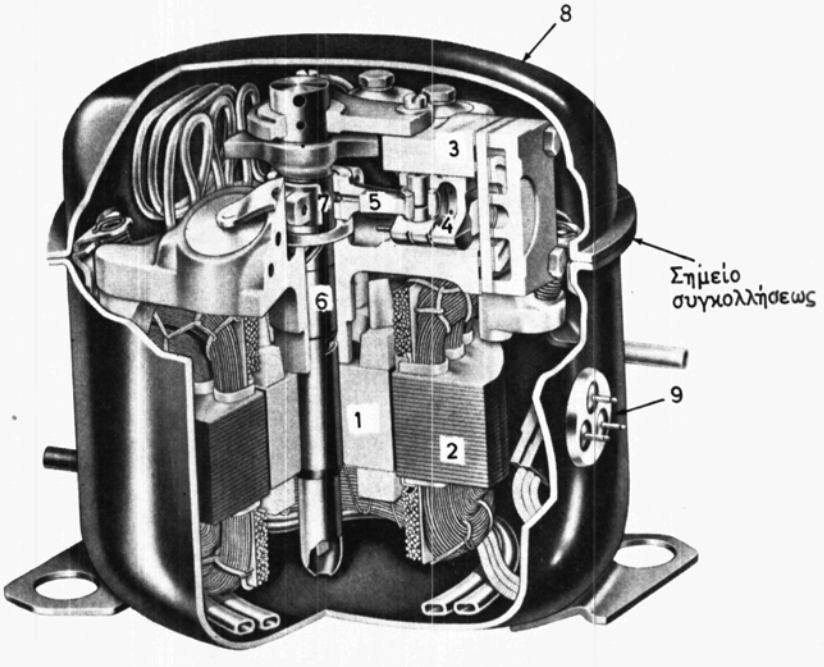
Όταν η φόρτιση των επιφανειών τριβής, κυρίως δε των εδράνων, είναι μικρή ή μέτρια, τότε το σύστημα της ***εκτινάξεως*** του λαδιού δίνει άριστα αποτελέσματα. Παράδειγμα του τρόπου αυτού λιπάνσεως φαίνεται στο σχήμα 1.6β.

Στο κάτω μέρος της περιστρεφόμενης ατράκτου φαίνεται το κοίλο μέρος της και η οπή αναρροφήσεως λαδιού με την αντίστοιχη πεπλατυσμένη επιφάνεια, που προωθεί το λάδι προς τα πάνω μέσα από τρύπες - αγωγούς του άξονα. Έτσι το λάδι προωθείται στην ελικοειδή αυλάκωση του γόμφου του κύριου εδράνου, στο έδρανο του διωστήρα και μέσα από τον τρύπιο διωστήρα προς τις επιφάνειες εμβόλου - κυλίνδρου, που εκτελούν παλινδρομική κίνηση.

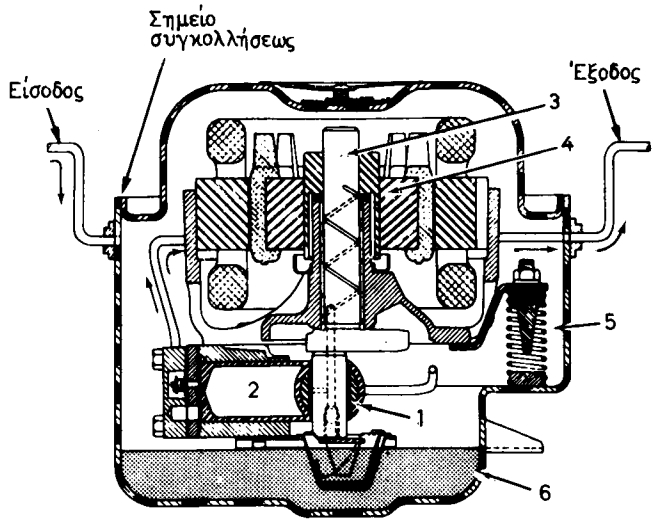
Ο τρόπος αυτός προωθήσεως του λαδιού, δηλαδή η χρήση της εκτινάξεως (splash), χρησιμοποιείται όταν είναι απόλυτα εξασφαλισμένη η καθαρότητα των επιφανειών και όταν οι ανοχές των διαστάσεων στα έδρανα αφήνουν σχετικά μεγάλα διάκενα, ώστε να μπορεί να περνάει το λάδι χωρίς πίεση, αφού δεν υπάρχει αντλία λαδιού.

β) Λίπανση με εμβάπτιση.

Εκτός από το σύστημα εκτινάξεως λαδιού χρησιμοποιείται και το σύστημα ***εμβαπτίσεως.*** Στο σύστημα αυτό κατάλληλα διαμορφωμένα κομμάτια, που έχουν κοχλίες, δακτύλιους, αύλακες, δίσκους κλπ. είναι μόνιμα βουτηγμένα κατά ένα ποσο-



Σχ. 1.6β.
Ερμητικός εμβολοφόρος συμπιεστής. Στο κάτω μέρος της ατράκτου φαίνεται σε τομή η διάταξη αναρροφήσεως λαδιού. Διακρίνονται επίσης:
1. Δρομέας ηλεκτροκινητήρα. 2. Ηλεκτρομαγνητικοί πόλοι κινητήρα. 3. Κύλινδρος συμπιεστή. 4. Έμβολο κυλίνδρου. 5. Διωστήρας. 6. Στροφαλοφόρος άτρακτος. 7. Στρόφαλο. 8. Κέλυφος συμπιεστή. 9. Γυάλινοι μανωτήρες διαβάσεως ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχ. 1.6γ.

Λίπανση του συμπιεστή - κινητήρα μέσω της αρθρώσεως του διωστήρα και του αγωγού στον άξονα του κάτω μέρους της ατράκτου. Διακρίνονται τα εξής:
1. Άρθρωση διωστήρα. 2. Κοίλο έμβολο. 3. Κοινή άτρακτος κινητήρα - συμπιεστή. 4. Αξονικό έδρανο στροφαλοφόρου ατράκτου. 5. Ελατήρια εσωτερικής αναρτήσεως. 6. Ελαιολεκάνη.

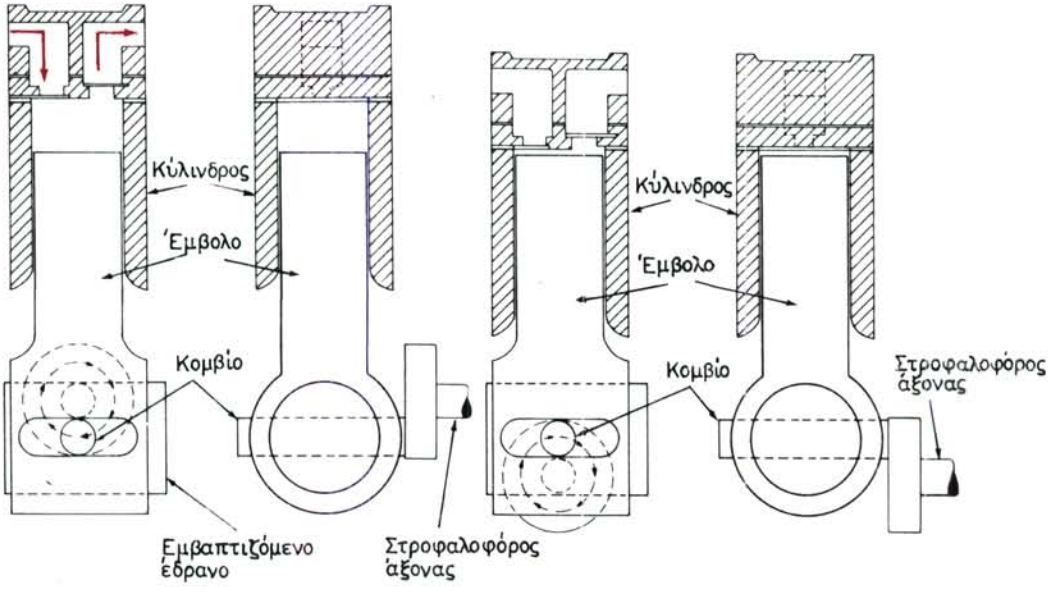
στό στο λάδι και με κατάλληλη κίνηση το προωθούν προς τις θέσεις λιπάνσεως. Στην πραγματικότητα τα συστήματα εκτινάξεως ή εμβαπτίσεως δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους το δε σύστημα του σχήματος 1.6β χαρακτηρίζεται περισσότερο ως εμβαπτίσεως παρά ως εκτινάξεως.

Στους μικρούς ερμητικούς συμπιεστές δεν χρησιμοποιούνται συνήθως αντλίες λιπάνσεως για λόγους οικονομικότερης κατασκευής. Έτσι στους συμπιεστές κλασματικής ισχύος εφαρμόζεται η αρχή της εκτινάξεως ή εμβαπτίσεως. Αυτή υλοποιείται χρησιμοποιώντας κάποιο έλασμα ή σωλήνα με κατάλληλη μορφή που συνδέεται στην άρθρωση του διωστήρα, όπως φαίνεται σχηματικά στο κάτω μέρος της εικόνας του σχήματος 1.6γ.

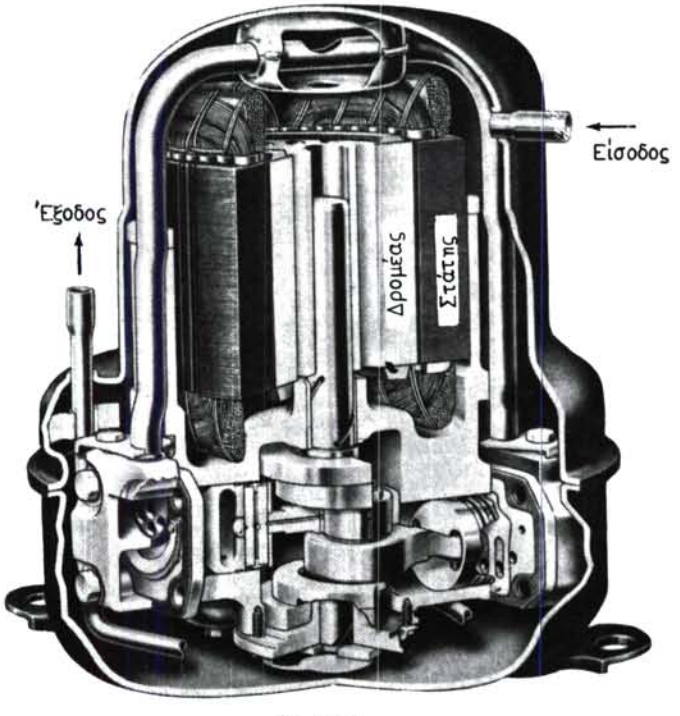
Η διάταξη αυτή της αρθρώσεως του διωστήρα, που χρησιμοποιείται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα από όλους τους συμπιεστές κλασματικής ισχύος, φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 1.6δ, και στην κατασκευαστική της μορφή σε πολλά σχήματα και εικόνες του βιβλίου αυτού, που αναφέρονται στους συμπιεστές αυτούς (π.χ. σχήμα 1.2η).

γ) Λίπανση με αντλία.

Οι μεγαλύτεροι ερμητικοί συμπιεστές χρησιμοποιούν για την προώθηση του λαδιού λιπάνσεως ***αντλίες*** λιπάνσεως τύπου εκτοπίσεως. Στους συμπιεστές αυτούς η αντλία βρίσκεται στο κάτω άκρο του κατακόρυφου άξονα του συμπιεστή. Με τη διάταξη αυτή η αντλία κινείται από τον άξονα και βρίσκεται μέσα στην ελαιολεκάνη κάτω από τη στάθμη του λαδιού, ώστε να μπορεί να αναρροφά το λάδι με ασφάλεια. Σχετική κατασκευή του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 1.6ε.

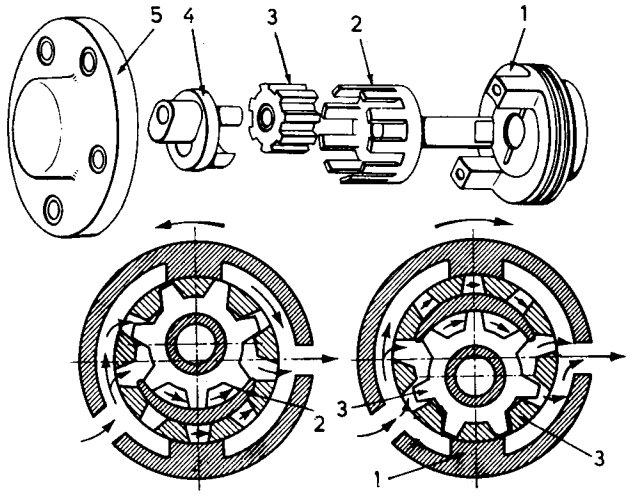


Σχ. 1.6δ.
Η αρχή λειτουργίας της αρθρώσεως του διωστήρα με την εγκοπή της.



Σχ. 1.6ε.
Ερμητικός συμπιεστής 1/2 ως 2PS περίπου. Η αντλία λαδιού είναι στο κάτω άκρο της ατράκτου.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 1.6στ.
Αναστρέψιμη αντλία λαδιού. Διακρίνονται τα εξής μέρη:
1. Οδηγός οδοντωτών στεφάνων. 2. Περιστρεφόμενη στεφάνη με εσωτερική οδόντωση. 3. Πινιόν (μικρός οδοντωτός τροχός). 4. Εξάρτημα αλλαγής κατευθύνσεως περιστροφής. 5. Κάλυμμα αντλίας.

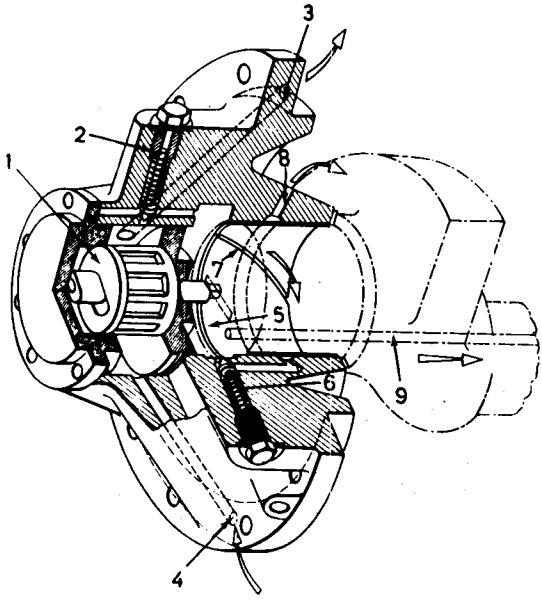
δ) Λίπανση με αναστρέψιμη αντλία.

Η λίπανση των συμπιεστών ανοικτού τύπου γίνεται συνήθως με αντλίες λιπάνσεως, που ονομάζονται ***αναστρέψιμες,*** δηλαδή λειτουργούν ανεξάρτητα από τη φορά περιστροφής του άξονά τους. Οι αντλίες του τύπου αυτού όταν χρησιμοποιούνται για τους συμπιεστές ψυκτικών μέσων, επιτρέπουν τη λειτουργία του συμπιεστή και προς τις δυο κατευθύνσεις περιστροφής, γιατί οι βαλβίδες λειτουργούν μόνο από την πίεση του ατμού μέσα στον κύλινδρο και δεν υπάρχει πρόβλημα για την κίνησή τους.

Μια αντλία του είδους αυτού καθώς και η αρχή λειτουργίας της φαίνεται στο σχήμα 1.6στ. Αποτελείται από 5 κύρια κομμάτια. Το εξάρτημα που κινείται από την άτρακτο του συμπιεστή είναι η στεφάνη με την εσωτερική οδόντωση. Στο σχήμα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας της αντλίας και για τις δυο φορές περιστροφής του άξονα της αντλίας.

Στο σχήμα 1.6ζ φαίνεται ο τρόπος συναρμολογήσεως της αντλίας στο άκρο της ατράκτου του συμπιεστή, όπου η κίνησή της γίνεται με κατάλληλο αυλάκι στο πρόσωπο της ατράκτου. Η μορφή αυτή είναι αναγκαία, γιατί η στεφάνη με την εσωτερική οδόντωση έχει έκκεντρο άξονα.

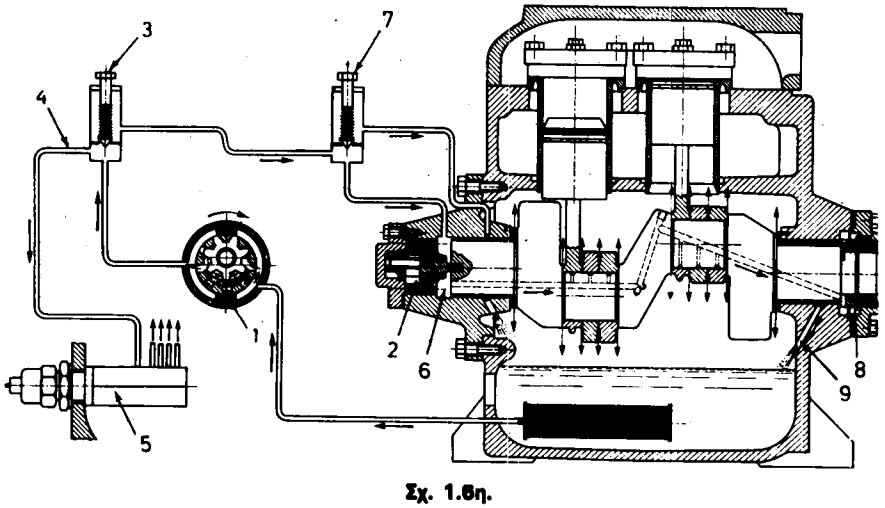
Η λειτουργική διάταξη του συστήματος λιπάνσεως του συμπιεστή του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 1.6η. Οι αγωγοί του λαδιού, μέσα από τη στροφαλοφόρο άτρακτο φαίνονται με διακεκομμένη γραμμή. Η πίεση του λαδιού εκτός από τη λίπανση εξυπηρετεί και δυο ακόμα σκοπούς, δηλαδή τη ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος και τη στεγανοποίηση του ανοικτού άκρου του κινητήριου άξονα. Ο τελευταίος σκοπός φυσικά δεν επιτυγχάνεται, όταν ο συμπιεστής δεν λειτουργεί. Το ίδιο



Σχ. 1.6ζ.

Συναρμολόγηση της αντλίας λαδιού του σχήματος 1.6στ στο άκρο της ατράκτου του συμπιεστή. Διακρίνονται:

1. Αντλία λαδιού. 2. Βαλβίδα ρυθμίσεως υψηλής πιέσεως. 3. Διακλάδωση προς το ρυθμιστή ισχύος. 4. Αναρρόφηση λαδιού. 5. Θάλαμος λαδιού. 6. Βαλβίδα ρυθμίσεως χαμηλής πιέσεως λαδιού. 7. Αυλάκι λιπάνσεως εδράνου. 8. Επιστροφή λαδιού στην ελαιολεκάνη. 9. Αγωγός για λίπανση διωστήρα, εδράνων βάσεως και διατάξεως στεγανοποιήσεως ανοικτού άκρου ατράκτου.



Σχ. 1.6η.

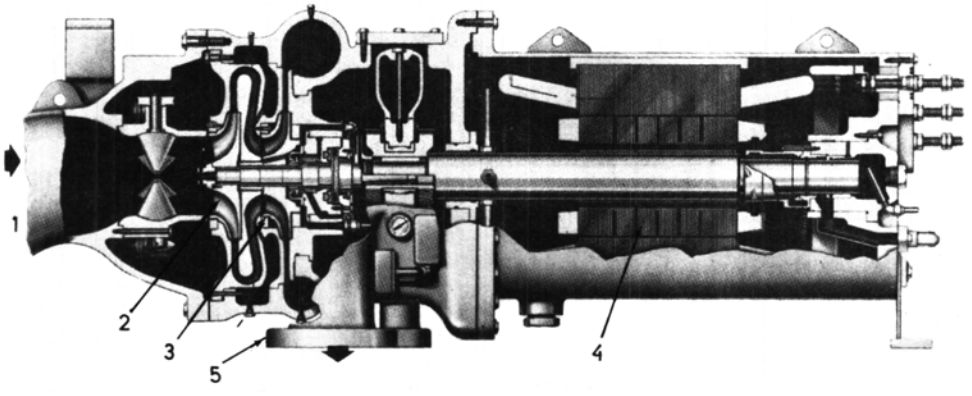
Διάταξη του συστήματος λιπάνσεως.

1. Γραναζωτή αντλία. 2. Σχηματική παράσταση γραναζωτής αντλίας. 3. Βαλβίδα ρυθμίσεως υψηλής πιέσεως λαδιού. 4. Διακλάδωση προς ρυθμιστή ψυκτικής ισχύος. 5. Κατανεμητής ρυθμιστού ισχύος. 6. Θάλαμος λαδιού. 7. Βαλβίδα ρυθμίσεως χαμηλής πιέσεως λαδιού. 8. Θάλαμος λαδιού του στυπιοθλίπτη ανοικτού άκρου. 9. Επιστροφή λαδιού.

βέβαια ισχύει και για τους δυο άλλους σκοπούς, αυτές όμως οι ανάγκες δεν υπάρχουν όταν ο συμπιεστής είναι σταματημένος, ενώ η στεγανότητα χρειάζεται πάντοτε.

1.6.2 Λίπανση φυγοκεντρικών συμπιεστών.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές, δεν έχουν ολίσθηση μεταλλικών επιφανειών και έτσι η λίπανσή τους αφορά μόνο τα έδρανα του στροφείου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6θ, όπου εικονίζεται ένας φυγοκεντρικός διβάθμιος συμπιεστής.



Σχ. 1.6θ.
Ερμητικός διβάθμιος φυγοκεντρικός συμπιεστής.
1. Αναρρόφηση. 2. Στροφείο πρώτης βαθμίδας συμπιέσεως. 3. Στροφείο δεύτερης βαθμίδας συμπιέσεως. 4. Ερμητικός ηλεκτροκινητήρας. 5. Εξαγωγή ατμού υψηλής πιέσεως.

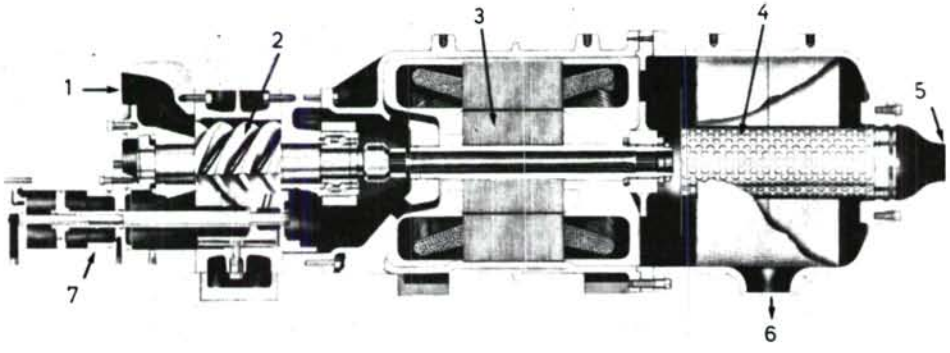
1.6.3 Λίπανση κοχλιομόρφων συμπιεστών.

Η λίπανση των κοχλιομόρφων ατράκτων, στους αντίστοιχους κοχλιόμορφους συμπιεστές, γίνεται πολλές φορές με έγχυση λαδιού επάνω στις κοχλιόμορφες επιφάνειες. Η έγχυση αυτή γίνεται για να επιτευχθεί στεγανότητα τόσο μεταξύ των περιστρεφομένων κοχλιών όσο και μεταξύ κοχλιών και κελύφους.

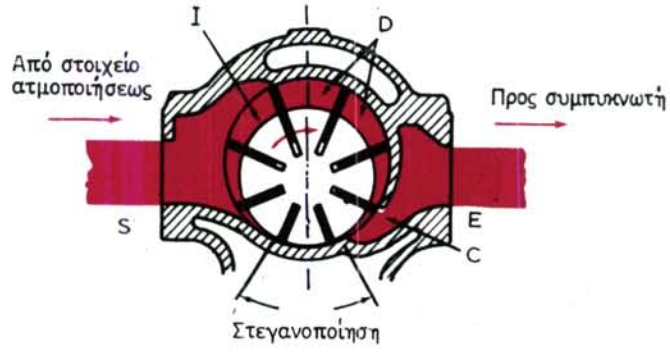
Το λάδι όμως που εγχύνεται έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό μέσο και ένα μέρος του συμπαρασύρεται απ' αυτό. Για να συγκρατείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα λαδιού, και να μην φθάνει στο συμπυκνωτή και στην υπόλοιπη εγκατάσταση λάδι, χρησιμοποιούνται κατάλληλες διατάξεις συγκρατήσεως. Μια διάταξη του είδους αυτού φαίνεται και στο συμπιεστή της εικόνας του σχήματος 1.6ι.

1.6.4 Λίπανση συμπιεστών στρεφόμενου τυμπάνου.

Οι συμπιεστές με περιστρεφόμενο τύμπανο, έχουν και αυτοί ολισθαίνουσες επιφάνειες και απαιτούν λίπανση του τυμπάνου και των συρτών, που εφάπτονται σ' αυτό. Για το λόγο αυτό, η εσωτερική επιφάνεια των τοιχωμάτων του κελύφους καθώς και η επιφάνεια του τυμπάνου είναι μόνιμα καλυμμένες με ένα λεπτό στρώ-

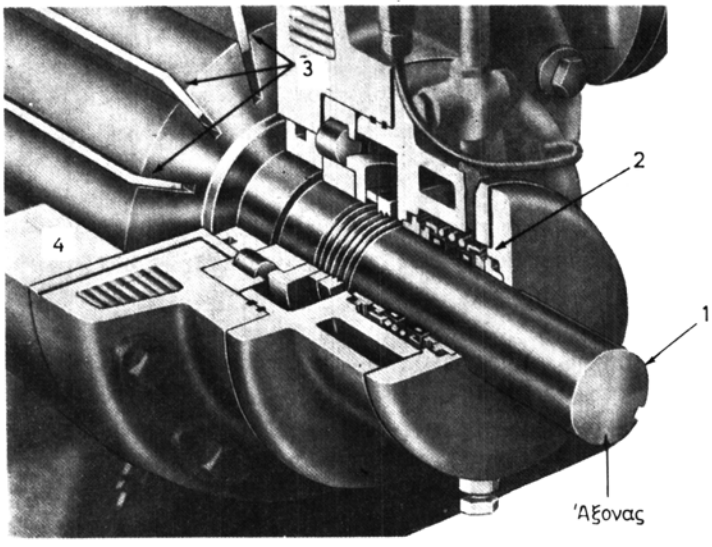


Σχ. 1.6ι.
Κοχλιόμορφος συμπιεστής, ερμητικός, μονοβάθμιος.
1. Εισαγωγή. 2. Κοχλιόμορφος συμπιεστής. 3. Ηλεκτροκινητήρας. 4. Διαχωριστής λαδιού. 5. Εξαγωγή. 6. Επιστροφή λαδιού. 7. Ρυθμιστής ψυκτικής ισχύος.

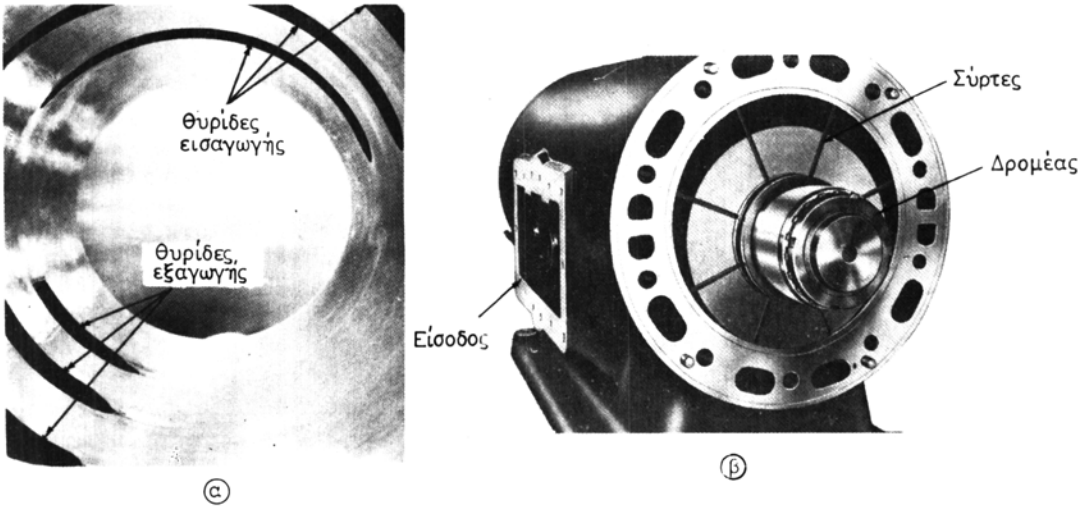


Σχ. 1.6ια.
Αρχή λειτουργίας συμπιεστή με τύμπανο και 8 περιστρεφόμενους σύρτες.
1. Θυρίδες εξαγωγής. 2. Όγκος εμβολισμού. 3. Εξαγωγή. 4. Θυρίδες εισαγωγής. 5. Αναρρόφηση. Οι θυρίδες εισαγωγής είναι πολύ μεγαλύτερες από τις θυρίδες εξαγωγής λόγω της μικρής πιέσεως στην αναρρόφηση.

μα λαδιού. Έτσι όμως, πράγμα που συμβαίνει και στους εμβολοφόρους συμπιεστές, ο ατμός του ψυκτικού μέσου, βρίσκεται πάντοτε σε επαφή με το λάδι λιπάνσεως. Και στην περίπτωση των συμπιεστών περιστρεφόμενου τυμπάνου, όταν αυτοί είναι ανοικτού τύπου, απαιτείται λάδι λιπάνσεως και για τη στεγανοποίηση του ανοικτού άκρου. Μια κατασκευή του τύπου αυτού περιέχεται στα επόμενα σχήματα, όπου στο μεν σχήμα 1.6ια φαίνεται η αρχή λειτουργίας του συστήματος περιστρεφόμενου τυμπάνου με 8 περιστρεφόμενους σύρτες, ενώ στα σχήματα 1.6ιβ και 1.6ιγ, φαίνονται οι λεπτομέρειες κατασκευής του συμπιεστή, όπως είναι η διάταξη στεγανοποιήσεως του ανοικτού άκρου της ατράκτου, οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής του κελύφους και η έκκεντρη τοποθέτηση του τυμπάνου μέσα στο κέλυφος.



Σχ. 1.6ιβ.
Τομή συμπιεστή τυμπάνου, ανοικτού τύπου, με 8 στρεφόμενους σύρτες. Φαίνεται με σαφήνεια η διάταξη στεγανοποιήσεως της ατράκτου.
1. Άτρακτος κινήσεως. 2. Διάταξη στεγανοποιήσεως. 3. Σύρτες. 4. Κέλυφος.



Σχ. 1.6ιγ.
Κέλυφος και τύμπανο του συμπιεστή του σχήματος 1.6ιβ.
α) Εσωτερικό του κελύφους του συμπιεστή, όπου φαίνονται οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής.
β) Σχετική θέση κελύφους και τυμπάνου και κινητοί σύρτες.

1.7 Ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών.

Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες για πολλές εφαρμογές, οι πιο συνηθισμένες από τις οποίες είναι οι εξής:

α) Κίνηση συμπιεστών ψυκτικών μέσων.

- Συμπιεστές ανοικτού τύπου (κίνηση με ιμάντα - τροχαλία).
- Ερμητικοί συμπιεστές (κοινός άξονας κινητήρα - συμπιεστή).

β) Κίνηση ανεμιστήρων.

- Ανεμιστήρες συμπυκνωτών.
- Ανεμιστήρες στοιχείων ατμοποιήσεως.
- Ανεμιστήρες κυκλοφορίας αέρα σε χώρους.

γ) Κίνηση αντλιών.

- Αντλίες υγρού ψυκτικού μέσου.
- Αντλίες κρύου νερού.
- Αντλίες νερού ψύξεως υδροψύκτων συμπυκνωτών.
- Αντλίες λαδιού λιπάνσεως.

Στην παράγραφο αυτή εξετάζονται κυρίως οι τύποι και οι ιδιότητες των ηλεκτροκινητήρων, που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των συμπιεστών. Η εξέταση αυτή γίνεται εντελώς γενικά, ώστε να τονισθούν οι ειδικές μορφές ηλεκτροκινητήρων που απαιτούνται και χρησιμοποιούνται για τις συγκεκριμένες εφαρμογές. Περισσότερα στοιχεία για τους ηλεκτροκινητήρες ο μαθητής μπορεί να βρει στα βιβλία «Ηλεκτρικές Εφαρμογές» και «Ηλεκτρικές Μηχανές» του Ιδρύματος Ευγενίδου.

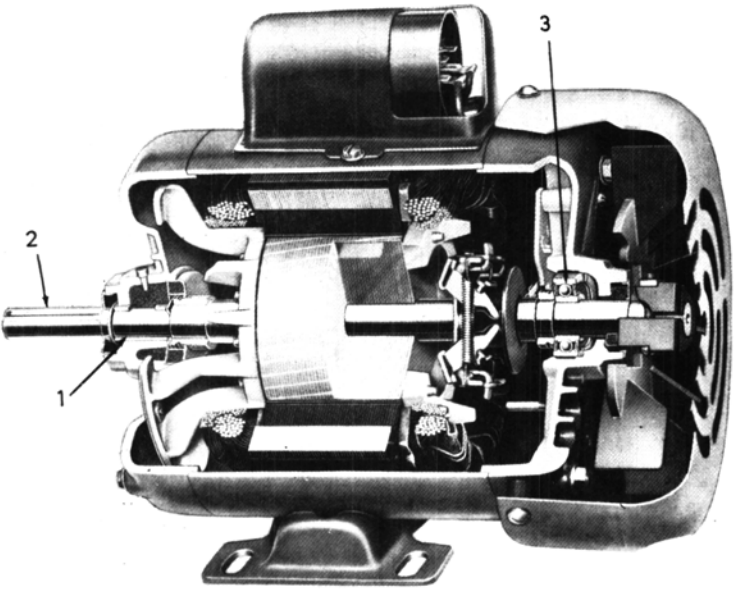
Κάθε ηλεκτροκινητήρας αποτελείται από δυο χαρακτηριστικά τμήματα: το τμήμα που περιστρέφεται, το ***δρομέα*** ή στροφείο, και το ακίνητο ή στατό μέρος γνωστό και με το όνομα ***στάτης***. Στο σχήμα 1.7α φαίνεται σε τομή ένας τύπος ηλεκτροκινητήρα, σαν αυτούς που χρησιμοποιούνται για κίνηση συμπιεστών ανοικτού τύπου ή για κίνηση ανεμιστήρων σε εγκαταστάσεις κλιματισμού.

Ανάλογα με την κατασκευή τους και το είδος του εναλλασσόμενου ρεύματος που απαιτούν για τη λειτουργία τους, οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε:

- Μονοφασικούς.
- Τριφασικούς.

Οι μονοφασικοί κινητήρες συνδέονται με τη μία φάση του δικτύου (220 V), με τον ουδέτερο, και με τη γείωση του συστήματος για την προστασία των μεταλλικών μερών τους.

Οι τριφασικοί κινητήρες λειτουργούν και με τις τρεις φάσεις του δικτύου και πολλές φορές χρησιμοποιούν και τον ουδέτερο αγωγό του. Η τάση μεταξύ των φάσεων είναι 380 V, ενώ μεταξύ φάσεως και ουδέτερου 220 V. Οι τριφασικοί κινητήρες συνδέονται προς το δίκτυο με τρεις ή τέσσερις αγωγούς, τρεις αν χρησιμοποιούν μόνο τις τρεις φάσεις και τέσσερις αν χρησιμοποιούν επί πλέον και τον ουδέτερο. Πέρα από αυτούς, χρησιμοποιείται και ο αγωγός γειώσεως - προστασίας



Σχ. 1.7α.
Τομή ηλεκτροκινητήρα κατάλληλου για κίνηση συμπιεστών ανοικτού τύπου.
1. Έδρανο ολισθήσεως. 2. Κινητήριος άξονας. 3. Έδρανο κυλίσεως.

μεταλλικών μερών. Έτσι συνολικά ένας τριφασικός κινητήρας συνδέεται με 4 ή 5 αγωγούς προς τη θέση ρευματοδοτήσεώς του.

Στους ηλεκτροκινητήρες το ηλεκτρικό ρεύμα παράγει στρεφόμενα μαγνητικά πεδία, που αναγκάζουν το δρομέα να περιστραφεί· έτσι μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Τα στρεφόμενα μαγνητικά πεδία παράγονται από κατάλληλα τυλίγματα ηλεκτρικών αγωγών μέσα και γύρω από τους οπλισμούς των ηλεκτρομαγνητών του στάτη. Ηλεκτρικά τυλίγματα, ανάλογα με τον κινητήρα, υπάρχουν είτε μόνο στο στάτη ή και στο δρομέα.

Όταν ο κινητήρας έχει τυλίγματα μόνο στο στάτη, ενώ ο δρομέας δεν έχει εμφανή τυλίγματα, τότε λέγεται ***επαγωγικός κινητήρας*** ή ***κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.*** Κινητήρας του τύπου αυτού είναι ο κινητήρας στο σχήμα 1.7α καθώς και ο κινητήρας στο σχήμα 1.7β.

Και οι επαγωγικοί κινητήρες όμως έχουν στο δρομέα ράβδους από χαλκό ή αλουμίνιο στις οποίες επάγεται ρεύμα. Με το ρεύμα αυτό και με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του ακίνητου κελύφους παράγονται οι μηχανικές δυνάμεις που στρέφουν τον άξονα. Στο σχήμα 1.7α καθώς και στο σχήμα 1.7β φαίνονται επάνω στο δρομέα οι αγώγιμες ράβδοι, που δεν είναι παράλληλες προς τον άξονα αλλά έχουν κλίση. Ακριβέστερα όμως, επαγωγικός κινητήρας είναι ο ηλεκτροκινητήρας, που τροφοδοτείται μόνο στο ένα του τύλιγμα (συνήθως στο στάτη) από το δίκτυο ενώ δημιουργεί ρεύμα εξ επαγωγής σε ένα τύλιγμα (συνήθως στο δρομέα) το οποίο δεν τροφοδοτείται από το δίκτυο.

Οι επαγωγικοί κινητήρες, που ανήκουν στην κατηγορία των ασυγχρόνων κινη-



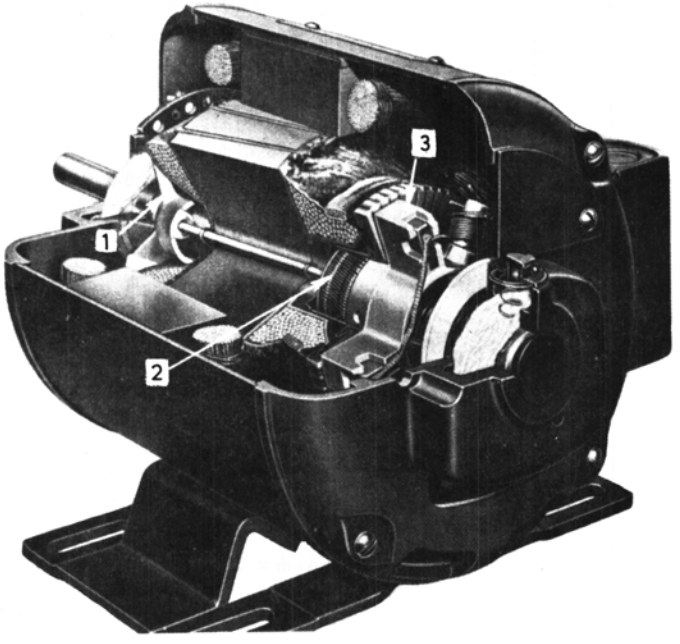
Σχ. 1.7β.
Επαγωγικός κινητήρας αποσυναρμολογημένος. Είναι τύπος κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα με πυκνωτή εκκινήσεως.

τήρων, είναι πολύ διαδεδομένοι, γιατί κατασκευάζονται πιο εύκολα και είναι πιο φθηνοί από άλλους τύπους. Παρουσιάζουν όμως μια μικρή μεταβολή του αριθμού στροφών, ανάλογα προς το φορτίο τους.

Οι επαγωγικοί κινητήρες δεν είναι απαραίτητο να έχουν υποτυπώδη μορφή τυλίγματος στο δρομέα, όπως αυτοί των σχημάτων 1.7α και 1.7β. Ορισμένοι τύποι επαγωγικών κινητήρων έχουν περίπου κανονικό ηλεκτρικό τύλιγμα και στο δρομέα, όπως είναι π.χ. ο επαγωγικός κινητήρας στο σχήμα 1.7γ, το οποίο όμως χρησιμεύει και για την εκκίνηση του κινητήρα. Έτσι το τύλιγμα του δρομέα τροφοδοτείται αρχικά με ρεύμα και στη συνέχεια, μετά την εκκίνηση του κινητήρα, αποσυνδέεται από το δίκτυο και βραχυκυκλώνεται. Η μεταγωγή γίνεται με φυγοκεντρικό μηχανισμό, ο οποίος ενεργοποιείται ανάλογα με τον αριθμό περιστροφών του άξονα.

Βέβαια, οι κινητήρες που δεν διαθέτουν τύλιγμα στο δρομέα, είναι εφοδιασμένοι με άλλα συστήματα εκκινήσεως. Ανάλογα με τη διαμόρφωση των συστημάτων αυτών έχουν αναπτυχθεί και αντίστοιχοι τύποι επαγωγικών ασυγχρόνων ηλεκτροκινητήρων, τους οποίους θα εξετάσομε στις επόμενες παραγράφους. Ας μελετήσομε όμως πρώτα την επίδραση της διακυμάνσεως των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού δικτύου στη λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ηλεκτρικού δικτύου είναι η τάση του και η συχνότητα, τα οποία έχουν αντίστοιχα ονομαστικές τιμές 220 V και 50 Hz. Οι τιμές όμως αυτές και ιδίως η τάση μπορεί να κυμαίνονται με την πάροδο του χρόνου λόγω αλλαγής των φορτίων της περιοχής, ή της γενικότερης καταστάσεως του δικτύου. Τόσο η μεταβολή της τάσεως όσο και η μεταβολή της συχνότητας προκα-



Σχ. 1.7γ.

Τομή επαγωγικού κινητήρα ισχύος 1/2 PS με απωστική εκκίνηση. Ο δρομέας έχει κανονικό τύλιγμα, που τροφοδοτείται με ψήκτρες και συλλέκτη από το δίκτυο για την εκκίνηση. Όταν ο κινητήρας φθάσει το 75% των στροφών, ένας φυγοκετρικός μηχανισμός ανοίγει τις επαφές και διακόπτει την τροφοδότηση του δρομέα από το δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα τον βραχυκυκλώνει ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί σας επαγωγικός. 1. Φυγοκεντρικός μηχανισμός. 2. Τομείς συλλέκτη. 3. Ψήκτρες και ψυκτροδόχες. Τα έδρανα λιπαίνονται με φυτήλια.

λούν μεταβολές στη λειτουργία του επαγωγικού κινητήρα σε ποσοστά που δίνονται στον πίνακα 1.7.1. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η πτώση της τάσεως που προκαλεί αύξηση του ρεύματος και υπερθέρμανση του κινητήρα.

Οι περισσότεροι ***μονοφασικοί*** κινητήρες, εκτός από το τύλιγμα λειτουργίας, χρησιμοποιούν και ένα δεύτερο τύλιγμα για την εκκίνησή τους. Το δεύτερο αυτό τύλιγμα πρέπει να τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα, που βρίσκεται σε διαφορά φάσεως, σε σχέση με το ρεύμα του κύριου τυλίγματος, ώστε ο κινητήρας, κατά την εκκίνηση, να μοιάζει περίπου με διφασικό. Η διαφορά αυτή φάσεως δημιουργείται είτε από την αυτεπαγωγή του τυλίγματος εκκινήσεως, η οποία σκοπίμως κατασκευάζεται διαφορετική από την αντίστοιχη του τυλίγματος λειτουργίας, είτε με την τοποθέτηση εν σειρά προς το τύλιγμα εκκινήσεως κατάλληλου πυκνωτή ή και αντιστάσεως. Σε ορισμένους τύπους κινητήρων, το τύλιγμα εκκινήσεως παραμένει σε χρήση και κατά τη λειτουργία, αφού γίνει κατάλληλη αλλαγή συνδεσμολογίας, μετά φυσικά από την εκκίνηση.

Οι τύποι ηλεκτροκινητήρων, που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις ψύξεως, καθώς και για την κίνηση των ιδίων των συμπιεστών ψυκτικού μέσου αναφέρονται στον πίνακα 1.7.2. Η ομάδα των κινητήρων μικρής (κλασματικής) ισχύος περιλαμβάνει αυτούς που έχουν ονομαστική ισχύ μικρότερη από 1 PS.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.7.1.

Επίδραση τάσεως και συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου στη συμπεριφορά των επαγωγικών κινητήρων.

Μεταβολή τάσεως και συχνότητας		Ροπή	Ταχύτητα σύγχρονη	Ολίσθηση (στροφών)	Ταχύτητα μέγιστου φορτίου	Μεταβολή βαθμού απόδοσεως			Μεταβολή συντελεστή ισχύος			Ρεύμα πλήρους φορτίου	Ρεύμα εκκινήσεως	Αύξηση θερμοκρασίας πλήρους φορτίου	Μέγιστη δυνατότητα υπερφορτίσεως
						Πλήρες φορτίο	3/4 φορτίου	1/2 φορτίου	Πλήρες φορτίο	3/4 φορτίου	1/2 φορτίου				
	+20%	+44%	0	−30%	+1,5%	Μικρή αύξηση	−(0,5÷2)%	−(7÷20)%	−(5÷15)%	−(10÷30)%	−(15÷40)%	−11%	+25%	−(5÷6)°C	+44%
Μεταβολή τάσεως	+10%	+21%	0	−17%	+1%	+(0,5÷1)%	−0	−(1÷2)%	−3%	−4%	−(5÷6)%	−7%	+(10÷12)%	−(3÷4)°C	+21%
	0%	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	−10%	−19%	0	+23%	−1,5%	−2%	0	+(1÷2)%	+3%	+(2÷3)%	+(2÷3)%	+11%	−(10÷12)%	+(6÷7)°C	−19%
	+5%	−10%	+5%	−0	+5%	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά μείωση	−(5÷6)%	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά μείωση
Μεταβολή συχνότητας	100%	−	−	−	Ολίσθηση σύγχρονου λειτουργίας	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	−5%	+11%	−5%	−0	−5%	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά μείωση	Ελαφρά αύξηση	+(5÷6)%	Ελαφρά αύξηση	Ελαφρά αύξηση

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.7.2.
Τύποι ηλεκτροκινητήρων εγκαταστάσεων ψύξεως.

Τύπος κινητήρα	Ισχύς	Τροφοδότηση
α) Κλασματικοί (ισχύος < 1PS)		
1. Βοηθητικής φάσεως (split phase)	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{3}$	μονοφασική
2. Πυκνωτή εκκινήσεως (capacitor start)	$\frac{1}{8} \div 1$	»
3. Απωστικής εκκινήσεως (repulsion start)	$\frac{1}{8} \div 1$	»
4. Μόνιμης βοηθητικής φάσεως και πυκνωτή (permanent - split - capacitor)	$\frac{1}{20} \div 1$	»
5. Σκιασμένου πόλου (shaded pole)	milli PS ÷ 1/3	»
6. Επαγωγικός τυλιγμένου δρομέα (squirrel cage induction)	$\frac{1}{6} \div 1$	3φασική
β) Ισχύος > 1PS		
1. Εκκινήσεως πυκνωτή - λειτουργίας πυκνωτή (capacitor start - capacitor run)	1 – 5	μονοφασική
2. Απωστικής εκκινήσεως (repulsion start)	1 – 5	»
3. Επαγωγικός τυλιγμένου δρομέα (squirrel cage induction)	1 και άνω	3φασική
4. Με δακτύλιους (slip - ring)	1 και άνω	»
5. Μόνιμης βοηθητικής φάσεως και πυκνωτή (Permanent-split - capacitor)	1 ÷ 5	μονοφασική

Κάθε μορφή κινητήρα έχει διαφορετικές χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας και είναι καταλληλότερη για ορισμένες εφαρμογές. Στη συνέχεια δίνεται μια πολύ σύντομη περιγραφή των πιο συνηθισμένων τύπων καθώς και οι χαρακτηριστικές λειτουργίας.

1.7.1 Επαγωγικός κινητήρας βοηθητικής φάσεως (split phase).

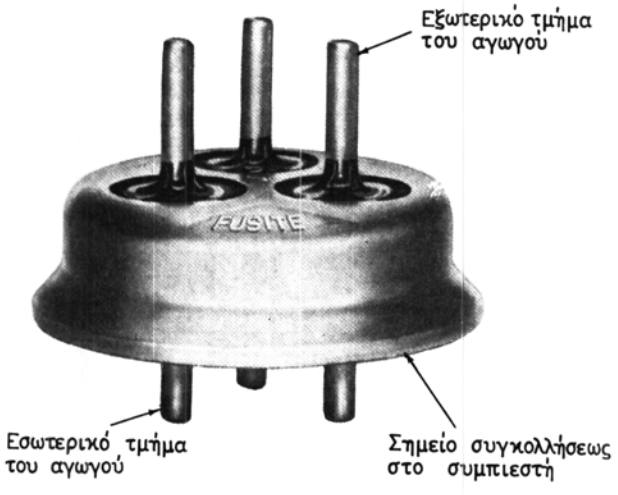
Στο στάτη, εκτός από τα τυλίγματα λειτουργίας, που σχηματίζουν συνήθως 2 ή 4 πόλους μαγνητών (1 ή 2 ζεύγη πόλων), ανάλογα με τον επιθυμητό αριθμό στροφών, υπάρχουν και ισάριθμα τυλίγματα της βοηθητικής φάσεως. Τα τυλίγματα αυτά είναι μετατοπισμένα στο κέλυφος αρκετές μοίρες, ως προς τα αντίστοιχα τυλίγματα λειτουργίας, είναι κατασκευασμένα από λεπτότερο σύρμα και έχουν πολύ περισσότερες στροφές (βρόχους) από ό,τι τα τυλίγματα λειτουργίας. Έτσι με τη ***μεγαλύτερη αυτεπαγωγή*** του τυλίγματος εκκινήσεως, ως προς το τύλιγμα λειτουργίας, δημιουργείται, για την ίδια τάση τροφοδοτήσεως από το δίκτυο, διαφορά φάσεως στα ρεύματα που περνούν στο κύριο τύλιγμα και στο τύλιγμα εκκινήσεως.

Με τον τρόπο αυτό το τύλιγμα εκκινήσεως λειτουργεί σαν να τροφοδοτείται από μια άλλη (φανταστική) φάση του δικτύου, παρόλο ότι ο κινητήρας είναι μονοφασικός.

Η σύνδεση του τυλίγματος εκκινήσεως στην αρχή της εκκινήσεως και η αποσύνδεσή του, όταν αυξηθεί ο αριθμός των στροφών και φθάσει ένα ποσοστό της ονομαστικής του τιμής, γίνεται συνήθως με ένα ηλεκτρονόμο (ρελαί) εκκινήσεως. Περισσότερα όμως για τον έλεγχο και την προστασία των κινητήρων αναφέρονται σε επόμενη παράγραφο.

Ο τύπος αυτός του κινητήρα, επειδή είναι φθηνός και απλός στη λειτουργία του, χρησιμοποιείται στους περισσότερους ερμητικούς συμπιεστές κλασματικής ισχύος παρά το γεγονός ότι κατά την εκκίνησή του έχει μικρή ροπή στρέψεως. Υπάρχουν όμως εγκαταστάσεις, όπου το γεγονός αυτό δεν ενοχλεί. Αυτό π.χ. συμβαίνει, στις μικρές ψυκτικές διατάξεις των οικιακών ψυγείων ή των μικρών επαγγελματικών, όπου χρησιμοποιείται σαν διάταξη στραγγαλισμού τριχοειδής σωλήνας. Στις περιπτώσεις αυτές, μόλις ο συμπιεστής πάψει να λειτουργεί, γίνεται πολύ γρήγορα εξίσωση πιέσεως στην εγκατάσταση και όταν ο συμπιεστής ξεκινήσει και πάλι, δεν έχει σημαντικό φορτίο στην αρχή, γιατί η πίεση αναρροφήσεως και καταθλίψεως είναι περίπου η ίδια.

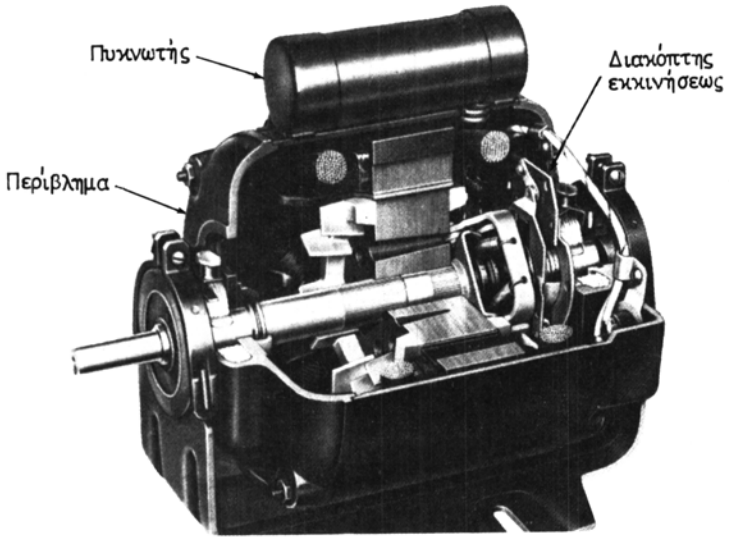
Στους ερμητικούς συμπιεστές, ο ηλεκτρονόμος εκκινήσεως είναι έξω από το στεγανό κέλυφος και για το λόγο αυτό, παρόλο ότι ο κινητήρας είναι μονοφασικός, υπάρχουν τρεις αγωγοί και όχι δύο, που περνούν με τους αντίστοιχους μονωτήρες προς το στεγανό μέρος, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7δ.



Σχ. 1.7δ.
Μονωτήρες διαβάσεως ερμητικού συμπιεστή. Οι τρεις αγωγοί είναι μονωμένοι με γυαλί ως προς το μεταλλικό κυάθιο, που στερεώνεται στο κέλυφος του συμπιεστή με ηλεκτροκόλληση. Ένας αγωγός είναι για το τύλιγμα λειτουργίας, ένας για το τύλιγμα εκκινήσεως και ο τρίτος κοινός και για τα δυο τυλίγματα.

1.7.2 Επαγωγικός κινητήρας πυκνωτή εκκινήσεως (capacitor start).

Ως προς την αρχή λειτουργίας μοιάζουν με τους κινητήρες βοηθητικής φάσεως.



Σχ. 1.7ε.
Επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκινήσεως. Η αποσύνδεση του πυκνωτή και του τυλίγματος εκκινήσεως γίνεται με φυγοκεντρικό μηχανισμό που φαίνεται στα δεξιά της εικόνας.

Εδώ όμως προστίθεται στο κύκλωμα του τυλίγματος εκκινήσεως και ένας πυκνωτής εκκινήσεως. Έτσι, η διαφορά φάσεως μεταξύ των ρευμάτων στο τύλιγμα λειτουργίας και στο τύλιγμα εκκινήσεως μπορεί να γίνει μεγάλη και να επιτευχθεί σημαντική αύξηση της ροπής εκκινήσεως. Ένας κινητήρας του τύπου αυτού, για ανοικτούς συμπιεστές, φαίνεται στο σχήμα 1.7ε.

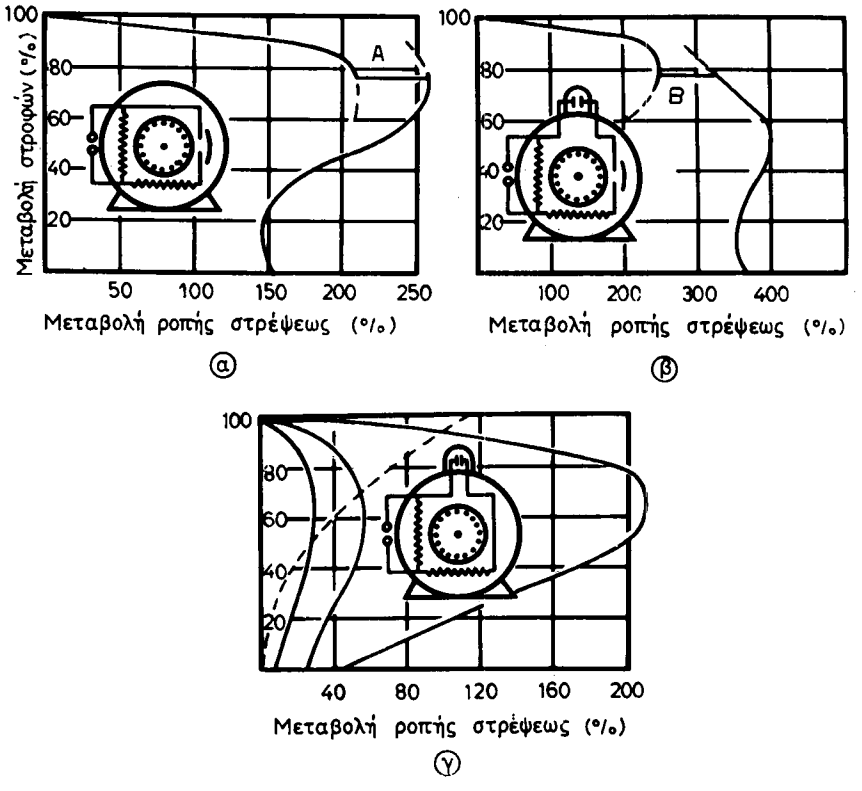
1.7.3 Επαγωγικός κινητήρας απωστικής εκκινήσεως (repulsive start).

Ένας κινητήρας του είδους αυτού έχει ήδη εξετασθεί στο σχήμα 1.7γ, και έχει περιγραφεί η αρχή λειτουργίας του. Έχουν πολύ μεγάλη στρεπτική ροπή εκκινήσεως και παλιότερα τους χρησιμοποιούσαν πολύ στους συμπιεστές ανοικτού τύπου. Επειδή είναι ακριβότεροι αντικαθίστανται από κινητήρες με πυκνωτή.

1.7.4 Επαγωγικός κινητήρας μόνιμης βοηθητικής φάσεως με πυκνωτή [permanent split capacitor (PSC)].

Ο τύπος αυτός κινητήρα έχει στο κύκλωμα του τυλίγματος εκκινήσεως μόνιμα ένα πυκνωτή. Το κύκλωμα εκκινήσεως — η βοηθητική φάση — με τον πυκνωτή εν σειρά, παραμένει σε λειτουργία όχι μόνο κατά την εκκίνηση αλλά και κατά τη λειτουργία. Το γεγονός αυτό όμως επιβάλλει άλλες τιμές στον πυκνωτή και έτσι η ροπή στρέψεως κατά την εκκίνηση είναι μειωμένη. Κινητήρες του τύπου αυτού δεν είναι τόσο κατάλληλοι για συμπιεστές ψύξεως, αλλά χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Μια σύγκριση της συμπεριφοράς των τριών τύπων επαγωγικών κινητήρων με βοηθητική φάση, που έχουν αναπτυχθεί ήδη, υπάρχει στο σχήμα 1.7στ. Ο κινητή-



Σχ. 1.7στ.

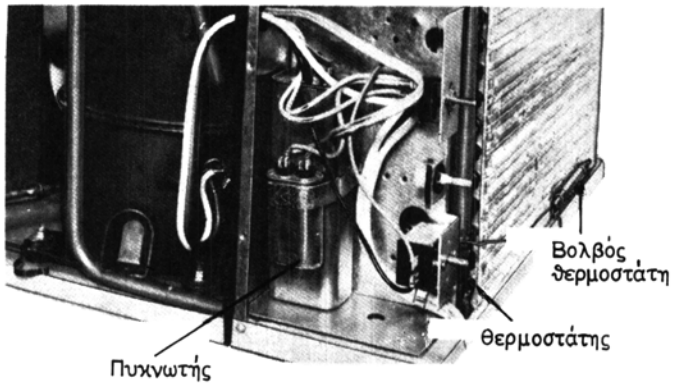
Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας μονοφασικών επαγωγικών κινητήρων με βοηθητική φάση. Ο οριζόντιος άξονας δίνει τη ροπή στρέψεως ως ποσοστό της ονομαστικής τιμής για πλήρες φορτίο. Ο κατακόρυφος άξονας τον αριθμό στροφών ως ποσοστό του μέγιστου θεωρητικού αριθμού στροφών, που αντιστοιχεί στις στροφές σύγχρονου κινητήρα.

α) Κινητήρας βοηθητικής φάσεως. β) Κινητήρας πυκνωτή εκκινήσεως. γ) Κινητήρας μόνιμης βοηθητικής φάσεως με πυκνωτή.

ρας βοηθητικής φάσεως (α) έχει ροπή στρέψεως κατά την εκκίνηση, η οποία είναι το 150% της ονομαστικής τιμής λειτουργίας, όπως δείχνει η τομή της καμπύλης με τον οριζόντιο άξονα. Καθώς αυξάνει ο αριθμός στροφών, και όταν φθάνει το 75% της ονομαστικής τιμής, η βοηθητική φάση αποσυνδέεται και υπάρχει η μετάπτωση Α από τη μια καμπύλη, δηλαδή της εκκινήσεως, προς την άλλη, δηλαδή της λειτουργίας.

Στο ίδιο σχήμα (β), ο επαγωγικός κινητήρας με βοηθητική φάση και πυκνωτή εκκινήσεως έχει πολύ μεγάλη τιμή αρχικής ροπής στρέψεως, που είναι περίπου το 350% της ονομαστικής τιμής λειτουργίας. Και εδώ υπάρχει η μετάπτωση Β από την καμπύλη εκκινήσεως προς την καμπύλη λειτουργίας.

Τέλος ο κινητήρας με τη μόνιμη βοηθητική φάση και τον πυκνωτή, παρουσιάζει μια αρχική ροπή στρέψεως (γ), η οποία είναι μόλις τα 40% της ονομαστικής τιμής λειτουργίας, γεγονός που τους κάνει κατάλληλους για κίνηση ανεμιστήρων.



Σχ. 1.7ζ.
Κλιματιστική παραθύρου. Διακρίνονται στα δεξιά του συμπιεστή ο πυκνωτής λειτουργίας και ο θερμοστάτης χώρου.

Πρέπει εδώ, για τα τρία διαγράμματα του σχήματος 1.7στ, να τονισθεί ότι έχουν διαφορετικές κλίμακες στον οριζόντιο άξονα.

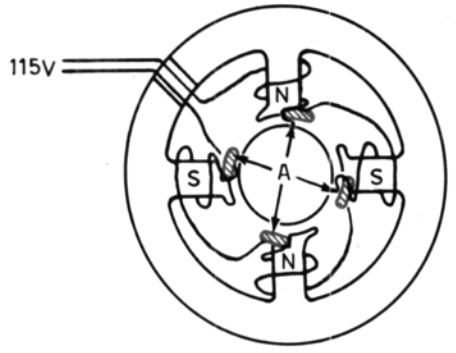
Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων με μόνιμη βοηθητική φάση και πυκνωτή είναι η έλλειψη της διατάξεως μεταγωγής (ηλεκτρονόμος ή άλλο είδος) και η δυνατότητά τους να εργασθούν σε διαφορετικούς αριθμούς στροφών με απλά και φθηνά συστήματα ελέγχου. Οι κινητήρες όμως αυτού του τύπου είναι ευαίσθητοι στην τάση λειτουργίας. Πτώση τάσεως κατά 5 ή 10% μπορεί να επιφέρει δυσκολίες στην εκκίνηση και υπερθέρμανση.

Πολλές κλιματιστικές συσκευές παραθύρου χρησιμοποιούν, για την κίνηση του ερμητικού συμπιεστή, κινητήρα με μόνιμη βοηθητική φάση και πυκνωτή χωρίς ηλεκτρονόμο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7ζ. Στις περιπτώσεις αυτές, αν η τάση του δικτύου πέσει κάτω από την ονομαστική της τιμή κατά 10%, υπάρχουν μεγάλες δυσκολίες εκκινήσεως. Γι' αυτό οι κινητήρες αυτοί μπορεί να μετατραπούν, αν παραστεί ανάγκη, με την προσθήκη ενός πυκνωτή λειτουργίας και ενός ηλεκτρονόμου, οπότε ο κινητήρας γίνεται με εκκίνηση πυκνωτή και λειτουργία πυκνωτή, όπως περιγράφεται πιο κάτω.

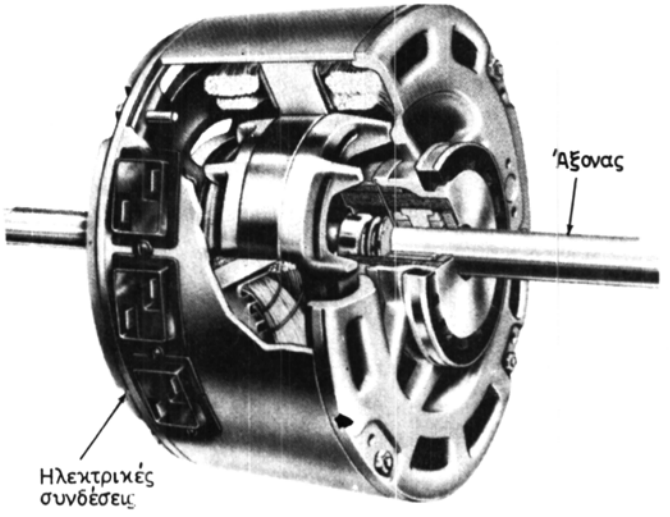
Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται στις κλιματιστικές παραθύρου, γιατί έχουν σχετικά μικρές εντάσεις ρεύματος, λόγω του καλού βαθμού αποδόσεως, και δεν απαιτούνται ενισχυμένες ηλεκτρικές γραμμές σε σπίτια ή γραφεία.

1.7.5 Επαγωγικός κινητήρας με σκιασμένο πόλο (shaded pole).

Η ονομασία των κινητήρων αυτών προέρχεται από την κατασκευή των μαγνητικών πόλων του στάτη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7η η αρχή λειτουργίας τους περιλαμβάνει μια μερική σκίαση του σιδερένιου πυρήνα των ηλεκτρομαγνητών με κομμάτια χαλκού, τα οποία δεν είναι σιδηρομαγνητικά και έχουν γύρω τους κατάλληλο επαγωγικό τύλιγμα. Έτσι δημιουργείται ηλεκτρομαγνητική καθυστέρηση στο κομμάτι αυτών των πόλων και φαινόμενο ανάλογο προς αυτό που δημιουργεί το τύλιγμα της βοηθητικής φάσεως. Ένας ηλεκτροκινητήρας του τύπου αυτού φαίνε-



Σχ. 1.7η.
Αρχή λειτουργίας κινητήρα με σκιασμένο πόλο. S)νότιος μαγνητικός πόλος. N)Βόρειος μαγνητικός πόλος. A)σκίαση των πόλων με κομμάτια χαλκού με κατάλληλη περιέλιξη αγωγού.

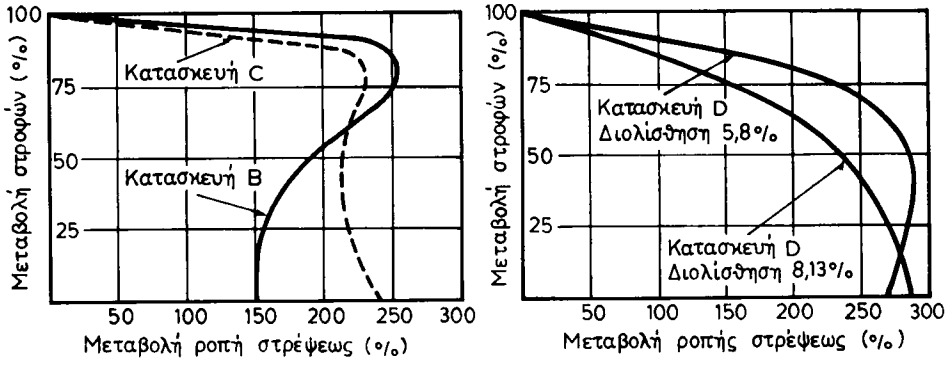


Σχ. 1.7θ.
Επαγωγικός κινητήρας με σκιασμένο πόλο, κατάλληλος και για κίνηση ανεμιστήρων. Τα τρία ζεύγη ακροδεκτών εξασφαλίζουν συνδέσεις για λειτουργία με διαφορετικές ταχύτητες.

ται στο σχήμα 1.7θ. Οι κινητήρες αυτοί έχουν μικρή αρχική ροπή στρέψεως αλλά χρησιμοποιούνται με επιτυχία για κίνηση ανεμιστήρων με ισχύ 1/6 ως 1/100 PS.

1.7.6 Ασύγχρονοι επαγωγικοί τριφασικοί κινητήρες.

Οι κινητήρες που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα ήταν μονοφασικοί κλασματικής ισχύος. Οι τριφασικοί κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται για μεγαλύτερες ισχείς, αν και υπάρχουν και εξαιρέσεις. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των ασυγχρόνων τριφασικών κινητήρων, που χρησιμοποιούνται για την κίνηση



Σχ. 1.7ι.

Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασυγχρόνων (επαγωγικών) τριφασικών κινητήρων. Οι κινητήρες κατασκευής Β έχουν μικρότερη στρεπτική ροπή εκκινήσεως αλλά και μικρότερη μεταβολή του αριθμού στροφών με τη μεταβολή του φορτίου. Το αντίθετο ισχύει για τις κατασκευές D με μικρότερη και μεγαλύτερη διολίσθηση.

συμπιεστών ψυκτικών μέσων, έχουν μορφές σαν αυτές που δίνονται στο σχήμα 1.7ι.

Υπενθυμίζεται ότι η φορά περιστροφής των τριφασικών κινητήρων, αναστρέφεται, όταν διασταυρωθούν στους ακροδέκτες του κινητήρα δυο οποιεσδήποτε από τις τρεις φάσεις του δικτύου.

Όπως φαίνεται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες του τριφασικού κινητήρα στο σχήμα 1.7ι, η στρεπτική ροπή εκκινήσεως και η σταθερότητα των στροφών δεν επιτυγχάνονται με ένα είδος κατασκευής. Η παράμετρος που επηρεάζει τα μεγέθη αυτά είναι κυρίως η αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα, που όταν είναι μεγάλη δίνει στον κινητήρα μεγάλη ροπή εκκινήσεως αλλά και μεγάλη μεταβολή στον αριθμό στροφών καθώς μεταβάλλεται το φορτίο του κινητήρα. Αντίθετα όταν η παράμετρος είναι μικρή, ο κινητήρας έχει μικρότερη ροπή εκκινήσεως, αλλά καλύτερη σταθερότητα αριθμού στροφών κατά τις μεταβολές των εξωτερικών φορτίων.

Τη συμπεριφορά αυτή έχουν οι τριφασικοί κινητήρες με σταθερή αντίσταση τυλίγματος στο δρομέα. Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα του δρομέα είναι ηλεκτρικά κλειστό και ο κινητήρας λέγεται και κινητήρας με ***βραχυκυκλωμένο δρομέα.***

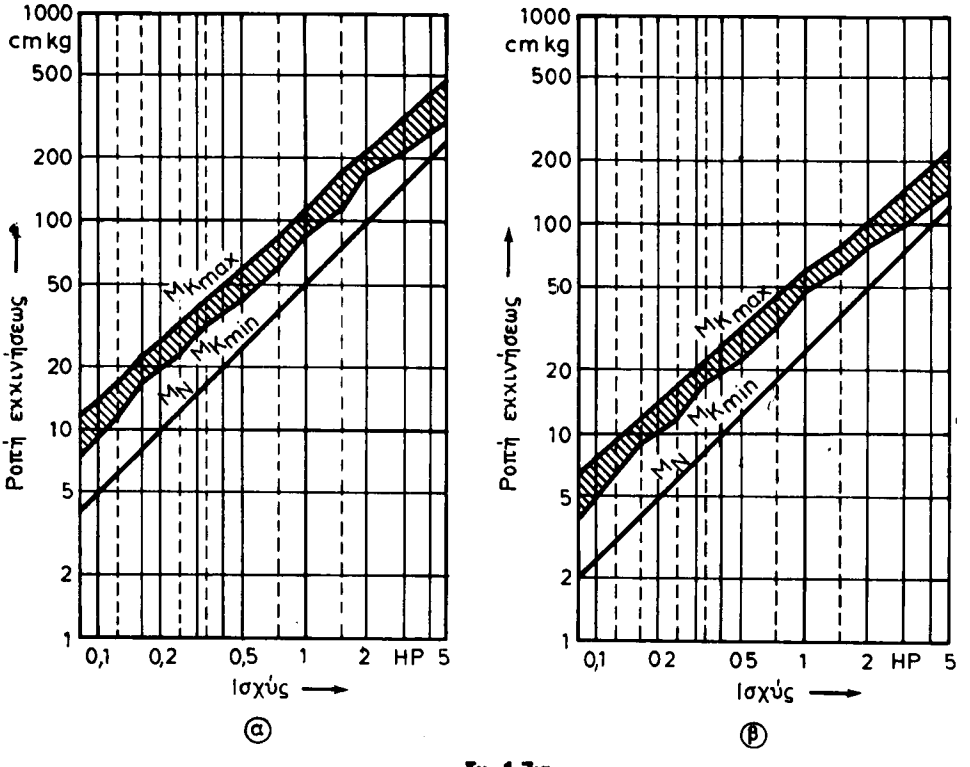
Όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις, τόσο για μεγάλη στρεπτική ροπή εκκινήσεως και για σταθερότητα αριθμού στροφών λειτουργίας όσο και για λειτουργία με μεταβλητό αριθμό στροφών, τότε χρησιμοποιούνται πιο πολύπλοκες και ακριβές κατασκευές, όπως είναι οι ασύγχρονοι κινητήρες με δακτύλιους. Στους κινητήρες αυτούς, τα 3 τυλίγματα του δρομέα, ένα για κάθε φάση, συνδέονται στη μια τους άκρη επάνω στο δρομέα, ενώ τα τρία ελεύθερα άκρα τους καταλήγουν σε τρεις δακτύλιους, που συνδέονται ομοαξονικά με τον άξονα του κινητήρα, ηλεκτρικά μονωμένοι, και περιστρέφονται μαζί του. Πάνω σ' αυτούς τους δακτύλιους ακουμπούν τρεις ψήκτρες, που συνδέουν τους δακτύλιους και φυσικά τα τυλίγματα του δρομέα με τρεις εξωτερικές αντιστάσεις, συνήθως μεταβλητές ή με βαθμίδες. Έτσι μεταβάλλεται η αντίσταση του τριφασικού τυλίγματος του δρομέα και επιτυγ-

χάνεται υψηλή στρεπτική ροπή εκκινήσεως, σταθερότητα αριθμού στροφών, και ρύθμιση αριθμού στροφών.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες με δακτύλιους επιτυγχάνουν εκκίνηση με μεγάλη στρεπτική ροπή εκκινήσεως, αλλά ταυτόχρονα με μικρές υπερεντάσεις. Αντίθετα, οι τριφασικοί ασύγχρονοι με βραχυκυκλωμένο δρομέα, κατά τη στιγμή της εκκινήσεως, έχουν μικρότερη, σε σχέση με τους κινητήρες με δακτύλιους, στρεπτική ροπή και απορροφούν 4 ως 5 φορές περισσότερο ρεύμα, από το ρεύμα κανονικής λειτουργίας.

Ο κοινός τρόπος εκκινήσεως των μεγαλυτέρων τριφασικών ασυγχρόνων κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα, δηλαδή η χρήση διακόπτη αστέρα - τριγώνου, δεν είναι κατάλληλη για λειτουργία με συμπιεστές, γιατί με τον τρόπο αυτό η στρεπτική ροπή εκκινήσεως είναι πολύ μικρή· αυτό οφείλεται στο μειωμένο ρεύμα με το οποίο λειτουργεί η σύνδεση των τριών τυλιγμάτων σε διάταξη αστέρα.

Οι μονοφασικοί επαγωγικοί κινητήρες, που είναι κατάλληλοι για συμπιεστές ψυκτικών μέσων, πρέπει να έχουν στρεπτική ροπή εκκινήσεως μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της κανονικής λειτουργίας. Η περίσσεια αυτή στρεπτικής ροπής, κατά σχετικούς κανονισμούς, φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 1.7ια.



Σχ. 1.7ια.

Απαιτούμενη στρεπτική ροπή εκκινήσεως μονοφασικών επαγωγικών κινητήρων, για ερμητικούς συμπιεστές ψυκτικών μέσων. $M_{K_{max}}$: Μέγιστη τιμή ροπής εκκινήσεως. $M_{K_{min}}$: Ελάχιστη τιμή ροπής εκκινήσεως. M_N : Ονομαστική τιμή λειτουργίας. α) 4-πολικοί κινητήρες με σύγχρονο αριθμό περιστροφών 1500 rpm. β) 2-πολικοί κινητήρες με σύγχρονο αριθμό περιστροφών 3000 rpm.

Η ελάχιστη τιμή των στρεπτικών ροπών εκκινήσεως επιβάλλεται από τη δυσκολία εκκινήσεως του συμπιεστή. Η μέγιστη τιμή επιβάλλεται από λόγους μηχανικής αντοχής του συμπιεστή και δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη, γιατί υπάρχει φόβος πρόωρης φθοράς ή πιθανόν και θραύσεως.

1.8 Αυτόματος έλεγχος και προστασία ηλεκτροκινητήρων.

Στην παράγραφο αυτή εξετάζονται οι αυτοματισμοί, που αναφέρονται στον ίδιο τον ηλεκτροκινητήρα και όχι σ' ολόκληρη την ψυκτική εγκατάσταση. Οι υπόλοιποι αυτοματισμοί θα εξετασθούν σε επόμενο κεφάλαιο αν και η διάκριση μεταξύ των δυο αυτών ομάδων δεν είναι και τόσο σαφής. Πολλές «εντολές» καταλήγουν τελικά στον ηλεκτροκινητήρα και τον «διατάζουν» να σταματήσει τη λειτουργία, όταν κάποια θερμοκρασία ή κάποια πίεση δεν έχει τη σωστή τιμή ή δεν απαιτείται η λειτουργία της εγκαταστάσεως για κάποιο χρονικό διάστημα. Έτσι, στην παράγραφο αυτή, εξετάζονται οι διατάξεις που ενεργοποιούνται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ή έπρεπε να βρίσκεται ο κινητήρας.

Κατ' αρχήν οι διατάξεις αυτές διακρίνονται σε δυο ομάδες. Είναι οι ***διατάξεις προστασίας*** του κινητήρα στη μια ομάδα και οι ***διατάξεις ελέγχου*** στην άλλη ομάδα.

1.8.1 Διατάξεις προστασίας.

Οι διατάξεις προστασίας του ηλεκτροκινητήρα, περιλαμβάνουν την παρακολούθηση και μέτρηση των εξής μεγεθών, τα οποία είναι αποφασιστικά για τη λειτουργία ή τη διάρκεια ζωής του ηλεκτροκινητήρα.

- Παρακολούθηση - έλεγχος εντάσεως ηλεκτρικού ρεύματος και μόνο.
- Παρακολούθηση - έλεγχος τόσο της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος όσο και της θερμοκρασίας.
- Παρακολούθηση - έλεγχος της θερμοκρασίας.

Στο σημείο αυτό η παρακολούθηση ή ο έλεγχος της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται από διατάξεις που έχει ο ίδιος ο κινητήρας και δεν εννοούνται οι ασφάλειες ή οι αυτόματοι διακόπτες του ηλεκτρικού πίνακα, που τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα.

α) Ο ***έλεγχος της εντάσεως*** του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται για να προληφθούν καταστάσεις στις οποίες ο ηλεκτροκινητήρας:

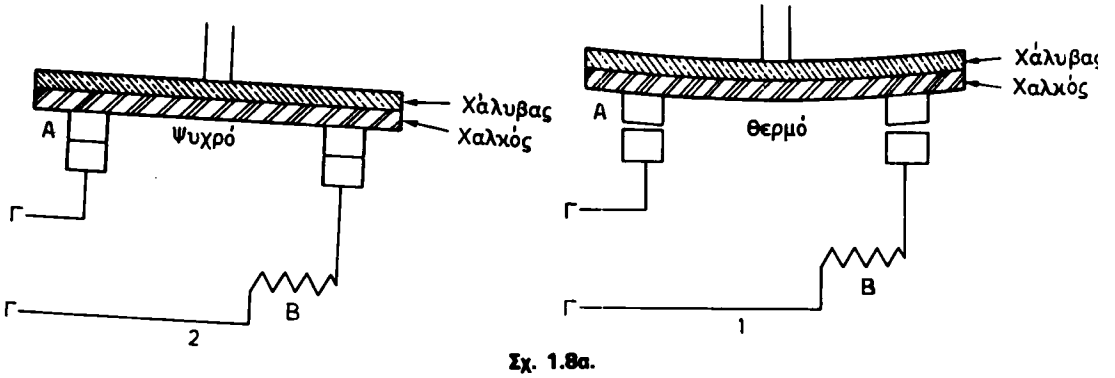
- λειτουργεί μεν, αλλά με ένταση ρεύματος μεγαλύτερη από την ονομαστική, και
- ο δρομέας έχει κολλήσει για οποιοδήποτε λόγο.

Ο έλεγχος της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται με διατάξεις διαφόρων ειδών, οι οποίες όμως χρησιμοποιούν συνήθως ένα από τους εξής τρόπους λειτουργίας:

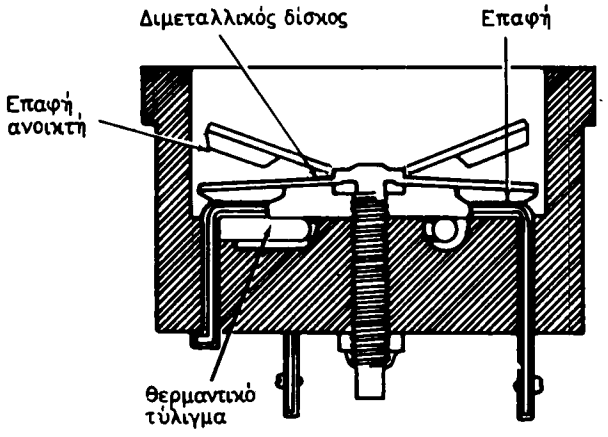
- Τήξη μετάλλου.
- Κάμψη διμεταλλικού ελάσματος.
- Ηλεκτρομαγνητική έλξη επαφής διακόπτη.

Ο πρώτος τρόπος λειτουργίας, για συσκευές του ίδιου του ηλεκτροκινητήρα δεν χρησιμοποιείται πλέον συχνά.

Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιεί τη θέρμανση, που παράγει το ηλεκτρικό ρεύ-



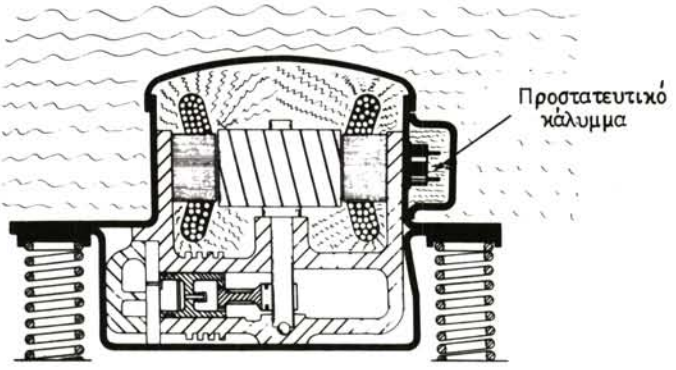
Σχ. 1.8α.
Αρχή λειτουργίας θερμικού υπερεντάσεως.



Σχ. 1.8β.
Θερμικό υπερεντάσεως ηλεκτροκινητήρα. Η υπερένταση προκαλεί υπερθέρμανση και ανοίγει τις επαφές.

μα καθώς περνάει μέσα από ένα διμεταλλικό έλασμα. Οι διατάξεις του είδους αυτού είναι γνωστές και ως ***θερμικά*** στοιχεία υπερεντάσεως. Συνήθως το διμεταλλικό έλασμα θερμαίνεται από μια αντίσταση που είναι κοντά του. Η αρχή λειτουργίας του θερμικού υπερεντάσεως, φαίνεται στο σχήμα 1.8α και μια διάταξη κατασκευής στο σχήμα 1.8β.

Τα θερμικά υπερεντάσεως των ηλεκτροκινητήρων των συμπιεστών ψυκτικών μέσων είναι κατά βάση τα ίδια με εκείνα των συνηθισμένων βιομηχανικών εφαρμογών. Εδώ όμως πρέπει οπωσδήποτε να είναι ***ταχείας*** δράσεως, γιατί υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της μονώσεως του τυλίγματος του κινητήρα από υπερθέρμανση σε περίπτωση που κολλήσει ο δρομέας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το τύλιγμα ψύχεται από τον κρύο ατμό του ψυκτικού μέσου και είναι εκτεθειμένο μόλις πάψει να λειτουργεί ο συμπιεστής. Τα θερμικά υπερεντάσεως τοποθετούνται συνήθως έξω από τον ηλεκτροκινητήρα, επάνω στο στεγανό κέλυφος και μέσα



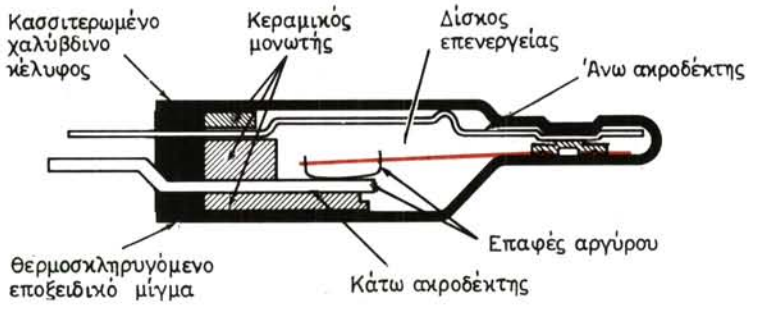
Σχ. 1.8γ.
Θέση τοποθετήσεως θερμικών υπερεντάσεως ή θερμικών υπερθερμοκρασίας.

σε ένα προστατευτικό κάλυμμα με το ρελαί εκκινήσεως και τους ακροδέκτες, όπως στο σχήμα 1.8γ.

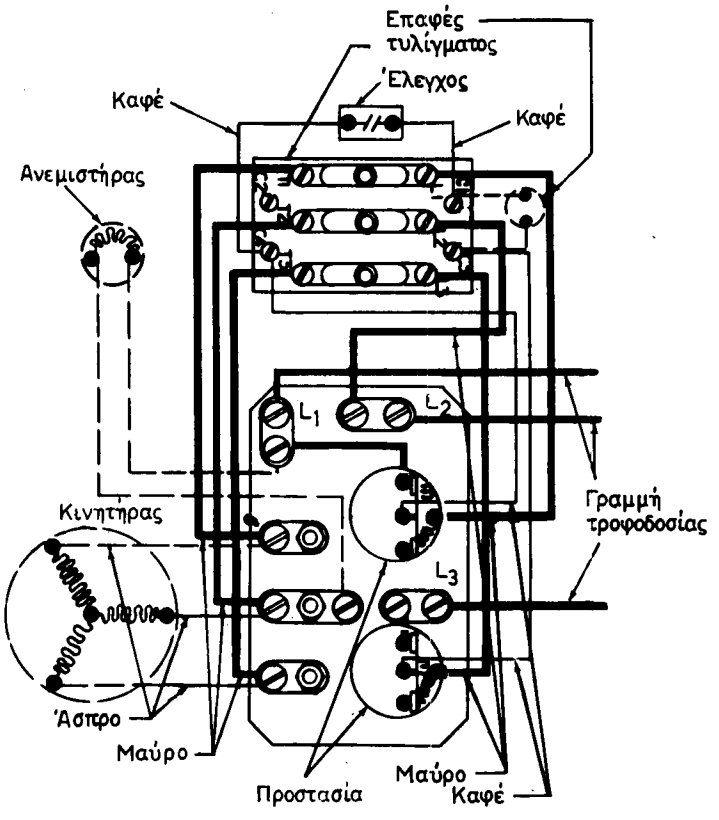
Αντί για τα θερμικά στοιχεία υπερεντάσεως, μερικές φορές χρησιμοποιούνται και ηλεκτρομαγνητικά στοιχεία υπερεντάσεως.

β) ***Έλεγχος εντάσεως και θερμοκρασίας.*** Ονομάζεται συνήθως και ***θερμική προστασία*** και πρέπει να γίνεται αντιδιαστολή με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως για τα θερμικά υπερεντάσεως, όπου ελέγχεται μόνο η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ εδώ ελέγχεται και η υπερένταση και η υπερθερμοκρασία.

Η θερμική προστασία εφαρμόζεται στους κινητήρες κλασματικής ισχύος καθώς και στους μικρούς, και αντιδρά τόσο σε υπερένταση του ρεύματος όσο και σε υπερθερμοκρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται το στοιχείο (διακόπτης) ελέγχου. Το στοιχείο ελέγχου (διακόπτης) είναι συνήθως ένας διμεταλλικός διακόπτης, από τον οποίο περνάει όλο το ρεύμα του κινητήρα. Για ερμητικούς συμπιεστές, ο διακόπτης αυτός είναι κλεισμένος μέσα σε ένα δικό του στεγανό κέλυφος, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8δ. Το κέλυφος αυτό απαιτείται για να μην έρχεται το ψυκτικό μέσο και το λάδι σε επαφή με τους σπινθήρες, οι οποίοι δημιουργούνται από το



Σχ. 1.8δ.
Στοιχείο θερμικής προστασίας στεγανό. Τοποθετείται μέσα στο τύλιγμα του κινητήρα.



Σχ. 1.8ε.
Διάγραμμα καλωδιώσεως τριφασικού κινητήρα συμπιεστή με δυο εξωτερικά στοιχεία θερμικής προστασίας.

άνοιγμα ή κλείσιμο των επαφών του διακόπτη αυτού, και προκαλείται χημική διάσπαση.

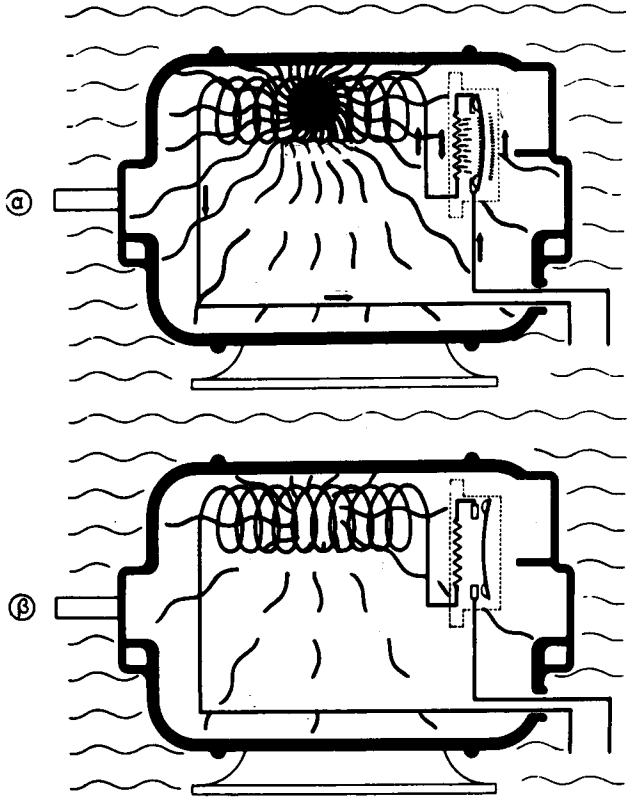
Οι επαφές του διακόπτη θερμικής προστασίας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες, ώστε να διακόπτουν και τη μεγάλη ένταση ρεύματος που εμφανίζεται όταν κολλήσει ο δρομέας για οποιοδήποτε λόγο, και μάλιστα να αντέχουν στο ρεύμα αυτό για συνεχές άνοιγμα - κλείσιμο των επαφών.

Τα στοιχεία της θερμικής προστασίας τοποθετούνται από τον κατασκευαστή είτε έξω από το κέλυφος του ερμητικού κινητήρα είτε μέσα στο κέλυφος, αλλά όχι μέσα στο τύλιγμα ή τέλος μέσα στο τύλιγμα του κινητήρα.

Στο σχήμα 1.8ε φαίνεται η καλωδίωση μιας διατάξεως θερμικής προστασίας για τριφασικό κινητήρα με δυο όμως στοιχεία προστασίας, τα οποία είναι τοποθετημένα έξω από το στεγανό κέλυφος και λειτουργούν ελέγχοντας την υπερθερμοκρασία του κελύφους.

Στο σχήμα 1.8στ φαίνεται ο τρόπος που τοποθετούνται τα στοιχεία θερμικής προστασίας στο εσωτερικό ενός κινητήρα συμπιεστή ανοικτού τύπου.

Η κανονική θερμοκρασία λειτουργίας στα τυλίγματα του ηλεκτροκινητήρα είναι



Σχ. 1.8στ.
Διμεταλλικό στοιχείο θερμικής προστασίας μέσα στον κινητήρα.
α) Κινητήρας σε λειτουργία, κλειστές επαφές. β) Ανοικτές επαφές, διακοπή ρεύματος, κινητήρας εκτός λειτουργίας λόγω υπερθερμάνσεως.

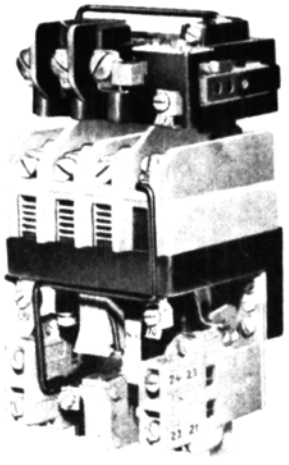
περίπου 52°C, αλλά εξαρτάται φυσικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα στην οποία λειτουργεί η μονάδα.

Τα στοιχεία θερμικής προστασίας διακόπτουν το ρεύμα όταν η θερμοκρασία υπερβεί μια περιοχή μεταξύ 93°C και 121°C, ανάλογα με την κατασκευή.

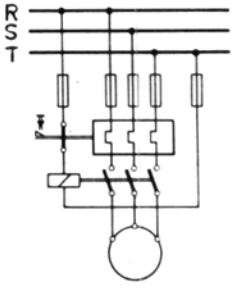
Μετά τη διακοπή αυτή ο κινητήρας πρέπει να κρυώσει, γιατί αλλοιώς οι επαφές της θερμικής προστασίας δεν κλείνουν ώστε να ξαναπεράσει ρεύμα. Στις περιπτώσεις αυτές ορισμένες φορές, χρειάζονται 1 ή 2 ώρες για να ξανακρυώσει το τύλιγμα του κινητήρα. Οι επαφές των στοιχείων θερμικής προστασίας ξανακλείνουν και ξαναπερνάει ρεύμα, μόνο όταν η θερμοκρασία φθάσει πάλι τους 66°C ως 79°C, ανάλογα πάλι με την κατασκευή.

Όταν οι επαφές είναι ανοικτές, από υπερθέρμανση, ο κινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει. Τα στοιχεία θερμικής προστασίας, που είναι τοποθετημένα μέσα στο τύλιγμα, στους ερμητικούς κινητήρες, δεν είναι προσιτά.

γ) ***Έλεγχος θερμοκρασίας.*** Οι διατάξεις αυτές προστασίας χρησιμοποιούνται στους μεγαλύτερους ηλεκτροκινητήρες μονοφασικούς ή τριφασικούς και τοποθε-



Σχ. 1.8ζ.
Αυτόματος διακόπτης προστασίας κινητήρα με θερμικά υπερεντάσεως.



Σχ. 1.8η.
Σύνδεση τριφασικού κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα στο δίκτυο με την ενδιάμεση σύνδεση αυτόματου διακόπτη με θερμικά υπερεντάσεως.

τούνται μέσα στα τυλίγματα. Συνήθως υπάρχουν τρεις τύποι μετρήσεως της θερμοκρασίας. Και οι τρεις όμως τύποι τελικά, όταν μετρηθεί υπερθερμοκρασία, διακόπτουν το ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνητικού αυτόματου διακόπτη προστασίας του ηλεκτροκινητήρα, και έτσι σταματούν τη λειτουργία του συμπιεστή.

Οι αυτόματοι διακόπτες προστασίας των κινητήρων, είναι σαν αυτόν που φαίνεται στο σχήμα 1.8ζ και διαγραμματικά στο σχήμα 1.8η. Όταν το πηνίο του ηλεκτρονόμου πάψει να τροφοδοτείται με ρεύμα, τότε ανοίγουν οι επαφές και διακόπτεται η παροχή ρεύματος στον ηλεκτροκινητήρα.

Στο κύκλωμα τροφοδοτήσεως του πηνίου συνδέεται σε σειρά ο διακόπτης του στοιχείου υπερθερμοκρασίας και απενεργοποιεί (ανοίγει) τις επαφές του αυτόματου προστασίας. Ο αυτόματος προστασίας δεν είναι πάνω στον ηλεκτροκινητήρα, αλλά συνήθως πάνω στον ηλεκτρικό πίνακα τροφοδοτήσεως του ηλεκτροκινητήρα.

Τα στοιχεία ελέγχου της υπερθερμοκρασίας, που τοποθετούνται μέσα στον κινητήρα, συνήθως στο τύλιγμα, ανήκουν συνήθως στους εξής τύπους:

- ***Διμεταλλικοί θερμοστάτες,*** δηλαδή ένας διμεταλλικός διακόπτης, που ανοίγει σε θερμοκρασία 93°C ως 121°C και διακόπτει το ρεύμα στο πηνίο του αυτόματου προστασίας του ηλεκτροκινητήρα. Το επαναφέρει πάλι μόνον όταν η θερμοκρασία στο τύλιγμα γίνει 66°C ως 79°C.
- ***Θερμίστορς****, δηλαδή ημιαγωγοί, των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται πολύ με τη θερμοκρασία. Ένα κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα μετράει την αντίσταση αυτή, άρα και τη θερμοκρασία, και διακόπτει το ρεύμα στο πηνίο

*Βλέπε στο βιβλίο «Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά - Αυτοματισμοί» Τεύχος Α', Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, σελ. 82.

του αυτόματου προστασίας, όταν διαπιστωθεί υπερθερμοκρασία. Οι τιμές των θερμοκρασιών είναι όπως αυτές που αναφέραμε παραπάνω.

— ***Θερμοστάτες μετρήσεως ρυθμού αυξήσεως θερμοκρασίας.*** Στις περιπτώσεις αυτές, όταν διαπιστώνεται γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας, διακόπτεται η τροφοδότηση του κινητήρα. Οι διατάξεις του είδους αυτού έχουν πιο γρήγορο χρόνο αντιδράσεως και διακόπτουν νωρίτερα το κύκλωμα, ώστε να μην αυξηθεί η υπερθερμοκρασία.

1.8.2 Διατάξεις ελέγχου.

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν οι διατάξεις προστασίας ή καλύτερα αυτοπροστασίας του ηλεκτροκινητήρα. Μένουν ακόμη να εξετασθούν οι διατάξεις ***ελέγχου,*** στις οποίες περιλαμβάνονται κυρίως οι διατάξεις εκκινήσεως.

Γενικά οι διατάξεις ελέγχου του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να εκπληρώνουν τις εξής απαιτήσεις ή να έχουν:

— Μέσα για την αποσύνδεση του κινητήρα και των διατάξεων ελέγχου από το δίκτυο.
— Μέσα για την εκκίνηση και στάση του κινητήρα.
— Μέσα προστασίας κινητήρα από υπερθέρμανση.
— Μέσα προστασίας του χειριστή.
— Μέσα ελέγχου της ταχύτητας λειτουργίας του συμπιεστή-κινητήρα.
— Μέσα προστασίας αγωγών τροφοδοτήσεως κινητήρα και συσκευών ελέγχου.

Για τις σημαντικότερες απαιτήσεις από αυτές, μπορούν να λεχθούν τα εξής:

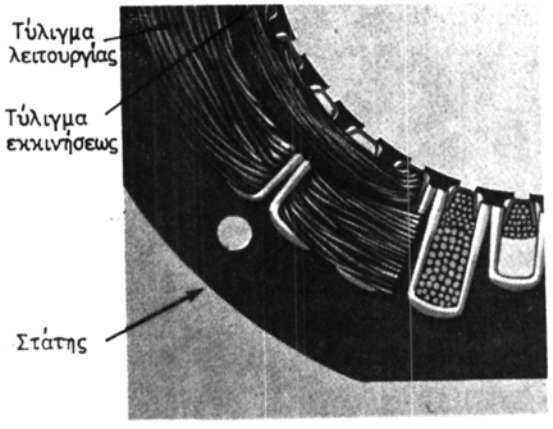
Τα μέσα για την αποσύνδεση του κινητήρα και των κυκλωμάτων ελέγχου είναι οι αυτόματοι διακόπτες προστασίας (σχήμα 1.8ζ) και οι κοινοί ασφαλοδιακόπτες, που συνδέουν τα μέρη της εγκαταστάσεως με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ανοίξομε τους διακόπτες αυτούς διακόπτεται η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και ακινητοποιείται η εγκατάσταση.

Τα μέσα για την εκκίνηση του κινητήρα, όπως επίσης και για τη ρύθμιση της ταχύτητας, αν υπάρχει τέτοια δυνατότητα, είναι πολλών ειδών και εξαρτώνται από το είδος του κινητήρα, όπως είδαμε στην παράγραφο 1.7. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά από τα πιο συνηθισμένα και δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στους μονοφασικούς κινητήρες, επειδή είναι οι περισσότεροι και επειδή έχουν και πιο σύνθετες διατάξεις.

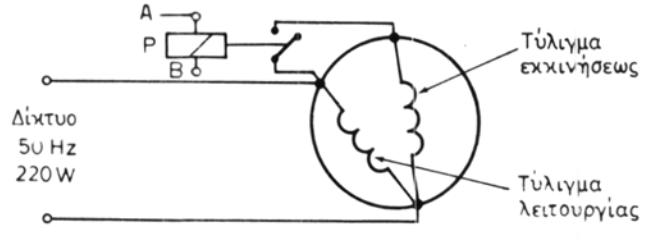
Οι μονοφασικοί επαγωγικοί κινητήρες, για να ξεκινήσουν, χρησιμοποιούν ένα βοηθητικό τύλιγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8θ, το οποίο συνδέεται για την εκκίνηση και συνήθως αποσυνδέεται όταν αυξηθεί ο αριθμός στροφών του κινητήρα.

Στους κινητήρες ανοικτού τύπου πολλές φορές αυτή η λειτουργία συνδέσεως - αποσυνδέσεως γίνεται με φυγοκεντρικό μηχανισμό, όπως στα σχήματα 1.7α, 1.7γ και 1.7ε, ο οποίος αποσυνδέει το τύλιγμα εκκινήσεως.

Στους κινητήρες όμως των ερμητικών ή ημιερμητικών συμπιεστών η σύνδεση - αποσύνδεση του τυλίγματος εκκινήσεως γίνεται με κατάλληλο ηλεκτρονόμο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8ι. Για να εκκινήσει ο κινητήρας πρέπει η επαφή του



Σχ. 1.8θ.
Τομή σε στάτη όπου φαίνονται το τύλιγμα λειτουργίας και το τύλιγμα εκκινήσεως.



Σχ. 1.8ι.
Σχηματική διάταξη συνδέσεως τυλίγματος εκκινήσεως.

ηλεκτρονόμου να είναι κλειστή, ώστε να περνάει ρεύμα στο τύλιγμα εκκινήσεως. Όταν αυξηθούν οι στροφές, τότε η επαφή του ηλεκτρονόμου πρέπει να ανοίξει.

Το άνοιγμα και το κλείσιμο αυτό γίνεται με τον ηλεκτρομαγνήτη, που έχει πηνίο με ακροδέκτες ΑΒ οι οποίοι πρέπει να συνδεθούν κατάλληλα.

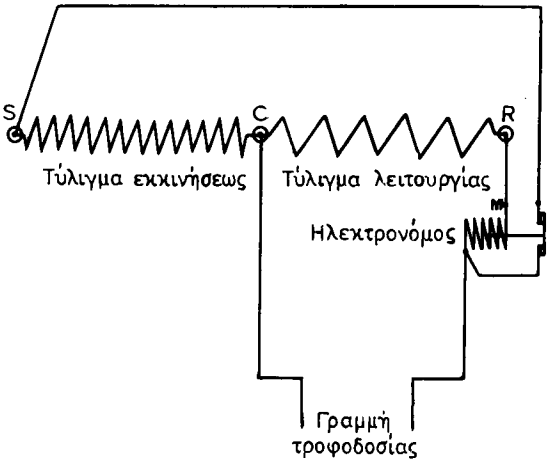
Το άνοιγμα των επαφών, δηλαδή η αποσύνδεση του τυλίγματος εκκινήσεως, ελέγχεται συνήθως με τρεις τρόπους, οι οποίοι εξετάζουν ή μετρούν τα εξής μεγέθη:

- Ρεύμα τυλίγματος λειτουργίας.
- Διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος εκκινήσεως.
- Θερμοκρασία.

Κάθε ένας από τους τρόπους αυτούς είναι καταλληλότερος για διαφορετικό τύπο ηλεκτροκινητήρα, όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

α) Ρεύμα τυλίγματος λειτουργίας.

Η σχηματική διάταξη του τρόπου αυτού συνδεσμολογίας φαίνεται στο σχήμα 1.8ια. Μόλις ο κινητήρας τροφοδοτείται από το δίκτυο, τότε στην αρχή διαρρέεται από ρεύμα με μεγαλύτερη ένταση από ό,τι στην κανονική λειτουργία και έτσι μέσα



Σχ. 1.8ια.

Καλωδίωση κινητήρα με βοηθητική φάση εκκινήσεως. Ηλεκτρονόμος ρεύματος τυλίγματος λειτουργίας.

C) Κοινός ακροδέκτης. R) Ακροδέκτης λειτουργίας. S) Ακροδέκτης εκκινήσεως. Ο) Διακόπτης ελέγχου.

από το πηνίο του ηλεκτρονόμου περνάει ισχυρό ρεύμα, που τον ενεργοποιεί. Ο ηλεκτρομαγνήτης έλκει τότε τον οπλισμό του και κλείνουν οι επαφές. Έτσι τροφοδοτείται το τύλιγμα εκκινήσεως και ο κινητήρας αρχίζει να περιστρέφεται. Με την αύξηση του αριθμού στροφών, το ρεύμα στο τύλιγμα λειτουργίας πέφτει σταδιακά και από ένα σημείο και μετά δεν αρκεί για να συγκρατήσει τον ηλεκτρονόμο, που αποδιεγείρεται και έτσι ανοίγουν οι επαφές του και παύει να τροφοδοτείται το τύλιγμα εκκινήσεως.

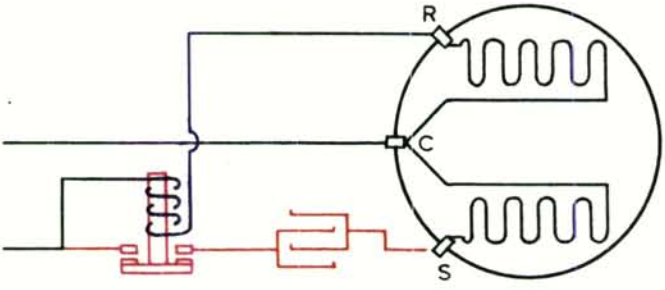
Όπως όμως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.7 το ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα τόσο για την εκκίνηση, όσο και για τη λειτουργία, εξαρτάται από την τάση του δικτύου. Για το λόγο αυτόν, όταν υπάρχουν μεγάλες μεταβολές στην τάση του δικτύου, πιθανόν ο ηλεκτρονόμος ρεύματος να μην απενεργοποιείται στον κατάλληλο αριθμό περιστροφών.

Η αποσύνδεση του κυκλώματος εκκινήσεως ρυθμίζεται να γίνεται για τους 4πολικούς κινητήρες στο 70-90% του αριθμού στροφών σύγχρονης λειτουργίας και σε μικρότερο αριθμό στροφών για τους διπολικούς κινητήρες, επειδή οι τελευταίοι επιταχύνονται πολύ πιο γρήγορα.

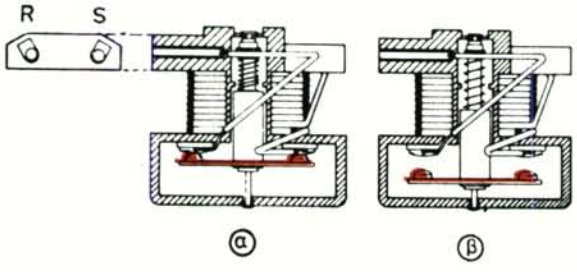
Ο τρόπος αυτός ελέγχου της εκκινήσεως εφαρμόζεται και σε επαγωγικούς κινητήρες με πυκνωτή εκκινήσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8ιβ.

Στο σχήμα 1.8ιγ υπάρχει η σχηματική διάταξη ενός τύπου ηλεκτρονόμου εντάσεως, ενώ στα σχήματα 1.8ιδ και 1.8ιε δίνονται οι εικόνες δυο ηλεκτρονόμων εκκινήσεως του τύπου αυτού.

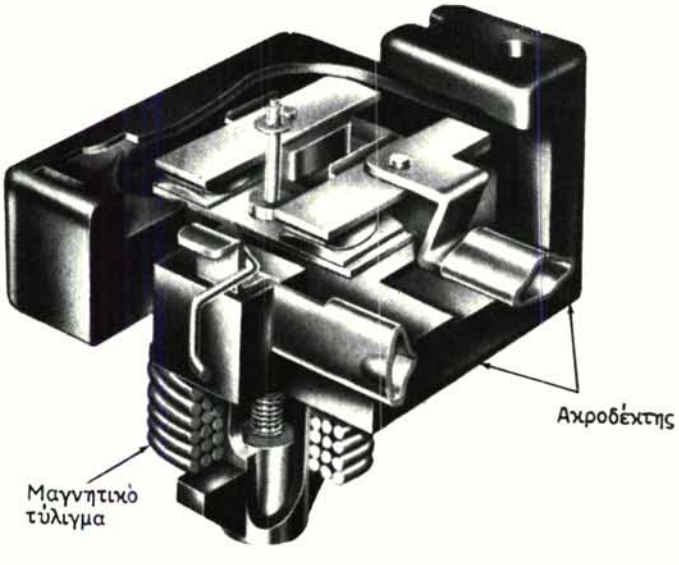
Στον τύπο του σχήματος 1.8ιε υπάρχει η ηλεκτρική αντίσταση (1), η οποία, όταν υπερθερμανθεί από υπερβολικό ρεύμα, θερμαίνει το διμεταλλικό στοιχείο (2). Αυτό τότε ανοίγει και διακόπτει το κύκλωμα στις επαφές της θέσεως (3). Κατά την εκκίνηση το πηνίο έλκει τον οπλισμό και κλείνει τις επαφές (3).



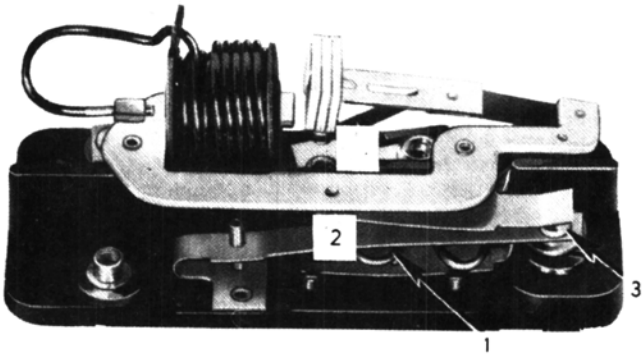
Σχ. 1.8ιβ.
Αρχή λειτουργίας επαγωγικού κινητήρα με πυκνωτή εκκινήσεως και ηλεκτρονόμο εντάσεως.
C) Κοινός ακροδέκτης. S) Ακροδέκτης εκκινήσεως. R) Ακροδέκτης λειτουργίας.



Σχ. 1.8ιγ.
Ηλεκτρονόμος εντάσεως.
α) Επαφές κλειστές, για εκκίνηση κινητήρα. β) Επαφές ανοικτές για λειτουργία κινητήρα.



Σχ. 1.8ιδ.
Ηλεκτρονόμος εντάσεως για εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων με βοηθητική φάση (τύλιγμα εκκινήσεως).



Σχ. 1.8ιε.
Ηλεκτρονόμος εντάσεως με προστασία υπερεντάσεως.
1. Ηλεκτρική αντίσταση. 2. Διμεταλλικό στοιχείο. 3. Επαφές.

Οι ηλεκτρονόμοι εντάσεως είναι ρυθμισμένοι στα ονομαστικά όρια ρεύματος για εκκίνηση και λειτουργία από τον κατασκευαστή τους. Όταν όμως η τάση του δικτύου πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια, τότε υπάρχει φόβος το τύλιγμα εκκινήσεως να μην αποσυνδέεται, γιατί το ρεύμα λειτουργίας παραμένει σε υψηλές τιμές και ο ηλεκτρονόμος εντάσεως δεν ανοίγει. Στην περίπτωση αυτή ο κινητήρας μπορεί να καεί.

β) Διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος εκκινήσεως.

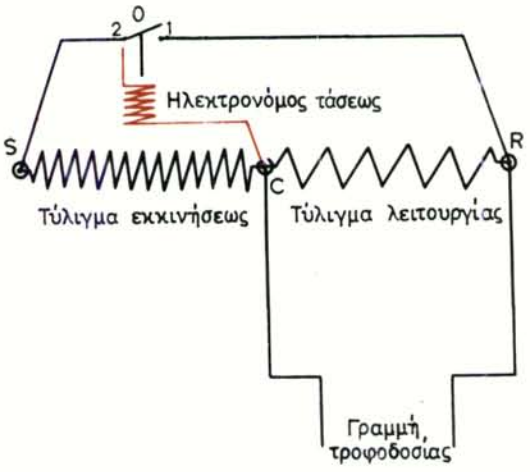
Όταν ο κινητήρας αρχίσει να περιστρέφεται, τότε στην άκρη του τυλίγματος εκκινήσεως εμφανίζεται και μια ηλεκτρεγερτική δύναμη εξ επαγωγής, η οποία προστίθεται και αυξάνει την τάση που επικρατεί στα άκρα του τυλίγματος διεγέρσεως. Το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιείται για την αποδιέγερση του ηλεκτρονόμου εκκινήσεως.

Στο σχήμα 1.8ιστ φαίνεται η σχηματική συνδεσμολογία της μεθόδου αυτής. Όταν ο κινητήρας συνδεθεί στο δίκτυο, η επαφή 0 είναι κλειστή και ανάμεσα στα άκρα του τυλίγματος εκκινήσεως (της βοηθητικής φάσεως) S και C επικρατεί η τάση δικτύου, η οποία εφαρμόζεται και στο πηνίο του ηλεκτρονόμου. Με την περιστροφή του κινητήρα η τάση αυξάνει μεταξύ των σημείων S και C και έτσι ο ηλεκτρονόμος διεγείρεται και ανοίγει τις επαφές του, αποσυνδέοντας το τύλιγμα εκκινήσεως.

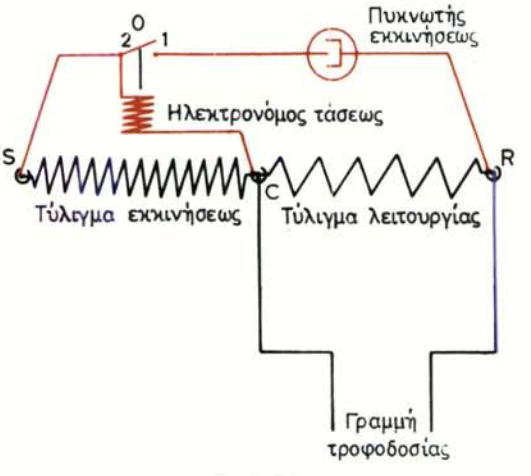
Ο τρόπος αυτός ελέγχου εφαρμόζεται σε κινητήρες ερμητικών συμπιεστών, με ισχύ μεγαλύτερη από 1/2 HP, όταν ο τύπος τους είναι με πυκνωτή εκκινήσεως ή πυκνωτή εκκινήσεως και πυκνωτή λειτουργίας. Η αντίστοιχη συνδεσμολογία φαίνεται στα σχήματα 1.8ιζ και 1.8ιη.

Η εικόνα ενός ηλεκτρονόμου τάσεως φαίνεται στο σχήμα 1.8ιθ.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 1.8ιστ, το πηνίο του ηλεκτρονόμου τάσεως είναι μόνιμα συνδεμένο στα άκρα του τυλίγματος εκκινήσεως. Με τον τρόπο αυτό σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, από το πηνίο περνάει ρεύμα, που ζεσταίνει το τύλιγμα εκκινήσεως. Η αντίσταση του πηνίου συνεπώς πρέπει να είναι



Σχ. 1.8ιστ.
Καλωδίωση επαγωγικού κινητήρα με βοηθητική φάση και ηλεκτρονόμο τάσεως.
C) Κοινός ακροδέκτης. R) Ακροδέκτης λειτουργίας. S) Ακροδέκτης εκκινήσεως. Ο) Επαφή ηλεκτρονόμου.

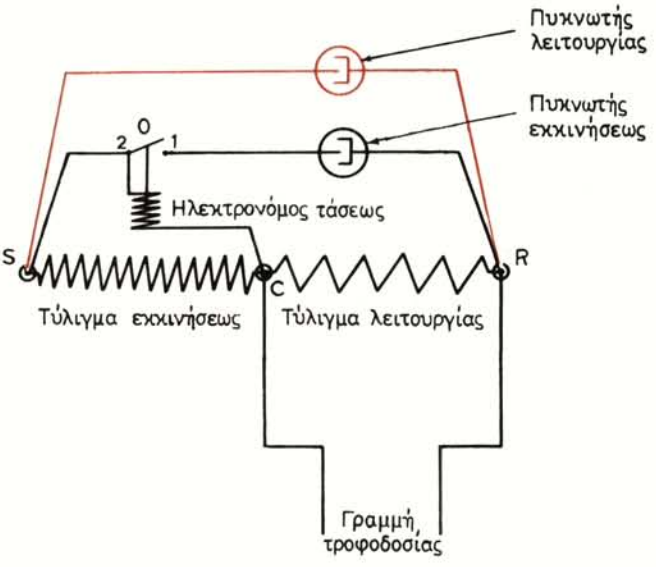


Σχ. 1.8ιζ.
Επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκινήσεως και ηλεκτρονόμο τάσεως.
C) Κοινός ακροδέκτης. R) Ακροδέκτης τυλίγματος λειτουργίας. S) Ακροδέκτης τυλίγματος εκκινήσεως. Ο) Επαφή ηλεκτρονόμου.

αρκετά μεγάλη, ώστε το ρεύμα να είναι ελάχιστο, για να αποφεύγεται υπερθέρμανση του τυλίγματος εκκινήσεως.

γ) Θερμοκρασία.

Όταν ξεκινάει ο κινητήρας, μια ηλεκτρική επαφή, που κανονικά είναι κλειστή, δίνει ρεύμα από το δίκτυο και στο τύλιγμα εκκινήσεως. Η επαφή αυτή ελέγχεται από μια αντίσταση που σιγά-σιγά ζεσταίνεται. Μόλις η θερμοκρασία της αντιστάσεως



Σχ. 1.8ιη.

Επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτές εκκινήσεως και λειτουργίας.
C) Κοινός ακροδέκτης. R) Ακροδέκτης τυλίγματος λειτουργίας. S) Ακροδέκτης τυλίγματος εκκινήσεως. O) Επαφή ηλεκτρονόμου.

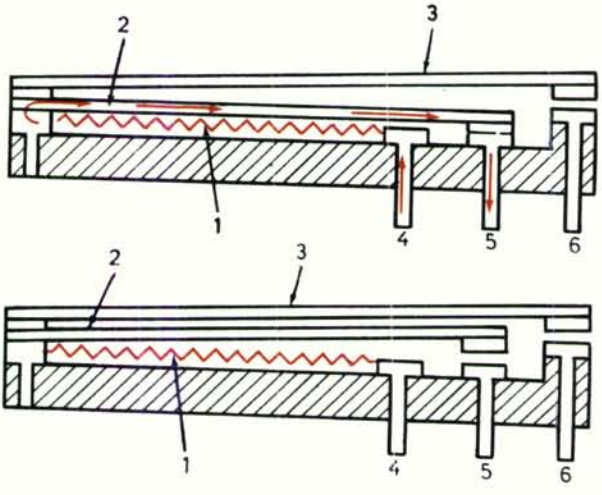


Σχ. 1.8ιθ.

Ηλεκτρονόμος τάσεως. Όταν έλκεται ο οπλισμός ανοίγει τις επαφές στα αριστερά και διακόπτει την τροφοδότηση του κυκλώματος εκκινήσεως.

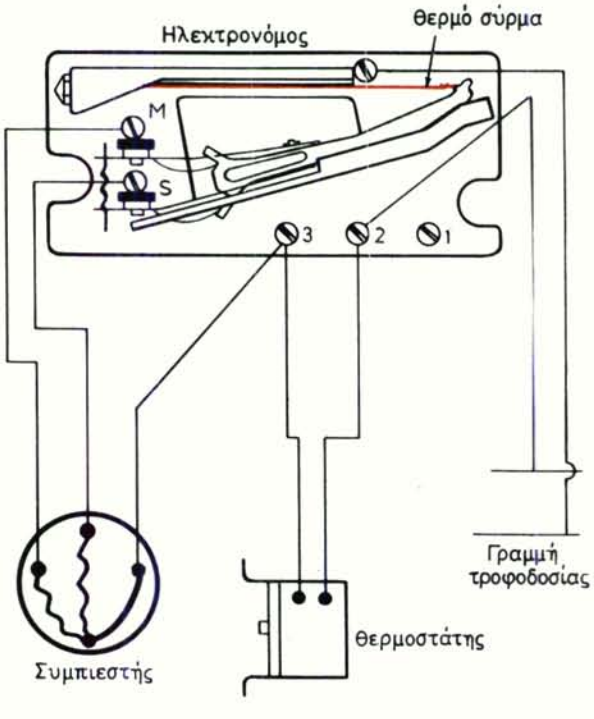
φθάνει σε ορισμένη τιμή, τότε η επαφή ανοίγει και διακόπτει την τροφοδότηση του τυλίγματος εκκινήσεως. Ο χρόνος που περνάει μέχρι που να ανοίξουν οι επαφές, ρυθμίζεται από το μέγεθος της αντιστάσεως, το οποίο προσδιορίζεται σε συνδυασμό με το μέγεθος και το είδος του συμπιεστή του κινητήρα και του ηλεκτρονόμου.

Υπάρχουν δυο τύποι θερμοκρασιακών ηλεκτρονόμων. Ο ένας τύπος χρησιμοποιεί διμεταλλικό έλασμα ενώ ο άλλος τη διαστολή μήκους ενός θερμαινόμενου σύρματος.



Σχ. 1.8κ.

Θερμοκρασιακός ηλεκτρονόμος εκκινήσεως με διμεταλλικό έλασμα.
1. Αντίσταση θερμάνσεως. 2. Διμεταλλικό τυλίγματος λειτουργίας. 3. Διμεταλλικό τυλίγματος εκκινήσεως. 4. Ακροδέκτης δικτύου (κοινός). 5. Ακροδέκτης τυλίγματος λειτουργίας. 6. Ακροδέκτης τυλίγματος εκκινήσεως.



Σχ. 1.8κα.

Σχηματικό διάγραμμα ενός θερμοκρασιακού ηλεκτρονόμου που θερμαίνεται με σύρμα.
S) Επαφή τυλίγματος εκκινήσεως. M) Επαφή τυλίγματος λειτουργίας.

Η αρχή λειτουργίας του διμεταλλικού θερμοκρασιακού ηλεκτρονόμου φαίνεται στο σχήμα 1.8κ.

Στο επάνω μέρος του σχήματος το τύλιγμα εκκινήσεως έχει διακοπεί, ενώ λειτουργεί το τύλιγμα λειτουργίας. Στο κάτω μέρος έχει διακοπεί και το τύλιγμα λειτουργίας από υπερβολική θέρμανση. Στην ουσία δηλαδή, το είδος αυτό του διμεταλλικού θερμοκρασιακού ηλεκτρονόμου δεν εξυπηρετεί μόνο την εκκίνηση, αλλά παρέχει και θερμική προστασία, όπως αναπτύχθηκε στα προηγούμενα.

Η αρχή λειτουργίας του θερμοκρασιακού ηλεκτρονόμου με θερμαινόμενο σύρμα φαίνεται στο σχήμα 1.8κα. Οι επαφές S και Μ που συνδέουν αντίστοιχα τα τυλίγματα εκκινήσεως και λειτουργίας είναι στην αρχή, όταν το σύρμα είναι κρύο, κλειστές και έτσι τροφοδοτούνται τα δυο τυλίγματα. Μετά την εκκίνηση, η επαφή S ανοίγει και διακόπτει την τροφοδότηση στο τύλιγμα εκκινήσεως. Η επαφή Μ παραμένει κλειστή για να λειτουργεί ο κινητήρας. Μόνο σε περίπτωση ανωμαλίας υπερθερμαίνεται περισσότερο το σύρμα και ανοίγει και η επαφή αυτή.

Έτσι και στην περίπτωση αυτού του τύπου ο θερμοκρασιακός ηλεκτρονόμος λειτουργεί και ως θερμική προστασία ή τουλάχιστον ως θερμικό υπερεντάσεως.

Οι υπόλοιπες διατάξεις αυτοματισμού και προστασίας ολόκληρης της εγκαταστάσεως, όχι μόνο του ηλεκτροκινητήρα, εξετάζονται σε επόμενο κεφάλαιο του βιβλίου αυτού.

1.9 Ρύθμιση ψυκτικής ισχύος εμβολοφόρων συμπιεστών.

Σε πολλές εφαρμογές οι ψυκτικές εγκαταστάσεις έχουν ψυκτικά φορτία, τα οποία μεταβάλλονται είτε εποχιακά, είτε κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Πρέπει, για το λόγο αυτό, η ψυκτική ισχύς να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις.

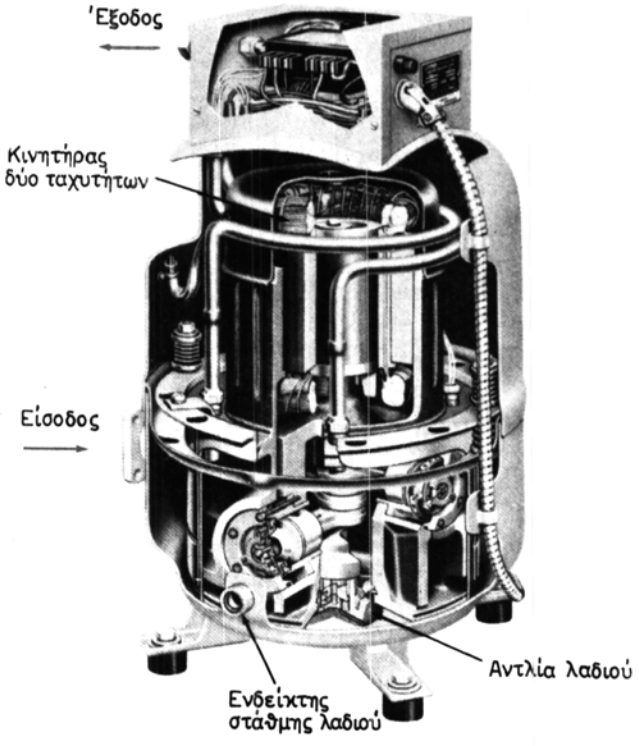
Όταν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις, όπου πολλοί παράλληλοι συμπιεστές εξυπηρετούν τα φορτία της, τότε η προσαρμογή στα φορτία μπορεί να γίνει με την ενεργοποίηση ή τη θέση εκτός λειτουργίας των καταλλήλων συμπιεστών από το μηχανοστάσιο.

Σε πολλές εφαρμογές όμως υπάρχει ένας σχετικά μεγάλος συμπιεστής, ο οποίος καλύπτει όλες τις ανάγκες των φορτίων. Σε αρκετές περιπτώσεις, ο συμπιεστής αυτός πρέπει να λειτουργεί για ολόκληρους μήνες με μειωμένη ισχύ, και έτσι υπάρχει ανάγκη προσαρμογής της λειτουργίας του ανάλογα με τα φορτία. Παράδειγμα του τύπου αυτού είναι οι κτηριακές εγκαταστάσεις κλιματισμού, που συνήθως εξυπηρετούνται από ένα μόνο συμπιεστή ψυκτικού μέσου.

Μέχρι σήμερα, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλοί τρόποι για την προσαρμογή ή ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος των εμβολοφόρων συμπιεστών, από τους οποίους μερικοί αναφέρονται με συντομία στα ακόλουθα:

α) Ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών με πολλές ταχύτητες.

Με τον τρόπο αυτό, δηλαδή την αλλαγή του αριθμού περιστροφών του συμπιεστή, επιτυγχάνεται μεταβολή της παροχής του ψυκτικού μέσου και συνεπώς και της ψυκτικής ισχύος της εγκαταστάσεως. Συνήθως χρησιμοποιούνται κινητήρες δυο ταχυτήτων και έτσι το μερικό φορτίο είναι το μισό ή το ένα τρίτο του μέγιστου. Μια κατασκευή του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 1.9α. Πρόκειται για



Σχ. 1.9α.
Ερμητικός συμπιεστής με τριφασικό κινητήρα δυο ταχυτήτων. Η αλλαγή επιτυγχάνεται με μεταγωγή του αριθμού πόλων του κινητήρα από 2-πολικό σε 4-πολικό.

ένα τρικύλινδρο συμπιεστή, ο οποίος λειτουργεί σε τριφασικό δίκτυο, είτε ως τετραπολικός είτε ως διπολικός· συνεπώς εργάζεται και με αριθμό στροφών ίσο προς το μισό του ονομαστικού αριθμού.

Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται σχετική προσοχή στη λειτουργία της αντλίας λιπάνσεως η οποία πρέπει να παρέχει ικανοποιητική λίπανση και για το μικρότερο αριθμό στροφών.

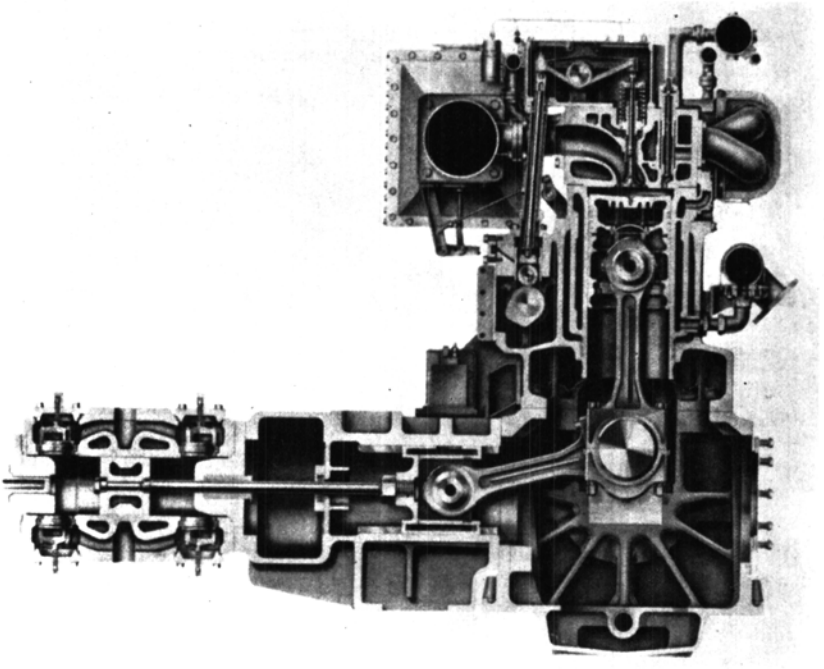
β) Ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών με μεταβλητό αριθμό στροφών.

Ο τρόπος αυτός ρυθμίσεως της ψυκτικής ισχύος δεν εφαρμόζεται παρά μόνο σε εντελώς ειδικές περιπτώσεις, γιατί οι ηλεκτροκινητήρες του είδους αυτού στοιχίζουν πολύ πιο ακριβά.

γ) Θύλακες χώρου εμβολισμού.

Με τη μέθοδο αυτή, όταν το ψυκτικό φορτίο μειωθεί, τότε ανοίγουν χειροκίνητα ή αυτόματα βαλβίδες, που αυξάνουν το χώρο εμβολισμού. Έτσι ένα μέρος του ατμού του ψυκτικού μέσου συμπιέζεται και αποσυμπιέζεται χωρίς να εγκαταλείπει το χώρο του κυλίνδρου.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 1.9β.
Μηχανή εσωτερικής καύσεως (κατακόρυφη) και συμπιεστής ψυκτικού μέσου (οριζόντιος) στην ίδια στροφαλοφόρο άτρακτο.

Αυτό συντελεί στη μείωση της παροχής ψυκτικού μέσου προς το συμπιεστή καθώς και στην οικονομία μηχανικής ενέργειας. Η οικονομία επιτυγχάνεται γιατί η αποσυμπίεση του ατμού, που παραμένει στους θύλακες, αποδίδει ξανά το ίδιο περίπου μηχανικό έργο, που είχε καταναλωθεί για τη συμπίεσή του.

Στο σχήμα 1.9β φαίνεται μια παλιότερη κατασκευή, όπου η ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος γίνεται με θύλακες του χώρου εμβολισμού. Η μηχανή αυτή είναι συνδυασμός κινητήρα εσωτερικής καύσεως (κατακόρυφος κύλινδρος) και συμπιεστή ψυκτικού μέσου (οριζόντιος κύλινδρος).

δ) Βραχυκύκλωμα κυλίνδρων.

Με τον τρόπο αυτό της ρυθμίσεως ισχύος των συμπιεστών, ο ατμός, που εκδιώκεται με τον εμβολισμό, οδηγείται ξανά στο χώρο χαμηλής πιέσεως από όπου και ξαναναρροφάται.

Οι κύλινδροι, που απενεργοποιούνται, έχουν ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες στην έξοδό τους, που εξασφαλίζουν τις απαραίτητες συνδέσεις.

ε) Θυρίδες κυλίνδρων.

Οι θυρίδες αυτές, με κατάλληλες βαλβίδες, βρίσκονται στα πλευρά των κυλίνδρων και όταν ανοίγουν αφήνουν τον ατμό που συμπιέζεται να ξαναφεύγει πάλι

προς την αναρρόφηση. Έτσι πραγματική συμπίεση γίνεται μόνο από τη θέση των ανοικτών θυρίδων και μετά. Με τη μέθοδο αυτή, όταν οι θυρίδες είναι ανοικτές, ελαττώνεται η παροχή ψυκτικού μέσου του συμπιεστή και συνεπώς και η ισχύς του.

στ) Ανύψωση βαλβίδων εισαγωγής.

Οι κύλινδροι που δεν συνεισφέρουν πια στην ψυκτική ισχύ, απενεργοποιούνται με άνοιγμα, συνήθως ανύψωση, των βαλβίδων εισαγωγής. Κάθε κύλινδρος έχοντας συνεχώς ανοικτές τις βαλβίδες εισαγωγής, αναρροφά και εκδιώκει τον ατμό χαμηλής πιέσεως πάλι προς το θάλαμο χαμηλής πιέσεως και έτσι ο κύλινδρος αυτός δεν συμβάλλει στη συμπίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου.

Η ανύψωση των βαλβίδων εισαγωγής γίνεται με διάταξη που ενεργοποιείται από την πίεση του λαδιού λιπάνσεως. Στο σχήμα 1.9γ φαίνεται η ρυθμιστική διάταξη ανοίγματος βαλβίδων εισαγωγής.

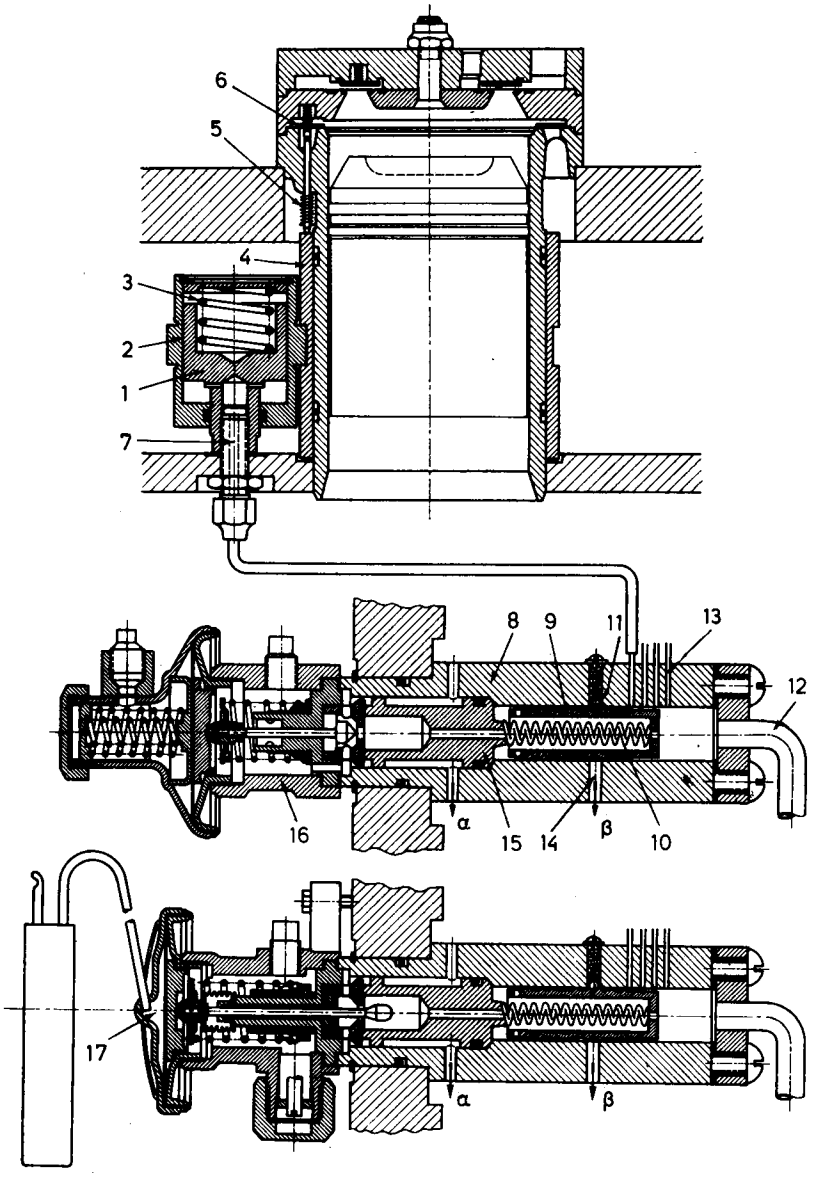
Στο πάνω μέρος του σχήματος και στο αριστερό μέρος του κυλίνδρου φαίνεται ο βοηθητικός κύλινδρος, που ενεργοποιείται με λάδι λιπάνσεως προερχόμενο από το σύρτη διανομής. Ο σύρτης διανομής, στη μέση και κάτω μέρος του σχήματος, ανάλογα με τη θέση του αυλακωτού εμβόλου (9), στέλνει λάδι και αδρανοποιεί περισσότερους ή λιγότερους κυλίνδρους συμπιέσεως ατμού ψυκτικού μέσου, ανάλογα με τη ζήτηση ψυκτικής ισχύος. Η αντίστοιχη θέση του αυλακωτού εμβόλου καθορίζεται από τις αντίστοιχες διατάξεις που φαίνονται στο σχήμα 1.9γ. Η διάταξη, στη μέση της εικόνας είναι πιεζοστατική, δηλαδή λειτουργεί με την πίεση που επικρατεί στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Όσο αυξάνει η πίεση, δηλαδή όσο αυξάνει η θερμοκρασία στο στοιχείο ατμοποιήσεως, τόσο περισσότεροι κύλινδροι ψυκτικού μέσου μπαίνουν σε ενεργό λειτουργία και αντίστροφα.

Στο κάτω μέρος της εικόνας 1.9γ υπάρχει μια αντίστοιχη διάταξη, που είναι θερμοστατική. Δηλαδή στο χώρο 17 πάνω στη μεμβράνη υπάρχει κατάλληλο ψυκτικό μέσο που βρίσκεται και στο βολβό (αμπούλα) ο οποίος συνδέεται μαζί του. Ο βολβός αυτός είναι στερεωμένος στο σωλήνα κρύου ατμού, στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Όταν η θερμοκρασία στη θέση αυτή ανεβαίνει, τότε η πίεση του ατμού μέσα στο βολβό μεγαλώνει και σπρώχνει στο χώρο 17 τη μεμβράνη προς τα δεξιά. Με τον τρόπο αυτό ανοίγει το στέλεχος της μεμβράνης μια δίοδο και το λάδι πιέζει τον αυλακωτό κύλινδρο του σύρτη προς τα δεξιά, ώστε να μην πηγαίνει λάδι στους κυλίνδρους τους βοηθητικούς και έτσι οι κύριοι κύλινδροι παραμένουν σε λειτουργία με πλήρη ισχύ.

Μια αντίστοιχη διάταξη φαίνεται και στο σχήμα 1.9δ. Εδώ οι βαλβίδες εισαγωγής ανοίγουν με το δίχαλο (18), που κινείται πάλι από ένα υδραυλικό έμβολο και μετατοπίζει έναν κοίλο κύλινδρο (20), ο οποίος τελικά ανοίγει τη βαλβίδα εισαγωγής.

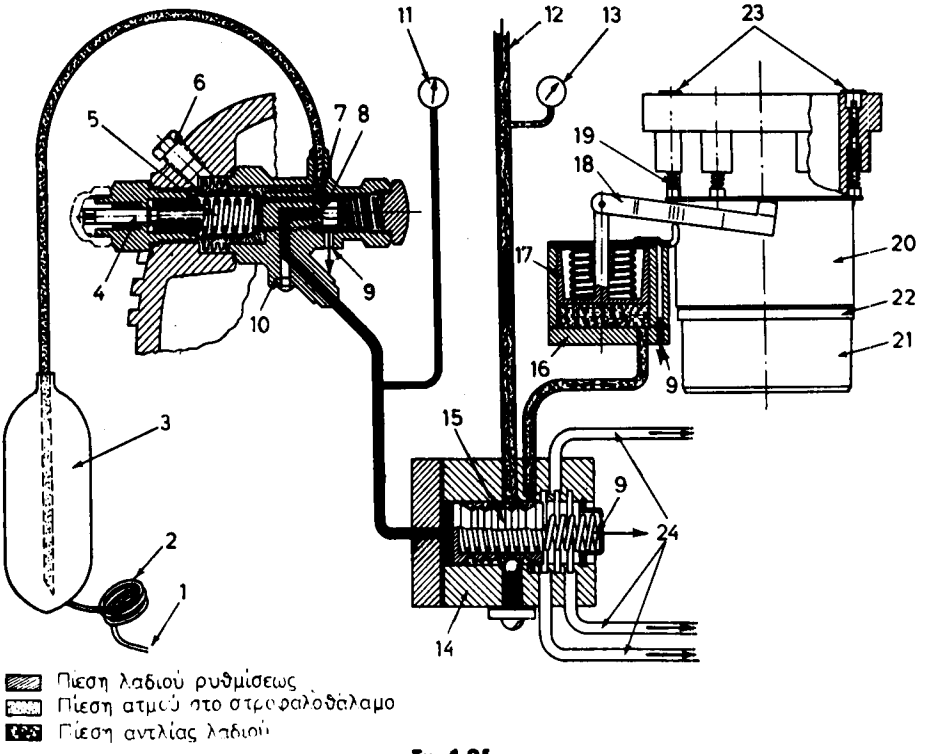
Οι τρόποι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα αφορούν μεσαίες ή μεγάλες εγκαταστάσεις ψυκτικής ισχύος. Σε μικρές όμως διατάξεις δεν χρησιμοποιούνται ρυθμίσεις του είδους αυτού γιατί είναι δαπανηρές. Στις μικρές εγκαταστάσεις, όταν είναι ανάγκη να ρυθμισθεί η ψυκτική ισχύς, φορτίζεται τεχνητά ο συμπιεστής με ένα ποσό θερμότητας, που δεν είναι ψυκτικό φορτίο, ή με παράκαμψη μέρους του ψυκτικού μέσου.

Συνήθως γίνεται αντισταθμιστική φόρτιση, με το θερμό ατμό που ξεκινά από το συμπιεστή προς το συμπυκνωτή. Ο ατμός αυτός ψύχεται με ένα μέρος του υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο αποτονώνεται σε μια παράλληλη διάταξη στραγγαλισμού και έτσι ατμοποιείται με μέρος της θερμότητας που αφαιρείται από τον υπέρ-



Σχ. 1.9γ.

Ρυθμιστής ψυκτικής ισχύος με άνοιγμα βαλβίδων εισαγωγής.
1. Βοηθητικό έμβολο. 2. Βοηθητικός κύλινδρος. 3. Ελατήριο αντιθλίψεως. 4. Κυλινδρική ολίσθηση. 5. Βύσμα με ελατήριο. 6. Βαλβίδα εισαγωγής. 7. Εισαγωγή λαδιού στο βοηθητικό κύλινδρο. 8. Κύλινδρος του σύρτη διανομής. 9. Αυλακωτό έμβολο του σύρτη διανομής. 10. Ελικοειδές ελατήριο. 11. Σφαίρα και ελατήριο. 12. Εισαγωγή λαδιού στο σύρτη. 13. Σωλήνες λαδιού προς τους βοηθητικούς κυλίνδρους. 14. Επιστροφή λαδιού προς ελαιολεκάνη. 15. Ενδιάμεσο εξάρτημα. 16. Βαλβίδα συγκρατήσεως σταθερής πιέσεως. 17. Θερμοστατική ρυθμιστική βαλβίδα.



Σχ. 1.96.

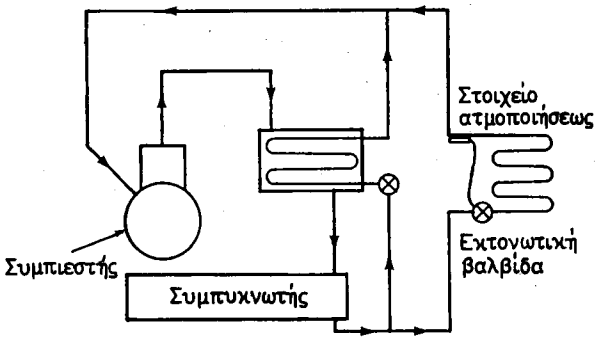
Ρύθμιση ψυκτικής ισχύος με άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής.
1. Πίεση ατμού ψυκτικού μέσου από το στροφαλοθάλαμο. 2. Τριχοειδής σωλήνας. 3. Δοχείο εξισώσεως πιέσεως. 4. Άτρακτος εξωτερικής ρυθμίσεως. 5. Ρυθμιστικό ελατήριο. 6. Στόμιο συνδέσεως με πνευματική ρύθμιση. 7. Στέλεχος πιέσεως. 8. Έδρα βαλβίδας. 9. Αγωγός επιστροφής λαδιού. 10. Βαλβίδα ρυθμίσεως ισχύος. 11. Ενδεικτικό πιέσεως ρυθμίσεως. 12. Από την αντλία λαδιού του συμπιεστή. 13. Ενδεικτικό πιέσεως λαδιού. 14. Υδραυλικός σύρτης διανομής πιέσεως. 15. Έμβολο ρυθμίσεως. 16. Ενισχυτής δυνάμεως. 17. Έμβολο του ενισχυτή δυνάμεως. 18. Δίχαλο. 19. Κονδύλια και ελατήρια για την ανύψωση των βαλβίδων εισαγωγής. 20. Χιτώνιο ανυψώσεως βαλβίδων. 21. Χιτώνιο κυλίνδρου. 22. Δακτύλιος τερματισμού. 23. Δακτυλιόμορφη βαλβίδα εισαγωγής. 24. Αγωγοί προς ενισχυτές δυνάμεως (έμβολα υδραυλικά) άλλων κυλίνδρων.

θερμο ατμό. Η κυκλωματική διάταξη του είδους αυτού της αντισταθμιστικής φορτίσεως φαίνεται στο σχήμα 1.9ε.

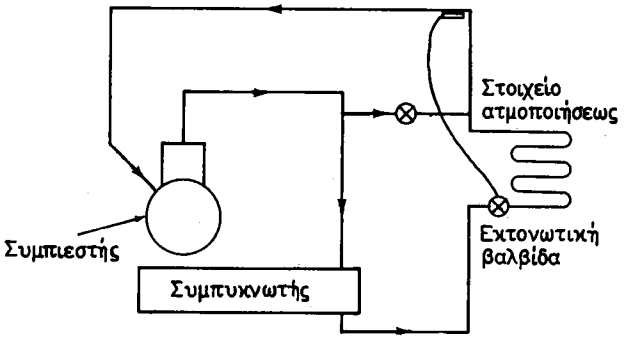
Συνήθως η στραγγαλιστική διάταξη της αντισταθμιστικής θερμικής φορτίσεως είναι πιεζοστατική, όπως περιγράφεται με λεπτομέρεια σε επόμενο κεφάλαιο.

Άλλος τρόπος ρυθμίσεως της ψυκτικής ισχύος, ο οποίος όμως δεν κάνει οικονομία ενέργειας, αλλά απλώς προσαρμόζει τη διάταξη στα φορτία, είναι η παράκαμψη (by pass) του συμπυκνωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.9στ.

Οι τρόποι αυτοί επεμβάσεως στη λειτουργία των συμπιεστών, δηλαδή η αντισταθμιστική φόρτιση, και η παράκαμψη, μάλλον προστατεύουν την εγκατάσταση από του να δουλεύει σε πολύ χαμηλή πίεση στο στοιχείο ατμοποιήσεως, παρά ρυθμίζουν τη λειτουργία της με μεταβαλλόμενα φορτία. Η προστασία αυτή έχει διπλή έννοια. Πρώτα αποφεύγεται η δημιουργία υπερβολικής ποσότητας χιονιού ή

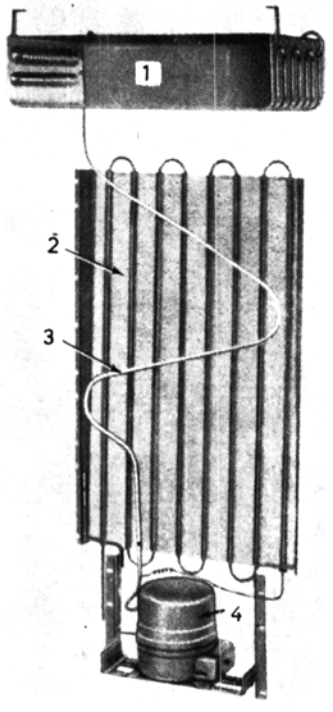


Σχ. 1.9ε.
Αντισταθμιστική θερμική φόρτιση, ψυκτικής διατάξεως.

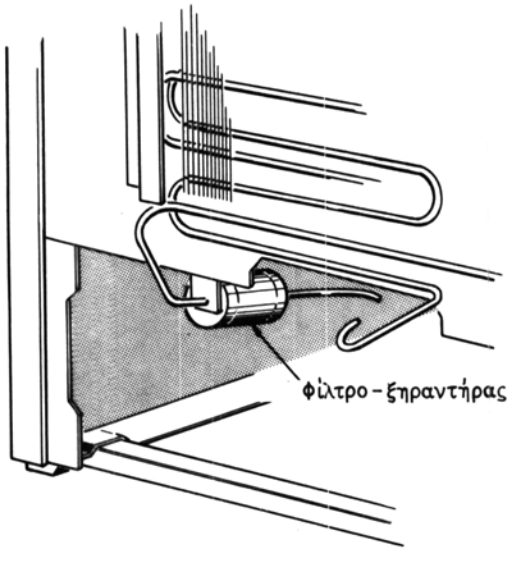


Σχ. 1.9στ.
Διάταξη παρακάμψεως συμπυκνωτή με θερμό ατμό.

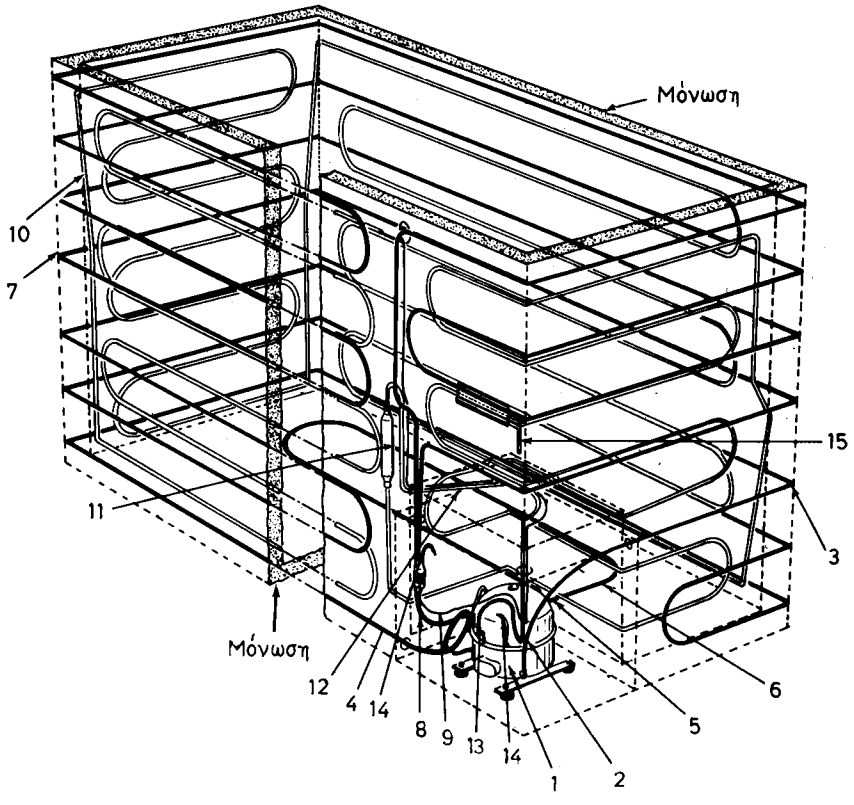
πάγου, στην επιφάνεια του στοιχείου ατμοποιήσεως από τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και δεύτερον αποφεύγεται η είσοδος αέρα στο στοιχείο ατμοποιήσεως, λόγω του κενού που επικρατεί.



Σχ. 2.2β.
Ψυκτικό συγκρότημα ψυγείου.
1. Στοιχείο ατμοποιήσεως. 2. Συμπυκνωτής φυσικής κυκλοφορίας αέρα. 3. Διπλός αγωγός, δηλαδή αναρροφήσεως ατμού κολλημένος με τον τριχοειδή σωλήνα στραγγαλισμού. 4. Ερμητικός συμπιεστής κλασματικής ισχύος.



Σχ. 2.2γ.
Σχηματική παράσταση συμπυκνωτή στη ράχη ενός καταψύκτη.



Σχ. 2.26.

Οριζόντιος καταψύκτης.

1. Συμπιεστής. 2. Εξαγωγή θερμού ατμού ψύξεως λαδιού. 3. Σωλήνωση ψύξεως του ατμού που ψύχει το λάδι λιπάνσεως. 4. Επιστροφή του ατμού ψύξεως λαδιού. 5. Έξοδος ατμού που ψύχει το λάδι (δεύτερο κύκλωμα) προς σπείρα πυθμένα. 6. Σπείρα για ψύξη ατμού που ψύχει το λάδι. 7. Σωλήνες συμπυκνωτή. 8. Ξηραντήρας - φίλτρο. 9. Τριχοειδής σωλήνας στραγγαλισμού. 10. Στοιχείο ατμοποιήσεως. 11. Δοχείο ψυκτικού μέσου. 12. Εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ σωλήνα αναρροφήσεως και τριχοειδή σωλήνα. 13. Σωλήνας αναρροφήσεως κρύου ατμού. 14. Σωλήνας επεμβάσεως για ψυκτικό μέσο, λάδι, κενό κλπ. 15. Σωλήνας ελέγχου ψυκτικού μέσου κλπ.

Με την κατασκευή αυτή, όπου οι σωλήνες εφάπτονται στην εσωτερική πλευρά του εξωτερικού ελάσματος του τοιχώματος, και είναι «θαμμένοι» μέσα στη μόνωση, επιτυγχάνεται και ένας άλλος σκοπός· αποφεύγεται η συμπύκνωση υδρατμού επάνω στην εξωτερική μεταλλική επιφάνεια από τον αέρα του περιβάλλοντος, όταν το περιβάλλον είναι κρύο και υγρό.

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές, που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, είναι φυσικής κυκλοφορίας και τοποθετούνται δίπλα στο συμπιεστή που εξυπηρετούν.

Για κάπως μεγαλύτερες ισχείς, π.χ. για επαγγελματικά ψυγεία ή επαγγελματικούς καταψύκτες, χρησιμοποιούνται αερόψυκτοι συμπυκνωτές με εξαναγκασμένη κυκλοφορία. Στις περιπτώσεις αυτές οι σωλήνες του ψυκτικού μέσου, συνήθως χάλκινοι, εφοδιάζονται με εξωτερικά πτερύγια, όπως φαίνεται στην εικόνα του

κό μέσο. Η διαρροή αυτή είναι πιθανότερο να συμβεί, όταν η εγκατάσταση είναι εκτός λειτουργίας και η πίεση του ψυκτικού μέσου μέσα στο συμπυκνωτή χαμηλή. Εξαρτάται βέβαια και από την πίεση του νερού ψύξεως του συμπυκνωτή.

Έλλειψη στεγανότητας στους αερόψυκτους συμπυκνωτές ή στους συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού, δεν παρουσιάζει προβλήματα εισόδου υγρασίας στο ψυκτικό κύκλωμα, αλλά μόνο προβλήματα διαρροής ψυκτικού μέσου.

Για να λειτουργεί ικανοποιητικά η ψυκτική διάταξη, πρέπει η πίεση στο συμπυκνωτή να παραμένει σε ορισμένα όρια. Αύξηση της πιέσεως συμπυκνώσεως προκαλεί μείωση της ψυκτικής ισχύος. Ελάττωση της πιέσεως συμπυκνώσεως προκαλεί μείωση στη ροή υγρού ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως και συνεχή απώλεια ψυκτικής ισχύος.

Τα φαινόμενα αυτά προλαμβάνονται με χρήση καταλλήλων διατάξεων αυτοματισμού για το νερό και τον αέρα ή για το ψυκτικό μέσο. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και συνδυασμός των δυο τρόπων, όπως θα αναφέρομε σε επόμενο κεφάλαιο.

2.2 Αερόψυκτοι συμπυκνωτές.

Στους συμπυκνωτές αυτού του είδους, το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στο εσωτερικό σωλήνων ενώ η εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων ψύχεται από τον αέρα του περιβάλλοντος.

Η εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων αυξάνεται τεχνητά με την προσθήκη επιφάνειας, που έχει μορφή πτερυγίων ή συρμάτων, που στηρίζονται επάνω στους σωλήνες με μηχανική επαφή ή και με συγκόλληση.

Η αύξηση αυτή της επιφάνειας είναι αναγκαία, γιατί ο συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας για αέρα είναι σχετικά μικρός (σελίδα 135 του Α' Μέρους).

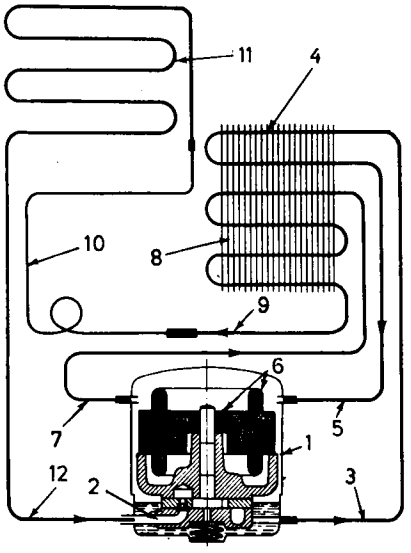
Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα του συμπυκνωτή και να αξιοποιηθούν καλύτερα οι επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας με τον αέρα του περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται στις μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις συνήθως ηλεκτροκίνητοι ανεμιστήρες, που αυξάνουν τις ταχύτητες ροής του αέρα.

Έτσι στις μεν μικρές εγκαταστάσεις η ψύξη της εξωτερικής επιφάνειας των συμπυκνωτών γίνεται με φυσική κυκλοφορία, στις δε μεσαίες και μεγάλες με εξαναγκασμένη κυκλοφορία.

Ως προς τη θέση του συμπυκνωτή, αυτός τοποθετείται δίπλα στο συμπιεστή, όπως γίνεται στις μικρές και επαγγελματικές μονάδες, ή σε απομακρυσμένες θέσεις. Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στην τοποθέτηση δίπλα στο συμπιεστή, οι συμπυκνωτές τοποθετούνται στο ίδιο πλαίσιο (σασί) με το συμπυκνωτή ενώ στη δεύτερη περίπτωση έχουν δικό τους πλαίσιο.

Πριν εξετασθεί κάπως λεπτομερέστερα η λειτουργία και η ρύθμιση των αερόψυκτων συμπιεστών, θα αναφερθούν μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα του είδους αυτού.

Στο σχήμα 2.2α φαίνεται διαγραμματικά το ψυκτικό κύκλωμα ενός οικιακού ψυγείου, που χρησιμοποιεί το συμπυκνωτή (8) για την αφυπερθέρμανση - συμπύκνωση - υπόψυξη αλλά και το τμήμα (4) για την πρόψυξη - αφυπερθέρμανση του ατμού και την ψύξη του λαδιού της ελαιολεκάνης. Η κατασκευή του συμπυκνωτή



Σχ. 2.2α.

Διάγραμμα κυκλώματος σωληνώσεων ενός οικιακού ψυγείου με συμπιεστή τυμπάνου. 1. Κέλυφος συμπιεστή. 2. Συμπιεστής. 3. Πρώτο στόμιο εξαγωγής ατμού. 4. Πρόψυξη - αφυπερθέρμανση. 5. Στόμιο επιστροφής ατμού υψηλής πιέσεως. 6. Ηλεκτροκινητήρας. 7. Κύρια έξοδος ατμού. 8. Συμπυκνωτής. 9. Σωλήνας υγρού συμπυκνώματος. 10. Τριχοειδής σωλήνας στραγγαλισμού. 11. Στοιχείο ατμοποιήσεως. 12. Αγωγός αναρροφήσεως.

αυτού είναι με σύρματα κολλημένα στους σωλήνες, για αύξηση της επιφάνειας, όπως ακριβώς είναι και οι συμπυκνωτές που υπάρχουν στη ράχη των ψυγείων στα σπίτια μας.

Μια παρόμοια κατασκευή φαίνεται στο σχήμα 2.2β, με τον αερόψυκτο συμπιεστή στη ράχη του ψυγείου. Στο σχήμα 2.2β οι σωλήνες του ψυκτικού μέσου είναι κατακόρυφοι. Σε άλλες παρόμοιες κατασκευές οι σωλήνες αυτοί είναι οριζόντιοι, και τα εξωτερικά σύρματα κατακόρυφα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2α.

Πολλοί κατασκευαστές, αντί για τα σύρματα χρησιμοποιούν ελάσματα, που τα στερεώνουν πάνω στους σωλήνες του ψυκτικού μέσου με τρόπο μηχανικό ή και με κόλληση. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται το ίδιο το έλασμα του εξωτερικού κελύφους του ψυγείου ή του καταψύκτη για την αύξηση της επιφάνειας.

Στο σχήμα 2.2γ φαίνεται διαγραμματικά ένας συμπυκνωτής με σύρματα και οριζόντιους σωλήνες, τοποθετημένους στη ράχη ενός κατακόρυφου καταψύκτη, στο δε σχήμα 2.2δ φαίνεται σχηματικά η κατασκευή ενός οριζόντιου καταψύκτη σε σχήμα «κασέλας». Στο κάτω μέρος της εξωτερικής παράπλευρης επιφάνειας υπάρχουν οι σωλήνες ατμού ψυκτικού μέσου, που ψύχουν το λάδι λιπάνσεως. Ένα δεύτερο παράλληλο κύκλωμα, για την ψύξη του λαδιού, υπάρχει στον πυθμένα του καταψύκτη.

Οι σωληνώσεις του κύριου συμπυκνωτή, όπου γίνεται η αφυπερθέρμανση - συμπύκνωση - υπόψυξη, είναι στο πάνω μέρος της εξωτερικής παράπλευρης επιφάνειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ

2.1 Εισαγωγή.

Όπως είδαμε στην παράγραφο 1.24 του Α' Μέρους του βιβλίου, ο συμπυκνωτής μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως απορρίπτει προς το «περιβάλλον» θερμότητα του ψυκτικού κύκλου, η οποία ισούται περίπου με το άθροισμα της ψυκτικής ισχύος και της ισχύος του συμπιεστή. Η λέξη περίπου χρησιμοποιείται για να δηλωθεί ότι μικρό μέρος της θερμότητας απορρίπτεται, λόγω απωλειών, και από τις σωληνώσεις και από το συμπιεστή. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις αυτό γίνεται και από το ζεστό λάδι του συμπιεστή το οποίο ψύχεται ιδιαίτερα.

Το «περιβάλλον», στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, είναι είτε ο ατμοσφαιρικός αέρας, είτε κάποιο διαθέσιμο ρεύμα νερού είτε ένας συνδυασμός αέρα περιβάλλοντος και νερού που εξατμίζεται.

Έτσι, ανάλογα με το περιβάλλον, στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα των συμπυκνωτών των ψυκτικών εγκαταστάσεων, έχουν αναπτυχθεί και οι αντίστοιχοι τύποι συμπυκνωτών, που κατατάσσονται στις εξής τρεις ομάδες:

- Αερόψυκτοι συμπυκνωτές.
- Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές.
- Συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού.

Και οι τρεις τύποι των συμπυκνωτών αποτελούν ουσιαστικά ένα εναλλάκτη θερμότητας, μέσα στον οποίο οδηγούνται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου. Καθώς απορρίπτεται η θερμότητα από το ψυκτικό μέσο προς το περιβάλλον, το ψυκτικό μέσο σταδιακά αλλάζει φάση και καταλήγει να εξέρχεται από το συμπυκνωτή ως υγρό (Βλέπε σχετικά στην παράγραφο 1.21 του Α' Μέρους του βιβλίου).

Βέβαια σε κάθε μία από τις παραπάνω ομάδες διακρίνομε και υποομάδες, ανάλογα με τα ιδιαίτερα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου συμπυκνωτή. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα γνωρίσομε στις επόμενες παραγράφους.

Εκτός από το περιβάλλον, το είδος του συμπυκνωτή που χρησιμοποιείται σε κάθε εγκατάσταση, εξαρτάται και από αρκετούς άλλους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι οι εξής:

- Το μέγεθος εγκαταστάσεως.
- Η δυνατότητα επιβλέψεως, ή συντηρήσεως.
- Η διαθεσιμότητα νερού για ψύξη συμπυκνωτή.
- Τα κλιματολογικά δεδομένα, ιδίως η σχετική υγρασία.

Σαν παράδειγμα αναφέρομε ότι όταν η εγκατάσταση είναι πολύ μικρή, όπως τα

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

οικιακά ψυγεία, τότε βέβαια δεν μπορεί να γίνεται λόγος για υδρόψυκτο συμπυκνωτή, γιατί περιπλέκεται, χωρίς λόγο, η κατασκευή.

Όταν η εγκατάσταση είναι μέσης ή μεγάλης ισχύος, και υπάρχει διαθέσιμο νερό για την ψύξη της, τότε βέβαια θα χρησιμοποιηθεί υδρόψυκτος συμπυκνωτής, γιατί είναι πολύ μικρότερος, σε επιφάνεια, από ό,τι οι αερόψυκτοι, και στοιχίζει λιγότερο.

Υδρόψυκτος συμπυκνωτής χρησιμοποιείται ακόμα και όταν υπάρχει διαθέσιμο νερό αλλά όχι σε αφθονία. Στις περιπτώσεις αυτές το νερό επανακυκλοφορείται και ψύχεται σε ένα πύργο ψύξεως. Αυτό το γεγονός δεν επηρεάζει καθόλου τη λειτουργία του συμπυκνωτή, γιατί ο συμπυκνωτής δεν διακρίνει αν το νερό είναι τρεχούμενο ή προέρχεται από ανακυκλοφορία. Για τη σωστή λειτουργία του συμπυκνωτή αρκεί το νερό να έχει την κατάλληλη θερμοκρασία εισόδου ώστε να πάρει τη θερμότητα που πρέπει να απορρίψει.

Στους συμπυκνωτές εξατμίσεως οι σωλήνες, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί ο ατμός του ψυκτικού, ψύχονται τόσο με τον αέρα, που κυκλοφορεί γύρω τους, όσο και με σταγόνες νερού, που ψεκάζονται κατάλληλα πάνω στις επιφάνειες των σωλήνων. Έτσι με την εξάτμιση των σταγονιδίων απάγεται πρόσθετη θερμότητα από τον ατμό του ψυκτικού μέσου.

Τελικά με την αφαίρεση θερμότητας από το συμπυκνωτή εξυπηρετούνται τρεις λειτουργίες, δηλαδή εξασφαλίζεται:

— Αφυπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου.
— Συμπύκνωση του ατμού του ψυκτικού μέσου.
— Υπόψυξη του υγρού του ψυκτικού μέσου.

Και οι τρεις αυτές λειτουργίες έχουν περιγραφεί ήδη (σελίδα 40 του Α' Μέρους) και δεν χρειάζεται επανάληψή τους.

Το τμήμα του συμπυκνωτή, που εξασφαλίζει κάθε μία από τις λειτουργίες αυτές δεν είναι συνεχώς το ίδιο, αλλά αλλάζει με το ψυκτικό φορτίο και τη θερμοκρασία του νερού ψύξεως ή τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, αν ο συμπυκνωτής είναι αερόψυκτος. Για συμπυκνωτές με εξάτμιση νερού αλλάζει επίσης και με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

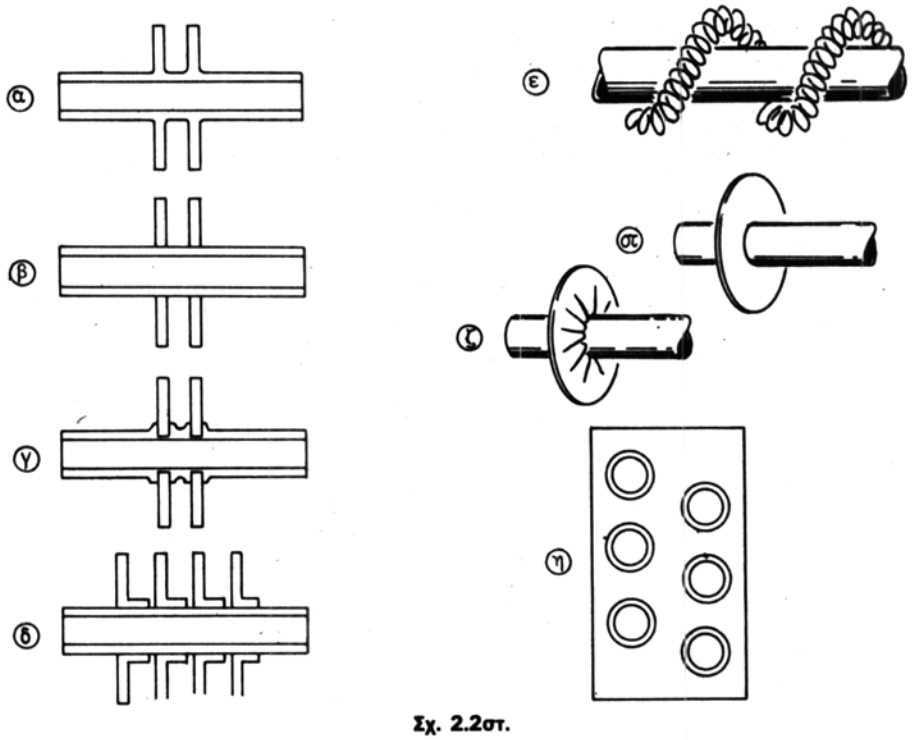
Ο συμπυκνωτής υπολογίζεται πάντοτε έτσι, ώστε να επαρκεί για το μέγιστο φορτίο της εγκαταστάσεως κάτω από τις πιο δυσμενείς συνθήκες, που προβλέπονται να εμφανισθούν. Επίσης, πάντοτε στον υπολογισμό αυτό λαμβάνεται υπόψη και η ρύπανση των επιφανειών του συμπυκνωτή είτε από τα άλατα και τη λάσπη, αν είναι υδρόψυκτος, είτε από τη σκόνη αν είναι αερόψυκτος. Περιοδικός καθαρισμός των επιφανειών αυτών είναι απαραίτητος για να διατηρηθεί η εγκατάσταση σε αποδεκτά όρια.

Ακριβώς αυτή η απαίτηση για καθαρισμό των επιφανειών, είτε αυτές είναι πτερύγια είτε είναι σωλήνες, επιβάλλει και ορισμένους γεωμετρικούς περιορισμούς στις αντίστοιχες κατασκευές των συμπυκνωτών. Έτσι οι σωλήνες είναι συνήθως ευθύγραμμα τμήματα, ώστε να καθαρίζονται και με μηχανικά μέσα, όπως βούρτσες κλπ., ενώ αντίθετα αποφεύγονται οι σπείρες σωλήνων οι οποίες μόνο χημικό καθαρισμό επιδέχονται.

Η στεγανότητα των υδροψύκτων κυρίως συμπυκνωτών έχει πρωταρχική σημασία, γιατί πρέπει να αποφεύγεται με βεβαιότητα η είσοδος υγρασίας προς το ψυκτι-

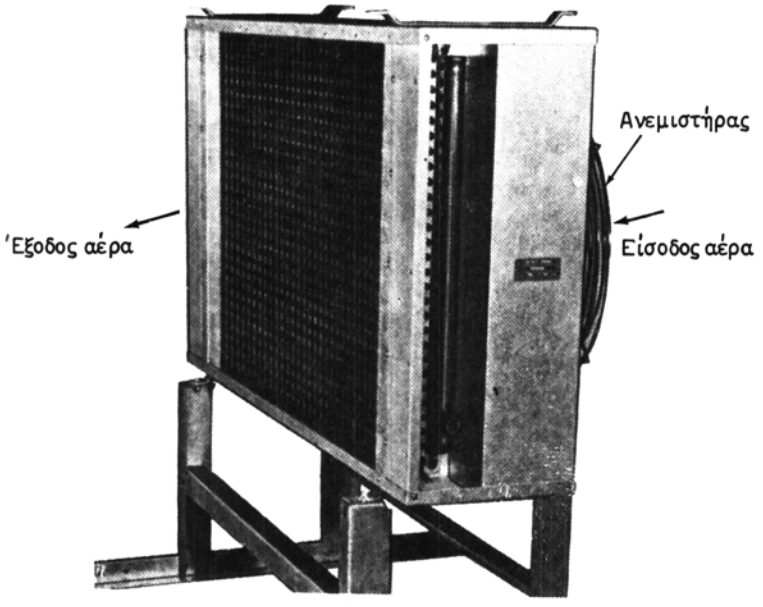


Σχ. 2.2ε.
Πτερύγια και σωλήνες ενός αερόψυκτου συμπυκνωτή.

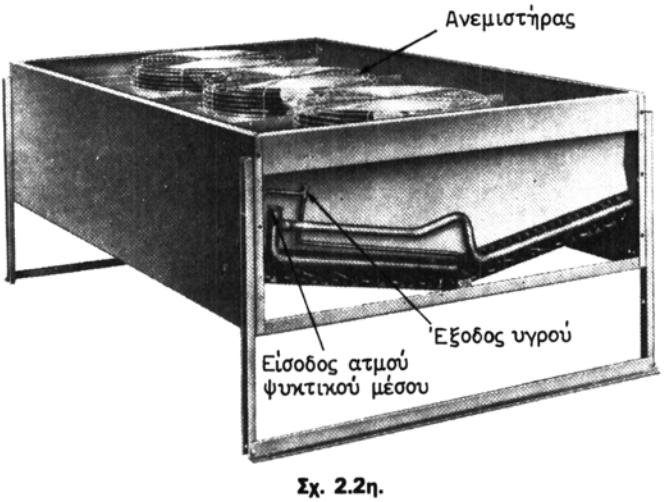


Σχ. 2.2στ.
Διάφοροι τρόποι στερεώσεως πτερυγίων σε σωλήνες.
α) Τα πτερύγια είναι μέρος του σωλήνα. β) Πτερύγια πιεσμένα στο σωλήνα. γ) Συγκράτηση - σύσφιξη πτερυγίων με αυλακωτούς σωλήνες. δ) Πτερύγια με διαμόρφωση φλυτζανιού (κυαθίου), όπως του σχήματος 2.2ε. ε) Ελικοειδές σύρμα που περιβάλλει το σωλήνα. στ) Κυκλικά πτερύγια. ζ) Κυκλικά πτερύγια παραμορφωμένα. η) Μεγάλα πολλαπλά πτερύγια.

σχήματος 2.2ε. Τα πτερύγια είναι λουρίδες από αλουμίνιο με κατάλληλη διαμόρφωση σε μορφή φλυτζανιού, στις θέσεις όπου περνούν οι σωλήνες για καλύτερη θερμική επαφή και απρόσκοπτη μεταφορά θερμότητας από το σωλήνα στο πτερύγιο. Στις πιο νέες κατασκευές η διαμόρφωση αυτή έχει παραληφθεί ή έχει τροποποιηθεί. Μερικές παραλλαγές του τρόπου αντιμετωπίσεως του προβλήματος αυτού φαίνονται στο σχήμα 2.2στ.

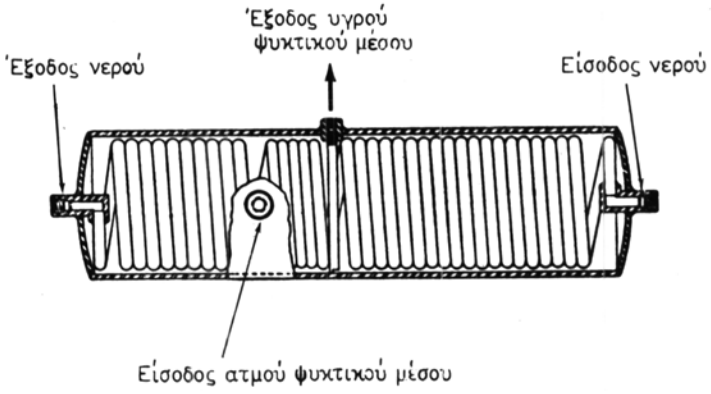


Σχ. 2.2ζ.
Κατακόρυφο στοιχείο συμπυκνώσεως.



Σχ. 2.2η.
Οριζόντια στοιχεία αερόψυκτου συμπυκνωτή.

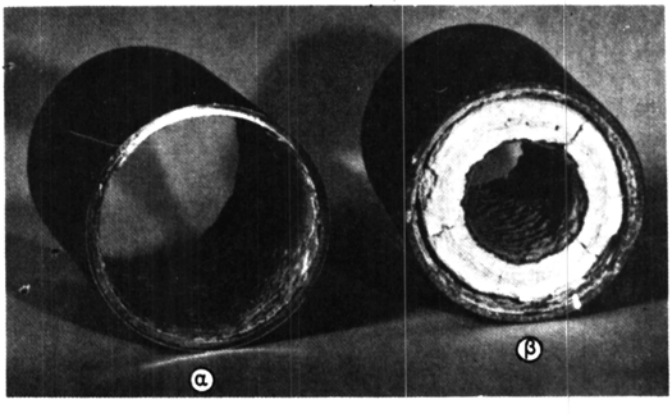
Τα στοιχεία των αεροψύκτων συμπυκνωτών τοποθετούνται είτε κατακόρυφα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2ζ, είτε για μεγαλύτερες ισχείς οριζόντια όπως στο σχήμα 2.2η. Στο σχήμα 2.2θ φαίνεται μια σειρά αεροψύκτων συμπυκνωτών τριών χαρακτηριστικών τύπων. Οι συμπυκνωτές του σχήματος 2.2θ (α, β) έχουν κατακόρυφα στοιχεία συμπυκνώσεως ενώ του σχήματος 2.2θ (γ) οριζόντια. Τέλος στο σχήμα 2.2θ (δ) παρουσιάζεται μια διάταξη, όπου και η αναρρόφηση αλλά και η εξα-



Σχ. 2.3β.
Υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους - σπείρας.

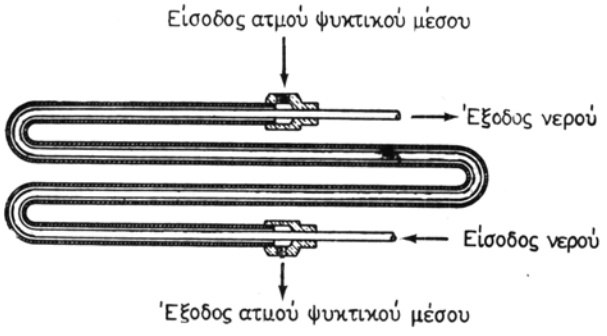
τους σωλήνες, μέσα στο κέλυφος, κυκλοφορεί ο ατμός του ψυκτικού μέσου που συμπυκνώνεται. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3α το νερό ψύξεως εισάγεται από τον πάνω σωλήνα, στο αριστερό άκρο του συμπυκνωτή και βγαίνει από τον κάτω σωλήνα του ίδιου άκρου. Οι σωλήνες του νερού χωρίζονται σε δυο ομάδες. Στην πάνω ομάδα το νερό κινείται από αριστερά προς τα δεξιά ενώ επιστρέφει και στην κάτω ομάδα, από τα δεξιά προς τα αριστερά. Στο αριστερό άκρο του εναλλάκτη, ο υδροθάλαμος χωρίζεται στα δυο, ώστε να διαχωρίζεται η ροή του νερού.

Ένα τύπος ***συμπυκνωτή κελύφους - σπειρών*** φαίνεται σχηματικά στην εικόνα του σχήματος 2.3β. Μέσα στο σπειροειδή σωλήνα τρέχει το νερό ψύξεως, ενώ απ' έξω συμπυκνώνεται το ψυκτικό μέσο. Στον τύπο αυτό συμπυκνωτή ο μηχανικός καθαρισμός του σωλήνα είναι αδύνατος και μόνο χημικός καθαρισμός είναι δυνατός.



Σχ. 2.3γ.
Επικαθήσεις από το νερό ψύξεως συμπυκνωτή.
α) Σωλήνας με αποσκληρυμένο νερό. β) Σωλήνας με σκληρό νερό χωρίς χημική επεξεργασία.

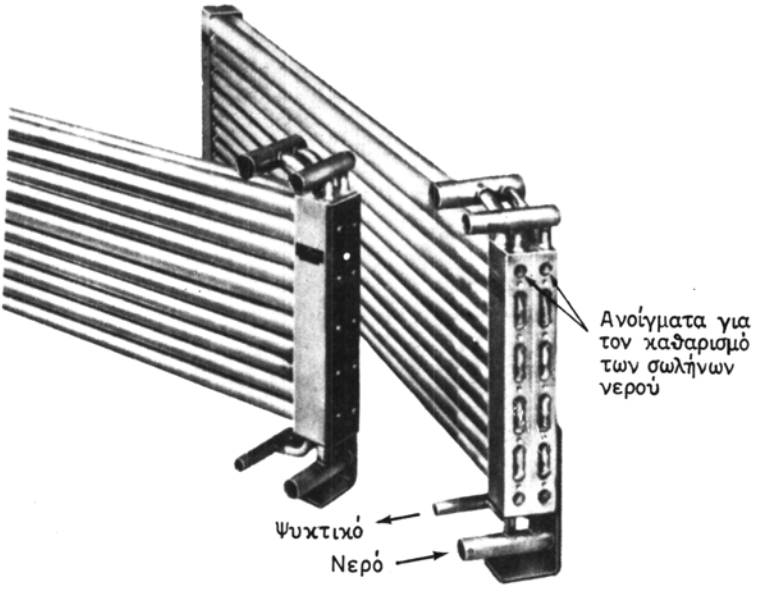
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 2.3δ.
Συμπυκνωτής ομοαξονικών σωλήνων. Το νερό τρέχει στον εσωτερικό σωλήνα.

Το πρόβλημα του καθαρισμού των σωλήνων φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 2.3γ. Οι επικαθήσεις αλάτων και στερεών φερτών υλών προκαλούν σοβαρή μείωση της διαμέτρου των σωλήνων, και το κυριότερο δρουν σα μονωτικό υλικό, που εμποδίζει τη μετάδοση της θερμότητας από το ψυκτικό μέσο προς το νερό.

Οι ***συμπυκνωτές με ομοαξονικούς σωλήνες*** λειτουργούν με την αρχή που φαίνεται στο σχήμα 2.3δ. Δηλαδή έχομε δυο ομοαξονικούς σωλήνες μέσα στους οποίους ρέει το ψυκτικό μέσο και το νερό, συνήθως σε αντιρροή. Σε μεγαλύτερα μεγέθη συμπυκνωτών γίνεται συνδυασμός περισσοτέρων παραλλήλων σωλήνων κατά διάφορους τρόπους ένας από τους οποίους φαίνεται στο σχήμα 2.3ε. Στον



Σχ. 2.3ε.
Συμπυκνωτής υδρόψυκτος ομοαξονικών σωλήνων. Όταν αφαιρεθεί η πλάκα - καθρέφτης στο δεξιό μέρος είναι εύκολος ο μηχανικός καθαρισμός

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.1.

Καθαρή ψυκτική ισχύς ως ποσοστό της μικτής απορριπτόμενης θερμότητας.

Ανοικτός συμπιεστής	Αερόψυκτοι συμπυκνωτές και συμπυκνωτές εξατμίσεως										
Θερμοκρασία ατμοποιήσεως (°F)	Θερμοκρασία συμπυκνώσεως (°F)										
	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
−40	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63	0,62	0,60	—
−20	0,77	0,76	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,66	—
0	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,71	—
+20	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75
+40	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80
Ερμητικός συμπιεστής	Αερόψυκτοι συμπυκνωτές και συμπυκνωτές εξατμίσεως										
Θερμοκρασία ατμοποιήσεως (°F)	Θερμοκρασία συμπυκνώσεως (°F)										
	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
−40	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	—
−20	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,55	0,53	0,51	—
0	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	—
+20	0,77	0,76	0,75	0,74	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62
+40	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,71	0,70	0,68
+50	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72

Για τη λειτουργία των αεροψύκτων συμπυκνωτών πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ο θόρυβος που δημιουργεί ο ανεμιστήρας και ο αέρας καθώς περνούν μέσα από την κυψέλη των πτερυγίων.

Όπως ήδη είπαμε στην παράγραφο 2.1 η ελάττωση της πιέσεως συμπυκνώσεως προκαλεί μείωση στη ροή του ψυκτικού μέσου και συνεπώς απώλεια ψυκτικής ισχύος. Για να αποφεύγεται λειτουργία με χαμηλή τιμή πιέσεως στο συμπυκνωτή ελέγχεται η πλευρά του ψυκτικού μέσου ή η πλευρά του αέρα.

Στην πρώτη περίπτωση, μεταβάλλεται η διαθέσιμη ή ενεργός επιφάνεια του συμπυκνωτή με τη μέθοδο της κατακλύσεως ενός τμήματος των σωλήνων με υγρό ψυκτικό μέσο. Έτσι ανάλογα με το τμήμα του συμπυκνωτή που είναι γεμάτο με υγρό ψυκτικό μέσο μεταβάλλεται η ενεργός επιφάνεια και συνεπώς και η πίεση συμπυκνώσεως. Για τη μέθοδο αυτή απαιτείται η ύπαρξη δοχείου αποθηκεύσεως υγρού ψυκτικού μέσου (receiver) στο ψυκτικό κύκλωμα και κατάλληλος αυτοματισμός, που ελέγχει την ποσότητα του υγρού ψυκτικού μέσου μέσα στο συμπυκνωτή.

Ο αέρας του αερόψυκτου συμπυκνωτή ελέγχεται συνήθως με μια από τις ακόλουθες μεθόδους.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

— Διακοπτόμενη λειτουργία ανεμιστήρα.
— Διαφράγματα ρυθμίσεως παροχής αέρα.
— Μεταβλητός αριθμός στροφών ανεμιστήρα.

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται και συνδυασμοί των μεθόδων αυτών.

Η μέθοδος της διακοπτόμενης λειτουργίας, χρησιμοποιείται για πολλαπλούς αερόψυκτους συμπυκνωτές, στους οποίους ένας αριθμός ανεμιστήρων λειτουργεί ή παύει να λειτουργεί ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος.

Τα διαφράγματα ρυθμίσεως παροχής του αέρα ρυθμίζουν την παροχή με εντολές που παίρνουν είτε από την υψηλή πίεση του ψυκτικού μέσου, είτε από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος.

Ο τρίτος τρόπος, δηλαδή η μεταβολή του αριθμού στροφών του ηλεκτροκινητήρα, επιτυγχάνεται με μεταβολή της τάσεως του εναλλασσόμενου ρεύματος που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Με κατάλληλο είδος ηλεκτροκινητήρα, και ηλεκτρονική διάταξη ρυθμίσεως της τάσεώς τους, ελέγχεται ο αριθμός περιστροφών με βάση την πίεση ή τη θερμοκρασία.

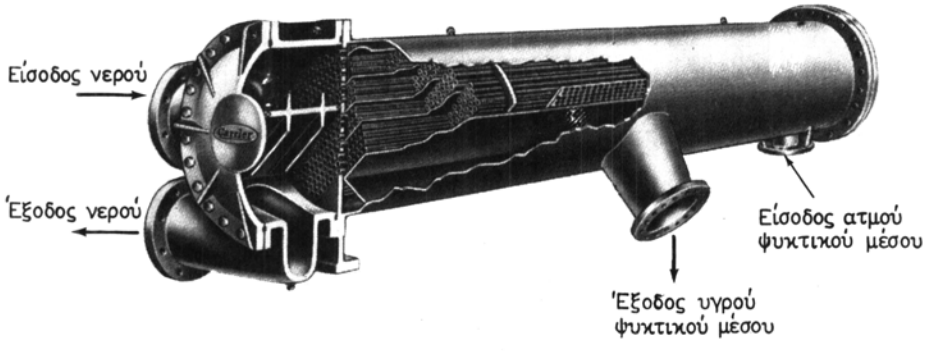
2.3 Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές.

Στους υδρόψυκτους συμπυκνωτές, νερό που κυκλοφορεί απάγει τη θερμότητα που αφαιρείται από το ψυκτικό μέσο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συμπυκνωτών που μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες, ως προς την κατασκευαστική διαμόρφωση:

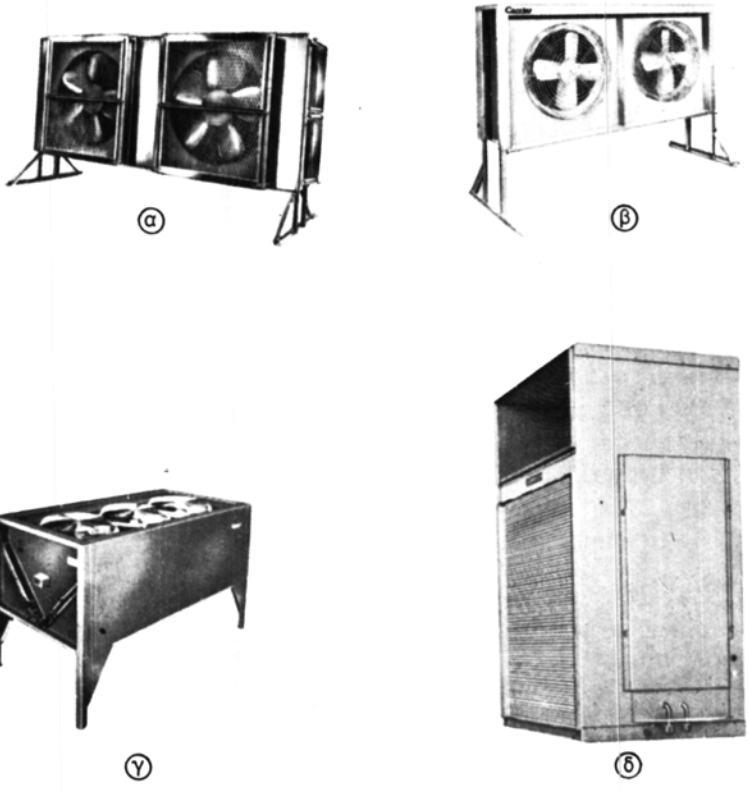
— Κελύφους - σωλήνων, κατακόρυφοι.
— Κελύφους - σωλήνων, οριζόντιοι.
— Κελύφους - σπειρών οριζόντιοι ή κατακόρυφοι.
— Ομοαξονικών σωλήνων.
— Ελεύθερης επιφάνειας νερού.

Οι ***συμπυκνωτές κελύφους - σωλήνων*** αποτελούν την πλειοψηφία των υδροψύκτων συμπυκνωτών για όλα τα είδη των ψυκτικών μέσων. Στο σχήμα 2.3α φαίνεται ένας οριζόντιος συμπυκνωτής του τύπου αυτού, ο οποίος είναι σχεδιασμένος για φυγοκεντρικό συμπιεστή εγκαταστάσεως ψύξεως νερού.

Μέσα στους μικρούς σωλήνες κυκλοφορεί το νερό του δικτύου και έξω από



Σχ. 2.3α.
Υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους - σωλήνων.



Σχ. 2.2θ.

Διάφορες μορφές αεροψύκτων συμπυκνωτών.

α, β) Συμπυκνωτής με κατακόρυφα στοιχεία συμπυκνώσεως. γ) Συμπυκνωτής με οριζόντια στοιχεία συμπυκνώσεως. δ) Συμπυκνωτής όπου η αναρρόφηση και η εξαγωγή του αέρα γίνονται από την ίδια πλευρά.

γωγή του αέρα γίνονται από την ίδια κατακόρυφη πλευρά της συσκευής. Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για εγκατάσταση σε ενδιάμεσους ορόφους κτηρίων, αλλά όχι στην ταράτσα, όπου οι άλλοι τύποι είναι κατάλληλοι, ή για τοποθέτηση σε ανοίγματα τοίχων. Οι συμπυκνωτές του σχήματος αυτού διατίθενται για ψυκτική ισχύ 3 ως 126 RT (τόνων ψύξεως).

Ο καθορισμός του μεγέθους των αεροψύκτων συμπιεστών πρέπει να γίνεται με προσοχή, γιατί άλλοτε μεν μπορεί να αναφέρεται στην ***καθαρή ψυκτική ισχύ*** (NRE, Net Refrigeration Effect), άλλοτε δε στη ***μικτή απορριπτόμενη θερμότητα*** (GHR, Gross Heat Rejection) που περιλαμβάνει εκτός από την ψυκτική ισχύ και τη μηχανική ισχύ του συμπιεστή.

Επίσης σημαντικό ρόλο, στον καθορισμό της καθαρής ψυκτικής ισχύος και της σχέσεώς της με τη μικτή απορριπτόμενη θερμότητα, παίζουν τα εξής μεγέθη:

- Θερμοκρασία ατμοποιήσεως.
- Θερμοκρασία συμπυκνώσεως.
- Είδος συμπιεστή (ανοικτός ή ερμητικός).

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές απορρίπτουν θερμότητα προς τον αέρα του περι-

βάλλοντος υπό την επίδραση μιας διαφοράς θερμοκρασίας, μεταξύ θερμοκρασίας συμπυκνώσεως του ψυκτικού μέσου και θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος. Πολλές φορές το μέγεθος του συμπυκνωτή καθορίζεται για μια δεδομένη θερμοκρασιακή διαφορά.

Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθεί το εξής παράδειγμα: Ένας συμπυκνωτής με διαφορά θερμοκρασίας 30°F (16,7°C) όταν η θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος είναι 95°F (35°C) θα συμπυκνώνει το ψυκτικό μέσο σε θερμοκρασία 95 + 30 = 125°F (51,7°C). Ο ίδιος συμπυκνωτής, με το ίδιο φορτίο, σε αέρα περιβάλλοντος με θερμοκρασία 90°F (32,2°C) θα συμπυκνώνει το ψυκτικό μέσο σε θερμοκρασία 90 + 30 = 120°F (48,9°C).

Πολλοί κατασκευαστές αεροψύκτων συμπυκνωτών, δημοσιεύουν τα στοιχεία του μεγέθους βάσει τυποποιημένων μετρήσεων κατά πρότυπο της ASHRAE. Έτσι η καθαρή ψυκτική ισχύς του συμπυκνωτή καθορίζεται σε θερμοκρασία ατμοποιήσεως 40°F (4,4°C), για αέρα θερμοκρασίας 90°F (32,2°C) και συμπύκνωση ψυκτικού μέσου σε θερμοκρασία 120°F (48,9°C). Έτσι, αν είναι γνωστό το μέγεθος αυτό, αποφεύγεται η χρήση του μεγέθους της μικτής απορριπτόμενης θερμότητας.

Όταν η καθαρή ψυκτική ισχύς δεν είναι γνωστή για κάποιο τύπο συμπυκνωτή, τότε είναι ανάγκη να χρησιμοποιείται η μικτή απορριπτόμενη θερμότητα και να εκτιμηθεί από αυτήν η καθαρή ψυκτική ισχύς που μπορεί να καλύψει ο συμπυκνωτής.

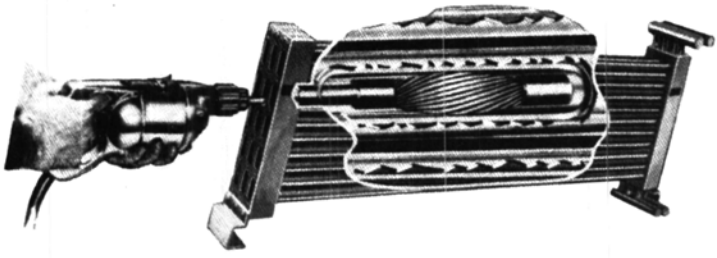
Για την εκτίμηση αυτή πολύ χρήσιμος είναι ο πίνακας 2.2.1, που καλύπτει τα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα R12, R22, R500, R502 και αμμωνία, για λειτουργία με ατμοποίηση μεταξύ −40°F (−40°C) και +40°F (4,4°C) και συμπύκνωση μεταξύ 85°F (29,4°C) και 135°F (57,2°C). Για τις συνθήκες του πίνακα 2.2.1, η καθαρή ψυκτική ισχύς είναι ένα ποσοστό της μικτής απορριπτόμενης θερμότητας, που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 44% και 91%. Η μικρότερη τιμή αναφέρεται σε ερμητικούς συμπιεστές και λειτουργία μεταξύ των θερμοκρασιών −40°F/130°F (−40°C/54,4°C). Η μεγαλύτερη τιμή αναφέρεται σε ανοικτούς συμπιεστές και λειτουργία μεταξύ των θερμοκρασιών +40°F/85°F (4,4°C/29,4°C).

Όπως φαίνεται από τις τιμές του πίνακα 2.2.1, η σχέση των δυο αυτών μεγεθών, δηλαδή του λόγου της καθαρής ψυκτικής ισχύος προς τη μικτή απορριπτόμενη θερμότητα, μεταβάλλεται σημαντικά και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην εκλογή του κατάλληλου μεγέθους συμπυκνωτή.

Για τις περισσότερες εφαρμογές ψυκτικών διατάξεων στις ΗΠΑ, επιλέγονται οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές έτσι, ώστε να λειτουργούν με διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ψυκτικού μέσου και αέρα περιβάλλοντος που κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40°F (11,1°C και 22,2°C). Μια συνηθισμένη τιμή είναι αυτή των 30°F (16,7°C). Για τη λειτουργία των ανεμιστήρων των συμπυκνωτών αυτών απαιτείται συνήθως ηλεκτρική ισχύς της τάξεως των 0,1 ως 0,2 HP ανά RT (τόνο ψύξεως). Με τις συνθήκες αυτές η παροχή αέρα που εξασφαλίζεται για τη λειτουργία των αεροψύκτων συμπυκνωτών κυμαίνεται μεταξύ 50 και 75 cfm* (85 και 127 m^3/h) για κάθε 1000 BTU/h (0,25 kW) απορριπτόμενης θερμότητας.

---

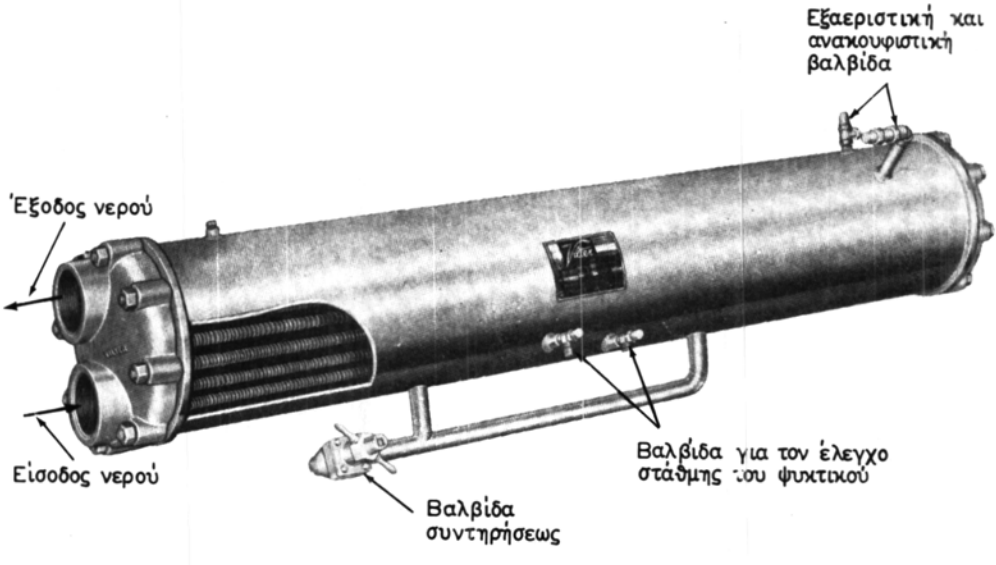
* cfm: κυβικό πόδι ανά πρώτο λεπτό (1cfm = 1,70 m^3/h).



Σχ. 2.3στ.
Καθαρισμός εσωτερικού σωλήνα υδρόψυκτου συμπυκνωτή, με περιστρεφόμενη βούρτσα.

τύπο αυτό, το νερό ψύξεως ρέει στον εσωτερικό σωλήνα με μηχανικό τρόπο, όταν οι επικαθήσεις είναι σχετικά μαλακές, γίνεται με κατάλληλη βούρτσα που περιστρέφεται με ένα χειροδράπανο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3στ.

Οι ***συμπυκνωτές με ελεύθερη επιφάνεια νερού*** αποτελούνται από πολλές οριζόντιες σειρές σωλήνων, που είναι διαταγμένες η μία πάνω στην άλλη μέσα στις οποίες κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο. Στην πάνω σειρά των σωλήνων, στο έξω μέρος, τρέχει σαν μικρός καταρράκτης το νερό ψύξεως, που βρέχει διαδοχικά όλες τις σειρές των σωλήνων και απάγει τη θερμότητα. Το νερό ρέει από την επάνω σειρά των σωλήνων προς τα κάτω, με τη βαρύτητα και είναι σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Στο εσωτερικό των σωλήνων συμπυκνώνεται ο ατμός του ψυκτικού μέσου.



Σχ. 2.3ζ.
Υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους - σωλήνων με ειδική διαμόρφωση της εξωτερικής επιφάνειας των σωλήνων για αύξηση της επιφάνειας

Μερικές φορές οι σωλήνες των συμπυκνωτών έχουν κάποια διαμόρφωση με πτερύγια, για να αυξηθεί η εξωτερική τους επιφάνεια και να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα με μικρότερο μήκος σωλήνων. Ένα παράδειγμα του τύπου αυτού φαίνεται στο συμπυκνωτή του σχήματος 2.3ζ, ο οποίος χρησιμεύει ταυτόχρονα και σαν δοχείο υγρού ψυκτικού μέσου. Για το λόγο αυτό, στο κάτω μέρος του έχει και τους αντίστοιχους διακόπτες για τον έλεγχο της στάθμης και τη συντήρηση. Στο πάνω δεξιό μέρος φαίνεται ένας διακόπτης για την αφαίρεση των αερίων που δεν συμπυκνώνονται.

Οι περισσότερες ψυκτικές εγκαταστάσεις περιέχουν ασυμπύκνωτα αέρια, τα οποία τελικά μαζεύονται στο συμπυκνωτή και μάλιστα σε εκείνο το μέρος του, όπου είναι πιο κρύος και όπου δεν υπάρχει ανάδευση. Τα αέρια αυτά είναι συνήθως οξυγόνο, άζωτο, υδρογόνο, χλώριο κλπ. Άλλα, τα οποία όμως συμπυκνώνονται, είναι ο υδρατμός και το λάδι. Τα αέρια αυτά μπορεί να μπαίνουν στο κύκλωμα από διάφορες όχι τελείως στεγανές θέσεις, όταν η χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Μπορεί όμως να έχουν παραμείνει στο σύστημα από όχι καλή εξαέρωση μετά από κάποιο άνοιγμα της ψυκτικής εγκατάστασεως. Τέλος μπορεί να παράγονται από χημικές αντιδράσεις που εξελίσσονται μέσα στο κύκλωμα του ψυκτικού μέσου κατά τη λειτουργία της ψυκτικής εγκατάστασεως. Αυτά τα ασυμπύκνωτα αέρια προκαλούν ***αύξηση*** της πιέσεως λειτουργίας του συμπυκνωτή και συνεπώς κατανάλωση μεγαλύτερης μηχανικής ενέργειας για το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτός είναι ο λόγος που τα αέρια αυτά είναι ανεπιθύμητα και πρέπει να εντοπισθούν και να απομακρυνθούν.

Τα ασυμπύκνωτα αέρια εντοπίζονται με την εξής διαδικασία. Παύουν να λειτουργούν οι συμπιεστές, ενώ συνεχίζεται κανονικά η ψύξη των υδροψύκτων συμπυκνωτών για αρκετή ώρα. Έτσι το υγρό ψυκτικό μέσο στους συμπυκνωτές αποκτά ουσιαστικά τη θερμοκρασία του νερού ψύξεως. Γίνεται κατόπιν μέτρηση της υψηλής πιέσεως του ψυκτικού μέσου και της θερμοκρασίας του στο συμπυκνωτή, και συγκρίνονται οι δυο τιμές με τις αντίστοιχες του ψυκτικού μέσου από τα σχετικά διαγράμματα ή τους πίνακες. Έτσι προσδιορίζεται η διαφορά θερμοκρασίας, που προκαλούν τα ασυμπύκνωτα αέρια σε σχέση με τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως.

Όπως είδαμε στις παραγράφους 1.24 και 1.25 του Α' Μέρους του βιβλίου, όπου εξετάσαμε το θεωρητικό ψυκτικό κύκλο, το ποσό θερμότητας ή η θερμική ισχύς, που απορρίπτεται από το συμπυκνωτή, εξαρτάται από τρεις παραμέτρους: από το είδος του ψυκτικού μέσου, από τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως και τέλος από τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως. Έτσι, για κάθε ψυκτικό τόνο, το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται από το συμπυκνωτή μπορεί να υπολογισθεί αν είναι γνωστές οι δυο χαρακτηριστικές αυτές θερμοκρασίες και φυσικά και το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται.

Για ευκολότερο υπολογισμό των μεγεθών αυτών, δίνονται τα διαγράμματα των σχημάτων 2.3η και 2.3θ για τα ψυκτικά μέσα αμμωνία και R12 και θερμοκρασίες ατμοποιήσεως στην περιοχή −30°F/+40°F (−34,4°C+4,4°C) καθώς επίσης και θερμοκρασίες συμπυκνώσεως στην περιοχή 60°F/110°F (15,6°C/43,3°C) για την αμμωνία και 80°F/120°F (26,7°C/48,9°C) για το ψυκτικό μέσο R12.

Η απόδοση των συμπυκνωτών πέφτει σημαντικά με τη ρύπανση των σωλήνων

εξάτμιση μέχρι τέλους και κάθονται τα άλατα στην επιφάνεια του σωλήνα. Επίσης η απόρριψη αυτή χρειάζεται και για τη σκόνη που συγκρατείται από το νερό και τη μετατρέπει σε λάσπη.

Έτσι για περιπτώσεις με ικανοποιητική χημική επεξεργασία αποσκληρύνσεως του νερού, η κατανάλωση θα πρέπει να αναμένεται να είναι 7 ως 11 λίτρα νερό ανά ώρα και ψυκτικό τόνο.

Σε ορισμένες μεγαλύτερες εγκαταστάσεις και για καλύτερη ρύθμιση της ισχύος των συμπυκνωτών, χρησιμοποιείται συνδυασμός από υδρόψυκτους συμπυκνωτές και συμπυκνωτές με εξάτμιση νερού, που λειτουργούν παράλληλα ή κάθε ένας χωριστά, ανάλογα με τις συνθήκες που εμφανίζονται.

Αντί για συμπυκνωτή με εξάτμιση νερού, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί υδρόψυκτος συμπυκνωτής, του οποίου το νερό να ψύχεται σε ψυκτικό πύργο. Στην περίπτωση αυτή όμως, χρησιμοποιείται ενδιάμεσα ακόμη μια μετάδοση θερμότητας, από το ψυκτικό μέσο στο νερό, που αυξάνει τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως σε σύγκριση με λειτουργία με συμπυκνωτή εξατμίσεως. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο προτιμάται η χρησιμοποίηση συμπυκνωτή εξατμίσεως νερού από το συνδυασμό υδρόψυκτου συμπυκνωτή και ψυκτικού πύργου.

Φυσικά και ο συνδυασμός αυτός χρησιμοποιείται, όπου επιτρέπεται από τις συνθήκες λειτουργίας, γιατί έχει και αυτός τα πλεονεκτήματά του, όπως π.χ. το γεγονός ότι το ψυκτικό μέσο φθάνει με σωλήνες ως τον εξωτερικό χώρο, όπου λειτουργεί ο ψυκτικός πύργος.

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές αν συγκριθούν με τους συμπυκνωτές εξατμίσεως, για την ίδια ισχύ, είναι πιο ογκώδεις και έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία άρα και πίεση συμπυκνώσεως. Αντίθετα η λειτουργία τους είναι πολύ απλή, γιατί έχουν μόνο ένα ανεμιστήρα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΕΩΣ

3.1 Εισαγωγή.

Σκοπός του στοιχείου ατμοποιήσεως είναι η αφαίρεση θερμότητας από το «περιβάλλον» του και η πρόσδοσή της στο υγρό ψυκτικό μέσο, το οποίο αλλάζει φάση και γίνεται ατμός. Η αλλαγή φάσεως γίνεται εν γένει σε χαμηλή θερμοκρασία και σε χαμηλή πίεση ψυκτικού μέσου, όπως άλλωστε είδαμε στην παράγραφο 1.25 του Α΄ Μέρους του βιβλίου.

Υπάρχει πάρα πολύ μεγάλη ποικιλία στοιχείων ατμοποιήσεως με μορφή και κατασκευή που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της κάθε εγκαταστάσεως.

Στις περισσότερες περιπτώσεις με τη λέξη «περιβάλλον», από το οποίο αφαιρείται θερμότητα, εννοείται είτε ο αέρας κάποιου χώρου, που ψύχεται ή κλιματίζεται, είτε ένα ρεύμα νερού που ψύχεται. Το νερό και ο αέρας, τα πιο συνηθισμένα και φθηνά ρευστά, χρησιμοποιούνται είτε γιατί αυτά τα ίδια πρέπει να ψυχθούν, είτε στις περισσότερες περιπτώσεις, για να ψύξουν άλλα ρευστά ή στερεά σώματα. Στη δεύτερη περίπτωση ο αέρας ή το νερό παίζουν τον ίδιο ρόλο όπως και οι ψυκτικές άλμες, που αναφέρθηκαν στο Α΄ Μέρος του βιβλίου αυτού, δηλαδή είναι ενδιάμεσοι φορείς της ψυκτικής ισχύος της εγκαταστάσεως.

Το ρευστό που ψύχεται χαρακτηρίζει τις δυο μεγάλες κατηγορίες στοιχείων ατμοποιήσεως, δηλαδή:

— Τα στοιχεία ψύξεως αέρα και

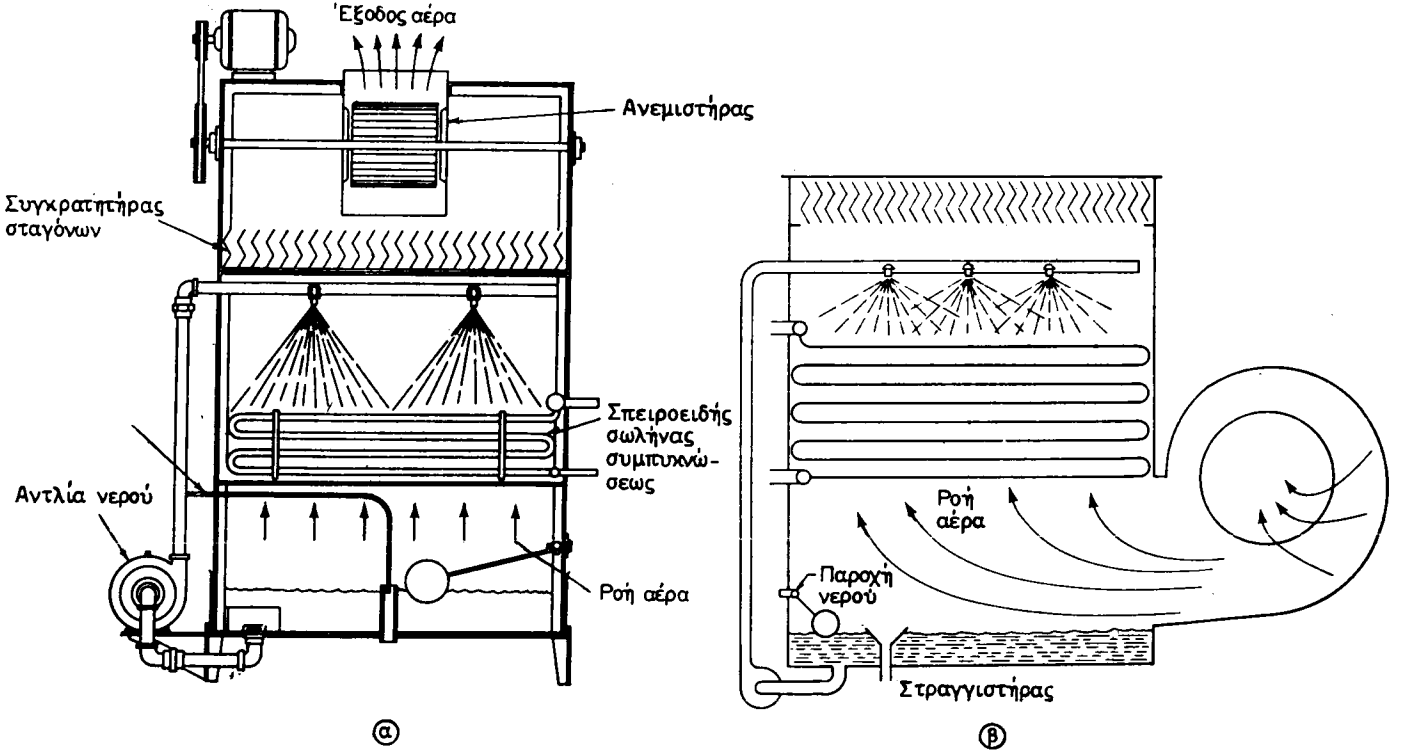
— τα στοιχεία ψύξεως υγρών,

τα οποία εξετάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού.

Όπως είναι γνωστό ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντοτε μια ποσότητα υδρατμού, η οποία εξαρτάται από την εποχή του έτους και τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε στιγμής ειδικότερα. Όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας έλθει σε επαφή με κάποια ψυχρή επιφάνεια, τότε ψύχεται μεν ο αέρας αλλά ψύχεται και ο υδρατμός που περιέχει. Εάν η ψύξη αυτή είναι αρκετή, τότε ο υδρατμός συμπυκνώνεται, κατά κάποιο ποσοστό, και επάνω στη ψυχρή επιφάνεια εμφανίζονται σταγόνες νερού που σχηματίζουν και πολύ μικρά ρυάκια, αν οι ποσότητες του υδρατμού είναι μεγάλες.

Όταν η επιφάνεια που ψύχει τον αέρα έχει θερμοκρασία μικρότερη από 0°C, τότε ο υδρατμός όχι μόνο συμπυκνώνεται, αλλά το συμπύκνωμα στερεοποιείται και έτσι σχηματίζεται χιόνι ή και πάγος που παραμένουν πάνω στην επιφάνεια αυτή.

Το φαινόμενο αυτό το βλέπει κανείς σε μια κρύα χειμωνιάτικη μέρα στο τζάμι



Σχ. 2.4.
Συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού: α) Τύπου αναρροφήσεως. β) Καταθλίψεως.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

συμπυκνωτές θερμαίνονται χωρίς να αλλάζουν τη φάση τους. Αντίθετα με αυτούς, στους συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού, το νερό που παίρνει την απορριπτόμενη θερμότητα, φθάνει ως την εξάτμιση. Για να λειτουργήσουν οι συμπυκνωτές του τύπου αυτού, πρέπει να προσάγεται αέρας και νερό. Ο αέρας θερμαίνεται αλλά, κυρίως, παρασύρει τους υδρατμούς που παράγονται και βοηθάει ώστε να συνεχίζεται η εξάτμιση.

Το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στο εσωτερικό ενός σπειροειδούς σωλήνα και συμπυκνώνεται. Στην έξω πλευρά του σωλήνα περνάει ο αέρας και εξατμίζεται το νερό, που στάζει από πάνω σε μορφή σταγόνων και βρέχει το σωλήνα.

Στο σχήμα 2.4 φαίνονται δυο τύποι συμπυκνωτών εξατμίσεως. Η διαφορά τους παρατηρείται στον τρόπο κυκλοφορίας του αέρα. Ο ένας τύπος [σχ. 2.4(α)], είναι ***αναρροφήσεως,*** ενώ ο άλλος τύπος [σχ. 2.4(β)], είναι ***καταθλίψεως.***

Στον τύπο αναρροφήσεως, ο αέρας μέσα στο κέλυφος του συμπυκνωτή, βρίσκεται σε μικρή υποπίεση. Η διάταξη που συγκρατεί τις σταγόνες πρέπει να έχει πολύ καλή απόδοση, γιατί αλλοιώς οι σταγόνες φθάνουν στη φτερωτή του ανεμιστήρα και γρήγορα τη γεμίζουν με επικαθήσεις. Το πλεονέκτημα στον τύπο αναρροφήσεως είναι ο μικρότερος χώρος που απαιτεί για την εγκατάστασή του, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο συμπυκνωτή καταθλίψεως.

Ο συμπυκνωτής καταθλίψεως αντίθετα έχει σαν πλεονέκτημα το ότι λειτουργεί ο ανεμιστήρας του με στεγνό αέρα, χωρίς σταγόνες. Ο ανεμιστήρας αυτός όμως προεξέχει και απαιτείται περισσότερος χώρος.

Και στους δυο τύπους το νερό που πέφτει από πάνω, αφού ψεκασθεί μέσα από κατάλληλα ακροφύσια, όσο βέβαια δεν εξατμίζεται, ξανακυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας αντλίας.

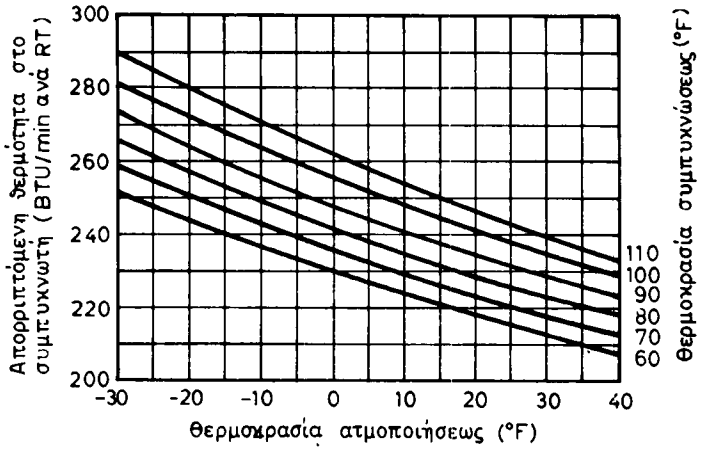
Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται συμπληρώνεται συνεχώς από το δίκτυο με τη βοήθεια μιας διατάξεως βαλβίδας με πλωτήρα, η οποία διατηρεί σταθερή τη στάθμη του νερού μέσα στο κάτω μέρος του συμπυκνωτή.

Για τον τύπο αυτό συμπυκνωτή, είναι απαραίτητο να υπάρχουν ένας ανεμιστήρας και μια αντλία νερού. Και στους τύπους αυτούς συμπυκνωτή χρειάζεται χημική επεξεργασία του νερού για καλύτερη λειτουργία και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

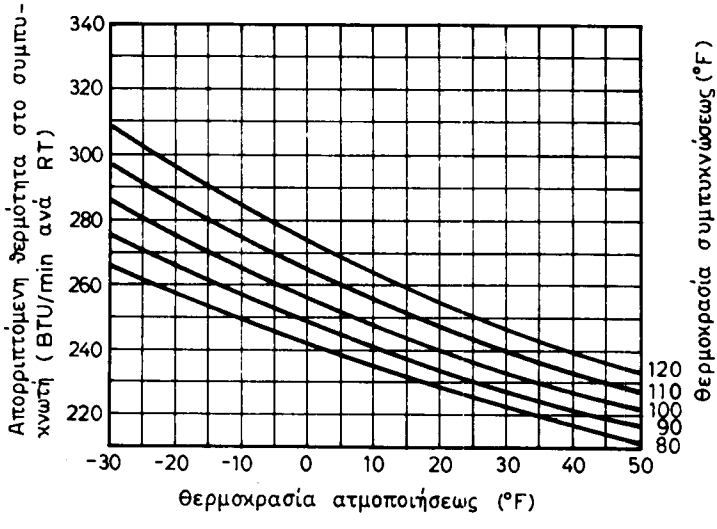
Η ισχύς των συμπυκνωτών με εξάτμιση νερού ρυθμίζεται με επέμβαση στην αντλία ανακυκλοφορίας νερού, ή με επέμβαση στον ανεμιστήρα. Η επέμβαση αυτή είναι ουσιαστικά μια μεταβολή της παροχής του νερού ή του αέρα. Η μεταβολή αυτή γίνεται με διακοπτόμενη λειτουργία της αντλίας, με διακοπτόμενη λειτουργία του ανεμιστήρα, με διακοπτόμενη λειτουργία και των δυο ή τέλος με κατάλληλα διαφράγματα ρυθμίσεως της παροχής του αέρα, ή με ανεμιστήρα μεταβλητού αριθμού στροφών.

Η διακοπτόμενη λειτουργία της αντλίας δεν είναι καλή λύση γιατί μετά από κάθε διακοπή της το νερό στεγνώνει στη ζεστή επιφάνεια του σωλήνα του ατμού του ψυκτικού μέσου και αφήνει στερεά κατάλοιπα. Έτσι μετά από ορισμένες διακοπές λειτουργίας η ρύπανση των σωλήνων είναι σημαντική.

Η κατανάλωση νερού εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Πάντως, σαν μια ενδεικτική τιμή, μπορεί κανείς να υπολογίζει με 5 ως 7 λίτρα νερό την ώρα, για κάθε ψυκτικό τόνο ισχύος. Στην ποσότητα όμως αυτή, που αναφέρεται σε πλήρη εξάτμιση του νερού, πρέπει να προστεθεί και μια προσαύξηση κατά 50%. Αυτή καλύπτει το νερό που συνεχώς πετιέται από την εγκατάσταση για να μη φθάνει η



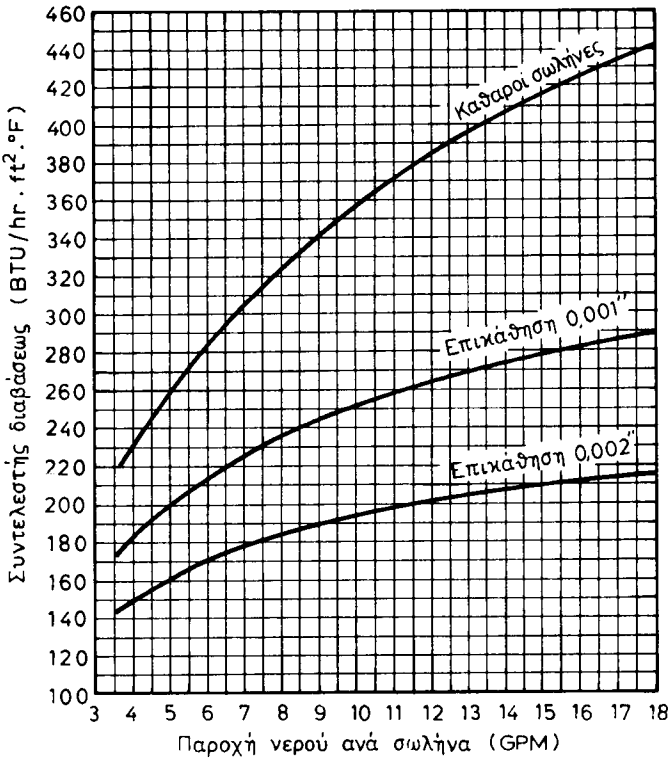
Σχ. 2.3η.
Απορριπτόμενη θερμότητα στο συμπυκνωτή, για αμμωνία.



Σχ. 2.3θ.
Απορριπτόμενη θερμότητα στο συμπυκνωτή, για ψυκτικό μέσο R12.

και έτσι για την ίδια ψυκτική ισχύ και τις ίδιες θερμοκρασίες ψυκτικού μέσου αυξάνει η κατανάλωση του νερού ψύξεως.

Τα δεδομένα των κατασκευαστών για την απόδοση των συμπυκνωτών αναφέρονται πάντοτε σε καθαρούς συμπυκνωτές που έχουν υποστεί μηχανικό ή και χημικό καθαρισμό. Η πείρα έχει δείξει ότι οι χάλκινοι σωλήνες και οι μεταλλικοί σωλήνες που δεν είναι όμως σιδερένιοι, επανέρχονται μετά από κάθε καθαρισμό στην αρχική τους κατάσταση περίπου. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με τους σι



Σχ. 2.3ι.
Συντελεστής διαβάσεως θερμότητας για υδρόψυκτους συμπυκνωτές αμμωνίας.

δερένιους, που συνεχώς χάνουν στην απόδοσή τους και δεν επανέρχονται στην προηγούμενη κατάστασή τους. Έτσι, για υδρόψυκτους συμπυκνωτές αμμωνίας, όπου χρησιμοποιούνται μόνο χαλύβδινοι ή σιδερένιοι σωλήνες, η απόδοση μπορεί να πέσει και στο μισό της αρχικής τιμής της καινούργιας συσκευής.

Στο σχήμα 2.3ι φαίνεται η πτώση του συντελεστή διαβάσεως θερμότητας (σελίδα 146 του Α' Μέρους) για υδρόψυκτους συμπυκνωτές αμμωνίας. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται παροχή του νερού ***ανά σωλήνα*** σε γαλόνια ανά λεπτό (GPM). Οι σωλήνες έχουν εξωτερική διάμετρο $1^1/_4$" και πάχος τοιχώματος 0,095". Η πάνω καμπύλη περιγράφει τη συμπεριφορά του καινούργιου σωλήνα, ενώ οι δυο κάτω αφορούν σωλήνες με επικαθήσεις διαφορετικού πάχους.

Πολλές φορές, σε μεσαίου μεγέθους συμπιεστές, ο υδρόψυκτος συμπυκνωτής χρησιμοποιείται και σα βάση πάνω στην οποία στηρίζεται τόσο ο συμπιεστής όσο και οι διατάξεις εκκινήσεως και προστασίας. Τα συγκροτήματα αυτά συχνά αναφέρονται και με το όνομα ***μονάδα συμπυκνώσεως*** (condensing unit).

2.4 Συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού.

Ο αέρας στους αερόψυκτους συμπυκνωτές, και το νερό στους υδρόψυκτους

της κουζίνας, όπου συμπυκνώνεται υδρατμός γιατί το τζάμι είναι κρύο. Το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται πάντοτε στο εσωτερικό μέρος του ψυγείου της κουζίνας, στο χώρο καταψύξεως, όπου υπάρχει χιόνι ή πάγος από την υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα ή από τους υδρατμούς που αναδύουν ορισμένα τρόφιμα. Το ίδιο ακριβώς φαινόμενο της υγροποιήσεως ή στερεοποιήσεως του υδρατμού του ατμοσφαιρικού αέρα εμφανίζεται σε όλα τα στοιχεία ατμοποιήσεως που ψύχουν αέρα.

Τα στοιχεία ατμοποιήσεως που αφαιρούν θερμότητα από τον αέρα χρησιμοποιούνται είτε μόνο για να ψύχουν τον αέρα, όπως γίνεται στους θαλάμους - ψυγεία, είτε για να ψύχουν αλλά ταυτόχρονα και για να αφυγραίνουν τον αέρα. Μερικές φορές τα στοιχεία αυτά, επειδή έχουν υγρή επιφάνεια από το συμπύκνωμα υδρατμού, χρησιμοποιούνται για να καθαρίζουν τον αέρα, να αφαιρούν οσμές κλπ.

Τα στοιχεία ψύξεως υγρών, συνήθως νερού, πρέπει να λειτουργούν χωρίς να σχηματίζεται πάγος επάνω στην επιφάνειά τους, γιατί δυσκολεύει τη μετάδοση θερμότητας. Εξαίρεση βέβαια στην απαίτηση αυτή αποτελούν οι παγοποιητικές μηχανές, όπου ο σχηματισμός πάγου είναι και ο σκοπός για τον οποίο έχουν κατασκευασθεί.

3.2 Στοιχεία ατμοποιήσεως για ψύξη αέρα.

Στο είδος αυτό των στοιχείων ατμοποιήσεως, το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται μέσα σε σωλήνες κυκλικής διατομής, οι οποίοι ανάλογα με την εφαρμογή, στην εξωτερική τους πλευρά είναι λείοι ή έχουν πτερύγια, τα οποία αυξάνουν την επιφάνειά τους. Στις περισσότερες εφαρμογές γίνεται χρήση των πτερυγίων αυτών.

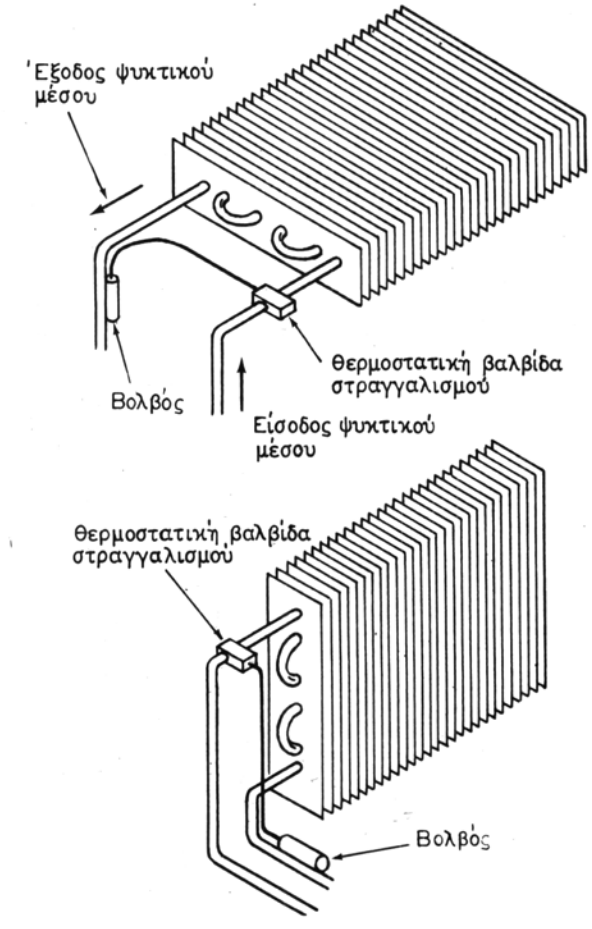
Τα πτερύγια αυτά, ανάλογα με την ανάγκη που εξυπηρετεί το στοιχείο ατμοποιήσεως, μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφα ή να έχουν και κατάλληλη κλίση. Επίσης μπορεί να είναι μονά ή διπλά. Στο σχήμα 3.2α διακρίνεται ένα στοιχείο με οριζόντια πτερύγια και ένα στοιχείο με κατακόρυφα πτερύγια. Διακρίνονται οι κυκλικοί σωλήνες μέσα στους οποίους ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο, οι οποίοι διατρέχουν τα πτερύγια με πολλαπλές διαδρομές.

Ανάλογα με τη ροή του αέρα τα στοιβεία ατμοποιήσεως μπορεί να είναι ***φυσικής κυκλοφορίας*** ή ***εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.*** Και τα δυο στοιχεία ατμοποιήσεως, στο σχήμα 3.2α, είναι φυσικής κυκλοφορίας αέρα, δηλαδή λειτουργούν χωρίς ανεμιστήρα. Στην είσοδο του ψυκτικού μέσου υπάρχει μια θερμοστατική διάταξη στραγγαλισμού, η οποία ελέγχεται από ένα αισθητήριο (βολβός) που τοποθετείται στη θέση εξόδου του ψυκτικού μέσου, το οποίο ήδη είναι ατμός, από το στοιχείο ατμοποιήσεως.

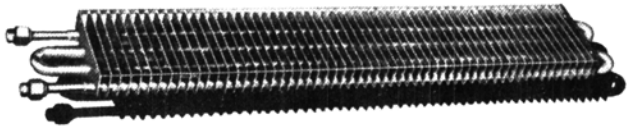
Φωτογραφία ενός οριζόντιου στοιχείου ατμοποιήσεως με μια σειρά σωλήνων αλλά με τέσσερις διαδρομές φαίνεται στο σχήμα 3.2β. Τα άκρα του είναι κλειστά για ασφάλεια κατά τη μεταφορά.

Στο σχήμα 3.2γ φαίνεται ένα κεκλιμένο στοιχείο ατμοποιήσεως με τρεις σειρές σωλήνων και πολλές διαδρομές. Στο κάτω μέρος του υπάρχει μια λεκάνη που συγκεντρώνει το νερό που συμπυκνώνεται πάνω στην επιφάνεια των πτερυγίων και το οδηγεί προς το σωλήνα [σχ. 3.2γ (3)] από όπου φεύγει. Η ροή του αέρα γίνεται με ανεμιστήρα, από κάτω προς τα πάνω. Στα στόμια των σωλήνων υπάρχουν πώματα για την ασφάλεια κατά τη μεταφορά και αποθήκευση του στοιχείου.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

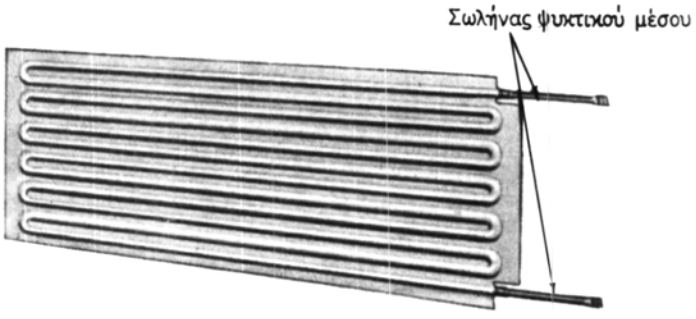


Σχ. 3.2α.
α) Οριζόντιο. β) Κατακόρυφο στοιχείο ατμοποιήσεως.

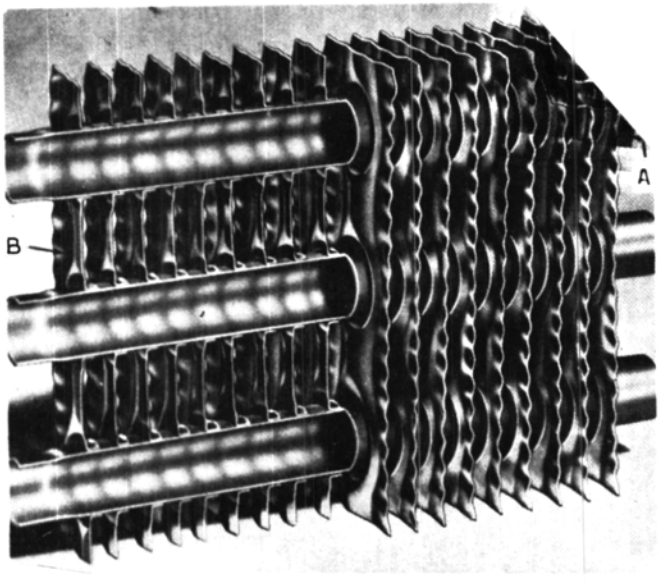


Σχ. 3.2β.
Στοιχείο ατμοποιήσεως ψύξεως αέρα. Είναι μιας σειράς σωλήνων με τέσσερις διαδρομές.

Πολλές φορές, για ορισμένες εφαρμογές, χρησιμοποιούνται διπλά κεκλιμένα στοιχεία ατμοποιήσεως, όπως αυτό του σχήματος 3.2δ, μέσα από τα πτερύγια των οποίων ρέει ο αέρας με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Στο μπρος μέρος του στοιχείου ατμοποιήσεως φαίνεται η θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού και στο κάτω μέρος της ένας κατανεμητής ψυκτικού μέσου, ο οποίος χωρίζει το σύνολο της ροής σε έξη ρεύματα. Ο χωρισμός αυτός γίνεται γιατί υπάρχουν τρεις παράλληλοι σωλή-



Σχ. 3.2η.
Στοιχείο ατμοποιήσεως κατασκευασμένο από δυο ελάσματα με κατάλληλη διαμόρφωση.

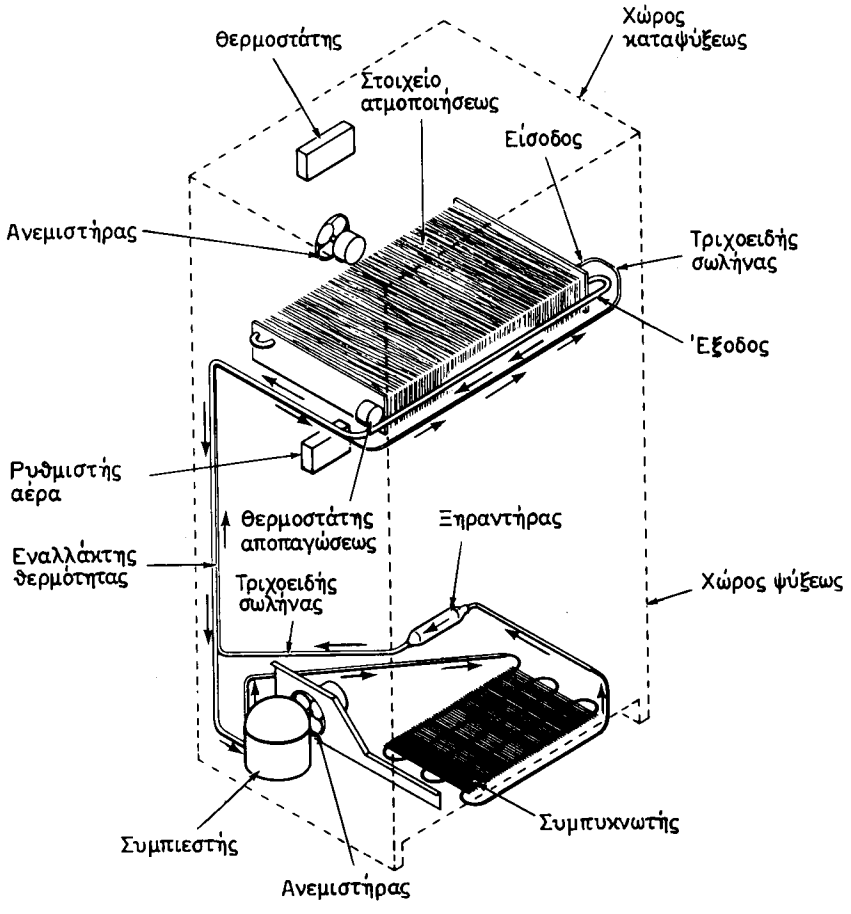


Σχ. 3.2θ.
Τομή σε στοιχείο ατμοποιήσεως σωλήνα-πτερυγίων. Α) Σωλήνες. Β) Πτερύγια.

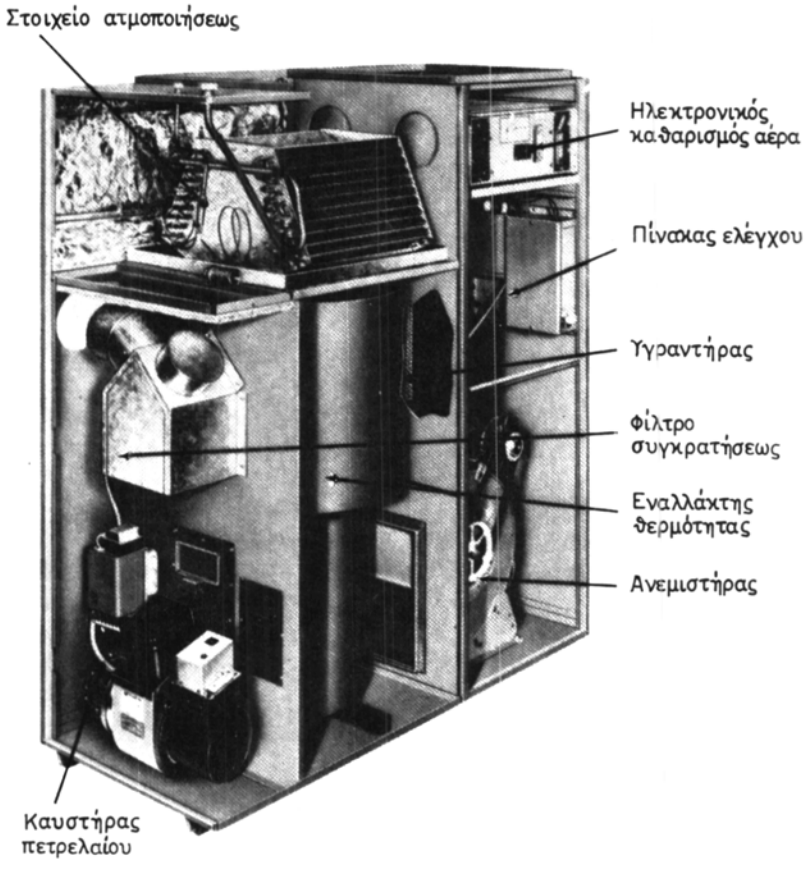
σμού του. Αυτό επιτυγχάνεται με την καλύτερη στεγανοποίηση του χώρου του ψυγείου και ιδίως με τη στεγανοποίηση της πόρτας, χρησιμοποιώντας κατάλληλα λάστιχα και μαγνήτες. Όσο λιγότερος αέρας μπαίνει συνεχώς στο ψυγείο, τόσο μικρότερη ποσότητα υδρατμού υπάρχει για να συμπυκνωθεί και να γίνει πάγος.

Το ίδιο πρόβλημα υπάρχει και για τα επαγγελματικά ψυγεία που είναι συνήθως

ανοικτά στον αέρα και προστατεύονται μόνο από μια «κουρτίνα» ψυχρού αέρα, ώστε να φαίνονται τα προϊόντα και να είναι προσιτά στο αγοραστικό κοινό. Και εδώ η αποπάγωση του στοιχείου ατμοποιήσεως θέλει ιδιαίτερη προσοχή και φροντίδα.



Σχ. 3.2ι.
Οικιακό ψυγείο με χώρο κατεψυγμένων στο πάνω μέρος.

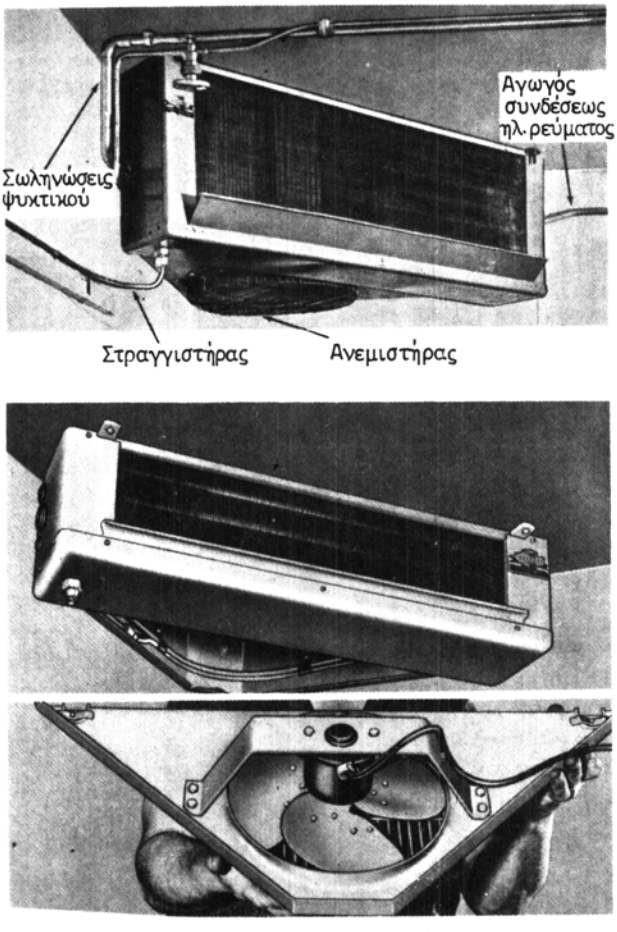


Σχ. 3.2στ.

Κλιματιστική συσκευή όλων των εποχών με καυστήρα πετρελαίου, στοιχείο ατμοποιήσεως ψυκτικού μέσου, υγραντήρα, ηλεκτρονικό καθαρισμό του αέρα, ανεμιστήρα και στοιχείο θερμάνσεως.

και έτσι επιτυγχάνεται το «φούσκωμα» των σωληνώσεων και δημιουργούνται οι επιθυμητοί αγωγοί. Έτσι κατασκευάζονται όλα τα στοιχεία ατμοποιήσεως που βρίσκονται στο χώρο διατηρήσεως των κατεψυγμένων προϊόντων των οικιακών ψυγείων, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 2.2β. Πολλές φορές στα ψυγεία αυτά χρησιμοποιείται και η κλασσική κατασκευή με σωλήνες και πτερύγια, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2θ, οπότε όμως η διάταξη μέσα στο ψυγείο αλλάζει και γίνεται όπως π.χ. στο σχήμα 3.2ι. Τότε όμως χρειάζεται και ανεμιστήρας για την κυκλοφορία του αέρα.

Σε άλλες κατασκευές του τύπου αυτού το στοιχείο ατμοποιήσεως τοποθετείται κατακόρυφα στην εσωτερική επιφάνεια της ράχης του ψυγείου, όπως π.χ. στο σχήμα 3.2ια που αναφέρεται σ' ένα δίθυρο ψυγείο, με χώρο κατεψυγμένων στο αριστερό μέρος και χώρο νωπών προϊόντων στο δεξιό. Ο αέρας στα πτερύγια του στοιχείου ατμοποιήσεως κυκλοφορεί με ανεμιστήρα. Με ανεμιστήρα επίσης κυ-

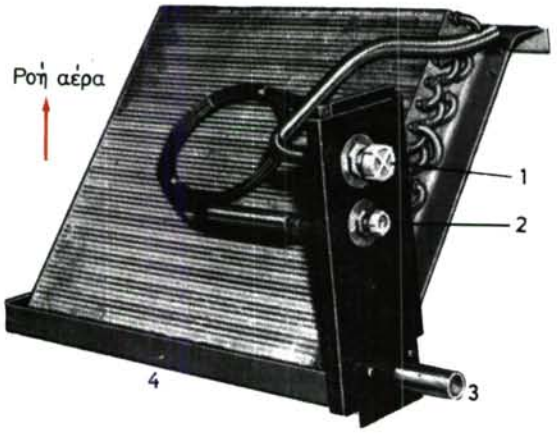


Σχ. 3.2ζ.
Στοιχείο ατμοποιήσεως γωνιακό, οριζόντιο.

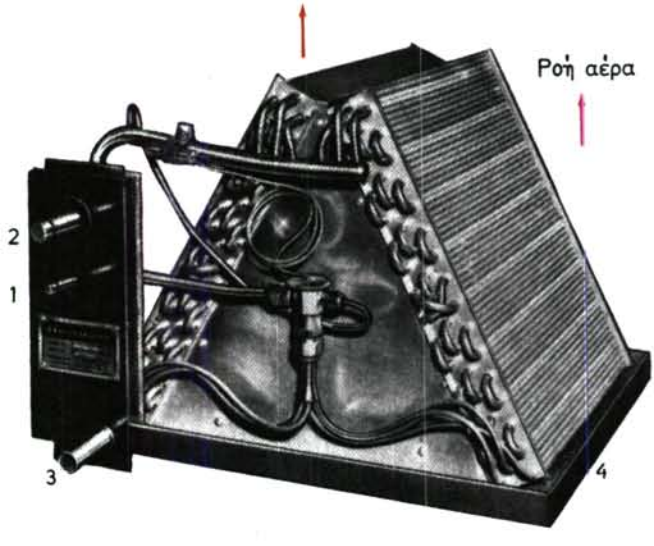
κλοφορεί και ο αέρας γύρω από το συμπυκνωτή που είναι τοποθετημένος στο κάτω μέρος του ψυγείου.

Μια ειδική μορφή πτερυγίων στοιχείου ατμοποιήσεως, για οικιακά ψυγεία του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 3.2ιβ μαζί με τον τριχοειδή σωλήνα και το σωλήνα επιστροφής ατμού. Και οι δυο σωλήνες έχουν συγκολληθεί έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται υπόψυξη συμπυκνώματος και υπερθέρμανση ατμού.

Όταν το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τους 0°C, τότε ο πάγος, που σχηματίζεται στα στοιχεία ατμοποιήσεως του τύπου αυτού, προκαλεί προβλήματα στη λειτουργία και πρέπει να απομακρύνεται. Η απομάκρυνση γίνεται με ***αποπάγωση*** (απόψυξη) με μια από τις κατάλληλες μεθόδους που περιγράφονται στο έκτο κεφάλαιο του βιβλίου αυτού. Πάντως, εκτός από την αποπάγωση, σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του ψυγείου παίζει και η πρόληψη σχηματισμού πάγου ή μάλλον η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιβράδυνση του σχηματι-



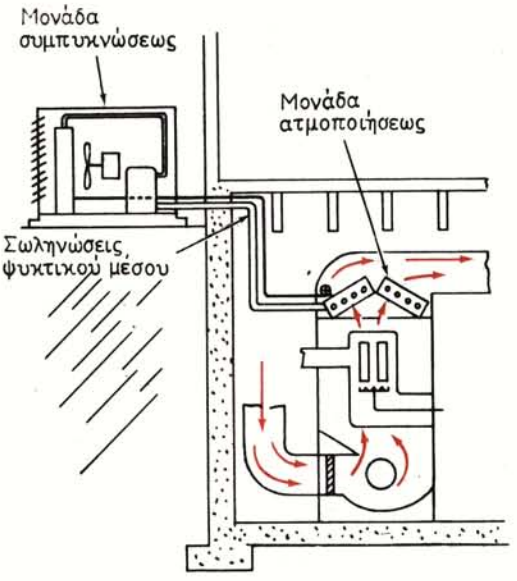
Σχ. 3.2γ.
Κεκλιμένο στοιχείο ατμοποιήσεως, ψύξεως αέρα.
1. Έξοδος ψυχρού ατμού. 2. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 3. Αποστράγγιση συμπυκνώματος. 4. Λεκάνη συμπυκνώματος.



Σχ. 3.2δ.
Διπλό κεκλιμένο στοιχείο ατμοποιήσεως.
1. Σωλήνας εισόδου υγρού ψυκτικού μέσου. 2. Σωλήνας εξόδου ατμού. 3. Σωλήνας αποστραγγίσεως συμπυκνώματος. 4. Λεκάνη συμπυκνώματος.

νες ατμοποιήσεως, και κάθε ένα από τα δυο σκέλη του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Ο τρόπος ενσωματώσεως των στοιχείων ατμοποιήσεως στην όλη εγκατάσταση εξαρτάται από το είδος της εγκαταστάσεως. Για παράδειγμα στο σχήμα 3.2ε φαίνεται το διπλό κεκλιμένο στοιχείο μέσα στην κλιματιστική συσκευή, η οποία είναι στο υπόγειο μιας κατοικίας, ενώ η μονάδα συμπυκνώσεως είναι εγκαταστημένη

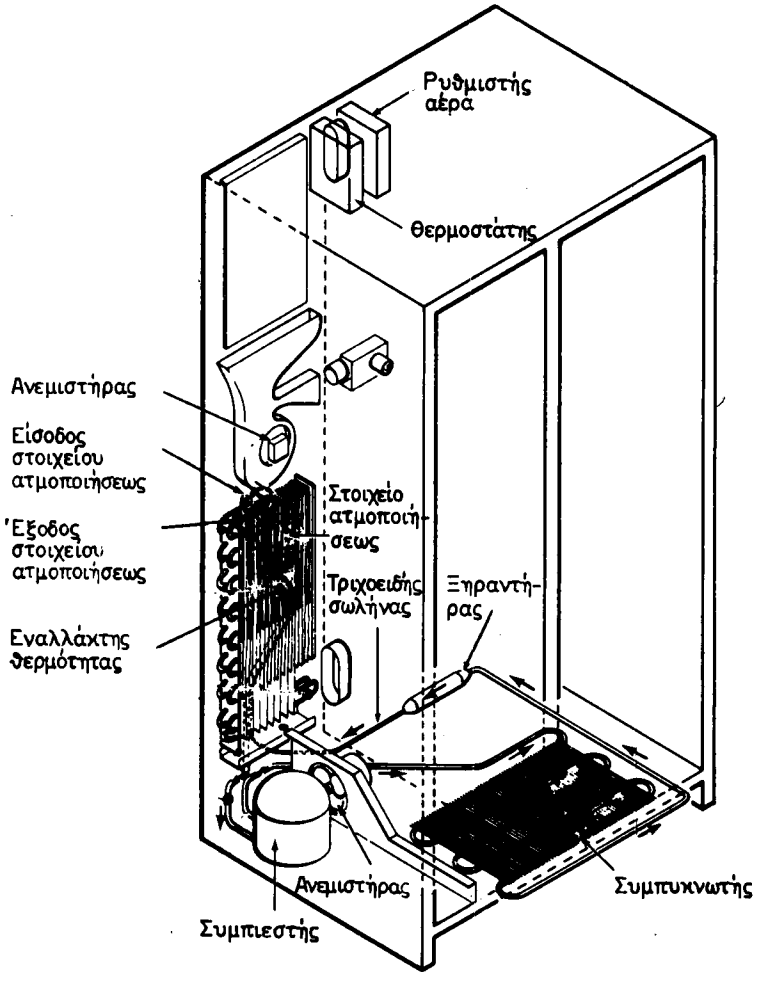


Σχ. 3.2ε.
Κλιματιστική συσκευή με διπλό κεκλιμένο στοιχείο ατμοποιήσεως.

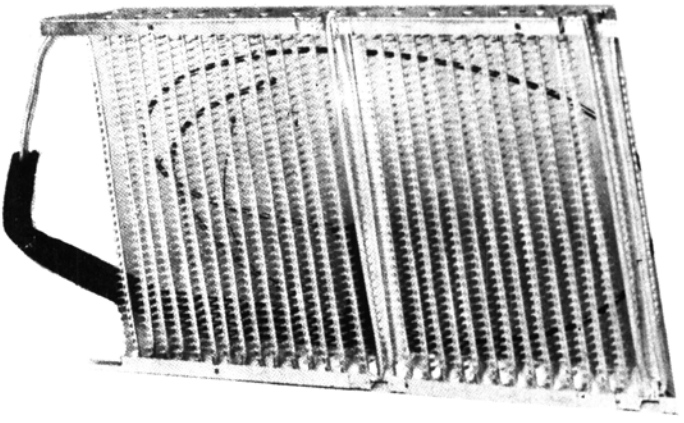
έξω από το σπίτι. Στο κάτω μέρος της κλιματιστικής συσκευής είναι τοποθετημένος ο ανεμιστήρας και από πάνω του το στοιχείο θερμάνσεως. Το στοιχείο ατμοποιήσεως (ψύξεως) είναι στο πάνω μέρος. Η φωτογραφία μιας συσκευής του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 3.2στ, με το στοιχείο ατμοποιήσεως στο πάνω μέρος της συσκευής.

Μια άλλη μορφή στοιχείου ατμοποιήσεως με αυτόνομο ανεμιστήρα, για την κυκλοφορία του αέρα, φαίνεται στο σχήμα 3.2ζ. Έχει μορφή οριζόντια και σχήμα κατάλληλο για να τοποθετηθεί στη γωνία της οροφής ενός θαλάμου ψυγείου. Ο αέρας αναρροφάται από το κάτω μέρος και βγαίνει από την κατακόρυφη λοξή επιφάνεια. Η σύνδεση του στοιχείου απαιτεί φυσικά τους σωλήνες για την είσοδο του υγρού ψυκτικού μέσου και την έξοδο του ατμού και επί πλέον ηλεκτρική τροφοδότηση για τον ανεμιστήρα και σωλήνα για την απομάκρυνση του συμπυκνώματος.

Για ορισμένες εφαρμογές τα στοιχεία ατμοποιήσεως κατασκευάζονται από δυο ελάσματα, τα οποία σχηματίζουν τους αγωγούς - σωλήνες με κατάλληλα βαθουλώματα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2η. Η μέθοδος αυτή κατασκευής είναι γνωστή με το αγγλικό όνομα roll-bond και είναι περίπου η εξής: επάνω στα επίπεδα ελάσματα «τυπώνεται» το σχήμα των σωληνώσεων που θέλομε να κατασκευασθεί, και μετά τα δυο επίπεδα ελάσματα, με τοποθετημένα αντικρυστά τα τυπωμένα τους μέρη, περνάνε μέσα από δυο ισχυρούς κυλίνδρους, όπου συμπιέζονται τόσο ισχυρά, ώστε να γίνουν ένα σώμα. Η ένωση αυτή δεν γίνεται μόνο στα σημεία, όπου έχει τοποθετηθεί ανάμεσα στα δυο ελάσματα το υλικό του τυπώματος. Μετά διοχετεύεται ένα ρευστό με μεγάλη πίεση μέσα στις θέσεις που είναι τυπωμένες,



Σχ. 3.2κα.
Σχηματική διάταξη δίθυρου ψυγείου με κατάψυξη αριστερά και συντήρηση νωπών τροφίμων στο δεξιό μέρος.



Σχ. 3.2ιβ.
Στοιχείο ατμοποιήσεως με τριχοειδή σωλήνα και σωλήνα ατμού.

3.3 Στοιχεία ατμοποιήσεως για ψύξη υγρού.

Τα στοιχεία ατμοποιήσεως που ψύχουν υγρά είναι εναλλάκτες θερμότητας στους οποίους η μια πλευρά διαρρέεται από το υγρό που ψύχεται, ενώ η άλλη πλευρά από το ψυκτικό μέσο που ατμοποιείται.

Το υγρό που ψύχεται είναι νερό μεν, αν πρόκειται για εγκατάσταση κλιματισμού, νερό ή άλμη αν είναι εγκατάσταση ψύξεως ή καταψύξεως ή τέλος ο,τιδήποτε άλλο υγρό, σε περιπτώσεις χημικών βιομηχανιών. Στις περισσότερες περιπτώσεις ψύχεται νερό ή άλμη.

Υπάρχουν πολλοί τύποι στοιχείων ατμοποιήσεως για ψύξη υγρού οι οποίοι έχουν διαμορφωθεί για να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες ανάγκες της πράξεως και περιγράφονται στη συνέχεια με συντομία. Για οποιοδήποτε όμως τύπο στοιχείου ατμοποιήσεως, υπάρχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του ή το σχεδιασμό του, τα οποία είναι τα ξής:

- Επιφάνεια μεταδόσεως θερμότητας.
- Μέθοδος παροχής ψυκτικού μέσου στο στοιχείο.
- Ασφάλεια της κατασκευής.
- Απώλειες ψυκτικού μέσου λόγω διαρροών.
- Περιεκτικότητα υγρού ψυκτικού μέσου.
- Επιστροφή λαδιού στο συμπιεστή.
- Ρύπανση επιφανειών.
- Οξείδωση των μεταλλικών επιφανειών.
- Όγκος και βάρος της κατασκευής.
- Δυνατότητα παγώματος ψυχόμενου υγρού.
- Πτώση πιέσεως ψυχόμενου υγρού, λόγω κυκλοφορίας του.
- Κόστος στοιχείου.

Πάντοτε σχεδόν επιχειρείται ένας συγκερασμός των απαιτήσεων αυτών, ώστε να επιτυγχάνεται παραδεκτό αποτέλεσμα για την ανάγκη που εξετάζεται κάθε φορά.

Η ποικιλία των στοιχείων ατμοποιήσεως που ψύχουν νερό ή άλμη είναι μεγάλη, ώστε να καλύπτονται οι ειδικές ανάγκες των διαφόρων εφαρμογών. Στον πίνακα 3.3.1 αναφέρονται μερικοί από τους πιο γνωστούς τύπους στοιχείων ατμοποιήσεως για ψύξη νερού ή άλμης.

Με τον όρο ***στοιχείο υπερχειλίσεως*** (flooded) χαρακτηρίζονται τα στοιχεία ατμοποιήσεως, στα οποία λιμνάζει μια ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου με ελεύθερη στάθμη που διατηρείται σε σταθερό ύψος. Για τη διατήρηση της στάθμης φροντίζει η αντίστοιχη διάταξη ρυθμίσεως της παροχής,η οποία ταυτόχρονα κάνει και το στραγγαλισμό της πιέσεως. Συνήθως σε στοιχεία ατμοποιήσεως με υπερχείλιση χρησιμοποιείται βαλβίδα με πλωτήρα για τη ρύθμιση της σταθερής στάθμης του υγρού ψυκτικού μέσου. Αντίθετα σε στοιχεία ατμοποιήσεως, που ελέγχονται έτσι, ώστε το τέλος τους να είναι ξηρό, δηλαδή στεγνό, η παροχή ρυθμίζεται με θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά σημεία των στοιχείων ατμοποιήσεως του πίνακα 3.3.1 περιγράφονται στη συνέχεια.

1) Στοιχεία υπερχειλίσεως, κελύφους-σωλήνων.

Στο είδος αυτό των στοιχείων το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται στο ***εξωτερικό*** μέρος των σωλήνων, που περικλείεται από το κυλινδρικό κέλυφος. Ο χώρος αυτός περιέχει μια μεγάλη ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο ατμοποιείται και με μορφή φυσαλίδων ανεβαίνει προς τα πάνω. Ο επάνω χώρος λειτουργεί σαν ατμοσυλλέκτης. Οι περισσότεροι σωλήνες βαπτίζονται μέσα σε υγρό ψυκτικό μέσο, ώστε να εξασφαλίζεται καλύτερος συντελεστής διαβάσεως θερμότητας.

Οι σωλήνες είτε είναι ευθύγραμμα τμήματα είτε έχουν μορφή φουρκέτας. Στην πρώτη περίπτωση καθαρίζονται πιο εύκολα από τη δεύτερη. Μέσα στους σωλήνες τρέχει το νερό ή η άλμη που ψύχεται από την ατμοποίηση που γίνεται στο έξω μέρος των σωλήνων. Οι σωλήνες, στην εξωτερική τους επιφάνεια, είτε είναι λείοι, είτε έχουν πτερύγια για αύξηση της επιφάνειάς τους.

Η όλη κατασκευή μοιάζει με την αντίστοιχη των συμπυκνωτών κελύφους - σωλήνων, όπως φαίνεται π.χ. στο σχήμα 2.3ζ.

2) Στοιχεία καταιωνισμού.

Η κατασκευή τους είναι πάλι του τύπου κελύφους - σωλήνων και το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται στο χώρο ανάμεσα στους σωλήνες και το κέλυφος. Εδώ όμως τώρα δεν λιμνάζει υγρό ψυκτικό μέσο. Με μια βοηθητική αντλία κυκλοφορίας, το υγρό ψυκτικό μέσο ψεκάζεται στο πάνω μέρος των σωλήνων και τρέχει με μορφή σταγόνων προς τα κάτω, λόγω βαρύτητας, από όπου το ξαναπαίρνει η αντλία και το ξανακυκλοφορεί.

Με τη μέθοδο αυτή, το υγρό ψυκτικό μέσο που κυκλοφορεί είναι περίπου 3 ως 4 φορές περισσότερο από την ποσότητά του που ατμοποιείται. Παρόλα αυτά όμως η ποσότητα του υγρού ψυκτικού μέσου που απαιτείται είναι πολύ μικρότερη, αν συγκριθεί με την αντίστοιχη κατασκευή υπερχειλίσεως.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1.

Τύποι στοιχείων ατμοποιήσεως για ψύξη νερού ή άλμης.

Τύπος στοιχείου	Συνηθισμένη διάταξη παροχής ψυκτικού μέσου	Συνηθισμένη ψυκτική ισχύς (ψυκτικοί τόνοι, RT).	Ψυκτικό μέσο, που συνήθως χρησιμοποιείται
1. Κελύφους-απλών σωλήνων υπερχειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πιέσεως.	50 – 500	717 (αμμωνία)
2. Κελύφους-πτερυγοφόρων σωλήνων υπερχειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πιέσεως.	25 – 2000	11, 12, 22, 113
	Πλωτήρας υψηλής πιέσεως.	50 – 5000	114, 500
3. Κελύφους-σωλήνων καταιωνισμού (σπρέϋ).	Πλωτήρας χαμηλής πιέσεως.		11, 12, 113, 114
	Πλωτήρας υψηλής πιέσεως.	50 – 5000	
4. Κελύφους-σωλήνων «ξηρής» εκτονώσεως.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού.	5 – 350	12, 22, 500 502, 717
5. Καταιωνισμού νερού υπερχειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πιέσεως.	10 – 100	717
6. Καταιωνισμού νερού «ξηρής» εκτονώσεως.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού.	5 – 25	12, 22, 717
7. Ομοαξονικών σωλήνων υπερχειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πιέσεως.	10 – 25	717
8. Ομοαξονικών σωλήνων «ξηρής» εκτονώσεως.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού.	5 – 25	12, 22, 717
9. Κελύφους-σπείρας.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού.	2 – 10	12, 22, 717
10. Δοχείου αναδεύσεως, υπερχειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πιέσεως.	50 – 200	717

Εκτός από την οικονομία ψυκτικού μέσου, τα στοιχεία καταιωνισμού πλεονεκτούν γιατί το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται σε ομοιόμορφη πίεση και συνεπώς και σε ομοιόμορφη θερμοκρασία. Το φαινόμενο αυτό δεν εμφανίζεται στα στοιχεία υπερχειλίσεως, όπου οι κάτω μάζες του υγρού ψυκτικού μέσου έχουν μεγαλύτερη πίεση λόγω της στήλης του ίδιου του υγρού ψυκτικού μέσου που βρίσκεται από πάνω τους.

Φυσικά τα στοιχεία καταιωνισμού έχουν το μειονέκτημα της αντλίας κυκλοφορίας, η οποία απαιτείται για τη λειτουργία τους.

3) Στοιχεία ξηρής εκτονώσεως.

Στο είδος αυτών των στοιχείων το ψυκτικό μέσο ρέει και ατμοποιείται ***μέσα*** στους σωλήνες αντίθετα με τους δυο προηγούμενους τύπους, στους οποίους, όπως αναφέρθηκε, κυκλοφορεί στο έξω μέρος τους.

Στον τύπο αυτό των στοιχείων ατμοποιήσεως, η ατμοποίηση του υγρού ψυκτικού μέσου συντελείται με την πρώτη διαδρομή του υγρού ψυκτικού μέσου, έτσι ώστε στο τέλος των σωλήνων να υπάρχει μόνο ατμός ψυκτικού μέσου.

Το νερό ή η άλμη ή το υγρό που ψύχεται κυκλοφορούν έξω από τους σωλήνες στο χώρο μεταξύ σωλήνων και κελύφους.

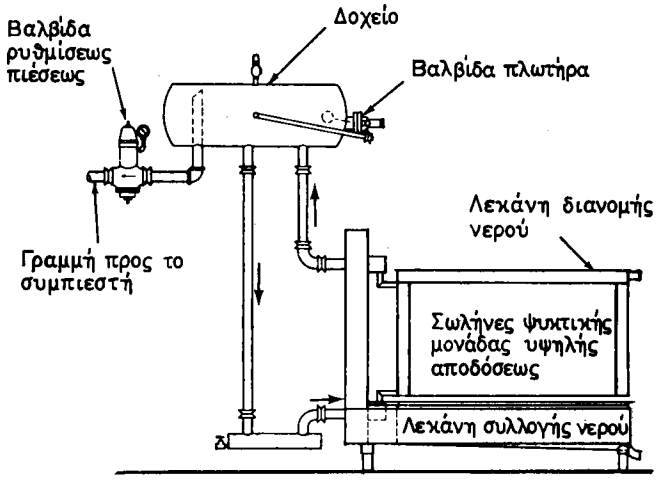
Όπως έχει αναφερθεί, ο τύπος αυτός παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι καθαρίζεται δύσκολα. Έχει όμως και ένα σημαντικό πλεονέκτημα, σχετικό με τη λειτουργία σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο πήξεως (πάγου) του υγρού. Αυτό είναι: Αν το νερό που ψύχεται και κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες παγώσει από κάποια ανωμαλία στη λειτουργία, τότε οι σωλήνες αυτοί θα σπάσουν και θα υποστεί βλάβη το στοιχείο. Αν αντιθέτως το υγρό που ψύχεται κυκλοφορεί έξω από τους σωλήνες, τότε σε περίπτωση ανωμαλίας, σχηματίζεται πάγος στο εξωτερικό μέρος των σωλήνων και η συσκευή είναι πιο ασφαλής, γιατί εν τω μεταξύ προλαβαίνει να λειτουργήσει και η αντίστοιχη ασφαλιστική διάταξη.

Το είδος αυτό των στοιχείων συνήθως λειτουργεί με θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλισμού, χωρίς όμως να αποκλείονται και οι άλλοι τρόποι ρυθμίσεως της παροχής υγρού ψυκτικού μέσου.

Το στοιχείο ατμοποιήσεως με ξηρή εκτόνωση χρησιμοποιείται παρά πολύ για μικρές και μεσαίες ψυκτικές εγκαταστάσεις, δηλαδή για ψυκτική ισχύ μέχρι και 350 ψυκτικών τόνων. Επίσης χρησιμοποιείται και σε εγκαταστάσεις πλοίων, γιατί δεν είναι ευαίσθητο στον κλυδωνισμό, όπως είναι τα στοιχεία υπερχειλίσεως, που στις περιπτώσεις αυτές δυσκολεύονται ή αδυνατούν να λειτουργήσουν, επειδή κινείται η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού ψυκτικού μέσου που λιμνάζει.

4) Στοιχεία καταιωνισμού νερού, ξηρής εκτονώσεως.

Τα στοιχεία αυτά (σχ. 3.3α), γνωστά και με τον αγγλικό όρο Baudelot, χρησιμοποιούνται για βιομηχανικές εφαρμογές, όπου ψύχεται νερό σε θερμοκρασίες μέχρι και + 1,5°C, οπότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για πάγωμα επάνω στις κρύες επιφάνειες του στοιχείου. Τα στοιχεία καταιωνισμού νερού, ξηρής εκτονώσεως, λειτουργούν με την αρχή που φαίνεται στο σχήμα 3.3α. Το ψυκτικό μέσο, συνήθως αμμωνία, αποθηκεύεται σε υγρή μορφή σε ένα δοχείο στο πάνω μέρος της συ-



Σχ. 3.3α.
Στοιχείο καταιωνισμού νερού, ξηρής εκτονώσεως.

σκευής και τρέχει ***μέσα*** στους σωλήνες. Η φυσική κυκλοφορία διατηρείται λόγω της διαφοράς πυκνότητας, που επικρατεί στα δυο κατακόρυφα σκέλη των σωληνώσεων και δεν χρησιμοποιείται κυκλοφορητής για το ψυκτικό μέσο. Η σταθερή στάθμη στο δοχείο υγρού ψυκτικού μέσου διατηρείται συνήθως με βαλβίδα πλωτήρα, η οποία λειτουργεί στην πλευρά της χαμηλής πιέσεως της εγκαταστάσεως. Οι σωλήνες, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο, είναι οριζόντιοι και τοποθετημένοι σε πολλά επάλληλα στρώματα.

Το νερό που ψύχεται καταιωνίζεται στο πάνω μέρος των σωλήνων και στη συνέχεια στάζει, λόγω βαρύτητας, και περνάει από όλες τις σειρές των σωλήνων διαδοχικά. Στο κάτω μέρος υπάρχει μια λεκάνη συλλογής του νερού από όπου το αναρροφά μια αντλία κυκλοφορίας και το στέλνει στην κατανάλωση για χρήση. Η αντλία αυτή εξυπηρετεί τόσο την κυκλοφορία στο δίκτυο χρήσεως, όσο και τον καταιωνισμό του νερού στο πάνω μέρος των σωλήνων.

Η διάταξη αυτή ουσιαστικά δεν έχει κέλυφος μέσα στο οποίο υπάρχει υγρό υπό πίεση. Συνήθως γύρω από τα στρώματα των σωλήνων δημιουργείται ένα κιβώτιο με θερμική μόνωση, ώστε να αποφεύγονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Μέσα σ' αυτό το κιβώτιο υπάρχει και ο ατμοσφαιρικός αέρας· έτσι το νερό που τρέχει λόγω βαρύτητας, από πάνω προς τα κάτω, ψύχεται μέσα στον αέρα.

Το είδος αυτό των στοιχείων ατμοποιήσεως δεν είναι ευαίσθητο σε πάγωμα των σωλήνων εξωτερικά και καθαρίζεται σχετικά εύκολα, γιατί αφαιρούνται τα τοιχώματα του κιβωτίου πολύ γρήγορα.

Συνήθως ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται με ψυκτικό μέσο την αμμωνία. Όταν η αμμωνία δεν είναι επιθυμητή, για λόγους ασφάλειας, τοξικότητας κλπ., τότε χρησιμοποιείται και με τα αλογονομένα ψυκτικά μέσα, αλλά, αντί για τη βαλβίδα πλωτήρα υπάρχει θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως.

5) Στοιχεία ομοαξονικών σωλήνων.

Κατασκευάζονται το ίδιο όπως οι αντίστοιχοι συμπυκνωτές που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το ψυκτικό μέσο μπορεί να κυκλοφορεί ή στον εσωτερικό σωλήνα ή στο μανδύα που σχηματίζεται ανάμεσα στους δυο ομοαξονικούς σωλήνες.

Επειδή υπάρχει το πρόβλημα της ρυπάνσεως από το νερό, συνήθως χρησιμοποιείται ο μέσα σωλήνας για την κυκλοφορία του νερού, ο οποίος καθαρίζεται κάπως ευκολότερα ιδίως αν δεν έχει σχήμα φουρκέτας.

Τα στοιχεία ομοαξονικών σωλήνων λειτουργούν στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις είτε ως στοιχεία ξηρής εκτονώσεως, είτε ως στοιχεία υπερχειλίσεως. Η γενική διάταξή τους είναι όμοια με τη λειτουργία των στοιχείων της προηγούμενης παραγράφου (Baudelot) με τη διαφορά ότι η άλμη ή το νερό εδώ δεν καταιωνίζεται, αλλά κυκλοφορεί στον εσωτερικό σωλήνα. Η διάταξη όμως τροφοδοτήσεως του ψυκτικού μέσου είναι η ίδια όπως στο σχήμα 3.3α.

6) Στοιχεία κελύφους - σπείρας.

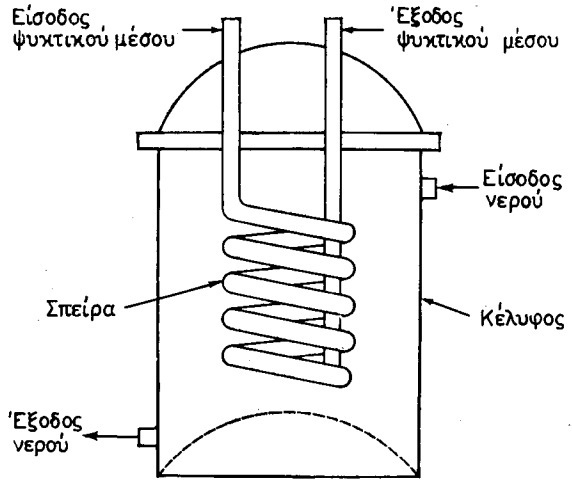
Η κατασκευή τους είναι ίδια όπως στους αντίστοιχους συμπυκνωτές, που αναφέρθηκαν στο σχήμα 2.3β. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για μικρές εγκαταστάσεις και εξυπηρετούν ψύκτες για πόσιμο νερό ή μικρές απαιτήσεις για κρύο νερό που εμφανίζονται σε μικρές βιοτεχνίες και εργαστήρια. Λειτουργούν σχεδόν πάντοτε με θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως και έχουν μορφή σαν αυτή του σχήματος 3.3β. Το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί μέσα στο σωλήνα της σπείρας και το ψυχόμενο υγρό στο έξω μέρος της σπείρας. Με τη διάταξη αυτή δημιουργείται ένα απόθεμα κρύου υγρού μέσα στο κέλυφος, που καλύπτει μικρές αιχμές της καταναλώσεως. Ο τύπος αυτός, για να καλύπτει και μεγαλύτερες αιχμές φορτίων, χρησιμοποιείται σε παραλλαγμένη μορφή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3γ. Σ' αυτή σχηματίζεται πάγος μέσα στο δοχείο, όπου η σπείρα του σωλήνα του ψυκτικού μέσου βαπτίζεται μέσα σε νερό. Το νερό χρήσεως ψύχεται μέσα σε ένα δεύτερο σπειροειδή σωλήνα και κυκλοφορεί χωρίς να αποθηκεύεται. Η αποθήκευση του κρύου νερού και του πάγου γίνεται με μια ποσότητα νερού ανεξάρτητη από την κατανάλωση και καλύπτει τα αυξημένα στιγμιαία φορτία της χρήσεως.

Η κατασκευή του σχήματος 3.3γ δεν έχει ουσιαστικά κέλυφος πιέσεως· περιέχει ποσότητα νερού και πάγου που εκτός από την αποθήκευση λειτουργεί και σα μέσο μεταδόσεως θερμότητας από το νερό χρήσεως, που κυκλοφορεί μέσα στη μια σπείρα, προς το ψυκτικό μέσο, που ατμοποιείται μέσα στην άλλη σπείρα.

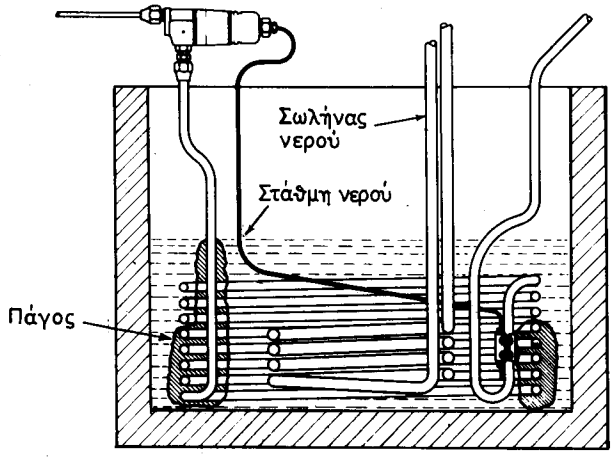
7) Στοιχεία δοχείου αναδεύσεως, υπερχειλίσεως.

Στο είδος αυτό των στοιχείων ατμοποιήσεως, το υγρό που ψύχεται είναι μέσα σε ένα δοχείο με ελεύθερη στάθμη, όπου μια αντλία - κυκλοφορητής το αναδεύει συνέχεια, ώστε να υπάρχει ομοιομορφία θερμοκρασίας. Μέσα στο δοχείο υπάρχει δέσμη παραλλήλων σωλήνων μέσα στους οποίους κυκλοφορεί και ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο. Το υγρό ψυκτικό μέσο είναι αποθηκευμένο σε ένα δοχείο στο πάνω μέρος της διατάξεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3δ, στο οποίο καταλήγει και ο ατμός, μέσα από τον κεντρικό σωλήνα. Το δοχείο τροφοδοτείται από σύστημα

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



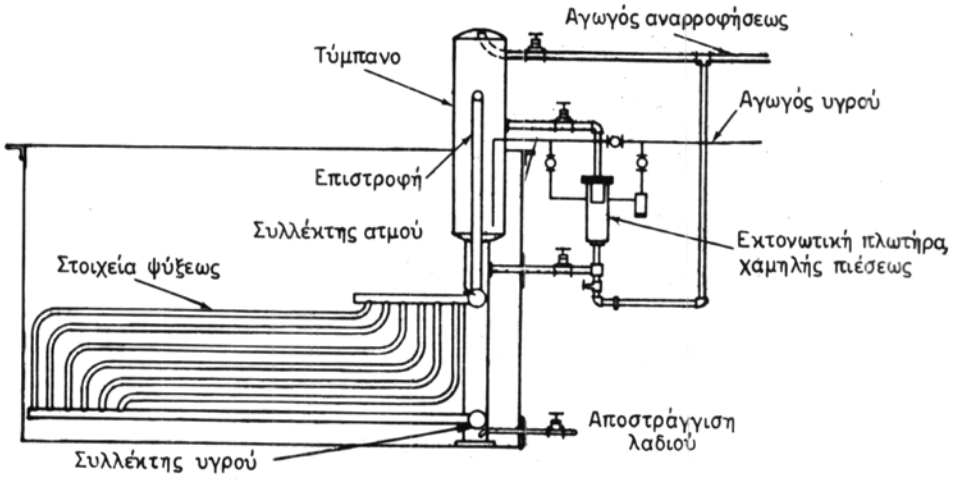
Σχ. 3.3β.
Σχηματική παράσταση στοιχείου κελύφους-σπείρας.



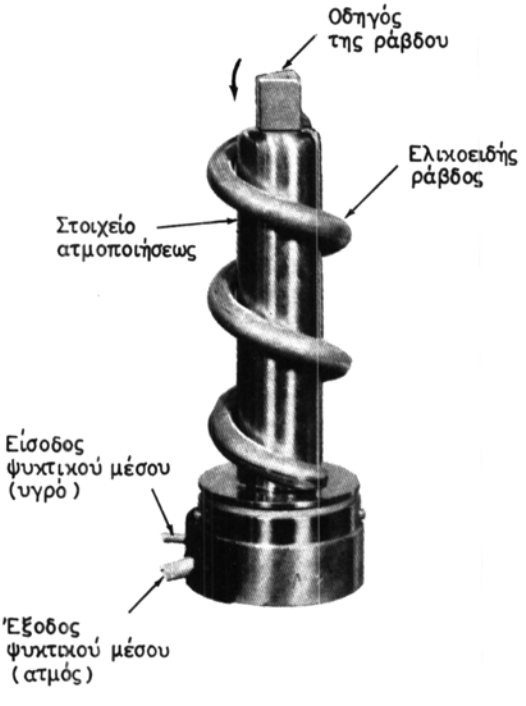
Σχ. 3.3γ.
Στοιχείο εμβαπτισμένο σε νερό για συσσώρευση πάγου.

βαλβίδας - πλωτήρα, χαμηλής πιέσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3δ. Οι σωληνώσεις που διακρίνονται εξασφαλίζουν την ακριβή τιμή στάθμης και πιέσεως που δρουν στον πλωτήρα και ρυθμίζουν τη στάθμη του υγρού ψυκτικού μέσου.

Οι τύποι στοιχείων ατμοποιήσεως που περιγράφηκαν αντιπροσωπεύουν μόνο τις πιο συνηθισμένες κατασκευές. Εκτός από αυτές υπάρχει μεγάλη ποικιλία κατασκευών που καλύπτει τις ειδικές ανάγκες. Σα παράδειγμα τέτοιων ειδικών εφαρμογών μπορεί να αναφερθούν οι αυτόματες μηχανές παραγωγής πάγου σε μικρά κομμάτια. Στο σχήμα 3.3ε φαίνεται η εικόνα ενός στοιχείου ατμοποιήσεως για πα-



Σχ. 3.3δ.
Στοιχείο ατμοποιήσεως τύπου δοχείου αναδεύσεως.



Σχ. 3.3ε.
Στοιχείο ατμοποιήσεως για παραγωγή παγονυφάδων.

ραγωγή παγονυφάδων. Ο κατακόρυφος κύλινδρος έχει ένα εξωτερικό μανδύα, μέσα στον οποίο κυκλοφορεί και ατμοποιείται το ψυκτικό μέσο.

Η είσοδος και η έξοδος του ψυκτικού μέσου φαίνονται στο κάτω αριστερό μέρος του σχήματος. Η εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου διατηρείται σε θερμοκρασία −18°C και επάνω της τρέχει νερό, το οποίο παγώνει αμέσως. Πάνω στην επιφάνεια αυτή περιστρέφεται μια ελικοειδής ράβδος, η οποία ξύνει συνεχώς τον πάγο που σχηματίζεται και τον απομακρύνει, ώστε να σχηματίζεται συνεχώς και νέα ποσότητα.

Η ελικοειδής ράβδος κινείται από ηλεκτροκινητήρα μέσω ενός άξονα, που διαπερνά στο κέντρο το κυλινδρικό κοίλο στοιχείο ατμοποιήσεως.

Όταν τα στοιχεία ατμοποιήσεως είναι κατασκευασμένα έτσι, ώστε να υπάρχει θέμα ασφάλειας για τη λειτουργία, και απαιτούνται δοκιμές στεγανότητας υπό πίεση, τότε οι ελάχιστες πιέσεις δοκιμής, για τα διάφορα ψυκτικά μέσα, δίνονται από τον πίνακα 3.3.2. Πρέπει να τονισθεί για τις τιμές αυτές ότι δεν είναι τιμές για δοκιμή σε μηχανική αντοχή, αλλά για δοκιμή σε στεγανότητα. Η δοκιμή σε μηχανική αντοχή γίνεται πρώτα με υδραυλική πίεση (όχι αέριο) με τιμές 50% ανώτερες από αυτές του πίνακα 3.3.2 και μόνο στη συνέχεια με αέρα ή αέριο πιέσεως κατά 25% μεγαλύτερης από τις τιμές του πίνακα 3.3.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2.
Ελάχιστες τιμές πιέσεως για δοκιμές στεγανότητας στοιχείων ατμοποιήσεως.

Ψυκτικό μέσο	Πίεση λειτουργίας	
	psi	bar
11	15	1,03
12	140	9,65
22	150	10,34
114	50	3,45
717	150	10,34

Οι αντίστοιχες δοκιμές πρέπει να είναι σύμφωνες και με τη σχετική νομοθεσία που ισχύει για τους λέβητες ή τα δοχεία πιέσεως, ανάλογα με το είδος του στοιχείου ατμοποιήσεως και την κατηγορία στην οποία υπάγεται.

Τη μετάδοση θερμότητας επηρεάζουν σημαντικά και στα στοιχεία ατμοποιήσεως, όπως και στους συμπυκνωτές, οι επικαθήσεις που προκαλούνται από το νερό ή την άλμη. Οι συνηθισμένες τιμές του συντελεστή διαβάσεως θερμότητας για τις πιο γνωστές κατασκευές στοιχείων ατμοποιήσεως δίνονται στον επόμενο πίνακα 3.3.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.

Συντελεστής διαβάσεως θερμότητας στοιχείων ψύξεως υγρών (kW/m² °C)

α.α.	Τύπος στοιχείου ατμοποιήσεως	Ελάχιστο	Μέγιστο
1.	Κελύφους-λείων σωλήνων, υπερχειλίσεως (νερό και ψυκτικό μέσο 12, 22 και 717)	0,75	1,10
2.	Κελύφους-πτερυγιοφόρων σωλήνων, υπερχειλίσεως (νερό και ψυκτικό μέσο 12 ή 22)	0,50	0,80
3.	Κελύφους-λείων σωλήνων, υπερχειλίσεως (άλμη και ψυκτικό μέσο 717)	0,25	0,60
4.	Κελύφους-λείων σωλήνων, υπερχειλίσεως (άλμη και ψυκτικό μέσο 12 ή 22)	0,20	0,50
5.	Κελύφους-λείων σωλήνων, ξηρής εκτονώσεως (νερό με ψυκτικό μέσο 12, 22 ή 717), (το ψυκτικό σε σωλήνες)	0,45	0,90
6.	Κελύφους-εσωτερικώς πτερυγομένων σωλήνων ξηρής εκτονώσεως (νερό με ψυκτικό μέσο 12 ή 22), (το ψυκτικό σε σωλήνες)	0,90	1,40
7.	Κελύφους-λείων σωλήνων, ξηρής εκτονώσεως (άλμη με ψυκτικό μέσο 12 ή 22 ή 717) (το ψυκτικό σε σωλήνες)	0,35	0,80
8.	Κελύφους-εσωτερικώς πτερυγομένων σωλήνων ξηρής εκτονώσεως (μη αλατούχες άλμες με ψυκτικό μέσο 12 ή 22)	0,55	1,00
9.	Κελύφους-λείας σπείρας (νερό στο κέλυφος), (ψυκτικό μέσο 12, 22 ή 717 στο σωλήνα)	0,06	0,15
10.	Καταιωνισμού νερού, υπερχειλίσεως (ψυκτικό μέσο 12 ή 22 προς νερό)	0,60	1,15
11.	Καταιωνισμού νερού, ξηρής εκτονώσεως (ψυκτικό μέσο 717 προς νερό)	0,35	0,85
12.	Καταιωνισμού νερού, ξηρής εκτονώσεως (ψυκτικό μέσο 12 ή 22 προς νερό)	0,35	0,70
13.	Ομοαξονικών σωλήνων (ψυκτικό μέσο 717 προς νερό)	0,30	0,85
14.	Ομοαξονικών σωλήνων (ψυκτικό μέσο 717 προς άλμη)	0,30	0,70
15.	Κελύφους-σωλήνων, καταιωνισμού (ψυκτικό μέσο 11, 12, 22, 113 ή 717)	0,85	1,40
16.	Δοχείου αναδεύσεως-σπείρας, υπερχειλίσεως (ψυκτικό μέσο 717)	0,45	0,70
17.	Δοχείου αναδεύσεως-σπείρας, υπερχειλίσεως (ψυκτικό μέσο 12 ή 22)	0,35	0,60
18.	Δοχείου αναδεύσεως-σπείρας, (ψύξη άλμης από αμμωνία για παραγωγή πάγου σε κολώνες)	0,08	0,20
19.	Δοχείου, με υψηλές ταχύτητες ροής (αμμωνία προς άλμη)	0,45	0,62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ

4.1 Γενικά.

Το υγρό ψυκτικό μέσο, που συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή, πρέπει να περάσει από τη διάταξη στραγγαλισμού της πιέσεως, ώστε αφού υποβιβαστεί η πίεσή του να επιστρέψει στο στοιχείο ατμοποιήσεως, για να ξαναγίνει ατμός. Τι εξυπηρετεί ο στραγγαλισμός αυτός έχει εξηγηθεί ήδη στο Α΄ Μέρος του βιβλίου αυτού, εδώ απλώς υπενθυμίζονται τα εξής:

α) Στην είσοδο της διατάξεως στραγγαλισμού ρέει υγρό ψυκτικό μέσο, ενώ από την έξοδο ρέει μίγμα υγρού-ατμού.

β) Ο στραγγαλισμός, αν υποτεθεί ότι γίνεται αδιαβατικά, δηλαδή χωρίς τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ ψυκτικού μέσου και περιβάλλοντος, είναι μεταβολή ισενθαλπική.

γ) Η διάταξη στραγγαλισμού έχει ***διπλή αποστολή, στραγγαλίζει δηλαδή την πίεση*** και ***ρυθμίζει την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου*** από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως.

Από θερμοδυναμικής απόψεως η λειτουργία του στραγγαλισμού είναι η πιο σημαντική. Ως προς τη λειτουργικότητα όμως η ρύθμιση της παροχής μάζας είναι εξίσου σημαντική γιατί έτσι αποφεύγεται συσσώρευση ψυκτικού μέσου στην περιοχή της χαμηλής ή υψηλής πιέσεως της εγκαταστάσεως. Αν η διάταξη στραγγαλισμού έχει παροχή μάζας μικρότερη από εκείνη του συμπιεστή, τότε το ψυκτικό μέσο μαζεύεται στην περιοχή υψηλής πιέσεως. Αν αντιθέτως η παροχή της διατάξεως στραγγαλισμού είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του συμπιεστή, τότε το ψυκτικό μέσο συγκεντρώνεται στην περιοχή χαμηλής πιέσεως. Και στις δυο περιπτώσεις εμφανίζονται φαινόμενα, που δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία.

Επειδή οι πιέσεις λειτουργίας της εγκαταστάσεως μεταβάλλονται με την εποχή του έτους και με το ψυκτικό φορτίο που υπάρχει κάθε φορά, η παροχή της διατάξεως στραγγαλισμού πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται στις ανάγκες της εγκαταστάσεως που είναι μεταβλητές.

Όλες σχεδόν οι ψυκτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν διακεκομμένα, ώστε να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις των φορτίων. Στις περιπτώσεις αυτές όμως πολλές φορές οι διατάξεις στραγγαλισμού δεν παύουν να λειτουργούν με την παύση λειτουργίας του συμπιεστή, αλλά εξακολουθούν να στέλνουν ψυκτικό μέσο στην εγκατάσταση. Το ίδιο συχνά όμως, σε σύνθετες εγκαταστάσεις, εμφανίζεται και το αντίθετο φαινόμενο, δηλαδή η διάταξη στραγγαλισμού σταματάει την παροχή ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως, ενώ ο συμπιεστής εξακολουθεί να

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

λειτουργεί. Ο ετεροχρονισμός αυτός επιβάλλεται από τις διατάξεις ρυθμίσεως και ελέγχου των διαφόρων σημείων της εγκαταστάσεως.

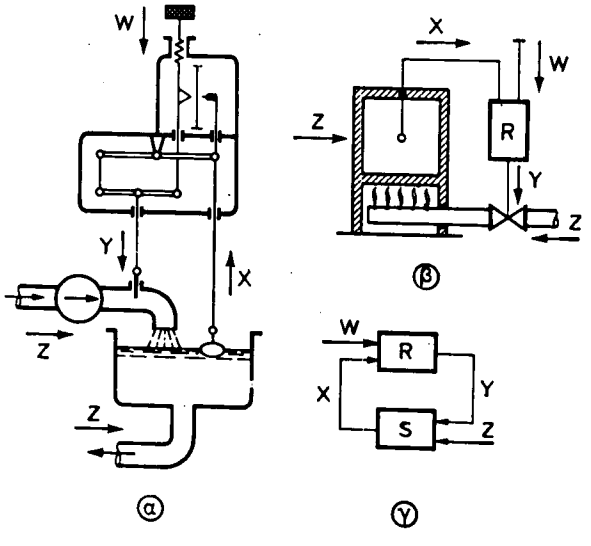
Για το λόγο αυτό, όταν λέμε ότι η διάταξη στραγγαλισμού πρέπει να προσαρμόζεται προς την παροχή του συμπιεστή, εννοείται πάντοτε ο μέσος όρος της παροχής τόσο του συμπιεστή όσο και της διατάξεως στραγγαλισμού, για τον κύκλο λειτουργίας του κάθε τμήματος της εγκαταστάσεως.

Πριν αναφερθούν και περιγραφούν οι συγκεκριμένοι τύποι διατάξεων στραγγαλισμού που χρησιμοποιούνται πρέπει να ανασκοπήσομε πολύ σύντομα μερικές βασικές έννοιες.

Ο αυτόματος έλεγχος κάθε ψυκτικής εγκαταοτάσεως αποσκοπεί στο να διατηρεί ορισμένα μεγέθη της μέσα στα προδιαγραμμένα επιθυμητά όρια. Για το λόγο αυτό μετρούνται και ελέγχονται συνήθως η θερμοκρασία, η πίεση, η στάθμη υγρού του ψυκτικού μέσου, ή τέλος η υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Με βάση τις τιμές αυτές ρυθμίζεται η παροχή του ψυκτικού μέσου.

Στην απλή περιγραφή των σχετικών με τον αυτόματο έλεγχο εννοιών, μας βοηθούν οι διατάξεις του σχήματος 4.1.

Στο σχήμα 4.1(α) υπάρχει ένα δοχείο με ελεύθερη στάθμη υγρού, που τροφοδοτείται από μια αντλία. Η παροχή της αντλίας ρυθμίζεται με σύρτη που κινείται κατακόρυφα. Στο κάτω μέρος του δοχείου υπάρχει εκροή, που εξαρτάται φυσικά από το ύψος της στάθμης του υγρού. Ένας πλωτήρας ενεργοποιείται από τη στάθμη του υγρού και μετακινούμενος προς τα πάνω ή κάτω με κατάλληλους μοχλούς, ανοιγοκλείνει το σύρτη και αλλάζει την παροχή της αντλίας. Με τη διάταξη αυτή η στάθμη του υγρού παραμένει ***περίπου*** σταθερή, γιατί υπάρχουν μικρομετακινήσεις



Σχ. 4.1.
Βρόχοι αυτόματου ελέγχου.
α) Αυτόματος έλεγχος στάθμης υγρού. β) Αυτόματος έλεγχος θερμοκρασίας καύσεως. γ) Ισοδύναμο διάγραμμα.

λόγω ακριβώς του μηχανισμού ρυθμίσεως. Αν είναι επιθυμητό άλλο ύψος στάθμης, το οποίο και πάλι πρέπει να τηρείται σταθερό, τότε πρέπει να μετακινηθεί το ελατήριο στο πάνω μέρος του σχήματος, το οποίο αλλάζει το υπομόχλιο του κάτω μοχλού που κινεί το σύρτη. Παρόμοιος μηχανισμός χρησιμοποιείται και για τη διατήρηση σταθερής στάθμης υγρού ψυκτικού μέσου στα στοιχεία υπερχειλίσεως και γι' αυτό μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα εδώ.

Με βάση το παράδειγμα αυτό, μπορεί να αναγνωρισθούν τα βασικά μεγέθη του αυτόματου ελέγχου στο σχήμα 4.1(α) ως εξής:

Ελεγχόμενο σύστημα.

Αποτελείται από το δοχείο, το σωλήνα εκροής, το σωλήνα προσαγωγής, την αντλία και το σύρτη.

Ελεγχόμενο μέγεθος.

Είναι το ύψος της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας.

Ρυθμίζον μέγεθος.

Είναι η διαδρομή (ύψος) του σύρτη.

Ρυθμιστής.

Είναι το σύστημα των μοχλών που παίρνει σήμα από τη θέση του πλωτήρα και το μετασχηματίζει σε εντολή, για να αλλάξει (κινηθεί) το ρυθμίζον μέγεθος.

Επιθυμητή τιμή ελεγχόμενου μεγέθους

Είναι η τιμή στην οποία πρέπει να διατηρηθεί το μέγεθος αυτό, δηλαδή το ύψος της στάθμης του υγρού.

Πραγματική τιμή.

Είναι η τιμή που έχει κάθε φορά το ελεγχόμενο μέγεθος. Συνήθως απέχει λίγο από την επιθυμητή τιμή. Στο παράδειγμά μας η στάθμη κάνει μικροδιακυμάνσεις γύρω από την επιθυμητή τιμή.

Αρχική τιμή.

Είναι η επιθυμητή τιμή του ελεγχόμενου μεγέθους, η οποία δεν έχει ακόμα μεταβληθεί, δηλαδή το ελατήριο στο πάνω μέρος δεν έχει δράσει ακόμα.

Θόρυβος.

Είναι η τυχαία μεταβολή του ελεγχόμενου μεγέθους από άγνωστους λόγους.

Στο σχήμα 4.1(β), φαίνεται ένα άλλο παράδειγμα με ένα θάλαμο καύσεως. Μέσα στο θάλαμο υπάρχει ένα θερμό στοιχείο, που μετράει τη θερμοκρασία και δίνει την τιμή αυτή X σε ένα ρυθμιστή R, ο οποίος παίρνει και την αρχική τιμή W και παράγει το ρυθμίζον μέγεθος Y, που επιδρά στο ρεύμα καυσίμου. Ταυτόχρονα υπάρχει και εδώ ο θόρυβος Z.

Στο σχήμα 4.1(γ) υπάρχει η σχηματική παράσταση του συστήματος αυτόματου

ελέγχου με το ρυθμιστή R και το ελεγχόμενο σύστημα S, καθώς επίσης και η ροή των μεγεθών.

Για να πραγματοποιηθεί αυτόματος έλεγχος είναι απαραίτητο να προηγηθούν τουλάχιστον οι εξής τρεις ενέργειες:

1) ***Μέτρηση*** του ελεγχόμενου μεγέθους X, π.χ. μέτρηση της στάθμης στο σχήμα 4.1(α) ή μέτρηση της θερμοκρασίας στο σχήμα 4.1(β).

2) ***Σύγκριση*** της πραγματικής τιμής X με την επιθυμητή τιμή X_k, δηλαδή σχηματισμός της διαφοράς $(X - X_k)$. Στα παραδείγματα συγκρίνεται η στάθμη ή η θερμοκρασία με τις επιθυμητές τιμές.

3) ***Εντολή,*** δηλαδή εκπομπή κατάλληλης τιμής από το ρυθμιστή προς το ρυθμίζον μέγεθος Y, ώστε να ελαττωθεί ή να μηδενισθεί η διαφορά $(X - X_k)$.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ρυθμιστών και συστημάτων. Υπάρχουν συστήματα αυτόματου ελέγχου όπου ο έλεγχος γίνεται με ***συνεχή*** μεταβολή των μεγεθών, ενώ υπάρχουν και άλλα όπου η λειτουργία είναι ***βαθμωτή,*** δηλαδή ασυνεχής.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση των στοιχείων ατμοποιήσεως, το ***ελεγχόμενο μέγεθος*** ποικίλλει. Συνήθως είναι η πίεση στο στοιχείο ατμοποιήσεως ή η υπερθέρμανση του ατμού στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Σε άλλες περιπτώσεις είναι το ύψος της στάθμης του υγρού ψυκτικού μέσου.

Σε όλες όμως τις περιπτώσεις το ***ρυθμίζον μέγεθος*** είναι η διαδρομή μιας βαλβίδας, που ανοιγοκλείνει κατάλληλα και αλλάζει την παροχή του ψυκτικού μέσου.

Ο ρυθμιστής που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι υδραυλικής ή θερμικής δράσεως ή και ηλεκτρικός. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι είναι οι εξής:

- Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως.
- Πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως.
- Θερμοηλεκτρική βαλβίδα εκτονώσεως.
- Βαλβίδα πλωτήρα χαμηλής πιέσεως.
- Βαλβίδα πλωτήρα υψηλής πιέσεως.
- Τριχοειδής σωλήνας.

Οι απλούστεροι τύποι των διατάξεων στραγγαλισμού που χρησιμοποιούνται σε όλες σχεδόν τις ψυκτικές εγκαταστάσεις περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους. Το φυσικό μέγεθος που χρησιμοποιείται ως το ελεγχόμενο μέγεθος είναι ένα από τα εξής:

- Πίεση στοιχείου ατμοποιήσεως.
- Θερμοκρασία (υπερθέρμανση ατμού).
- Ύψος στάθμης υγρού,

ή κάποιος συνδυασμός αυτών.

4.2 Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως.

4.2.1 Γενικά.

Η θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως ρυθμίζει την παροχή μάζας ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. Η ρύθμιση αυτή γίνεται έτσι, ώστε να είναι γεμάτος σχεδόν ολόκληρος ο σωλήνας του ψυκτικού μέσου και κατά συνέπεια και το στοιχείο ατμοποιήσεως ενεργό.

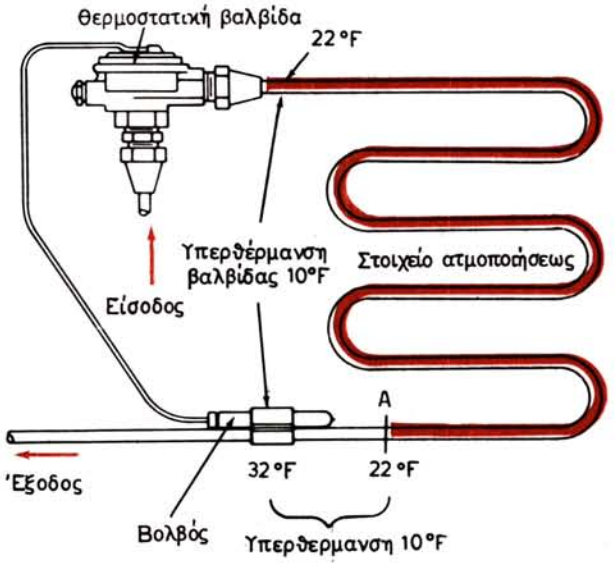
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

Το ελεγχόμενο μέγεθος είναι η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Η θερμοκρασία αυτή επιδρά επάνω σε ένα βολβό, που έχει γεμισθεί με το ίδιο ή με διαφορετικό ψυκτικό μέσο. Ο βολβός αυτός με την πίεσή του μετακινεί το στέλεχος της βαλβίδας που ρυθμίζει την παροχή ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως.

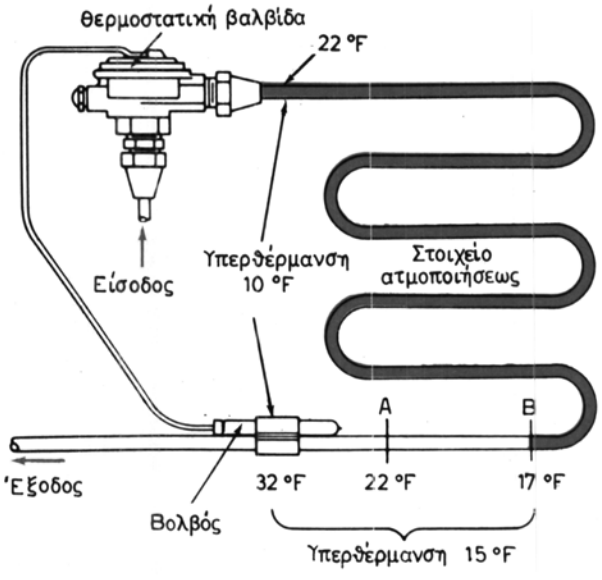
Σχηματική παράσταση της συνδέσεως της θερμοστατικής βαλβίδας με ένα μονοσωλήνιο στοιχείο ατμοποιήσεως φαίνεται στα επόμενα δυο σχήματα 4.2α και 4.2β.

Η θερμοστατική βαλβίδα βρίσκεται στο επάνω μέρος του σωλήνα, ενώ το αισθητήριό της, ο βολβός, είναι στο κάτω μέρος στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Στο σχήμα 4.2α το υγρό ψυκτικό μέσο ατμοποιείται μέχρι και το σημείο Α. Το τμήμα του σωλήνα από το Α ως το βολβό περιέχει μόνο ατμό, ο οποίος υπερθερμαίνεται. Έτσι, ενώ η ατμοποίηση πραγματοποιείται από την έξοδο της θερμοστατικής βαλβίδας μέχρι και το σημείο Α σε θερμοκρασία 22°F (−5,6°C) για το παράδειγμα του σχήματος 4.2α, στο τμήμα από το σημείο Α μέχρι το βολβό η θερμοκρασία αυξάνει συνεχώς και φθάνει τους 32°F (0°C).

Στο σχήμα 4.2β η θερμοστατική βαλβίδα λειτουργεί με μεγαλύτερη υπερθέρμανση, δηλαδή 15° F (8,3°C). Έτσι, ενώ στη θέση του βολβού η θερμοκρασία του ατμού είναι πάλι 32°F (0°C), η θερμοστατική βαλβίδα διατηρεί το τέλος της ατμοποιήσεως στους 32 − 15 = 17°F (−8,3°C). Η λειτουργία αυτή δεν είναι επιθυμητή και δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη πτώση πιέσεως από τις τριβές μέσα στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Αυτό υποδηλώνεται από την πορεία της θερμοκρασίας κατά την ατμοποίηση, η οποία ξεκινάει από 22°F (−5,6°C) και πέφτει μέχρι τους 17°C (−8,3°C), ενώ στο σχήμα 4.2α η ατμοποίηση γίνεται με σταθερή θερμοκρασία άρα και σταθερή πίεση.



Σχ. 4.2α.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως για λειτουργία με υπερθέρμανση 10°F (5,6°C).



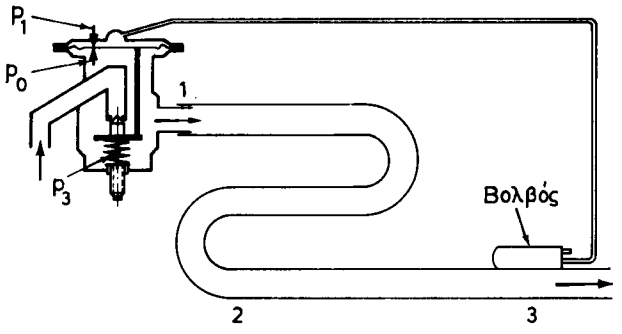
Σχ. 4.2β.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως για λειτουργία με υπερθέρμανση 15°F (8,3°C).

Ο όρος ***υπερθέρμανση*** και εδώ έχει την ίδια σημασία με τη γενική έννοια που έχει στη θερμοδυναμική και αναφέρεται στη διαφορά (αύξηση) θερμοκρασίας μεταξύ της θέσεως του βολβού και της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως στο τέλος του στοιχείου ατμοποιήσεως. Πρέπει να τονισθεί ότι πρόκειται για την υπερθέρμανση που αφορά στη βαλβίδα εκτονώσεως μόνο και όχι για την υπερθέρμανση στην αναρρόφηση του συμπιεστή, η οποία φυσικά είναι μεγαλύτερη από την υπερθέρμανση της θερμοστατικής βαλβίδας. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ατμός, από τη θέση του βολβού ως την αναρρόφηση του συμπιεστή θερμαίνεται περισσότερο.

4.2.2 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη.

Ο τρόπος λειτουργίας της θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με μεμβράνη φαίνεται στο σχήμα 4.2γ. Στην είσοδο της βαλβίδας εισέρχεται υγρό ψυκτικό μέσο, που στραγγαλίζεται καθώς διέρχεται ανάμεσα στην έδρα της βαλβίδας και τη βελόνα της. Έτσι παρατηρείται μερική ατμοποίηση και ψύξη του υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο εισέρχεται στη θέση 1 του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Το άνοιγμα της θερμοστατικής βαλβίδας, δηλαδή η σχετική θέση της βελόνας ως προς την έδρα της, καθορίζεται από τη θέση της μεμβράνης με την οποία συνδέεται. Όταν η μεμβράνη κινείται προς τα κάτω, τότε η βαλβίδα ανοίγει και αντιστρόφως. Η θέση της μεμβράνης πάλι εξαρτάται από τις πιέσεις p_0 και p_1 που δρουν στις δυο της πλευρές. Όταν η υπερθέρμανση είναι μεγαλύτερη, τότε αυξάνει η πίεση μέσα στο βολβό και επομένως και η πίεση που ασκείται στο πάνω μέρος της μεμβράνης, αφού ο βολβός συνδέεται με το σχετικό σωληνάκι προς το χώρο αυτόν· έτσι η μεμβράνη κινείται προς τα κάτω. Η κίνηση αυτή όμως ανοίγει τη



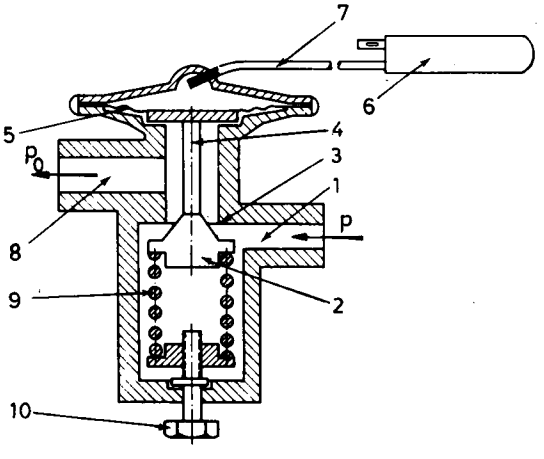
Σχ. 4.2γ.

Σχηματική διάταξη αρχής λειτουργίας θερμοστατικής βαλβίδας. p_0 πίεση ατμοποιήσεως, p_1 πίεση βολβού (αισθητηρίου), p_3 πίεση ελατηρίου.
1. Είσοδος στοιχείου ατμοποιήσεως. 2. Τέλος ατμοποιήσεως. 3. Θέση βολβού.

βαλβίδα που επιτρέπει να περνάει τώρα περισσότερο ψυκτικό μέσο. Έτσι υγρό ψυκτικό μέσο φθάνει πιο κοντά στο βολβό και μειώνεται η υπερθέρμανση. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει όταν η υπερθέρμανση γίνει μικρότερη από την κανονική. Τότε κλείνει η βαλβίδα, μειώνεται η παροχή ψυκτικού μέσου και έτσι αυξάνει η υπερθέρμανση και φθάνει στην κανονική της τιμή.

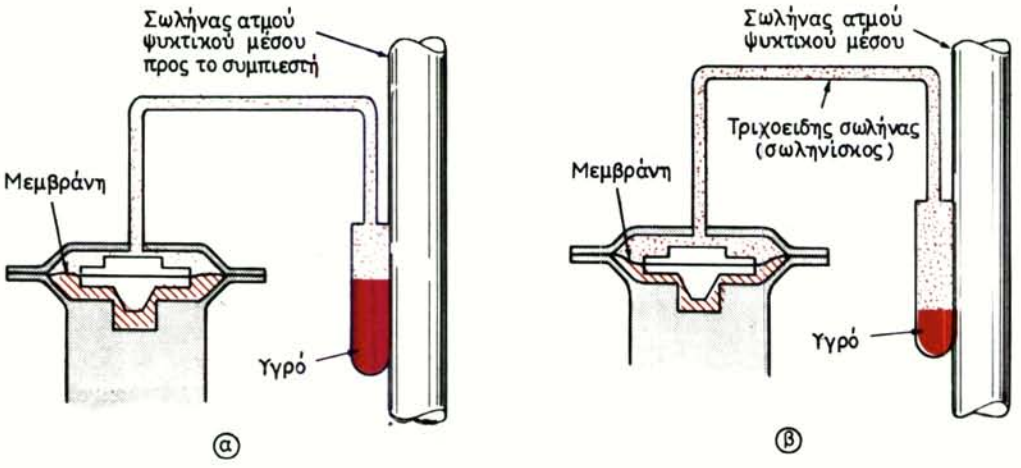
Η κανονική τιμή της υπερθερμάνσεως, που διατηρείται από τη θερμοστατική βαλβίδα, ρυθμίζεται με την πίεση p_3 του ελατηρίου. Όταν αυξηθεί η πίεση του ελατηρίου, τότε μειώνεται η παροχή και άρα αυξάνει η υπερθέρμανση που διατηρεί η βαλβίδα. Όταν, αντίθετα, ελαττωθεί η πίεση αυξάνεται η παροχή ψυκτικού μέσου και ελαττώνεται η υπερθέρμανση.

Η λειτουργία της θερμοστατικής βαλβίδας, σχηματικά, φαίνεται στο σχήμα 4.2δ. Η θέση της βαλβίδας ως προς την έδρα της, άρα και η παροχή, καθορίζεται



Σχ. 4.2δ.

Αρχή λειτουργίας θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως.
1. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 2. Βαλβίδα. 3. Έδρα βαλβίδας. 4. Στέλεχος βαλβίδας. 5. Μεμβράνη. 6. Βολβός (αισθητήριο). 7. Σωληνίσκος. 8. Έξοδος. 9. Ελατήριο ρυθμίσεως υπερθερμάνσεως. 10. Κοχλίας ρυθμίσεως υπερθερμάνσεως.



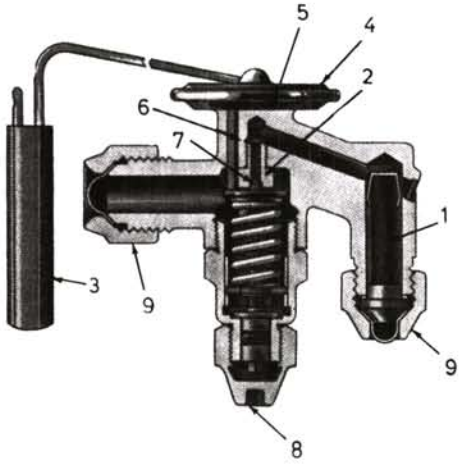
Σχ. 4.2ε.
Επίδραση της θερμοκρασίας του ατμού του ψυκτικού μέσου του βολβού, στη μεμβράνη της θερμοστατικής βαλβίδας. α) Βολβός ψυχρότερος. β) Βολβός θερμότερος.

από τη μεμβράνη και από τον κοχλία. Η θέση της μεμβράνης αλλάζει με την πίεση (άρα και τη θερμοκρασία) που επικρατεί στο βολβό και καθορίζεται από τη θερμοκρασία του ατμού του ψυκτικού μέσου.

Στο σχήμα 4.2ε φαίνεται παραστατικά η ποσότητα του υγρού και του ατμού, μέσα στο βολβό, καθώς και η θέση της μεμβράνης. Όταν ο ατμός στο μεγάλο σωλήνα είναι σχετικά κρύος, τότε το ψυκτικό μέσο μέσα στο βολβό είναι υγροποιημένο και η πίεσή του χαμηλή. Στην περίπτωση αυτή, η μεμβράνη της θερμοστατικής δεν πιέζεται και η βαλβίδα μένει σχετικά κλειστή με μικρή παροχή ψυκτικού μέσου. Η κατάσταση αυτή φαίνεται στο σχήμα 4.2ε(α). Όταν ο ατμός του ψυκτικού μέσου στο μεγάλο σωλήνα είναι θερμότερος, τότε είναι θερμότερος και ο βολβός[σχ. 42ε(β)]. Έτσι όμως ατμοποιείται περισσότερο υγρό μέσα στο βολβό, αυξάνει η πίεση του ατμού μέσα στο βολβό και πιέζει και τη μεμβράνη προς τα κάτω. Στη θέση αυτή της μεμβράνης ανοίγει η βαλβίδα και περνάει περισσότερο ψυκτικό μέσο, το οποίο και ελαττώνει τη στιγμιαία μεγάλη τιμή της υπερθερμάνσεως, που προκάλεσε άνοιγμα της βαλβίδας και αύξηση της παροχής.

Στο σχήμα 4.2στ φαίνεται σε τομή μια θερμοστατική βαλβίδα με μεμβράνη. Στο κάτω μέρος της φαίνεται ο κοχλίας που ρυθμίζει την πίεση του ελατηρίου και συνεπώς την υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου. Στα δυο άκρα της φαίνονται, σε τομή, τα δυο πώματα. Έχουν σκοπό να προστατεύουν τη βαλβίδα από είσοδο υγρασίας, μέχρι που να τοποθετηθεί στην εγκατάσταση όπου θα λειτουργήσει μόνιμα.

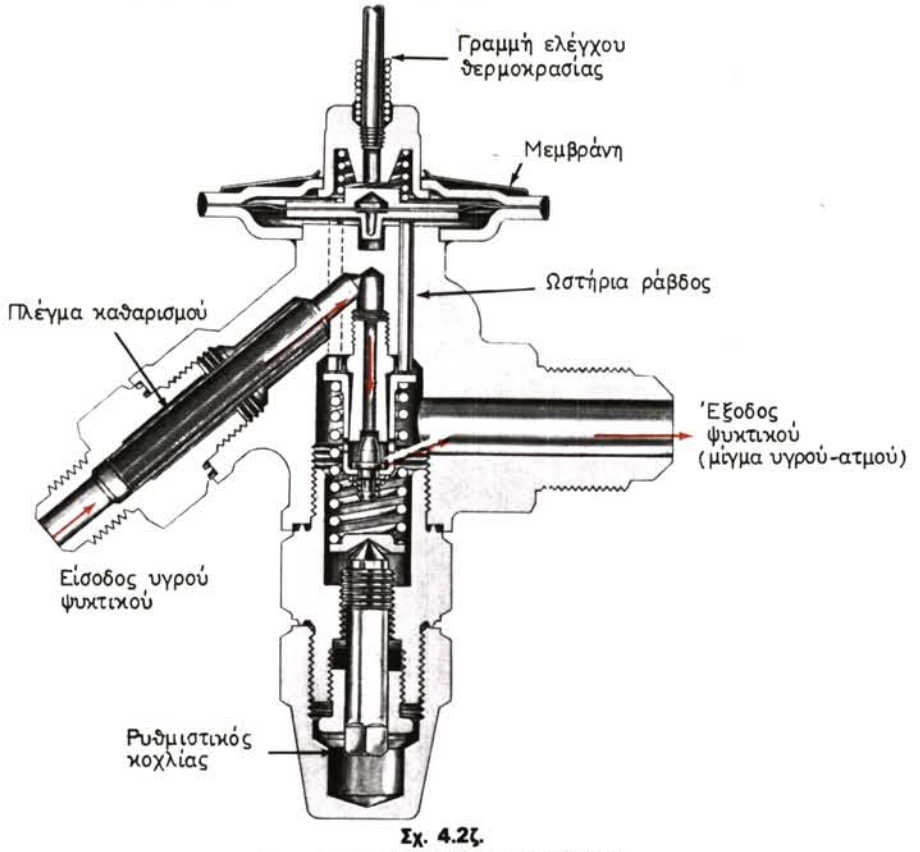
Στο σχήμα 4.2ζ φαίνεται σε τομή μια θερμοστατική βαλβίδα πάλι του ίδιου τύπου με μεμβράνη (διάφραγμα). Στο αριστερό μέρος φαίνεται η είσοδος του υγρού ψυκτικού μέσου και το πλέγμα καθαρισμού (σουρωτήρι). Στο κέντρο φαίνεται η έδρα της βαλβίδας και η ίδια η βαλβίδα με το στέλεχός της, ενώ στο δεξιό μέρος εί-



Σχ. 4.2στ.

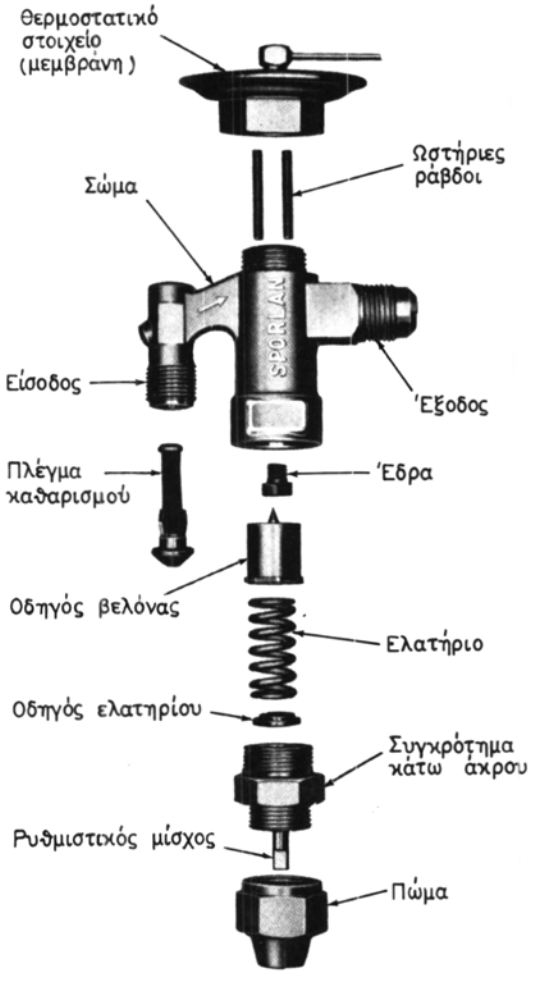
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη.

1. Είσοδος υγρού ψυκτικού και πλέγμα καθαρισμού. 2. Έδρα βαλβίδας (ακροφύσιο). 3. Βολβός (αισθητήριο). 4. Άνω θάλαμος μεμβράνης. 5. Κάτω θάλαμος μεμβράνης. 6. Ωστήρια ράβδος. 7. Βελόνα βαλβίδας. 8. Πώμα ρυθμιστικού κοχλία. 9. Προστατευτικό πώμα.



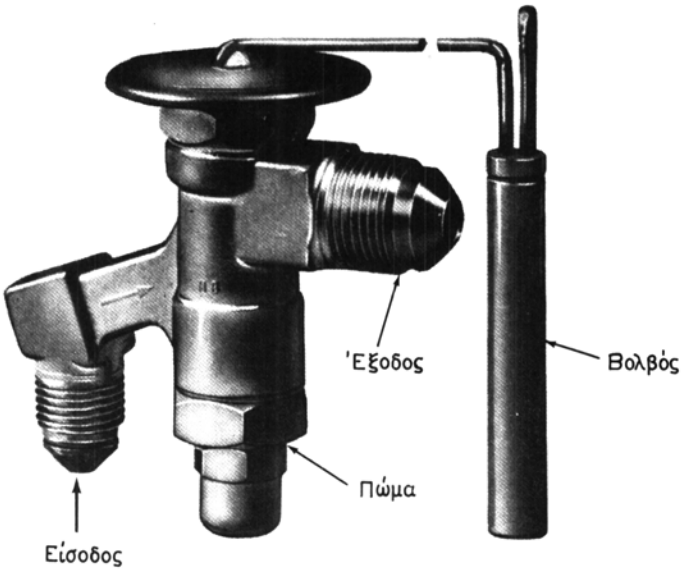
Σχ. 4.2ζ.

Θερμοστατική βαλβίδα με μεμβράνη.



Σχ. 4.2η.
Εξαρτήματα μιας θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με μεμβράνη.

ναι η έξοδος του μίγματος υγρού - ατμού ψυκτικού μέσου. Η μεμβράνη είναι στο πάνω μέρος και λειτουργεί με τη βοήθεια δυο ελατηρίων. Το ένα είναι από πάνω της, ενώ το άλλο, το κάτω, δρα με τις ωστήριες ράβδους, ενώ ταυτόχρονα κινεί και τη βαλβίδα μέσω του κυαθίου που την υποστηρίζει. Στο κάτω μέρος είναι ο ρυθμιστικός κοχλίας που κανονίζει τη δύναμη (άρα και πίεση) του ελατηρίου και συνεπώς την υπερθέρμανση με την οποία λειτουργεί η βαλβίδα. Όταν ο κοχλίας αυτός βιδώνεται και συμπιέζει το ελατήριο, τότε περνάει λιγότερο ψυκτικό μέσο και το στοιχείο ατμοποιήσεως στεγνώνει στο τέλος του. Όταν, αντίθετα, ο κοχλίας αυτός ξεβιδώνεται και το ελατήριο αποσυμπιέζεται, τότε διέρχεται περισσότερο ψυκτικό μέσο, το στοιχείο γεμίζει περισσότερο και το τέλος του έχει ακόμη υγρό ψυκτικό μέσο που ατμοποιείται. Έτσι με τον κοχλία αυτό ρυθμίζεται το ενεργό μήκος του



Σχ. 4.2θ.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη.

στοιχείου ατμοποιήσεως ή με άλλα λόγια η υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου.

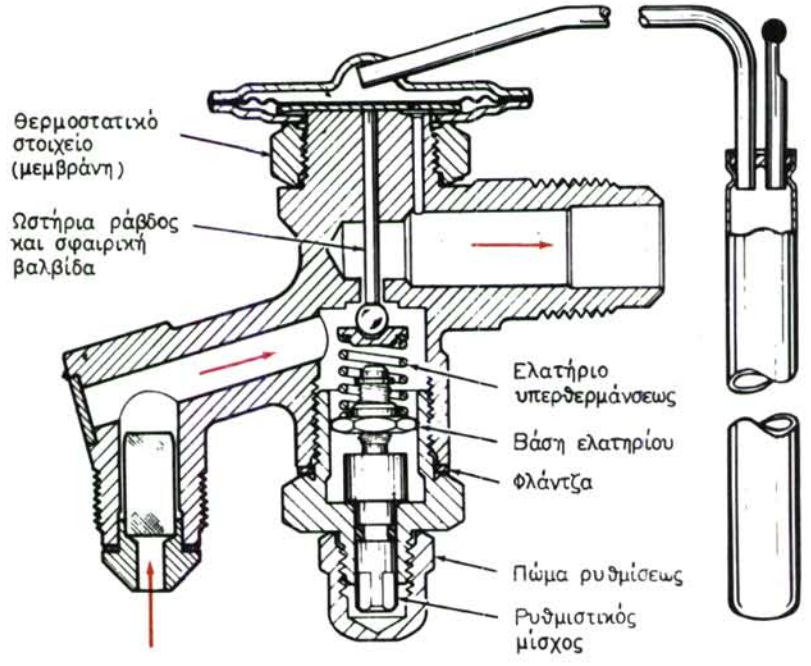
Στο σχήμα 4.2η φαίνονται τα διάφορα εξαρτήματα μιας θερμοστατικής βαλβίδας με μεμβράνη σαν αυτές που περιγράφονται στα προηγούμενα σχήματα. Στη θερμοστατική αυτή βαλβίδα, το καθαυτό στέλεχός της έχει μορφή κωνική ή όπως συχνά το λέμε, μορφή βελόνας. Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για μικρές σχετικά παροχές. Για μεγαλύτερες παροχές όμως χρησιμοποιούνται άλλες μορφές όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.

Στο σχήμα 4.2θ φαίνεται η φωτογραφία μιας θερμοστατικής βαλβίδας με βαλβίδα σφαιρικής μορφής κατάλληλη για μεγαλύτερες παροχές. Η ίδια βαλβίδα σχηματικά παριστάνεται στο σχήμα 4.2ι, ενώ ένας άλλος τύπος, με επίπεδη δισκοειδή βαλβίδα και αντίστοιχη έδρα, φαίνεται στο σχήμα 4.2ια.

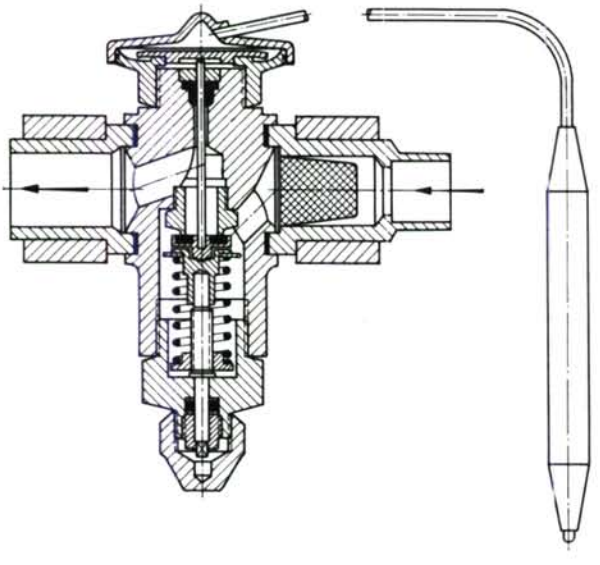
Η μορφή της κεφαλής της βαλβίδας επιδρά σημαντικά στη χαρακτηριστική λειτουργίας της θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με μεμβράνη όπως φαίνεται από το σχήμα 4.2ιβ για τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις. Δίνονται μια επίπεδη βαλβίδα, μια ημισφαιρική και μια πριονωτή. Στο διάγραμμα του σχήματος 4.2ιβ, στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η διαδρομή (άνοιγμα) της βαλβίδας σα ποσοστό της μέγιστης τιμής.

Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται η παροχή του ψυκτικού μέσου, πάλι σα ποσοστό της μέγιστης τιμής. Από το διάγραμμα φαίνονται τα εξής κύρια σημεία:

- Η επίπεδη βαλβίδα [σχ. 4.2ιβ(α)] με σχετικά μικρή διαδρομή, επιτρέπει μεγάλη αυξομείωση της παροχής.
- Η ημισφαιρική βαλβίδα [σχ. 4.2ιβ(β)] είναι λιγότερο ευαίσθητη και απαιτεί μεγαλύτερες διαδρομές για να επιτευχθούν αισθητές μεταβολές της παροχής.

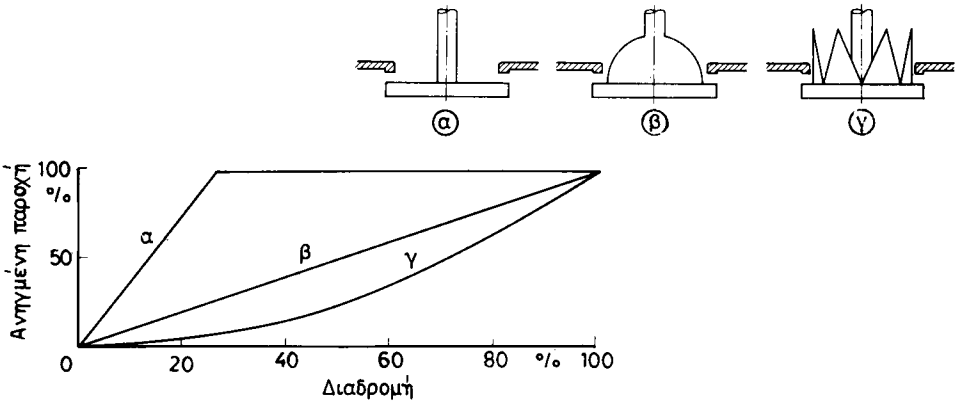


Σχ. 4.2ι.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη. Έχει βαλβίδα σφαιρική για μεγαλύτερη παροχή ψυκτικού μέσου.

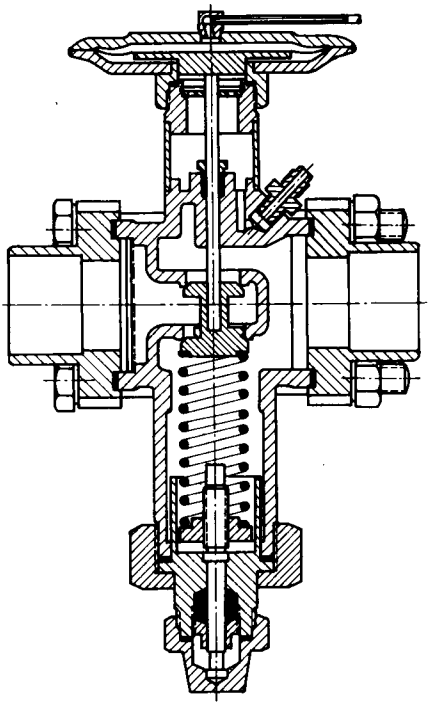


Σχ. 4.2ια.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη και δισκοειδή βαλβίδα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 4.2ιβ.
Επίδραση της μορφής της βαλβίδας στη χαρακτηριστική λειτουργίας της.
α) Επίπεδη βαλβίδα. β) Ημισφαιρική. γ) Πριονωτή.



Σχ. 4.2ιγ.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη διπλής έδρας-βαλβίδας.

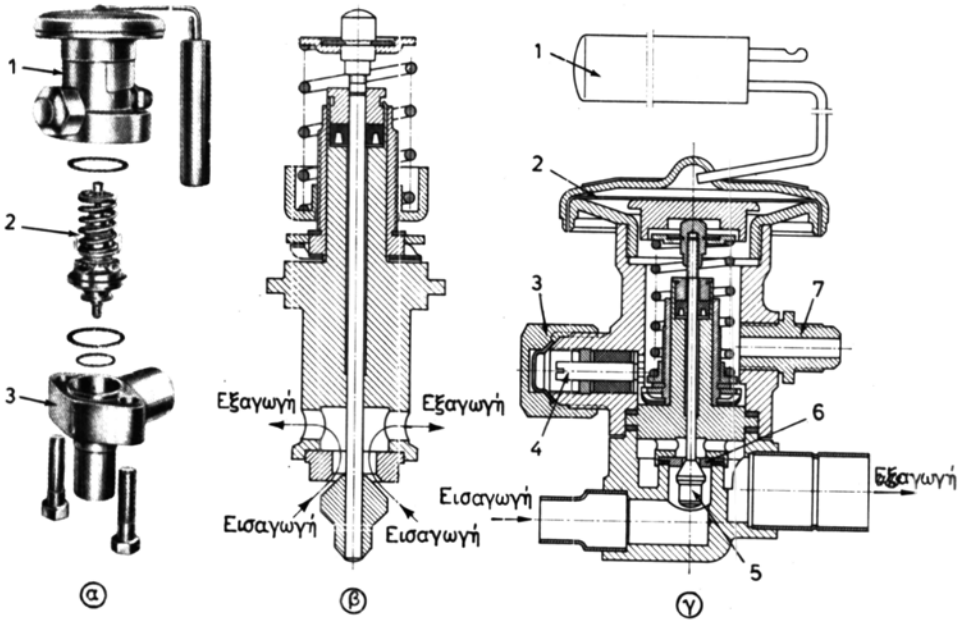
— Η πριονωτή βαλβίδα [σχ. 4.2ιβ(γ)] στις μικρές διαδρομές κάνει πολύ μικρές μεταβολές της παροχής του ψυκτικού μέσου.

Πολλές φορές για να εξισορροπηθούν οι δυνάμεις που ασκεί η διαφορά πιέσεως του ψυκτικού μέσου στις δυο πλευρές της βαλβίδας, χρησιμοποιούνται δι-

πλές βαλβίδες στο ίδιο στέλεχος, όπως φαίνεται στην κατασκευή του σχήματος 4.2ιγ. Ο τύπος όμως αυτός απαιτεί πολύ μεγάλη ακρίβεια στη μηχανουργική κατεργασία των δυο εδρών των βαλβίδων γιατί, και οι δυο βαλβίδες, πρέπει να κλείνουν ταυτόχρονα, με την ίδια διαδρομή.

Όσο μεγαλώνει η παροχή του ψυκτικού μέσου και κατά συνέπεια και οι διαστάσεις της έδρας και της βαλβίδας, τόσο μεγαλώνουν και οι δυνάμεις που απαιτούνται για την κίνηση του στελέχους. Έτσι π.χ. για διάμετρο βαλβίδας 20 mm, η δύναμη μπορεί να ξεπερνάει τα 200 N (~ 20 kp). Στις περιπτώσεις αυτές η απλή μεμβράνη δεν επαρκεί να δίνει την απαιτούμενη δύναμη και χρησιμοποιούνται ενδιάμεσες διατάξεις ενισχύσεως της δυνάμεως, δηλαδή διαφόρων τύπων σερβομηχανισμοί. Ορισμένες λεπτομέρειες για τις βαλβίδες αυτές αναφέρονται σε επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου αυτού.

Μέχρι τώρα έχουν εξετασθεί τύποι θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως με μεμβράνη. Πριν εξετασθούν και άλλοι τύποι πρέπει να αναφερθεί και μια κατασκευή βαλβίδας με μεμβράνη, που φαίνεται στο σχήμα 4.2ιδ. Το κύριο γνώρισμά της είναι η ταχύτητα και η ευκολία με την οποία αποσυναρμολογείται και συναρμολογείται. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για περιπτώσεις, όπου εμφανίζεται απόφραξη της βαλβίδας είτε από ακαθαρσίες είτε από πάγωμα της υγρασίας που μπορεί να έχει εισχωρήσει στο ψυκτικό μέσο, ή όταν απαιτείται αλλαγή στο μέγεθος της βαλβίδας.



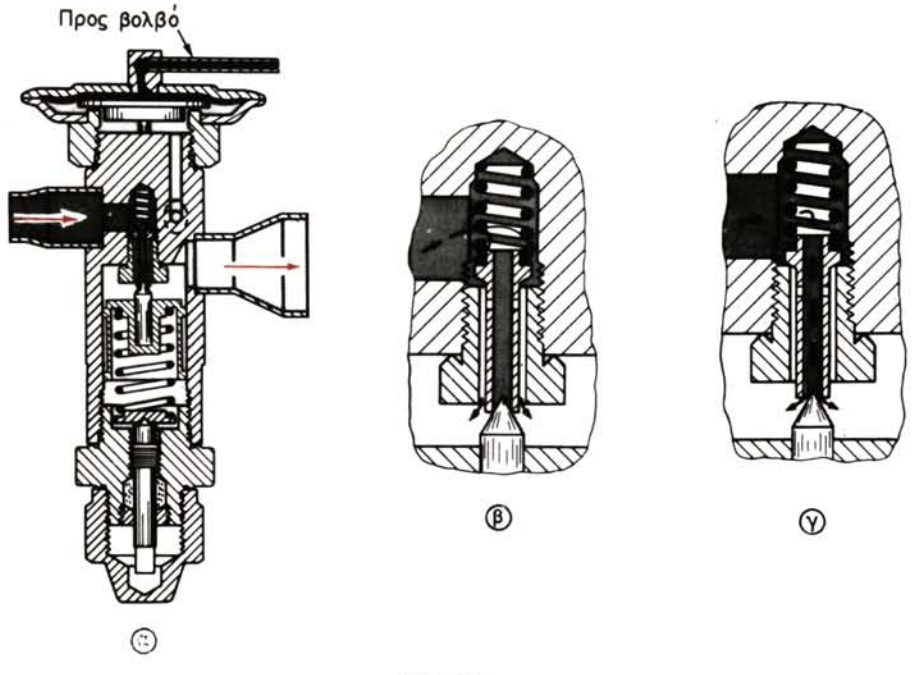
Σχ. 4.2ιδ.

Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως μεμβράνης, ταχείας αποσυναρμολογήσεως.
α) Τα τρία κύρια μέρη. 1. Βολβός-μεμβράνη. 2. Ένθετο. 3. Στόμια. β) Ένθετο βαλβίδας. γ) Γενική διάταξη: 1. Βολβός. 2. Μεμβράνη. 3. Πώμα. 4. Ρύθμιση υπερθερμάνσεως. 5. Βαλβίδα. 6. Έδρα βαλβίδας.

Ο τύπος αυτός αποτελείται από τρία κύρια μέρη, δηλαδή το μέρος με τη μεμβράνη και το βολβό, το ένθετο με τη βαλβίδα, την έδρα της, το ελατήριο, το στέλεχος κλπ., και τέλος το μέρος με τα στόμια εισόδου και εξόδου. Η πίεση του ελατηρίου, και συνεπώς η τιμή της υπερθερμάνσεως του ατμού του ψυκτικού μέσου, στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως ρυθμίζεται με τη βίδα (4), η οποία καταλήγει σε κατάλληλο κοχλία και ανεβοκατεβάζει το κυάθιο του ελατηρίου. Το είδος αυτό της θερμοστατικής βαλβίδας απαιτεί μεγάλη ακρίβεια κατεργασίας των επιφανειών που εφάπτονται μεταξύ τους και εξασφαλίζουν τη στεγανότητα ανάμεσα στα τρία κύρια κομμάτια της.

Πολλές φορές, ιδίως όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις κλιματισμού, όπου ο συμπιεστής ξεκινάει ξανά πολύ σύντομα μετά από κάθε σταμάτημά του, απαιτούνται θερμοστατικές βαλβίδες που να είναι σε θέση να εξισώνουν γρήγορα την πίεση μεταξύ του συμπυκνωτή και του στοιχείου ατμοποιήσεως, ώστε να διευκολύνεται ο συμπιεστής στο ξεκίνημά του.

Ένας τρόπος αντιμετωπίσεως του προβλήματος αυτού φαίνεται στην κατασκευή του σχήματος 4.2ιε. Στην κατασκευή αυτή η έδρα της βαλβίδας είναι ένας κύλινδρος που ολισθαίνει μέσα σε ένα κατάλληλο οδηγό και πιέζεται από ένα σπειροειδές ελατήριο. Όταν η θερμοστατική είναι σε λειτουργία, τότε το στέλεχος δεν εφάπτεται στην έδρα και το ελατήριο σπρώχνει την κυλινδρική έδρα προς τα κάτω, ώσπου το πάνω μέρος της με τη μεγαλύτερη διάμετρο να πατήσει στην αντίστοιχη έδρα. Στη θέση αυτή το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί μόνο στον κεντρικό κυλινδρικό



Σχ. 4.2ιε.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη με διάταξη ταχείας εξισορροπήσεως πιέσεως. α) Τομή βαλβίδας. β) Θέση εξισορροπήσεως πιέσεως. γ) Θέση κανονικής λειτουργίας.

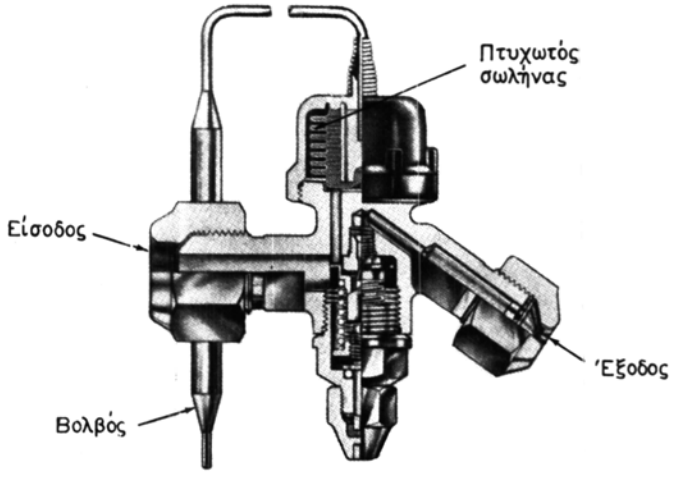
αγωγό και εν συνεχεία εξέρχεται από τη σχετική θέση του κωνικού στελέχους [σχ. 4.2ιε(γ)]. Όταν το στέλεχος αυτό κλείσει τελείως την παροχή του ψυκτικού μέσου, τότε πιέζει και την κυλινδρική έδρα, η οποία υποχωρεί συμπιέζοντας το επάνω ελατήριο. Τότε η πάνω κωλουροκωνική επιφάνεια απομακρύνεται από την έδρα της και το ψυκτικό μέσο ρέει, σε μικρή βέβαια ποσότητα, από το διάκενο ανάμεσα στις δυο κυλινδρικές επιφάνειες προς το χώρο του στοιχείου ατμοποιήσεως [σχ. 4.2ιε(β)]. Στη φάση αυτή λειτουργίας της βαλβίδας, το κωνικό στέλεχος στεγανοποιεί τον κυρίως κυλινδρικό αγωγό και δεν υπάρχει ροή μέσα από αυτόν.

Όταν χρησιμοποιούνται θερμοστατικές βαλβίδες του τύπου αυτού, δηλαδή με ταχεία εξισορρόπηση πιέσεως, πρέπει να χρησιμοποιείται και στοιχείο ατμοποιήσεως με δυνατότητα συσσωρεύσεως του υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο σιγά-σιγά περνάει από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. Αν δεν γίνει αυτό, υπάρχει κίνδυνος να παγώσει ο αγωγός αναρροφήσεως ή ακόμα και να προκληθεί αναρρόφηση υγρού από το συμπιεστή, γιατί μπορεί να μαζευτεί ολόκληρη η ποσότητα ψυκτικού μέσου στο στοιχείο ατμοποιήσεως.

4.2.3 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα.

Σε ένα άλλο τύπο θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως, η μεμβράνη έχει αντικατασταθεί από μια παρόμοια διάταξη. Η διάταξη αυτή αποτελείται από ένα κομμάτι μεταλλικού πτυχωτού σωλήνα, που οι τεχνικοί πολλές φορές ονομάζουν και φυσούνα.

Στο σχήμα 4.2ιστ φαίνεται θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα στο πάνω μέρος της. Ο χώρος του πτυχωτού σωλήνα συγκοινωνεί με το λεπτό σωλήνα προς το αισθητήριο (βολβό) και έτσι η πίεση που επικρατεί μέσα σ' αυτόν εξαρτάται κατά τα γνωστά από τη θερμοκρασία του βολβού. Στο είδος αυτό

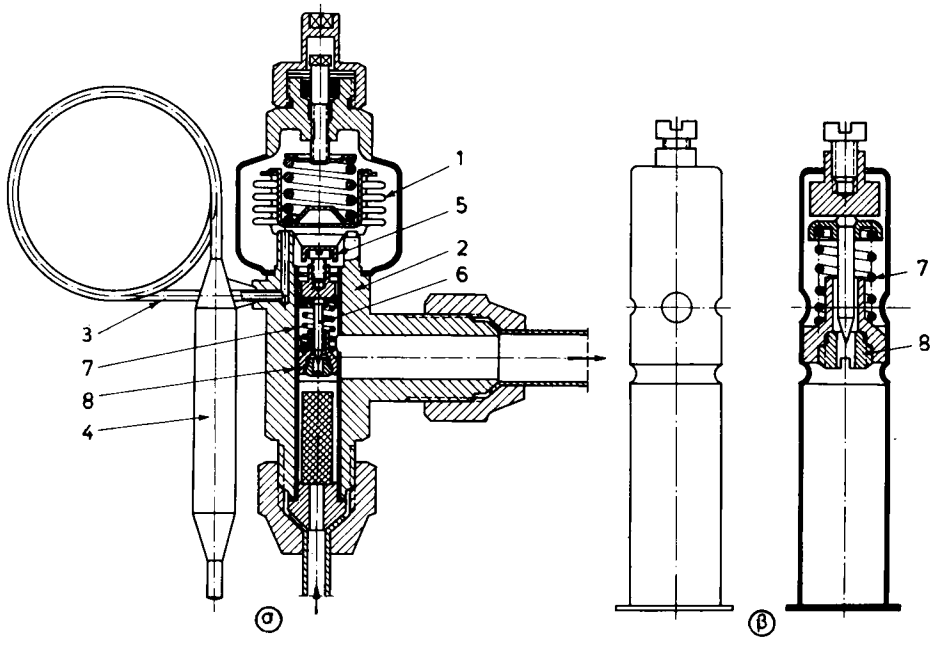


Σχ. 4.2ιστ.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα.

της κατασκευής το πάνω τμήμα, που περιλαμβάνει τον πτυχωτό σωλήνα, το μικρό σωλήνα και το βολβό, είναι κατασκευαστικά ανεξάρτητο και μπορεί να αποσυνδέεται για να ελέγχεται η στεγανότητα των δυο τμημάτων της θερμοστατικής βαλβίδας ξεχωριστά και με μεγαλύτερη ευκολία και ασφάλεια.

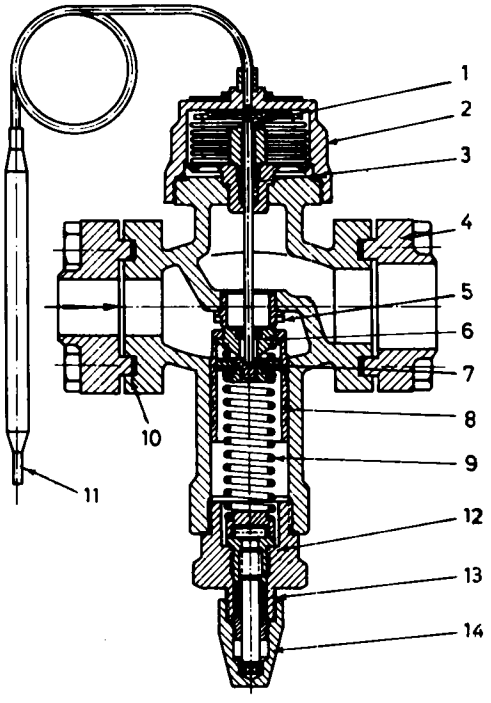
Ένας άλλος τρόπος κατασκευής θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα φαίνεται στο σχήμα 4.2ιζ. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα στην κατασκευή αυτή είναι η ευκολία αντικαταστάσεως του συστήματος βαλβίδας - έδρας - ελατηρίου, το οποίο φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 4.2ιζ. Το στέλεχος της βαλβίδας κινείται με τη βοήθεια και των δυο ελατηρίων που δρουν το μεν κάτω κατευθείαν στο στέλεχος, το δε πάνω στην επιφάνεια του πτυχωτού σωλήνα.

Όταν η παροχή ψυκτικού μέσου είναι μεγάλη και απαιτεί μεγαλύτερες διατομές, τότε εμφανίζονται και μεγαλύτερες δυνάμεις. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό. Ένας απ' αυτούς είναι και η χρήση σερβομηχανισμού για τον έλεγχο της βαλβίδας. Στο σχήμα 4.2ιη, φαίνεται μια κατασκευή του είδους αυτού. Ο πτυχωτός κύλινδρος δρα στο στέλεχος μιας μικρής βοηθητικής βαλβίδας. Όταν αυτή ανοίξει, τότε η διαφορά πιέσεως μικραίνει και ανοίγει και η κύρια βαλβίδα χωρίς πρόσθετη δύναμη. Όταν η βοηθητική βαλβίδα είναι κλειστή, τότε η κύρια βαλβίδα κλείνει λόγω της μεγάλης διαφοράς πιέσεως που επικρατεί ανάμεσα στο συμπυκνωτή και στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Η αρχή λειτουργίας



Σχ. 4.2ιζ.

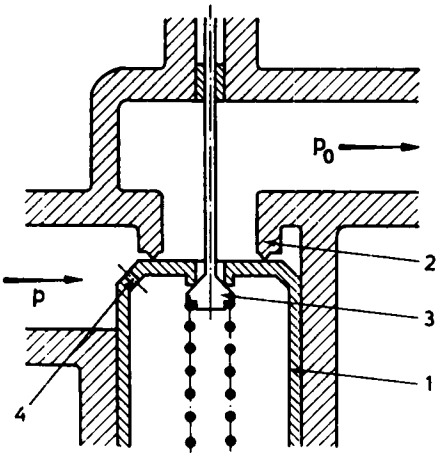
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα και αφαιρετό σύστημα βαλβίδας - έδρας. α) Η βαλβίδα ολόκληρη σε ημιτομή. β) Σύστημα βαλβίδας - έδρας - ελατηρίου: 1. Πτυχωτός σωλήνας. 2. Σώμα θερμοστατικής βαλβίδας. 3. Σωλήνας με μικρή διάμετρο. 4. Αισθητήριος βολβός. 5. Κυάθιο ανυψώσεως. 6. Βελονοειδές στέλεχος βαλβίδας. 7. Ελατήριο ανυψώσεως. 8. Έδρα βαλβίδας.



Σχ. 4.2ιη.

Θερμοστατική βαλβίδα μεγάλης ισχύος με σερβομηχανισμό.

1. Πτυχωτός σωλήνας. 2. Περικόχλιο. 3. Παρέμβυσμα. 4. Φλάντζα εξόδου. 5. Έδρα βαλβίδας-ακροφύσιο. 6. Κύρια βαλβίδα. 7. Βοηθητική βαλβίδα. 8. Κύλινδρος σερβομηχανισμού. 9. Ελατήριο. 10. Φλάντζα εισαγωγής. 11. Βολβός. 12. Στοιχείο ρυθμίσεως. 13. Στυπιοθλίπτης. 14. Προστατευτικό περικόχλιο.



Σχ. 4.2ιθ.

Σερβοκίνηση θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως.

1. Κύρια βαλβίδα-έμβολο. 2. Έδρα κύριας βαλβίδας. 3. Βοηθητική βαλβίδα. 4. Οπή εξισώσεως πιέσεως.

του σερβομηχανισμού αυτού φαίνεται στο σχήμα 4.2ιθ. Όταν η βοηθητική βαλβίδα είναι κλειστή, τότε από την οπή εξισώσεως πιέσεως (4), η πίεση του συμπιεστή δρα στο κάτω μέρος και πιέζει το έμβολο - βαλβίδα (1) στεγανά στην έδρα (2). Έτσι χρησιμοποιείται η ίδια διαφορά πιέσεως μεταξύ εισόδου P και εξόδου P_0 για να διατηρείται κλειστή η βαλβίδα. Μόλις ο πτυχωτός σωλήνας ωθήσει προς τα κάτω και ανοίξει τη βοηθητική βαλβίδα, τότε η διαφορά πιέσεως στο πάνω μέρος της εμβολοβαλβίδας (1) μειώνεται και η εμβολοβαλβίδα ανοίγει. Με τον τρόπο αυτόν ο πτυχωτός σωλήνας πρέπει να εξασφαλίζει δύναμη μόνο για τον έλεγχο της βοηθητικής βαλβίδας (3) και όχι για την κύρια εμβολοβαλβίδα.

Όταν η ισχύς είναι ακόμη μεγαλύτερη χρησιμοποιούνται άλλες διατάξεις, όπως π.χ. είναι η διάταξη με βαλβίδα - πιλότο, που θα αναφερθούν στην επόμενη παράγραφο.

4.3 Ειδικές θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως.

Στην προηγούμενη παράγραφο περιγράφηκαν με συντομία οι πιο συνηθισμένοι τύποι θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως. Εκτός όμως από αυτούς, για ειδικότερους σκοπούς, υπάρχουν και αρκετοί άλλοι τύποι, που καλύπτουν τις αντίστοιχες ανάγκες. Στη συνέχεια αναφέρονται μόνο οι πιο χαρακτηριστικοί από τους τύπους αυτούς.

4.3.1 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με διπλούς πτυχωτούς σωλήνες.

Στη βαλβίδα του τύπου αυτού υπάρχουν δυο χωριστοί χώροι, στεγανά χωρισμένοι μεταξύ τους, οι οποίοι είναι γεμάτοι με τα ίδια ή με διαφορετικά ψυκτικά μέσα. Οι χώροι αυτοί σχηματίζονται από δυο χωριστούς πτυχωτούς σωλήνες, που ασκούν μεταξύ τους δυνάμεις μηχανικές. Μια κατασκευή του είδους αυτού φαίνεται στη φωτογραφία του σχήματος 4.3α. Ο πάνω πτυχωτός σωλήνας (19) συγκοινωνεί με τον αισθητήριο βολβό (6) με τον οποίο έχει την ίδια πίεση και το ίδιο ψυκτικό μέσο. Με το ρυθμιστικό περικόχλιο (1) μετακινείται το κεντρικό στέλεχος - σωλήνας του πτυχωτού σωλήνα και έτσι αλλάζει η δύναμη με την οποία ο πάνω πτυχωτός σωλήνας πιέζει τον κάτω. Έτσι ρυθμίζεται η επιθυμητή τιμή της υπερθερμάνσεως, με την οποία λειτουργεί το στοιχείο ατμοποιήσεως.

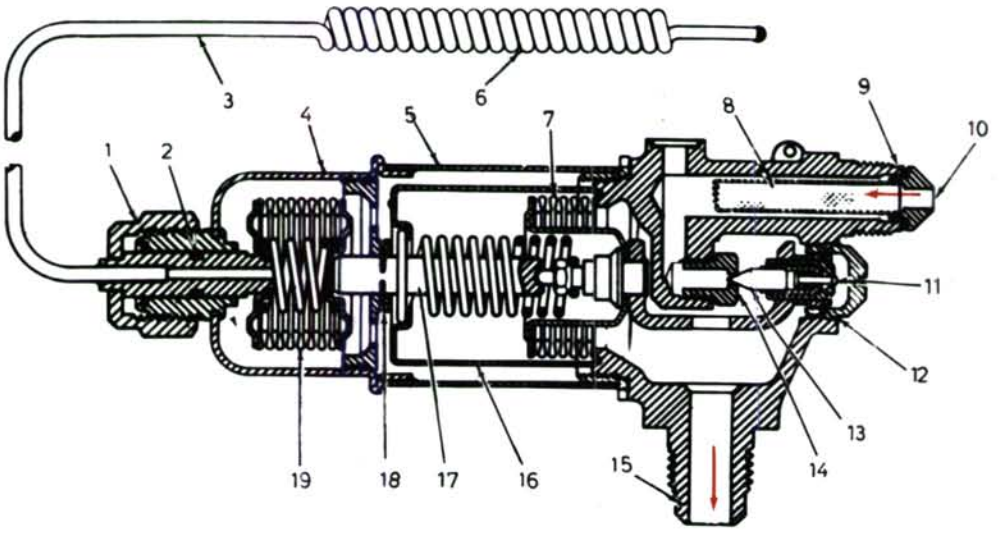
Η μηχανική επαφή του πάνω πτυχωτού σωλήνα με τον κάτω επιτυγχάνεται με ένα ενδιάμεσο δίσκο από υλικό που είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Έτσι η θερμοκρασία του πάνω πτυχωτού σωλήνα δεν επηρεάζεται αισθητά από τη θερμοκρασία του κάτω πτυχωτού σωλήνα, ο οποίος είναι ανεξάρτητος.

Μια αντίστοιχη κατασκευή με διπλό πτυχωτό σωλήνα φαίνεται και στο σχήμα 4.3β.

4.3.2 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με διάταξη βαλβίδας-πιλότου.

Οι απλές θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες, όπως αυτές που αναφέρθηκαν ήδη, δηλαδή με άμεσο έλεγχο, κατασκευάζονται για μέγιστη ψυκτική ισχύ, που είναι περίπου η εξής:

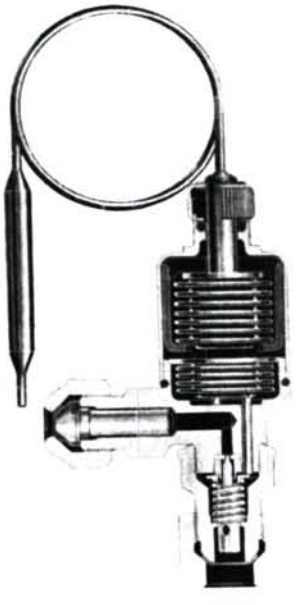
- Ψυκτικό μέσο R12 μέχρι 45 RT.
- Ψυκτικό μέσο R22 μέχρι 75 RT.



Σχ. 4.3α.

Θερμοστατική εκτονώσεως με διπλό πτυχωτό σωλήνα.

1. Ρυθμιστικό περικόχλιο. 2. Στεγανωτικός δακτύλιος. 3. Σωλήνας μικρής διαμέτρου. 4. Κέλυφος πτυχωτού σωλήνα. 5. Κέλυφος ρυθμίσεως αποστάσεως. 6. Αισθητήριο θερμοκρασίας. 7. Πτυχωτός σωλήνας κύριου σώματος βαλβίδας. 8. Πλέγμα διηθήσεως. 9. Στεγανωτικός παράκυκλος. 10. Είσοδος ψυκτικού μέσου. 11. Άκρο στελέχους βαλβίδας. 12. Στεγανοποιημένο πώμα. 13. Βαλβίδα βελονοειδής. 14. Έδρα βαλβίδας. 15. Έξοδος προς στοιχείο ατμοποιήσεως. 16. Εσωτερικό κέλυφος αποστάσεως. 17. Στέλεχος αποστάσεως. 18. Ελατηριωτός παράκυκλος, ακαριαίας μεταπτώσεως. 19. Πτυχωτός σωλήνας θερμοκρασίας.



Σχ. 4.3β.

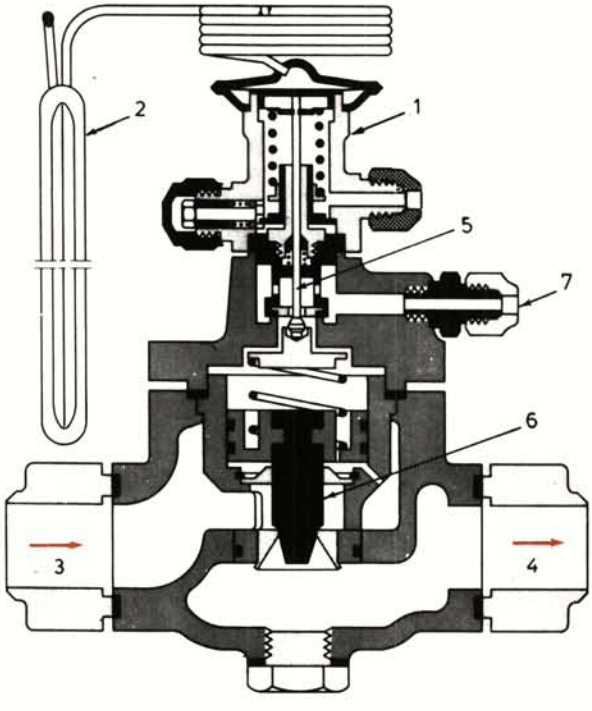
Ιερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με διπλό πτυχωτό σωλήνα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

— Ψυκτικό μέσο R717 (NH_3) μέχρι 100 RT.

Όταν οι εγκαταστάσεις είναι μεγαλύτερες, τότε οι βαλβίδες εκτονώσεως δεν έχουν τη συνηθισμένη απλή μορφή που γνωρίσαμε, γιατί το είδος αυτό είναι πια ασύμφορο οικονομικά. Πάντως, για την εξυπηρέτηση των μεγαλυτέρων μονάδων, όταν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθεί τύπος θερμοστατικής βαλβίδας με εκτόνωση, εφαρμόζεται μια πιο σύνθετη κατασκευή. Αυτή περιλαμβάνει δυο βαλβίδες, μια πιο μικρή, τη ***βαλβίδα-πιλότο,*** και μια μεγαλύτερη, την κύρια βαλβίδα ελέγχου της παροχής. Η βαλβίδα-πιλότος είναι συνηθισμένη θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως, η οποία δρα όμως με τη διαφορά πιέσεως που εμφανίζεται στα άκρα της, πάνω στην κύρια βαλβίδα και την ελέγχει. Παρέχει δηλαδή και το σήμα αλλά και τη δύναμη για να ανοιγοκλείνει η κύρια βαλβίδα. Οι δυο αυτές βαλβίδες μπορεί να είναι ενσωματωμένες κατασκευαστικά σε μια διάταξη ή να είναι δυο χωριστά κομμάτια.

Στο σχήμα 4.3γ φαίνεται μια ενσωματωμένη διάταξη. Στο αριστερό μέρος είναι ο βολβός (2), που με το μικρό σωλήνα συνδέεται με το χώρο στο πάνω μέρος της μεμβράνης. Η μεμβράνη λειτουργεί κατά το γνωστό τρόπο και μετακινεί το στέλεχος που συνδέεται στο κέντρο της και συνεπώς και τη μικρή βαλβίδα (5) που είναι στο κάτω άκρο του στελέχους. Όταν η βαλβίδα αυτή ανοίξει, τότε αλλάζει η πίεση



Σχ. 4.3γ.

Θερμοστατική βαλβίδα με βαλβίδα-πιλότο.

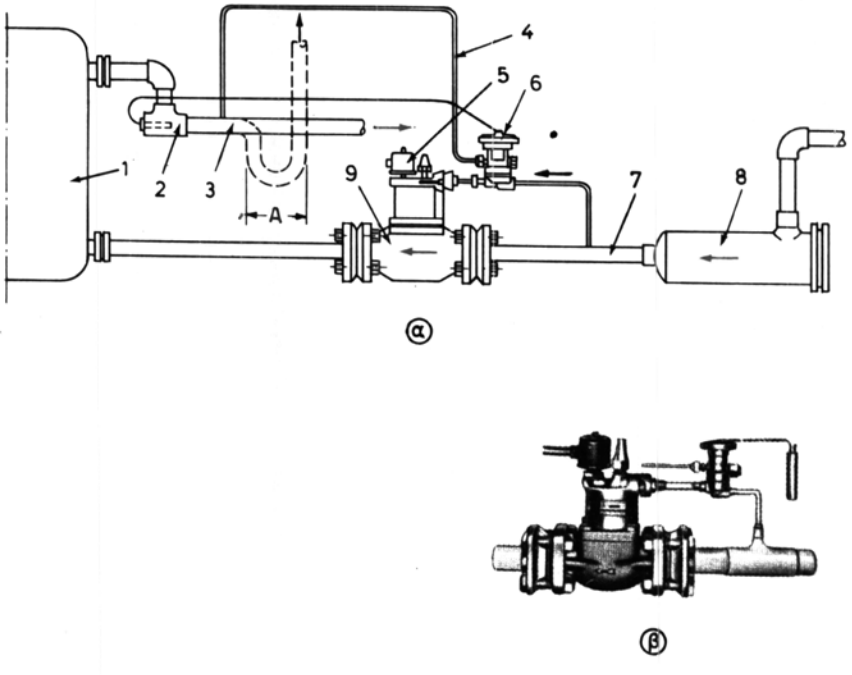
1. Σώμα της βαλβίδας-πιλότου. 2. Βολβός-αισθητήριο θερμοκρασίας. 3. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 4. Έξοδος ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. 5. Βαλβίδα-πιλότος. 6. Κύρια εμβολοβαλβίδα. 7. Μεσαίο στόμιο.

στο πάνω μέρος της μεγάλης εμβολοβαλβίδας (6) που είναι στο κάτω κύριο σώμα και έτσι περνάει η κύρια παροχή του ψυκτικού μέσου.

Όταν η μικρή θερμοστατική βαλβίδα, δηλαδή η βαλβίδα - πιλότος (5) είναι κλειστή, τότε στο πάνω μέρος της εμβολοβαλβίδας (6) επικρατεί η πίεση του συμπυκνωτή, η οποία σπρώχνει τη βαλβίδα αυτή προς τα κάτω και τη στεγανοποιεί στην έδρα της διακόπτοντας την κύρια παροχή ψυκτικού μέσου. Η πίεση αυτή διαδίδεται μέσα από την οπή, που φαίνεται στο δεξιό κάτω μέρος του κυλίνδρου, μέσα στον οποίο ολισθαίνει η εμβολοβαλβίδα. Πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι το μεσαίο στόμιο (7) συνδέεται με τη χαμηλή πίεση.

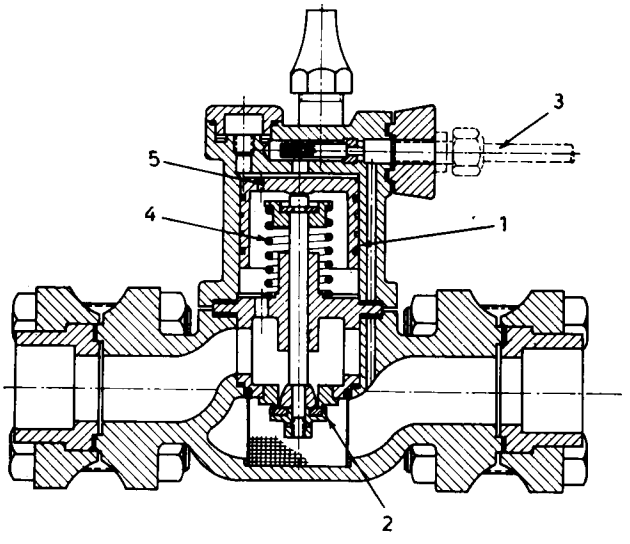
Στο επόμενο σχήμα 4.3δ φαίνεται μια διάταξη με χωριστές τη βαλβίδα-πιλότο και την κύρια βαλβίδα. Η θερμοστατική βαλβίδα-πιλότος (6) παίρνει μικρή ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου, το στραγγαλίζει κατά τα γνωστά και το στέλνει στον αγωγό αναρροφήσεως του συμπιεστή. Η βαλβίδα-πιλότος συνδέεται με ένα αγωγό με την κύρια βαλβίδα (9) και έτσι στέλνει πίεση προς αυτήν ώστε να κινηθεί. Η κύρια βαλβίδα φαίνεται στο σχήμα 4.3ε. Η εμβολοβαλβίδα (9), (σχήμα 4.3δ) ρυθμίζει την κύρια παροχή του ψυκτικού μέσου στην έξοδο από το στοιχείο ατμοποιήσεως, που είναι και ο σκοπός του αυτόματου ελέγχου.

Εκτός όμως από τις εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος, θερμοστατικές βαλβίδες με βαλβίδα-πιλότο χρησιμοποιούνται και σε εγκαταστάσεις με μικρότερη ψυκτική



Σχ. 4.3δ.

Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως που ελέγχεται από βαλβίδα-πιλότο.
α) Σχηματική διάταξη. β) Εικόνα της διατάξεως. 1. Στοιχείο ατμοποιήσεως κελύφους-σωλήνων. 2. Υποδοχή αισθητηρίου βολβού. 3. Αγωγός αναρροφήσεως συμπιεστή. 4. Αγωγός εξισορροπήσεως πιέσεως. 5. Μαγνητική βαλβίδα. 6. Θερμοστατική βαλβίδα-πιλότος. 7. Αγωγός υγρού ψυκτικού μέσου. 8. Φίλτρο και ξηραντήρας. 9. Κύρια βαλβίδα.



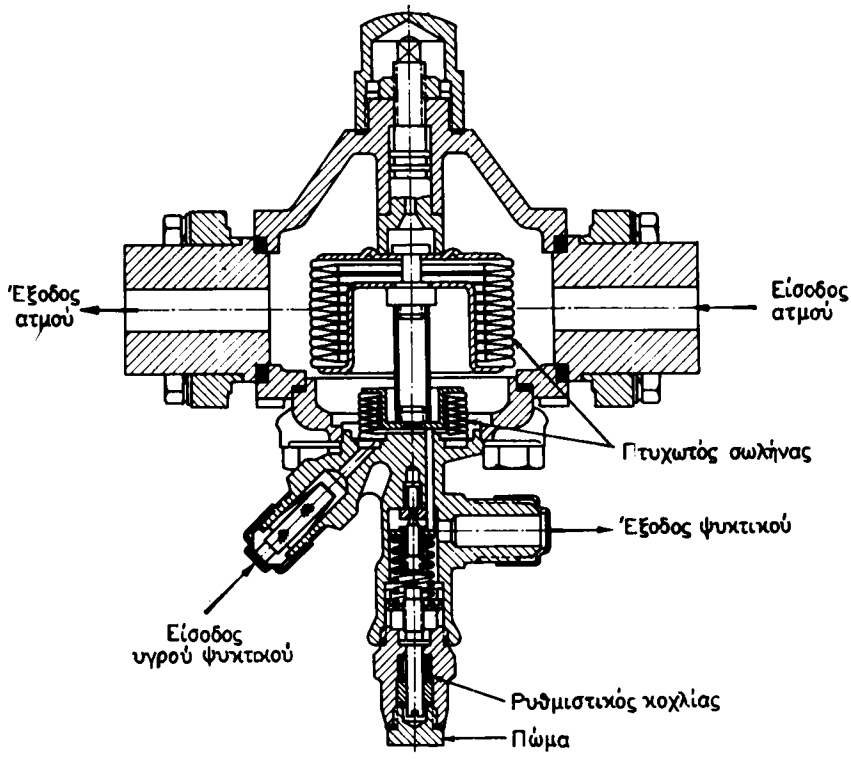
Σχ. 4.3ε.
Κύρια βαλβίδα του συστήματος του σχήματος 4.3δ.
1. Εμβολοβαλβίδα. 2. Έδρα κύριας βαλβίδας (ρυθμίζον μέγεθος). 3. Αγωγός πιλότου βαλβίδας. 4. Ελατήριο εμβολοβαλβίδας. 5. Οπή εξισώσεως πιέσεως.

ισχύ, όταν το ψυκτικό φορτίο μεταβάλλεται ισχυρά και απαιτείται λειτουργία μέχρι και σε ποσοστό 10 ως 15% της ονομαστικής τιμής της ψυκτικής ισχύος της εγκαταστάσεως.

Περιπτώσεις σαν αυτή εμφανίζονται σε ψύκτες νερού, που εξυπηρετούν κλιματιστικές εγκαταστάσεις. Εκεί χρησιμοποιούνται θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως με βαλβίδα-πιλότο που η κατώτερη τιμή ψυκτικής ισχύος φθάνει τους 12 RT περίπου.

4.3.3 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως χωρίς αισθητήριο βολβό.

Ορισμένες φορές το σύστημα αυτόματου ελέγχου που περιλαμβάνει το στοιχείο ατμοποιήσεως, το συμπιεστή, τον αισθητήριο βολβό και τη θερμοστατική βαλβίδα, λειτουργεί με αστάθεια. Εμφανίζονται δηλαδή περιοδικές έντονες αυξομειώσεις της παροχής ψυκτικού μέσου και η θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως ανοιγοκλείνει συνεχώς μεταξύ μεγάλων και μικρών τιμών παροχής. Το φαινόμενο είναι σύνθετο και ο εντοπισμός της κύριας αιτίας που το προκαλεί δεν είναι πάντα απλός. Ορισμένες όμως φορές οφείλεται σε κάποια χρονική καθυστέρηση που είναι μεγάλη, και ειδικότερα σε αδράνεια του αισθητηρίου βολβού, που οφείλεται σε όχι καλή θερμική επαφή του βολβού με το σωλήνα του ατμού. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό έχουν κατασκευασθεί ορισμένες θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως χωρίς αισθητήριο βολβό. Στις κατασκευές αυτές ο ατμός του ψυκτικού μέσου της εξόδου του στοιχείου ατμοποιήσεως οδηγείται στο πάνω τμήμα της θερμοστατικής βαλβίδας και επιδρά θερμικά σε ένα πτυχωτό σωλήνα, που έχει γόμωση με κατάλληλο ψυκτικό μέσο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3στ.



Σχ. 4.3στ.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως χωρίς αισθητήριο βολβό.

Η θερμοστατική αυτή βαλβίδα φέρει δυο πτυχωτούς σωλήνες με βελονοειδές στέλεχος ελεγχόμενο από αυτούς. Ο πάνω πτυχωτός σωλήνας παίζει το ρόλο θερμοστατικού αισθητηρίου και είναι σε άμεση επαφή με τον υπέρθερμο ατμό. Η κατασκευή αυτή έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, αλλά παρουσιάζει και μειονεκτήματα. Γι' αυτό χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές εφαρμογές, όπως είναι π.χ. εγκαταστάσεις με χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποιήσεως. Τα ***μειονεκτήματά*** της είναι η σύνδεσή της με τους μεγάλους σωλήνες του ατμού, η δυνατότητα συσσωρεύσεως υγρού ψυκτικού μέσου και λαδιού γύρω από τον πτυχωτό σωλήνα και η περιοδική απόφραξη της ροής του ατμού από αυτά. Επίσης ο κίνδυνος της πολύ γρήγορης αντιδράσεως του συστήματος αυτόματου ελέγχου, που οδηγεί σε αποτέλεσμα αντίθετο από το επιδιωκόμενο, δηλαδή σε άλλου είδους δυσλειτουργία.

4.3.4 Θερμοστατικές βαλβίδες με επανέγχυση.

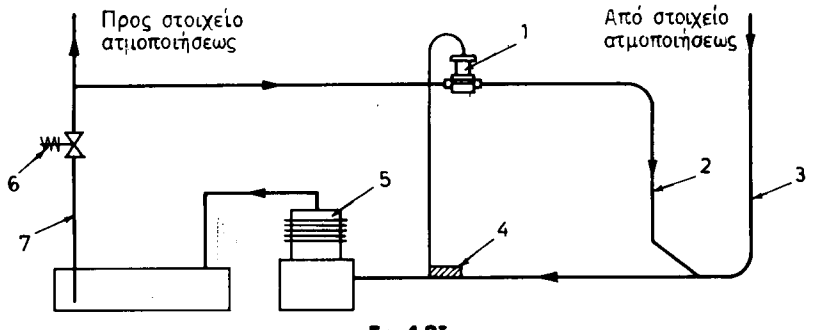
Ο όρος αυτός περιγράφει ένα είδος θερμοστατικών βαλβίδων που έχουν ως αποστολή την έγχυση ***υγρού ψυκτικού μέσου στην έξοδο*** του στοιχείου ατμοποιήσεως. Οι βαλβίδες αυτές δεν συμβάλλουν στην παραγωγή της ψυκτικής ισχύος,

δεν χρησιμοποιούνται δηλαδή ως στραγγαλιστικές διατάξεις, αλλά ***προστατεύουν το συμπιεστή από υπερθέρμανση.***

Οι θερμοστατικές βαλβίδες επανεγχύσεως τοποθετούνται σε εγκαταστάσεις που ρυθμίζουν την ψυκτική ισχύ με ***παράκαμψη του συμπυκνωτή.*** Στο είδος αυτό της ρυθμίσεως, ένα μέρος του ζεστού ατμού, που βγαίνει στην έξοδο του συμπιεστή, δεν συμπυκνώνεται, αλλά αφού στραγγαλισθεί η πίεσή του, οδηγείται και πάλι στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Το τμήμα αυτό του ατμού συμπιέζεται και στραγγαλίζεται διαδοχικά χωρίς να παράγει ψυκτική ισχύ και έτσι φορτίζει μόνο θερμικά το συμπιεστή. Γι' αυτόν όμως το λόγο, ο ατμός που φθάνει στην αναρρόφηση του συμπιεστή δεν είναι πια κρύος, αλλά έχει ενδιάμεση θερμοκρασία και έτσι προκαλείται συνεχής θέρμανση του συμπιεστή, και συνεπώς αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού υψηλής πιέσεως στην έξοδο του συμπιεστή.

Για να αποφεύγεται η υπερθέρμανση αυτή, ***εγχύνεται υγρό ψυκτικό μέσο στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως*** και αρκετά πριν από την αναρρόφηση στο συμπιεστή, ώστε να προλαβαίνει να ατμοποιείται το υγρό ψυκτικό μέσο και ταυτόχρονα να ψύχεται ο ατμός.

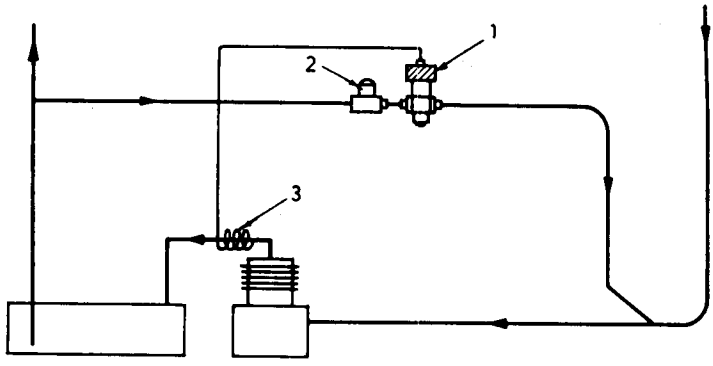
Υπάρχουν δυο κυρίως τρόποι με τους οποίους ελέγχονται οι θερμοστατικές βαλβίδες επανεγχύσεως. Κατά τον ένα τρόπο ελέγχεται η ***υπερθέρμανση αναρροφήσεως*** στο συμπιεστή με διάταξη σαν αυτή του σχήματος 4.3ζ. Πρέπει να τονισθεί ότι στο σχήμα αυτό δεν φαίνεται το στοιχείο ατμοποιήσεως και η θερμοστατική βαλβίδα του ή η άλλη διάταξη στραγγαλισμού, την οποία χρησιμοποιεί. Φαίνεται μόνο η διάταξη επανεγχύσεως. Η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα (6) χρειάζεται για να κλείνει, όταν η εγκατάσταση είναι εκτός λειτουργίας, γιατί τότε ο αισθητήριος βολβός (4) θερμαίνεται και ανοίγει τη θερμοστατική επανεγχύσεως (5), οπότε όλο το υγρό ψυκτικό μέσο θα πήγαινε στην αναρρόφηση του συμπιεστή.



Σχ. 4.3ζ.

Θερμοστατική βαλβίδα επανεγχύσεως με έλεγχο υπερθερμάνσεως αναρροφήσεως.
1. Θερμοστατική επανεγχύσεως. 2. Αγωγός εγχύσεως υγρού ψυκτικού μέσου. 3. Αγωγός αναρροφήσεως. 4. Αισθητήριος βολβός θερμοστατικής επανεγχύσεως. 5. Συμπιεστής. 6. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αποφράξεως. 7. Αγωγός υγρού ψυκτικού μέσου.

Ο άλλος τρόπος ελέγχου της θερμοστατικής βαλβίδας επανεγχύσεως φαίνεται στο σχήμα 4.3η. Εδώ το αισθητήριο της θερμοστατικής βαλβίδας επανεγχύσεως (3) ελέγχει τη θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο από το συμπιεστή. Όταν αυτή



Σχ. 4.3η.
Θερμοστατική βαλβίδα επανεγχύσεως με έλεγχο της θερμοκρασίας του ατμού υψηλής πιέσεως. 1. Θερμοστατική βαλβίδα επανεγχύσεως. 2. Βαλβίδα στραγγαλισμού για προρύθμιση. 3. Λεπτός σωλήνας περιτυλιγμένος στο σωλήνα ατμού.

υπερβεί το επικίνδυνο όριο, τότε η θερμοστατική ανοίγει και αρχίζει να παρέχει υγρό ψυκτικό μέσο για ψύξη του ατμού στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Πρέπει να τονισθεί ότι ***εδώ ελέγχεται η θερμοκρασία*** του υπέρθερμου ατμού και ***όχι η υπερθέρμανση,*** όπως γίνεται συνήθως με τις θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως.

Παρόλο ότι οι θερμοστατικές βαλβίδες επανεγχύσεως, είναι προστατευτικές διατάξεις και όχι διατάξεις στραγγαλισμού για παραγωγή ψυκτικής ισχύος, αναφέρθηκαν σ' αυτήν την παράγραφο του βιβλίου, για να υπάρχει πλήρης εικόνα των διαφόρων μορφών θερμοστατικών βαλβίδων που συναντάμε στην πράξη.

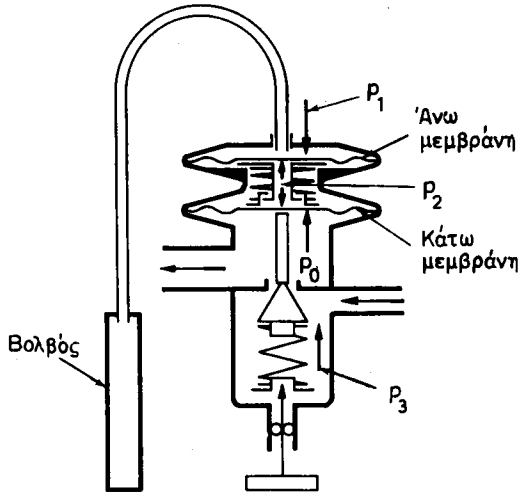
4.4 Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως με περιοριστή χαμηλής πιέσεως.

Οι θερμοστατικές αυτές βαλβίδες, εκτός από τον κύριο σκοπό που εξυπηρετούν, δηλαδή το στραγγαλισμό του υγρού ψυκτικού μέσου για την παραγωγή της ψυκτικής ισχύος, εξυπηρετούν και ένα πρόσθετο σκοπό· την ασφάλεια της εγκαταστάσεως. Η δεύτερη αυτή λειτουργία, δηλαδή ο περιορισμός της χαμηλής πιέσεως, είναι αναγκαία για τους εξής λόγους:

Όταν η εγκατάσταση μετά από μεγάλη παύση ή μετά από κάθε κύκλο αποπαγώσεως του στοιχείου ατμοποιήσεως ξαναξεκινάει, το στοιχείο ατμοποιήσεως είναι αρκετά πιο ζεστό και συνεπώς η πίεση ατμοποιήσεως του ψυκτικού μέσου μεγάλη. Έτσι όμως ο συμπιεστής αναρροφά ατμό ψυκτικού μέσου με μεγάλη πίεση και συνεπώς μεγάλη πυκνότητα. Αυτό όμως συνεπάγεται αύξηση και της μηχανικής ισχύος κινήσεως του συμπιεστή. Ταυτόχρονα όμως προκαλεί και αύξηση της πιέσεως και θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.

Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή η υπέρμετρη ισχύς και πίεση κατά την εκκίνηση, αν δεν περιορισθεί με κάποιο τρόπο κατάλληλα, οδηγεί στην ανάγκη χρησιμοποιήσεως υπερβολικά μεγάλων ηλεκτροκινητήρων, που χρησιμοποιούνται όμως σε πλήρη ισχύ μόνο κατά την εκκίνηση.

Ο περιορισμός προς τα πάνω της χαμηλής πιέσεως, γίνεται συνήθως με δυο



Σχ. 4.4α.

Αρχή μηχανικού περιορισμού χαμηλής πιέσεως. p_0 πίεση στοιχείου ατμοποιήσεως, p_1 πίεση αισθητηρίου βολβού, p_2 πίεση του ελαστικού μέσου μεταδόσεως δυνάμεως, p_3 πίεση λόγω του ρυθμιστικού ελατηρίου.

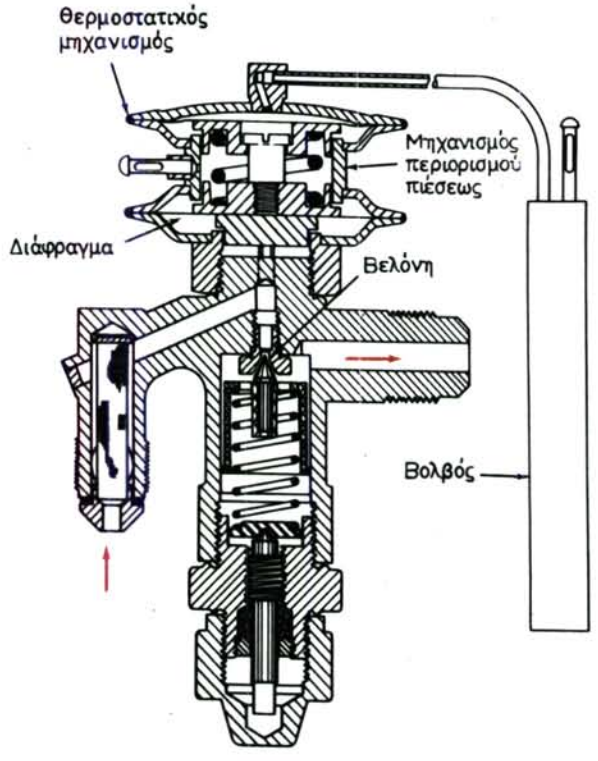
τρόπους: ο ένας είναι ***μηχανικός*** και ο άλλος ***θερμοδυναμικός.*** Και οι δυο όμως τελικά αποβλέπουν στο ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή στο κλείσιμο της θερμοστατικής βαλβίδας, όταν η χαμηλή πίεση γίνει υψηλότερη από μια καθορισμένη τιμή, και κατά συνέπεια στη διακοπή της τροφοδοσίας του στοιχείου ατμοποιήσεως με ψυκτικό υγρό.

Η ***μηχανική αρχή*** περιορισμού της χαμηλής πιέσεως φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 4.4α. Στο πάνω μέρος της διατάξεως διακρίνεται η πάνω μεμβράνη. Στο πάνω μέρος της μεμβράνης αυτής δρα η πίεση p_1 του ψυκτικού μέσου της γομώσεως του αισθητηρίου βολβού. Στο κάτω μέρος της ίδιας μεμβράνης δρα ένα ελαστικό ενδιάμεσο τμήμα, το οποίο ταυτόχρονα δρα και στο πάνω μέρος της κάτω μεμβράνης. Έτσι το ενδιάμεσο αυτό ελαστικό τμήμα συνδέει απλώς τις δυο μεμβράνες και μεταφέρει τις δυνάμεις από τη μια στην άλλη. Στο κάτω μέρος της κάτω μεμβράνης δρα η πίεση p_0 του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Σε κανονική λειτουργία το πάνω μέρος της διατάξεως δρα σαν απλή θερμοστατική εκτονώσεως και οι δυο μεμβράνες κινούνται συγχρονισμένα καθώς συνδέονται με το ενδιάμεσο ελαστικό μέλος.

Όταν τώρα η πίεση ατμοποιήσεως ξεπεράσει το όριο που έχει τεθεί, τότε η κάτω μεμβράνη εξασκεί μεγαλύτερη δύναμη προς τα πάνω. Με τη μεγαλύτερη αυτή δύναμη όμως το ενδιάμεσο ελαστικό μέλος συμπιέζεται υπερβολικά και έτσι κλείνει η βαλβίδα.

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα συνεπώς της όλης λειτουργίας είναι το ενδιάμεσο ελαστικό μέλος, το οποίο παύει να μεταφέρει δυνάμεις όταν συμπιεσθεί περισσότερο από μια επιθυμητή τιμή. Στο σχήμα 4.4β φαίνεται το σχέδιο μιας θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με μηχανικό περιοριστή χαμηλής πιέσεως στο πάνω μέρος. Διακρίνονται η πάνω και κάτω μεμβράνη και το σπειροειδές ελατήριο ανάμε-



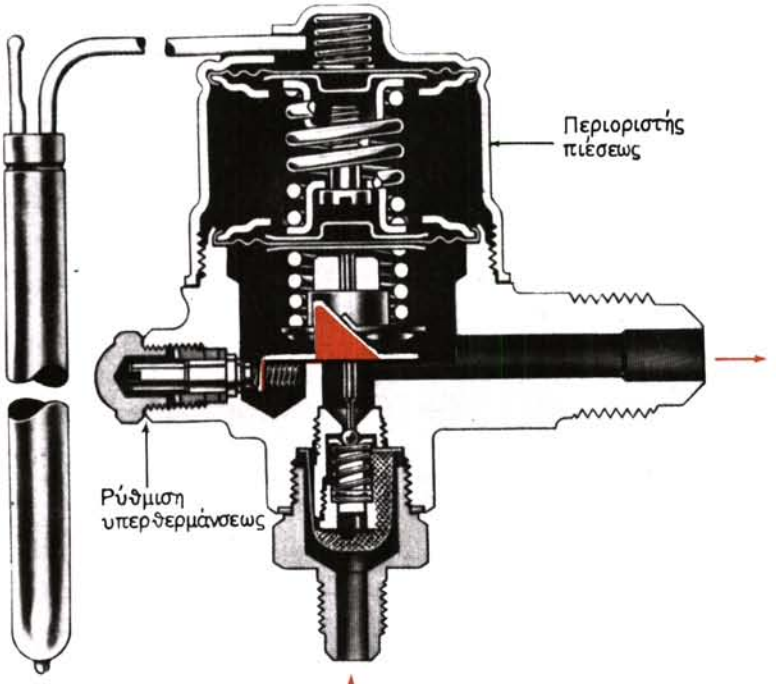
Σχ. 4.4β.
Θερμοστατική εκτονώσεως με περιοριστή χαμηλής πιέσεως, μηχανικής λειτουργίας.

σά τους, που είναι, στην περίπτωση αυτή, το ελαστικό ενδιάμεσο μέλος. Καθώς η πίεση ατμοποιήσεως αυξάνει, αυτό το ελατήριο συμπιέζεται όλο και περισσότερο και μειώνει σταδιακά το άνοιγμα της βελονοειδούς βαλβίδας. Έτσι, ενώ ο αισθητήριος βολβός, λόγω της υπερθερμάνσεως στο τέλος του στοιχείου ατμοποιήσεως, δίνει εντολή για άνοιγμα της βαλβίδας, η βαλβίδα δεν ανοίγει, γιατί το ενδιάμεσο ελαστικό μέλος έχει συμπιεσθεί από τη μεγάλη χαμηλή πίεση.

Στο σχήμα 4.4γ εικονίζεται η τομή μιας θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με περιοριστή χαμηλής πιέσεως. Στο πάνω μέρος της διακρίνεται η μεμβράνη του αισθητηρίου βολβού και πιο κάτω η μεμβράνη του ψυκτικού μέσου του στοιχείου ατμοποιήσεως. Ανάμεσά τους υπάρχει το μηχανικό ελαστικό μέλος, στην προκειμένη περίπτωση το σπειροειδές ελατήριο.

Η ***ρύθμιση της υπερθερμάνσεως*** του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως γίνεται με τη βίδα που φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος. Η βίδα αυτή μετατοπίζει μια σφήνα και αλλάζει τη σχετική θέση της σφαιρικής κεφαλής της βαλβίδας ως προς την έδρα της.

Μέσα στο σπειροειδές ελατήριο, ανάμεσα στις δυο μεμβράνες, διακρίνεται ένας ρυθμιστικός κοχλίας. Με αυτόν κανονίζεται η προένταση του σπειροειδούς ελατηρίου και συνεπώς το άνω όριο της χαμηλής πιέσεως στο οποίο αρχίζει να λειτουρ-



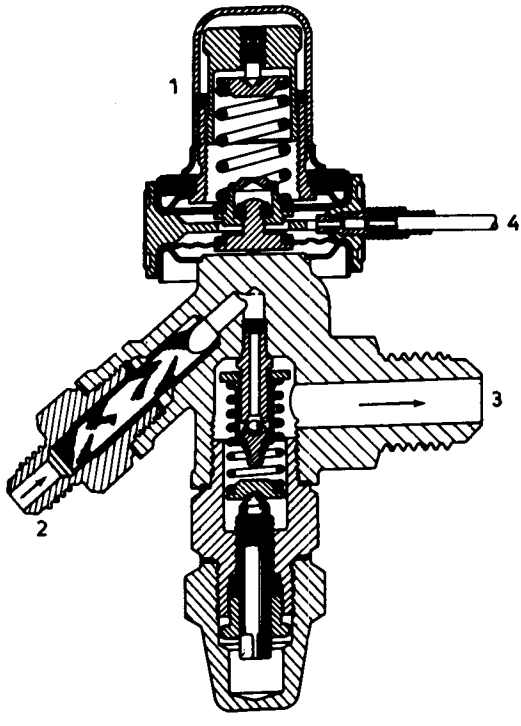
Σχ. 4.4γ.
Θερροστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μηχανικό περιοριστή πιέσεως.

γεί ο περιοριστής πιέσεως. Στον τύπο όμως αυτόν της κατασκευής, η μεταβολή της τιμής-ορίου της χαμηλής πιέσεως δεν γίνεται όταν η εγκατάσταση λειτουργεί.

Η τιμή-όριο της χαμηλής πιέσεως της θερμοστατικής εκτονώσεως, ρυθμίζεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκαταστάσεως με βαλβίδες διαφορετικού τύπου. Μια βαλβίδα του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 4.4δ. Στο σχήμα αυτό, σε αντιδιαστολή με το σχήμα 4.4γ, το ελατήριο που καθορίζει την οριακή τιμή της πιέσεως είναι στο πάνω μέρος και η προέντασή του ρυθμίζεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με τον αντίστοιχο ρυθμιστικό κοχλία, που είναι κάτω από το προστατευτικό πώμα.

Εδώ οι δυο μεμβράνες είναι κάτω από το ελατήριο και στο χώρο ανάμεσά τους είναι το βοηθητικό ψυκτικό μέσο, που έρχεται από τον αισθητήριο βολβό. Η κατασκευή αυτή χρησιμοποιεί ως ενδιάμεσο ελαστικό μέσο μεταξύ των δυο μεμβρανών τον ατμό του βοηθητικού ψυκτικού μέσου και όχι μηχανικό ελατήριο. Πρόκειται δηλαδή για τη ***θερμοδυναμική μέθοδο*** που αναφέρθηκε.

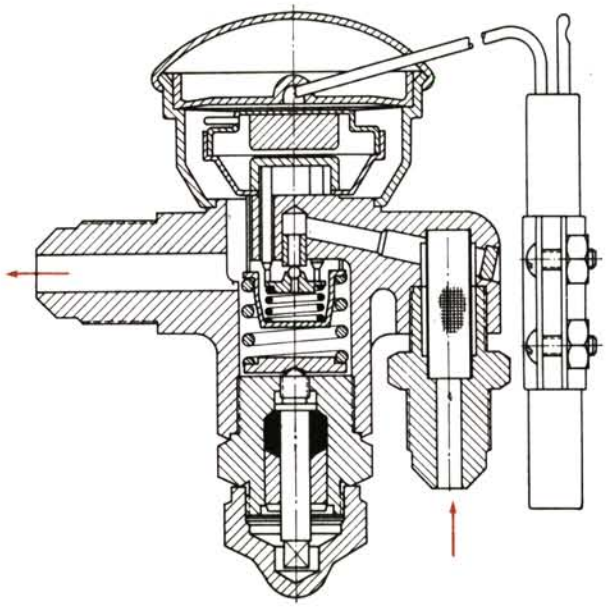
Στην κατασκευή αυτή το άνω όριο της χαμηλής πιέσεως, επιτυγχάνεται με το ***είδος και την ποσότητα*** του βοηθητικού ψυκτικού μέσου που περιέχει ο βολβός. Η ποσότητα αυτή ρυθμίζεται έτσι, ώστε να ατμοποιείται ολόκληρη, όταν η θερμοκρασία του αισθητηρίου υπερβεί μια επιθυμητή τιμή. Όταν η υπερθέρμανση στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως γίνει μεγαλύτερη, τότε δεν υπάρχει άλλο βοη-



Σχ. 4.46.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με ρυθμιζόμενο κατά τη λειτουργία άνω όριο περιοριστή χαμηλής πιέσεως.
1. Ρυθμιστικό άνω ορίου χαμηλής πιέσεως. 2. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 3. Έξοδος προς στοιχείο ατμοποιήσεως. 4. Σύνδεση με αισθητήριο βολβό.

θητικό ψυκτικό μέσο να ατμοποιηθεί και έτσι η πίεση ανάμεσα στις δυο μεμβράνες της θερμοστατικής δεν αυξάνει πλέον. Αυτό όμως προκαλεί αδυναμία στη μετάδοση των δυνάμεων ανάμεσα στις δυο μεμβράνες, και έτσι η θερμοστατική βαλβίδα αρχίζει να κλείνει. Στο σχήμα 4.46 δεν φαίνεται ο μηχανισμός μεταδόσεως της δράσεως των δυο μεμβρανών στη σφαιρική βαλβίδα.

Στη διάταξη του σχήματος 4.4ε το βοηθητικό ψυκτικό μέσο του αισθητηρίου βολβού δρα όπως συνήθως και δε συμμετέχει στη διάταξη ορίου, όπως γίνεται στην κατασκευή του σχήματος 4.46. Όμως στη βαλβίδα του σχήματος 4.4ε, ανάμεσα στις δυο μεμβράνες, υπάρχει μόνιμα ένα αέριο, που δε συμπυκνώνεται. Η πίεσή του, και συνεπώς και οι δυνάμεις που μεταφέρονται, είναι πρακτικά σταθερά μεγέθη, γιατί αλλάζουν ελάχιστα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Έτσι, όταν η πίεση ατμοποιήσεως στο στοιχείο ατμοποιήσεως αυξηθεί, δεν επαρκεί πια η ενδιάμεση πίεση του βοηθητικού αερίου για τη μετάδοση των δυνάμεων και η θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως σιγά-σιγά κλείνει.



Σχ. 4.4ε.
Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως, με αεροστεγές κέλυφος αερίου για τον περιοριστή χαμηλής πιέσεως.

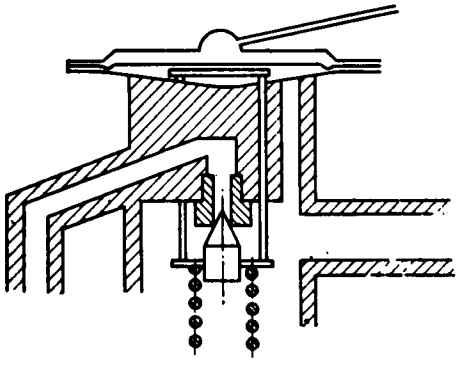
4.5 Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως με εξωτερική εξίσωση πιέσεως.

Στις απλές θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως η μεμβράνη είναι εκτεθειμένη στην πίεση του αισθητηρίου βολβού, ενώ στο άλλο μέρος της δρα η πίεση ατμοποιήσεως του ψυκτικού μέσου. Η λειτουργία της μεμβράνης, και συνεπώς και η τιμή της υπερθερμάνσεως του ατμού του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως, εξαρτάται προφανώς από τις δυο αυτές πιέσεις.

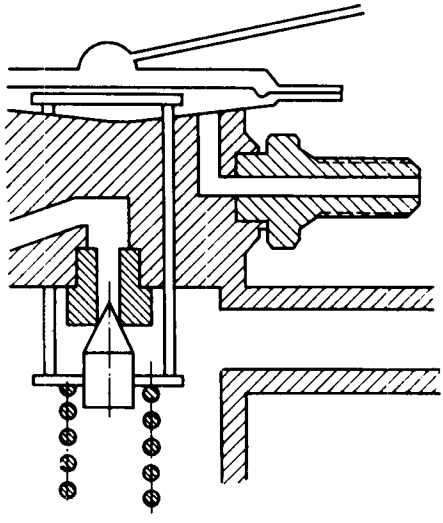
Η πίεση του βοηθητικού ψυκτικού μέσου του βολβού καθορίζεται μονοσήμαντα από τη θερμοκρασία του αισθητηρίου βολβού. Η πίεση όμως του κύριου ψυκτικού μέσου δεν είναι η ίδια σε όλο το μήκος του στοιχείου ατμοποιήσεως και έτσι μερικές φορές δημιουργούνται προβλήματα.

Για τη σωστή λειτουργία της θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως, η πίεση του κύριου ψυκτικού μέσου, που δρα στη μεμβράνη, πρέπει να είναι η πίεση που επικρατεί στην ***έξοδο*** του στοιχείου ατμοποιήσεως. Η πίεση όμως αυτή μπορεί να διαφέρει από την πίεση που επικρατεί στην είσοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως σημαντικά. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην πτώση πιέσεως λόγω τριβών κατά μήκος του στοιχείου ατμοποιήσεως. Όταν η πτώση πιέσεως είναι μεγαλύτερη από 0,3 bar, τότε απαιτείται ειδική διάταξη, ώστε να λειτουργεί η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με την πίεση εξόδου του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Όλες οι θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες, που περιγράφηκαν στα προηγούμενα, λειτουργούν με την πίεση που επικρατεί στην είσοδο του στοιχείου



Σχ. 4.5α.
Εσωτερική εξίσωση πιέσεως θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως.

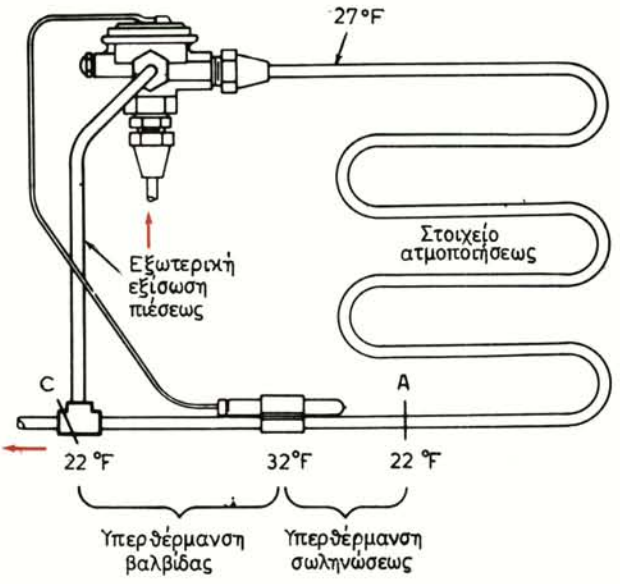


Σχ. 4.5β.
Εξωτερική εξίσωση πιέσεως θερμοστατικής εκτονώσεως.

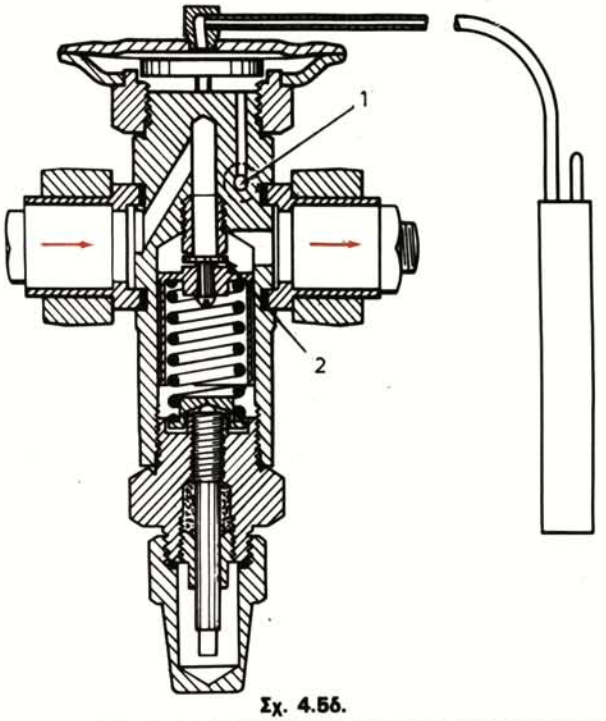
ατμοποιήσεως, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.2α, 4.2γ και 4.5α. Οι βαλβίδες του τύπου αυτού χαρακτηρίζονται ως βαλβίδες ***εσωτερικής*** εξισώσεως πιέσεως.

Στο σχήμα 4.5β φαίνεται η αρχή λειτουργίας των θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως με ***εξωτερική*** εξίσωση πιέσεως. Σ' αυτές ο χώρος κάτω από τη μεμβράνη συνδέεται με κατάλληλο στόμιο και σωλήνα με την έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως από όπου και παίρνει την πίεση. Ο τρόπος συνδεσμολογίας των θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως με εξωτερική εξίσωση πιέσεως φαίνεται στο σχήμα 4.5γ. Μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξίσωση πιέσεως φαίνεται στο σχήμα 4.5δ. Στο σχήμα 4.5ε εικονίζεται ένας άλλος τύπος θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με εξωτερική εξίσωση πιέσεως και πολλαπλή έξοδο. Ο τύπος αυτός των βαλβίδων είναι κατάλληλος για στοιχεία ατμοποιήσεως με πολλούς παράλληλους σωλήνες που τροφοδοτούνται όμως από την ίδια θερμοστατική εκτονώσεως. Η έξοδος αυτών των παραλλήλων σωλήνων συγκεντρώνεται σε ένα συλλεκτήριο αγωγό, στον οποίο και τοποθετείται το αισθητήριο θερμοκρασίας της θερμοστατικής βαλβίδας.

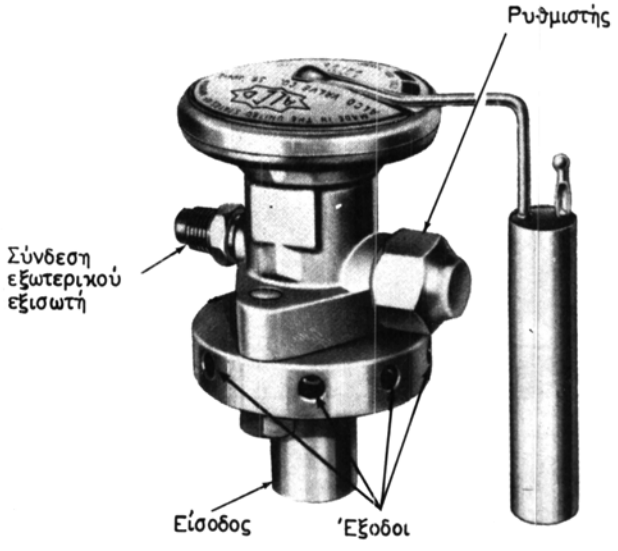
Η διάταξη αυτή είναι συνηθισμένη σε στοιχεία ατμοποιήσεως κλιματιστικών συσκευών, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.5στ. Η θερμοστατική αυτή βαλβίδα έχει στην έξοδό της ένα κατανεμητή ψυκτικού μέσου, που διαχωρίζει την ολική παροχή σε έξι κατά το δυνατόν ίσα ρεύματα ψυκτικού μέσου. Το υγρό ψυκτικό μέσο εισάγεται στο πάνω μέρος της βαλβίδας και η έξοδος του ατμού φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 4.5στ. Ο συλλεκτήριος σωλήνας είναι κατακόρυφος και φαίνεται πίσω από τη θερμοστατική. Το στοιχείο ατμοποιήσεως έχει έξι οριζόντια παράλληλα συγκροτήματα σωλήνων, τα οποία τροφοδοτούνται χωριστά. Η παράλληλη διάταξη χρησιμοποιείται για να ελαττώνεται η διαφορά πιέσεως ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο στο στοιχείο. Παρά τη διάταξη αυτή όμως απαιτείται και πάλι εξωτερική εξίσωση πιέσεως.



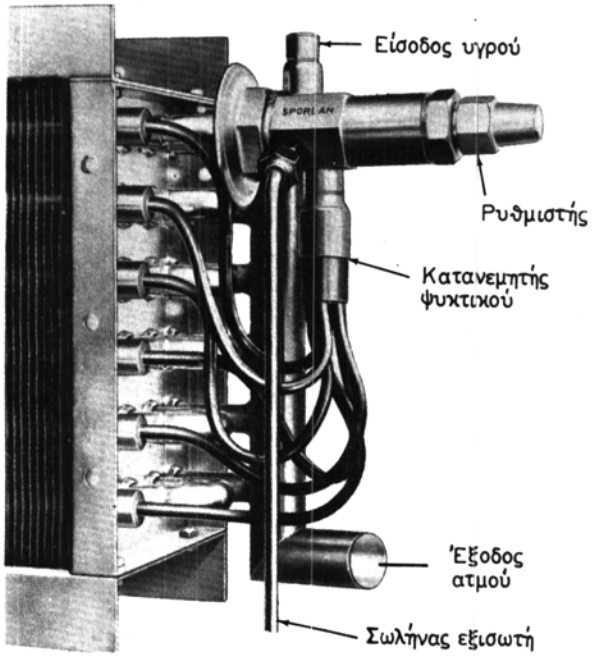
Σχ. 4.5γ.
Συνδεσμολογία θερμοστατικής εκτονωτικής με εξωτερική εξίσωση πιέσεως.



Σχ. 4.5δ.
Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξίσωση πιέσεως.
1. Μαστός συνδέσεως σωλήνα εξισώσεως πιέσεως. 2. Υποδοχή μηχανισμού βαλβίδας-έδρας.



Σχ. 4.5ε.
Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξίσωση πιέσεως και πολλαπλή έξοδο.



Σχ. 4.5στ.
Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με εξωτερική εξίσωση πιέσεως και πολλαπλή έξοδο, συνδεμένη σε αντίστοιχο στοιχείο ατμοποιήσεως.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

4.6 Γόμωση αισθητηρίων βολβών των θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως.

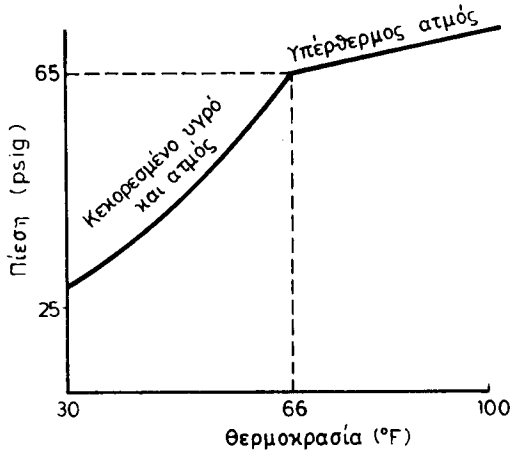
Ο αισθητήριος βολβός της θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως έχει γόμωση υγρού-ατμού ή μόνο ατμού (αερίου) ψυκτικού μέσου. Η γόμωση αυτή ελέγχει τη θερμοκρασία στη θέση του βολβού, παρέχει όμως και την αντίστοιχη πίεση για τη μετατόπιση της μεμβράνης. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο βολβός της θερμοστατικής βαλβίδας μπορεί να έχει γόμωση από το ίδιο ψυκτικό μέσο της εγκαταστάσεως ή γόμωση από διαφορετικό ψυκτικό μέσο. Η διάκριση του είδους της γομώσεως γίνεται ανάλογα με τη φάση του ψυκτικού μέσου, δηλαδή ***υγρή*** ή ***αέρια γόμωση,*** και ανάλογα με το είδος του ψυκτικού, δηλαδή ***ομοειδής*** ή ***ετεροειδής*** γόμωση. Συνεπώς, οι τέσσερις δυνατότητες που υπάρχουν για τη γόμωση ενός βολβού θερμοστατικής βαλβίδας είναι:

- Ομοειδής γόμωση υγρού.
- Ετεροειδής γόμωση υγρού.
- Ομοειδής γόμωση αερίου.
- Ετεροειδής γόμωση αερίου.

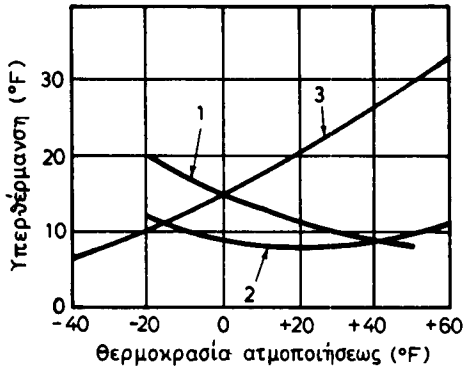
Κάθε μια από τις παραπάνω δυνατότητες έχει ορισμένα πλεονεκτήματα αλλά και περιορισμούς, οι οποίοι την καθιστούν κατάλληλη για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Στο σχήμα 4.6α φαίνονται οι μεταβολές της πιέσεως του ψυκτικού μέσου 12 με τη θερμοκρασία για σταθερό όγκο. Σημασία έχει η κλίση της καμπύλης, δηλαδή η μεταβολή (Δp/ΔT) της πιέσεως με τη θερμοκρασία. Η κλίση είναι μεγαλύτερη στην περιοχή του κορεσμένου ατμού και μικρότερη αισθητά στην περιοχή του υπέρθερμου ατμού (αερίου). Από το σχήμα αυτό φαίνεται και η διαφορά στη συμπεριφορά της γομώσεως υγρού και ατμού. Με γόμωση υγρού ψυκτικού μέσου εμφανίζεται μεγαλύτερη διαφορά πιέσεως, από ότι εμφανίζεται με γόμωση αερίου, για την ίδια διαφορά θερμοκρασίας.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες για διάφορους τύπους γομώσεων φαίνονται στο



Σχ. 4.6α.
Μεταβολή της πιέσεως του ψυκτικού μέσου 12 με τη θερμοκρασία.



Σχ. 4.6β.
Χαρακτηριστικές καμπύλες υπερθερμάνσεως για διάφορες γομώσεις.
1. Ομοειδής γόμωση υγρού. 2. Συνηθισμένη ετεροειδής γόμωση υγρού. 3. Ετεροειδής γόμωση υγρού για χαμηλές θερμοκρασίες.

σχήμα 4.6β. Από αυτές διακρίνεται η συμπεριφορά των θερμοστατικών βαλβίδων με τις διάφορες γομώσεις. Η χαρακτηριστική της μορφής (1), που προκύπτει από ομοειδή γόμωση υγρού, αυξάνει την τιμή της υπερθερμάνσεως καθώς η θερμοκρασία ατμοποιήσεως μειώνεται. Αυτό το φαινόμενο περιορίζει τη χρήση αυτής της γομώσεως σε εφαρμογές με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες ατμοποιήσεως, όπως είναι για παράδειγμα οι εγκαταστάσεις κλιματισμού.

Η χαρακτηριστική της μορφής (2), που αφορά την ετεροειδή γόμωση υγρού, δίνει σταθερότερη τιμή υπερθερμάνσεως καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Για το παράδειγμα της γομώσεως της καμπύλης (2), η υπερθέρμανση μένει πρακτικά αμετάβλητη στο πεδίο των θερμοκρασιών 0 μέχρι 40°F (−17,8 ως 4,4°C). Γομώσεις του είδους αυτού χρησιμοποιούνται για ψύξη σε συνηθισμένες θερμοκρασίες.

Η χαρακτηριστική καμπύλη (3) του σχήματος 4.6β, που περιγράφει πάλι τη συμπεριφορά μιας ετεροειδούς γομώσεως υγρού, όπως και η αντίστοιχη καμπύλη (2), αλλά με μεγαλύτερη θετική κλίση τώρα, είναι κατάλληλη για ψυκτικές εγκαταστάσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Όταν η ατμοποίηση γίνεται σε μεγάλη θερμοκρασία, δηλαδή όταν η εγκατάσταση είναι ακόμα σχετικά ζεστή, τότε η υπερθέρμανση μειώνεται και η θερμοστατική βαλβίδα ελαττώνει τη ροή του ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. Με τον τρόπο αυτό δεν υπερφορτίζεται ο συμπιεστής της εγκαταστάσεως.

4.7 Μέγεθος θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως.

Οι θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως εξυπηρετούν τις συνηθισμένες εφαρμογές των ψυκτικών διατάξεων οι οποίες κατατάσσονται συνήθως ως εξής:

- Θερμοστατικές εγκαταστάσεων κλιματισμού για +10 ως −1°C.
- Θερμοστατικές επαγγελματικών ψυγείων για +2 ως −18°C.
- Θερμοστατικές εγκαταστάσεων κατεψυγμένων για −18 ως −40°C.

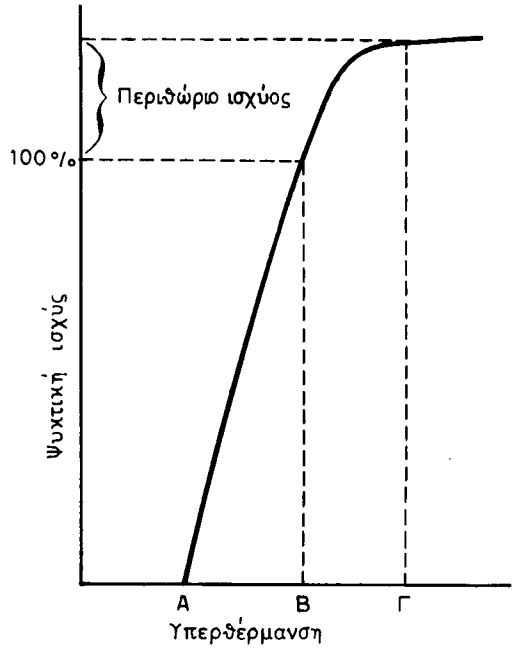
– Θερμοστατικές εγκαταστάσεων χαμηλών θερμοκρασιών για −40°C και κάτω.

Για κάθε μια περιοχή από αυτές η θερμοστατική βαλβίδα πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή τιμή υπερθερμάνσεως με διακύμανση όχι μεγαλύτερη από 1,5°C περίπου.

Ανάλογα με την εγκατάσταση που εξυπηρετούν, οι θερμοστατικές βαλβίδες έχουν και το κατάλληλο μέγεθος. Το μέγεθός τους χαρακτηρίζεται από την ***ψυκτική ισχύ*** που εξασφαλίζουν και η οποία είναι συνάρτηση της υπερθερμάνσεως του ατμού στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Η μεταβολή της ψυκτικής ισχύος της θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με την υπερθέρμανση φαίνεται στο σχήμα 4.7. Το σημείο Α δίνει τη ***στατική υπερθέρμανση*** που ορίζει το εργοστάσιο κατασκευής. Δηλαδή είναι εκείνη η τιμή της υπερθερμάνσεως για την οποία μόλις αρχίζει να ανοίγει η θερμοστατική βαλβίδα και να επιτρέπει τη ροή ελάχιστης ποσότητας ψυκτικού μέσου.

Το σημείο Β δίνει την υπερθέρμανση για την οποία η βαλβίδα εργάζεται με την ονομαστική ψυκτική ισχύ. Η ***ονομαστική υπερθέρμανση*** κυμαίνεται συνήθως από 4 ως 8°F (2,2 ως 4,4°C) και εξαρτάται από τον τύπο της βαλβίδας, το μέγεθος και το είδος της εγκαταστάσεως όπου εφαρμόζεται.

Πέρα από την ονομαστική ισχύ της θερμοστατικής βαλβίδας υπάρχει ένα περιθώριο ισχύος 10 ως 40%, που καλύπτει ανομοιογένειες στην κατασκευή των βαλβίδων και ανασφάλειες της εγκαταστάσεως. Το περιθώριο αυτό όμως δεν πρέπει



Σχ. 4.7.
Τυπική μεταβολή της ψυκτικής ισχύος θερμοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως με την υπερθέρμανση.

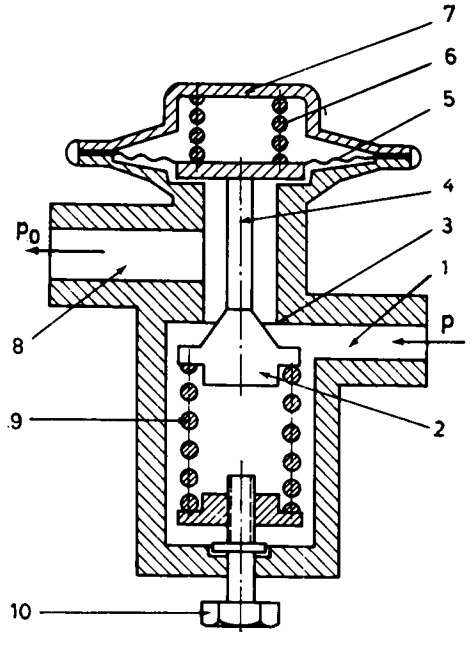
να χρησιμοποιείται, όταν γίνεται η μελέτη της εγκαταστάσεως, αλλά να διατηρείται ως εφεδρεία.

Η ονομαστική ψυκτική ισχύς της θερμοστατικής βαλβίδας δίνεται από τους κατασκευαστές για διάφορες θερμοκρασίες ατμοποιήσεως και πτώσεως πιέσεως στα άκρα της βαλβίδας. Πρέπει να τονισθεί ότι η διαφορά πιέσεως ανάμεσα στην έξοδο και είσοδο του συμπιεστή ***δεν*** είναι η διαφορά πιέσεως στα άκρα της θερμοστατικής βαλβίδας. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν και όλες οι άλλες απώλειες κατά τη ροή του ψυκτικού μέσου από την έξοδο του συμπιεστή μέχρι την είσοδο της βαλβίδας εκτονώσεως και από την έξοδο της βαλβίδας εκτονώσεως μέχρι την είσοδο του συμπιεστή.

4.8 Πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως.

Οι πιεζοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως λειτουργούν έτσι, ώστε να διατηρούν ***σταθερή πίεση ατμοποιήσεως*** μέσα στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Χρησιμοποιούνται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις που έχουν σταθερό ψυκτικό φορτίο και δεν εξασφαλίζουν, όπως οι θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως, τη χρήση ολόκληρου του στοιχείου ατμοποιήσεως, ένα τμήμα του οποίου μπορεί να μένει στεγνό.

Οι πιεζοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως πολλές φορές αναφέρονται και με λανθασμένο όνομα, ως «αυτόματες» βαλβίδες εκτονώσεως. Το όνομα αυτό δεν αντα-



Σχ. 4.8α.

Σχηματική αρχή λειτουργίας πιεζοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως.

1. Είσοδος. 2. Βαλβίδα. 3. Έδρα (ακροφύσιο). 4. Στέλεχος βαλβίδας. 5. Μεμβράνη. 6. Ελατήριο προεντάσεως. 7. Χώρος-θάλαμος μεμβράνης. 8. Έξοδος ψυκτικού μέσου. 9. Ρυθμιστικό ελατήριο. 10. Στέλεχος ρυθμίσεως ελατηρίου.

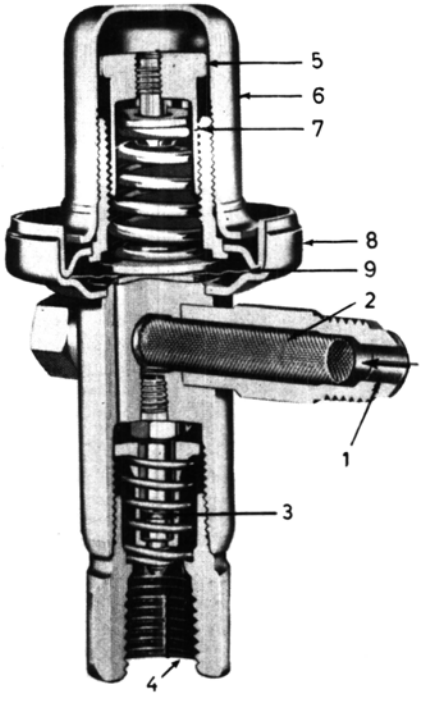
ποκρίνεται σε τίποτε και δεν θα χρησιμοποιηθεί στο βιβλίο αυτό.

Η αρχή λειτουργίας της πιεζοστατικής βαλβίδας φαίνεται στο σχήμα 4.8α. Στις βαλβίδες αυτές η πίεση στη μεμβράνη ασκείται από ένα ελατήριο, που βρίσκεται στο χώρο πίσω από τη μεμβράνη. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο χώρο-θάλαμο πίσω από τη μεμβράνη, γιατί εκεί υπάρχει αέριο, στεγανά κλεισμένο, που αλλάζει όμως πίεση καθώς η μεμβράνη ανεβοκατεβαίνει και συνεπώς αλλάζει τη ρύθμιση της προεντάσεως του ελατηρίου. Σε άλλου είδους κατασκευές, στις οποίες ο χώρος - θάλαμος συγκοινωνεί με την ατμόσφαιρα, αυτό το μειονέκτημα αποφεύγεται αλλά εμφανίζεται άλλο, δηλαδή η ανάγκη να ρυθμίζεται η βαλβίδα με τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πιέσεως.

Στο σχήμα 4.8β φαίνεται μια πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως, σε τομή. Λειτουργεί με μεμβράνη και έχει δυνατότητα ρυθμίσεως της πιέσεως ατμοποιήσεως.

Ένας άλλος τύπος πιεζοστατικής βαλβίδας εκτονώσεως φαίνεται στο σχήμα 4.8γ. Και σ' αυτόν χρησιμοποιείται μεμβράνη και ο ρυθμιστικός κοχλίας είναι στο αριστερό μέρος του σχήματος για να ρυθμίζεται η επιθυμητή τιμή της πιέσεως ατμοποιήσεως.

Αντί για μεμβράνη χρησιμοποιούνται και στις βαλβίδες αυτές πτυχωτοί σωλήνες, όπως και στις θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως, με τους οποίους επιτυγ-



Σχ. 4.8β.

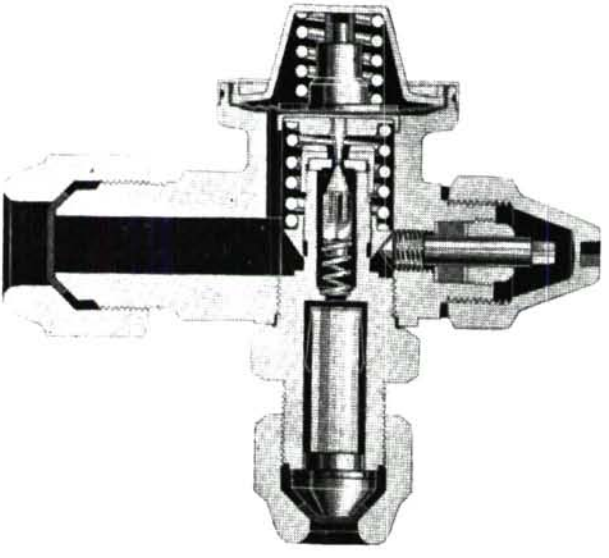
Πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη.

1. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 2. Πλέγμα διηθήσεως. 3. Βαλβίδα και έδρα βαλβίδας. 4. Έξοδος ψυκτικού προς στοιχείο ατμοποιήσεως. 5. Ρύθμιση ελατηρίου και πιέσεως ατμοποιήσεως. 6. Πώμα. 7. Ρυθμιστικό ελατήριο. 8. Κέλυφος βαλβίδας. 9. Μεμβράνη.

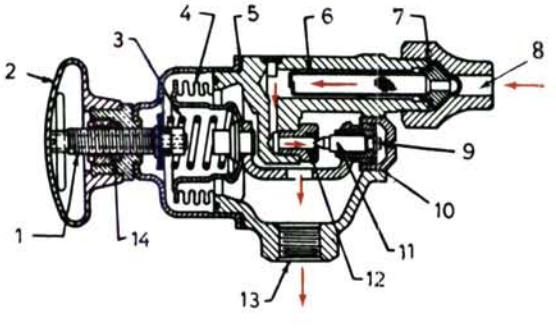
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

χάνεται μικρότερη φθορά στις επιφάνειες έδρας-βαλβίδας λόγω της πιο ομαλής επικαθήσεως που εξασφαλίζουν.

Στο σχήμα 4.8δ φαίνεται σχηματικά μια πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα (4) και δυνατότητα ρυθμίσεως της πιέσεως ατμοποιήσεως με ρυθμιστικό κοχλία και ελατήριο.



Σχ. 4.8γ.
Πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη.



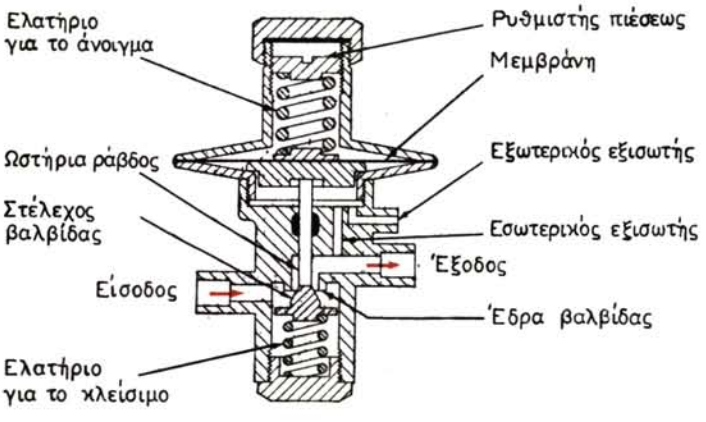
Σχ. 4.8δ.
Πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα.
1. Ρυθμιστικός κοχλίας. 2. Λαστιχένιο κάλυμμα. 3. Ρυθμιστικό ελατήριο. 4. Πτυχωτός σωλήνας. 5. Στεγανωτικός παράκυκλος. 6. Πλέγμα διηθήσεως. 7. Πώμα αποθηκεύσεως. 8. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 9. Στέλεχος βελονοειδούς βαλβίδας. 10. Πώμα. 11. Βελονοειδής βαλβίδα. 12. Έδρα βαλβίδας. 13. Έξοδος ψυκτικού μέσου. 14. Στεγανωτικό παρέμβυσμα.

Για τους ίδιους λόγους που αναπτύχθηκαν στις θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως, χρησιμοποιούνται και εδώ πιεζοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως, με εξίσωση πιέσεως εσωτερική ή εξωτερική. Μια βαλβίδα του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 4.8ε. Παρέχει τη δυνατότητα της εφαρμογής της σωστής τιμής πιέσεως στην κάτω πλευρά της μεμβράνης, η οποία αντιστοιχεί στην είσοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως, αν πρόκειται για εσωτερική εξίσωση πιέσεως, ή στην έξοδο, αν πρόκειται για εξωτερική εξίσωση πιέσεως. Μόνο μια από τις δυο δυνατότητες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί και φυσικά όχι ταυτόχρονα και οι δυο.

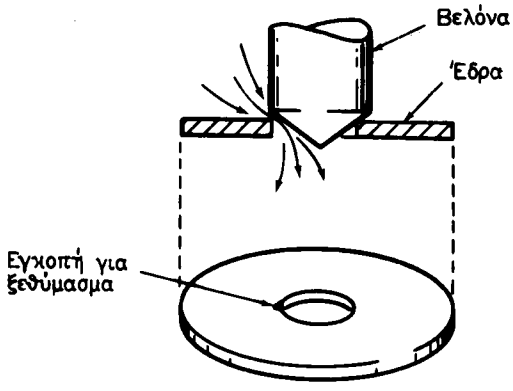
Οι πιεζοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται μόνο για ειδικές εφαρμογές αλλά και εκεί ακόμη μπορούν να αντικατασταθούν από θερμοστατικές εκτονωτικές με γόμωση αερίου που δεν συμπυκνώνεται. Οι θερμοστατικές αυτές έχουν επί πλέον το πλεονέκτημα της εύκολης προσαρμογής στις διάφορες πιέσεις ατμοποιήσεως του ψυκτικού μέσου με απλή αλλαγή της πιέσεως του αδρανούς αερίου της γομώσεως.

Εκτός όμως από την κύρια αποστολή των πιεζοστατικών βαλβίδων, η οποία είναι ο στραγγαλισμός και η ρύθμιση παροχής του ψυκτικού μέσου, υπάρχουν και άλλες εφαρμογές, για τις οποίες οι πιεζοστατικές βαλβίδες είναι κατάλληλες.

Μια συνηθισμένη εφαρμογή τους είναι η ρύθμιση της πιέσεως στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως ή στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Σε πολλές εγκαταστάσεις η έξοδος του στοιχείου ατμοποιήσεως και η αναρρόφηση του συμπιεστή απέχουν πολύ μεταξύ τους λόγω της εκτάσεως της εγκαταστάσεως· σε άλλες περιπτώσεις υπάρχουν πολλά παράλληλα στοιχεία ατμοποιήσεως που εκβάλλουν στην κοινή αναρρόφηση του συμπιεστή. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται έλεγχος και ρύθμιση της πιέσεως του ατμού του ψυκτικού μέσου στην έξοδο κάθε στοιχείου ατμοποιήσεως καθώς επίσης και έλεγχος της πιέσεως στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Τα μεν στοιχεία ατμοποιήσεως δεν επιτρέπεται να λειτουργούν σε πιέσεις χαμηλότερες από ένα κάτω όριο, ο δε συμπιεστής δεν επιτρέπεται να αναρροφά ατμό με πίεση πάνω από κάποιο όριο ασφάλειας. Στις ειδικές αυτές εφαρμογές, οι



Σχ. 4.8ε.
Πιεζοστατική εκτονωτική βαλβίδα μεμβράνης με δυνατότητα εσωτερικής ή εξωτερικής εξισώσεως πιέσεως.



Σχ. 4.8στ.
Βελονοειδής βαλβίδα και έδρα με ξεθύμασμα για την εξίσωση των πιέσεων.

πιεζοστατικές βαλβίδες δεν στραγγαλίζουν το υγρό ψυκτικό μέσο για παραγωγή ψυκτικής ισχύος, αλλά προστατεύουν την εγκατάσταση ή ελέγχουν τη λειτουργία της. Γι' αυτό, οι βαλβίδες αυτές και οι εφαρμογές τους θα εξετασθούν στην αντίστοιχη παράγραφο των προστατευτικών διατάξεων.

Οι πιεζοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες, όταν η εγκατάσταση σταματήσει να λειτουργεί, αποφράζουν τελείως το συμπυκνωτή από το στοιχείο ατμοποιήσεως και έτσι διατηρείται η διαφορά πιέσεως ανάμεσα στα δυο μέρη της εγκαταστάσεως. Κατά τη νέα εκκίνηση του κινητήρα και του συμπιεστή, λόγω της διαφοράς αυτής της πιέσεως, απαιτείται μεγάλη ροπή εκκινήσεως και κινητήρας ειδικού τύπου. Αν όμως η ψυκτική εγκατάσταση δεν διαθέτει αντίστοιχο κινητήρα, τότε πρέπει κατά τη διάρκεια που παύει να λειτουργεί να εξισώνεται η πίεση συμπυκνωτή - στοιχείου ατμοποιήσεως, ώστε η εκκίνηση να γίνεται χωρίς διαφορά πιέσεως. Για το σκοπό αυτό στις πιεζοστατικές βαλβίδες υπάρχει συνήθως μια μικρή εγκοπή στο χείλος της έδρας της βαλβίδας, από την οποία ξεθυμαίνει η πίεση και γίνεται παντού η ίδια. Στο σχήμα 4.8στ φαίνεται η αρχή λειτουργίας αυτής της διατάξεως. Η εγκοπή είναι πάρα πολύ μικρή και δεν επιδρά στην κανονική λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας.

4.9 Θερμοηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα.

Η αρχή λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών βαλβίδων εκτονώσεως είναι πρακτικά ίδια με την αντίστοιχη αρχή των θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως. Στις θερμοηλεκτρικές βαλβίδες όμως η μέτρηση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού γίνεται με ηλεκτρικό τρόπο και η εντολή για το άνοιγμα ή κλείσιμο της βαλβίδας δίνεται με ηλεκτρικό σήμα.

Η θερμοηλεκτρική βαλβίδα εκτονώσεως αποτελείται από τρία κύρια μέρη και από τις καλωδιώσεις που τα συνδέουν μεταξύ τους. Τα μέρη αυτά είναι τα εξής:

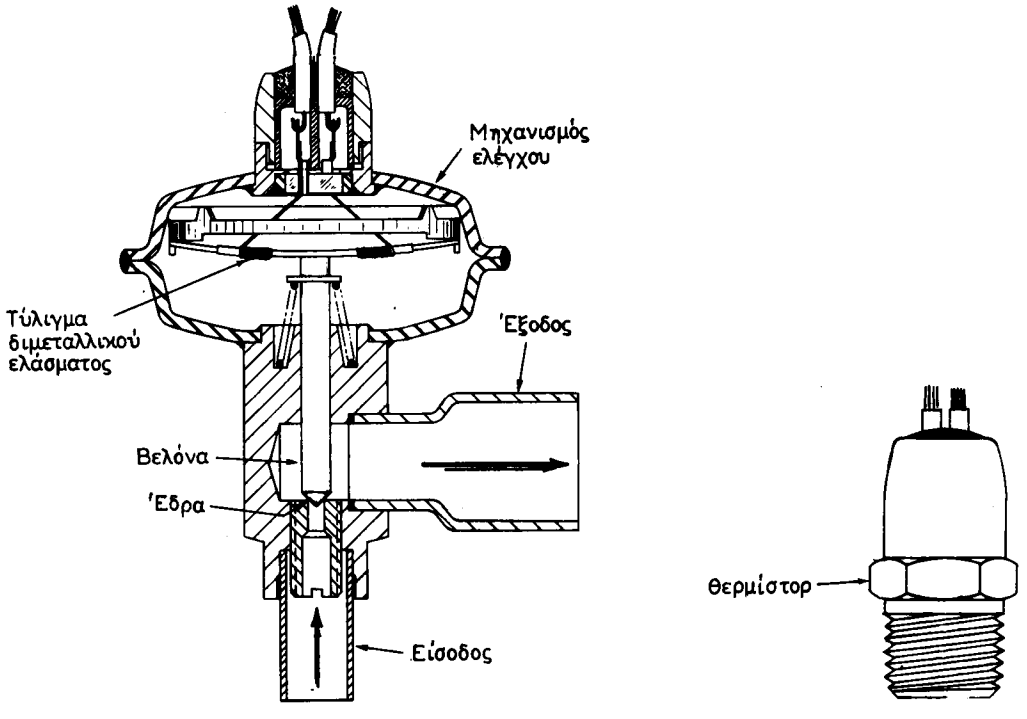
- Αισθητήριο θερμοκρασίας (θερμίστορ).
- Διμεταλλική ηλεκτρική βαλβίδα εκτονώσεως.
- Μετασχηματιστής τροφοδοτήσεως.

Το αισθητήριο της θερμοκρασίας είναι ένα ***θερμίστορ****, δηλαδή ένας ημιαγωγός με ηλεκτρική αντίσταση που έχει ***αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας.*** Στα συνηθισμένα υλικά η ηλεκτρική αντίσταση μεγαλώνει, όταν αυξάνει η θερμοκρασία του υλικού. Στο θερμίστορ όμως γίνεται το αντίθετο, δηλαδή όταν αυξάνει η θερμοκρασία του, τότε η αντίστασή του μικραίνει σημαντικά.

Η θερμοηλεκτρική βαλβίδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9α, έχει στο επάνω μέρος ένα διμεταλλικό έλασμα, που φέρει ένα τύλιγμα ηλεκτρικό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, τόσο πιο ζεστό διατηρείται το διμεταλλικό έλασμα και ανοίγει τη βαλβίδα, ώστε να περνάει περισσότερο ψυκτικό μέσο.

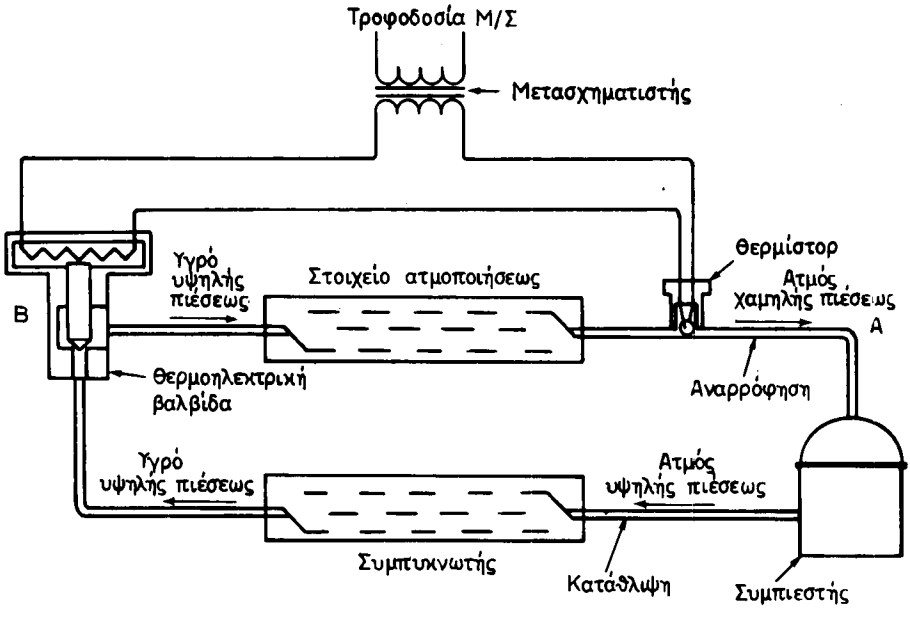
Η ηλεκτρική συνδεσμολογία της θερμοηλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας φαίνεται στο σχήμα 4.9β. Ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας δίνει ρεύμα στο κύκλωμα που περιέχει το θερμίστορ και το τύλιγμα του διμεταλλικού ελάσματος της θερμοηλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας.

Όταν ο ατμός του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως έ-



Σχ. 4.9α.
Θερμοηλεκτρική βαλβίδα εκτονώσεως και θερμίστορ.

* Βλέπε στο βιβλίο «Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά — Αυτοματισμοί» — Τόμος Α' — σελ. 83, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου.



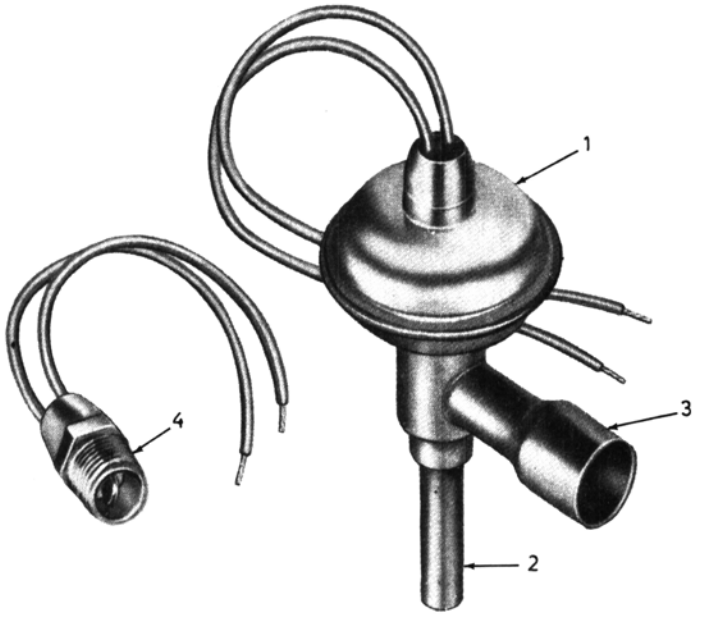
Σχ. 4.9β.
Ηλεκτρική συνδεσμολογία θερμοηλεκτρικής βαλβίδας εκτονώσεως.

χει μεγάλη θερμοκρασία, τότε η αντίσταση του θερμίστορ μικραίνει. Έτσι το κύκλωμα διαρρέεται από μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα της θερμοηλεκτρικής βαλβίδας οπότε ανοίγει η βαλβίδα και διέρχεται περισσότερο ψυκτικό μέσο. Όταν πάλι ο ατμός στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως είναι σχετικά κρύος, τότε μεγαλώνει η αντίσταση του θερμίστορ και ελαττώνεται η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα, οπότε κλείνει η βαλβίδα και ελαττώνεται η παροχή ψυκτικού μέσου.

Για τη σωστή λειτουργία της θερμοηλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας απαιτείται ***σταθερή*** τάση τροφοδοτήσεως του κυκλώματος αυτού. Αν αυτό δεν εξασφαλισθεί, τότε οι διακυμάνσεις της τάσεως του δικτύου αλλάζουν τη ρύθμιση της θερμοηλεκτρικής εκτονωτικής βαλβίδας.

Μια φωτογραφία των δυο κυρίων μερών της θερμοηλεκτρικής βαλβίδας εκτονώσεως, δηλαδή της κύριας βαλβίδας και του αισθητηρίου της, φαίνονται στο σχήμα 4.9γ.

Όταν η εγκατάσταση είναι εκτός λειτουργίας, η θερμοηλεκτρική βαλβίδα μπορεί να μένει ή ανοικτή ή κλειστή κατά βούληση. Η δυνατότητα αυτή εξασφαλίζεται πολύ εύκολα από την ηλεκτρική εντολή που ελέγχει τη λειτουργία του διμεταλλικού ελάσματος.



Σχ. 4.9γ.
Θερμοηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα.
1. Διμεταλλικό έλασμα και τύλιγμα θερμάνσεως. 2. Είσοδος υγρού ψυκτικού μέσου. 3. Έξοδος προς στοιχείο ατμοποιήσεως. 4. Θερμίστορ.

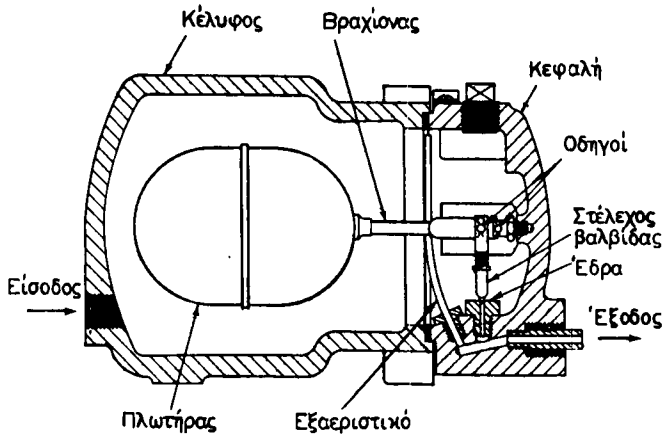
4.10 Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα υψηλής πιέσεως.

Με τις εκτονωτικές βαλβίδες πλωτήρα υψηλής πιέσεως ελέγχεται και διατηρείται σε σταθερό ύψος η στάθμη του υγρού ψυκτικού μέσου ***μέσα στο συμπυκνωτή*** της εγκαταστάσεως. Έτσι εξασφαλίζεται η παροχή του ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή στο στοιχείο ατμοποιήσεως να είναι ίση προς την παροχή του συμπιεστή.

Μια τυπική κατασκευή του είδους αυτού εκτονωτικής βαλβίδας φαίνεται στο σχήμα 4.10. Όταν η στάθμη στο συμπυκνωτή ανέβει, τότε ο πλωτήρας ανυψώνεται και ανοίγει τη βαλβίδα, οπότε το ψυκτικό μέσο κατευθύνεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Με τη βαλβίδα του τύπου αυτού πρακτικά ολόκληρη η ποσότητα του ψυκτικού μέσου βρίσκεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, που είναι υπερχειλισμένο.

Η βαλβίδα και η έδρα της, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.10, βρίσκονται στο κάτω μέρος του κελύφους για να είναι πάντοτε κάτω από τη στάθμη του υγρού και να μη μπορεί να περάσει θερμός ατμός ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. Με τη διάταξη εξάλλου αυτή αποφεύγεται και η ροή αδρανών αερίων, που παράγονται, από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως.

Οι εκτονωτικές βαλβίδες πλωτήρα υψηλής πιέσεως δεν ελέγχουν τη στάθμη του ψυκτικού μέσου στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Η μόνη δυνατότητα που υπάρχει είναι να διατηρείται σταθερή η ποσότητα του ψυκτικού μέσου που υπάρχει στο



Σχ. 4.10.
Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα υψηλής πιέσεως.

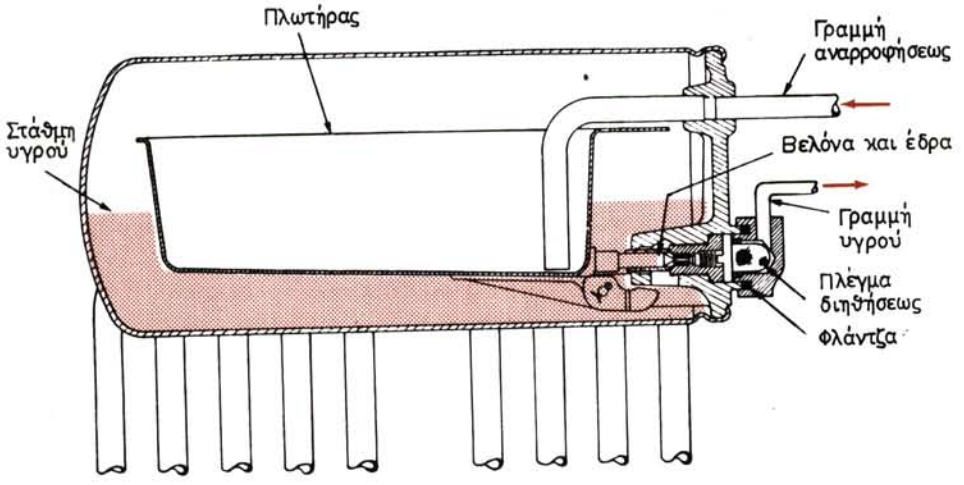
κύκλωμα. Έτσι η σταθερή στάθμη στο συμπυκνωτή εξασφαλίζει και τη σωστή στάθμη υγρού ψυκτικού μέσου στο στοιχείο ατμοποιήσεως.

Βαλβίδες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη για εγκαταστάσεις με πολύ μεγάλη ισχύ, μέχρι και 350 RT (ψυκτικούς τόνους). Στις ΗΠΑ οι βαλβίδες αυτές χρησιμοποιούνται μέχρι 20 RT για αμμωνία, μέχρι 5 RT για ψυκτικό μέσο R12 και μέχρι 10 RT για ψυκτικό μέσο R22. Για μεγαλύτερες ισχείς η βαλβίδα με πλωτήρα υψηλής πιέσεως χρησιμοποιείται μόνον σαν πιλότος, που κατευθύνει την κύρια βαλβίδα στραγγαλισμού.

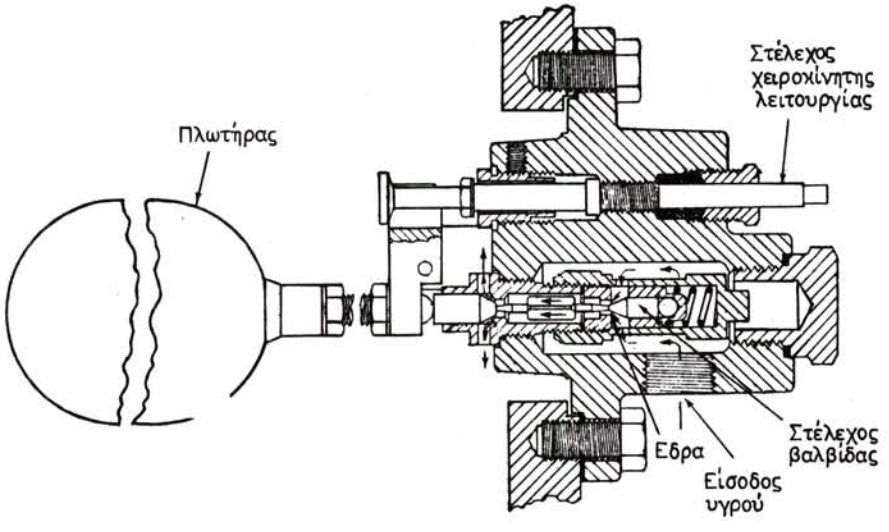
4.11 Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα χαμηλής πιέσεως.

Η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια όπως και για την αντίστοιχη εκτονωτική πλωτήρα υψηλής πιέσεως, που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Όμως εδώ ένας πλωτήρας με κατάλληλο σχήμα ελέγχει τη στάθμη του υγρού ψυκτικού ***στο στοιχείο ατμοποιήσεως*** και ανοιγοκλείνει τη βαλβίδα προσαγωγής ψυκτικού μέσου. Η μορφή της εκτονωτικής βαλβίδας αυτής, όπως επίσης και οι αντίστοιχες θερμοστατικές βαλβίδες, επιτρέπει τη χρήση πολλών παραλλήλων στοιχείων ατμοποιήσεως, που τροφοδοτούνται από την ίδια θέση, δηλαδή από το θάλαμο του πλωτήρα. Σχηματική περιγραφή βαλβίδας με πλωτήρα χαμηλής πιέσεως φαίνεται στο σχήμα 4.11α. Στο κάτω μέρος φαίνονται οι σωλήνες των παραλλήλων στοιχείων ατμοποιήσεως που εξυπηρετούνται από την ίδια βαλβίδα. Στο δεξιό μέρος φαίνεται το πλέγμα διηθήσεως και η καθαυτό βαλβίδα με την έδρα της. Ο πλωτήρας, στην εικόνα αυτή, είναι ανοικτού τύπου και μέσα του υπάρχει ο σωλήνας αναρροφήσεως του ατμού του ψυκτικού μέσου. Η διάταξη αυτή διευκολύνει την επιστροφή του λαδιού προς το συμπιεστή.

Η κυκλοφορία του λαδιού στους τύπους αυτούς των εκτονωτικών βαλβίδων μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα και διακοπή λειτουργίας. Πράγματι, αν συσσωρευθεί από κακό σχεδιασμό της εγκαταστάσεως πολύ λάδι στο στοιχείο ατμο-



Σχ. 4.11α.
Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα χαμηλής πιέσεως.



Σχ. 4.11β.
Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα χαμηλής πιέσεως.

ποιήσεως, τότε ο πλωτήρας κλείνει την παροχή και δεν έρχεται ψυκτικό μέσο στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Το λάδι που έχει συσσωρευθεί δεν ατμοποιείται και έτσι διακόπτεται οριστικά η λειτουργία. Για να μη συμβεί το φαινόμενο αυτό πρέπει να έχει ληφθεί ειδική πρόνοια κατά τη μελέτη και κατασκευή της εγκαταστάσεως, ώστε το λάδι να επιστρέφει προς το συμπιεστή.

Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες μιας βαλβίδας αυτού του τύπου φαίνονται στο σχήμα 4.11β. Στο επάνω δεξιό μέρος της διατάξεως φαίνεται το στέλεχος της χειροκίνητης λειτουργίας, που απενεργοποιεί τη δράση του πλωτήρα, αν υπάρχει ανάγκη.

'Οταν ο συμπιεστής είναι εκτός λειτουργίας και δεν αναρροφά ατμό ψυκτικού μέσου από το στοιχείο ατμοποιήσεως, τότε πρέπει να σταματάει και η παροχή ψυκτικού μέσου προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. Για το σκοπό αυτό πρέπει να υπάρχει ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αποφράξεως στη σωλήνωση του υγρού ψυκτικού μέσου, που συνδέει το συμπυκνωτή με το στοιχείο ατμοποιήσεως. Η απαίτηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για στοιχεία ατμοποιήσεως που έχουν πολύ έντονη ατμοποίηση ή πολύ στενούς αγωγούς για τη ροή του υγρού και του ατμού. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει κατά την ατμοποίηση υπερυψωμένη στάθμη, γιατί το υγρό περιέχει πολλές φυσαλίδες ατμού. Ο πλωτήρας είναι ρυθμισμένος να αντιμετωπίζει αυτό το φαινόμενο, που όταν σταματάει, αναγκάζει και άλλη ποσότητα υγρού να έρθει στο στοιχείο ατμοποιήσεως για να συμπληρώσει τη στάθμη. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο απαιτείται να υπάρχει ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αποφράξεως του υγρού ψυκτικού μέσου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι για εκτονωτικές βαλβίδες με πλωτήρες, όπως είναι π.χ. οι βαλβίδες, στις οποίες ο πλωτήρας δρα σε ηλεκτρομαγνήτες ή ανοίγει επαφές υδραργύρου από τις οποίες ανοιγοκλείνει η κύρια βαλβίδα στραγγαλισμού. Στις περιπτώσεις αυτές οι βαλβίδες πλωτήρα δρουν σα βαλβίδες-πιλότος.

4.12 Εκτόνωση με τριχοειδή σωλήνα.

Το πιο απλό είδος διατάξεως στραγγαλισμού του υγρού ψυκτικού μέσου είναι ασφαλώς ένα κομμάτι από σωλήνα μικρής διαμέτρου ή όπως λέγεται συνήθως ένας ***τριχοειδής σωλήνας.*** Το μήκος και η διάμετρος του σωλήνα εξαρτώνται από το είδος του ψυκτικού μέσου, από τη διαφορά πιέσεως ανάμεσα στο συμπυκνωτή και στο στοιχείο ατμοποιήσεως και από την ψυκτική ισχύ.

Οι τριχοειδείς σωλήνες χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα με μικρούς ερμητικούς συμπιεστές και τα αλογονομένα ψυκτικά μέσα. Οι τριχοειδείς σωλήνες χρησιμοποιούνται πολύ στα οικιακά ψυγεία, στους οικιακούς καταψύκτες καθώς και στις κλιματιστικές μονάδες παραθύρου. Στα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ακόμα και για μεγαλύτερες κλιματιστικές μονάδες, που φθάνουν σε ψυκτική ισχύ μέχρι και τους 10 RT.

Επειδή ο τριχοειδής σωλήνας, έχει σταθερή διάμετρο και σταθερό μήκος, εργάζεται ικανοποιητικά μόνο σε μια καθορισμένη περιοχή λειτουργίας και δεν έχει την ικανότητα προσαρμογής που έχει π.χ. η θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως.

'Οταν το ψυκτικό συγκρότημα είναι εκτός λειτουργίας, ο τριχοειδής σωλήνας εξισώνει την πίεση σε ολόκληρη την εγκατάσταση και έτσι ο συμπιεστής μπορεί να εκκινήσει με ευνοϊκές συνθήκες αντιθλίψεως. Για τον ίδιο όμως λόγο, και επειδή το ψυκτικό μέσο μπορεί να συσσωρεύεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, διαμορφώνεται συνήθως ένας κατάλληλος χώρος υποδοχής του υγρού ψυκτικού μέσου, στο τέλος ή την αρχή του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Οι τριχοειδείς σωλήνες που χρησιμοποιούνται είναι χάλκινοι και έχουν τυποποιημένες διαστάσεις. Στον πίνακα 4.12.1 δίνονται μερικές χαρακτηριστικές διάμετροι των σωλήνων αυτών.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12.1.
Διάμετρος τριχοειδών σωλήνων.

Εξωτερική (in)	Εσωτερική (in)
0.083	0.031
0.094	0.036
0.109	0.042
0.114	0.049
0.120	0.055
0.130	0.065

Το μήκος των σωλήνων για δεδομένη διάμετρο, καθορίζεται από την ισχύ και τη διαφορά πιέσεως ή αντίστοιχα από τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως, που καθορίζει και τη θερμοκρασία στο χώρο που ψύχεται.

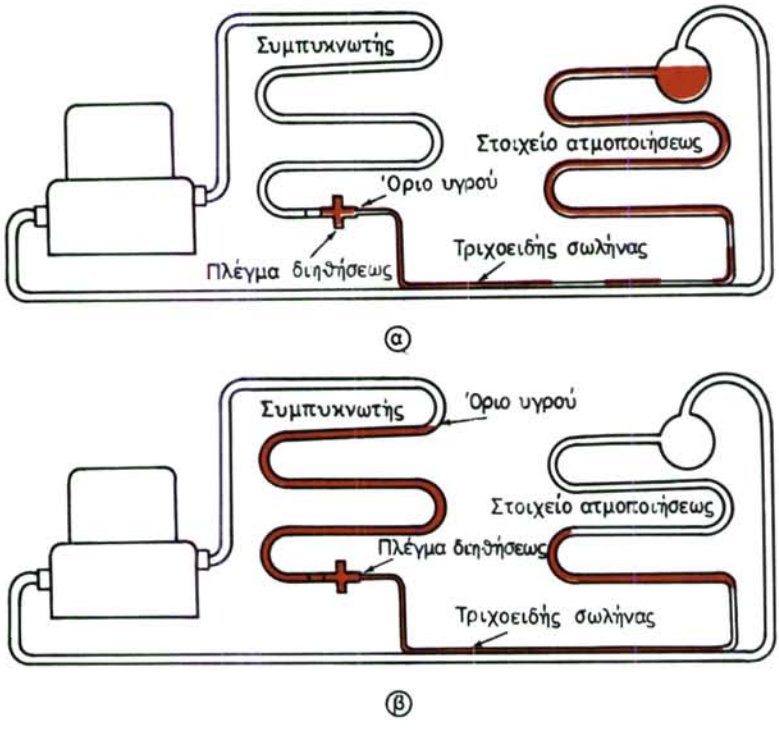
Στον επόμενο πίνακα 4.12.2 δίνονται μερικές ενδεικτικές τιμές για τα μεγέθη αυτά και για συνηθισμένες εφαρμογές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12.2.
Μέγεθος τριχοειδών σωλήνων για συνηθισμένες εφαρμογές ψυκτικού μέσου R12. Θερμοκρασία ψυγείου: H υψηλή, M μέση, L χαμηλή.

Ισχύς κινητήρα	Θερμο-κρασία	Μήκος τριχοειδή σωλήνα σε πόδια (ft) για διάφορες εσωτερικές διαμέτρους						
HP	–	0.031"	0.036"	0.040"	0.042"	0.049"	0.055"	0.065"
	H	1,1	2,2	3,5	4,5	9	15	
1/8	M	4	8	13	16	32	56	
	L	9	18	29	36	72	126	
	H						10	
1/5	M	2,2	4,4	7,0	9	18	31	
	L	5,2	10,5	17	21	42	73	
	H						5	
1/4	M	1,1	2,2	3,5	4,5	9	15	
	L							7,5
							9,5	
1/3	M							
	L	1,75	3,5	5,6	7	14	2,5	

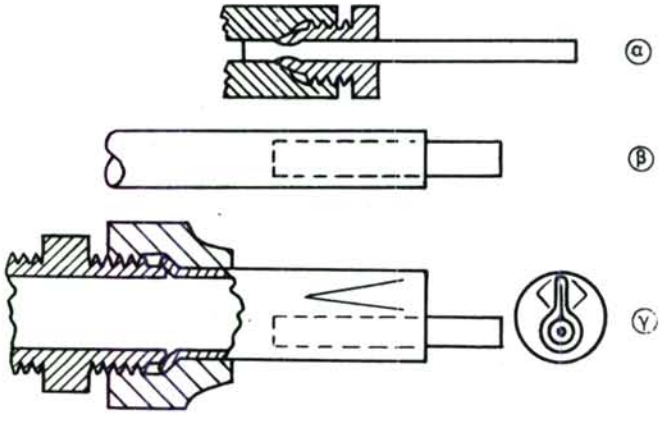
Οι ενδείξεις της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως, που διακρίνεται σε υψηλή, μέση και χαμηλή αναφέρονται αντίστοιχα σε συσκευές κλιματισμού, ψυγεία νωπών προϊόντων και καταψύκτες.

Οι διαστάσεις του τριχοειδή σωλήνα πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε να εξασφαλίζεται ομαλή λειτουργία της εγκαταστάσεως στις περισσότερες περιπτώσεις. Δηλαδή το υγρό ψυκτικό μέσο πρέπει να φράζει τον τριχοειδή σωλήνα και να μην συσσωρεύεται στο συμπυκνωτή. Μια χαρακτηριστική περίπτωση κανονικής λειτουργίας ψυκτικής εγκαταστάσεως με κατάλληλες διαστάσεις τριχοειδή σωλήνα, εικο-



Σχ. 4.12α.

Επίδραση της αντιστάσεως ροής του τριχοειδή σωλήνα.
α) Κανονική λειτουργία. β) Λειτουργία με μεγάλη αντίσταση του τριχοειδή σωλήνα που προκαλεί συσσώρευση υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή.



Σχ. 4.12β.

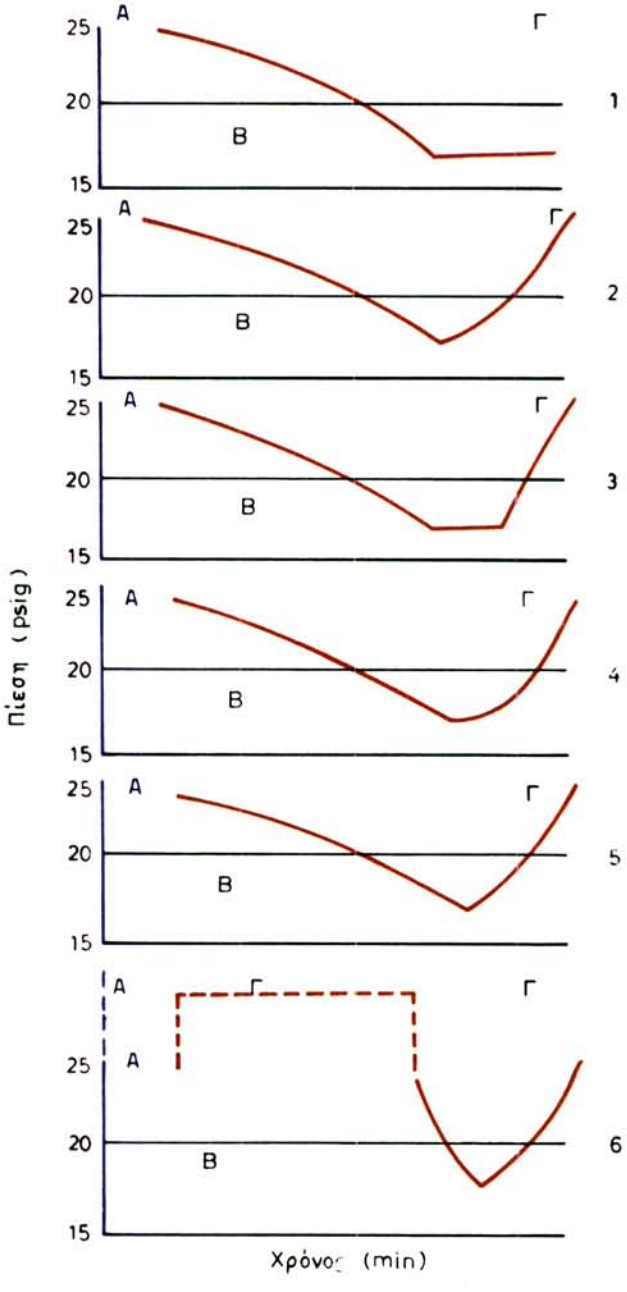
Σύνδεση τριχοειδών σωλήνων μεγαλύτερης διαμέτρου.
α) Με λεπτό κωνικό περικόχλιο. β) Με ασημοκόλληση. γ) Με ρακόρ που αποσυναρμολογείται.

νίζεται στο σχήμα 4.12α(α). Στο σχήμα αυτό φαίνεται το στοιχείο ατμοποιήσεως φορτισμένο με τη σωστή ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου. Στο σχήμα 4.12α(β) παριστάνεται εξάλλου μια χαρακτηριστική περίπτωση κακής λειτουργίας της ψυκτικής μονάδας, που οφείλεται στη μεγάλη αντίσταση που παρουσιάζει ο τριχοειδής σωλήνας. Εδώ φαίνεται η συσσώρευση του υγρού στο συμπυκνωτή που συνεπάγεται το στέγνωμα αρκετού τμήματος του στοιχείου ατμοποιήσεως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ψυκτικής ισχύος, γιατί το στοιχείο ατμοποιήσεως λειτουργεί ελαττωματικά και γιατί η πίεση συμπυκνώσεως αυξάνει περισσότερο από ό,τι θα έπρεπε να είναι για κανονική λειτουργία.

Οι τριχοειδείς σωλήνες συνδέονται με τις υπόλοιπες σωληνώσεις της εγκαταστάσεως με δυο τρόπους, δηλαδή είτε με ασημοκόλληση είτε με ειδικά ρακόρ. Στο σχήμα 4.12β(α), η σύνδεση γίνεται με ένα λεπτό κωνικό περικόχλιο, που παραμορφώνεται καθώς βιδώνει και συμπιέζει και τον τριχοειδή σωλήνα, ώστε να επιτευχθεί στεγανότητα μεταξύ των δυο μεταλλικών επιφανειών. Το σχήμα 4.12β(β) δείχνει την ασημοκόλληση ενώ το σχήμα 4.12β(γ) σύνδεση του τριχοειδή, με ασημοκόλληση, προς ένα ειδικό εξάρτημα (ρακόρ), που αποσυναρμολογείται όταν χρειασθεί.

4.13 Μεταβολές χαμηλής πιέσεως.

Όλες οι εκτονωτικές διατάξεις που έχουν περιγραφεί ως τώρα, ρυθμίζουν την παροχή ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποιήσεως, παίρνοντας εντολή από κάποιο αισθητήριο. Το σύστημα όμως αυτό της ρυθμίσεως έχει μια χρονική σταθερά, δηλαδή κάποια αδράνεια, και για το λόγο αυτό εμφανίζονται αυξομειώσεις παροχής στην παροχή γύρω από μια σταθερή μέση τιμή. Αυτές οι αυξομειώσεις παροχής προκαλούν και αντίστοιχες μεταβολές στην πίεση και θερμοκρασία ατμοποιήσεως. Στο σχήμα 4.13 δίνεται συνοπτική εικόνα των μεταβολών αυτών για τους διάφορους τύπους εκτονωτικών βαλβίδων που εξετάσθηκαν. Σε όλες τις καμπύλες υπάρχουν τα τρία χαρακτηριστικά σημεία Α,Β,Γ στα οποία γίνονται οι εξής ενέργειες: Α) Κλείσιμο εκτονωτικής βαλβίδας. Β) Παύση λειτουργίας συμπιεστή. Γ) Επανάληψη λειτουργίας συμπιεστή. Στα σχήματα αυτά φαίνεται μόνο εκείνο το τμήμα του κύκλου λειτουργίας, στο οποίο βγαίνουν εκτός, η εκτονωτική βαλβίδα και ο συμπιεστής, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα του κύκλου η μεν εκτονωτική είναι ανοικτή ο δε συμπιεστής σε λειτουργία.



Σχ. 4.13.

Σχηματική περιγραφή των μεταβολών πιέσεως στο στοιχείο ατμοποιήσεως για διάφορους τύπους έκτονωτικών βαλβίδων. Οι τιμές των πιέσεων αντιστοιχούν σε ψυκτικό μέσο R 12.
1. Πιεζοστατική βαλβίδα. 2. Θερμοστατική βαλβίδα. 3. Θερμοηλεκτρική βαλβίδα. 4. Εκτονωτική πλωτήρα με χαμηλή πίεση. 5. Εκτονωτική πλωτήρα με υψηλή πίεση. 6. Τριχοειδής σωλήνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ, ΡΥΘΜΙΣΕΩΣ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή.

Στα προηγούμενα τέσσερα κεφάλαια του βιβλίου αυτού εξετάσαμε τις τέσσερις κύριες συνιστώσες των ψυκτικών εγκαταστάσεων, δηλαδή τους συμπιεστές, τους συμπυκνωτές, τα στοιχεία ατμοποιήσεως και τις διατάξεις στραγγαλισμού. Μας δόθηκε επίσης η ευκαιρία να αναφέρομε — σε αρκετά σημεία — ότι για να εξασφαλίζεται ομαλή και ταυτόχρονα αποδοτική λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως, είναι απαραίτητη η παρουσία των διατάξεων ελέγχου ρυθμίσεως και προστασίας, οι οποίες από τη μια μεριά μεν ελέγχου και ρυθμίζουν τα διάφορα φυσικά μεγέθη του ψυκτικού κύκλου, και από την άλλη προστατεύουν την ίδια την εγκατάσταση.

Οι διατάξεις αυτές, ανάλογα με τη φύση τους, διακρίνονται σε διατάξεις διαφόρων τύπων, όπως είναι οι μηχανικές, οι ηλεκτρικές, οι μικτές κλπ. Τα μεγέθη που ελέγχονται είναι πολλά. Μπορεί να είναι το ψυκτικό μέσο της κύριας εγκαταστάσεως και πιο συγκεκριμένα η πίεσή του ή η θερμοκρασία του σε διάφορα σημεία του κυκλώματος, η παροχή του νερού ψύξεως του υδρόψυκτου συμπυκνωτή, η παροχή του νερού ή της άλμης που ψύχονται από το στοιχείο ατμοποιήσεως, η θερμοκρασία του ηλεκτροκινητήρα κλπ.

Οι περισσότερες από τις διατάξεις ελέγχου ρυθμίσεως και προστασίας συγκροτούν ένα σύστημα αυτοματισμού, όπως ήδη γνωρίσαμε στο Τέταρτο Κεφάλαιο. Άλλες πάλι λειτουργούν μετά από έλεγχο και επέμβαση του τεχνικού που επιπτεύει την εγκατάσταση, όπως π.χ. μια χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα ψυκτικού μέσου. Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις συναντούμε κυρίως τριών ειδών αυτοματισμούς, οι οποίοι εξυπηρετούν αντίστοιχους σκοπούς:

- Αυτοματισμούς ρυθμίσεως λειτουργίας.
- Αυτοματισμούς επιτηρήσεως (ελέγχου) λειτουργίας.
- Αυτοματισμούς ασφάλειας (προστασίας) λειτουργίας.

Η διάκριση των τριών ειδών αυτοματισμών, ορισμένες φορές είναι δύσκολη και όχι σαφής. Μπορούν να αναφερθούν τα εξής χαρακτηριστικά παραδείγματα:

- Σαν αυτοματισμός ***ρυθμίσεως*** λειτουργίας μιας εγκαταστάσεως μπορεί π.χ. να θεωρηθεί ο θερμοστάτης ή το σύστημα των θερμοστατών, που ξεκινούν και διακόπτουν τη λειτουργία του συμπιεστή της εγκαταστάσεως, ώστε να διατηρείται η επιθυμητή θερμοκρασία μεταξύ των δυο οριακών τιμών που έχουν προδιαγραφεί. Οι αυτοματισμοί του τύπου αυτού ρυθμίζουν τη λειτουργία της εγκαταστάσεως ώστε να επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος σκοπός.

Συνήθως η ρύθμιση αυτή είναι εκκίνηση ή διακοπή του συμπιεστή ψυκτικού μέσου και η διάταξη αυτοματισμού ρυθμίζει το χρόνο κατά τον οποίο η διάταξη λειτουργεί ή δεν λειτουργεί.

- Αυτοματισμοί ***επιτηρήσεως*** (ελέγχου) λειτουργίας, είναι οι διατάξεις που διευκολύνουν τη λειτουργία και εξασφαλίζουν την εκκίνηση του συμπιεστή. Οι διατάξεις αυτές έχουν προτεραιότητα σε σύγκριση με τις διατάξεις ρυθμίσεως, δηλαδή οι διατάξεις ρυθμίσεως λειτουργούν μόνο αν οι διατάξεις επιτηρήσεως επιτρέπουν τη λειτουργία της εγκαταστάσεως.
- Τέλος οι αυτοματισμοί ***ασφάλειας*** (προστασίας) ελέγχουν εκείνα τα μεγέθη, που είναι κρίσιμα για την ασφάλεια της εγκαταστάσεως, των χειριστών ή των προϊόντων που ψύχονται, και διακόπτουν αμέσως τη λειτουργία αν δεν ικανοποιείται κάποια από τις απαιτήσεις αυτές. Οι διατάξεις ασφάλειας έχουν την άμεση προτεραιότητα και ακολουθούν οι διατάξεις επιτηρήσεως και τελευταίες οι διατάξεις ρυθμίσεως.

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρομε ότι σε μια ψυκτική εγκατάσταση υπάρχουν και ορισμένα ειδικά εξαρτήματα, που εξασφαλίζουν την καλή ποιότητα λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Στα εξαρτήματα αυτά εντάσσονται οι παγίδες σταγόνων ψυκτικού μέσου, οι διαχωριστήρες λαδιού - ψυκτικού μέσου, τα φίλτρα, οι ξηραντήρες, τα ενδεικτικά υγρασίας του ψυκτικού μέσου κλπ.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται μόνον οι πιο σημαντικές από τις διατάξεις ελέγχου ρυθμίσεως και προστασίας, ενώ υπάχουν και αρκετές άλλες, των οποίων η περιγραφή ξεφεύγει από τα όρια του βιβλίου αυτού. Πρέπει να υπενθυμίσομε ότι μερικές διατάξεις προστασίας έχουν ήδη περιγραφεί στο πρώτο κεφάλαιο, όπου διαπραγματευθήκαμε τους συμπιεστές και τους ηλεκτροκινητήρες τους. Αυτό έγινε γιατί ο συμπιεστής με τον κινητήρα του θεωρούνται συνήθως αυτόνομη διάταξη με ανεξάρτητο αυτοματισμό. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι καταβλήθηκε προσπάθεια, ώστε, κατά την περιγραφή που ακολουθεί, να ομαδοποιηθούν τα ομοειδή εξαρτήματα σε παραγράφους. Αυτό δεν ήταν βέβαια πάντοτε εφικτό, αφού ενδέχεται μια διάταξη να εκτελεί κατά περίπτωση μια από τις τρεις λειτουργίες — έλεγχο, ρύθμιση, ή προστασία — τις οποίες εξετάζομε στο κεφάλαιο αυτό.

5.2 Ρυθμιστικές βαλβίδες κυκλώματος ψυκτικού μέσου.

Το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί με τη βοήθεια του συμπιεστή και ελέγχεται και ρυθμίζεται κυρίως από τη διάταξη στραγγαλισμού της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Η ρύθμιση όμως αυτή δεν επαρκεί για να ανταποκρίνεται η ψυκτική εγκατάσταση σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας, που μπορεί να εμφανισθούν. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχουν στην εγκατάσταση και άλλες ρυθμιστικές βαλβίδες, οι οποίες εκτελώντας κάποιο συγκεκριμένο έργο βοηθούν στη σωστή λειτουργία της εγκαταστάσεως κάτω από διάφορες συνθήκες. Οι πιο σημαντικές από τις βαλβίδες αυτές είναι οι εξής:

- Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως στοιχείου ατμοποιήσεως.
- Ρυθμιστική βαλβίδα πιέσεως εκκινήσεως (αναρροφήσεως).
- Ρυθμιστική βαλβίδα ψυκτικής ισχύος (ρυθμιστική παρακάμψεως).
- Τετραοδική ρυθμιστική βαλβίδα μεταγωγής ψυκτικού μέσου.

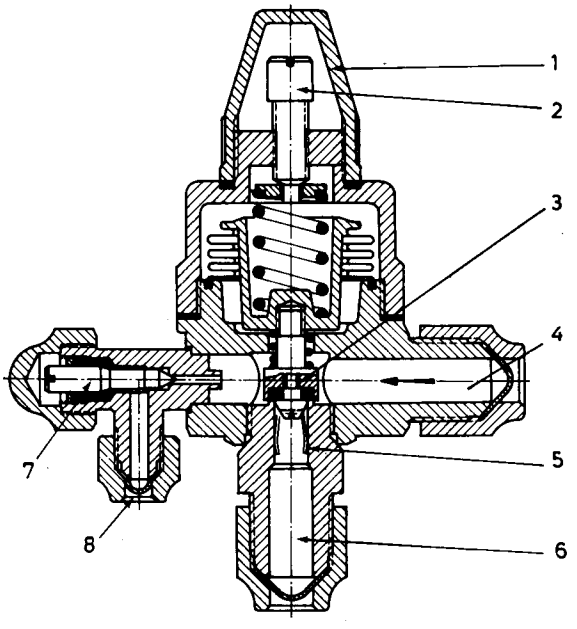
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Η αποστολή, ο τρόπος λειτουργίας καθώς και μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα των βαλβίδων αυτών αναφέρονται στα επόμενα.

5.2.1 Ρυθμιστικές βαλβίδες ελάχιστης πίεσεως στοιχείου ατμοποιήσεως.

Η ρυθμιστική αυτή βαλβίδα τοποθετείται στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Σκοπός της να ελέγχει την ***ελάχιστη*** τιμή της πιέσεως στο στοιχείο ατμοποιήσεως και να τη ρυθμίζει κατάλληλα. Όταν δηλαδή η πίεση ατμοποιήσεως και αντίστοιχα η θερμοκρασία ατμοποιήσεως, πέσουν κάτω από την επιθυμητή τιμή, τότε η ρυθμιστική βαλβίδα παίρνει εντολή και κλείνει, ώστε να αφήσει να περάσει λιγότερο ψυκτικό μέσο. Έτσι η πίεση ατμοποιήσεως συντηρείται πάνω από την ελάχιστη οριακή τιμή.

Μια βαλβίδα του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.2α. Ο ατμός του ψυκτικού, που έρχεται από το στοιχείο ατμοποιήσεως, μπαίνει στη ρυθμιστική βαλβίδα από τη θέση (4) και βγαίνει από τη θέση (6). Η πίεση που επικρατεί στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως μεταδίδεται μέσω του αγωγού (4) προς το κάτω μέρος του πτυχωτού σωλήνα και ρυθμίζει τελικά τη θέση της βαλβίδας ως προς την έδρα της. Όταν η πίεση ατμοποιήσεως είναι μικρή, το ρυθμιστικό ελατήριο σπρώχνει τη βαλβίδα πιο κοντά στην έδρα της και περιορίζει την παροχή· έτσι ανεβαίνει η πίεση στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Όταν η πίεση ατμοποιήσεως γίνει πολύ μικρή, και ξεπεράσει το κάτω όριο, τότε η ρυθμιστική βαλβίδα κλείνει τελείως και δεν επιτρέπει να φεύγει ψυκτικό μέσο από το στοιχείο ατμοποιήσεως. Η βαλβίδα ανοίγει και πά-

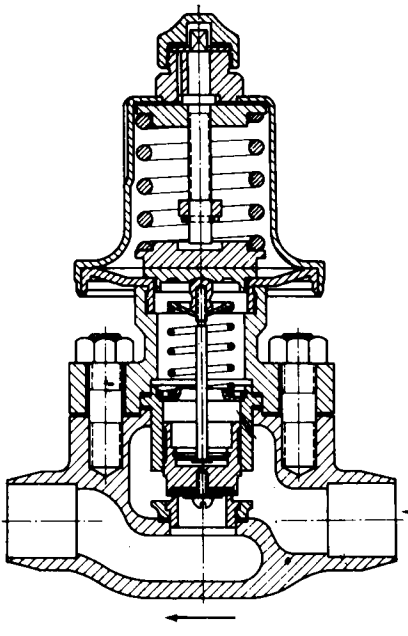


Σχ. 5.2α.
Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως στοιχείου ατμοποιήσεως.
1. Πώμα. 2. Ρυθμιστικό στέλεχος. 3. Βαλβίδα και έδρα. 4. Είσοδος ατμού. 5. Αποσβεστήρας ταλαντώσεων. 6. Έξοδος ατμού. 7. Αποφρακτική βαλβίδα μανομέτρου. 8. Στόμιο μανομέτρου.

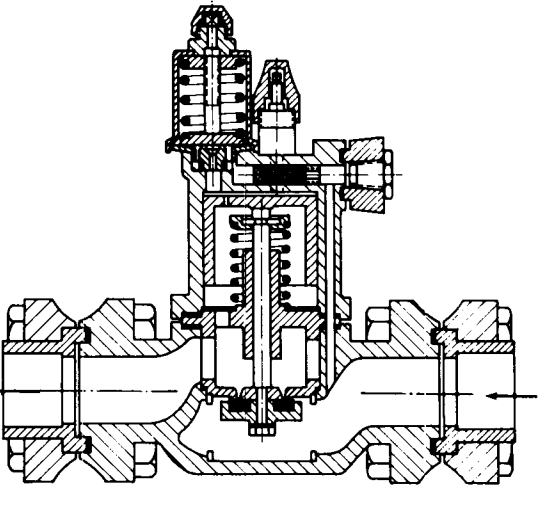
λι, όταν η πίεση ατμοποιήσεως μεγαλώσει και περάσει την οριακή τιμή. Η ρύθμιση του κάτω ορίου πιέσεως, στο οποίο κλείνει η βαλβίδα, γίνεται με το ρυθμιστικό στέλεχος (2) και με τη βοήθεια μανομέτρου, που συνδέεται στο στόμιο (8) με τη βοήθεια της βελονοειδούς αποφρακτικής βαλβίδας (7).

Υπάρχουν ρυθμιστικές βαλβίδες ελάχιστης πιέσεως είτε με πτυχωτό σωλήνα είτε με μεμβράνη, όπως οι θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως που ήδη γνωρίσαμε. Στο σχήμα 5.2β φαίνεται μια ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως με μεμβράνη, η οποία είναι για σχετικά υψηλές ψυκτικές ισχείς. Για το λόγο αυτό έχει και σερβομηχανισμό με κατάλληλο έμβολο. Όταν η ψυκτική ισχύς είναι ακόμη μεγαλύτερη χρησιμοποιούνται ρυθμιστικές βαλβίδες ελάχιστης πιέσεως με βαλβίδα - πιλότο. Στο σχήμα 5.2γ φαίνεται μια ρυθμιστική βαλβίδα - ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με οδήγηση από βαλβίδα-πιλότο. Η σύνδεση με την παροχή της εξωτερικής πιέσεως γίνεται στο στόμιο, που φαίνεται στο πάνω δεξιό μέρος του κύριου σώματος της βαλβίδας.

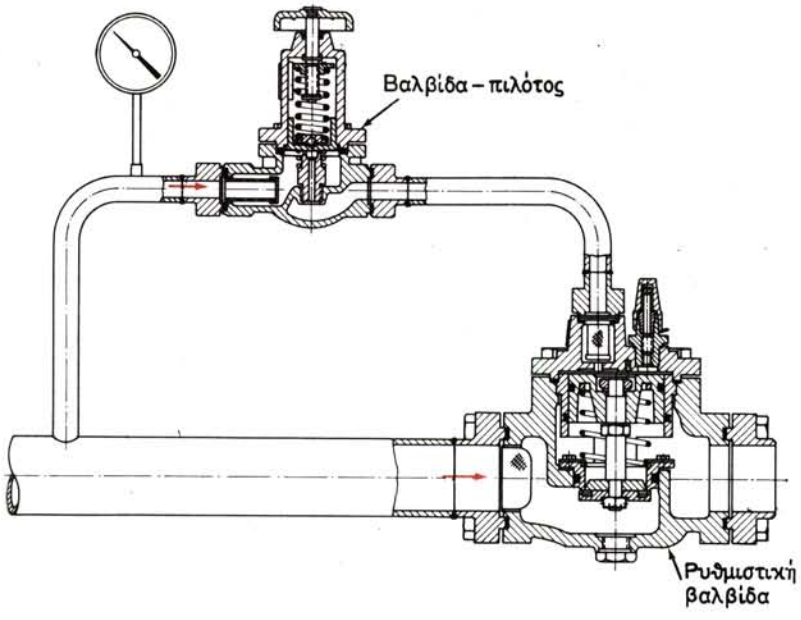
Μια άλλη κατασκευή ρυθμιστικής βαλβίδας ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως φαίνεται στο σχήμα 5.2δ, όπου η μικρή ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως, που είναι στο μικρό σωλήνα στο πάνω μέρος, οδηγεί την κύρια ρυθμιστική βαλβίδα που βλέπομε στο κάτω μέρος του σχήματος. Όταν η πίεση ατμοποιήσεως πέσει κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή τιμή, τότε η βαλβίδα - πιλότος κλείνει και δεν επιτρέπει την επιβολή πιέσεως στο πάνω μέρος της κύριας βαλβίδας, η οποία με τη σειρά της διακόπτει την παροχή ψυκτικού. Η βαλβίδα - πιλότος στο σχήμα



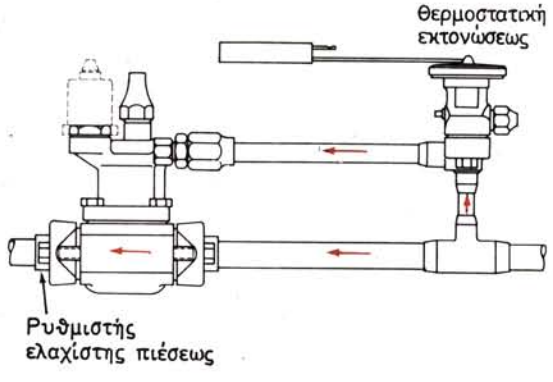
Σχ. 5.2β.
Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με σερβομηχανισμό.



Σχ. 5.2γ.
Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με οδήγηση από βαλβίδα-πιλότο.



Σχ. 5.2δ.
Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με βαλβίδα-πιλότο.



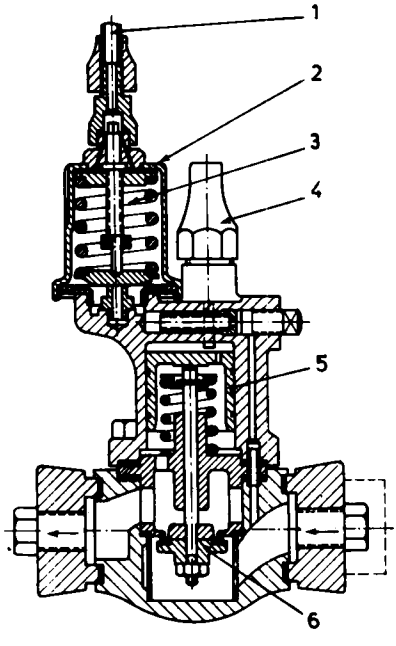
Σχ. 5.2ε.
Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με βαλβίδα-πιλότο που είναι θερμοστατική εκτονώσεως.

5.2δ είναι επίσης ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με εξωτερικό ρυθμιστή ελάχιστης τιμής (χειροκίνητη).

Σε άλλου είδους κατασκευές ***η βαλβίδα-πιλότος*** μπορεί να είναι και ***θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως,*** όπως φαίνεται για παράδειγμα στο σχήμα 5.2ε. Με τη διάταξη αυτή ουσιαστικά ελέγχεται η ελάχιστη θερμοκρασία ατμοποιήσεως μέσω του αισθητήριου βολβού της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας και μέσω αυτής, έμμεσα, ελέγχεται και η ελάχιστη πίεση ατμοποιήσεως.

Σε ορισμένες κατασκευές η κύρια βαλβίδα ρυθμίσεως της ελάχιστης πιέσεως ενεργοποιείται κατ' ευθείαν από κάποιο πνευματικό κύκλωμα, που στέλνει πεπιεσμένο αέρα και ελέγχει τη λειτουργία της. Μια βαλβίδα του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.2στ.

Σε άλλες κατασκευές ψυκτικών εγκαταστάσεων η κύρια βαλβίδα ρυθμίσεως της παροχής ατμού του ψυκτικού μέσου προς το συμπιεστή ελέγχεται ταυτόχρονα από δυο βαλβίδες-πιλότους: Μια, που ελέγχει την ελάχιστη πίεση ατμοποιήσεως, και μια δεύτερη που ελέγχει τη μεγαλύτερη επιτρεπόμενη πίεση αναρροφήσεως του συμπιεστή, όπως φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα 5.2ζ. Όταν η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (1) είναι ανοικτή με τη βοήθεια της βαλβίδας-πιλότου χαμηλής πιέσεως (2) η κύρια ρυθμιστική βαλβίδα (3) ρυθμίζει την ελάχιστη πίεση ατμοποιήσεως. Όταν όμως η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (1) είναι κλειστή, τότε με τη βοήθεια της βαλβίδας-πιλότου υψηλής πιέσεως (4) η κύρια ρυθμιστική βαλβίδα (3) είτε ρυθμίζει και διατηρεί μια υψηλότερη θερμοκρασία ατμοποιήσεως είτε χρησιμεύει για αποπάγωση.

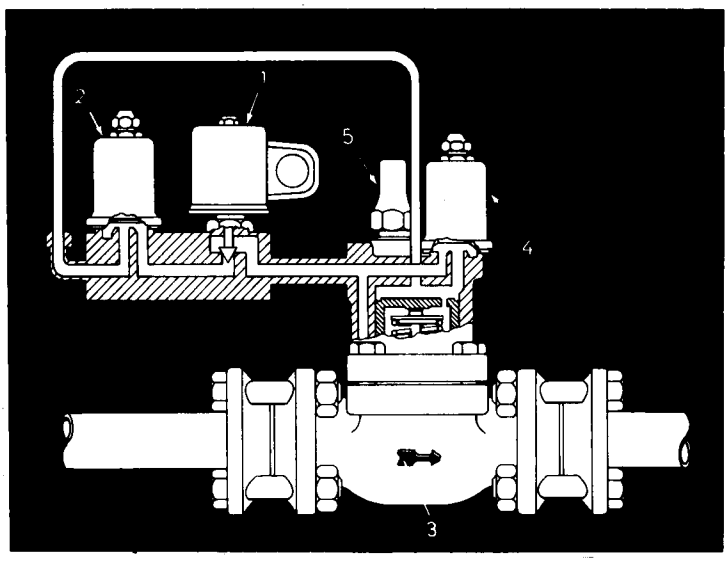


Σχ. 5.2στ.

Ρυθμιστική βαλβίδα ελάχιστης πιέσεως ατμοποιήσεως με πνευματική τηλεκίνηση.
1. Σύνδεση πεπιεσμένου αέρα. 2. Βαλβίδα-πιλότος. 3. Ρυθμιστικό στέλεχος. 4. Στέλεχος χειροκίνητης λειτουργίας. 5. Έμβολο. 6. Έδρα και βαλβίδα.

5.2.2 Ρυθμιστικές βαλβίδες πίεσεως εκκινήσεως (αναρροφήσεως).

Οι βαλβίδες αυτές ρυθμίζουν την πίεση στην αναρρόφηση του συμπιεστή και πολλές φορές αναφέρονται με το όνομα «ρυθμιστικές πιέσεως αναρροφήσεως».



Σχ. 5.2ζ.
Ρυθμιστική βαλβίδα παροχής ατμού ψυκτικού μέσου από το στοιχείο ατμοποιήσεως προς το συμπιεστή ελεγχόμενη από δυο βαλβίδες-πιλότους.
1. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. 2. Βαλβίδα-πιλότος χαμηλής πιέσεως. 3. Κύρια ρυθμιστική βαλβίδα. 4. Βαλβίδα-πιλότος υψηλής πιέσεως. 5. Στέλεχος χειροκίνητης λειτουργίας.

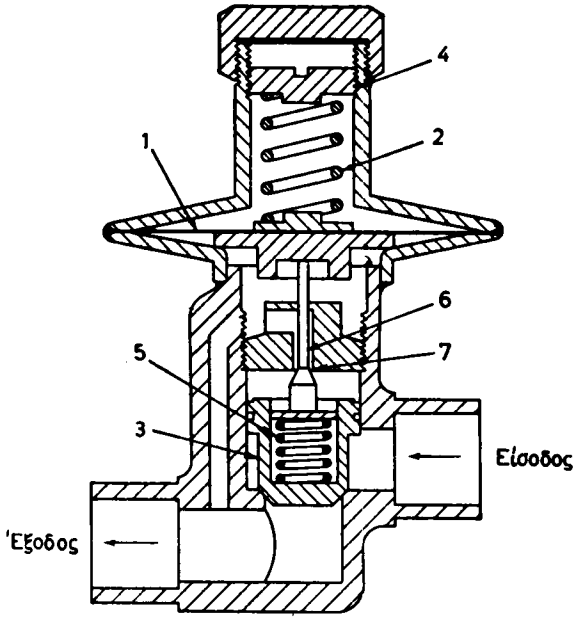
Σκοπό έχουν να διατηρούν την πίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου, στην αναρρόφηση του συμπιεστή, σε τιμές χαμηλότερες από ένα προκαθορισμένο όριο. Ο λόγος, για τον οποίο απαιτείται η ύπαρξη του ορίου αυτού, μπορεί να είναι ένας από τους εξής:

- Αποφυγή υπερβολικού φορτίου κατά την εκκίνηση.
- Αποφυγή υπερβολικής πιέσεως μετά από αποπάγωση.
- Αποφυγή παρατεταμένης λειτουργίας με υψηλή πίεση αναρροφήσεως.
- Αποφυγή λειτουργίας με υψηλή πίεση αναρροφήσεως και χαμηλή τάση δικτύου.

Η αρχή λειτουργίας αυτών των βαλβίδων είναι η ίδια με την αρχή των πιεζοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως, που αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 4.8. Υπάρχουν και εδώ βαλβίδες διαφόρων τύπων κατάλληλες για τις διάφορες εφαρμογές. Ως παράδειγμα, αναφέρεται η κατασκευή του σχήματος 5.2η με εσωτερική εξίσωση πιέσεως και εμβολοβαλβίδα. Ο τρόπος λειτουργίας της είναι ο εξής: Η πίεση αναρροφήσεως του συμπιεστή p_1 δρα στο κάτω μέρος της μεμβράνης ενώ στο πάνω μέρος της δρα η πίεση του ελατηρίου αντισταθμίσεως. Όταν η πίεση αναρροφήσεως p_1 πέσει κάτω από την οριακή τιμή της, τότε το στέλεχος (6) κινείται προς τα κάτω και ανοίγει τη βαλβίδα - πιλότο (7). Με το άνοιγμα αυτό η πίεση p_2 ελαττώνεται γιατί ο ατμός φεύγει μέσα από τη βαλβίδα προς το συμπιεστή. Όταν πέσει η πίεση p_2, τότε η πίεση p_3 του στοιχείου ατμοποιήσεως πιέζει την εμβολοβαλβίδα προς τα πάνω και έτσι αυτή ανοίγει και αφήνει το ψυκτικό μέσο να περάσει προς την αναρρόφηση, ανεβάζοντας την πίεση αναρροφήσεως. Όταν τώρα η πίεση

αναρροφήσεως γίνει μεγαλύτερη από την καθοριζόμενη τιμή, τότε η μεμβράνη κινείται προς τα πάνω, μαζί με το στέλεχος (6) και κλείνει τη βαλβίδα - πιλότο (7). Έτσι η πίεση p_2 αυξάνει και πιέζει την εμβολοβαλβίδα προς τα κάτω, ώστε να μειωθεί ή να σταματήσει η ροή ψυκτικού μέσου προς την αναρρόφηση του συμπιεστή. Με τη λειτουργία αυτή η πίεση αναρροφήσεως του συμπιεστή διατηρείται σταθερή. Η τιμή αυτής της πιέσεως ρυθμίζεται με το ρυθμιστικό κοχλία στο πάνω μέρος της βαλβίδας, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2η.

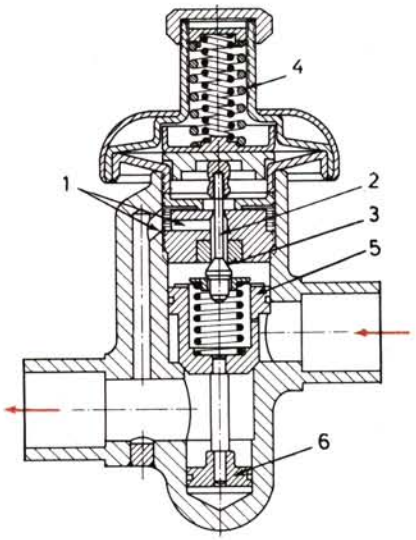
Μια παρόμοια κατασκευή φαίνεται και στο σχήμα 5.2θ. Η αρχή λειτουργίας είναι ίδια με εκείνη της βαλβίδας του σχήματος 5.2η. Εδώ όμως υπάρχει στο κάτω μέρος της διατάξεως και ένα έμβολο, του οποίου σκοπός είναι να μειώνει τις ταλαντώσεις που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία της βαλβίδας.



Σχ. 5.2η.
Βαλβίδα ρυθμίσεως πιέσεως εκκινήσεως (αναρροφήσεως) με εσωτερική εξίσωση πιέσεως και εμβολοβαλβίδα.
1. Μεμβράνη. 2. Ελατήριο αντισταθμίσεως. 3. Έμβολο. 4. Ρυθμιστικός κοχλίας. 5. Βοηθητικό ελατήριο. 6. Στέλεχος βαλβίδας-πιλότου. 7. Βαλβίδα-πιλότος.

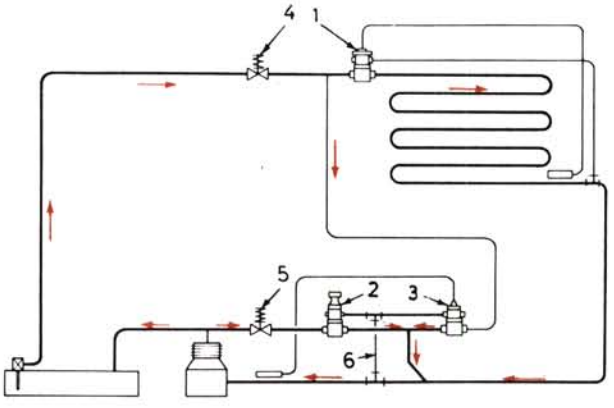
5.2.3 Ρυθμιστικές βαλβίδες ψυκτικής ισχύος (παρακάμψεως).

Όταν ένας συμπιεστής ψυκτικού μέσου εξυπηρετεί περισσότερους χώρους, όπου εμφανίζονται ψυκτικά φορτία, που μεταβάλλονται με το χρόνο, πρέπει να υπάρχει κάποια δυνατότητα ρυθμίσεως της ψυκτικής ισχύος. Για απλές περιπτώσεις, στις οποίες ο συμπιεστής λειτουργεί με σταθερό αριθμό στροφών και δεν έχει άλλη δυνατότητα ρυθμίσεως της παροχής του ψυκτικού μέσου, χρησιμοποιείται η μέθοδος της τεχνητής φορτίσεως του συμπιεστή με παράκαμψη του θερμού ατμού υψηλής πιέσεως ή επί πλέον και με παράκαμψη του υγρού ψυκτικού μέσου.



Σχ. 5.2θ.

Ρυθμιστική βαλβίδα πιέσεως εκκινήσεως (αναρροφήσεως).
1. Αγωγός πιέσεως αναρροφήσεως. 2. Στέλεχος βαλβίδας-πιλότου. 3. Βαλβίδα-πιλότος. 4. Ρυθμιστικό ελατήριο. 5. Εμβολοβαλβίδα. 6. Έμβολο αποσβέσεως.

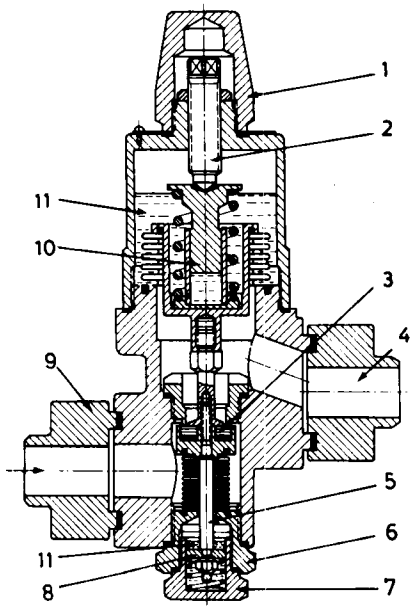


Σχ. 5.2ι.

Διάγραμμα ψυκτικής εγκαταστάσεως με ρύθμιση ψυκτικής ισχύος μέσω παρακάμψεως θερμού ατμού και επανέγχυση υγρού ψυκτικού μέσου.
1. Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως. 2. Βαλβίδα ρυθμίσεως παρακάμψεως θερμού ατμού (ρυθμίσεως ψυκτικής ισχύος). 3. Θερμοστατική βαλβίδα επανεγχύσεως. 4. Ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα υγρού. 5. Ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα ατμού. 6. Αγωγός εξισώσεως πιέσεως.

Για την πραγματοποίηση των λειτουργιών αυτών απαιτούνται οι κατάλληλες βαλβίδες ατμού ή υγρού ψυκτικού μέσου, όπως αναφέρθηκε ήδη και για τις βαλβίδες επανεγχύσεως στην παράγραφο 4.3.4.

Στο σχήμα 5.2ι φαίνεται ένας τρόπος πραγματοποιήσεως της κατάλληλης συν-



Σχ. 5.2ια.

Βαλβίδα ρυθμίσεως ψυκτικής ισχύος με παράκαμψη θερμού ατμού.
1. Προστατευτικό κάλυμμα. 2. Ρυθμιστικό στέλεχος. 3. Βαλβίδα-έδρα. 4. Έξοδος ατμού. 5. Στέλεχος ρυθμίσεως αποσβέσεως ταλαντώσεων. 6. Περικόχλιο συναρμολογήσεως διατάξεως αποσβέσεως. 7. Περικόχλιο-πώμα. 8. Έμβολο αποσβέσεως ταλαντώσεων. 9. Είσοδος ατμού ψυκτικού μέσου. 10. Έμβολο για απόσβεση ταλαντώσεων, εμβαπτισμένο σε λάδι. 11. Γόμωση λαδιού.

δεσμολογίας για τη ρύθμιση της ψυκτικής ισχύος με παράκαμψη θερμού ατμού. Ο θερμός ατμός που δεν συμπυκνώνεται περνάει από την ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα (5) προς τη ρυθμιστική βαλβίδα παρακάμψεως (2) όπου στραγγαλίζεται η πίεσή του. Στη συνέχεια αναμιγνύεται με το ψυκτικό μέσο που έρχεται από τη θερμοστατική βαλβίδα επανεγχύσεως (3) και ψύχεται. Έτσι στην αναρρόφηση του συμπιεστή, ο ατμός έχει χαμηλή θερμοκρασία και δεν προκαλείται υπερθέρμανση του συμπιεστή. Η θερμοκρασία του ατμού στην αναρρόφηση του συμπιεστή ελέγχεται και ρυθμίζεται από τη θερμοστατική βαλβίδα επανεγχύσεως (3), η οποία έχει τον αισθητήριο βολβό της στην αναρρόφηση του συμπιεστή.

Οι ρυθμιστικές βαλβίδες της ψυκτικής ισχύος, δηλαδή οι βαλβίδες ρυθμίσεως της παρακάμψεως θερμού ατμού, μοιάζουν ως προς την αρχή λειτουργίας, με τις πιεζοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες. Ένας τύπος βαλβίδας αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 5.2ια. Η πίεση αναρροφήσεως του συμπιεστή δρα μέσω της εξόδου (4) στο κάτω μέρος του κυαθίου του πτυχωτού σωλήνα. Στο πάνω μέρος του κυαθίου δρα το ελατήριο αντισταθμίσεως μέσω του εμβόλου αποσβέσεως (10). Όταν η πίεση στην αναρρόφηση του συμπιεστή μεγαλώνει, τότε στο κάτω μέρος του κυαθίου δρα η πίεση αυτή και έτσι το στέλεχος κινείται προς τα πάνω κλείνοντας τη βαλβίδα και κατά συνέπεια και την παράκαμψη του θερμού ατμού. Όταν αντιθέτως η πίεση αναρροφήσεως είναι χαμηλή, τότε το ελατήριο αντισταθμίσεως

πιέζει το στέλεχος προς τα κάτω και έτσι ανοίγει η βαλβίδα στέλνοντας θερμό ατμό στην αναρρόφηση του συμπιεστή. Με τη διάταξη αυτή η πίεση αναρροφήσεως ελέγχει την ποσότητα θερμού ατμού που παρακάμπτει το ψυκτικό κύκλωμα και οδεύει κατ' ευθείαν από την έξοδο του συμπιεστή στην αναρρόφησή του.

Η ψύξη του θερμού ατμού που παρακάμπτει τη συμπύκνωση μπορεί να γίνει και με άλλον τρόπο και όχι αναγκαστικά με επανέγχυση υγρού ψυκτικού μέσου. Ένας συνηθισμένος τρόπος είναι η απευθείας ψύξη του ατμού αυτού, ώστε να χάσει τη θερμότητα υπερθερμάνσεως.

Στη ρύθμιση αυτού του τύπου, δηλαδή με παράκαμψη του θερμού ατμού, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σπαταλούμε μηχανική ενέργεια, γιατί ο συμπιεστής λειτουργεί πάντοτε με τη μέγιστη ισχύ του. Η μέθοδος αυτή όμως αναγκαστικά εφαρμόζεται σε μικρές εγκαταστάσεις, όπου δεν υπάρχει άλλη δυνατότητα ρυθμίσεως της ψυκτικής ισχύος.

5.2.4 Τετραοδικές βαλβίδες μεταγωγής ψυκτικού μέσου

Όταν η ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί κανονικά, τότε ***θερμότητα προσδίδεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως*** και αντίστοιχα ***απορρίπτεται θερμότητα από το συμπυκνωτή.*** Στην περίπτωση αυτή, η εγκατάσταση λειτουργεί με αντικειμενικό σκοπό να προσδοθεί θερμότητα από τον ψυκτικό θάλαμο προς το στοιχείο ατμοποιήσεως, δηλαδή την παραγωγή ψυκτικής ισχύος. Στο είδος αυτό λειτουργίας η θερμότητα που απορρίπτεται από το συμπυκνωτή παραμένει αχρησιμοποίητη.

Όταν πραγματοποιηθεί ***μεταγωγή*** στην εγκατάσταση, αντιστρέφονται οι ρόλοι του συμπυκνωτή και του στοιχείου ατμοποιήσεως. Τώρα το στοιχείο ατμοποιήσεως δεν τροφοδοτείται με κρύο υγρό ψυκτικό μέσο, αλλά με τον υπέρθερμο ατμό και λειτουργεί πλέον ως συμπυκνωτής. Αντίστοιχα ο συμπυκνωτής δεν τροφοδοτείται πλέον με υπέρθερμο ατμό, όπως πριν, αλλά με υγρό ψυκτικό μέσο και λειτουργεί ως στοιχείο ατμοποιήσεως. Με τη μεταγωγή λοιπόν η επιφάνεια που πριν ήταν κρύα (στοιχείο ατμοποιήσεως) τώρα είναι ζεστή, και αντίστροφα η επιφάνεια που ήταν ζεστή (συμπυκνωτής) τώρα είναι κρύα.

Η μεταγωγή της λειτουργίας της ψυκτικής εγκαταστάσεως επιδιώκεται για δυο κυρίως λόγους:

- Είναι δυνατή η λειτουργία της ίδιας εγκαταστάσεως τόσο ως ψυκτικής, όσο και ως θερμαντικής συσκευής, δηλαδή ως ***αντλίας θερμότητας.*** (Για τις αντλίες αυτές βλέπε στο βιβλίο «ΘΕΡΜΑΝΣΕΙΣ», παράγρ. 6.2, εκδόσεως του Ιδρύματος Ευγενίδου).
- Είναι δυνατή η τροφοδότηση του στοιχείου ατμοποιήσεως με θερμό ατμό ψυκτικού μέσου, ώστε να γίνεται ***ταχεία αποπάγωση*** των εξωτερικών επιφανειών του.

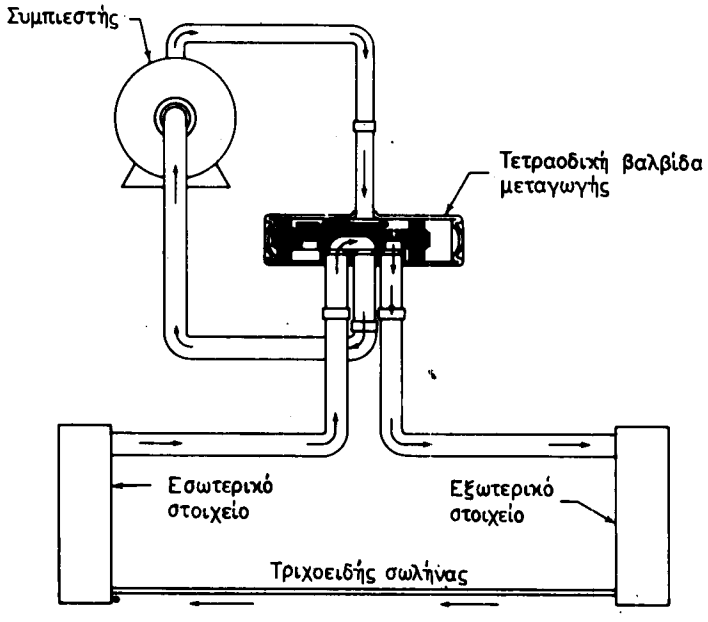
Ανεξάρτητα από το σκοπό που εξυπηρετεί η μεταγωγή του ψυκτικού μέσου, οι απαιτούμενες βαλβίδες και διατάξεις είναι οι ίδιες. Επειδή όμως, με τη μεταγωγή οι λειτουργίες του συμπυκνωτή και του στοιχείου ατμοποιήσεως αντιστρέφονται, είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν, στην ανάπτυξη που ακολουθεί, οι όροι «συμπυκνωτής» και «στοιχείο ατμοποιήσεως». Μια και η μεταγωγή γίνεται κυρίως για την εξυπηρέτηση αντλιών θερμότητας, θα χρησιμοποιήσομε τους όρους:

- ***Εξωτερικό*** στοιχείο ψυκτικού μέσου.
- ***Εσωτερικό*** στοιχείο ψυκτικού μέσου.

Οι όροι αυτοί δείχνουν πού είναι εγκαταστημένο το αντίστοιχο στοιχείο. Μέσα στο δωμάτιο ή το γραφείο είναι πάντοτε εγκαταστημένο το εσωτερικό στοιχείο, το οποίο το μεν καλοκαίρι λειτουργεί ως στοιχείο ατμοποιήσεως και ψύχει το χώρο, το δε χειμώνα λειτουργεί ως συμπυκνωτής και θερμαίνει το χώρο. Αντίθετα έξω από το δωμάτιο ή γραφείο, στο ύπαιθρο, είναι τοποθετημένο το εξωτερικό στοιχείο. Το εξωτερικό αυτό στοιχείο το καλοκαίρι είναι ζεστό, γιατί λειτουργεί ως συμπυκνωτής και αποβάλλει θερμότητα, ενώ το χειμώνα είναι κρύο, γιατί λειτουργεί ως στοιχείο ατμοποιήσεως και αφαιρεί (παίρνει) θερμότητα από το περιβάλλον και την δίνει στο χώρο που θερμαίνεται.

Στο σχήμα 5.2ιβ φαίνεται το βασικό κύκλωμα μιας αντλίας θερμότητας με τη βαλβίδα μεταγωγής σε τέτοια θέση, ώστε η εγκατάσταση να λειτουργεί ως ψυκτική μονάδα. Δηλαδή, το εσωτερικό της στοιχείο είναι κρύο ενώ το εξωτερικό της στοιχείο είναι ζεστό. Όπως φαίνεται στο σχήμα η τετραοδική μεταγωγική βαλβίδα έχει ένα στόμιο από τη μια πλευρά, όπου συνδέεται μόνιμα ο υπέρθερμος ατμός που έρχεται από το συμπιεστή του ψυκτικού μέσου και τρία στόμια από την αντίθετη πλευρά. Στο μεσαίο στόμιο από τα τρία συνδέεται μόνιμα η αναρρόφηση του συμπιεστή. Έτσι ο συμπιεστής αναρροφά από το μεσαίο στόμιο και στέλνει τον ατμό υψηλής πιέσεως στο στόμιο που είναι μόνο του στην αντίθετη πλευρά της τετραοδικής μεταγωγικής βαλβίδας.

Μέσα στην τετραοδική μεταγωγική βαλβίδα υπάρχει ένας σύρτης με δυο θέσεις. Στο σχήμα 5.2ιβ είναι στην αριστερή θέση και συνδέει την αναρρόφηση του

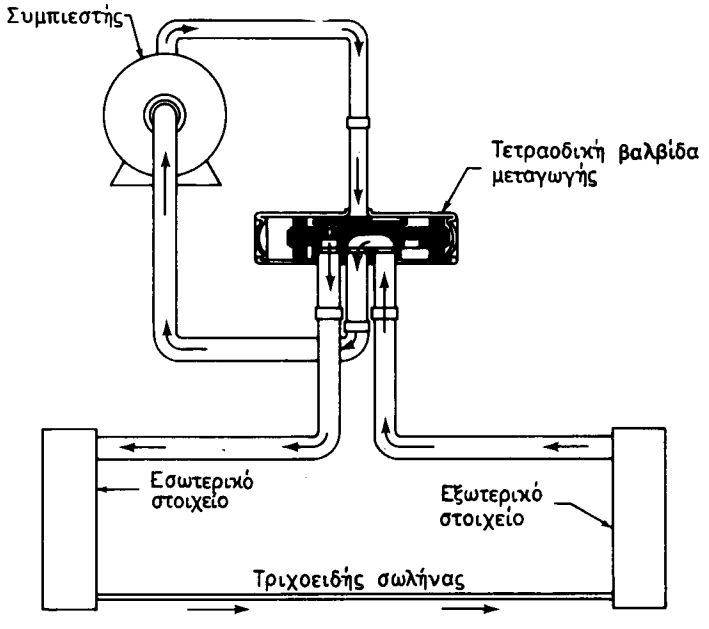


Σχ. 5.2ιβ.
Βασικό κύκλωμα αντλίας θερμότητας με τη βαλβίδα μεταγωγής σε θέση ψύξεως.

συμπιεστή με την έξοδο του εσωτερικού στοιχείου, το οποίο έτσι λειτουργεί ως στοιχείο ατμοποιήσεως, ενώ το εξωτερικό στοιχείο αναλαμβάνει τη συμπύκνωση. Έτσι η αντλία θερμότητας λειτουργεί ως ψυκτική μονάδα κατά τη θερινή περίοδο.

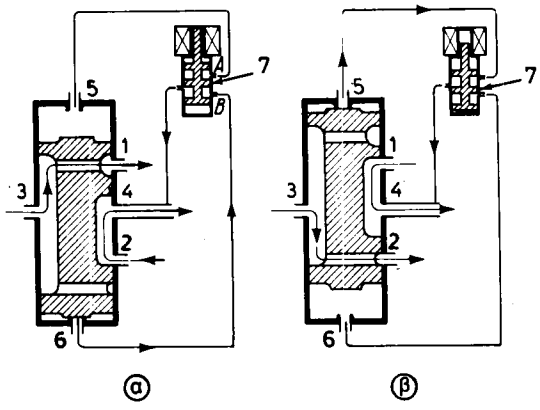
Στο σχήμα 5.2ιγ ο σύρτης της μεταγωγικής έχει αλλάξει θέση προς τα δεξιά του σχήματος. Στη θέση αυτή η αναρρόφηση του συμπιεστή συνδέεται στην έξοδο του εξωτερικού στοιχείου το οποίο τώρα λειτουργεί ως στοιχείο ατμοποιήσεως. Το εσωτερικό στοιχείο λειτουργεί ως στοιχείο συμπυκνώσεως και θερμαίνει τον εσωτερικό χώρο. Έτσι η αντλία θερμότητας λειτουργεί ως θερμαντική συσκευή κατά τη χειμερινή περίοδο.

Η εντολή για την κίνηση του σύρτη της μεταγωγικής βαλβίδας δίνεται από κάποιον εξωτερικό διακόπτη, αλλά η κίνηση του σύρτη διευκολύνεται από την πίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου που επικρατεί στη δεξιά ή αριστερή πλευρά του σύρτη - εμβόλου και τον μεταθέτει ανάλογα. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της μεταγωγής μπορεί να διαφέρουν από τον ένα κατασκευαστή στον άλλο.



Σχ. 5.2ιγ.
Κύκλωμα αντλίας θερμότητας με τη βαλβίδα μεταγωγής σε θέση θερμάνσεως.

Στο σχήμα 5.2ιδ παριστάνεται η αρχή λειτουργίας καθώς και ο τρόπος επενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας - πιλότου που κατευθύνει τη συρτοβαλβίδα. Η βαλβίδα - πιλότος είναι και αυτή ένας ηλεκτρομαγνητικός σύρτης που συνδέει τη μια ή την άλλη πλευρά του κύριου εμβόλου - σύρτη με την αναρρόφηση του συμπιεστή. Με τη σύνδεση αυτή η χαμηλή πίεση αναρροφήσεως δρα στο άκρο του



Σχ. 5.2ιδ.

Σχηματική παράσταση τετραοδικής βαλβίδας μεταγωγής με ηλεκτρικό έλεγχο.
α) Θέση συρτοβαλβίδας για ψύξη εσωτερικού χώρου. β) Θέση συρτοβαλβίδας για θέρμανση εσωτερικού χώρου. 1. Σύνδεση εξωτερικού στοιχείου. 2. Σύνδεση εσωτερικού στοιχείου. 3. Είσοδος υπέρθερμου ατμού υψηλής πιέσεως. 4. Αναρρόφηση κρύου ατμού χαμηλής πιέσεως. 5,6. Σύνδεση με βαλβίδα-πιλότο. 7. Βαλβίδα-πιλότος.

εμβόλου - σύρτη, ενώ από τη μέσα πλευρά δρα η υψηλή πίεση του υπέρθερμου ατμού και ωθεί το σύρτη προς την πλευρά που έχει συνδεθεί με την αναρρόφηση του συμπιεστή. Στο σχήμα 5.2ιδ(α) το πηνίο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας διαρρέεται από ρεύμα και έλκει το σύρτη - οπλισμό προς τα πάνω, έτσι ώστε η συρτοβαλβίδα να κινηθεί προς τα κάτω. Στο σχήμα 5.2ιδ(β) ο σύρτης - οπλισμός της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας είναι στην κάτω θέση και έτσι η κύρια συρτοβαλβίδα κινείται προς τα πάνω.

Η λειτουργία της τετραοδικής μεταγωγής μπορεί να γίνει και με άλλες πιο σύνθετες διατάξεις με απλούστερες όμως βαλβίδες. Για παράδειγμα, η τετραοδική μπορεί να αντικατασταθεί με έξι απλές αποφρακτικές βαλβίδες, ή με δυο τριοδικές βαλβίδες. Οι τριοδικές αυτές βαλβίδες έχουν ανά ένα στόμιο συνδεμένο με το συμπιεστή, το συμπυκνωτή και το στοιχείο ατμοποιήσεως. Στις συνδεσμολογίες αυτές που έχουν περισσότερες βαλβίδες, εντολή της λειτουργίας πρέπει να δίνεται ταυτόχρονα για όλες.

5.3 Ρυθμιστικές βαλβίδες νερού συμπυκνωτή.

Οι υδρόψυκτες ψυκτικές εγκαταστάσεις, ως προς τις συνθήκες λειτουργίας, πλεονεκτούν σε σύγκριση με τις αερόψυκτες, γιατί λειτουργούν με χαμηλότερη πίεση συμπυκνώσεως και συνεπώς απαιτούν και λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, για την ίδια ψυκτική ισχύ. Αντίστοιχα βέβαια καταναλώνουν νερό, που στοιχίζει και αυτό. Στην παράγραφο αυτή δεν εξετάζεται πότε συμφέρει να είναι αερόψυκτη ή υδρόψυκτη η εγκατάσταση, αλλά απλώς περιγράφονται οι βαλβίδες του νερού

συμπυκνώσεως, που ρυθμίζουν την παροχή του νερού που ψύχει το συμπυκνωτή και συνεπώς ρυθμίζουν τη λειτουργία και ελέγχουν την ασφάλεια της εγκαταστάσεως.

Ως προς τη ***λειτουργία*** λοιπόν, οι βαλβίδες νερού του συμπυκνωτή μπορεί να διακριθούν σε δυο κύρια είδη, δηλαδή σε:

- Ρυθμιστικές βαλβίδες νερού.
- Αποφρακτικές βαλβίδες νερού.

Υπάρχουν βέβαια και κατασκευές που συνδυάζουν και τις δυο λειτουργίες αν και οι ρυθμιστικές βαλβίδες νερού πάντοτε μπορεί να διακόψουν τελείως την παροχή.

Οι συνηθισμένες εφαρμογές, στις οποίες γίνεται χρήση υδροψύκτων συμπυκνωτών, απαιτούν μερικές φορές τη χρήση και τριοδικών βαλβίδων νερού. Σ' αυτές η παροχή του νερού, που παρέχεται στην είσοδό τους, διαμοιράζεται σε δυο ρεύματα με αναλογία συνεχώς μεταβαλλόμενη. Η ρύθμιση της αναλογίας αυτής γίνεται από κάποιο μέγεθος, πίεση ή θερμοκρασία, το οποίο ελέγχει τη θέση της τριοδικής βαλβίδας.

Ανάλογα με τον τρόπο ***ενεργοποιήσεώς*** τους, οι βαλβίδες νερού του συμπυκνωτή μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Ηλεκτροκίνητες.
- Πιεζοστατικές.
- Θερμοστατικές.
- Χειροκίνητες.

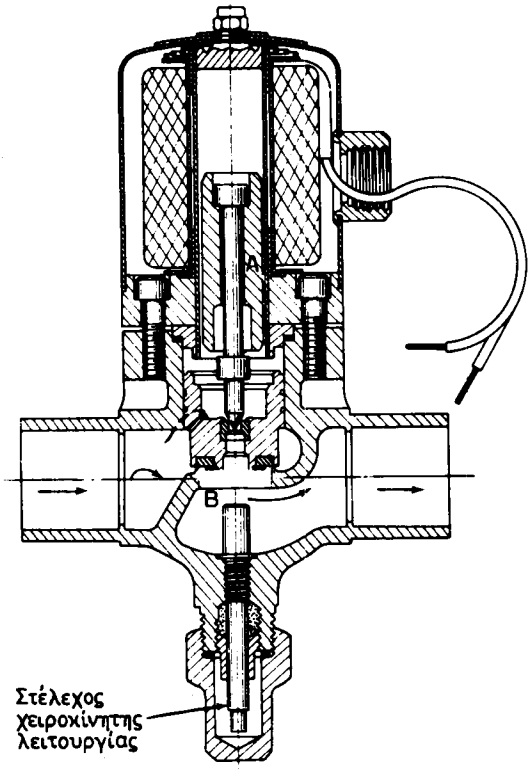
Θα μελετήσομε στη συνέχεια κάθε ένα από τους παραπάνω τύπους βαλβίδων νερού του συμπυκνωτή χωριστά. Πάντως πρέπει από τώρα να λεχθεί ότι η ονομασία κάθε τύπου χαρακτηρίζει και τον τρόπο λειτουργίας της αντίστοιχης βαλβίδας.

5.3.1 Ηλεκτροκίνητες βαλβίδες νερού.

Οι ηλεκτροκίνητες βαλβίδες νερού ενεργοποιούνται με κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Μπορεί να κατασκευάζονται είτε ως βαλβίδες δυο θέσεων (ανοικτή-κλειστή), όταν λειτουργούν ως αποφρακτικές βαλβίδες, είτε ως βαλβίδες με ενδιάμεσες θέσεις, όταν λειτουργούν ως βαλβίδες ρυθμίσεως της παροχής.

Η εντολή στις βαλβίδες αυτές για να αλλάζουν κατάσταση δίνεται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, που τροφοδοτεί ή το πηνίο ενός ηλεκτρομαγνήτη ή ένα ειδικό ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος περιστρέφει ανάλογα το στέλεχος της βαλβίδας. Όταν οι βαλβίδες έχουν ηλεκτροκινητήρα, τότε μπορούν να ρυθμίζονται και σε ενδιάμεσες θέσεις. Το πηνίο της ηλεκτροκίνητης βαλβίδας νερού μπορεί να τροφοδοτείται είτε από την ηλεκτρική τάση του δικτύου, δηλαδή να είναι πηνίο 220 V, είτε για προστασία από ηλεκτροπληξία, να τροφοδοτείται με χαμηλότερη τάση μέσω ενός μετασχηματιστή. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται διαφορετικό πηνίο.

Όταν η ψυκτική εγκατάσταση είναι μεγαλύτερη και φυσικά η παροχή νερού αυξημένη, απαιτούνται ηλεκτροκίνητες αποφρακτικές βαλβίδες νερού, που εξασφαλίζουν μεγαλύτερη δύναμη για το άνοιγμα και κλείσιμο της βαλβίδας. Αυτό επιτυγχάνεται με τους τρόπους που αναφέρθηκαν ήδη στην παράγραφο των βαλβίδων ψυκτικών μέσων, δηλαδή με σερβοβαλβίδες ή με κύριες βαλβίδες που ενεργοποιούνται μέσω βαλβίδων-πιλότων.

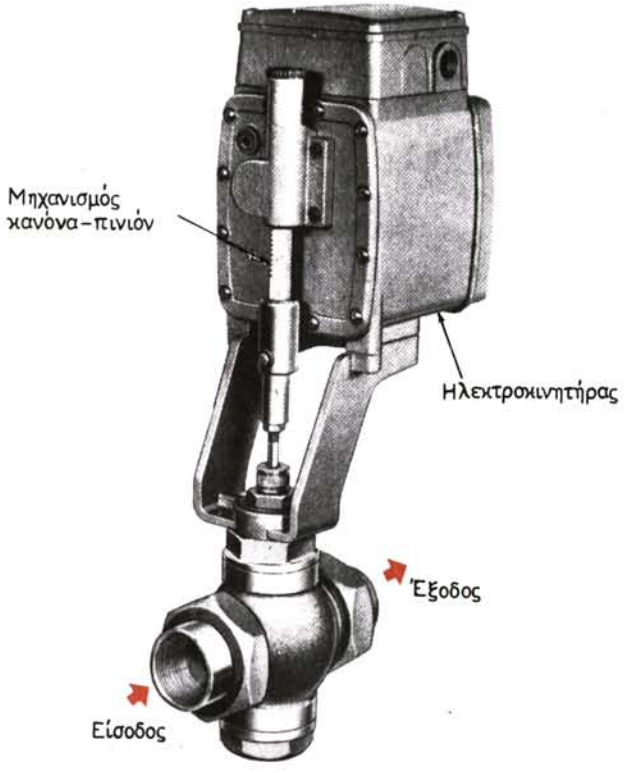


Σχ. 5.3α.
Ηλεκτροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα νερού με πιλότο-βαλβίδα και εμβολοβαλβίδα.

Στο σχήμα 5.3α φαίνεται το σχέδιο μιας σχετικά μεγάλης βαλβίδας νερού που λειτουργεί με μια μικρή ηλεκτροκίνητη βαλβίδα-πιλότο και με μια κύρια εμβολοβαλβίδα.

Όταν οι παροχές νερού στο συμπιεστή είναι ακόμα μεγαλύτερες, χρησιμοποιούνται βαλβίδες νερού με ηλεκτροκινητήρα. Στις βαλβίδες αυτές το στέλεχός τους είτε περιστρέφεται είτε παλινδρομεί. Και για τις δυο περιπτώσεις χρειάζεται ένας κατάλληλος ενδιάμεσος μηχανισμός ανάμεσα στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα και στο στέλεχος της βαλβίδας. Ο μηχανισμός αυτός προσαρμόζει την ταχύτητα και το είδος της κινήσεως, δηλαδή κάποιο είδος μειωτήρα με μηχανισμό ατέρμονα-κοχλία ή οδοντωτό κανόνα.

Στο σχήμα 5.3β φαίνεται μια βαλβίδα νερού με ηλεκτροκινητήρα και μηχανισμό οδοντωτού κανόνα-πινιόν, ο οποίος ανεβοκατεβάζει το στέλεχος και την κεφαλή της βαλβίδας προς την έδρα της. Με τις βαλβίδες ηλεκτροκινητήρα μπορούμε να ρυθμίζομε και την παροχή του νερού, γιατί το στέλεχος κινείται συνεχώς από τη μια ακραία θέση ως την άλλη.



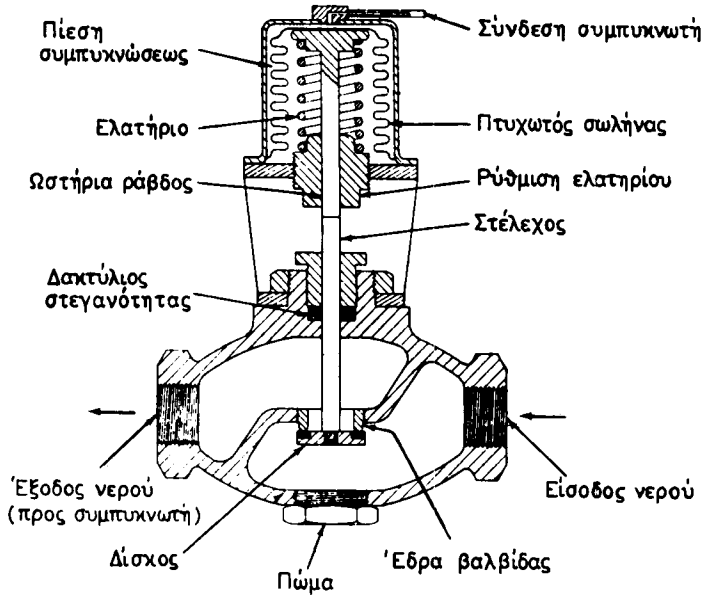
Σχ. 5.3β.
Βαλβίδα νερού με ηλεκτροκινητήρα

5.3.2 Πιεζοστατικές βαλβίδες νερού.

Οι βαλβίδες αυτές ρυθμίζουν την παροχή του νερού του συμπυκνωτή σύμφωνα με εντολή που παίρνουν από την υψηλή πίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου που επικρατεί στο συμπυκνωτή.

Η πίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου επενεργεί σε ένα πτυχωτό σωλήνα και με το μηχανισμό αυτό μετατοπίζεται το στέλεχος της βαλβίδας και η ίδια η βαλβίδα.

Στο σχήμα 5.3γ φαίνεται η διαμόρφωση μιας ρυθμιστικής βαλβίδας νερού συμπυκνωτή· σ' αυτήν επιδρά η πίεση του δικτύου νερού από κατεύθυνση που κλείνει τη βαλβίδα, όταν η πίεση συμπυκνώσεως πέφτει. Στο πάνω μέρος της βαλβίδας φαίνεται ο πτυχωτός σωλήνας και η σύνδεση του σωλήνα με το σημείο της εγκαταστάσεως, από όπου ενεργεί η πίεση του ατμού του ψυκτικού μέσου που συμπυκνώνεται. Όταν η πίεση συμπυκνώσεως αυξάνεται, ο πτυχωτός σωλήνας πιέζεται προς τα κάτω και κινεί το στέλεχος της βαλβίδας προς τα κάτω. Έτσι ανοίγει η δίοδος μεταξύ δίσκου βαλβίδας και της έδρας της και αυξάνει η παροχή του νερού ψύξεως του συμπυκνωτή. Το αντίθετο συμβαίνει όταν πέφτει η πίεση συμπυκνώ-



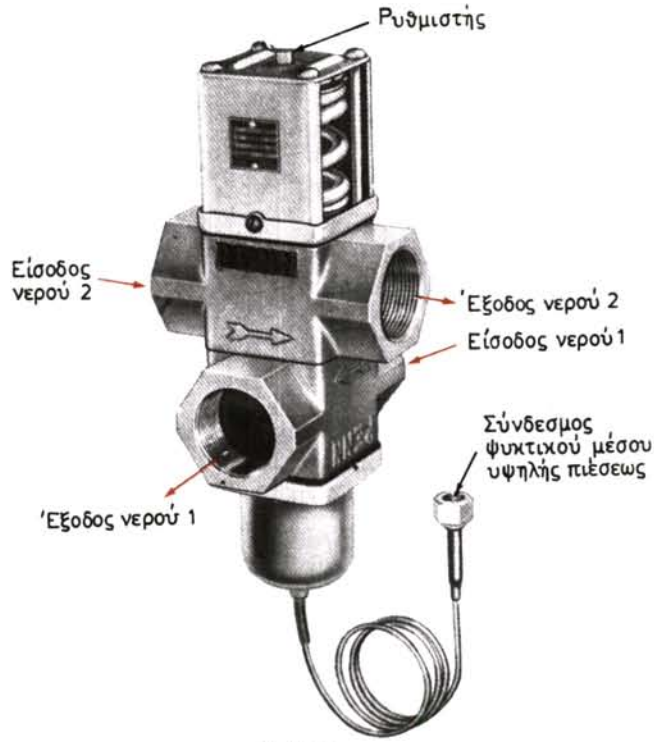
Σχ. 5.3γ.
Δίοδος ρυθμιστική βαλβίδα νερού συμπυκνωτή με πιεζοστατικό έλεγχο.

σεως, οπότε κλείνει η δίοδος και μειώνεται η παροχή του νερού. Όταν ο συμπιεστής δε λειτουργεί, η πίεση στο συμπυκνωτή πέφτει και έτσι κλείνει τελείως η βαλβίδα πάνω στην έδρα της. Στο κάτω μέρος του σώματος της βαλβίδας του σχήματος 5.3γ υπάρχει ένα πώμα. Αν αφαιρεθεί το πώμα αυτό και τοποθετηθεί στη θέση του ένας μαστός, τότε μπορεί να συνδεθεί και νέος σωλήνας, οπότε η βαλβίδα μετατρέπεται σε τριοδική.

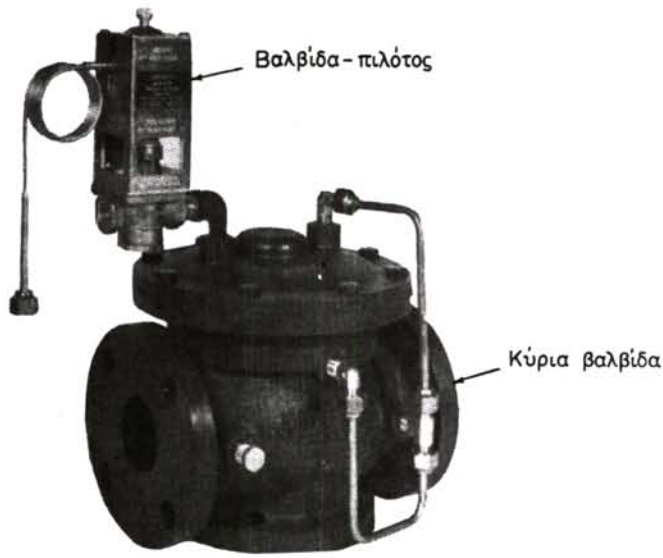
Πολλές φορές οι πιεζοστατικές βαλβίδες κατασκευάζονται σε διπλή διάταξη. Χρησιμοποιείται δηλαδή ένας κοινός πτυχωτός σωλήνας και ένα κοινό ελατήριο προεντάσεως. Το στέλεχος όμως είναι μακρύτερο και έχει δυο κεφαλές βαλβίδων, που εφαρμόζουν στις αντίστοιχες έδρες που υπάρχουν από μια σε κάθε σωλήνα, όπου ελέγχεται η ροή. Η εξωτερική μορφή των διπλών αυτών βαλβίδων ρυθμίσεως της παροχής του νερού φαίνεται στο σχήμα 5.3δ.

Όταν οι παροχές του νερού είναι μεγάλες, χρησιμοποιούνται και εδώ βαλβίδες σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν ήδη στο Τέταρτο Κεφάλαιο, όπου εξετάσθηκαν, οι εκτονωτικές βαλβίδες ψυκτικού μέσου.

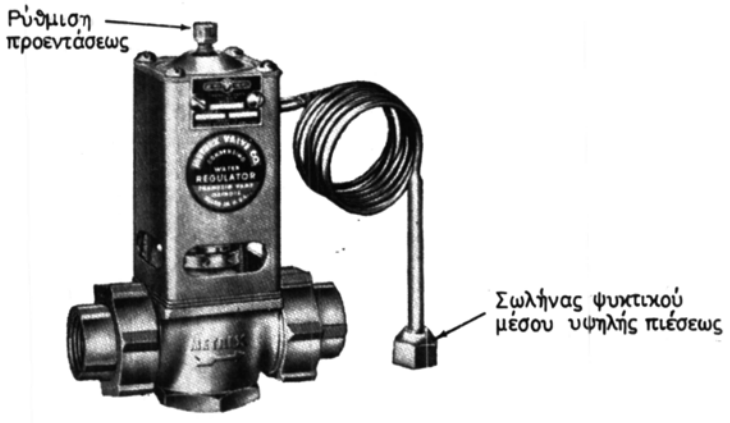
Σαν παράδειγμα μεγάλης βαλβίδας ρυθμίσεως της παροχής νερού με τη βοήθεια πιεζοστατικής βαλβίδας-πιλότου, αναφέρεται η κατασκευή του σχήματος 5.3ε. Στο επάνω μέρος αριστερά διακρίνεται η βαλβίδα-πιλότος που είναι πιεζοστατική. Οι βαλβίδες του σχήματος 5.3ε κατασκευάζονται για διαμέτρους σωλήνων από 2" μέχρι 6".



Σχ. 5.3δ.
Διπλή πιεζοστατική βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού σε δυο κυκλώματα ταυτόχρονα.



Σχ. 5.3ε.
Πιεζοστατική βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού ψύξεως συμπυκνωτή. Η βαλβίδα-πιλότος φαίνεται στο πάνω αριστερό μέρος.



Σχ. 5.3στ.
Πιεζοστατική βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού.

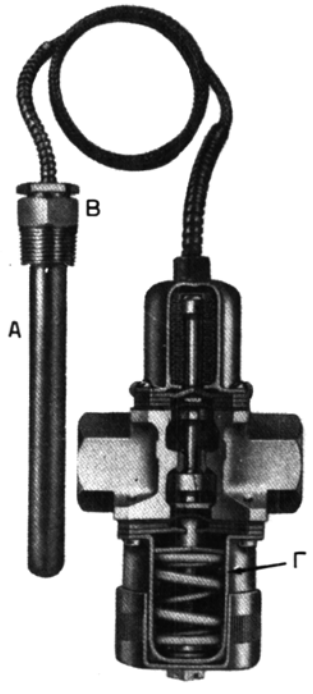
Η βαλβίδα-πιλότος του σχήματος 5.3ε φαίνεται λεπτομερέστερα στο σχήμα 5.3στ, όπου διακρίνεται το περικόχλιο ρυθμίσεως της προεντάσεως του ελατηρίου στο επάνω μέρος και ο σωλήνας για τη λήψη πιέσεως από το συμπυκνωτή του ψυκτικού μέσου, που ελέγχεται από τη βαλβίδα αυτή. Και η βαλβίδα αυτή είναι σχετικά μεγάλη και κατασκευάζεται για διαμέτρους υδροσωλήνων μέχρι και 2 1/2".

5.3.3 Θερμοστατικές βαλβίδες νερού.

Οι θερμοστατικές βαλβίδες νερού ελέγχονται από τη θερμοκρασία που έχει το ίδιο το νερό ψύξεως στην έξοδό του από το συμπυκνωτή· έτσι με τη μεταβολή της παροχής του νερού εξασφαλίζεται σταθερή θερμοκρασία νερού στην έξοδο του υδρόψυκτου συμπυκνωτή.

Η αρχή λειτουργίας των θερμοστατικών βαλβίδων νερού δε διαφέρει ουσιαστικά από την αρχή των αντιστοίχων πιεζοστατικών. Και οι θερμοστατικές κινούν το στέλεχος της βαλβίδας με τη δύναμη που εξασκεί ένας πτυχωτός σωλήνας, που πιέζεται από κάποιο κατάλληλο ρευστό. Εδώ όμως το ρευστό αυτό, που εξασκεί την πίεσή του στον πτυχωτό σωλήνα, ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται, δεν είναι αναγκαστικά ίδιο με το ψυκτικό μέσο της εγκαταστάσεως. Ο χώρος πίσω από τον πτυχωτό σωλήνα καθώς και ο χώρος στον αισθητήριο βολβό και στο σωληνάκι που τα συνδέει είναι γεμάτος με γόμωση άλλου ρευστού.

Θερμοστατική βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού φαίνεται στο σχήμα 5.3ζ. Στο αριστερό μέρος διακρίνεται ο αισθητήριος βολβός και το σωληνάκι που τον συνδέει με το θάλαμο, όπου λειτουργεί ο πτυχωτός σωλήνας. Στη μέση του σώματος της βαλβίδας φαίνεται η κυρίως βαλβίδα και η έδρα της και κάτω το ελατήριο προεντάσεως. Η έντασή του ρυθμίζεται με περιστροφή του περικοχλίου που φαίνεται γύρω από το κυλινδρικό κάλυμμα Γ.



Σχ. 5.3ζ.
Θερμοστατική βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής νερού του συμπυκνωτή.
Α) Αισθητήριος βολβός θερμοκρασίας. Β) Ρακόρ στερεώσεως κελύφους βολβού. Γ) Ρύθμιση θερμοκρασίας νερού.

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα, ο αισθητήριος βολβός τοποθετείται στην έξοδο του νερού από το συμπυκνωτή και ελέγχει τη θερμοκρασία του νερού σ' αυτή τη θέση.

5.3.4 Χειροκίνητες βαλβίδες νερού.

Οι χειροκίνητες βαλβίδες νερού χρησιμοποιούνται κυρίως ως αποφρακτικά όργανα, για να διακόψουν την παροχή, να απομονώσουν ορισμένα τμήματα του κυκλώματος νερού για συντήρηση ή επισκευή ή τέλος για να εκκενώσουν ή να γεμίσουν τα τμήματα αυτά. Για τις βαλβίδες αυτές δεν υπάρχει λόγος να αναφερθούν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ή γνωρίσματα, γιατί είναι οι γνωστές βαλβίδες, που χρησιμοποιούνται για πολλές εφαρμογές.

Αν όμως πρόκειται για τοξικά ή οξειδωτικά ψυκτικά μέσα, όπως είναι π.χ. η αμμωνία, τότε χρειάζεται κάποια προσοχή ακόμα και στην εκλογή των βαλβίδων του νερού, οι οποίες πρέπει να αντέχουν και στην επίδραση του ψυκτικού μέσου που μπορεί να φθάσει σε αυτές από διαρροή ή βλάβη.

5.4 Πιεζοστατική ρύθμιση - προστασία του συστήματος συμπιεστή - κινητήρα.

Ο συμπιεστής καθώς και ο ηλεκτροκινητήρας του προστατεύονται, εκτός από τις διατάξεις υπερθερμάνσεως και εκκινήσεως που ήδη έχουν αναφερθεί στο Πρώτο Κεφάλαιο, και από τρεις άλλες ακόμα διατάξεις προστασίας:

— Πιεζοστατική προστασία με έλεγχο του ψυκτικού μέσου.
— Πιεζοστατική προστασία με έλεγχο του λαδιού λιπάνσεως.
— Θερμοστατική προστασία.

Με τον όρο πιεζοστατική προστασία κινητήρα εννοείται η διάταξη και οι συσκευές που σταματούν ή ξαναξεκινούν τον ηλεκτροκινητήρα και το συμπιεστή, όταν η πίεση του ψυκτικού μέσου ή του λαδιού λιπάνσεως ξεπεράσει ορισμένα όρια προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

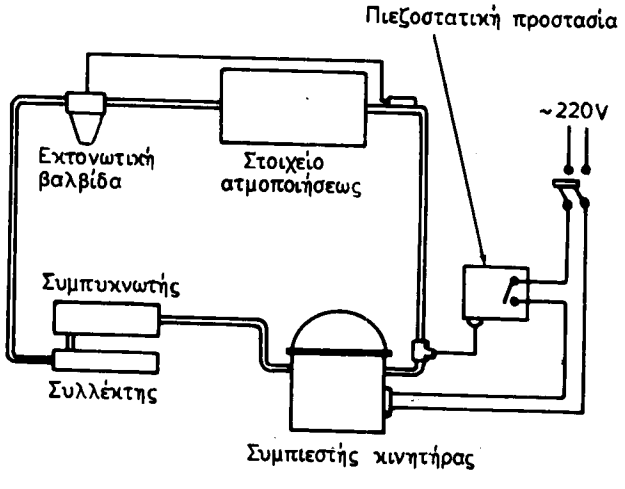
Ο όρος θερμοστατική προστασία αναφέρεται σε αντίστοιχες διατάξεις, οι οποίες όμως μετρούν και αντιδρούν σε θερμοκρασίες. Στη συνέχεια θα μελετήσομε τις διατάξεις πιεζοστατικής προστασίας, ενώ στην επόμενη παράγραφο θα αναφερθούμε στις διατάξεις της θερμοστατικής προστασίας.

Με μια διάταξη πιεζοστατικής προστασίας μπορεί να ελέγχεται:

— Η χαμηλή πίεση, στην οποία διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα.
— Η υψηλή πίεση, στην οποία ο κινητήρας τίθεται πάλι σε λειτουργία.

Για το σκοπό αυτό οι πιεζοστάτες φέρουν συνήθως δυο κλίμακες, με τις οποίες μπορεί να ρυθμίζονται οι τιμές της πιέσεως εκκινήσεως (START ή CUT - IN) και της πιέσεως διακοπής (STOP ή CUT-OUT).

Ως ***διαφορική πίεση*** ορίζεται η απόλυτη τιμή της διαφοράς των πιέσεων εκκινήσεως και διακοπής. Σε ένα πιεζοστάτη μπορεί να ρυθμίζεται μια από τις δυο πιέσεις εκκινήσεως ή διακοπής καθώς και η διαφορική πίεση. Σε κάθε πιεζοστάτη, όπου ρυθμίζεται και ελέγχεται η διαφορά των δυο τιμών πιέσεων, η ρύθμιση λέγεται ***διαφορική*** και αντίστοιχα η προστασία, που παρέχεται, ***πιεζοστατική διαφορική προστασία.***

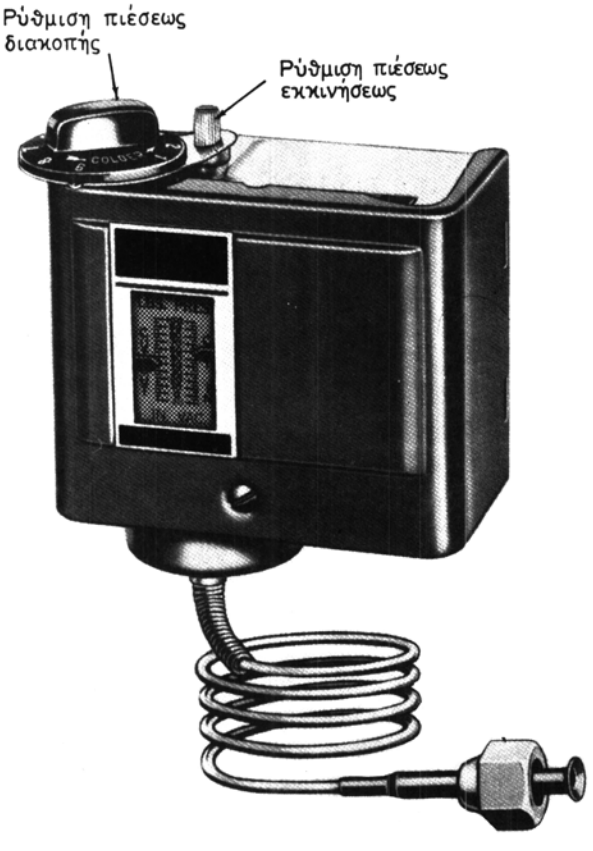


Σχ. 5.4α.
Πιεζοστατική προστασία κινητήρα με έλεγχο πιέσεως αναρροφήσεως.

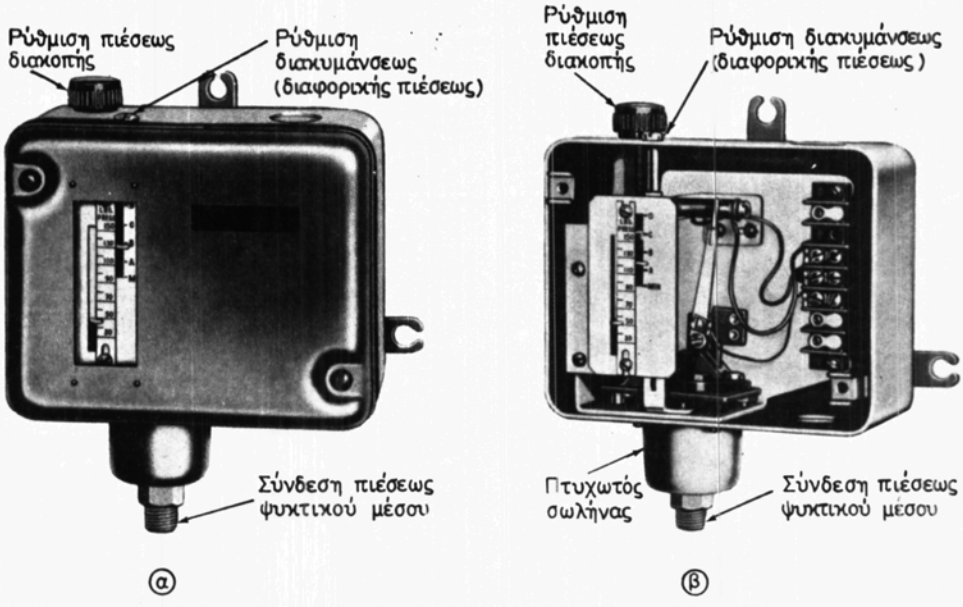
5.4.1 Πιεζοστατική προστασία με έλεγχο του ψυκτικού μέσου.

Κατά την προστασία αυτή ελέγχεται η πίεση του ψυκτικού μέσου, ώστε να διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα του συμπιεστή όταν η πίεση ξεπεράσει τα επιθυμητά όρια, είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Στο σχήμα 5.4α φαίνεται διαγραμματικά η συνδεσμολογία μιας πιεζοστατικής προστασίας, που ελέγχεται από τη χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Όταν η πίεση στην αναρρόφηση του συμπιεστή γίνει πολύ χαμηλή, τότε η διαφορική πιεζοστατική προστασία δίνει εντολή και διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα. Όταν μετά από λίγη ώρα η πίεση αναρροφήσεως αυξηθεί περισσότερο από το ανώτατο όριο (πίεση εκκινήσεως), τότε ο κινητήρας ξαναλειτουργεί.

Στο σχήμα 5.4β φαίνεται η εικόνα ενός τυπικού πιεζοστάτη προστασίας κινητήρα. Στο κάτω μέρος υπάρχει ο σωλήνας που συνδέει τον πτυχωτό σωλήνα του διαφορικού πιεζοστάτη με τη θέση του κυκλώματος, όπου ελέγχεται η πίεση. Στο πάνω μέρος υπάρχει η ρύθμιση της πιέσεως, όπου σταματάει η λειτουργία του κινη-



Σχ. 5.4β.
Πιεζοστάτης μέγιστου-ελάχιστου για προστασία κινητήρα.



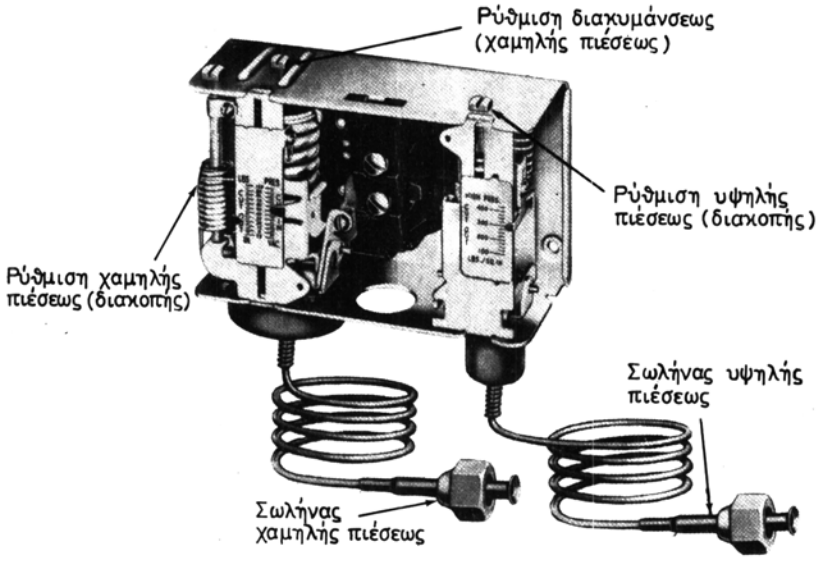
Σχ. 5.4γ.
Διαφορικός πιεζοστάτης ρυθμίσεως.
α) Εξωτερική μορφή. β) Εσωτερική μορφή.

τήρα καθώς επίσης και της πιέσεως, όπου ξεκινάει ο κινητήρας. Στο εμπρός μέρος φαίνονται οι τιμές της πιέσεως, στις οποίες αντιδρά ο πιεζοστάτης. Οι τιμές πιέσεως στις δυο κλίμακες μπορούν να επιλεγούν ***ανεξάρτητα*** μεταξύ τους και έτσι η διαφορά πιέσεως να μεταβληθεί. Στον πιεζοστάτη αυτόν, όπως και σ' έναν άλλο τύπο, που αναφέρεται στη συνέχεια, η διαφορά των πιέσεων μπορεί να μένει σταθερή παρόλο ότι μεταβάλλεται η τιμή της πιέσεως διακοπής λειτουργίας.

Στο σχήμα 5.4γ φαίνεται ένας διαφορικός πιεζοστάτης στον οποίο ρυθμίζεται η πίεση διακοπής και η ***διακύμανση*** (διαφορά) μεταξύ πιέσεως διακοπής και πιέσεως λειτουργίας, δηλαδή η διαφορική πίεση. Εδώ δεν ρυθμίζονται ανεξάρτητα οι δυο τιμές πιέσεως, όπως στον αντίστοιχο πιεζοστάτη του σχήματος 5.4β. Στο σχήμα 5.4γ φαίνονται οι δυο ρυθμίσεις, που αφορούν την πίεση διακοπής και τη διακύμανση. Το εύρος της διακυμάνσεως μπορεί να επιλεγεί ανάμεσα σε ορισμένες προκαθορισμένες τιμές και να γίνει μικρότερο ή μεγαλύτερο ανάλογα με τη λειτουργία, που εξυπηρετεί ο πιεζοστάτης. Στον πιεζοστάτη του τύπου αυτού μπορούμε να διατηρούμε σταθερή τη διαφορική πίεση και να ρυθμίζομε μόνο την πίεση διακοπής.

Οι πιεζοστατικοί ρυθμιστές, που εξετάζομε στην παράγραφο αυτή, μπορεί να τοποθετούνται και να ελέγχουν είτε τη χαμηλή πίεση των ψυκτικών εγκαταστάσεων, είτε την υψηλή πίεση. Όταν οι πιεζοστατικοί ρυθμιστές χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν τη χαμηλή πίεση των ψυκτικών εγκαταστάσεων, λειτουργούν συνήθως ως διατάξεις ρυθμίσεως της πιέσεως και συνεπώς της θερμοκρασίας ατμοποιήσεως, ανάμεσα πάντα στις προκαθορισμένες οριακές τιμές.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 5.46.
Σύνθετος πιεζοστάτης με διαφορική ρύθμιση χαμηλής πιέσεως και προστασία υψηλής πιέσεως.

Όταν όμως οι ίδιοι οι πιεζοστάτες χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν υψηλή πίεση των ψυκτικών εγκαταστάσεων, τότε λειτουργούν ως ασφαλιστικές διατάξεις. Αυτές προλαμβάνουν τη λειτουργία σε υψηλές πιέσεις και αντίστοιχες υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες προκαλούν εξανθράκωση του λαδιού λιπάνσεως και πρόωρες φθορές στο συμπιεστή.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι πιεζοστατικοί ρυθμιστές, παρόλο ότι ελέγχουν τη χαμηλή πίεση, λειτουργούν ως διατάξεις ασφάλειας, για να αποτρέψουν λειτουργία του συμπιεστή, με πάρα πολύ αραιό ατμό ψυκτικού μέσου, ο οποίος προκαλεί υπερθέρμανση.

Υπάρχουν εφαρμογές, στις οποίες απαιτείται τόσο η πιεζοστατική ρύθμιση της χαμηλής πιέσεως, όσο και η πιεζοστατική προστασία της υψηλής πιέσεως. Για τις περιπτώσεις αυτές υπάρχουν σύνθετοι πιεζοστάτες, οι οποίοι εκτελούν και τις δυο λειτουργίες. Ένας σύνθετος πιεζοστάτης αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 5.46. Στο αριστερό μέρος διακρίνομε τη διαφορική πιεζοστατική προστασία της χαμηλής πιέσεως με τον αντίστοιχο σωλήνα στο κάτω μέρος του, ο οποίος συνδέεται στη χαμηλή πίεση ατμοποιήσεως. Στο δεξιό μέρος υπάρχει αντίστοιχη διάταξη για τη ρύθμιση της τιμής ασφάλειας της υψηλής πιέσεως. Η ρύθμιση της διακυμάνσεως της υψηλής πιέσεως στον πιεζοστάτη αυτόν έχει γίνει στο εργοστάσιο κατασκευής και δε μπορεί να αλλάξει. Στο κάτω δεξιό μέρος φαίνεται ο σωλήνας που συνδέεται με την υψηλή πίεση της εγκαταστάσεως.

Συνήθως οι πιεζοστάτες υψηλής πιέσεως ρυθμίζονται στις εξής τιμές, ανάλογα με το ψυκτικό μέσο που εξυπηρετούν.

R 12 150 ως 270 psi
R 22 260 ως 270 psi
R 502 280 ως 290 psi
R 500 190 ως 200 psi

Για τις συνηθισμένες εφαρμογές στα επαγγελματικά ψυγεία, οι οριακές τιμές χαμηλής πίεσεως που επιτρέπονται δίνονται στον πίνακα 5.4.1 για τα τρία συνηθισμένα ψυκτικά μέσα. Η χαμηλότερη πίεση είναι η τιμή, στην οποία παύει να λειτουργεί ο συμπιεστής, ενώ η υψηλότερη πίεση είναι η τιμή στην οποία αρχίζει να ξαναλειτουργεί. Τόσο η διακύμανση όσο και η περιοχή των πιέσεων μεταβάλλονται με το είδος της εφαρμογής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.1.
Οριακές τιμές χαμηλής πίεσεως ψυκτικού μέσου (psi).

Εφαρμογή	R 12		R 22		R 502	
	Διακοπή	Εκκίνηση	Διακοπή	Εκκίνηση	Διακοπή	Εκκίνηση
1. Κατεψυγμένα τρόφιμα. Ανοικτού τύπου.	7*	5	4	17	9	23
2. Κατεψυγμένα τρόφιμα. Κλειστού τύπου.	1	8	11	22	17	29
3. Πάγος σε κύβους.	4	17	16	37	22	47
4. Ψύκτης πόσιμου νερού, πίδακας.	21	29	43	56	52	67
5. Ψυγείο βιτρίνα (ψύξη).	10	25	25	50	32	60
6. Ψυγείο βιτρίνα (αποπάγωση).	18	34	39	64	49	76
7. Ψυγείο για μπύρα, γάλα, νερό.	19	29	40	56	47	67
8. Αυτοκίνητα μεταφοράς παγωτού.	2	15	12	33	17	42
9. Βιτρίνες νωπών λαχανικών (αποπάγωση).	11	35	27	66	35	77
10. Βιτρίνα ανθοπωλείου.	26	42	51	77	61	88

*Ίντσες κενού Η.Π.Α.

Όσο πιο μικρή είναι η διακύμανση της πιέσεως στη ρύθμιση, τόσο μεγαλύτερη σταθερότητα θερμοκρασίας επιτυγχάνεται. Στην περίπτωση αυτή όμως ο κινητήρας ξεκινάει και σταματάει πολύ συχνά. Αν η διακύμανση γίνει μεγαλύτερη, τότε η θερμοκρασία των ψυχομένων προϊόντων υφίσταται μεγαλύτερη ταλάντωση, αλλά ο συμπιεστής εργάζεται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και αποφεύγονται οι συχνές εκκινήσεις, που τον καταπονούν.

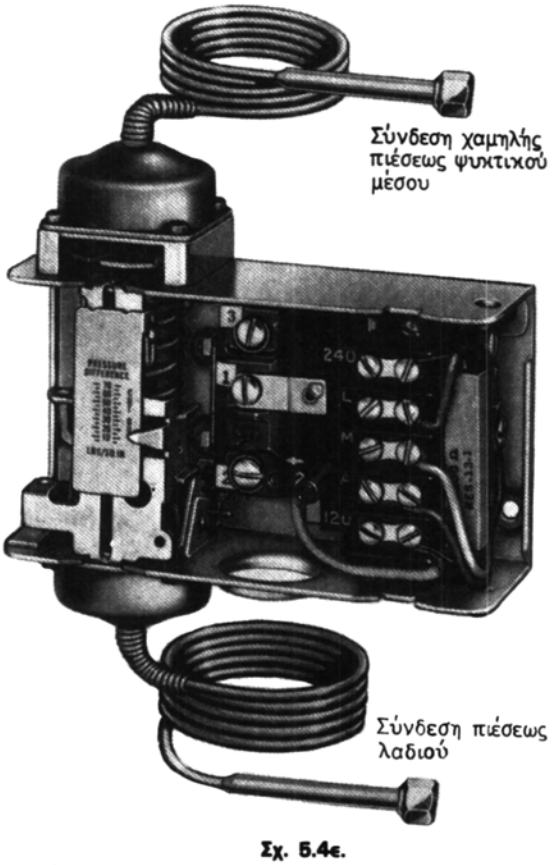
Όταν δεν υπάρχουν άλλες οδηγίες ρυθμίσεως, τότε η συνηθισμένη τιμή ***διακυμάνσεως*** της χαμηλής πιέσεως, για τα διάφορα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα, εκλέγεται ως εξής:

για R 12 περίπου 20 psi
για R 22 περίπου 22 psi
για R 500 περίπου 16 psi
για R 502 περίπου 25 psi

5.4.2 Πιεζοστατική προστασία με έλεγχο του λαδιού λιπάνσεως.

Κατά τη λειτουργία του συμπιεστή δεν πρέπει η πίεση του λαδιού λιπάνσεώς του να πέσει κάτω από μια ελάχιστη τιμή. Ταυτόχρονα, σε ορισμένους τύπους συμπιεστών, ***η χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου πρέπει να παραμένει πάντοτε μικρότερη από την πίεση του λαδιού λιπάνσεως.*** Αυτό είναι αναγκαίο για να εξασφαλίζεται η ροή του λαδιού μέσα στους αγωγούς του συμπιεστή, όπου επικρατεί η χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου. Αν η χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου γίνει μεγαλύτερη από την πίεση του λαδιού λιπάνσεως, τότε η τροφοδοτική αντλία λαδιού ενδεχομένως να μη μπορεί να στείλει λάδι. Στις περιπτώσεις αυτές είναι απαραίτητο να διακόπτεται αμέσως η λειτουργία του συμπιεστή. Βέβαια, όπως ήδη είπαμε, ο περιορισμός αυτός εξαρτάται από το είδος της κατασκευής του συμπιεστή, γιατί η χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου μπορεί να εφαρμόζεται και στην αναρρόφηση της αντλίας λαδιού, οπότε δεν παρουσιάζεται αυτό το πρόβλημα.

Πάντως, όταν πρέπει να προστατεύεται η εγκατάσταση από την πίεση λαδιού, χρησιμοποιείται ένας διαφορικός πιεζοστάτης, που ελέγχει ταυτόχρονα την πίεση του λαδιού και του ψυκτικού μέσου και διακόπτει τη λειτουργία του συμπιεστή, όταν η διαφορά των δυο πιέσεων γίνει μικρότερη από την τιμή ρυθμίσεως. Ένας πιεζοστάτης του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.4ε. Στο σωλήνα του κάτω μέ-



Σχ. 5.4ε.
Διαφορικός πιεζοστάτης λαδιού και ψυκτικού μέσου.

ρους συνδέεται η πίεση του λαδιού, ενώ στο σωλήνα του πάνω μέρους συνδέεται η χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου. Η διαφορά πιέσεως μεταξύ λαδιού και ψυκτικού μέσου ρυθμίζεται και φαίνεται στην αντίστοιχη κλίμακα του πιεζοστάτη.

5.5 Θερμοστάτες ρυθμίσεως και θερμοστατική ρύθμιση και προστασία.

Όπως ήδη έχομε αναφέρει οι θερμοστάτες ρυθμίσεως είναι εξαρτήματα που τοποθετούνται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις για να ελέγχουν τη θερμοκρασία στους ψυκτικούς θαλάμους θέτοντας σε λειτουργία ή σταματώντας το συμπιεστή της μονάδας.

Έτσι ένας θερμοστάτης ρυθμίσεως, ρυθμίζει μεν τη λειτουργία του συμπιεστή αλλά και τον προστατεύει, όπως π.χ. στις περιπτώσεις που οι άλλοι αυτοματισμοί που υπάρχουν στην ψυκτική εγκατάσταση δε διακόψουν έγκαιρα τη λειτουργία του.

Γενικά, το φυσικό μέγεθος ***θερμοκρασία*** είναι εκείνο που μετράται και ελέγχεται περισσότερο στις εγκαταστάσεις ψύξεως, θερμάνσεως και κλιματισμού. Είναι λοιπόν επόμενο να υπάρχει πλήθος από θερμοστάτες διαφόρων μορφών για τις διάφορες ανάγκες. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε μόνο με τους πιο συνηθισμένους τύπους, που καλύπτουν τις στοιχειώδεις ανάγκες των εγκαστάσεων ψύξεως.

Ο θερμοστατικός έλεγχος και η ρύθμιση της λειτουργίας του κινητήρα του συμπιεστή μοιάζει με τον πιεζοστατικό. Η κύρια βέβαια διαφορά είναι στο μέγεθος που ελέγχεται, δηλαδή:

— Η πίεση κατά τον πιεζοστατικό έλεγχο, και
— η θερμοκρασία κατά το θερμοστατικό.

Οι θερμοστατικοί ρυθμιστές έχουν αισθητήριους βολβούς που αντιδρούν στη θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία του αισθητήριου βολβού πέσει χαμηλότερα από την προκαθορισμένη τιμή, ο ρυθμιστικός θερμοστάτης ανοίγει το κύκλωμα και διακόπτει τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα.

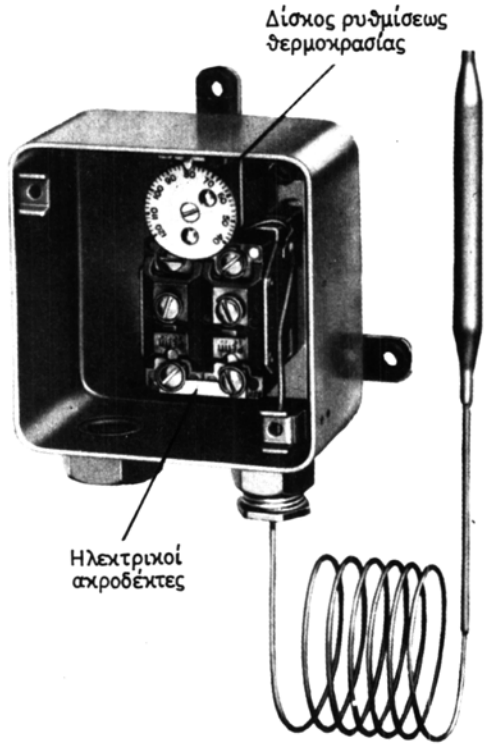
Ένας θερμοστάτης ρυθμίσεως φαίνεται στο σχήμα 5.5α. Ο δίσκος που διακρίνεται μέσα στο κουτί του θερμοστάτη περιστρέφεται με το χέρι και έτσι καθορίζεται η επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας, την οποία διατηρεί η εγκατάσταση.

Πολλοί θερμοστάτες ρυθμίσεως έχουν και πρόσθετες βοηθητικές ηλεκτρικές επαφές, που ανοιγοκλείνουν ταυτόχρονα με την επαφή που ελέγχει τον ηλεκτροκινητήρα. Μ' αυτές παρέχεται η δυνατότητα να αυτοματοποιηθούν και άλλες λειτουργίες, όπως είναι η κίνηση ανεμιστήρων ή διατάξεων αποπαγώσεως κλπ.

5.5.1 Ρύθμιση θερμοστάτη.

Πριν εξετασθούν οι τρόποι ρυθμίσεως των θερμοστατών πρέπει να υπενθυμίσομε ορισμένους απαραίτητους όρους:

— ***Θερμοκρασία εκκινήσεως***· η τιμή της θερμοκρασίας του ψυχόμενου χώρου, στην οποία αρχίζει να λειτουργεί ο συμπιεστής.
— ***Θερμοκρασία διακοπής***· η τιμή της θερμοκρασίας του ψυχόμενου χώρου, στην οποία παύει να λειτουργεί ο συμπιεστής.
— ***Διακύμανση***· Η διαφορά των δυο ανωτέρω τιμών, δηλαδή: (διακύμανση) = (θερμοκρασία εκκινήσεως) — (θερμοκρασία διακοπής).

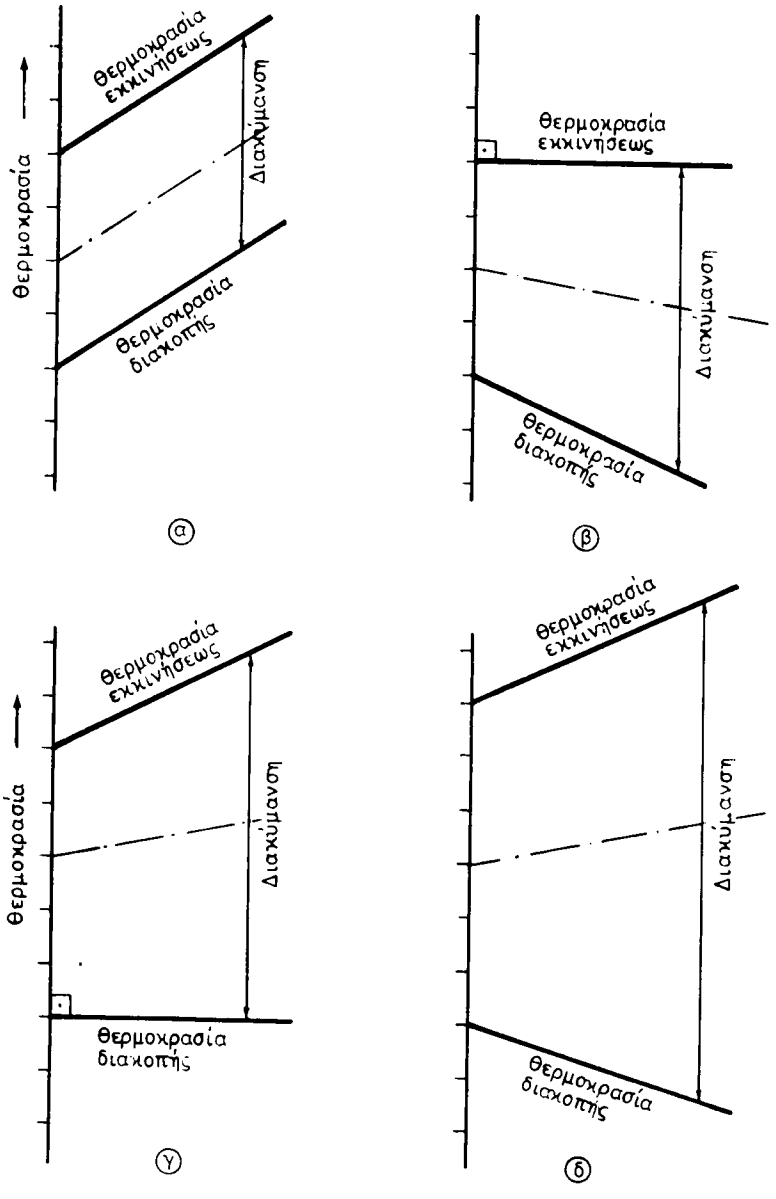


Σχ. 5.5α.
Θερμοστάτης ρυθμίσεως.

— ***Περιοχή*** το ζεύγος των δυο τιμών θερμοκρασιών, δηλαδή η θερμοκρασία εκκινήσεως και η θερμοκρασία διακοπής.

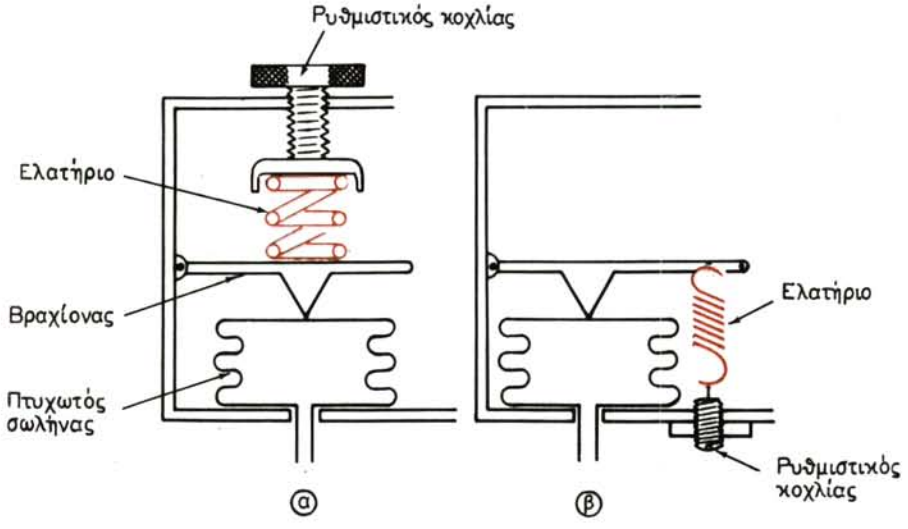
Οι διάφορες διατάξεις ρυθμίσεως ή ασφάλειας, που έχουν μεταβλητές τιμές των μεγεθών αυτών, εξασφαλίζουν μια μεγάλη ποικιλία που ανταποκρίνεται στις διάφορες ανάγκες. Στις πιο απλές διατάξεις η διακύμανση παραμένει ***σταθερή*** στην τιμή που ρυθμίστηκε από το εργοστάσιο κατασκευής του θερμοστάτη και δεν μπορεί να αλλάξει. Σε πιο σύνθετες κατασκευές θερμοστατών ρυθμίζεται και η διακύμανση, οπότε οι θερμοστάτες ονομάζονται ***διαφορικοί.*** Κατά τη ρύθμιση ενός διαφορικού θερμοστάτη, ανάλογα με τον τύπο κατασκευής του, μπορεί να διατηρείται σταθερή μια από τις δυο θερμοκρασίες, είτε η θερμοκρασία εκκινήσεως, είτε η θερμοκρασία διακοπής, και να ρυθμίζεται η διακύμανση. Μπορεί επίσης να ρυθμίζονται και οι δυο θερμοκρασίες, δηλαδή τόσο η θερμοκρασία διακοπής όσο και η θερμοκρασία εκκινήσεως. Οι δυνατότητες αυτές φαίνονται παραστατικά στο σχήμα 5.5β.

Εδώ πρέπει να λεχθεί ότι η θερμοκρασιακή διακύμανση ενός θερμοστάτη ρυθμίσεως μπορεί να είναι πολύ μικρή, και σε ορισμένες εφαρμογές φθάνει και μέχρι 1°F (0,56°C) μόνο.



Σχ. 5.5β.
Διάφοροι συνηθισμένοι τρόποι ρυθμίσεως για απλές και διαφορικές διατάξεις.
α) Σταθερής διακυμάνσεως. β) Μεταβλητής θερμοκρασίας διακοπής. γ) Μεταβλητής θερμοκρασίας εκκινήσεως. δ) Μεταβλητής θερμοκρασίας διακοπής και εκκινήσεως.

Κατά τη ρύθμιση με ***σταθερή διακύμανση*** [σχ. 5.5β(α)] μεταβάλλονται τόσο η θερμοκρασία εκκινήσεως, όσο και η θερμοκρασία διακοπής, αλλά έτσι ώστε η δια-

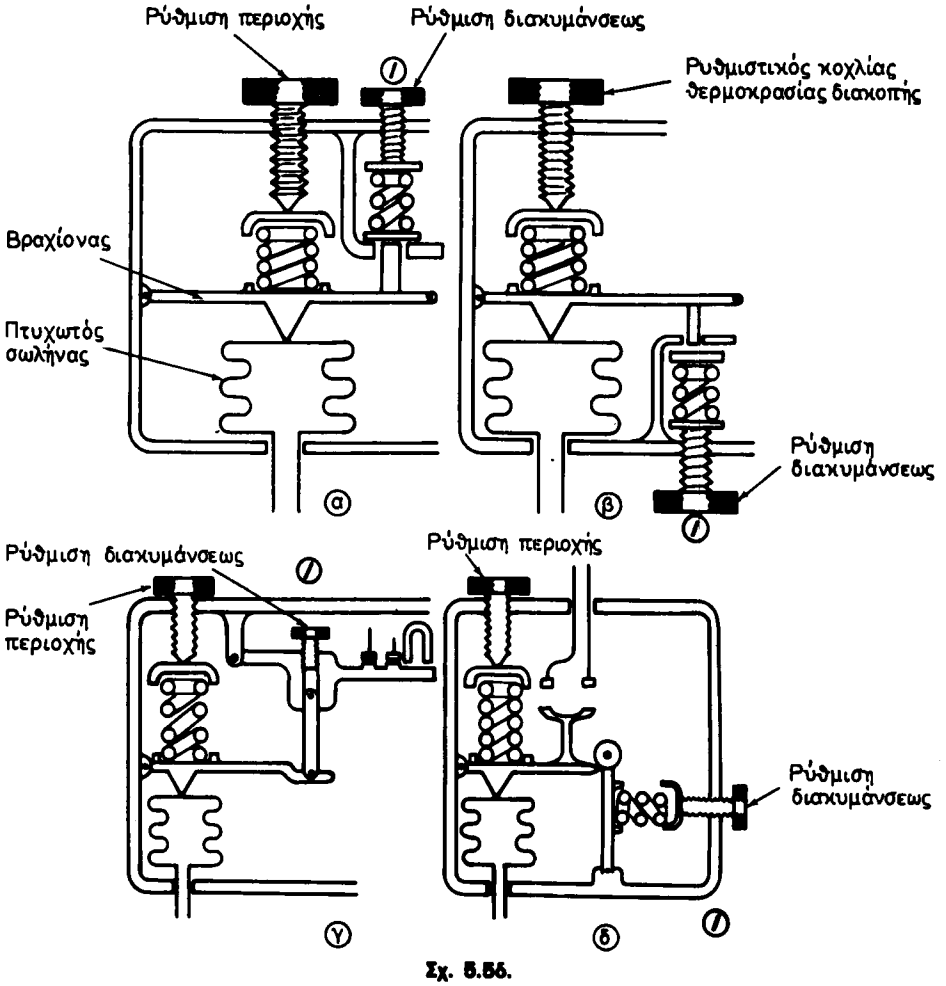


Σχ. 5.5γ.
Μηχανισμός θερμοστατικής ρυθμίσεως σταθερής διακυμάνσεως.
α) Ρυθμιστικό ελατήριο θλιπτικό. β) Ρυθμιστικό ελατήριο εφελκυστικό.

φορά τους, δηλαδή η διακύμανση, να παραμένει σταθερή. Στο σχήμα 5.5γ φαίνεται ένας μηχανισμός θερμοστατικής ρυθμίσεως σταθερής διακυμάνσεως. Όπως φαίνεται στο σχήμα, πάνω στον πτυχωτό σωλήνα στηρίζεται ένας βραχίονας, ο οποίος κινεί ένα ηλεκτρικό διακόπτη, που δεν φαίνεται στο σχήμα. Ο βραχίονας συγκρατείται επάνω στον πτυχωτό σωλήνα με ένα σπειροειδές ελατήριο. Το ελατήριο αυτό είτε είναι θλιπτικό (συμπιεσμένο) είτε είναι εφελκυστικό (τεντωμένο) και σπρώχνει ή έλκει αντίστοιχα το βραχίονα πάνω στον πτυχωτό σωλήνα. Όταν περιστρέφεται ο ρυθμιστικός κοχλίας, στον οποίο στηρίζεται η άλλη άκρη του ελατηρίου, αλλάζει η προένταση του ελατηρίου και έτσι αλλάζει και η πίεση μέσα στον πτυχωτό σωλήνα, η οποία προκαλεί την ενεργοποίηση του ηλεκτρικού διακόπτη. Μέσα στον πτυχωτό σωλήνα επικρατεί η πίεση του ψυκτικού μέσου της γομώσεως του αισθητήριου βολβού.

Στο σχήμα 5.5δ φαίνονται οι αρχές λειτουργίας μερικών διαφορικών θερμοστατικών μηχανισμών, δηλαδή θερμοστατών, στους οποίους είναι δυνατή και η ρύθμιση της διακυμάνσεως, εκτός από τη μια από τις θερμοκρασίες διακοπής ή εκκινήσεως.

Η σύγκριση των σχημάτων 5.5γ(α) και 5.5δ(α), δείχνει ότι στο βραχίονα ενεργοποιήσεως έχει προστεθεί ένα επί πλέον ελατήριο. Όταν η πίεση μέσα στον πτυχωτό σωλήνα αρχίσει να αυξάνει, ωθείται το κύριο ελατήριο, που ρυθμίζει την περιοχή θερμοκρασίας προς τα πάνω. Υπενθυμίζομε ότι κατά τη ρύθμιση της περιοχής θερμοκρασίας μεταβάλλεται ταυτόχρονα τόσο η θερμοκρασία εκκινήσεως, όσο και η θερμοκρασία διακοπής, έτσι ώστε η διακύμανση — δηλαδή η διαφορά τους — να παραμένει σταθερή. Μετά από μια ορισμένη διαδρομή του βραχίονα, αρχίζει να συμπιέζεται και το ελατήριο ρυθμίσεως της διακυμάνσεως [σχ. 5.5δ(α)].

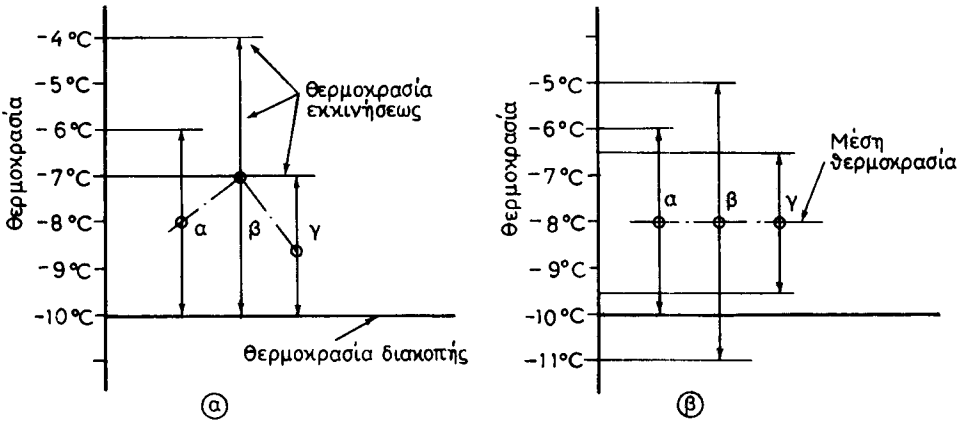


Σχ. 5.56.

Μηχανισμοί ρυθμίσεως διακυμάνσεως θερμοκρασιών ψυκτικών εγκαταστάσεων.
α) Τύπος μεταβλητής θερμοκρασίας εκκινήσεως. β) Τύπος μεταβλητής θερμοκρασίας διακοπής. γ) Τύπος μεταβλητής θερμοκρασίας εκκινήσεως με μαγνήτη. δ) Τύπος μεταβλητών θερμοκρασιών διακοπής και εκκινήσεως.

Έτσι η πίεση στον πτυχωτό σωλήνα, που θα ενεργοποιήσει την ηλεκτρική επαφή του διακόπτη, καθορίζεται από τα δυο ελατήρια ταυτόχρονα. Ο μηχανισμός αυτός, με κατάλληλη ρύθμιση των δυο ελατηρίων, μπορεί να αλλάζει και την περιοχή θερμοκρασιών (μεγάλο ελατήριο), αλλά και τη θερμοκρασία εκκινήσεως, λόγω της μεταβολής της διακυμάνσεως.

Στο σχήμα 5.5ε (α) φαίνεται η επίδραση της μεταβολής της προεντάσεως του μικρού ελατηρίου, που ρυθμίζει τη διακύμανση, όταν το μεγάλο ελατήριο, που ρυθμίζει την περιοχή θερμοκρασιών μένει σταθερό. Όπως φαίνεται στο σχήμα η ρύθμιση (α) έχει θερμοκρασία εκκινήσεως −6°C, θερμοκρασία διακοπής −10°C



Σχ. 5.5ε.

α) Επίδραση της μεταβολής μόνο του μικρού ελατηρίου (ρύθμιση διακυμάνσεως) του μηχανισμού του σχήματος 5.5δ (α). β) Μεταβολή ταυτόχρονη και των δυο ελατηρίων ώστε η μέση θερμοκρασία να παραμένει σταθερή.

και διακύμανση [−6−(−10) = 4°C], δηλαδή 4°C.

Η μέση τιμή των θερμοκρασιών διακοπής και εκκινήσεως είναι:

$$\frac{-6 + (-10)}{2} = -8°C$$

Όταν το ελατήριο ρυθμίσεως της διακυμάνσεως συμπιεσθεί περισσότερο με το ρυθμιστικό του κοχλία, τότε αυξάνει η τιμή της θερμοκρασίας στην οποία γίνεται η εκκίνηση, όπως φαίνεται στην περίπτωση (β) του σχήματος 5.5ε(α). Σε σχέση με τη ρύθμιση (α), η διακύμανση μεγάλωσε από 4°C σε 6°C. Επειδή όμως η θερμοκρασία διακοπής μένει σταθερή (−10°C), ενώ η θερμοκρασία εκκινήσεως μεγαλώνει (−4°C), η μέση τιμή της θερμοκρασίας μεγαλώνει και από −8°C που ήτανε στη ρύθμιση (α), έγινε −7°C.

Αν τώρα γίνει το αντίθετο, δηλαδή ελαττωθεί η τάση του ελατηρίου που ρυθμίζει τη διακύμανση στο σχήμα 5.5δ(α), τότε η διακοπή λειτουργίας του κινητήρα θα γίνει με μικρότερη πίεση στον πτυχωτό σωλήνα, δηλαδή σε μικρότερη θερμοκρασία. Η περίπτωση αυτή της ρυθμίσεως φαίνεται στο σχήμα 5.5ε(α), περίπτωση (γ). Και στη ρύθμιση αυτή η θερμοκρασία διακοπής μένει αμετάβλητη (−10°C), αλλά ελαττώνεται η θερμοκρασία εκκινήσεως (−7°C). Έτσι στη ρύθμιση (γ) η μέση θερμοκρασία γίνεται −8,5°C. Όπως δηλαδή είδαμε, με τον τύπο ρυθμιστή του σχήματος 5.5δ(α), που είναι ***ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας εκκινήσεως,*** η θερμοκρασία διακοπής μένει σταθερή, όταν η περιοχή, που ρυθμίζεται από το μεγάλο ελατήριο, δε μεταβάλλεται.

Ας υποθέσομε τώρα ότι χρησιμοποιώντας το θερμοστατικό μηχανισμό του σχήματος 5.5δ(α), επιθυμούμε να μεταβάλλομε τη διακύμανση έτσι, ώστε η μέση θερμοκρασία να παραμένει σταθερή. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει ταυτόχρονα να μεταβάλλομε ελαφρά, με το μεγάλο ελατήριο, και την περιοχή θερμοκρασιών. Το

είδος αυτό της ρυθμίσεως φαίνεται στο σχήμα 5.5ε(β).

Η ρύθμιση (α) δείχνει την αρχική κατάσταση του θερμοστάτη, όπως ήτανε και στην περίπτωση (α) του σχήματος 5.5ε(α). Η ρύθμιση (β) έχει διακύμανση 6°C, όπως και στην περίπτωση (β) του σχήματος 5.5ε(α), αλλά έχει μεταβληθεί και η περιοχή έτσι, ώστε η μέση τιμή της ρυθμίσεως να παραμείνει 8°C. Ανάλογη ενέργεια έχει γίνει και για τη ρύθμιση (γ) του σχήματος 5.5ε(β). Εδώ, η περιοχή θερμοκρασιών έχει ανέβει λίγο, δηλαδή το μεγάλο ελατήριο έχει συμπιεσθεί περισσότερο, ώστε η μέση τιμή της περιοχής να παραμείνει στους −8°C, που ήταν στη ρύθμιση (α).

Από τα παραδείγματα αυτά φαίνεται ότι η ρύθμιση της διακυμάνσεως, ***με σταθερή θερμοκρασία*** διακοπής (ρυθμιζόμενη ή μεταβλητή θερμοκρασία εκκινήσεως), επηρεάζει ελαφρά και τη μέση θερμοκρασία. Για να διατηρηθεί η μέση θερμοκρασία σταθερή, χρειάζεται και ρύθμιση της περιοχής θερμοκρασιών. Αν στο μηχανισμό του σχήματος 5.5δ(α) μεταβληθεί μόνο η προένταση του μεγάλου ελατηρίου, που ρυθμίζει την περιοχή, τότε η διακύμανση μένει περίπου σταθερή και αλλάζει η μέση τιμή των δυο οριακών θερμοκρασιών, δηλαδή προκύπτει ρύθμιση σαναυτή του σχήματος 5.5β(α).

Συνήθως η ρύθμιση της περιοχής θερμοκρασιών γίνεται από το χρήστη της ψυκτικής εγκαταστάσεως, ενώ η ρύθμιση της διακυμάνσεως πρέπει να γίνεται από τον τεχνικό-συντηρητή, γιατί απαιτείται η διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πάνω.

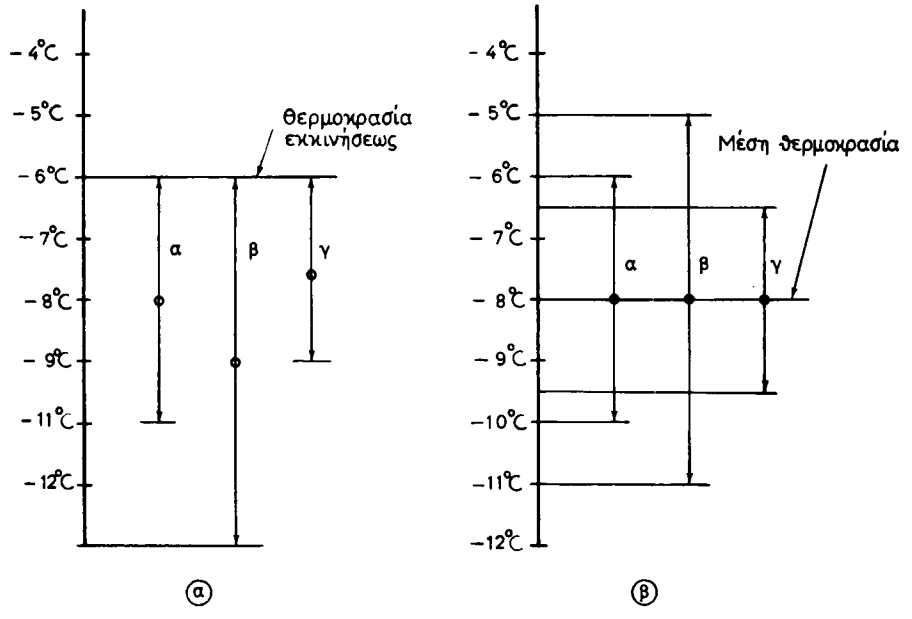
Την ίδια λειτουργία με αυτή που εξετάσθηκε, επιτυγχάνει και ο διαφορικός μηχανισμός του σχήματος 5.5δ(γ). Διαφέρει ως προς το μηχανισμό του σχήματος 5.5δ(α) μόνο στον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η αιφνίδια κίνηση των επαφών του διακόπτη. Εδώ χρησιμοποιείται και ένας μαγνήτης που έλκει απότομα το βραχίονα, όταν πλησιάζει στους μαγνητικούς πόλους. Ως προ τη ρύθμιση όμως των θερμοκρασιών, ισχύουν ακριβώς τα ίδια.

Ο διαφορικός μηχανισμός του σχήματος 5.5δ(β) έχει το μικρό ελατήριο στην αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι μπορεί και αφαιρείται δύναμη από το κύριο ελατήριο, ανάλογη με την προένταση που εφαρμόζεται στο μικρό ελατήριο. Η λειτουργία του τύπου αυτού του μηχανισμού μπορεί να περιγραφεί σύντομα ως εξής:

Όταν η πίεση στον πτυχωτό σωλήνα αυξηθεί πέρα από την οριακή τιμή, τότε το μεγάλο ελατήριο υποχωρεί και ο ηλεκτροκινητήρας του συμπιεστή ξικινάει. Όταν η πίεση στον πτυχωτό σωλήνα αρχίσει να υποχωρεί, τότε το μεγάλο ελατήριο πιέζει τον πτυχωτό σωλήνα προς τα κάτω. Μετά από ορισμένη διαδρομή, ο βραχίονας πιέζει και το μικρό ελατήριο που ρυθμίζει τη διακύμανση. Μόνο όταν η πίεση γίνει αρκετά μικρή στον πτυχωτό σωλήνα, δρα το μεγάλο ελατήριο, υπερνικάει την αντίσταση του μικρού ελατηρίου και ανοίγει τον ηλεκτρικό διακόπτη σταματώντας τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα.

Με το μηχανισμό αυτό ρυθμίζεται η τιμή της θερμοκρασίας διακοπής λειτουργίας του κινητήρα. Όσο περισσότερο πιέζει το μικρό ελατήριο, τόσο μικρότερη πρέπει να γίνεται η πίεση μέσα στον πτυχωτό σωλήνα, για την οποία σταματάει ο κινητήρας. Έτσι ***η αύξηση της προεντάσεως του μικρού ελατηρίου, κατεβάζει τη θερμοκρασία διακοπής*** λειτουργίας και αντίθετα η μείωση της προεντάσεως του μικρού ελατηρίου, αυξάνει τη θερμοκρασία διακοπής λειτουργίας του συμπιεστή.

Για σταθερή προένταση του μεγάλου ελατηρίου, δηλαδή για σταθερή περιοχή



Σχ. 5.5στ.

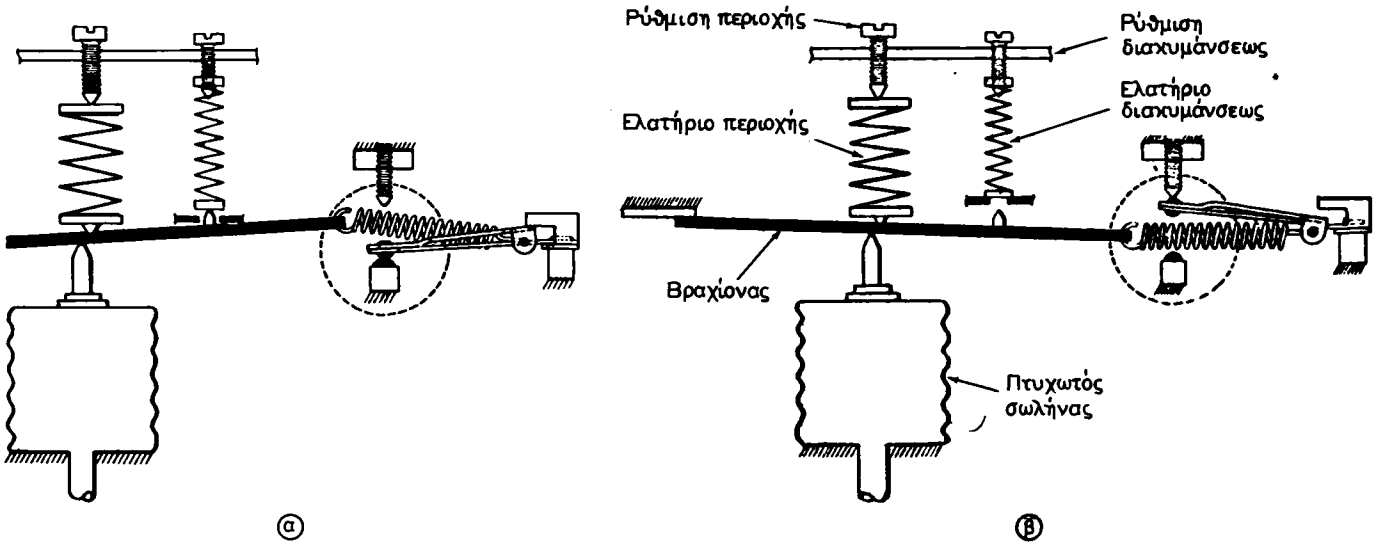
α) Επίδραση της μεταβολής του μικρού ελατηρίου του σχήματος 5.5δ (β) στη ρύθμιση της διακυμάνεεως. β) Ταυτόχρονη ρύθμιση και των δυο ελατηρίων, ώστε να επιτυγχάνεται σταθερή μέση θερμοκρασία.

θερμοκρασιών, το σχήμα 5.5στ(α) δίνει τις αντίστοιχες ρυθμίσεις προς εκείνες του σχήματος 5.5ε(α). Εδώ όμως είναι σταθερή η θερμοκρασία εκκινήσεως και αλλάζει η θερμοκρασία διακοπής. Εάν είναι επιθυμητή σταθερή μέση τιμή θερμοκρασίας παρά τη μεταβολή της διακυμάνσεως, τότε πρέπει να ρυθμισθεί το ελατήριο, που κανονίζει την περιοχή θερμοκρασιών ακριβώς όπως έγινε και για τις ρυθμίσεις στο σχήμα 5.5στ(β).

Στη ρύθμιση (β) του σχήματος 5.5στ(β) η μέση τιμή της θερμοκρασίας είναι −8°C. Πρέπει δηλαδή ο κινητήρας, σε σύγκριση με τη ρύθμιση (β) του σχήματος 5.5στ(α) να διακόπτει σε υψηλότερη θερμοκρασία και να ξεκινάει σε υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να είναι μεγαλύτερη η πίεση μέσα στον πτυχωτό σωλήνα, όταν γίνεται η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση του ηλεκτρικού διακόπτη. Πρέπει συνεπώς η προένταση του μεγάλου ελατηρίου να έχει αυξηθεί. Ύστερα από αυτά προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αύξηση της δυνάμεως του μεγάλου ελατηρίου, στο σχήμα 5.5δ(β), προκαλεί αύξηση της περιοχής θερμοκρασιών.

Τέλος στο σχήμα 5.5δ(δ) φαίνεται μια διάταξη με την οποία μεταβάλλονται και η θερμοκρασία διακοπής και η θερμοκρασία εκκινήσεως σχεδόν ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

Στο σχήμα 5.5γ παρουσιάσθηκαν σχηματικά οι μηχανισμοί, που περιλαμβάνουν τους πτυχωτούς σωλήνες και τα ελατήρια προεντάσεως, αλλά δεν φαίνονταν οι ηλεκτρικές επαφές ούτε η διάταξη που εξασφαλίζει την αιφνίδια κίνησή τους. Μια



Σχ. 5.5ζ.
Θερμοστατικός μηχανισμός ρυθμίσεως περιοχής θερμοκρασιών και διακυμάνσεως θερμοκρασίας.
α) Επαφές κλειστές. β) Επαφές ανοικτές.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

πλήρης διάταξη θερμοστάτη του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.5ζ. Οι ηλεκτρικές επαφές του θερμοστάτη είναι κλειστές στο σχήμα 5.5ζ(α), ενώ στο σχήμα 5.5ζ(β) έχουν ανοίξει. Το ελατήριο που συνδέει το βραχίονα του πτυχωτού σωλήνα με τα ελάσματα των ηλεκτρικών επαφών εξασφαλίζει το απότομο άνοιγμα ή κλείσιμό τους. Η απαίτηση αυτή, για απότομη λειτουργία του διακόπτη, είναι σημαντική, γιατί έτσι μόνο αποφεύγεται η δημιουργία σπινθήρα, που, αν διαρκέσει λίγα δευτερόλεπτα, θα λιώσει τις ηλεκτρικές επαφές, όπως ακριβώς γίνεται με το ηλεκτρόδιο στην ηλεκτροκόλληση.

5.5.2 Θερμοστάτες μικρών ψυκτικών εγκαταστάσεων.

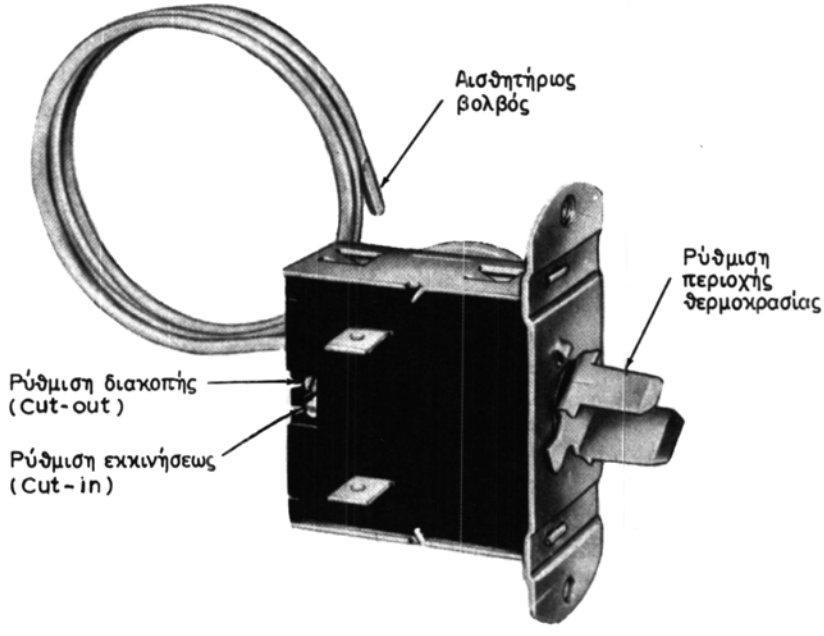
Θα εξετάσομε τώρα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των θερμοστατών, οι οποίοι τοποθετούνται στις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπως στα ηλεκτρικά ψυγεία, στις κλιματιστικές συσκευές κλπ. Ο τεχνικός ψυκτικός πρέπει να γνωρίζει καλά να αναγνωρίζει τα στοιχεία ρυθμίσεως των θερμοστατών αυτών, γιατί θα του χρειάζεται συχνά να τους ρυθμίζει στην πράξη.

Στο σχήμα 5.5η φαίνεται ο θερμοστάτης ενός οικιακού ψυγείου. Στη δεξιά όψη του θερμοστάτη υπάρχει η υποδοχή του περιστρεφόμενου άξονα, πάνω στην οποία τοποθετείται το κουμπί που ρυθμίζει με την περιστροφή του την περιοχή θερμοκρασίας του ψυχόμενου χώρου. Στο αριστερό μέρος φαίνεται ο σωλήνας που έχει τη γόμωση. Η ελεύθερη άκρη του χρησιμοποιείται σαν αισθητήριος βολβός και στερεώνεται συνήθως πάνω στο σωλήνα του ατμού του ψυκτικού μέσου. Έτσι η θερμοκρασία του χώρου ψύξεως ελέγχεται έμμεσα μέσω της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου. Σε άλλες κατασκευές όμως το αισθητήριο αυτό ελέγχει κατευθείαν τη θερμοκρασία του αέρα του ψυχόμενου χώρου.

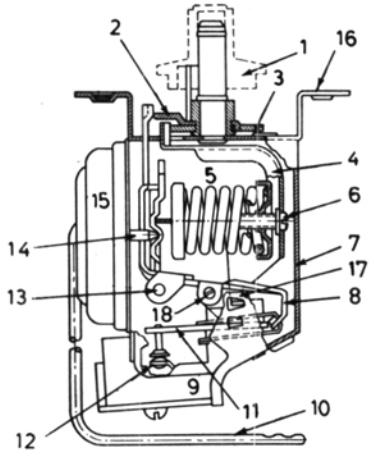
Στην αριστερή πλευρά του θερμοστάτη φαίνονται δυο ρυθμιστικοί κοχλίες, που ρυθμίζουν τη διακοπή και την εκκίνηση λειτουργίας. Ο συμβολισμός και οι έννοιες των ρυθμιστικών αυτών κοχλιών δεν είναι τυποποιημένος και έτσι από κατασκευαστή σε κατασκευαστή μπορεί να δίνεται άλλη έννοια στις ίδιες ενδείξεις ή υπάρχουν διαφορετικές ενδείξεις από εκείνες του θερμοστάτη του σχήματος 5.5η. Πάντως η ένδειξη CUT-IN συμβολίζει συνήθως τον κοχλία ρυθμίσεως της θερμοκρασίας εκκινήσεως και η ένδειξη CUT-OUT τον κοχλία ρυθμίσεως της θερμοκρασίας διακοπής.

Οι μηχανισμοί των πιεζοστατών και των θερμοστατών περιλαμβάνουν σχεδόν πάντοτε ένα πτυχωτό σωλήνα ή ένα χώρο, που κλείνεται στεγανά από μεμβράνη. Μέσα σ' αυτόν δρα η πίεση του κύριου ψυκτικού μέσου ή του ψυκτικού μέσου της γομώσεως του αισθητήριου βολβού. Στο έξω όμως μέρος του πτυχωτού σωλήνα ή της μεμβράνης δρα η ατμοσφαιρική πίεση.

Η ατμοσφαιρική όμως πίεση αλλάζει με το ύψος και συνεπώς αλλάζει και η δύναμη που ασκείται στον πτυχωτό σωλήνα ή στη μεμβράνη. Για να λειτουργούν ικανοποιητικά οι θερμοστάτες ή οι πιεζοστάτες σε όλα τα υψόμετρα, όπου μπορεί να λειτουργήσουν οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις, πρέπει να υπάρχει κάποια σχετική πρόβλεψη ρυθμίσεως. Η απαίτηση αυτή ισχύει για τους μικρούς θερμοστάτες των οικιακών ψυγείων ή των μικρών κλιματιστικών συσκευών, οι οποίοι συνήθως έχουν μόνο ρύθμιση της περιοχής θερμοκρασιών. Οι μεγαλύτεροι σύνθετοι θερμοστάτες ή πιεζοστάτες, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγρα-



Σχ. 5.5η.
Θερμοστάτης οικιακού ψυγείου.



Σχ. 5.5θ.
Θερμοστάτης οικιακού ψυγείου.

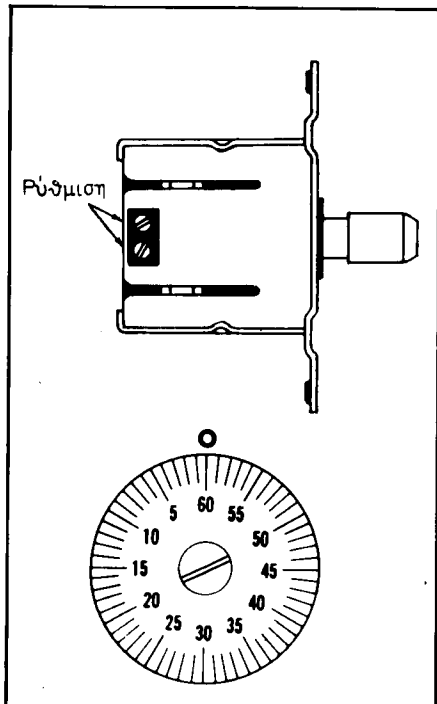
1. Κουμπί ρυθμίσεως περιοχής θερμοκρασίας. 2. Μοχλός κινήσεως ηλεκτρικού διακόπτη. 3. Έκκεντρο έλασμα ρυθμίσεως ελατηρίου. 4. Γωνιακός μοχλός προεντάσεως ελατηρίου. 5. Κύριο ελατήριο προεντάσεως. 6. Προρρύθμιση περιοχής. 7. Μεταλλικό περίβλημα. 8. Μοχλός ενεργοποιήσεως ηλεκτρικών επαφών. 9. Θέση μαγνητών αποσβέσεως ηλεκτρικών σπινθήρων. 10. Σωλήνας-αισθητήριο. 11. Έλασμα ηλεκτρικών επαφών. 12. Ηλεκτρικές επαφές. 13. Αξονίσκος περιστροφής μοχλού. 14. Στέλεχος πτυχωτού σωλήνα. 15. Πτυχωτός σωλήνας. 16. Οπές στερεώσεως θερμοστάτη. 17. Έδραση μοχλού σε τριγωνικές ακμές. 18. Ρυθμισμένη από τον κατασκευαστή διακύμανση θερμοκρασίας (δεν αλλάζει από το χρήστη).

φο, δε χρειάζονται την ειδική αυτή πρόβλεψη, αφού έχουν μεγαλύτερη ελευθερία και ρυθμίζονται τόσο ως προς την περιοχή όσο και ως προ τη διακύμανση της θερμοκρασίας.

Σαν παράδειγμα αναφέρομε ότι όταν ο θερμοστάτης της εικόνας του σχήματος 5.5η λειτουργεί σε άλλο υψόμετρο από εκείνο του θάλασσας, απαιτείται ρύθμιση και των δυο κοχλιών, οι οποίοι ρυθμίζουν την εκκίνηση και τη διακοπή λειτουργίας. Η ρύθμιση αυτή γίνεται με περιστροφή των κοχλιών ***αντίθετα*** προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού κατά τόσα εξηκοστά (1/60) ***μιας περιστροφής,*** όσα δίνει ο επόμενος πίνακας 5.5.1.

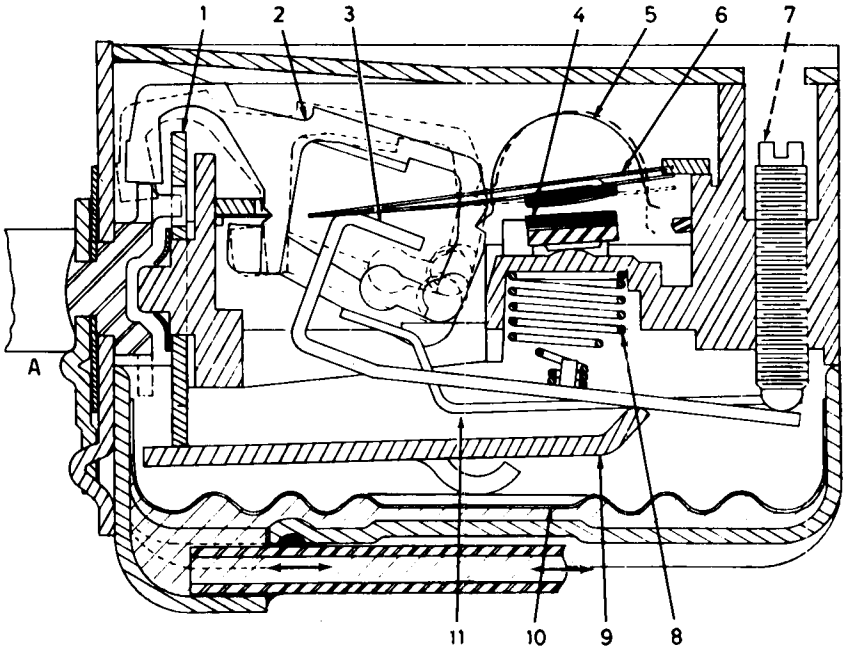
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.1.

Περιστροφή των κοχλιών ρυθμίσεως του θερμοστάτη του σχήματος 5.5η ανάλογα με το υψόμετρο.



Υψόμετρο (ft)	Περιστροφή κοχλιών αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού	
	Κοχλίας εκκινήσεως (CUT-IN)	Κοχλίας διακοπής (CUT-OUT)
2,000	7/60	4/60
3,000	13/60	7/60
4,000	19/60	10/60
5,000	25/60	13/60
6,000	31/60	16/60
7,000	37/60	19/60
8,000	43/60	22/60
9,000	49/60	25/60
10.000	55/60	28/60

Οι θερμοστάτες των οικιακών ψυγείων μπορεί να είναι πιο απλοί ή πιο σύνθετοι. Μια σχετικά απλή κατασκευή, κάπως παλιότερη, φαίνεται στο σχήμα 5.5θ. Η περιοχή θερμοκρασιών αλλάζει από το κουμπί στο πάνω μέρος, όπου υπάρχει και ο ηλεκτρικός διακόπτης, ο οποίος ανοίγει και κλείνει την ηλεκτρική τροφοδότηση γενικώς. Ο τύπος αυτός του θερμοστάτη έχει μια προρρύθμιση της περιοχής θερμοκρασιών με τον κοχλία (6) και επίσης μια ρύθμιση της διακυμάνσεως θερμοκρασίας μέσω του κοχλία (18). Και οι δυο αυτές ρυθμίσεις γίνονται από τον κατασκευαστή του θερμοστάτη, ο δε χρήστης (πελάτης) δεν μπορεί να επέμβει. Μπορεί να ρυθμίζει μόνο την περιοχή θερμοκρασιών με την περιστροφή του κουμπιού (1), το οποίο γυρίζει το έκκεντρο (3) και μετακινεί το γωνιακό μοχλό (4), που ρυθμίζει την ένταση του κύριου ελατηρίου.

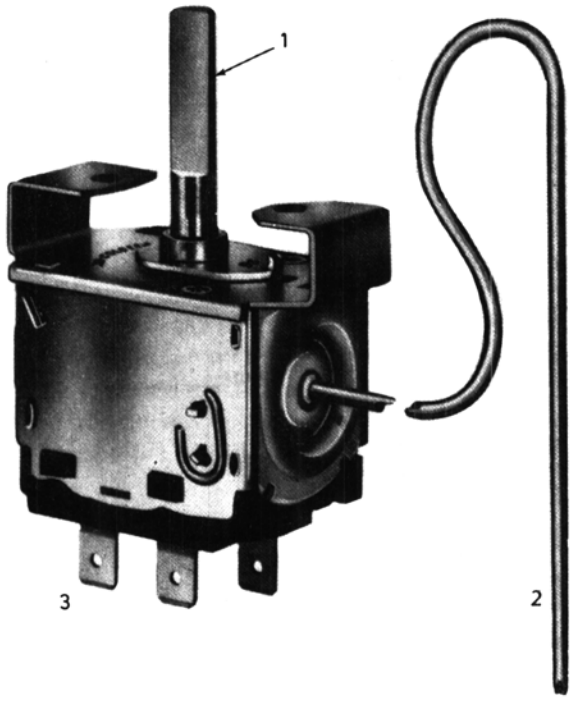


Σχ. 5.5ι.

Μηχανισμοί και διατάξεις ρυθμίσεως ενός θερμοστάτη οικιακού ψυγείου.
1. Έκκεντρο ρυθμίσεως περιοχής θερμοκρασιών. 2. Μοχλός μεταδόσεως κινήσεως. 3. Μοχλός διακοπής λειτουργίας που ρυθμίζεται από τον κοχλία (7). 4. Σταθερή ηλεκτρική επαφή. 5. Τοξωτό ελατηριωτό έλασμα. 6. Ηλεκτρική επαφή. 7. Κοχλίας ρυθμίσεως λειτουργίας. 8. Κύριο ελατήριο προεντάσεως. 9. Μοχλός που κινείται από το έκκεντρο (1) και ρυθμίζει την περιοχή θερμοκρασιών. 10. Κυματοειδής μεμβράνη. 11. Μοχλός ρυθμίσεως εκκινήσεως λειτουργίας.

Η εσωτερική διαμόρφωση ενός θερμοστάτη οικιακού ψυγείου σχετικά σύγχρονου, με ρύθμιση τόσο της θερμοκρασίας εκκινήσεως όσο και της θερμοκρασίας διακοπής, εκτός φυσικά από τη ρύθμιση περιοχής θερμοκρασιών που κάνει ο χρήστης, φαίνεται στο σχήμα 5.5ι. Η περιοχή θερμοκρασιών ρυθμίζεται από το κουμπί Α, του οποίου η περιστροφή γυρίζει το έκκεντρο (1). Αυτό μεταθέτει τη θέση του μοχλού (9) ως προ τη μεμβράνη (10) και έτσι ασκείται μικρότερη ή μεγαλύτερη πίεση σ' αυτήν. Η θερμοκρασία διακοπής λειτουργίας ρυθμίζεται από τον κοχλία (7), που μεταθέτει το μοχλό (3) και αλλάζει την αντίστοιχη τιμή. Ένας κοχλίας παράλληλος προς τον (7) και κάτω από αυτόν κινεί το μοχλό (11), που ρυθμίζει τη θερμοκρασία ενάρξεως λειτουργίας του συμπιεστή. Η μεμβράνη στο κάτω μέρος περικλείει, κατά τα γνωστά, τη γόμωση του ψυκτικού μέσου, που ενεργεί με την πίεσή του ανάλογα με τη θερμοκρασία του αισθητήριου βολβού.

Πολλές φορές θερμοστάτες του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται και για τις μικρές κλιματιστικές συσκευές. Στις περιπτώσεις αυτές το αισθητήριο θερμοκρασίας ελέγχει τη θερμοκρασία του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου. Σε αρκετές περιπτώσεις οι θερμοστάτες των κλιματιστικών συσκευών έχουν όμως και ένα δεύτερο



Σχ. 5.5ια.
Θερμοστάτης μικρής κλιματιστικής μονάδας που ελέγχει εκτός από το συμπιεστή και τον ανεμιστήρα.
1. Ρύθμιση περιοχής θερμοκρασιών. 2. Αισθητήριος βολβός. 3. Ηλεκτρικοί ακροδέκτες.

ηλεκτρικό ακροδέκτη, ώστε εκτός από το συμπιεστή, να ενεργοποιούν και τον ανεμιστήρα ή τους ανεμιστήρες του στοιχείου ατμοποιήσεως και του συμπιεστή. Ένας θερμόστάτης για το σκοπό αυτό φαίνεται στο σχήμα 5.5ια. Η εξωτερική του μορφή μοιάζει με την αντίστοιχη του σχήματος 5.5η, αλλά υπάρχει διαφορά στον αριθμό των ηλεκτρικών ακροδεκτών. Στο σχήμα 5.5η φαίνονται οι δυο ακροδέκτες που συνδέουν τη φάση του δικτύου με τον ηλεκτροκινητήρα, ενώ στο σχήμα 5.5ια φαίνονται οι τρεις ακροδέκτες. Στον ένα έρχεται η φάση από το δίκτυο και οι άλλοι τη συνδέουν με τον ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή και τον ηλεκτροκινητήρα του ανεμιστήρα.

Παρόμοιες κατασκευές θερμοστατών συνδυάζουν και λειτουργίες για αποπάγωση των στοιχείων ατμοποιήσεως.

5.5.3 Θερμοστάτες χώρου.

Για την εξυπηρέτηση των συνθέτων αναγκών που εμφανίζονται στις εγκαταστάσεις ψύξεως και κλιματισμού, έχουν αναπτυχθεί ρυθμιστικά όργανα και διατάξεις πολλών τύπων, που ρυθμίζουν είτε τη θερμοκρασία είτε την υγρασία των χώρων οι οποίοι ενδιαφέρουν. Είναι έξω από τους σκοπούς του βιβλίου αυτού να

συμπεριλάβει όλους αυτούς τους τύπους. Γι' αυτό αναφέρονται μόνο οι σημαντικότεροι ρυθμιστές και ειδικότερα στην παράγραφο αυτή οι θερμοστάτες χώρου, δηλαδή οι θερμοστάτες που φροντίζουν να διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα στον ελεγχόμενο χώρο σταθερή.

Αν οι θερμικές απώλειες και τα φορτία γενικά ενός ψυχόμενου χώρου είναι σταθερά και δεν μεταβάλλονται με το χρόνο, τότε αρκεί κάποια απλή διάταξη για να διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία αέρα του χώρου. Όταν όμως υπάρχουν διακυμάνσεις του φορτίου, τότε απαιτείται η χρήση ενός θερμοστάτη χώρου, ο οποίος να ενεργοποιεί ή να απενεργοποιεί την ψυκτική ισχύ του στοιχείου ατμοποιήσεως, που εξυπηρετεί τον υπόψη χώρο. Η ενεργοποίηση αυτή γίνεται είτε κατευθείαν με τη λειτουργία ή τη διακοπή του συμπιεστή, αν ο συμπιεστής εξυπηρετεί ένα χώρο και μόνο, ή με ηλεκτρομαγνητικές αποφρακτικές βαλβίδες, που διακόπτουν τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου. Και στις δυο περιπτώσεις ο θερμοστάτης χώρου πρέπει να είναι κατάλληλος, ώστε να συνδέει και να αποσυνδέει την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ που απαιτείται. Ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις ασφάλειας που υπάρχουν, ο θερμοστάτης έχει ηλεκτρικές επαφές κατάλληλες για:

— Τάση ηλεκτρικού δικτύου (220/380 V) ή για
— χαμηλή τάση (12, 24, 44 V).

Για μικρή ισχύ, οι ηλεκτρικές επαφές του θερμοστάτη διακόπτουν ολόκληρη την ηλεκτρική ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, ενώ για μεγαλύτερη ο θερμοστάτης ενεργοποιεί ένα ενδιάμεσο ηλεκτρονόμο, ο οποίος συνδέει και αποσυνδέει την πλήρη ισχύ.

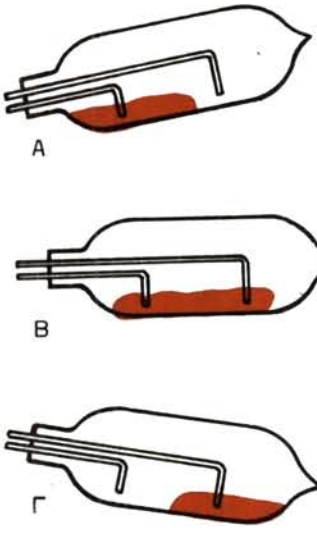
Οι επαφές των θερμοστατών, που λειτουργούν με την τάση του δικτύου, προσφέρονται για διάφορες εντάσεις ρεύματος με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 3 Α ως 16 Α. Οι θερμοστάτες χαμηλής τάσεως έχουν επαφές που συνήθως εξυπηρετούν εντάσεις μέχρι 5 Α (για τάση μικρότερη από 15 V) ή 3,2 Α (για τάση μέχρι 30 V).

Οι ηλεκτρικές επαφές των θερμοστατών χώρου είναι ή κοινές επαφές από κράμα ευγενούς μετάλλου («πλατίνες») ή πολλές φορές είναι δυο ηλεκτρόδια που συνδέονται με υδράργυρο. Στη δεύτερη περίπτωση ο υδράργυρος και οι επαφές είναι κλεισμένες στεγανά μέσα σε ένα γυάλινο μικρό κύλινδρο, χωρίς αέρα, ο οποίος αλλάζει κλίση με τη βοήθεια του αισθητήριου θερμοκρασίας και έτσι ενεργοποιείται ή διακόπτεται η σύνδεση. Ένας τύπος διακόπτη υδραργύρου φαίνεται στο σχήμα 5.5ιβ. Στη θέση Β ο διακόπτης κλείνει το κύκλωμα γιατί ο υδράργυρος ενώνει τα δυο ηλεκτρόδια. Στις θέσεις Α και Γ υπάρχει διακοπή.

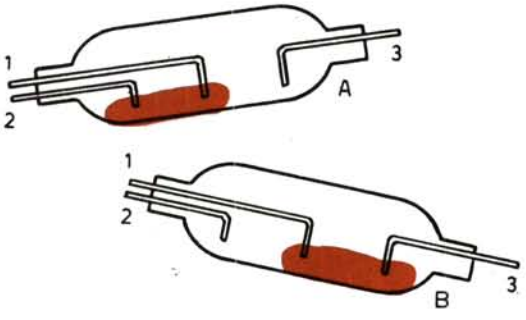
Πολλές φορές οι γυάλινοι κύλινδροι έχουν τρεις επαφές, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5ιγ και παρέχουν τη δυνατότητα για πιο σύνθετες λειτουργίες. Για παράδειγμα η επαφή (1) μπορεί να συνδέεται πότε με την επαφή (2), ώστε να θέτει σε λειτουργία την ψυκτική διάταξη, ή να συνδέεται με την επαφή (3), ώστε να θέτει σε λειτουργία τη διάταξη θερμάνσεως του χώρου ή μόνο τον ανεμιστήρα ανακυκλοφορίας αέρα.

Στο σχήμα 5.5ια έχομε ήδη δει την εξωτερική μορφή ενός θερμοστάτη χώρου που ελέγχει μια μικρή κλιματιστική μονάδα. Η φωτογραφία ενός άλλου θερμοστάτη χώρου με πτυχωτό σωλήνα και δυο μονοπολικούς διακόπτες υδραργύρου φαίνεται στο σχήμα 5.5ιδ.

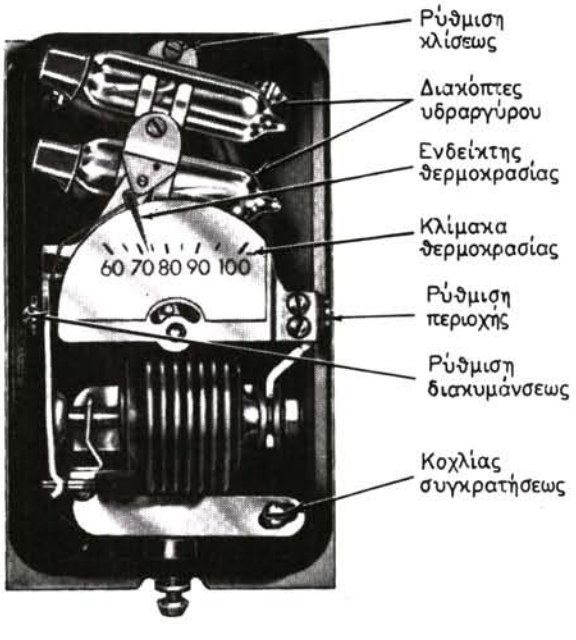
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



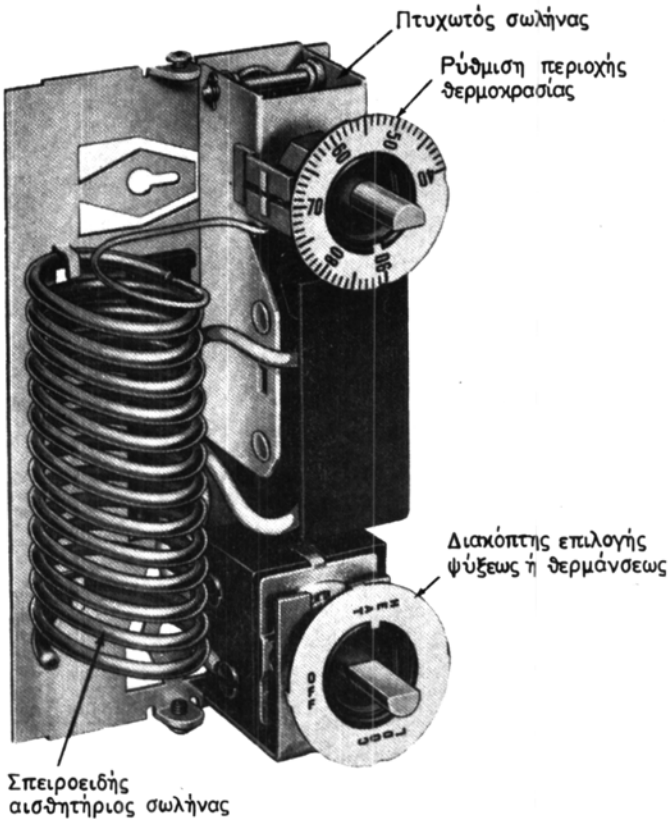
Σχ. Ε.Ειβ.
Μονοπολικός, απλός διακόπτης υδραργύρου.



Σχ. Ε.Ειγ.
Μονοπολικός, μεταγωγικός διακόπτης υδραργύρου.

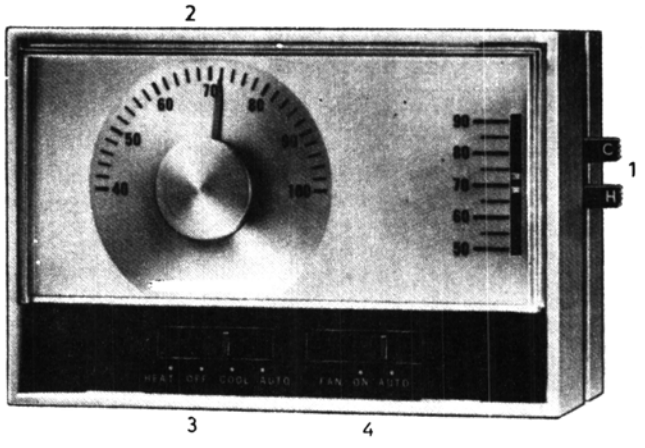


Σχ. Ε.Ειδ.
Θερμοστάτης χώρου για έλεγχο δυο βαθμίδων θερμάνσεως.



Σχ. 5.5ιε.
Θερμοστάτης χώρου για έλεγχο ψύξεως ή θερμάνσεως.

Ο θερμοστάτης αυτός ελέγχει ***δυο βαθμίδες*** θερμάνσεως, ή σπανιότερα ψύξεως. Συγκεκριμένα ρυθμίζει την ισχύ της εγκαταστάσεως σε δυο στάδια, ώστε να γίνεται οικονομικότερη η λειτουργία της. Οι θερμοστάτες δυο βαθμίδων συνδέουν πρώτα τη μια βαθμίδα ισχύος και αν η αλλαγή της θερμοκρασίας του ελεγχόμενου χώρου δεν αλλάξει κατεύθυνση και συνεχίσει την πορεία της, τότε συνδέουν και τη δεύτερη βαθμίδα επί πλέον της πρώτης. Έτσι επιτυγχάνεται ταχύτερη σύγκλιση προς την επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας. Για το σκοπό αυτό οι θερμοστάτες αυτοί έχουν δυο διακόπτες, για τον έλεγχο κάθε μιας από τις δυο βαθμίδες. Στο σχήμα 5.5ιδ διακρίνονται οι γυάλινες κυλινδρικές φύσιγγες που περιέχουν τον υδράργυρο και τις επαφές και στο κάτω μέρος ο πτυχωτός σωλήνας. Με την αλλαγή της θερμοκρασίας μεταβάλλεται το μήκος του πτυχωτού σωλήνα λόγω της αλλαγής της πιέσεως της γομώσεώς του. Αυτή η αλλαγή μήκους μεταδίδεται με μοχλούς προς τις φύσιγγες και αλλάζει η κλίση τους. Έτσι ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικές επαφές. Οι δυο φύσιγγες κινούνται ταυτόχρονα από τον πτυχωτό σωλήνα, αλλά η επάνω δεν είναι παράλληλη προς την κάτω γιατί έχει μια μόνιμη σχετική κλίση που ρυθμίζεται από τον κοχλία που είναι στο επάνω μέρος της συσκευής. Με τη ρύθμιση αυτή επιλέγεται η διαφορά θερμοκρασίας με την οποία κλείνει ή ανοίγει η δεύ-



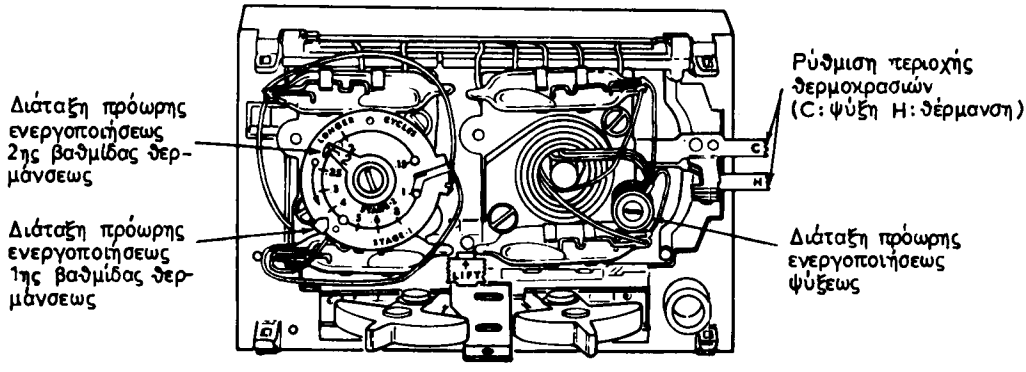
Σχ. 5.5ιστ.

Αυτόματος θερμοστάτης χώρου με δυο βαθμίδες ψύξεως και δυο βαθμίδες θερμάνσεως. 1. Ρύθμιση περιοχής θερμοκρασιών (C για ψύξη και H για θέρμανση). 2. Θερμόμετρο χώρου. 3. Μεταγωγικός διακόπτης για λειτουργία σε θέρμανση, ψύξη ή αυτόματη εναλλαγή ψύξεως και θερμάνσεως. 4. Διακόπτης ανεμιστήρα χώρου.

τερη σε προτεραιότητα επαφή μετά την αντίστοιχη λειτουργία της πρώτης. Η διαφορά αυτή θερμοκρασίας μπορεί να φθάνει και το 0,5°C. Στο σχήμα 5.5ιδ φαίνεται επίσης το ενδεικτικό της θερμοκρασίας χώρου (σε βαθμούς Farenheit) καθώς και μοχλοί ρυθμίσεως της περιοχής θερμοκρασιών.

Ένας άλλος τύπος θερμοστάτη χώρου που εξυπηρετεί διαζευκτικά τη θέρμανση ή ψύξη του χώρου, ανάλογα με τη χειροκίνητη προεπιλογή που έχει γίνει, φαίνεται στο σχήμα 5.5ιε. Στο αριστερό μέρος είναι ο σπειροειδής σωλήνας με τη γόμωση από κατάλληλο ψυκτικό μέσο που λειτουργεί σαν αισθητήριο θερμοκρασίας και πιέζει και μετακινεί τους πτυχωτούς σωλήνες, που μεταθέτουν τις ηλεκτρικές επαφές. Η επιλογή της περιοχής θερμοκρασίας γίνεται με το βαθμονομημένο δίσκο στο επάνω δεξιό μέρος τη συσκευής. Η μεταγωγή ψύξη - θέρμανση γίνεται με τον επιλογικό περιστροφικό διακόπτη στο κάτω δεξιό μέρος.

Για μεγαλύτερη αυτοματοποίηση της λειτουργίας, δηλαδή για τη διατήρηση της απαραίτητης θερμοκρασίας χώρου αλλά και για αυτόματη επιλογή μεταξύ ψύξεως ή θερμάνσεως με δυο βαθμίδες, χρησιμοποιούνται σύνθετοι θερμοστάτες χώρου όπως αυτός του σχήματος 5.5ιστ. Ο θερμοστάτης αυτός είναι δυο βαθμίδων, δηλαδή ελέγχει ταυτόχρονα και τη θέρμανση αλλά και την ψύξη του χώρου, χωρίς να απαιτείται χειροκίνητη μεταγωγή. Μπορεί όμως να λειτουργήσει και σαν απλός θερμοστάτης, ώστε να εξυπηρετεί μόνο ψύξη ή μόνο θέρμανση. Το εσωτερικό ενός θερμοστάτη του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.5ιζ. Έχει συνολικά τέσσερις διακόπτες - φύσιγγες υδραργύρου για να ελέγχει τις δυο βαθμίδες ψύξεως και τις δυο βαθμίδες θερμάνσεως. Διαθέτει επίσης διατάξεις για ***πρόωρη ενεργοποίηση*** που ρυθμίζονται κατά βούληση. Μπορεί δηλαδή η ενεργοποίηση του διακόπτη να γίνεται λίγο νωρίτερα από την ονομαστική χρονική στιγμή, ώστε να μειώνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα του χώρου, την οποία ελέγχει ο θερμοστάτης.



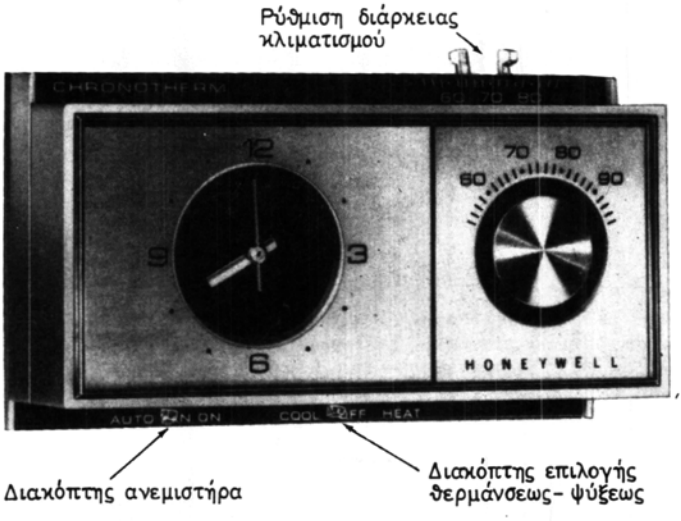
Σχ. 5.5ιζ.
Εσωτερική διάταξη θερμοστάτη δυο βαθμίδων. Υπάρχουν ανά δυο φύσιγγες με διακόπτες υδραργύρου για τη θέρμανση και την ψύξη.

Πολλές φορές οι θερμοστάτες χώρου συνδυάζονται και με ωρολογιακούς μηχανισμούς, οι οποίοι αλλάζουν τις επιθυμητές τιμές με την πάροδο του χρόνου. Κατασκευές του είδους αυτού χρησιμοποιούνται συνήθως σε εγκαταστάσεις κλιματισμού για να εξοικονομείται ενέργεια. Με τους μηχανισμούς αυτούς μπορεί να επιλέγεται άλλη θερμοκρασία χώρου για τη διάρκεια της ημέρας και άλλη για τη διάρκεια της νύκτας. Η μεταγωγή από τη μια τιμή στην άλλη γίνεται με κίνηση από τον ωρολογιακό μηχανισμό κατά τις ώρες του εικοσιτετραώρου που έχουν προεπιλεγεί.

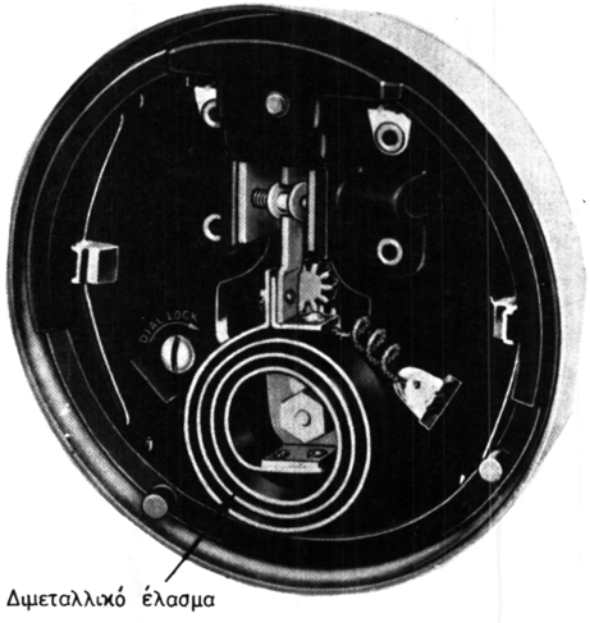
Ένας θερμοστάτης αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 5.5ιη. Στο αριστερό μέρος διακρίνεται η εξωτερική μορφή του ωρολογιακού τμήματος και στο δεξιό το ενδεικτικό θερμοκρασίας του θερμοστάτη. Στο επάνω δεξιό μέρος φαίνονται οι μοχλοί που καθορίζουν τη διάρκεια κλιματισμού κατά την ημέρα και τη νύκτα, ενώ στο κάτω μέρος είναι οι διακόπτες για τον ανεμιστήρα και τη επιλογή για ψύξη ή θέρμανση, ανάλογα με την εποχή του έτους.

Για πολύ απλές απαιτήσεις χρησιμοποιούνται απλοί θερμοστάτες που λειτουργούν με διμεταλλικό έλασμα, σαν αυτό του σχήματος 5.5ιθ. Θερμοστάτες του τύπου αυτού είναι κατάλληλοι περισσότερο για θέρμανση και λιγότερο για ψύξη, ιδίως αν πρόκειται για χαμηλές θερμοκρασίες, όπου τα προβλήματα από τη συμπύκνωση των υδρατμών είναι έντονα και απαιτούνται ιδιαίτερα μέτρα προστασίας από ηλεκτρικές διαρροές και βραχυκυκλώματα.

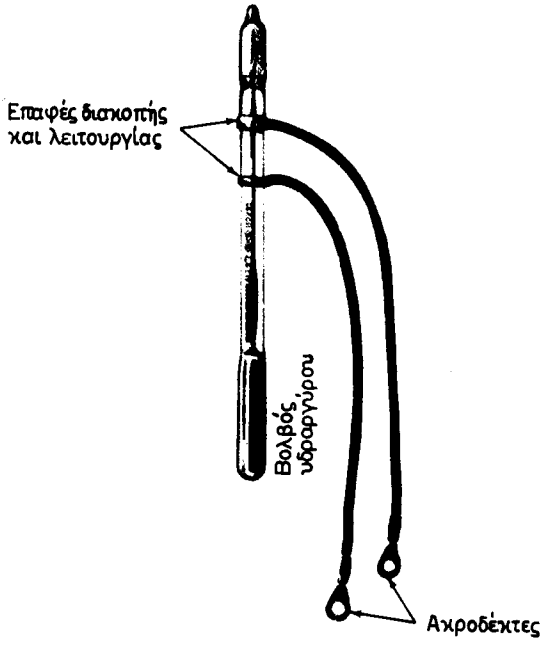
Τέλος για χώρους, όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στην τήρηση σταθερής θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται υδραργυρικά θερμόμετρα με κατάλληλες ηλεκτρικές επαφές, που λειτουργούν σα θερμοστάτες. Τα δυο ηλεκτρόδια των θερμομέτρων αυτών γεφυρώνονται ηλεκτρικά μέσα από τη στήλη υδραργύρου του θερμομέτρου. Για τη ρύθμιση της επιθυμητής τιμής της θερμοκρασίας υπάρχει ένας εξωτερικός, κοίλος κυλινδρικός μαγνήτης, που όταν περιστρέφεται με το χέρι περιστρέφει ένα σιδερένιο κοχλία στο εσωτερικό του θερμομέτρου και έτσι μετακινείται η θέση της μιας μεταλλικής ακίδας, που κλείνει το κύκλωμα όταν έλθει σε επαφή με την επάνω πλευρά της στήλης υδραργύρου.



Σχ. 5.5ιη.
Θερμοστάτης χώρου με ωρολογιακό μηχανισμό μεταγωγής της επιθυμητής τιμής.



Σχ. 5.5ιθ.
Θερμοστάτης χώρου με διμεταλλικό έλασμα.



Σχ. 5.5κ.
Θερμοστάτης υδραργυρικού θερμομέτρου με επαφές διακοπής και λειτουργίας.

Όταν οι επιθυμητές τιμές είναι σταθερές και δεν απαιτείται ρύθμισή τους, τότε οι επαφές των ηλεκτροδίων στο γυάλινο υδραργυρικό θερμόμετρο είναι μόνιμα τοποθετημένες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5κ.

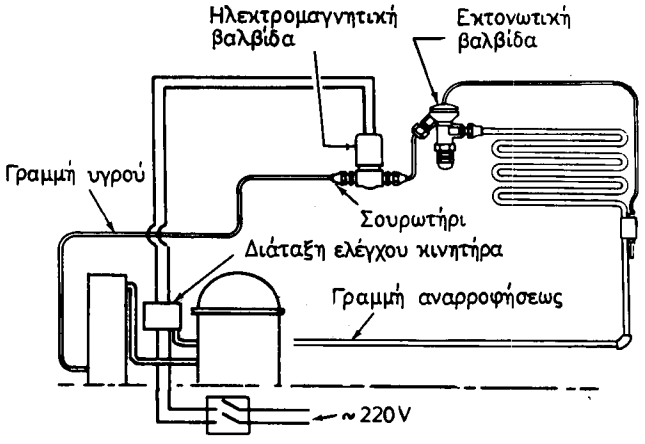
Η ποικιλία των θερμοστατών χώρου είναι πολύ μεγάλη. Στην παράγραφο αυτή περιορισθήκαμε, όπως είπαμε ήδη, μόνο σε ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα συνηθισμένων τύπων.

5.6 Αποφρακτικές βαλβίδες.

Οι αποφρακτικές βαλβίδες τοποθετούνται στα απαραίτητα σημεία του κυκλώματος της ψυκτικής εγκαταστάσεως, για να διακόπτουν τη ροή του ψυκτικού μέσου, όταν λόγοι προστασίας της εγκαταστάσεως ή λόγοι ρυθμίσεώς της το επιβάλλουν. Οι αποφρακτικές βαλβίδες μπορεί να είναι είτε ηλεκτρομαγνητικές είτε χειροκίνητες. Και τους δυο αυτούς τύπους θα εξετάσομε στις παραγράφους που ακολουθούν. Θα περιγράψομε επίσης ένα άλλο τύπο βαλβίδας, τη βαλβίδα αντεπιστροφής, η οποία δρα ως διάταξη προστασίας και διακόπτει τη ροή του ψυκτικού μέσου, εφόσον αυτή αναστρέφεται προς λάθος κατεύθυνση.

5.6.1 Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ψυκτικού μέσου.

Οι ηλεκτρομαγνητικές ζαλβίδεςανοιγοκλείνοσν με κ[τάλληλο ηλεκτρομαγνητη. Το πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη είναι τοποθετημένο γύρω από ένα σωλήνα από μη μαγνητικό υλικό, μέσα στον οποίο ολισθαίνει ο οπλισμός, που είναι ταυτόχρονα και στέλεχος της βαλβίδας.



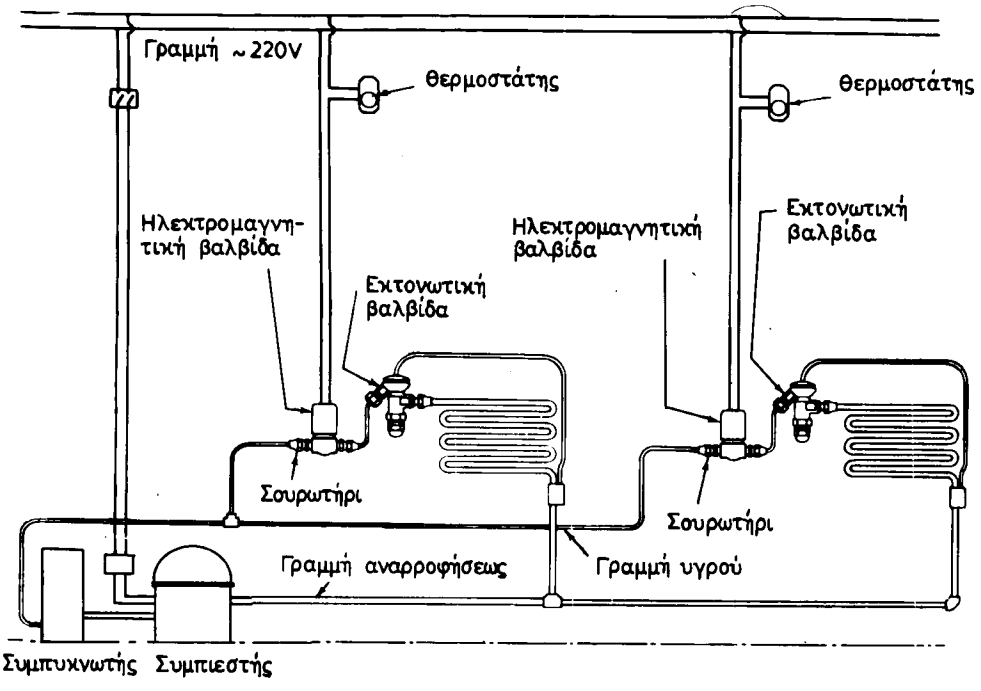
Σχ. 5.6α.
Ψυκτικό κύκλωμα με ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα.

Η βαλβίδα του τύπου αυτού ανοίγει με την ενεργοποίηση του πηνίου που έλκει το στέλεχος και κλείνει με τη δράση της διαφοράς πιέσεως ψυκτικού μέσου ή με ελατήριο επανατάξεως ή με το βάρος του στελέχους της. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι δράσεις των δυνάμεων είναι αντίθετες, δηλαδή η βαλβίδα κλείνει με τη δράση του ηλεκτρομαγνήτη και ανοίγει με την άλλη δύναμη.

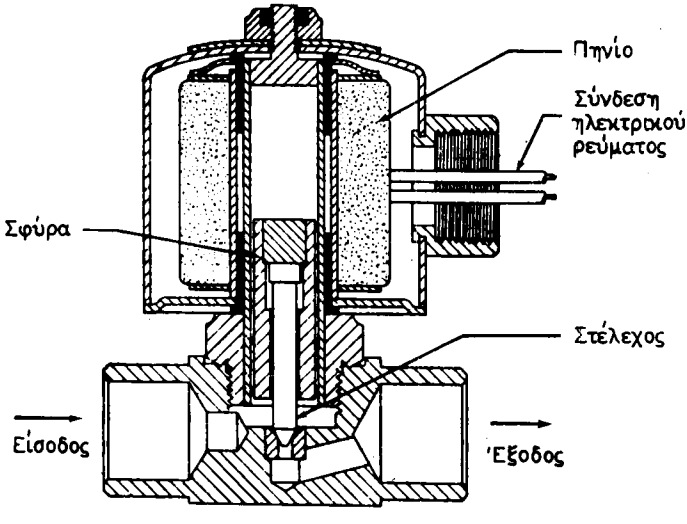
Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες είναι ή ανοικτές ή κλειστές, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα για ενδιάμεση θέση ώστε να ρυθμίζεται η παροχή. Χρησιμεύουν για το λόγο αυτό μόνο ως αποφρακτικές βαλβίδες. Λόγω της ηλεκτρικής ενεργοποιήσεως των βαλβίδων, είναι εύκολο να συνδεθούν με κυκλώματα τηλεχειρισμού, τα οποία τις ελέγχουν από διάφορες θέσεις και μάλιστα από πολλές θέσεις ταυτόχρονα.

Οι ηλεκτρομαγνητικές αποφρακτικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Στο σχήμα 5.6α φαίνεται το κύκλωμα μιας απλής εγκαταστάσεως με θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, πριν από την οποία συνδέεται η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική. Όταν ο κινητήρας δε λειτουργεί, η ηλεκτρομαγνητική κλείνει τη γραμμή υγρού ψυκτικού μέσου και αποτρέπει την υπερπλήρωση του στοιχείου ατμοποιήσεως. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχεται από ένα ηλεκτρικό πιεζοστάτη της χαμηλής πιέσεως.

Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής ηλεκτρομαγνητικών αποφρακτικών βαλβίδων φαίνεται στο σχήμα 5.6β. Πρόκειται για ένα ψυκτικό κύκλωμα, που περιλαμβάνει δυο χωριστούς ψυχόμενους χώρους με ανεξάρτητα στοιχεία ατμοποιήσεως και θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες. Πριν από κάθε θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα στη γραμμή υγρού ψυκτικού μέσου, υπάρχει από μια ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα που ενεργοποιείται από τον αντίστοιχο θερμοστάτη χώρου. Όταν η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από την προκαθορισμένη τιμή, τότε ο θερμοστάτης χώρου δίνει εντολή και κλείνει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα του ψυκτικού μέσου. Όταν η θερμοκρασία του χώρου ανέβει πάνω από την προκαθορισμένη τιμή, τότε ο θερμοστάτης χώρου ανοίγει πάλι την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και το υγρό ψυκτικό μέσο πηγαίνει πάλι προς τη θερμοστατική βαλβίδα εκτο-



Σχ. 5.6β.
Ψυκτική εγκατάσταση με δυο στοιχεία ατμοποιήσεως για δυο χωριστούς ψυκτικούς θαλάμους, των οποίων η θερμοκρασία ελέγχεται με θερμοστάτες χώρου.



Σχ. 5.6γ.
Ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα με σφύρα (κανονικά κλειστή).

νώσεως και το αντίστοιχο στοιχείο ατμοποιήσεως.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με το αν ανοίγουν ή αν κλείνουν όταν τροφοδοτούνται με ρεύμα στο πηνίο τους. Έτσι υπάρχουν:

- ***Κανονικά κλειστές βαλβίδες,*** που μένουν κλειστές, όταν ***δεν*** τροφοδοτούνται με ρεύμα.
- ***Κανονικά ανοικτές βαλβίδες,*** που μένουν ανοικτές, όταν ***δεν*** τροφοδοτούνται με ρεύμα.

Επίσης συχνά χρησιμοποιούνται και βαλβίδες ***πολλαπλού σκοπού,*** οι οποίες ανοίγουν ή κλείνουν ταυτόχρονα περισσότερους σωλήνες. Έτσι υπάρχουν τριοδικές ή τετραοδικές ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες κλπ.

Η μορφή μιας ηλεκτρομαγνητικής αποφρακτικής βαλβίδας, η οποία είναι κανονικά κλειστή, φαίνεται στο σχήμα 5.6γ. Στο πάνω μέρος είναι το πηνίο, που είναι τυλιγμένο γύρω από ένα κύλινδρο και είναι «φορετό», ώστε να μπορεί να αντικατασταθεί αν κάποτε καεί. Ο κυλινδρικός οπλισμός είναι κοίλος και περικλείει μέσα του το στέλεχος της βαλβίδας, που έχει κανονική κωνική διαμόρφωση στο κάτω άκρο. Έτσι ο μεν οπλισμός είναι από μαλακό σίδηρο, ώστε να έχει τις απαιτούμενες σιδηρομαγνητικές ιδιότητες, ενώ η βαλβίδα μπορεί να είναι από άλλο μέταλλο, κατάλληλο για να συνεργάζεται με το μέταλλο της έδρας της βαλβίδας. Εκτός απ' αυτό, η διαίρεση των κινουμένων μαζών σε δυο κομμάτια διευκολύνει το κλείσιμο αλλά και την ταχύτητα αντιδράσεως. Το κλείσιμο διευκολύνεται, γιατί πάνω στο στέλεχος της βαλβίδας κτυπάει καθώς κατεβαίνει ο οπλισμός σα σφυράκι και σφίγγει τον κώνο της βαλβίδας στην έδρα της. Το ίδιο κτύπημα γίνεται και για το άνοιγμα. Τέτοιες βαλβίδες λέγονται βαλβίδες ***σφύρας.***

Μια ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα με βαλβίδα-πιλότο φαίνεται στο σχέδιο του σχήματος 5.6δ. Το πηνίο δρα με το ηλεκτρομαγνητικό του πεδίο στον οπλισμό του, που μετακινεί το στέλεχος της βαλβίδας-πιλότου. Έτσι λειτουργεί (ανοίγει) η βαλβίδα από την έδρα της Α και έτσι επικοινωνεί η έξοδος της βαλβίδας με το επάνω μέρος της εμβολοβαλβίδας και γίνεται εξίσωση πιέσεως στους χώρους αυτούς. Τότε δρα η πίεση του ρευστού στην εισαγωγή της βαλβίδας που είναι υψηλότερη και ανυψώνει την εμβολοβαλβίδα. Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης δεν διαρρέεται από ρεύμα, τότε ο οπλισμός και το στέλεχος κινούνται λόγω του βάρους τους προς τα κάτω, κλείνει η βαλβίδα-πιλότος και συνεπώς και η εμβολοβαλβίδα. Στο κάτω μέρος του σώματος της βαλβίδας φαίνεται ένα στέλεχος με σπείρωμα και στυπιοθλίπτη. Αν αφαιρεθεί το κάλυμμά του και βιδωθεί το στέλεχος, τότε η εμβολοβαλβίδα ανοίγει χειροκίνητα. Η διάταξη αυτή είναι χρήσιμη για περιπτώσεις, όπου έχει κολλήσει το στέλεχος και ο οπλισμός του ηλεκτρομαγνήτη ή έχει καεί το πηνίο ή υπάρχει διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας και πρέπει να ανοίξει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα οπωσδήποτε.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που κλείνουν με τη βαρύτητα, πρέπει να είναι εγκατεστημένες ***σε οριζόντια τμήματα σωλήνων,*** δηλαδή ***με το πηνίο κατακόρυφο και πάνω από το σώμα της βαλβίδας έτσι ώστε να δρουν οι δυνάμεις της βαρύτητας.***

Για μεγαλύτερες ψυκτικές ισχείς, χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες με εξωτερικές βαλβίδες-πιλότους.

Οι ηλεκτρομαγνητικές αποφρακτικές βαλβίδες τύπου σφύρας απαιτούν για τη

λειτουργία τους ηλεκτρική τάση, που πρέπει να είναι οπωσδήποτε μεταξύ των ορίων + 10% και −15% της ονομαστικής τάσεως του πηνίου. Αν η τάση πέσει κάτω από αυτό το όριο και η βαλβίδα είναι «κανονικά κλειστή» τότε η βαλβίδα κινδυνεύει να παραμένει μεν κλειστή, αλλά με τροφοδοτημένο συνεχώς το πηνίο. Στην περίπτωση αυτή, αν το πηνίο είναι εναλλασσόμενου ρεύματος, θα καεί γιατί η θερμότητα λόγω των μαγνητικών απωλειών του μαγνητικού κυκλώματος είναι σημαντική. Ο κίνδυνος αυτός υπάρχει, γιατί η χαμηλή τάση δικτύου δεν επαρκεί να προκαλέσει την κίνηση της σφύρας και να ξανανοίξει την κλεισμένη βαλβίδα.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ψυκτικού μέσου χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις σε όλες τις θέσεις, όπου το ψυκτικό μέσο μπορεί να είναι υγρό, ψυχρός ατμός χαμηλής πιέσεως ή θερμός ατμός υψηλής πιέσεως. Ανάλογα με τη φάση του ψυκτικού μέσου πρέπει να εκλέγεται και η κατάλληλη βαλβίδα. Ο σκοπός που εξυπηρετούν οι ηλεκτρομαγνητικές αποφρακτικές βαλβίδες ποικίλλει. Συνηθισμένες εφαρμογές είναι οι εξής:

α) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες υγρού ψυκτικού μέσου.

Εγκαθίστανται πριν από την εκτονωτική βαλβίδα και ελέγχουν τη ροή του υγρού ψυκτικού μέσου, όταν απαιτείται:

- Πρόληψη υπερχειλίσεως του στοιχείου ατμοποιήσεως, όταν ο συμπιεστής είναι εκτός λειτουργίας (σχήμα 5.6α).
- Εξασφάλιση διαφορετικής θερμοκρασίας χώρου σε παράλληλους ψυχόμενους χώρους, που ελέγχονται από θερμοστάτες (σχήμα 5.6β).
- Έλεγχος παραλλήλων στοιχείων ατμοποιήσεως κλιματιστικών συσκευών μεταβλητού ψυκτικού φορτίου.

β) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ψυχρού ατμού χαμηλής πίεσεως.

Τοποθετούνται συνήθως ταυτόχρονα με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες υγρού ψυκτικού μέσου, ώστε να απομονώνονται και από τις δυο πλευρές τα διάφορα στοιχεία ατμοποιήσεως, όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις πολλαπλών παραλλήλων στοιχείων ατμοποιήσεως. Με την αμφίπλευρη απομόνωση των στοιχείων ατμοποιήσεως αποφεύγεται συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων ψυκτικού μέσου σε ανεπιθύμητες ή επικίνδυνες θέσεις.

γ) Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες θερμού ατμού υψηλής πιέσεως.

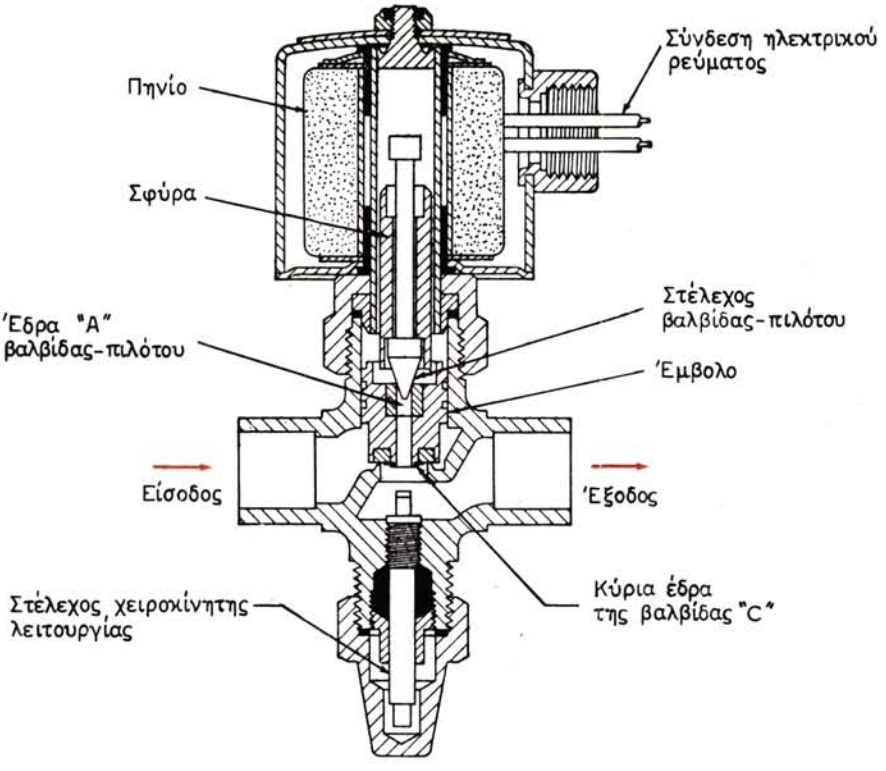
Φράζουν αγωγούς θερμού ατμού, οι οποίοι ανοίγουν μόνον όταν απαιτείται αποπάγωση στοιχείων ατμοποιήσεως, οπότε ο θερμός ατμός οδηγείται προς αυτά. Επίσης χρησιμοποιούνται σε διατάξεις ρυθμίσεως ψυκτικής ισχύος με τη μέθοδο της παρακάμψεως, όπως αναφέρθηκε ήδη (σχήμα 5.2ι).

Εκτός από ψυκτικό μέσο οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται και για νερό ή αέρα. Η μορφή και αυτών των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων είναι η ίδια περίπου με αυτές που ήδη περιγράφηκαν.

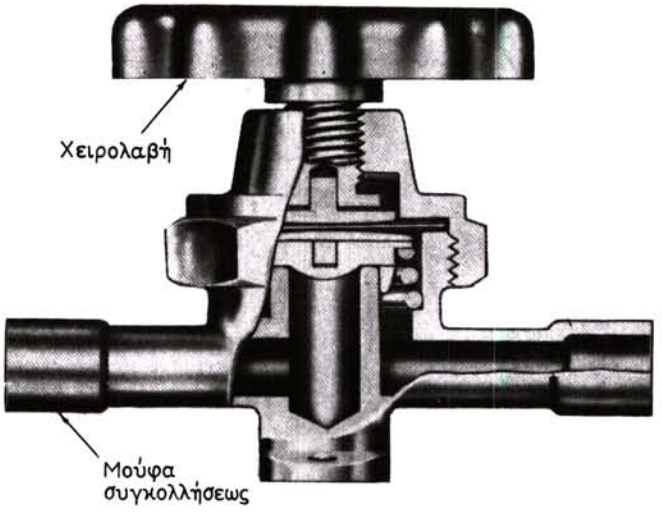
5.6.2 Χειροκίνητες αποφρακτικές βαλβίδες ψυκτικού μέσου.

Σε πολλές θέσεις των ψυκτικών κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται χειροκίνητες αποφρακτικές βαλβίδες, οι οποίες απομονώνουν διάφορα τμήματα, όταν απαιτείται συντήρηση ή επισκευή. Οι βαλβίδες αυτές είναι τύπου μεμβράνης για να εξασφαλίζεται στεγανότητα. Μια χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα φαίνεται στο σχήμα 5.6ε. Η μορφή των βαλβίδων αυτών είναι συνηθισμένη για ψυκτικά μέσα αλογο-

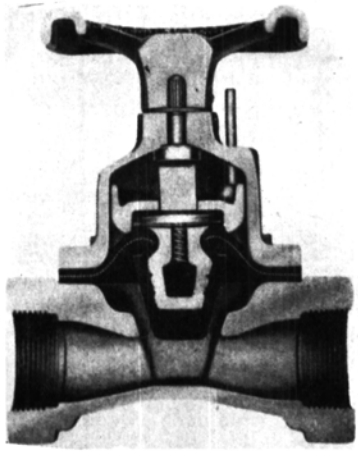
ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



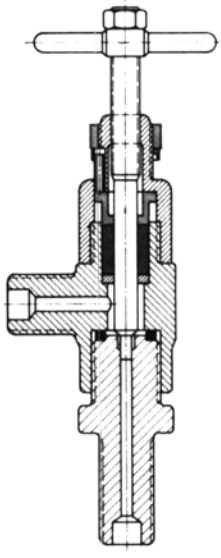
Σχ. 5.6δ.
Ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα με βαλβίδα-πιλότο και σφύρα.



Σχ. 5.6ε.
Χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα με μεμβράνη.



Σχ. 5.6στ.
Χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα με μεμβράνη από ενισχυμένο λάστιχο.



Σχ. 5.6ζ.
Χειροκίνητη αποφρακτική γωνιακή βελονόμορφη βαλβίδα για υψηλές πιέσεις.

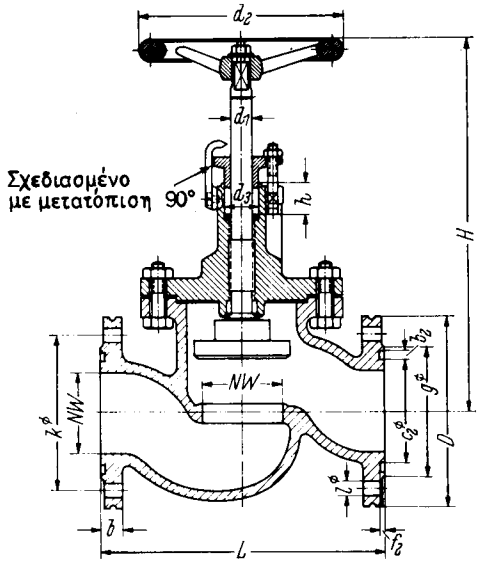
νομένων υδρογονανθράκων, ενώ για αμμωνία η μορφή είναι συνήθως διαφορετική. Η μεμβράνη στεγανοποιήσεως μπορεί να είναι μεταλλική ή από ελαστικό. Στο σχήμα 5.6στ φαίνεται μια βαλβίδα με μεμβράνη από ελαστικό, αλλά και με σύρτη που έχει επένδυση ελαστικού.

Για μεγαλύτερες πιέσεις χρησιμοποιούνται βελονόμορφες γωνιακές βαλβίδες, όπως αυτή στο σχήμα 5.6ζ.

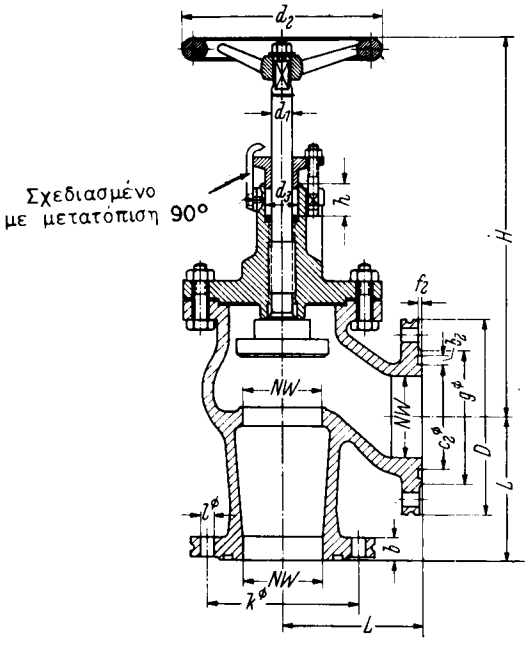
Οι κλασσικές αποφρακτικές βαλβίδες με στέλεχος και στυπιοθλίπτη, χρησιμοποιούνται και για τα ψυκτικά μέσα όταν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις. Στο σχήμα 5.6η φαίνεται η αντίστοιχη διαμόρφωση σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς, μιας ευθύγραμμης αποφρακτικής βαλβίδας, ενώ στο σχήμα 5.6θ η αντίστοιχη κατασκευή μιας χειροκίνητης αποφρακτικής βαλβίδας γωνιακού τύπου.

5.6.3 Βαλβίδες αντεπιστροφής ψυκτικού μέσου.

Οι βαλβίδες αντεπιστροφής εμποδίζουν τη ροή του ψυκτικού μέσου προς τη λανθασμένη κατεύθυνση και επιτρέπουν ροή μόνο προς την ορθή κατεύθυνση. Συνήθως οι βαλβίδες αντεπιστροφής ανοίγουν και κλείνουν μηχανικά, δηλαδή ο μηχανισμός τους ενεργοποιείται από τη διαφορά πιέσεως που επικρατεί μεταξύ εισόδου και εξόδου. Συγκεκριμένα οι βαλβίδες αντεπιστροφής ανοίγουν, όταν υπάρχει λίγο μεγαλύτερη πίεση στην είσοδο από ό,τι στην έξοδο και αφήνουν το ρευστό να κινείται προς τη σωστή κατεύθυνση. Όταν η διαθέσιμη πίεση είναι πολύ μικρή, τότε η βαλβίδα δεν μπορεί να ανοίξει και συνεπώς δε λειτουργεί ούτε



Σχ. 5.6η.
Ευθύγραμμη χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα.

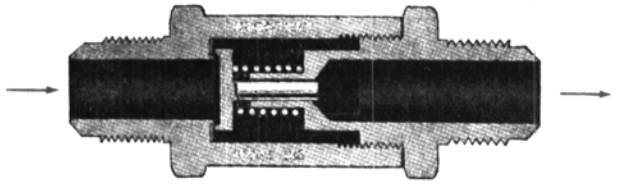


Σχ. 5.6θ.
Γωνιακή χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα.

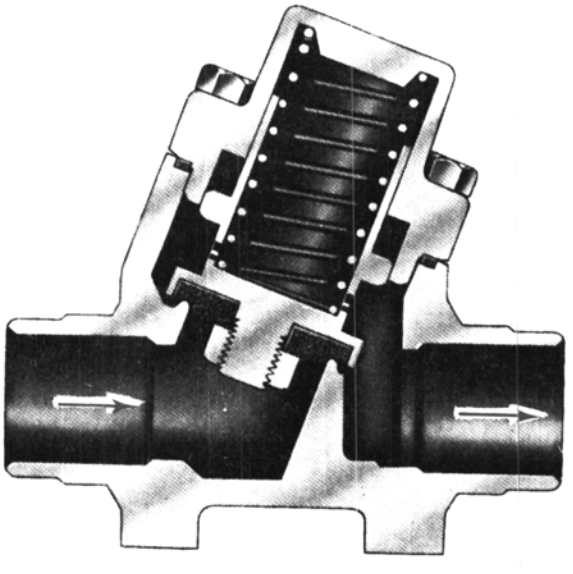
προς τη σωστή κατεύθυνση. Όταν η πίεση στην έξοδο γίνει μεγαλύτερη από ό,τι η πίεση στην είσοδο, τότε η βαλβίδα κλείνει εμποδίζοντας έτσι τη ροή του ρευστού κατά τη μη επιθυμητή κατεύθυνση.

Υπάρχουν δυο τύπων μηχανικές βαλβίδες αντεπιστροφής οι ***ευθύγραμμες*** και οι ***εμβολοφόρες.*** Στο σχήμα 5.6ι φαίνεται μια ευθύγραμμη βαλβίδα αντεπιστροφής, ενώ στο σχήμα 5.6ια μια εμβολοφόρα βαλβίδα αντεπιστροφής, με ολίσθηση σε κυλινδρικές επιφάνειες δυο διαφορετικών διαμέτρων για καλύτερη οδήγηση και έδραση της βαλβίδας. Η βαλβίδα αυτή χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις με μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ από ό,τι μια ευθύγραμμη.

Οι βαλβίδες αντεπιστροφής χρησιμοποιούνται σε διάφορες θέσεις της ψυκτικής εγκαταστάσεως, αλλά κυρίως στις εξής θέσεις:



Σχ. 5.6ι.
Ευθύγραμμη βαλβίδα αντεπιστροφής.



Σχ. 5.6ια.
Εμβολοφόρα βαλβίδα αντεπιστροφής.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

- Στον αγωγό υψηλής πιέσεως μεταξύ εξόδου συμπιεστή και εισόδου συμπυκνωτή, ώστε να αποφεύγεται αντίστροφη ροή, όταν ο συμπιεστής είναι εκτός λειτουργίας.
- Στον αγωγό υγρού ψυκτικού μέσου μεταξύ εξόδου συμπυκνωτή και διατάξεως στραγγαλισμού. Στη θέση αυτή χρησιμοποιείται σε αντλίες θερμότητας, για να προλαβαίνει αντίστροφη ροή μέσα από στραγγαλιστικές διατάξεις, που δεν χρησιμοποιούνται. Χρησιμοποιείται επίσης σε συνηθισμένες ψυκτικές διατάξεις, για να μη γίνεται αντίστροφη ροή κατά τη διάρκεια της περιόδου αποπαγώσεως, αν αυτή γίνεται με θερμό ατμό ψυκτικού μέσου.
- Στη γραμμή αναρροφήσεως (εξόδου) ενός στοιχείου ατμοποιήσεως χαμηλής πιέσεως, όταν υπάρχουν πολλά παράλληλα στοιχεία που απολήγουν σε κοινό αγωγό αναρροφήσεως του συμπιεστή.

5.6.4 Ασφαλιστικές βαλβίδες και βαλβίδες ανακουφίσεως του ψυκτικού μέσου.

Οι ***ασφαλιστικές*** βαλβίδες, που τοποθετούνται συνήθως στην περιοχή της υψηλής πιέσεως μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως, είναι μηχανικές βαλβίδες. Κατά την ομαλή λειτουργία της εγκαταστάσεως οι βαλβίδες αυτές παραμένουν κλειστές. Όταν η πίεση στο σημείο της εγκαταστάσεως που προστατεύουν υπερβεί το προκαθορισμένο όριο, τότε ανοίγουν και επιτρέπουν σε μέρος της ποσότητας του ψυκτικού μέσου ή και σε όλη την ποσότητά του να εκτονωθεί είτε προς την ατμόσφαιρα είτε σε κάποια περιοχή της χαμηλής πιέσεως της εγκαταστάσεως.

Οι βαλβίδες ***ανακουφίσεως*** τοποθετούνται σε σημεία της ψυκτικής εγκαταστάσεως στην περιοχή της υψηλής πιέσεως και έχουν ως σκοπό να διατηρούν την πίεση σε τιμές μικρότερες από την ονομαστική τους τιμή. Αυτό επιτυγχάνεται με το άνοιγμα της βαλβίδας, όταν η πίεση υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο, και την ανακούφιση της πιέσεως με εκτόνωση του ψυκτικού μέσου προς κάποια άλλη θέση της εγκαταστάσεως στην περιοχή της χαμηλής πιέσεως. Στη συνέχεια, όταν η πίεση επανέλθει σε επιτρεπτά όρια, η βαλβίδα ανακουφίσεως κλείνει οπότε εξασφαλίζεται ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

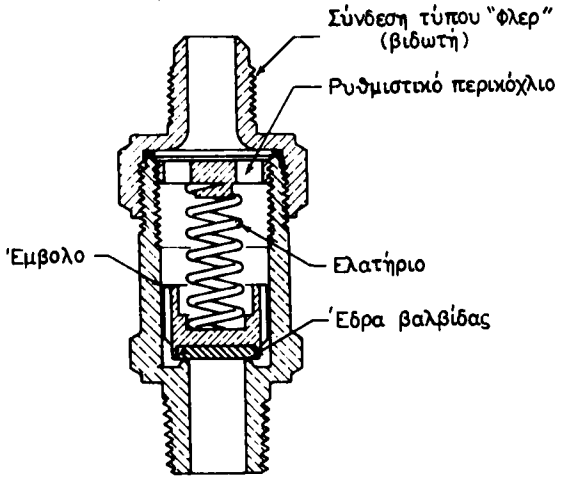
Στην ουσία δηλαδή οι ανακουφιστικές βαλβίδες ***ρυθμίζουν*** ώστε η πίεση να μην υπερβαίνει το άνω όριό της ενώ αντίθετα οι ασφαλιστικές βαλβίδες ***προστατεύουν*** την εγκατάσταση από τις υπερπιέσεις. Είναι φανερό ότι οι ανακουφιστικές βαλβίδες δρουν ενδεχομένως ***συνεχώς*** κατά τη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως, ενώ οι ασφαλιστικές δρουν όταν απαιτείται ***μία μόνο φορά*** και προστατεύουν την εγκατάσταση ενώ διακόπτεται ταυτόχρονα η λειτουργία της.

Οι ασφαλιστικές βαλβίδες, που είναι γνωστές και ως ***ασφαλιστικά υπερπιέσεως*** κατασκευάζονται συνήθως σε δυο τύπους:

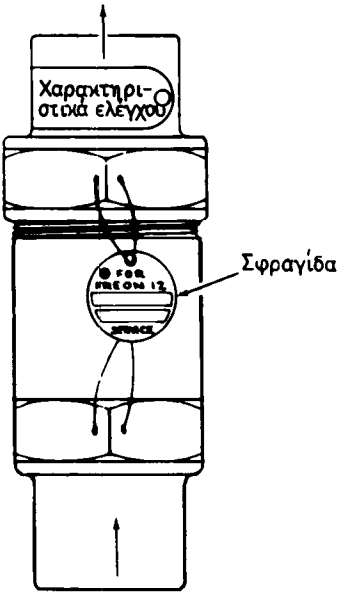
- Με ελατήριο.
- Με μεμβράνη.

Στον τύπο με ελατήριο η βαλβίδα συγκρατείται κλειστή κατά την ομαλή λειτουργία της εγκαταστάσεως με ελατήριο.

Οταν η πίεση αυξηθεί περισσότερο από το επιτρεπόμενο όριο, το ελατήριο συμπιέζεται, η βαλβίδα ανοίγει και επιτρέπει την εκτόνωση του ρευστού. Στις βαλβίδες τύπου μεμβράνης, η μεταλλική μεμβράνη σπάζει όταν η πίεση υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο και έτσι εκτονώνεται το ρευστό. Είναι φανερό ότι οι βαλβίδες με μεμ-



Σχ. 5.6ιβ.
Ευθύγραμμο ασφαλιστικό υπερπιέσεως.



Σχ. 5.6ιγ.
Ρυθμιζόμενο ασφαλιστικό υπερπιέσεως σφραγισμένο.

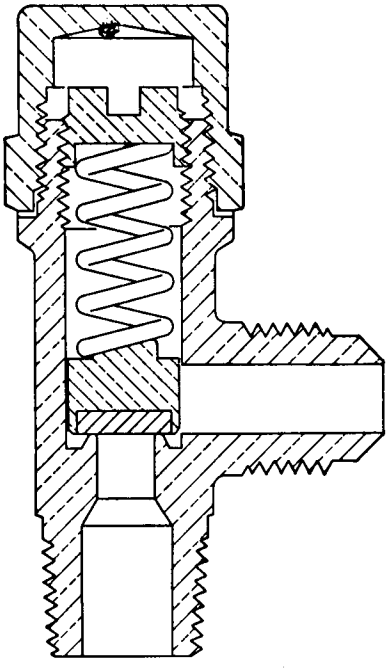
βράνη είναι ασφαλιστικά υπερπιέσεως για μια μόνο χρήση.

Τα ασφαλιστικά υπερπιέσεως με ελατήριο είναι δυο κυρίως τύπων, δηλαδή ευθύγραμμα και γωνιακά. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, που πρέπει να εξυπηρετηθούν, υπάρχουν απλούστερες αλλά και πιο σύνθετες κατασκευές.

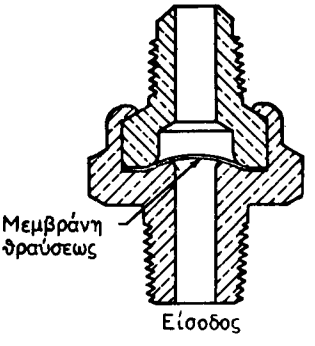
Στο σχήμα 5.6ιβ φαίνεται σε τομή ένα ευθύγραμμο ασφαλιστικό υπερπιέσεως με έδρα βαλβίδας μεταλλική και εμβολοβαλβίδα, που έχει δίσκο ελαστικό, πλαστικό ή από κάποιο μαλακό κράμα μολύβδου ή από συνθετικό λάστιχο. Τα δυο τελευταία υλικά είναι κατάλληλα, ώστε η βαλβίδα να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί όταν λειτουργήσει μια φορά. Η βαλβίδα του σχήματος 5.6ιβ έχει ένα περικόχλιο στο επάνω μέρος της, με το οποίο ρυθμίζεται η δύναμη του ελατηρίου και συνεπώς και η πίεση στην οποία λειτουργεί η βαλβίδα. Μετά την κατάλληλη ρύθμιση η βαλβίδα σφραγίζεται, ώστε να μη μπορεί να γίνει λάθος ρύθμιση. Το σφράγισμα με σύρμα και κατάλληλη μολυβένια ή παρόμοιου τύπου σφραγίδα γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6ιγ.

Μια κατασκευή ασφαλιστικού υπερπιέσεως γωνιακού τύπου φαίνεται στο σχήμα 5.6ιδ. Και αυτό είναι ρυθμιζόμενο και φαίνεται στο πάνω μέρος του το κατάλληλο περικόχλιο, που προκαλεί την προένταση του ελατηρίου.

Τα ασφαλιστικά υπερπιέσεως με ελατήριο πρέπει να είναι έτσι κατασκευασμένα, ώστε να μετακινούνται ***απότομα*** από την κλειστή στην ανοικτή θέση χωρίς να μένουν σε ενδιάμεσες θέσεις. Έτσι εξασφαλίζεται η μεγάλη παροχή εκροής ψυκτι-



Σχ. 5.6ιδ.
Ρυθμιζόμενο ασφαλιστικό υπερπιέσεως γωνιακού τύπου.

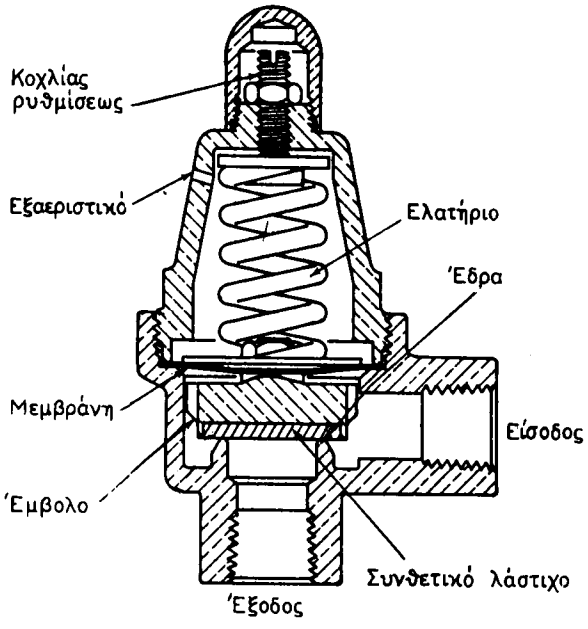


Σχ. 5.6ιε.
Ασφαλιστικό υπερπιέσεως με μεμβράνη θραύσεως.

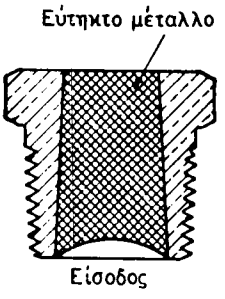
κού μέσου, που είναι αναγκαία για να πέσει ξανά η πίεση που είχε αυξηθεί.

Τα ασφαλιστικά υπερπιέσεως με μεμβράνες θραύσεως εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ασφάλεια από αυτήν που εξασφαλίζουν τα ασφαλιστικά με ελατήριο, επειδή υπάρχει πάντοτε ο φόβος, σε κρίσιμες στιγμές πυρκαϊάς κλπ. να αστοχήσουν οι ασφαλιστικές βαλβίδες ελατηρίου. Ένα είδος ασφαλιστικού υπερπιέσεως με μεμβράνη φαίνεται στο σχήμα 5.6ιε. Η μεμβράνη έχει ήδη μια κάμψη, ώστε να είναι πιο καθορισμένος ο τρόπος θραύσεως. Υπάρχουν και άλλου τύπου ασφαλιστικά υπερπιέσεως με επίπεδες μεμβράνες θραύσεως.

Οι βαλβίδες ***ανακουφίσεως*** έχουν, για λόγους στεγανότητας, μια μεμβράνη που διαχωρίζει το χώρο βαλβίδας - έδρας από το χώρο του ελατηρίου και του ρυθμιστικού κοχλία προεντάσεως. Μια κατασκευή αυτού του είδους φαίνεται στο σχήμα 5.6ιστ. Στο επάνω μέρος της μεμβράνης στεγανότητας δρα η ατμοσφαιρική πίεση και η δύναμη του ελατηρίου προεντάσεως, ενώ στο κάτω η πίεση του ψυκτικού μέσου. Η διαδρομή των βαλβίδων αυτών είναι σχετικά μικρή και δε μπορούν να δώσουν μεγάλες παροχές ψυκτικού μέσου. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις οι βαλβίδες αυτές χρησιμοποιούνται σαν βαλβίδες - πιλότοι που ελέγχουν τις κύριες βαλβίδες της μεγάλης παροχής.



Σχ. 5.6ιστ.
Βαλβίδα ανακουφίσεως με μεμβράνη.



Σχ. 5.6ιζ.
Τηκτικό ασφαλιστικό υπερθερμοκρασίας.

Στις ασφαλιστικές διατάξεις υπερπιέσεως ψυκτικού μέσου υπάγονται και τα τηκτικά ασφαλιστικά υπερθερμοκρασίας. Έχουν σκοπό την απελευθέρωση του ψυκτικού μέσου από τα δοχεία και τους χώρους της ψυκτικής εγκαταστάσεως όταν εμφανισθεί πυρκαϊά. Αν δεν υπάρχουν τα ασφαλιστικά αυτά, τότε μπορεί να αναπτυχθούν υπερβολικές πιέσεις, και να προκληθούν εκρήξεις δοχείων, σωλήνων και άλλων στοιχείων της ψυκτικής εγκαταστάσεως. Βέβαια η εοκατάσταση έχει τα ασφαλιστικά υπερπιέσεως, αλλά αν η πυρκαϊά καταστρέψει πρώτα τους χώρους όπου είναι τοποθετημένα αυτά, ενδεχομένως να μην λειτουργήσουν. Σε ψυκτικές συσκευές με μικρό όγκο δεν υπάρχουν καθόλου ασφαλιστικά υπερπιέσεως.

Τα τηκτικά υπερθερμοκρασίας έχουν ένα πώμα από εύτηκτο μίγμα που λιώνει μόλις η θερμοκρασία του γίνει ίση με τη θερμοκρασία τήξεως. Η μορφή του πώματος είναι κωνική, ώστε η πίεση του ψυκτικού μέσου να μην ωθεί το πώμα προς τα έξω, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6ιζ. Η εγκατάστασή τους είναι υποχρεωτική σε ορισμένες χώρες, όταν ο εσωτερικός όγκος της συσκευής, τον οποίο καταλαμβάνει το ψυκτικό μέσο, είναι μικρότερος από 3 κυβικά πόδια.

5.7 Ειδικά εξαρτήματα προστασίας.

5.7.1 Παγίδες σταγόνων ψυκτικού μέσου.

Οι εμβολοφόροι συμπιεστές παθαίνουν σημαντικές βλάβες από τις σταγόνες του υγρού ψυκτικού μέσου, που αναρροφώνται από το συμπιεστή. Από θερμοδυναμική άποψη, όταν ο ατμός που φθάνει στην αναρρόφηση του συμπιεστή είναι υπέρθερμος, δεν μπορεί να έχει μέσα του σταγόνες. Επειδή όμως η ταχύτητα του ατμού είναι σχετικά μεγάλη, μπορεί να συμπαρασύρει ***μηχανικά*** σταγόνες υγρού, ιδίως μάλιστα όταν η ατμοποίηση είναι έντονη και υπάρχει μίγμα υγρού - ατμού ψυκτικού μέσου σε στενά περάσματα του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Ο κίνδυνος αναρροφήσεως σταγόνων είναι πιο μεγάλος τις στιγμές που το ψυκτικό φορτίο αλλάζει γρήγορα ή αποπαγώνει το στοιχείο ατμοποιήσεως με μεταγωγή του θερμού ατμού. Τις στιγμές αυτές μπορεί να φθάσουν στο συμπιεστή όχι μόνο σταγόνες, αλλά και μεγαλύτερες ποσότητες υγρού ψυκτικού μέσου λόγω των αιφνιδίων μικρομεταβολών στην πίεση του στοιχείου ατμοποιήσεως.

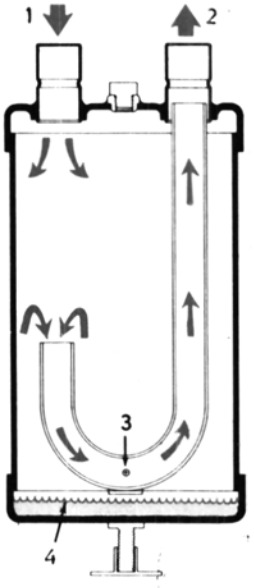
Για να προστατευθούν οι συμπιεστές, εκτός από τα κατασκευαστικά μέτρα που έχουν ληφθεί στον ίδιο το συμπιεστή, όπως π.χ. η στήριξη της κεφαλής των κυλίνδρων με ελατήρια που απορροφούν τις κρούσεις, εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, που προσπαθούν είτε να ατμοποιήσουν το υγρό ψυκτικό μέσο είτε να το συγκρατήσουν κάπου μηχανικά. Η ατμοποίηση των σταγόνων του υγρού ψυκτικού μέσου γίνεται φυσικά με πρόσδοση θερμότητας. Η θερμότητα αυτή προσάγεται με διάφορους τρόπους μερικοί από τους οποίους είναι:έγχυση υπέρθερμου ατμού από την έξοδο του συμπιεστή στην αναρρόφηση, ηλεκτρική θέρμανση του ατμού στην αναρρόφηση, συναλλαγή θερμότητας μεταξύ υπέρθερμου ατμού υψηλής πιέσεως και ατμού χαμηλής πιέσεως στην αναρρόφηση κλπ.

Η μηχανική συγκράτηση του υγρού ψυκτικού μέσου πριν από την αναρρόφηση του συμπιεστή, περιλαμβάνει ουσιαστικά δυο λειτουργίες: πρώτα το διαχωρισμό της υγρής από την ατμώδη φάση, και ύστερα την ατμοποίηση του υγρού.

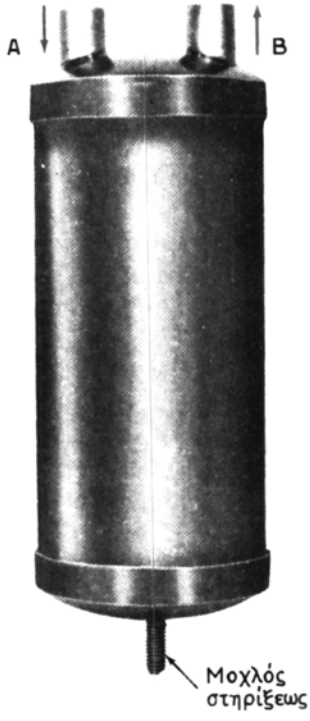
Στις μικρές εγκαταστάσεις, πριν από το συμπιεστή τοποθετείται ένα δοχείο μεγάλης διαμέτρου, μέσα από το οποίο ο ατμός κινείται με μικρή ταχύτητα και έτσι δίνεται ο χρόνος στις σταγόνες να πέσουν και να αποχωρισθούν από τον ατμό λόγω βαρύτητας. Το δοχείο αυτό χρησιμεύει ταυτόχρονα και ως αποθήκη υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο αποσβένει τις αυξομειώσεις υγρού ψυκτικού μέσου που εμφανίζονται μέσα στην εγκατάσταση.

Μια σχηματική παράσταση διατάξεως του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.7α. Καθώς το μίγμα ατμού - σταγόνων μπαίνει από τη θέση (1), αποκτά μικρή ταχύτητα λόγω της μεγάλης διαμέτρου του δοχείου και οι σταγόνες έχουν χρόνο να κατακαθίσουν στον πυθμένα του δοχείου. Το υγρό ψυκτικό μέσο που συσσωρεύεται στον πυθμένα, παραμένει στη θέση αυτή μέχρις ότου σε κάποια φάση της λειτουργίας μπορέσει να ατμοποιηθεί ώστε να αναρροφηθεί κανονικά ως ατμός, από το συμπιεστή.

Μαζί με το υγρό ψυκτικό μέσο παρασύρεται και λάδι λιπάνσεως το οποίο δεν ατμοποιείται· για να μη παραμένει το λάδι αυτό μονίμως στο δοχείο, το κάτω μέρος του σωλήνα αναρροφήσεως διαμορφώνεται σε μορφή φουρκέτας και έχει μια μικρή τρύπα στη θέση (3). Από την τρύπα αυτή μπορεί να μπει το λάδι στο σωλήνα



Σχ. 5.7α.
Παγίδα σταγόνων ψυκτικού μέσου. 1. Είσοδος ατμού-σταγόνων. 2. Έξοδος ατμού. 3. Οπή αναρροφήσεως επιστροφής λαδιού. 4. Παγιδευμένο υγρό ψυκτικό μέσο που περιμένει να ατμοποιηθεί.



Σχ. 5.7β.
Παγίδα σταγόνων υγρού ψυκτικού μέσου.

αναρροφήσεως και να ξαναέλθει στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή. Το ύψος της οπής (3) και οι διαστάσεις του δοχείου καθορίζουν την ποσότητα του υγρού ψυκτικού μέσου, που μπορεί να συγκρατηθεί και να αποθηκευθεί στη θέση αυτή. Η εξωτερική μορφή μιας παγίδας σταγόνων του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.7β. Η εικόνα αυτή αντιστοιχεί σε κατασκευή σαν αυτή που φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα 5.7α.

Στις μεγαλύτερες ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται μερικές φορές διάφορα είδη ***κυκλώνων***, δηλαδή δοχείων τα οποία προσδίδουν περιστροφική κίνηση στον ατμό και έτσι επιτυγχάνουν φυγοκεντρικό διαχωρισμό των σταγόνων.

Οι παγίδες σταγόνων ψυκτικού μέσου τοποθετούνται στην αναρρόφηση του συμπιεστή, ενώ στην έξοδο του συμπιεστή τοποθετείται ένα άλλο δοχείο, που είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε να διαχωρίζει τις σταγόνες του λαδιού λιπάνσεως από τον υπέρθερμο ατμό που τις συμπαρασύρει. Το δοχείο αυτό, ο διαχωριστήρας

λαδιού, είναι και αυτό μια παγίδα σταγόνων, που θα εξετάσομε στην επόμενη παράγραφο. Στην περίπτωση όμως αυτή οι σταγόνες είναι από λάδι. Τόσο οι παγίδες υγρού ψυκτικού μέσου όσο και οι διαχωριστήρες λαδιού, ξεχωρίζουν σταγόνες μέχρι κάποιας διαμέτρου, η οποία είναι το όριο διαχωρισμού. Οι μικρότερες σταγόνες ψυκτικού ή λαδιού συμπαρασύρονται με τον ατμό του ψυκτικού μέσου.

5.7.2 Ελαιοδιαχωριστήρες.

Ο μηχανικός διαχωρισμός των σταγόνων του λαδιού, από τον υπέρθερμο ατμό υψηλής πιέσεως που φεύγει από το συμπιεστή γίνεται με τη βαρύτητα, δηλαδή με την ελεύθερη πτώση των σταγόνων μέσα από τον ατμό του ψυκτικού μέσου. Και εδώ απαιτείται μικρή ταχύτητα κινήσεως του ατμού του ψυκτικού μέσου, ώστε να προλαβαίνουν οι σταγόνες του λαδιού να κατακαθίσουν.

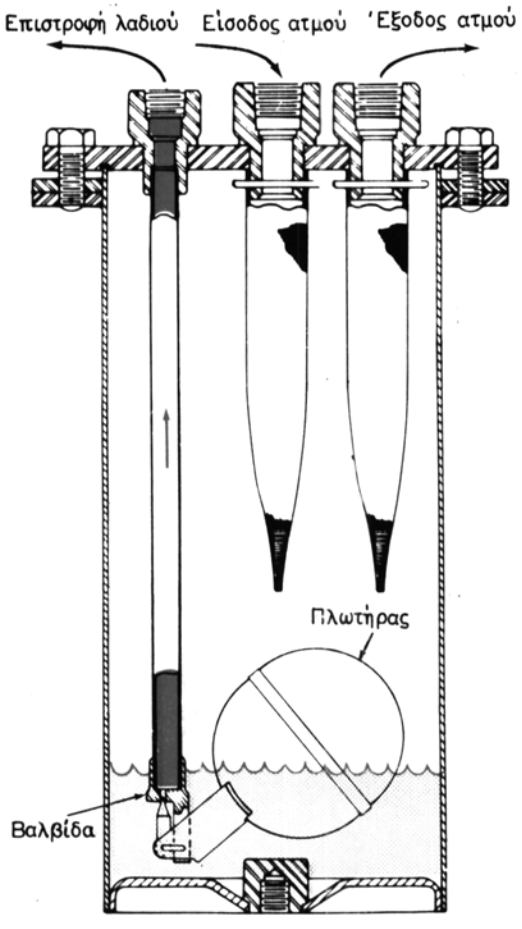
Εκτός όμως από τη μέθοδο αυτή πολλές φορές χρησιμοποιούνται και μηχανικά πλέγματα με μικρά ανοίγματα, τα οποία λειτουργούν σα φίλτρα και συγκρατούν τις σταγόνες λαδιού.

Το λάδι, που σιγά-σιγά συγκεντρώνεται στον πυθμένα των ελαιοδιαχωριστήρων, πρέπει να επιστρέφει στη φυσιολογική του θέση, δηλαδή στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή. Συνήθως η επιστροφή αυτή επιτυγχάνεται με τη διαφορά πιέσεως που επικρατεί μεταξύ εξόδου και αναρροφήσεως του συμπιεστή· δηλαδή ο ελαιοδιαχωριστήρας συνδέεται με ένα σωλήνα προς κάποιο κατάλληλο τμήμα του συμπιεστή, όπου επικρατεί χαμηλή πίεση. Για να μην υπάρχει όμως βραχυκύκλωμα και περνάει συνεχώς και ατμός υψηλής πιέσεως προς την αναρρόφηση του συμπιεστή, τοποθετείται μια βαλβίδα κατάλληλου τύπου. Συνήθως για τη λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται μια βαλβίδα πλωτήρα, η οποία αφήνει το λάδι να επιστρέφει όταν έχει συγκεντρωθεί μια ποσότητα λαδιού ικανή να ενεργοποιήσει τον πλωτήρα, ώστε να ανοίξει η βαλβίδα.

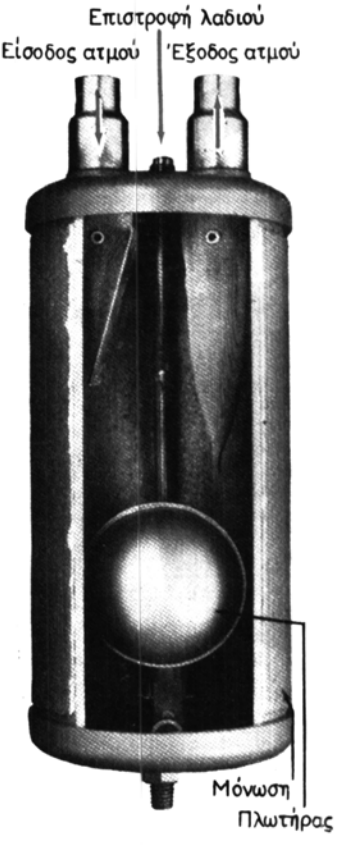
Η αρχή λειτουργίας και η σχηματική παράσταση των ελαιοδιαχωριστήρων αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 5.7γ. Στα στόμια εισόδου και εξόδου του ατμού, μέσα στον ελαιοδιαχωριστήρα, υπάρχουν σακόφιλτρα μεταλλικά τα οποία συγκρατούν τις μεγαλύτερες σταγόνες λαδιού. Οι πιο μικρές πέφτουν λόγω βαρύτητας, ενώ οι πολύ μικρές παρασύρονται μαζί με τον ατμό προς το συμπυκνωτή και την υπόλοιπη εγκατάσταση. Στο κάτω μέρος του σχήματος διακρίνεται ο πλωτήρας και η βαλβίδα, την οποία ελέγχει, το κάτω μέρος του σωλήνα επιστροφής του λαδιού. Σε άλλους τύπους ελαιοδιαχωριετήρων ο σωλήνας επιστροφής λαδιού βρίσκεται στο κάτω μέρος του δοχείου. Η διάταξη αυτή είναι ίσως καλύτερη για τη ροή του λαδιού αλλά παρουσιάζει δυσκολίες στην τοποθέτηση του ελαιοδιαχωριστήρα, γιατί πρέπει να εγκατασταθεί υπερυψωμένα, ώστε να υπάρχει χώρος για σύνδεση και στο κάτω μέρος του πυθμένα.

Η εικόνα ενός ελαιοδιαχωριστήρα, φαίνεται στο σχήμα 5.7δ. Διακρίνονται τα στόμια των σωλήνων προσαγωγής και απαγωγής ατμού ψυκτικού μέσου, τα μικρά μεταλλικά σακόφιλτρα, στο πάνω μέρος του ελαιοδιαχωριστήρα, ενώ κάτω φαίνεται ο πλωτήρας που ελέγχει τη βαλβίδα. Ο σωλήνας επιστροφής του λαδιού είναι στον άξονα του κυλινδρικού δοχείου και το στόμιό του φαίνεται στο μέσο του επάνω καλύμματος του ελαιοδιαχωριστήρα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 5.7γ.
Ελαιοδιαχωριστήρας πλωτήρα με σακόφιλτρα.



Σχ. 5.7δ.
Ελαιοδιαχωριστήρας πλωτήρα.

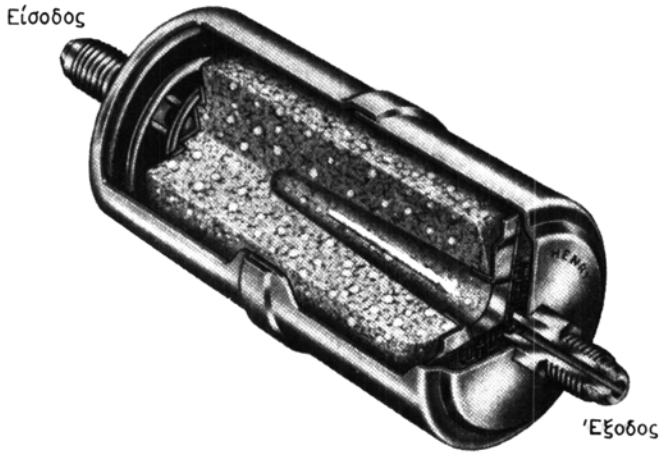
5.7.3 Φίλτρα - ξηραντήρες ψυκτικού μέσου.

Οι λειτουργίες των φίλτρων και των ξηραντήρων είναι τελείως διαφορετικές. Τα φίλτρα έχουν ως αποστολή να συγκρατούν τα ***στερεά*** σωματίδια που κυκλοφορούν με το ψυκτικό μέσο, και να αποτρέπουν έτσι φθορές και βλάβες στο συμπιεστή και στην εκτονωτική βαλβίδα ή τις άλλες βαλβίδες του κυκλώματος. Οι ξηραντήρες πρέπει να διαχωρίζουν και να συγκρατούν τα ίχνη του υδρατμού ή νερού που εμφανίζονται μέσα στο ψυκτικό μέσο.

Πολλές φορές οι δυο αυτές διαφορετικές λειτουργίες συνδυάζονται σ' ένα κέλυφος, που περιέχει το φίλτρο - ξηραντήρα. Ο φιλτροξηραντήρας μπορεί να τοπο-

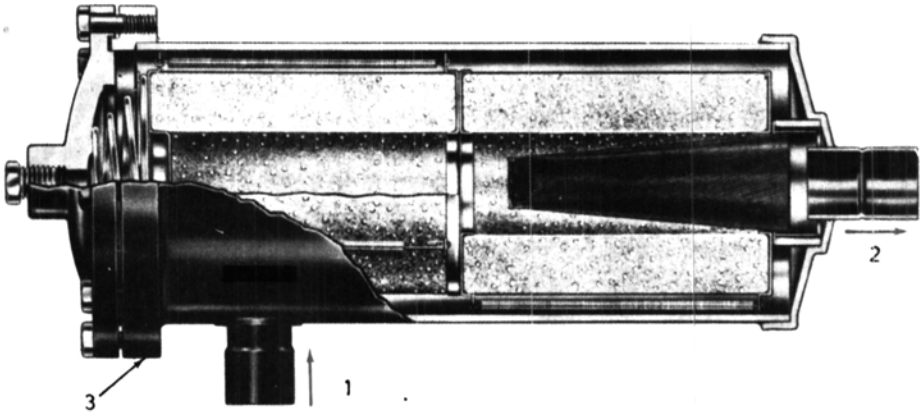
θετηθεί στη σωλήνωση του υγρού ψυκτικού μέσου ή στην αναρρόφηση του συμπιεστή, όπου κυκλοφορεί ο ατμός.

Για τις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις ο φιλτροξηραντήρας έχει μόνιμη γόμωση, δηλαδή ένα στοιχείο πορώδες που δεν αντικαθίσταται. Αυτό συμβαίνει γιατί η ποσότητα του ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στις μικρές εγκαταστάσεις είναι σχετικά μικρή και έτσι η γόμωση του φίλτρου επαρκεί για τη λειτουργία του για πολλά χρόνια. Η τομή ενός φιλτροξηραντήρα του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.7ε. Στα δυο άκρα του στοιχείου υπάρχουν πλέγματα και φίλτρα, ενώ ο κορμός περιλαμβάνει το ενεργό υλικό που συγκρατεί την υγρασία. Συνήθως χρησιμοποιούνται δυο ειδών ενεργά υλικά, γιατί άλλο είναι κατάλληλο για μικρές συγκεντρώσεις υγρασίας και άλλο για μεγαλύτερες. Τα ενεργά υλικά που περιέχονται στους φιλτροξηραντήρες είναι ως επί το πλείστον αλουμίνα (οξείδιο του αλουμινίου) και σίλικα-γκελ (οξείδιο του πυριτίου).

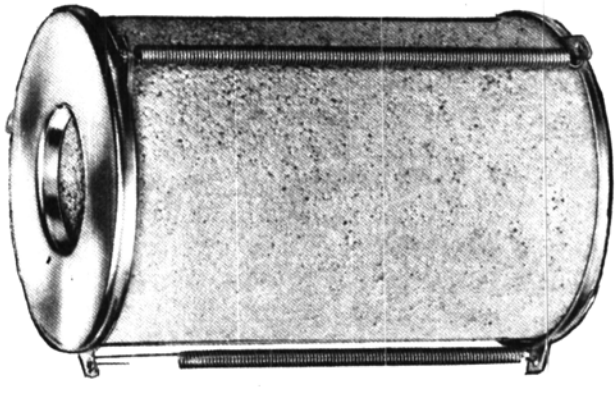


Σχ. 5.7ε.
Φιλτροξηραντήρας με στοιχείο που δεν αντικαθίσταται.

Υπάρχουν βέβαια και φιλτροξηραντήρες με στοιχεία που αντικαθίστανται. Στο σχήμα 5.7στ φαίνεται ένας φιλτροξηραντήρας του τύπου αυτού. Στο αριστερό μέρος διακρίνεται το αφαιρετό πώμα, που ανοίγει και επιτρέπει την αντικατάσταση του στοιχείου του φιλτροξηραντήρα. Ο τύπος αυτός έχει διπλό στοιχείο για να παρουσιάζει μεγαλύτερη επιφάνεια και συνεπώς μικρότερη πτώση πιέσεως κατά τη λειτουργία του. Στην εικόνα του σχήματος 5.7ζ φαίνεται ένα από τα στοιχεία του φιλτροξηραντήρα του σχήματος 5.7στ, το οποίο αντικαθίσταται, όταν πλέον έχει κορεσθεί.



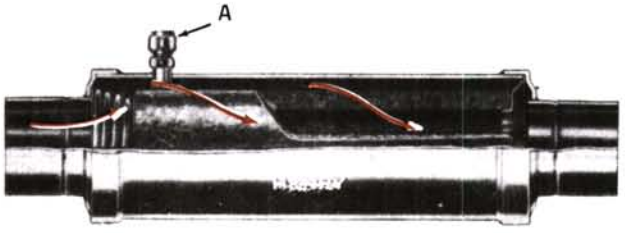
Σχ. 5.7στ.
Φιλτροξηραντήρας με αφαιρετό διπλό στοιχείο.
1. Είσοδος ψυκτικού μέσου. 2. Έξοδος ψυκτικού μέσου. 3. Αφαιρετό πώμα.



Σχ. 5.7ζ.
Στοιχείο φιλτροξηραντήρα.

Εκτός από τους φιλτροξηραντήρες υγρού ψυκτικού μέσου, που αναφέρθηκαν ήδη, αρκετές φορές χρησιμοποιούνται φιλτροξηραντήρες και για τον ατμό του ψυκτικού μέσου που τοποθετούνται στη χαμηλή πίεση πριν από την αναρρόφηση του συμπιεστή. Ένας φιλτροξηραντήρας του τύπου αυτού φαίνεται στο σχήμα 5.7η. Η βασική διαμόρφωσή του δεν διαφέρει από τους αντίστοιχους φιλτροξηραντήρες υγρού. Η κύρια διαφορά βρίσκεται στην κατασκευή του στοιχείου του, που είναι κατάλληλο για να επεξεργάζεται ατμό ψυκτικού μέσου και όχι υγρό.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 5.7η.
Φιλτροξηραντήρας ατμού ψυκτικού μέσου (Α: θέση συνδέσεως μανομέτρου).

Η κατάσταση του φιλτροξηραντήρα και του ψυκτικού μέσου ελέγχονται με δυο τρόπους: Κατά τον ένα τρόπο ελέγχεται η περιεκτικότητα σε υγρασία του υγρού ψυκτικού μέσου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλοι δείκτες υγρασίας, οι οποίοι αλλάζουν χρώμα, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία του ψυκτικού μέσου.

Κατά το δεύτερο τρόπο ελέγχεται η μηχανική κατάσταση του φιλτροξηραντήρα, δηλαδή η πτώση πιέσεως που προκαλεί κατά τη λειτουργία του. Στο σχήμα 5.7η στο επάνω αριστερό μέρος του κελύφους του φιλτροξηραντήρα υπάρχει το στόμιο Α, πάνω στο οποίο συνδέεται περιοδικά το μανόμετρο, με το οποίο προσδιορίζεται η πτώση πιέσεως του φίλτρου. Η μέτρηση της πιέσεως στη θέση αυτή σε σύγκριση με την πίεση που μετράται σε θέση του κυκλώματος μετά από το φιλτροξηραντήρα καθορίζουν την πτώση πιέσεως.

Οι τιμές της πτώσεως πιέσεως που θεωρούνται αποδεκτές σε συνηθισμένες εφαρμογές φιλτροξηραντήρων για αλογονομένα ψυκτικά μέσα φαίνονται στον πίνακα 5.7.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7.1.
Αποδεκτή πτώση πιέσεως σε φιλτροξηραντήρες ατμού (psi).

Ψυκτικό μέσο	Θερμοκρασία ατμοποιήσεως		
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
R12 και R500	2	6	8
R22 και R502	3	9	14

Η πτώση πιέσεως εξαρτάται από τη σύσταση του μέσου ξηράνσεως και από τη δομή του. Αρκετά υλικά είναι κατάλληλα για το σκοπό αυτό, παρόλο ότι υπάρχουν σημαντικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται.

Ένας σύντομος κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιούνται στους φιλτροξηραντήρες δίνεται στον πίνακα 5.7.2. Μερικά από τα υλικά του πίνακα αυτού, παρ' ότι αναφέρονται με κατάλληλες ιδιότητες, εντούτοις δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη, γιατί εμφανίζουν διάφορα προβλήματα. Για παράδειγμα το οξείδιο του βαρίου (BaO) και το υπερχλωρικό μαγνήσιο $Mg(ClO_4)_2$ μπορεί να προκαλέσουν εκρήξεις λόγω της επιδράσεώς τους με το λάδι λιπάνσεως. Ο κίνδυνος αυτός είναι μεγαλύτερος κατά την αποσυναρμολόγηση των φιλτροξηραντήρων που έχουν το υλικό αυτό.

Τα μοριακά φίλτρα, που αναφέρονται στον πίνακα αυτόν, είναι ενώσεις με μόρια κατάλληλης στερεοχημικής δομής που συγκρατούν ισχυρά τα μόρια του νερού, και τα απομακρύνουν από το ψυκτικό μέεο. Η απομάκρυνση όμως αυτή γίνεται με στρώματα μονομοριακά, δηλαδή τα μοριακά φίλτρα είναι μεν πολύ δραστικά, αλλά συγκρατούν περιορισμένες ποσότητες μορίων νερού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7.2.
Δυνατότητες διαφόρων μέσων ξηράνσεως υγρού και ατμού ψυκτικών μέσων.

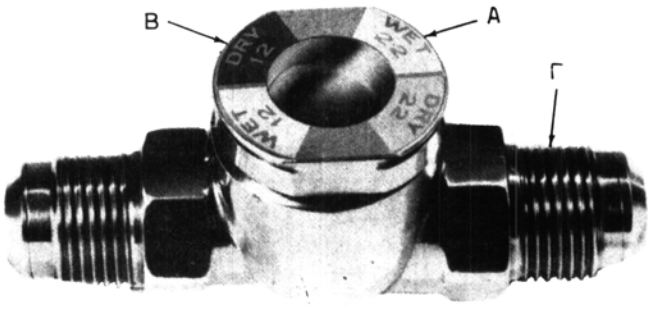
Υλικό ξηραντήρα	Ατμός ψυκτικού μέσου	Υγρό ψυκτικό μέσο
Οξείδιο πυριτίου, μπλε	Όλα τα ψυκτικά μέσα	Όλα τα ψυκτικά μέσα
Οξείδιο αλουμινίου Al_2O_3	Όλα τα ψυκτικά μέσα	Όλα τα ψυκτικά μέσα
Ενεργός άνθρακας ως πρόσθετο	Όλα τα ψυκτικά μέσα	Όλα τα ψυκτικά μέσα
Πεντοξείδιο φωσφόρου (P_2O_5)	Όλα πλην NH_3. Με προσοχή όμως.	Όλα πλην NH_3
CaO ως πρόσθετο στο Al_2O_3	Όλα τα ψυκτικά μέσα	Όλα τα ψυκτικά μέσα
Θειικό ασβέστιο $CaSO_4$	Όλα τα ψυκτικά μέσα	Όλα τα ψυκτικά μέσα
Χλωριούχο ασβέστιο $CaCl_2$	Για λίγο χρόνο μόνο	Να αποφεύγεται
Μοριακό φίλτρο	R12	R12

Μερικά από τα μέσα ξηράνσεως μπορούν να αναγεννηθούν, δηλαδή να αποβάλουν το νερό που έχουν συγκρατήσει και να ξαναχρησιμοποιηθούν. Συνήθως το νερό αποβάλλεται με θέρμανση του μέσου πάνω από μια οριακή θερμοκρασία. Φυσικά η αναγέννηση αυτή θα ενδιέφερε μόνο για φιλτροξηραντήρες με αφαιρετά στοιχεία. Εντούτοις φιλτροξηραντήρες, που έχουν χρησιμοποιηθεί και κορεσθεί, δεν είναι σωστό να ξαναχρησιμοποιηθούν έστω και μετά την αναγέννησή τους, γιατί συγκρατούν και προϊόντα από τη διάσπαση του λαδιού λιπάνσεως που επιδρούν σημαντικά στη συμπεριφορά τους. Έτσι, ενώ το αχρησιμοποίητο μέσο ξηράνσεως απορροφάει το νερό (υδρόφιλο), το χρησιμοποιημένο, έστω και αν έχει υποστεί αναγέννηση, είναι ***υδρόφοβο*** και δε λειτουργεί ικανοποιητικά.

5.7.4 Ενδεικτικά υγρασίας ψυκτικού μέσου.

Η περιεκτικότητα υγρασίας του ψυκτικού μέσου παρακολουθείται εύκολα με μια μικρή διάταξη που περιλαμβάνει ένα χημικό άλας, που αλλάζει χρώμα ανάλογα με την ποσότητα μορίων νερού που έχει συγκρατήσει και ένα παραθυράκι επιθεωρήσεως.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 5.7θ.
Ενδεικτικό υγρασίας ψυκτικού μέσου.
Α) Ένδειξη «υγρασίας» σε R 22. Β) Ένδειξη «ξηρό» σε R 12. Γ) Σπείρωμα συνδέσεως.

Μια συνηθισμένη κατασκευή ενός ενδεικτικού υγρασίας φαίνεται στο σχήμα 5.7θ. Το χημικό άλας που υπάρχει στην περιφέρεια γύρω από το γυαλί αλλάζει χρώμα και γίνεται ροζ, όταν υπάρχει υγρασία περισσότερη από το επιτρεπόμενο όριο. Αν η υγρασία είναι λίγη ή ανεκτή, το χρώμα είναι μπλε για ψυκτικά μέσα R12, R13, R113 ή R114 ή γίνεται πράσινο για ψυκτικά μέσα R22, R500 ή R502.

Μερικά ενδεικτικά υγρασίας έχουν και τις λέξεις «wet» (υγρό) ή «dry» (ξηρό), οι οποίες εμφανίζονται ανάλογα με την κατάσταση του ψυκτικού μέσου ταυτόχρονα με την αλλαγή του χρώματος.

Τα χρώματα, που εμφανίζονται στο ενδεικτικό υγρασίας, εξαρτώνται, εκτός από την υγρασία και από τη χημική ένωση που χρησιμοποιείται ως ενδείκτης, από τη θερμοκρασία και τέλος από τις επιδράσεις, που είναι δυνατόν να προκαλούν το λάδι ή άλλες ουσίες που υπάρχουν στο ψυκτικό κύκλωμα.

Σε αρκετούς ενδείκτες υγρασίας χρησιμοποιείται σαν ενδεικτικό άλας το βρωμιούχο κοβάλτιο $CoBr_2$, το οποίο εμφανίζει τα εξής χαρακτηριστικά χρώματα:

$CoBr_2$	πράσινο
$CoBr_2 . H_2O$	μπλε
$CoBr_2 . 2H_2O$	ιώδες
$CoBr_2 . 6H_2O$	ροζ

ανάλογα με τα μόρια νερού που έχει δεσμεύσει.

Επειδή όμως η δέσμευση των μορίων του νερού εξαρτάται και από τη θερμοκρασία, γι' αυτό δεν είναι μονοσήμαντη η αλλαγή χρώματος με την υγρασία αλλά εξαρτάται και από τη θερμοκρασία.

Στον πίνακα 5.7.3 δίνονται τα όρια περιεκτικότητας υγρασίας των συνηθισμένων αλογονομένων ψυκτικών μέσων, στα οποία γίνεται αλλαγή χρώματος του ενδείκτου υγρασίας. Η μονάδα ppm (parts per million) που χρησιμοποιείται στον πίνακα αυτόν σημαίνει: ποσότητα υγρασίας ανά εκατομμύριο ποσότητας ψυκτικού μέσου. Και οι δυο ποσότητες μετρούνται με την ίδια μονάδα μάζας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7.3.

Όρια περιεκτικότητας υγρασίας ψυκτικού μέσου, στα οποία γίνεται αλλαγή χρώματος ενδεικτικού υγρασίας.

R502	ppm	
Θερμοκρασία	Μπλε (ξηρό) *κάτω* από	Ροζ (υγρό) *πάνω* από
75 °C 24°C	5	15
100 °F 38°C	10	30
125 °F 52°C	15	45
R12		
	Ξηρό	Υγρό
75 °F 24°C	5	15
100 °F 38°C	10	30
125 °F 52°C	15	45
R22, R500		
75°F 24°C	30	120
100°F 38°C	45	180
125°F 52°C	60	240

Πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη ότι η αλλαγή χρώματος του ενδείκτη απαιτεί χρόνο, και ότι η αδράνεια αυτή μπορεί να διαρκέσει και μερικές ώρες.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΑΠΟΠΑΓΩΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΕΩΣ

6.1 Γενικά.

Όλες οι ψυκτικές εγκαταστάσεις, ανεξάρτητα από τον προορισμό ή τη χρήση τους λειτουργούν στο περιβάλλον της γήινης ατμόσφαιρας, που περιέχει και σημαντική ποσότητα υδρατμού. Έτσι, κάθε φορά που ο ατμοσφαιρικός αέρας έρχεται σε επαφή με μια επιφάνεια που είναι αρκετά ψυχρότερη απ' αυτόν εμφανίζονται σ' αυτήν φαινόμενα συμπυκνώσεως του υδρατμού που περιέχεται στον αέρα. Οι επιφάνειες των στοιχείων ατμοποιήσεως των ψυκτικών εγκαταστάσεων είναι πάντοτε πιο κρύες από τον ατμοσφαιρικό αέρα· έτσι πάνω στις επιφάνειες αυτές εμφανίζεται συμπύκνωση ή ακόμα και στερεοποίηση του υδρατμού της ατμόσφαιρας. Για το λόγο αυτό σχηματίζεται πάγος επάνω στα στοιχεία ατμοποιήσεως των ψυκτικών μηχανών.

Ο σχηματισμός όμως πάγου επάνω στα στοιχεία ατμοποιήσεως είναι φαινόμενο που καθιστά τη λειτουργία της ψυκτικής εγκαταστάσεως λιγότερη αποδοτική γιατί εκτός από τα άλλα ο πάγος χειροτερεύει το ρυθμό μεταδόσεως της θερμότητας από το χώρο που περιβάλλει το στοιχείο ατμοποιήσεως (ψυκτικό θάλαμο) προς το στοιχείο ατμοποιήσεως. Επομένως για την αποδοτική λειτουργία της ψυκτικής μηχανής είναι απαραίτητο:

— Να αποφεύγεται κατά το δυνατόν ο σχηματισμός πάγου και

— να απομακρύνεται ο πάγος από την επιφάνεια των στοιχείων ατμοποιήσεως.

Πριν εξετασθούν οι ***διατάξεις αποπαγώσεως,*** που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του πάγου από τα στοιχεία ατμοποιήσεως, θα πρέπει να τονισθεί ότι είναι προτιμότερο να παρεμποδίζεται ο σχηματισμός πάγου, όσο αυτό είναι δυνατόν, παρά να γίνεται αποπάγωση, γιατί η αποπάγωση είναι αναγκαίο κακό.

Πρέπει να τονισθεί επίσης ότι κατά τη διάρκεια της αποπαγώσεως η ψυκτική εγκατάσταση δε λειτουργεί και δεν παράγει ψυκτική ισχύ. Εκτός όμως από αυτό, για την τήξη και απομάκρυνση του πάγου καταναλώνεται και πρόσθετη ενέργεια πέρα από αυτήν που απαιτείται για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως. Αλλά και ορισμένοι απαραίτητοι χειρισμοί για την αποπάγωση με μεταγωγή του θερμού ψυκτικού μέσου, προς το στοιχείο ατμοποιήσεως, μπορεί να προκαλούν πρόσθετα προβλήματα και φθορές.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

6.2 Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας και το φαινόμενο της συμπυκνώσεως και στερεοποιήσεώς τους.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντοτε υδρατμούς σε περιεκτικότητα που μεταβάλλεται ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και την εποχή του έτους. Ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας σε κανονικές συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας έχει πυκνότητα 1,29 kg/m^3. Η μάζα των υδρατμών που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5 - 45 gr H_2O/kg αέρα.

Η ποσότητα του νερού ή του πάγου που σχηματίζεται στην εξωτερική επιφάνεια του στοιχείου ατμοποιήσεως εξαρτάται από την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς, από τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του στοιχείου ατμοποιήσεως και του ατμοσφαιρικού αέρα και από το εμβαδόν της επιφάνειας.

Για να καθορισθεί η κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα ως προς την υγρασία, είναι απαραίτητο να ορισθούν τα εξής δυο χαρακτηριστικά μεγέθη:

α) Ο ***λόγος υγρασίας*** αναφέρεται στην κατά μάζα σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα και ορίζεται ως εξής:

$$\text{Λόγος υγρασίας} = \frac{\text{μάζα υδρατμού}}{\text{ανά 1 kg ξηρού αέρα}}$$

Η τιμή του μεγέθους αυτού εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από τη γενική ατμοσφαιρική κατάσταση. Το χειμώνα, που η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλή, ο λόγος υγρασίας είναι μικρός. Συγκεκριμένα, για θερμοκρασίες ατμοσφαιρικού αέρα από +5°C ως 15°C, ο μέγιστος λόγος υγρασίας μεταβάλλεται μεταξύ των τιμών, 5 ως 12 gr H_2O/kg ξηρού αέρα.

Το καλοκαίρι, με τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες, ο μέγιστος λόγος υγρασίας κυμαίνεται μεταξύ 20 ως 45 gr H_2O/kg ξηρού αέρα. Από τις τιμές αυτές φαίνεται ότι το καλοκαίρι έχει περισσότερους υδρατμούς στον αέρα από ό,τι το χειμώνα και μάλιστα σε τετραπλάσια ποσότητα περίπου.

Οι παραπάνω αριθμητικές τιμές εκφράζουν τη μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα υδρατμού, ενώ οι συνηθισμένες τιμές στην Ελλάδα είναι συνήθως στο 1/3 ή 1/4 των τιμών αυτών.

β) Η ***σχετική υγρασία*** αναφέρεται στο πόσο κοντά στο σημείο συμπυκνώσεως βρίσκονται οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας. Είναι γνωστό ότι η ατμοσφαιρική πίεση p_{atm} που μετρούν τα βαρόμετρα είναι άθροισμα δυο πιέσεων, της πιέσεως του ξηρού αέρα p_a και της πιέσεως του υδρατμού $p_υ$.

$$\boxed{p_{atm} = p_a + p_υ}$$

Για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, και φυσικά και των υδρατμών, η πίεση των υδρατμών $p_υ$ δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή p_s που είναι η πίεση κορεσμού του υδρατμού για την συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Το πόσο κοντά στο σημείο συμπυκνώσεως, βρίσκονται οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας, μετράται από την πίεση των υδρατμών $p_υ$ και από την αντίστοιχη πίεση κορεσμού p_s. Το μέγεθος που χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό είναι:

$$\text{σχετική υγρασία} = \frac{\text{πίεση υδρατμών } p_u}{\text{πίεση κορεσμού } p_s}$$

Ο άνθρωπος, και γενικά κάθε ζώο και φυτό, αισθάνεται αυτή τη σχετική υγρασία όταν αναπνέει και ζει. Αυτή την υγρασία μετρούν τα συνηθισμένα ***υγρόμετρα*** που χρησιμοποιούνται σε χώρους κατοικιών, γραφείων ή ψυκτικών χώρων και θαλάμων. Όταν λέμε ότι η ατμόσφαιρα είναι υγρή, τότε αυτό σημαίνει ότι έχει μεγάλη σχετική υγρασία, ενώ όταν είναι ξηρή, τότε έχει μικρή σχετική υγρασία.

Η σχετική υγρασία σε μια βροχερή μέρα μπορεί να έχει τιμή 95%, ενώ σε μια άλλη μέρα μπορεί να έχει τιμή 30%.

Για τη συμπύκνωση ή στερεοποίηση των υδρατμών της ατμόσφαιρας πάνω στις επιφάνειες των στοιχείων ατμοποιήσεως, είναι εξίσου σημαντικά και τα δυο σχετικά με την υγρασία μεγέθη που ορίσαμε: Η σχετική υγρασία αναφέρεται στην ευκολία με την οποία γίνεται η συμπύκνωση, ενώ ο λόγος υγρασίας αναφέρεται στην ποσότητα που συμπυκνώνεται.

Όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική υγρασία, τόσο πλησιέστερα στη συμπύκνωση είναι ο υδρατμός και τόσο ευκολότερα συμπυκνώνεται. Όσο μικρότερη είναι η σχετική υγρασία, τόσο πιο δύσκολα γίνεται η συμπύκνωση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος υγρασίας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών υπάρχει στον αέρα για να συμπυκνωθεί και αντίστροφα.

Για τα στοιχεία ατμοποιήσεως η πιο δυσμενής κατάσταση είναι εκείνη κατά την οποία εμφανίζονται ταυτόχρονα μεγάλη σχετική υγρασία και μεγάλος λόγος υγρασίας. Τότε και εύκολα συμπυκνώνονται οι υδρατμοί και μεγάλες ποσότητες υδρατμών αλλάζουν φάση και μετατρέπονται σε υγρό ή στερεό. Η περίπτωση αυτή εμφανίζεται έντονα στις κλιματιστικές συσκευές που εργάζονται το καλοκαίρι, όταν η μέρα είναι βροχερή.

Το φαινόμενο της συμπυκνώσεως και στερεοποιήσεως των υδρατμών της ατμόσφαιρας πάνω στις κρύες επιφάνειες των στοιχείων ατμοποιήσεως, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι ανεπιθύμητο για πολλούς λόγους. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

1) Το συμπύκνωμα, το χιόνι ή ο πάγος, λειτουργούν ως ***θερμική μόνωση*** και εμποδίζουν τη μετάδοση θερμότητας από τον αέρα προς την κρύα μεταλλική επιφάνεια. Όσο αυξάνεται το στρώμα του χιονιού, τόσο χειροτερεύει η κατάσταση.

2) Για την αλλαγή φάσεως του υδρατμού καταναλώνεται ένα μέρος της ψυκτικής ισχύος της εγκαταστάσεως, το οποίο έτσι δεν ψύχει τον αέρα του χώρου, που την περιβάλλει, αλλά αφαιρεί υδρατμό, γίνεται δηλαδή μια λειτουργία που συνήθως δεν χρειάζεται.

3) Το συμπύκνωμα και το νερό που σχηματίζεται από το λιώσιμο του πάγου ή του χιονιού πρέπει να έχει κάποια οδό προς την αποχέτευση. Συχνά όμως δημιουργούνται προβλήματα με το πάγωμα της αποχετεύσεως ή με την πτώση κομματιών πάγου έξω από τις επιφάνειες που έπρεπε να τον συγκρατούν.

4) Από το σχηματισμό μεγάλων ποσοτήτων πάγου προκαλούνται μηχανικές βλάβες και παραμορφώσεις των πτερυγίων ή των σωλήνων.

Τα φαινόμενα αυτά εμφανίζονται σε στοιχεία ατμοποιήσεως που ψύχουν αέρα.

Αντίστοιχες δυσκολίες μπορεί να εμφανιστούν και σε στοιχεία ατμοποιήσεως που ψύχουν νερό ή άλμη γιατί και εκεί μπορεί να σχηματισθούν ποσότητες πάγου που προκαλούν σχεδόν τα ίδια προβλήματα.

Η πρόληψη σχηματισμού πάγου, όπου αυτό είναι δυνατό, επιβάλλει τη στεγανοποίηση του ψυχόμενου χώρου, ώστε να μη κυκλοφορεί μέσα σ' αυτόν συνεχώς νέος ατμοσφαιρικός αέρας, που φέρνει μαζί του νέες ποσότητες υδρατμού. Αυτό συμβαίνει π.χ. στα οικιακά ψυγεία με το λάστιχο στεγανοποιήσεως, που έχουν γύρω από την εσωτερική επιφάνεια της πόρτας τους. Το λάστιχο αυτό είναι κοίλο και φέρει μέσα του, καθ' όλο το μήκος, ένα άλλο λάστιχο με πολύ μικρούς μαγνήτες, που το πιέζουν πάνω στο μεταλλικό τοίχωμα και δεν επιτρέπουν την κυκλοφορία του αέρα μέσα από χαραμάδες, όταν η πόρτα είναι κλειστή. Παρόμοια μέτρα με λάστιχα στεγανοποιήσεως εφαρμόζονται και για τις πόρτες των μεγάλων ψυκτικών θαλάμων.

Όσα όμως προληπτικά μέτρα και αν λαμβάνονται, ο σχηματισμός συμπυκνώματος ή πάγου δεν αποφεύγεται και έτσι πρέπει να εφαρμοσθούν μέθοδοι αποπαγώσεως. Το συμπύκνωμα, επειδή είναι υγρό, φεύγει λόγω βαρύτητας προς την κατάλληλη διάταξη αποχετεύσεως, που πρέπει να έχει προβλεφθεί· ο πάγος όμως πρέπει πρώτα να λιώσει ή να ξεκολλήσει από τις μεταλλικές επιφάνειες και μετά να απομακρυνθεί.

Υπάρχουν πολλών ειδών διατάξεις αποπαγώσεως κατάλληλες για να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες ανάγκες. Στις επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου αυτού περιγράφονται σύντομα μόνο οι πιο συνηθισμένες και απλές.

6.3 Μέθοδοι αποπαγώσεως.

Για να γίνει η αποπάγωση διακόπτεται η λειτουργία του στοιχείου ατμοποιήσεως. Αν η περίπτωση είναι απλή, μπορεί η διακοπή της λειτουργίας, αν βέβαια διαρκέσει αρκετό χρονικό διάστημα, να αρκεί για την αποπάγωση.

Σε άλλες όμως περιπτώσεις, πιο δύσκολες, απαιτούνται και άλλα πρόσθετα μέτρα. Ένα συνηθισμένο από τα μέτρα αυτά είναι η ***μεταγωγή του ψυκτικού μέσου.*** Με τη μεταγωγή αυτή στέλνεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, όπου γίνεται η αποπάγωση, αντί για κρύο υγρό ψυκτικό μέσο, ζεστός ατμός ψυκτικού μέσου. Έτσι οι επιφάνειες του στοιχείου ατμοποιήσεως ***θερμαίνονται από μέσα.*** Το είδος αυτό της θερμάνσεως είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό, γιατί ο πάγος που είχε σχηματισθεί λιώνει από μέσα προς τα έξω. Όταν λιώσει ένα μικρό εσωτερικό στρώμα πάγου, η υπόλοιπη ποσότητα πάγου μπορεί να ολισθήσει λόγω της βαρύτητας ή να παρασυρθεί από το ρεύμα αέρα που προκαλεί ο εξωτερικός ανεμιστήρας του στοιχείου· γενικά δεν απαιτείται πολύς χρόνος για να λιώσει ολόκληρη η ποσότητα του πάγου και έτσι η εγκατάσταση δεν μένει πολύ χρόνο εκτός λειτουργίας.

Σε άλλες περιπτώσεις ο πάγος δε θερμαίνεται με το θερμό ατμό του ψυκτικού μέσου, αλλά με ***ηλεκτρική αντίσταση*** που είναι προσαρμοσμένη και εφάπτεται στις εξωτερικές μεταλλικές επιφάνειες του στοιχείου ατμοποιήσεως. Όταν σταματήσει η τροφοδότηση του στοιχείου ατμοποιήσεως με υγρό ψυκτικό μέσο και αρχίζει η περίοδος της αποπαγώσεως, τότε η ηλεκτρική αντίσταση τροφοδοτείται με ρεύμα και επιταχύνει την τήξη και την απομάκρυνση του πάγου.

Τέλος, πρέπει να αναφέρομε ότι υπάρχουν τρόποι αποπαγώσεως που βασίζον-

ται στη μέθοδο ***καταιωνισμού με νερό.*** Χρησιμοποιείται δηλαδή ποσότητα νερού που ψεκάζεται πάνω στον πάγο του στοιχείου ατμοποιήσεως και τον λιώνει.

Η αποπάγωση, στο τέλος κάθε περιόδου αποπαγώσεως, πρέπει να είναι τέλεια, γιατί τα υπολείμματα πάγου και νερού, αν δεν απομακρυνθούν σχηματίζουν νέες μορφές πάγου πιο δυσμενείς.

Η έναρξη και το τέλος της περιόδου αποπαγώσεως μπορεί να προκαλείται από μας ή αυτόματα. Κατά την αυτόματη λειτουργία η αποπάγωση μπορεί να αρχίζει είτε σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή να υπάρχει κάποιο αισθητήριο, που να καθορίζει τη χρονική στιγμή που πρέπει να αρχίσει η αποπάγωση. Μερικές φορές το αισθητήριο καθορίζει όχι την έναρξη της αποπαγώσεως αλλά το τέλος της.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι συνηθισμένοι ***τρόποι αποπαγώσεως*** είναι οι εξής:

Ως προς τον ***τρόπο θερμάνσεως*** του πάγου:

- Ηλεκτρική θέρμανση.
- Μεταγωγή θερμού ατμού.
- Καταιωνισμός νερού.
- Αναμονή.

Ως προς τον ***τρόπο ενεργοποιήσεως***:

- Χειροκίνητη αποπάγωση.
- Αυτόματη αποπάγωση.
- Ημιαυτόματη αποπάγωση.

Στις επόμενες παραγράφους εξετάζονται κυρίως οι αυτοματοποιημένοι τρόποι αποπαγώσεως, γιατί κατά τη χειροκίνητη αποπάγωση χρησιμοποιούνται απλώς ίδιες μέθοδοι όπως και για την αυτοματοποιημένη, χωρίς όμως αυτόματη ενεργοποίηση.

6.4 Χρονοδιακόπτες αποπαγώσεως.

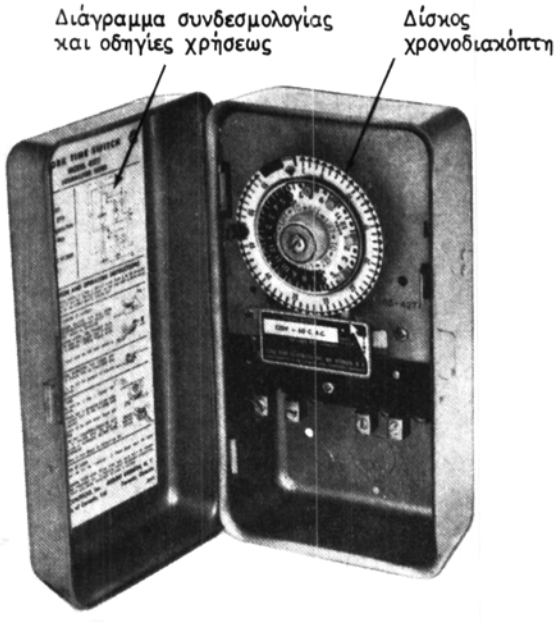
Κατά την αποπάγωση με χρονοδιακόπτη, κριτήριο για την έναρξη και το τέλος της είναι ο χρόνος. Η χρονική στιγμή ενάρξεως, η διάρκεια της αποπαγώσεως και η συχνότητα με την οποία εκτελείται η αποπάγωση μέσα στο εικοσιτετράωρο, καθορίζονται από την πείρα. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από το είδος της εγκαταστάσεως, από την εποχή του έτους και από τη χρήση της εγκαταστάσεως, και ρυθμίζονται κάθε φορά ώστε να παρακολουθούν τις μεταβολές αυτές.

Ο χρονοδιακόπτης αποτελείται από:

- Ένα σύγχρονο κινητήρα, που λειτουργεί με τη συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε σταθερό αριθμό περιστροφών.
- Ένα σύγχρονο κινητήρα, που λειτουργεί με τη συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε σταθερό αριθμό περιστροφών.
- Ένα δίσκο στον οποίο είναι χαραγμένες οι ώρες του εικοσιτετραώρου· πάνω στό δίσκο στηρίζονται τα έκκεντρα που ενεργοποιούν τις ηλεκτρικές επαφές.
- Τις ηλεκτρικές επαφές.

Τυπικός χρονοδιακόπτης φαίνεται στο σχήμα 6.4α. Διακρίνονται στο επάνω μέρος δυο βαθμονομημένοι δίσκοι. Ο εσωτερικός δίσκος περιστρέφεται με συχνότητα 1 περιστροφή το 24ωρο και φέρει 24 διαιρέσεις που αντιστοιχούν στις ακέραιες ώρες καθώς και λεπτομερέστερη διαίρεση. Ο μισός δίσκος είναι χρωματισμένος μαύρος για να αντιστοιχεί στις ώρες της νύχτας και ο υπόλοιπος άσπρος για τις ώρες της ημέρας.

Ο δίσκος αυτός κινείται ταυτόχρονα με τον εξωτερικό δίσκο που φέρει 60 διαι-



Σχ. 6.4α.
Χρονοδιακόπτης κατάλληλος για έλεγχο αποπαγώσεως.

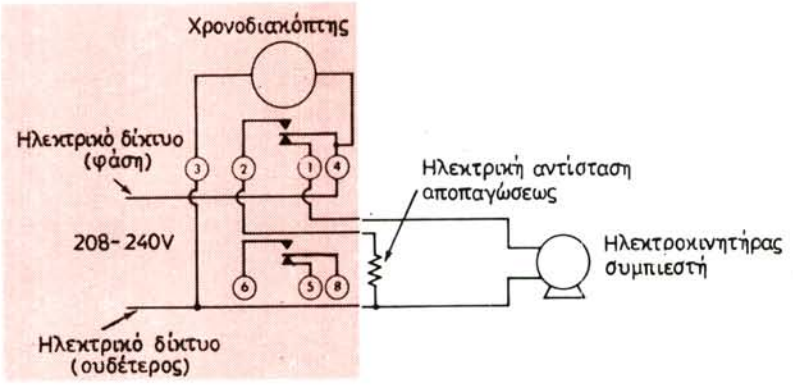
ρέσεις. Επάνω στον εσωτερικό δίσκο και στο δεξιό μέρος της περιφέρειας φαίνονται 4 βύσματα, τα οποία ρυθμίζουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των ηλεκτρικών επαφών. Αν η εγκατάσταση είναι μικρή, οι επαφές ελέγχουν αμέσως το ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα, αν όχι, τότε χρησιμοποιείται και ενδιάμεσος ηλεκτρονόμος που διεγείρεται από το χρονοδιακόπτη.

Οι χρονοδιακόπτες χρησιμοποιούνται με ***δυο τρόπους:***

1) Κατά τον πρώτο τρόπο, σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα του εικοσιτετραώρου γίνεται αποπάγωση που διαρκεί προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Τόσο οι χρονικές τιμές ενάρξεως όσο και η διάρκεια αποπαγώσεως καθορίζονται με τα κατάλληλα βύσματα που τοποθετούνται στο δίσκο του χρονοδιακόπτη. Στην περίπτωση αυτή ο κινητήρας του χρονοδιακόπτη συνδέεται διαρκώς στο ηλεκτρικό δίκτυο και τηρεί το χρόνο συνεχώς. Στον τρόπο αυτό αποπαγώσεως δεν λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος κατά τον οποίο λειτούργησε η ψυκτική εγκατάσταση. Είτε δηλαδή είχε μικρό φορτίο και λειτούργησε λίγες ώρες είτε είχε μεγάλο φορτίο και λειτούργησε πολλές ώρες η συχνότητα και η διάρκεια των περιόδων αποπαγώσεως μένουν οι ίδιες.

2) Κατά το δεύτερο τρόπο συνδέσεως, ο χρονοδιακόπτης λειτουργεί και περιστρέφεται ο δίσκος του, δηλαδή υπολογίζει το χρόνο, μόνο όση ώρα εργάζεται ο

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



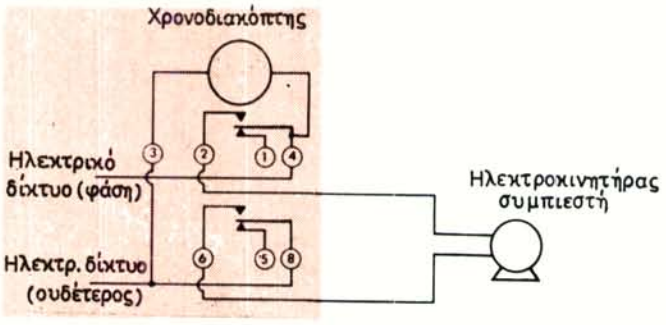
Σχ. 6.4β.
Αποπάγωση με χρονοδιακόπτη μονοπολικής μεταγωγικής επαφής και ηλεκτρική αντίσταση αποπαγώσεως.

συμπιεστής του ψυκτικού μέσου. Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με ηλεκτρική σύνδεση του κινητήρα του χρονοδιακόπτη παράλληλα προς τον κύριο ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή ψυκτικού μέσου. Έτσι η αποπάγωση ενεργοποιείται μετά από ορισμένες ώρες λειτουργίας της ψυκτικής εγκαταστάσεως τις οποίες υπολογίζει ο χρονοδιακόπτης.

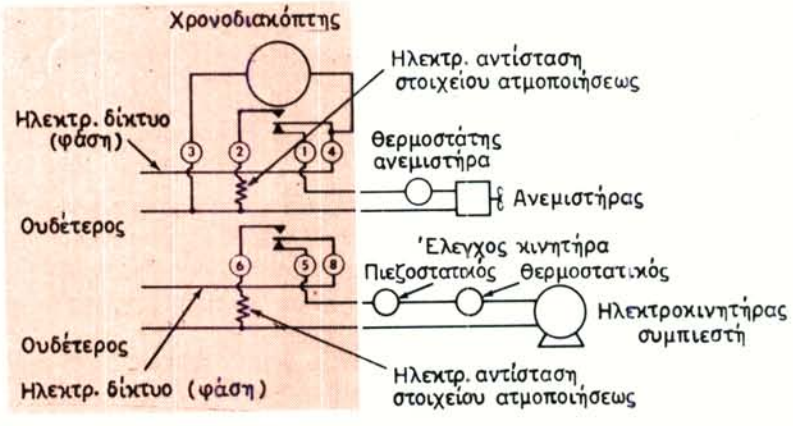
Η ηλεκτρική συνδεσμολογία των κυκλωμάτων αποπαγώσεως διαφέρει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση και προσαρμόζεται στις ανάγκες που πρέπει να ικανοποιηθούν. Μερικά παραδείγματα για απλές εγκαταστάσεις επαγγελματικών ψυγείων που λειτουργούν με τη βοήθεια χρονοδιακόπτη διαρκώς συνδεμένου στο ηλεκτρικό δίκτυο φαίνονται στα επόμενα διαγράμματα καλωδιώσεως.

Στο σχήμα 6.4β φαίνεται η συνδεσμολογία ενός χρονοδιακόπτη με τον ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή και την ηλεκτρική αντίσταση αποπαγώσεως. Ο χρονοδιακόπτης λειτουργεί με επαφοδοτικό σύστημα, που ενεργοποιεί μια μονοπολική μεταγωγική επαφή που διακρίνεται στο πάνω μέρος του σχήματος. Ο αγωγός της γραμμής (4) μετάγεται και τροφοδοτεί είτε τον ηλεκτροκινητήρα μέσω της επαφής (1) είτε την ηλεκτρική θέρμανση της αποπαγώσεως μέσω της επαφής(2).

Η μεταγωγή γίνεται με ενεργοποίηση του διακόπτη από το χρονοδιακόπτη, που συνδέεται μόνιμα στο δίκτυο με τους ακροδέκτες (3) και (4). Με τη συνδεσμολογία του σχήματος 6.4β, μόλις σταματήσει ο κινητήρας του συμπιεστή τροφοδοτείται η ηλεκτρική αντίσταση αποπαγώσεως και μόλις ξεκινήσει ο συμπιεστής παύει η τροφοδότηση της ηλεκτρικής αντιστάσεως. Ο κάτω μονοπολικός μεταγωγικός διακόπτης δε χρησιμοποιείται στη συνδεσμολογία αυτή.



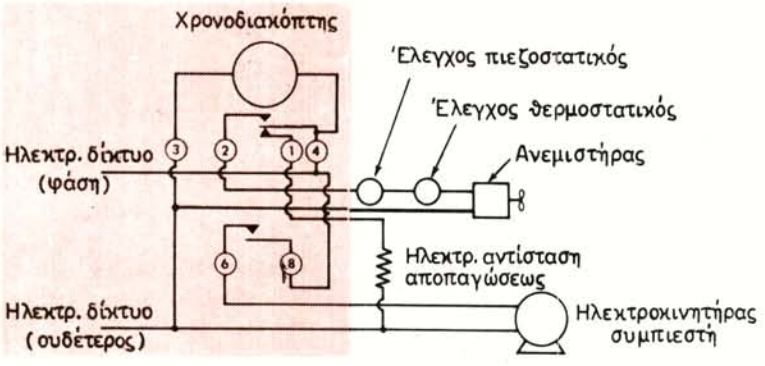
Σχ. 6.4γ.
Αποπάγωση με αποσύνδεση κινητήρα μέσω διπολικού διακόπτη.



Σχ. 6.4δ.
Αποπάγωση με δυο ηλεκτρικές αντιστάσεις. Θερμοστατικός έλεγχος ανεμιστήρα στοιχείου ατμοποιήσεως.

Με τη συνδεσμολογία του σχήματος 6.4γ διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα στην προκαθορισμένη χρονική στιγμή και παραμένει ο συμπιεστής εκτός λειτουργίας για τον επιθυμητό χρόνο. Δεν χρησιμοποιείται ηλεκτρική αντίσταση θερμάνσεως του πάγου. Στο κύκλωμα αυτό χρησιμοποιούνται και τα δυο επαφοδοτικά συστήματα ως απλοί διακόπτες, ώστε να γίνεται διπολική απόζευξη του ηλεκτροκινητήρα για μεγαλύτερη ασφάλεια από διαρροές.

Στο σχήμα 6.4δ ο διπολικός διακόπτης του χρονοδιακόπτη χρησιμοποιείται πλήρως και ελέγχει δυο ανεξάρτητα κυκλώματα. Το ένα, με δική του τροφοδότηση,

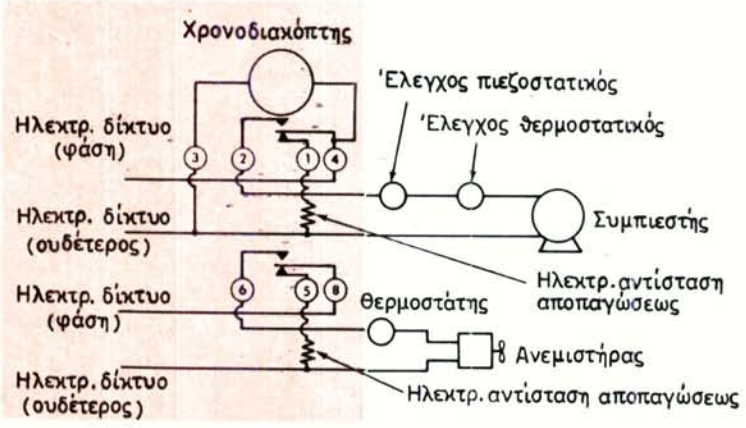


Σχ. 6.4ε.
Αποπάγωση με μια ηλεκτρική αντίσταση. Θερμοστατικός και πιεζοστατικός έλεγχος ανεμιστήρα στοιχείου ατμοποιήσεως.

ελέγχει τον ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή, το δε άλλο τον ανεμιστήρα του στοιχείου ατμοποιήσεως. Όταν ο χρονοδιακόπτης ενεργοποιήσει τους μεταγωγικούς διακόπτες, το ηλεκτρικό δίκτυο μετάγεται και τροφοδοτεί τις δυο αντιστάσεις που θερμαίνουν τον πάγο στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Η λειτουργία του ανεμιστήρα του στοιχείου ατμοποιήσεως ελέγχεται από ένα θερμοστάτη. Όταν ο αέρας που φεύγει από το στοιχείο ατμοποιήσεως είναι πιο ζεστός από τον αέρα του ψυχόμενου χώρου, τότε με εντολή του θερμοστάτη διακόπτεται η λειτουργία του ανεμιστήρα. Έτσι αποφεύγεται η θέρμανση του χώρου στις μεταβατικές καταστάσεις, όταν το στοιχείο ατμοποιήσεως είναι πιο ζεστό ακόμα από την επίδραση των ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Το σχήμα 6.4ε δείχνει μια άλλη δυνατότητα συνδεσμολογίας. Σ' αυτή χρησιμοποιείται μια μονοπολική επαφή για τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή και μια μονοπολική μεταγωγική επαφή για τη λειτουργία του ανεμιστήρα του στοιχείου ατμοποιήσεως ή της ηλεκτρικής αντιστάσεως θερμάνσεως. Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία του ανεμιστήρα γίνεται με θερμοστατικό έλεγχο και πιεζοστατικό. Ο θερμοστατικός έλεγχος είναι ίδιος, όπως και στο κύκλωμα του σχήματος 6.4δ. Ο πιεζοστατικός έλεγχος που υπάρχει εδώ, επί πλέον, διακόπτει τη λειτουργία του ανεμιστήρα, όταν η πίεση του ψυκτικού μέσου στο στοιχείο ατμοποιήσεως πέσει κάτω από την οριακή τιμή ασφάλειας του συμπιεστή.

Τέλος στο σχήμα 6.4στ φαίνεται μια άλλη παραλλαγή, όπου χρησιμοποιούνται πάλι δυο μονοπολικοί μεταγωγικοί διακόπτες με ανεξάρτητες τροφοδοτήσεις από το δίκτυο. Ο επάνω μεταγωγικός διακόπτης ελέγχει τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα και της μιας ηλεκτρικής αντιστάσεως αποπαγώσεως. Ο κάτω μεταγωγικός διακόπτης ελέγχει τον ανεμιστήρα του στοιχείου ατμοποιήσεως και την άλλη ηλεκτρική αντίσταση αποπαγώσεως. Ο συμπιεστής προστατεύεται από πιεζοστάτη και θερμοστάτη ο δε ανεμιστήρας από θερμοστάτη.



Σχ. 6.4στ.

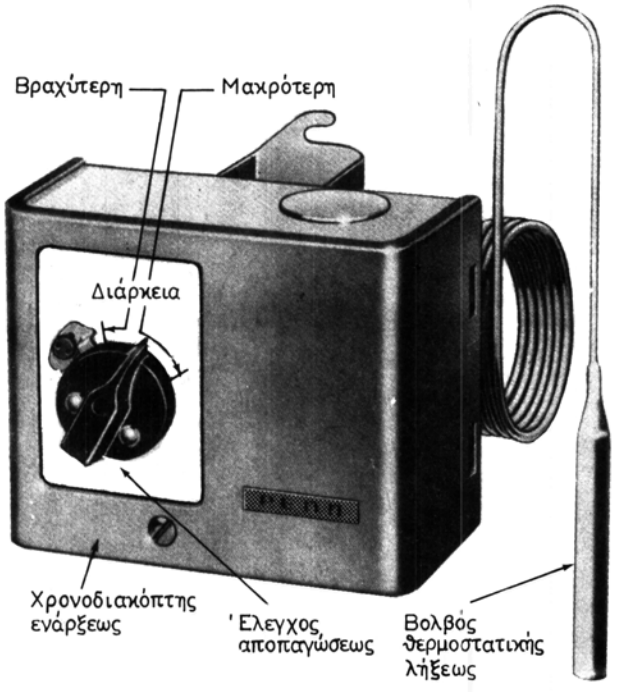
Αποπάγωση με δυο ηλεκτρικές αντιστάσεις, θερμοστατική και πιεζοστατική προστασία του συμπιεστή και θερμοστατικό έλεγχο του ανεμιστήρα του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Ένας άλλος τύπος χρονοδιακόπτη φαίνεται στο σχήμα 6.4ζ. Η αποπάγωση αρχίζει στην προκαθορισμένη χρονική στιγμή, που έχει ρυθμισθεί με το χρονοδιακόπτη, αλλά το τέλος της αποπαγώσεως συντελείται, όταν η επιφάνεια του στοιχείου ατμοποιήσεως γίνει θερμότερη από 0°C. Η θερμοκρασία αυτή ελέγχεται με τον αισθητήριο βολβό της συσκευής. Αυτός επενεργεί με την πίεση του ψυκτικού μέσου της γομώσεώς του σε κατάλληλη διάταξη πτυχωτού σωλήνα, που ενεργοποιεί την αντίστοιχη ηλεκτρική επαφή του ηλεκτρικού διακόπτη. Η συσκευή του σχήματος 6.4ζ έχει χρονική έναρξη αποπαγώσεως και θερμοστατική λήξη.

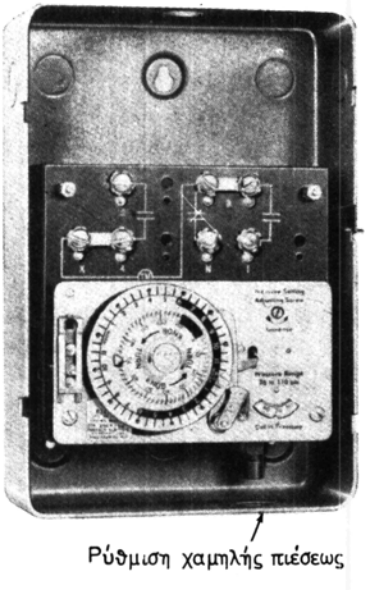
Μια παρόμοια μέθοδος αποπαγώσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 6.4η. Σ' αυτήν η έναρξη αποπαγώσεως γίνεται σε χρονικό διάστημα ορισμένο, μετά από την εκκίνηση του συμπιεστή, και διαρκεί αρκετό χρόνο, ώστε η χαμηλή πίεση να γίνει μεγαλύτερη από μια τιμή που ρυθμίζεται με τη συσκευή κατά βούληση. Μόλις η χαμηλή πίεση υπερβεί αυτήν την τιμή-όριο, ο χρονοδιακόπτης μηδενίζεται και ξαναρχίζει να μετράει το χρόνο μέχρι την επόμενη αποπάγωση. Το χρονικό αυτό διάστημα ρυθμίζεται στο χρονοδιακόπτη με περιστροφή του βαθμονομημένου δίσκου. Επίσης η ρύθμιση της οριακής τιμής της χαμηλής πιέσεως γίνεται με το σχετικό ρυθμιστικό κοχλία.

Η λειτουργία του χρονοδιακόπτη του σχήματος 6.4η είναι πρακτικώς ίδια με εκείνη του χρονοδιακόπτη του σχήματος 6.4ζ. Διαφέρουν μόνο ως προς το ελεγχόμενο μέγεθος. Στον ένα είναι η θερμοκρασία ενώ στον άλλον η αντίστοιχη πίεση κορεσμού, που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία αυτή.

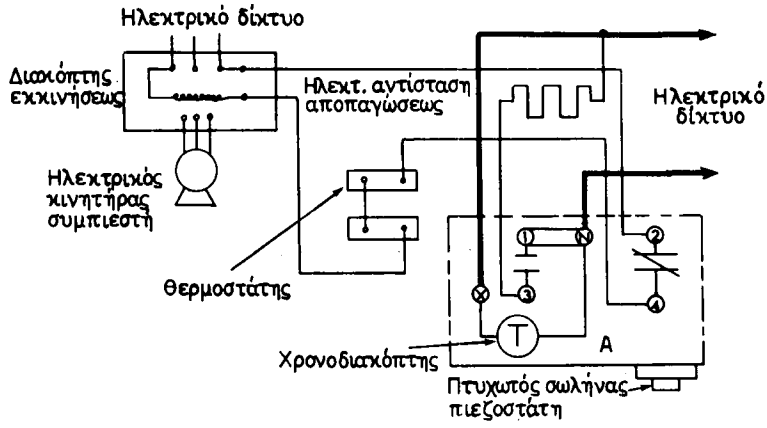
Το ηλεκτρολογικό σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του χρονοδιακόπτη του



Σχ. 6.4ζ.
Συσκευή ελέγχου αποπαγώσεως με χρονοδιακόπτη για την έναρξη και θερμοστάτη για τη λήξη της αποπαγώσεως.



Σχ. 6.4η.
Συσκευή ελέγχου αποπαγώσεως με χρονική έναρξη αποπαγώσεως και πιεζοστατική λήξη.



Σχ. 6.4θ.
Ηλεκτρολογικό διάγραμμα καλωδιώσεως χρονοδιακόπτη ενάρξεως αποπαγώσεως με πιεζοστατική λήξη.

σχήματος 6.4η φαίνεται στο σχήμα 6.4θ. Ο τριφασικός ηλεκτροκινητήρας του συμπιεστή έχει έναν αυτόματο διακόπτη προστασίας-εκκινήσεως με πηνίο που συνδέεται στη σειρά με ένα θερμοστάτη και ένα πιεζοστάτη χαμηλής πιέσεως. Το κύκλωμα αυτό περνάει από τις θέσεις με τους αριθμούς (2),(4) όπου είναι η επαφή του πιεζοστάτη του χρονοδιακόπτη. Ο κινητήρας τροφοδοτείται με ρεύμα, δηλαδή ο αυτόματος τον συνδέει προς το δίκτυο μόνο αν ο διακόπτης ανάμεσα στους ακροδέκτες (2) και (4) είναι κλειστός, όπως συμβαίνει στην κανονική λειτουργία. Όταν έλθει η προκαθορισμένη χρονική στιγμή, ο χρονοδιακόπτης δρα και στις δυο επαφές του. Έτσι διακόπτει τη σύνδεση του (2) με το (4) και σταματάει η λειτουργία του συμπιεστή, ενώ ταυτόχρονα αποκαθιστά τη σύνδεση μεταξύ των ακροδεκτών (1) και (3) και τροφοδοτείται η αντίσταση αποπαγώσεως. Η αποπάγωση αρχίζει και όσο εξακολουθεί να υπάρχει πάγος έξω από το στοιχείο ατμοποιήσεως, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, και συνεπώς και η πίεση του ατμού (αφού υπάρχει και υγρό ψυκτικό μέσο στο στοιχείο ατμοποιήσεως) δεν ανεβαίνει. Η πίεση αυτή παραμένει στην τιμή που αντιστοιχεί στους 0°C περίπου για το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιεί η εγκατάσταση. Όταν δεν υπάρχει πάγος πια, τότε η θερμοκρασία και η πίεση του ψυκτικού μέσου ανεβαίνει και ο πτυχωτός σωλήνας του πιεζοστάτη ξανακλείνει τις επαφές μεταξύ των ακροδεκτών (2) και (4) και ξανανοίγει τις επαφές μεταξύ των ακροδεκτών (1) και (3). Ταυτόχρονα, με μηχανικό τρόπο ξαναμηδενίζει το χρονοδιακόπτη και ο κύκλος αποπαγώσεως ξεκινάει για μια νέα περίοδο.

Με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και ο θερμοστατικός χρονοδιακόπτης του σχήματος 6.4ζ.

Οι χρονοδιακόπτες που περιγράψαμε στην παράγραφο αυτή ενεργοποιούν αντι-

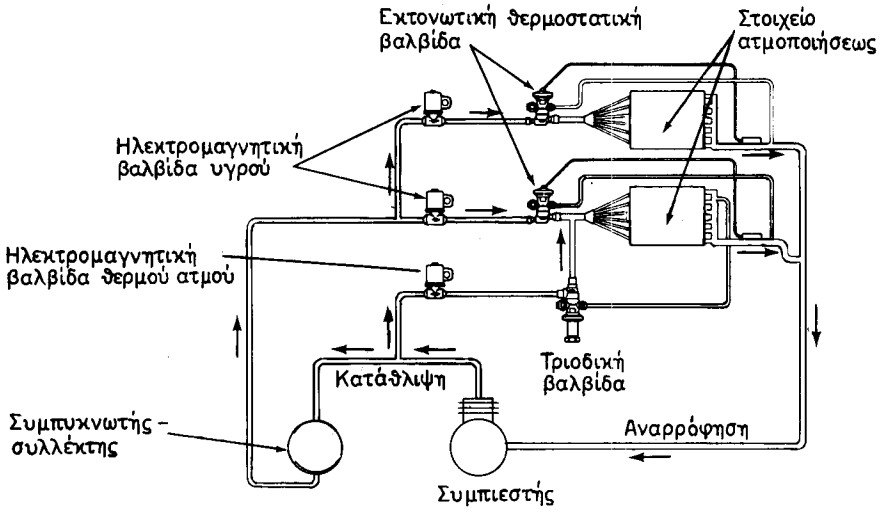
στάσεις θερμάνσεως που λιώνουν τον πάγο στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Χρησιμοποιούνται όμως κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο και όταν, αντί για ηλεκτρική αντίσταση, ελέγχουν ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες μεταγωγής, που εκτελούν μεταγωγή του θερμού ατμού για αποπάγωση με θερμό ατμό. Σχετικές διατάξεις περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.

6.5 Αποπάγωση με θερμό ατμό.

Η μέθοδος αυτή αποπαγώσεως απαιτεί συνθετότερη κατασκευή αλλά έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης αποπαγώσεως. Με διατάξεις του είδους αυτού η διάρκεια αποπαγώσεως είναι συνήθως μόνο 5 ως 10 λεπτά. Η εφαρμογή της όμως απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή σε δυο σημεία:

- ***Το ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως,*** το οποίο τώρα, κατά τη διάρκεια της αποπαγώσεως, λειτουργεί ουσιαστικά ως συμπυκνωτής. Ο θερμός ατμός του ψυκτικού μέσου θερμαίνει μεν το στοιχείο ατμοποιήσεως και λιώνει τον πάγο, αλλά ταυτόχρονα συμπυκνώνεται τουλάχιστον κατά ένα ποσοστό. Πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη πρόνοια, ώστε να μη φθάνει το υγρό ψυκτικό μέσο στο συμπιεστή και προκαλεί ζημιές.
- ***Στη θερμοκρασία του ατμού του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή.*** Αυτή σε μερικές περιπτώσεις, κατά το τέλος της αποπαγώσεως, αυξάνει αρκετά και ενδεχομένως να απαιτείται επανέγχυση υγρού ψυκτικού μέσου, όπως έχει αναφερθεί ήδη στην παράγραφο 4.3.4, για τις ειδικές βαλβίδες επανεγχύσεως.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι και συνδεσμολογίες για να πραγματοποιηθεί η αποπάγωση με θερμό ατμό. Στο σχήμα 6.5α φαίνεται μια δυνατότητα για εγκατάστα-



Σχ. 6.5α.
Σχηματική παράσταση διατάξεως αποπαγώσεως με θερμό ατμό.

ση με δυο παράλληλα στοιχεία ατμοποιήσεως που εξυπηρετούν διαφορετικούς χώρους. Το πάνω στοιχείο ατμοποιήσεως λειτουργεί σε θερμοκρασία ανώτερη από 0°C και δεν χρειάζεται διάταξη αποπαγώσεως γιατί δεν σχηματίζεται πάγος. Το κάτω στοιχείο ατμοποιήσεως αποπαγώνεται με θερμό ατμό. Όταν το στοιχείο ατμοποιήσεως ψύχεται, η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα θερμού ατμού είναι κλειστή και έτσι το στοιχείο ατμοποιήσεως λειτουργεί κανονικά και τροφοδοτείται από τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα του, μέσω ενός κατανεμητή ψυκτικού μέσου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5α οι θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως έχουν εξωτερική εξίσωση πιέσεως.

Όταν γίνεται αποπάγωση, η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα θερμού ατμού ανοίγει και στέλνει θερμό ατμό προς την τριοδική βαλβίδα που διαιρεί το ρεύμα θερμού ατμού σε δυο μέρη. Ένα μέρος οδηγείται στην είσοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως και ένα άλλο στην έξοδό του. Έτσι το στοιχείο ατμοποιήσεως τροφοδοτείται με θερμό ατμό και από τα δυο άκρα. Η τροφοδότηση στην έξοδο, εξαεφαλίζει την ατμοποίηση του υγρού ψυκτικού μέσου, για την ασφάλεια του συμπιεστή. Όσο διαρκεί η αποπάγωση, η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα, που βρίσκεται στο σωλήνα υγρού ψυκτικού μέσου πριν από τη θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως, κλείνει ώστε να διακοπεί η τροφοδότηση του στοιχείου ατμοποιήσεως με υγρό ψυκτικό μέσο.

Στη διάταξη του σχήματος 6.5α η διαδρομή που ακολουθεί ο θερμός ατμός είναι πρακτικά η ίδια με τη διαδρομή της κανονικής λειτουργίας, δηλαδή η κύρια ποσότητα θερμού ατμού ψυκτικού μέσου προσάγεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως, μετά τη θερμοστατική βαλβίδα, και απάγεται από την έξοδό του.

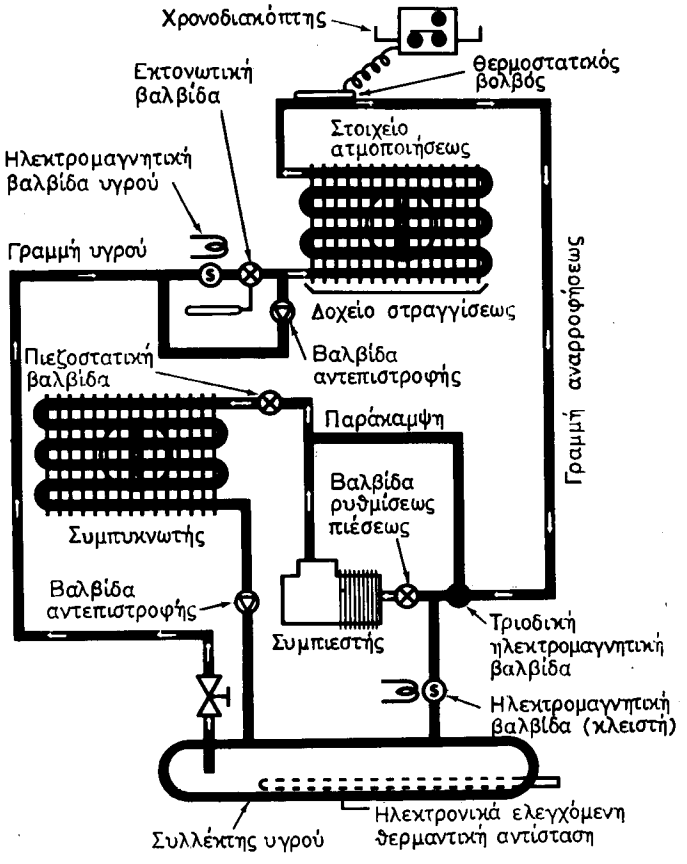
Υπάρχουν άλλες διατάξεις, στις οποίες κατά την αποπάγωση αντιστρέφεται η φορά ροής του ψυκτικού μέσου, μέσα από το στοιχείο ατμοποιήσεως. Έτσι ο θερμός ατμός του ψυκτικού μέσου προσάγεται στην έξοδο και απάγεται από την είσοδο. Για να πραγματοποιηθεί όμως αυτή η κυκλοφορία, πρέπει να παρακαμφθεί η διάταξη στραγγαλισμού, στην οποία η ροή μπορεί να γίνει μόνο προς την κανονική φορά λειτουργίας της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Στο σχήμα 6.5β φαίνεται το κύκλωμα μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως που διαθέτει και κατάλληλες σωληνώσεις αλλά και κατάλληλες βαλβίδες, ώστε να επιτυγχάνεται αποπάγωση με αντίστροφη ροή θερμού ατμού στο στοιχείο ατμοποιήσεως.

Στο κύκλωμα αυτό διακρίνονται ο συμπιεστής στο μέσο και ο συμπυκνωτής αριστερά. Στην είσοδο του συμπυκνωτή υπάρχει πιεζοστατική βαλβίδα προστασίας, η οποία ελέγχει την υψηλή πίεση· στην έξοδο του συμπυκνωτή υπάρχει βαλβίδα αντεπιστροφής, η οποία κατά τη φάση της αποπαγώσεως προλαβαίνει αντίστροφη ροή στο συμπυκνωτή.

Το υγρό ψυκτικό μέσο, μετά την έξοδό του από το συμπυκνωτή, συλλέγεται στο συλλέκτη από όπου και οδηγείται προς τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα. Πριν από τη βαλβίδα αυτή υπάρχει ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, ενώ παράλληλα προς την εκτονωτική υπάρχει αγωγός και βαλβίδα αντεπιστροφής. Το υγρό ψυκτικό μέσο δε μπορεί να παρακάμψει τη θερμοστατική εκτονωτική, γιατί εμποδίζεται από τη βαλβίδα αντεπιστροφής του παράλληλου κλάδου.

Στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως, στο πάνω μέρος του σχήματος, φαίνεται ο χρονοδιακόπτης ενάρξεως αποπαγώσεως και ο αισθητήριος βολβός της θερμοστατικής διατάξεως, που ελέγχει το τέλος της αποπαγώσεως. Ο κρύος ατμός του



Σχ. 6.5β.

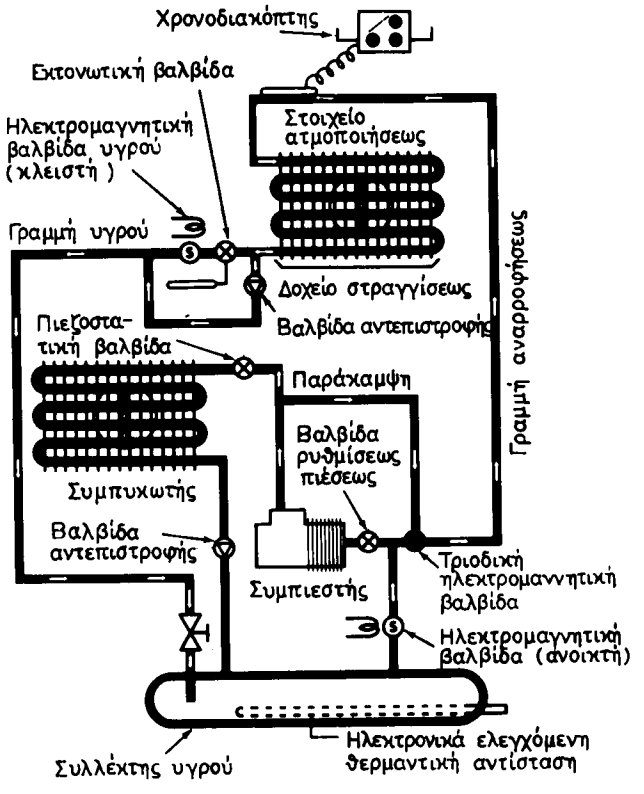
Ψυκτικό κύκλωμα με διάταξη αντίστροφης ροής για την αποπάγωση. Τα βέλη δείχνουν τη ροή για τη φάση της ψύξεως.

ψυκτικού μέσου περνάει στη συνέχεια από τριοδική βαλβίδα προς την αναρρόφηση του συμπιεστή, αφού περάσει και από βαλβίδα ρυθμίσεως πιέσεως. Η τριοδική βαλβίδα απομονώνει τον αγωγό παρακάμψεως του συμπιεστή και ο κρύος ατμός χαμηλής πιέσεως οδηγείται κανονικά στην αναρρόφηση του συμπιεστή.

Μέσα στο συλλέκτη του υγρού ψυκτικού μέσου υπάρχει και θερμαντική ηλεκτρική αντίσταση, που χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της αποπαγώσεως.

Η ροή του υγρού ψυκτικού μέσου διά μέσου των σωληνώσεων του κυκλώματος χαρακτηρίζεται με βέλη, στα διάφορα σημεία. Η φορά αυτή της κυκλοφορίας αντιστοιχεί στη φάση ψύξεως της εγκαταστάσεως.

Οι αντίστοιχες κατευθύνσεις ροής του ψυκτικού μέσου, κατά τη φάση της αποπαγώσεως, φαίνονται στο σχήμα 6.5γ. Κατά την αποπάγωση η τριοδική βαλβίδα έχει αλλάξει θέση και έτσι ο υπέρθερμος ατμός, μετά την έξοδό του από το συμπιεστή, χωρίζεται σε δυο μέρη. Το ένα ακολουθεί την κανονική οδό προς το συμπυκνωτή, όπου και υγροποιείται, το δε άλλο περνάει από την τριοδική βαλβίδα και οδηγείται, μέσα από τον αγωγό αναρροφήσεως, προς την έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως.



Σχ. 6.5γ.
Το ψυκτικό κύκλωμα του σχήματος 6.5β με βέλη που δείχνουν τη ροή κατά τη φάση της αποπαγώσεως.

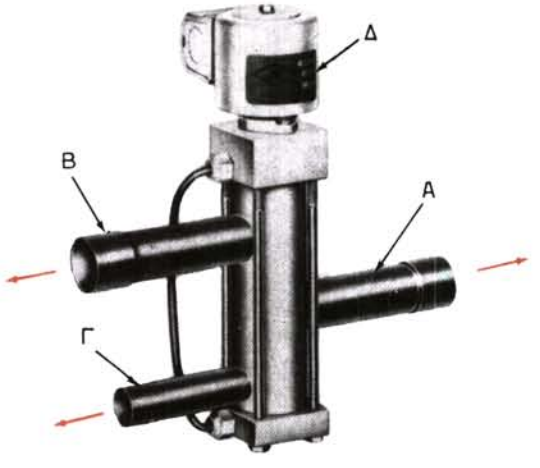
Ο θερμός ατμός, λιώνει τον πάγο, που έχει σχηματισθεί στις εξωτερικές επιφάνειες του στοιχείου ατμοποιήσεως, και στη συνέχεια φθάνει στην είσοδο του στοιχείου. Στη θέση αυτή περνάει από τη βαλβίδα αντεπιστροφής και παρακάμπτει τη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα καθώς και την κλειστή, κατά τη φάση αυτή, ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα. Στη συνέχεια, μέσα από τη σωλήνωση

του υγρού ψυκτικού μέσου, φθάνει στο συλλέκτη, από όπου ο συμπιεστής αναρροφά τον ατμό. Κατά την αποπάγωση ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα, που συνδέει το συλλέκτη με την αναρρόφηση του συμπιεστή.

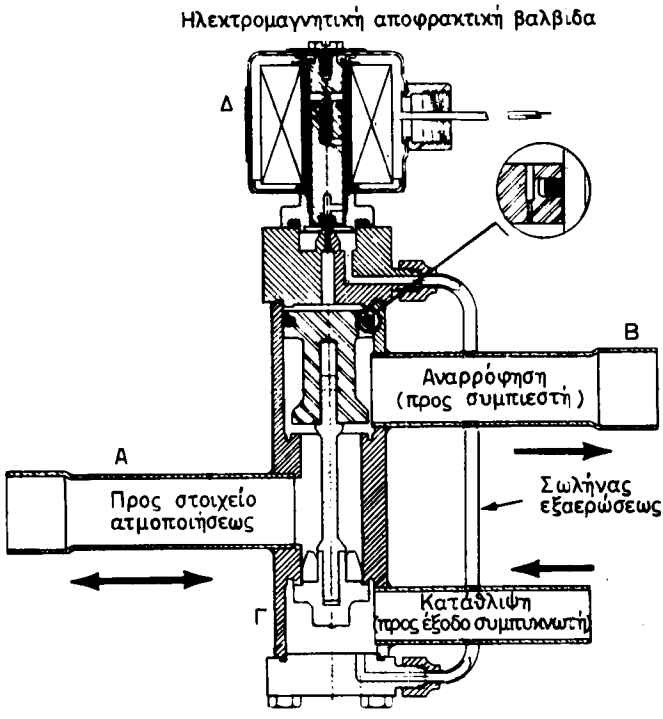
Στο στοιχείο ατμοποιήσεως, κατά την αποπάγωση, υγροποιείται μεγάλη ποσότητα από το ψυκτικό μέσο, και στο συλλέκτη φθάνει κυρίως υγρό. Έτσι όμως δεν υπάρχει ατμός ψυκτικού μέσου για να αναρροφήσει ο συμπιεστής και να ξαναστείλει στο στοιχείο ατμοποιήσεως, ώστε να συνεχισθεί η αποπάγωση. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη, η ηλεκτρική αντίσταση, που υπάρχει στο συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου, τροφοδοτείται με ισχύ από το ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε με τη θερμότητά της, παράγεται πρόσθετη ποσότητα ατμού ψυκτικού μέσου για την αποπάγωση.

Η αποπάγωση αρχίζει με χρονοδιακόπτη, που δίνει εντολή και αλλάζει κατάλληλα η θέση των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων. Ο ίδιος χρονοδιακόπτης δίνει εντολή για το τέλος της αποπαγώσεως, οπότε και πάλι επέρχονται οι κατάλληλες αλλαγές θέσεως των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων καθώς και η τροφοδότηση με ηλεκτρική ισχύ των διαφόρων μονάδων της ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Η ***τριοδική βαλβίδα,*** που ήδη αναφέρθηκε στην παράγραφο αυτή, είναι βαλβίδα που συνδέεται με το δίκτυο σωληνώσεων με τρεις συνδέσμους. Δηλαδή μπορεί κατά περίπτωση να έχει μια είσοδο και δυο εξόδους ή δυο εισόδους και μια έξοδο. Ως προς την κατασκευή της η τριοδική βαλβίδα μοιάζει με την τετραοδική, που ήδη εξετάσθηκε στην παράγραφο 5.2.4. Η εξωτερική μορφή μιας τριοδικής βαλβίδας φαίνεται στο σχήμα 6.5δ. Ο σύνδεσμος (Α) της βαλβίδας συνδέεται προς την έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως, ο σύνδεσμος (Β) συνδέεται προς την αναρρόφη-



Σχ. 6.5δ.
Τριοδική βαλβίδα μεταγωγής - παρακάμψεως θερμού ατμού. Α) Σύνδεση προς στοιχείο ατμοποιήσεως. Β) Προς αναρρόφηση συμπιεστή. Γ) Σύνδεση προς συμπυκνωτή. Δ) Ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα.



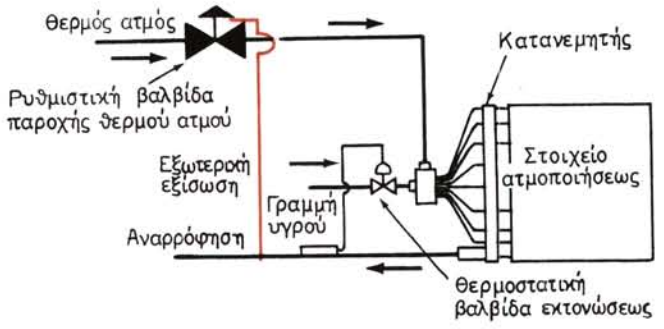
Σχ. 6.5ε.
Εσωτερική διαμόρφωση μιας τριοδικής βαλβίδας.

ση του συμπιεστή και ο σύνδεσμος (Γ) συνδέεται, μέσω της σωληνώσεως παρακάμψεως, προς την έξοδο του συμπυκνωτή. Τα βέλη στο σχήμα 6.5δ δείχνουν την κατεύθυνση της ροής του ψυκτικού μέσου, όταν η βαλβίδα βρίσκεται σε θέση κατάλληλη για την αποπάγωση της εγκαταστάσεως (βλ. και σχήμα 6.5γ).

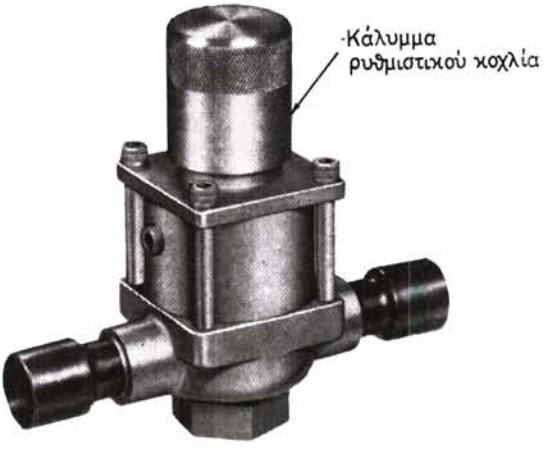
Η εσωτερική διαμόρφωση μιας τριοδικής βαλβίδας φαίνεται στο σχήμα 6.5ε. Μέσα στον κεντρικό κατακόρυφο κύλινδρο κινείται ο εμβολοσύρτης, που συνδέει κατά περίπτωση το σύνδεσμο (Α) της βαλβίδας είτε με το σύνδεσμο (Β) είτε με το σύνδεσμο (Γ).

Ο εμβολοσύρτης κινείται με ατμό ψυκτικού μέσου που διοχετεύεται στη μια ή στην άλλη πλευρά του εμβόλου, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5ε. Η διοχέτευση αυτή ελέγχεται από απλή ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα, η οποία, ανάλογα με τη θέση της, στέλνει ή δεν στέλνει ατμό ψυκτικού μέσου, από την υψηλή πίεση, προς τον αντίστοιχο θάλαμο του εμβολοσύρτη. Η ηλεκτρομαγνητική βρίσκεται στο επάνω μέρος του σώματος της συρτοβαλβίδας. Η μεταγωγή θερμού ατμού προς το στοιχείο ατμοποιήσεως παρουσιάζει αρκετά προβλήματα στην πράξη και θέλει ιδιαίτερη προσοχή στη σχεδίαση.

Μια επί πλέον διάταξη που προσαρμόζει την παροχή του θερμού ατμού προς το στοιχείο ατμοποιήσεως ανάλογα με την πίεση, και συνεπώς και με τη θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως, φαίνεται στο σχήμα 6.5στ. Η



Σχ. 6.5στ.
Αποπάγωση με θερμό ατμό. Πιεζοστατική ρύθμιση παροχής ατμού.



Σχ. 6.5ζ.
Βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής θερμού ατμού για διατάξεις αποπαγώσεως.

διάταξη περιλαμβάνει ένα στοιχείο ατμοποιήσεως πολλαπλών παραλλήλων διαδρομών που τροφοδοτείται από ένα κατανεμητή ψυκτικού μέσου, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτείται από μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα. Ο θερμός ατμός εγχύνεται ανάμεσα στη θερμοστατική εκτονωτική και στον κατανεμητή. Ο θερμός ατμός παρέχεται από ρυθμιστική βαλβίδα που ελέγχει την παροχή του ανάλογα με την πίεση στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Όταν η χαμηλή πίεση, στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως, πέφτει, η παροχή του θερμού ατμού αυξάνει, γιατί εμφανίζεται έντονη υγροποίηση του θερμού ατμού μέσα στο στοιχείο ατμοποιήσεως. Αντίθετα, όταν η χαμηλή πίεση αυξάνει, η παροχή θερμού ατμού μειώνεται γιατί δεν υγροποιείται η παρεχόμενη ποσότητα. Η ρυθμιστική βαλβίδα παροχής θερμού ατμού λειτουργεί με εξωτερική εξίσωση πιέσεως ή με βαλβίδα-πιλότο, που μετράει την πίεση στην έξοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Βαλβίδα ρυθμίσεως παροχής θερμού ατμού, κατά τη διάρκεια της αποπαγώσεως, φαίνεται στο σχήμα 6.5ζ. Στο επάνω μέρος, κάτω από το προστατευτικό κά-

λυμμα, υπάρχει ο ρυθμιστικός κοχλίας, για την απαιτούμενη ρύθμιση - προσαρμογή προς τη συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Στις διατάξεις που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα στην παράγραφο αυτή, όση ώρα ο θερμός ατμός χρησιμοποιείται για την τήξη του πάγου, ο συμπυκνωτής της εγκατάστασης εξακολουθεί να λειτουργεί κανονικά έστω και με μερικό φορτίο. Μια άλλη μέθοδος αποπαγώσεως, χρησιμοποιεί πλήρη ***αντιστροφή λειτουργίας του συμπυκνωτή και του στοιχείου ατμοποιήσεως.*** Αυτό σημαίνει ότι κατά την ώρα της αποπαγώσεως το στοιχείο ατμοποιήσεως τροφοδοτείται με θερμό ατμό, που υγροποιείται, το δε υγροποιημένο ψυκτικό μέσο οδηγείται στο συμπυκνωτή, όπου ατμοποιείται. Η ανάστροφη αυτή λειτουργία μετατρέπει την ψυκτική διάταξη σε αντλία θερμότητας. Η μετατροπή όμως γίνεται όχι για την άντληση της θερμότητας, αλλά για την τήξη του πάγου, δηλαδή για τη θέρμανση του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Από πλευράς ψυκτικού κυκλώματος, οι διατάξεις αυτές είναι όμοιες με τις αντίστοιχες των συσκευών που χρησιμοποιούνται πότε ως ψυκτικές και πότε ως αντλίες θερμότητας, στις οποίες ήδη έχομε αναφερθεί στην παράγραφο 5.2.4.

6.6 Άλλες μέθοδοι αποπαγώσεως.

Οι μέθοδοι αποπαγώσεως, που έχουν περιγραφεί ως τώρα είναι αυτές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Υπάρχουν όμως και άλλες, από τις οποίες, οι κυριότερες είναι οι εξής:

α) Αποπάγωση ***με θερμό αέρα,*** που προσάγεται με ανεμιστήρα στο παγωμένο στοιχείο ατμοποιήσεως.

β) Αποπάγωση με ***δευτερεύον ψυκτικό κύκλωμα,*** που θερμαίνει το παγωμένο στοιχείο ατμοποιήσεως.

γ) Αποπάγωση με κύκλωμα ***θερμαινόμενης άλμης.*** Η χρήση της θερμής άλμης για τη θέρμανση του παγωμένου στοιχείου ατμοποιήσεως δεν παρουσιάζει τον κίνδυνο της αυξήσεως της πιέσεως του ψυκτικού μέσου. Η αύξηση αυτή μπορεί να συμβεί από υπερθέρμανση, που είναι δυνατό να παρουσιασθεί, όταν π.χ. για την αποπάγωση χρησιμοποιείται ηλεκτρική αντίσταση και κολλήσει ο θερμοστάτης ασφάλειας.

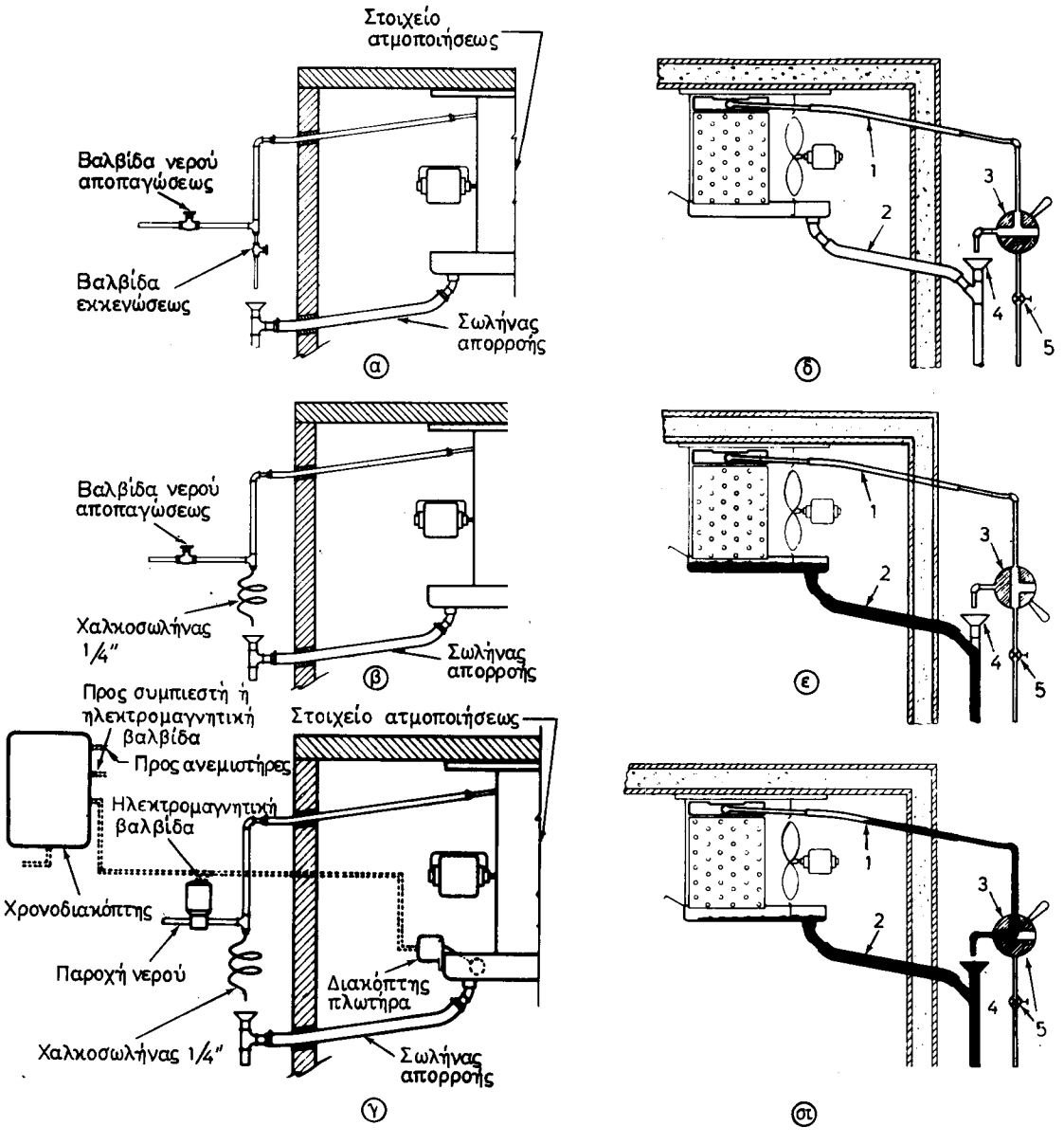
δ) Αποπάγωση με ***καταιωνισμό νερού.*** Χρησιμοποιείται δηλαδή ποσότητα νερού που ψεκάζεται πάνω στον πάγο του στοιχείου ατμοποιήσεως και το λιώνει. Τόσο το νερό που ψεκάζεται όσο και το νερό που προέρχεται από την τήξη του πάγου φεύγουν μαζί από το σωλήνα απορροής, όπως φαίνεται στις εικκεικοοικό νόνεςνεετς τ ο τ ε οε σφχ σχήματος 6.6. Ιδιαίτερα επίσης πρέπει να τονισθεί η ανάγκη υπάρξεως του ***κρουνού εκκενώσεως*** ο οποίος αδειάζει το σωλήνα ψεκασμού. Η εκκένωση είναι τελείως απαραίτητη να πραγματοποιείται μετά τον ψεκασμό, γιατί αν μείνει το νερό μέσα στο σωλήνα θα παγώσει, οπότε δεν θα λειτουργεί πια το σύστημα ψεκασμού.

Ένα σύστημα αποπαγώσεως με καταιωνισμό νερού μπορεί να συγκροτείται:

— Είτε από ***βαλβίδες αποφράξεως*** [σχήμα 6.6 (α,β,γ)],

— είτε από μια ***τριοδική*** χειροκίνητη βαλβίδα [σχήμα 6.6(δ,ε,στ)].

Ειδικότερα, η αποπάγωση στο σύστημα του σχήματος 6.6(α) γίνεται ανοίγοντας τη χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα αποπαγώσεως. Όταν τελειώσει η αποπάγωση ο αγωγός του νερού αδειάζει ανοίγοντας τη χειροκίνητη βαλβίδα εκκενώσεως.



Σχ. 6.6.

Συστήματα αποπαγώσεως με καταιωνισμό νερού.

1) Παροχή νερού. 2) Γραμμή απορροής. 3) Τριοδική βαλβίδα. 4) Σημείο εξαερισμού. 5) Αποφρακτική παροχής νερού.

α) Χειροκίνητη αποπάγωση και χειροκίνητη απορροή. β) Χειροκίνητη αποπάγωση και αυτόματη απορροή. γ) Αυτόματη αποπάγωση και απορροή. δ) Χειροκίνητη αποπάγωση και απορροή με τριοδική βαλβίδα, θέση ψύξεως. ε) Χειροκίνητη αποπάγωση και απορροή με τριοδική βαλβίδα, θέση αποπαγώσεως. στ) Χειροκίνητη αποπάγωση και απορροή με τριοδική βαλβίδα, θέση απορροής μετά το τέλος της αποπαγώσεως.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Στο σχήμα 6.6(β) η αποπάγωση γίνεται με χειροκίνητο σύστημα ανοίγοντας την αποφρακτική βαλβίδα. Ο αγωγός του νερού αδειάζει μετά το κλείσιμο της βαλβίδας, με τη βοήθεια του μικρού χαλκοσωλήνα που είναι μόνιμα συνδεμένος.

Η διάταξη του σχήματος 6.6(γ) περιλαμβάνει ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα, που ενεργοποιείται και ανοίγει, όταν αρχίζει η αποπάγωση και κλείνει όταν τελειώνει. Περιλαμβάνει επίσης και ένα διακόπτη πλωτήρα, που ελέγχει τη στάθμη του νερού στη λεκάνη κάτω από το στοιχείο ατμοποιήσεως. Όταν η στάθμη υπερβεί το καθορισμένο όριο, διακόπτεται μέσω του διακόπτη αποπαγώσεως η παροχή νερού, η οποία ξαναρχίζει μόλις η στάθμη ξαναπέσει. Η διάταξη αυτή προστατεύει το χώρο που ψύχεται από τυχόν κατάκλυση με νερό, λόγω υπερβολικής παροχής νερού ή λόγω παγώματος και αποφράξεως του σωλήνα απορροής.

Τέλος, η διάταξη του σχήματος 6.6(α) λειτουργεί, αντί με δυο αποφρακτικές βαλβίδες, με μια τριοδική χειροκίνητη βαλβίδα, όπως φαίνεται στα σχήμα 6.6 (δ,ε,στ).

6.7 Αποπάγωση οικιακών ψυγείων.

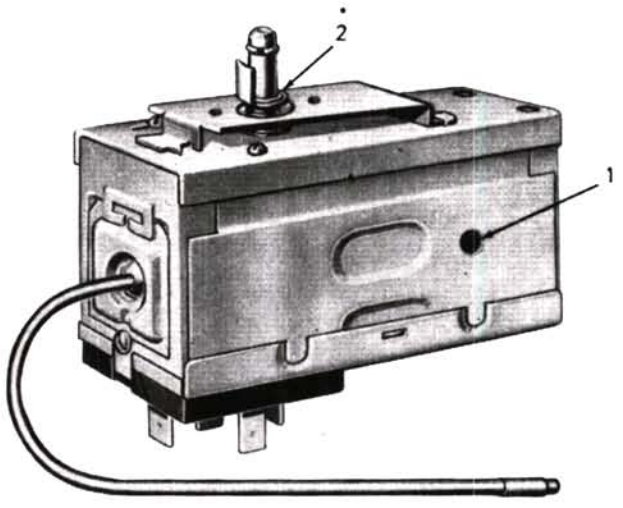
Ο πάγος, που σχηματίζεται στα οικιακά ψυγεία, οφείλεται τόσο στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα όσο και στην υγρασία που παράγουν τα διάφορα τρόφιμα που αποθηκεύονται στο ψυχόμενο χώρο. Όταν π.χ. μέσα στο ψυγείο τοποθετούνται τρόφιμα που έχουν υγρασία και δεν είναι σκεπασμένα ή περιτυλιγμένα με πλαστικό ή αλουμινόχαρτο, τότε σημαντικές ποσότητες υδρατμού φεύγουν από τα τρόφιμα και στερεοποιούνται πάνω στις κρύες επιφάνειες του στοιχείου ατμοποιήσεως.

Επίσης, όταν ανοίγει και κλείνει η πόρτα του ψυγείου, αντικαθίσταται γρήγορα ο κρύος αέρας που υπάρχει μέσα σ' αυτό με νέο ζεστό αέρα από το δωμάτιο. Η αντικατάσταση γίνεται με φυσική κυκλοφορία· ο βαρύτερος κρύος αέρας κυκλοφορεί προς το πάτωμα του δωματίου, από το κάτω μέρος της ανοικτής πόρτας του ψυγείου, ενώ από το πάνω μέρος μπαίνει ο ελαφρότερος ζεστός αέρας του δωματίου. Όσο περισσότερες φορές ανοιγοκλείνει η πόρτα, τόσο περισσότερες εναλλαγές αέρα γίνονται στο χώρο του ψυγείου και τόσο περισσότερος πάγος σχηματίζεται.

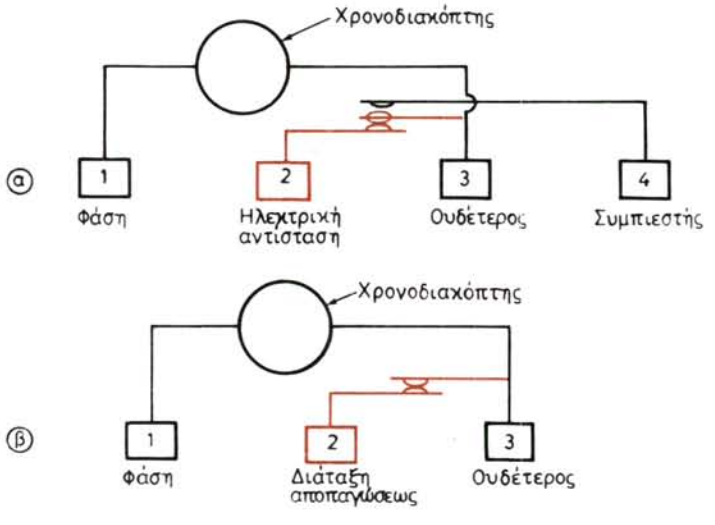
Μετά από αυτά είναι σαφές ότι η ποσότητα του πάγου που σχηματίζεται εξαρτάται τόσο από το χρόνο λειτουργίας του ψυγείου, όσο και από τη συχνότητα με την οποία ανοιγοκλείνομε την πόρτα. Για το λόγο αυτό οι διατάξεις αποπαγώσεως λειτουργούν ή με χρονοδιακόπτες, που ξεκινούν την αποπάγωση σε τακτά χρονικά διαστήματα, ή με απαριθμητές, που μετρούν το πλήθος από τα ανοίγματα της πόρτας και ύστερα από ένα συγκεκριμένο αριθμό, αρχίζουν την αποπάγωση.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία διατάξεων αποπαγώσεως οικιακών ψυγείων, οι οποίες, ως προς την αρχή λειτουργίας τους δεν διαφέρουν από εκείνες τις διατάξεις που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους· χαρακτηρίζονται όμως για την απλότητά τους μια και τοποθετούνται σε σχετικά περιορισμένο χώρο. Στη συνέχεια θα εξετάσομε μόνο μερικές πολύ συνηθισμένες διατάξεις καθώς και τα αντίστοιχα εξαρτήματά τους.

Μια συνηθισμένη μέθοδος για αποπάγωση είναι η χρησιμοποίηση ηλεκτρικού χρονοδιακόπτη και η σύνδεση ηλεκτρικής αντιστάσεως, κατά τη διάρκεια της αποπαγώσεως, η οποία θερμαίνει και λιώνει τον πάγο. Πολλές φορές ο χρονοδιακό-

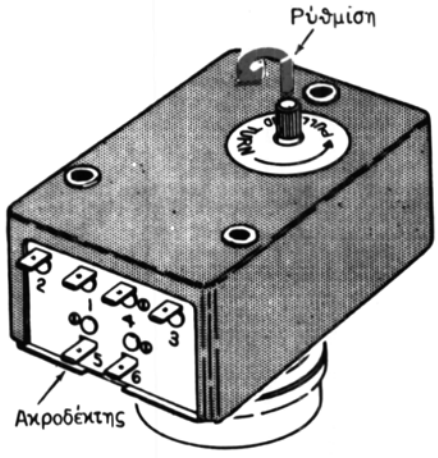


Σχ. 6.7α.
Χρονοδιακόπτης με θερμοστάτη για αυτόματη αποπάγωση. 1. Ρύθμιση ηλεκτρικού χρονοδιακόπτη αποπαγώσεως. 2. Ρύθμιση περιοχής θερμοκρασίας τέλους αποπαγώσεως.

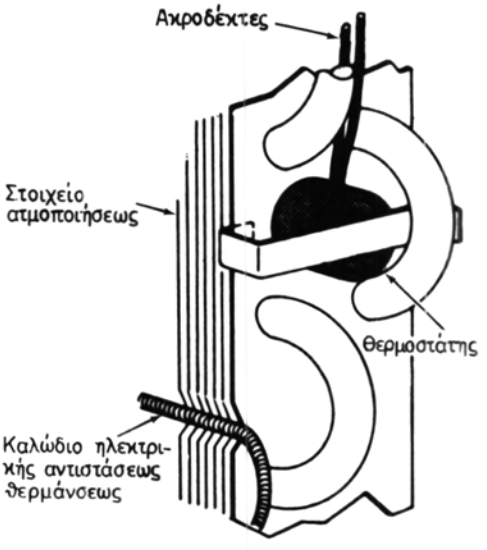


Σχ. 6.7β.
Καλωδίωση συστήματος αποπαγώσεως που χρησιμοποιεί τη συσκευή του σχήματος 6.7α. α) Έλεγχος ηλεκτρικής αντιστάσεως και ηλεκτρικού κινητήρα συμπιεστή. β) Έλεγχος διατάξεως αποπαγώσεως.

πτης είναι ενσωματωμένος στο χώρο, όπου βρίσκεται και ένας θερμοστάτης που προκαλεί το τέλος της αποπαγώσεως, δηλαδή χρησιμοποιείται μια διάταξη όπως αυτή του σχήματος 6.7α. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών φάσεων αποπαγώσεως ρυθμίζεται από το ρυθμιστή (1). Στο σχήμα 6.7β εικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα της καλωδιώσεως ενός απλού ηλεκτρικού χρονοδιακόπτη, σαν αυτόν του σχήματος 6.7α, είτε όταν αυτός ελέγχει μια ηλεκτρική αντίσταση



Σχ. 6.7γ.
Τριβάθμιος χρονοδιακόπτης αποπαγώσεως.



Σχ. 6.7δ.
Διμεταλλικός θερμοστάτης ελέγχου της αντιστάσεως αποπαγώσεως του στοιχείου ατμοποιήσεως.

για την αποπάγωση, είτε όταν ενεργοποιεί μια πιο σύνθετη διάταξη αποπαγώσεως, η οποία π.χ. μπορεί να χρησιμοποιεί μέθοδο αποπαγώσεως με θερμό ατμό. Στην τελευταία περίπτωση την ευθύνη του ελέγχου του συμπιεστή έχει η διάταξη αποπαγώσεως.

Ένας συνθετότερος χρονοδιακόπτης αποπαγώσεως φαίνεται στο σχήμα 6.7γ. Ο χρονοδιακόπτης αυτός ονομάζεται και ***τριβάθμιος,*** γιατί ελέγχει και ενεργοποιεί τρεις κύριες φάσεις λειτουργίας, οι οποίες διαδοχικά περιλαμβάνουν τα εξής:

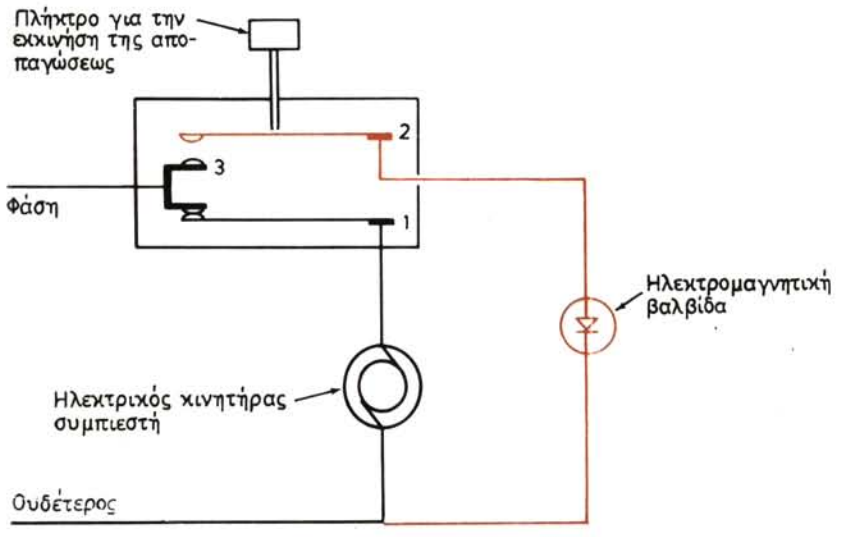
1η φάση. Διακόπτεται η λειτουργία του συμπιεστή και του ανεμιστήρα του στοιχείου ατμοποιήσεως. Τροφοδοτείται η θερμαντική αντίσταση για 15 min περίπου.

2η φάση. Αποσυνδέεται η ηλεκτρική θερμαντική αντίσταση και αρχίζει να λειτουργεί ο συμπιεστής.

3η φάση. Ξαναξεκινάει ο ανεμιστήρας του στοιχείου ατμοποιήσεως ύστερα από 4 min από την εκκίνηση του συμπιεστή.

Η αντίσταση αποπαγώσεως του στοιχείου ατμοποιήσεως ελέγχεται επί πλέον από μια θερμοστατική διάταξη που διακόπτει τη θέρμανση, αν η θερμοκρασία της μεταλλικής επιφάνειας του στοιχείου ατμοποιήσεως υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή. Ο τρόπος στερεώσεως του θερμοστατικού διμεταλλικού διακόπτη επάνω στα πτερύγια του στοιχείου ατμοποιήσεως φαίνεται στο σχήμα 6.7δ. Στο κάτω μέρος των πτερυγίων φαίνεται και η ηλεκτρική αντίσταση αποπαγώσεως που θερμαίνει και λιώνει τον πάγο.

Οι διατάξεις με χρονοδιακόπτη που περιγράφηκαν, εξασφαλίζουν αυτόματη λει-



Σχ. 6.7ε.
Καλωδιακό διάγραμμα για διάταξη με χειροκίνητη έναρξη αποπαγώσεως και αυτόματο τέλος.

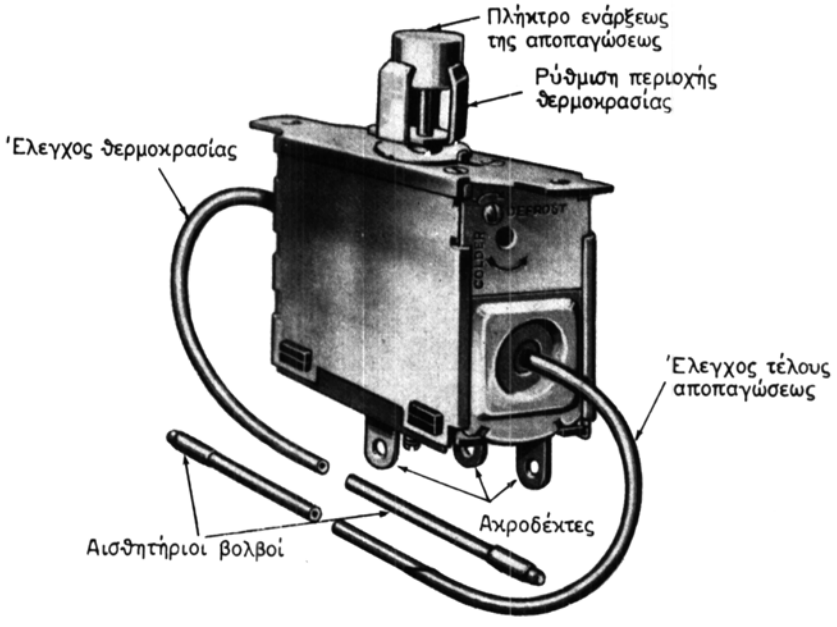
τουργία για αποπάγωσή Σε πολλές όμως περιπτώσεις, οι κατασκευαστές επιλέγουν ***ημιαυτόματη*** λειτουργία, η οποία πραγματοποιείται με χειροκίνητο ξεκίνημα της αποπαγώσεως και αυτόματο τερματισμό της.

Στο σχήμα 6.7ε φαίνεται το καλωδιακό διάγραμμα μιας διατάξεως με ημιαυτόματη λειτουργία. Στο επάνω μέρος του σχήματος διακρίνεται ο διακόπτης με το πλήκτρο για τη χειροκίνητη έναρξη. Όταν πιεσθεί το πλήκτρο, ο διακόπτης κάνει μεταγωγή, παύει να τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή και τροφοδοτεί το κύκλωμα αποπαγώσεως που μπορεί να είναι θερμαντική αντίσταση, ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αποφράξεως, ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μεταγωγής ή κάποιος κατάλληλος συνδυασμός από αυτά τα στοιχεία. Στο σχήμα 6.7ε π.χ. βλέπομε σχεδιασμένη μια ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα.

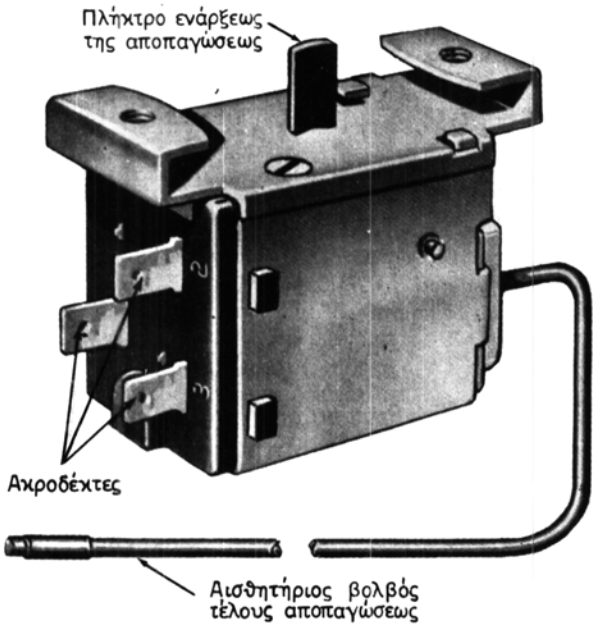
Το τέλος της αποπαγώσεως, δηλαδή η επαναφορά του διακόπτη στην αρχική θέση ώστε να τεθεί σε λειτουργία ο συμπιεστής, γίνεται με πτυχωτό σωλήνα ή μεμβράνη που ενεργοποιούνται από ένα αισθητήριο βολβό με κατάλληλη γόμωση ψυκτικού μέσου και κινούν μηχανικά τις επαφές του διακόπτη.

Τις πιο πολλές φορές οι διακόπτες αποπαγώσεως συνδυάζονται με το θερμοστάτη χώρου του οικιακού ψυγείου σε ένα κοινό κέλυφος. Μια κατασκευή του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 6.7στ. Στο πάνω μέρος του σχήματος φαίνεται το πλήκτρο του διακόπτη ενάρξεως αποπαγώσεως και γύρω από αυτό τα ελάσματα όπου στερεώνεται το κουμπί που ρυθμίζει, με την περιστροφή του, την περιοχή θερμοκρασίας του αέρα του ψυγείου.

Στο κάτω μέρος του σχήματος διακρίνονται δυο σωλήνες με αντίστοιχους αισθητήριους βολβούς και κατάλληλη γόμωση ψυκτικού μέσου.



Σχ. 6.7στ.
Συνδυασμός διακόπτη αποπαγώσεως και θερμοστάτη χώρου.



Σχ. 6.7ζ.
Διακόπτης αποπαγώσεως με αισθητήριο βολβό για το τέλος της αποπαγώσεως.

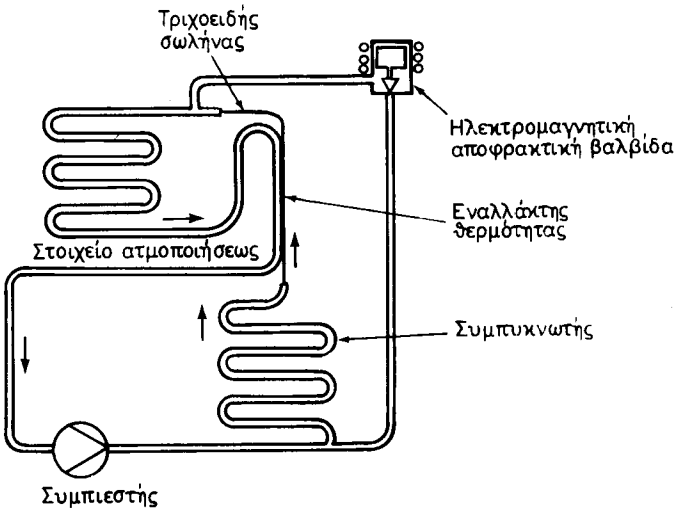
Ο αριστερός σωλήνας εξυπηρετεί το θερμοστάτη χώρου και ανοίγει και κλείνει το διακόπτη του ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή διατηρώντας τη θερμοκρασία του χώρου του ψυγείου στα επιθυμητά όρια.

Ο δεξιός σωλήνας με τον αισθητήριο βολβό του παρακολουθεί το τέλος της αποπαγώσεως. Ελέγχει δηλαδή σε κατάλληλη θέση του στοιχείου ατμοποιήσεως, αν υπάρχει ακόμα πάγος ή όχι. Όταν έχει πιεσθεί το πλήκτρο του διακόπτη αποπαγώσεως, το σύστημα αποπαγώσεως συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι τη στιγμή που ο αισθητήριος βολβός δεν διαπιστώνει πια ύπαρξη άλλης ποσότητας πάγου. Μόνο όταν δεν υπάρχει άλλος πάγος και η θερμοκρασία της γομώσεως του βολβού αρχίσει να ανεβαίνει, σταματάει αυτόματα η αποπάγωση, με την πίεση του πτυχωτού σωλήνα πέρατος αποπαγώσεως επάνω στο διακόπτη.

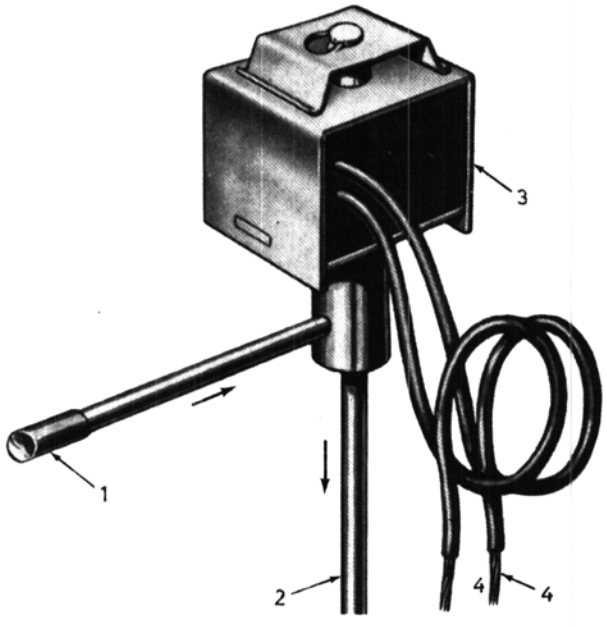
Άλλες κατασκευές οικιακών ψυγείων χρησιμοποιούν χωριστούς διακόπτες και κελύφη για το θερμοστάτη χώρου και για την αποπάγωση. Στην περίπτωση αυτή οι διακόπτες αποπαγώσεως έχουν ένα αισθητήριο βολβό για το τέλος της αποπαγώσεως. Μια σχετική κατασκευή φαίνεται στο σχήμα 6.7ζ.

Εκτός από τις διατάξεις αποπαγώσεως ηλεκτρικών οικιακών ψυγείων με θερμαντική αντίσταση, που ήδη εξετάσαμε, η αποπάγωση ενός οικιακού ψυγείου μπορεί να γίνει με θερμό ατμό. Συστήματα αποπαγώσεως με θερμό ατμό έχομε μελετήσει αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους· εδώ όμως πρέπει να τονίσομε ότι όταν η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα οικιακά ψυγεία, η διάταξη που απαιτείται είναι πολύ πιο απλή. Αυτό οφείλεται στο είδος της διατάξεως στραγγαλισμού που χρησιμοποιούν τα οικιακά ψυγεία, δηλαδή στον τριχοειδή σωλήνα.

Στο σχήμα 6.7η φαίνεται το διάγραμμα του ψυκτικού κυκλώματος που χρησιμο-



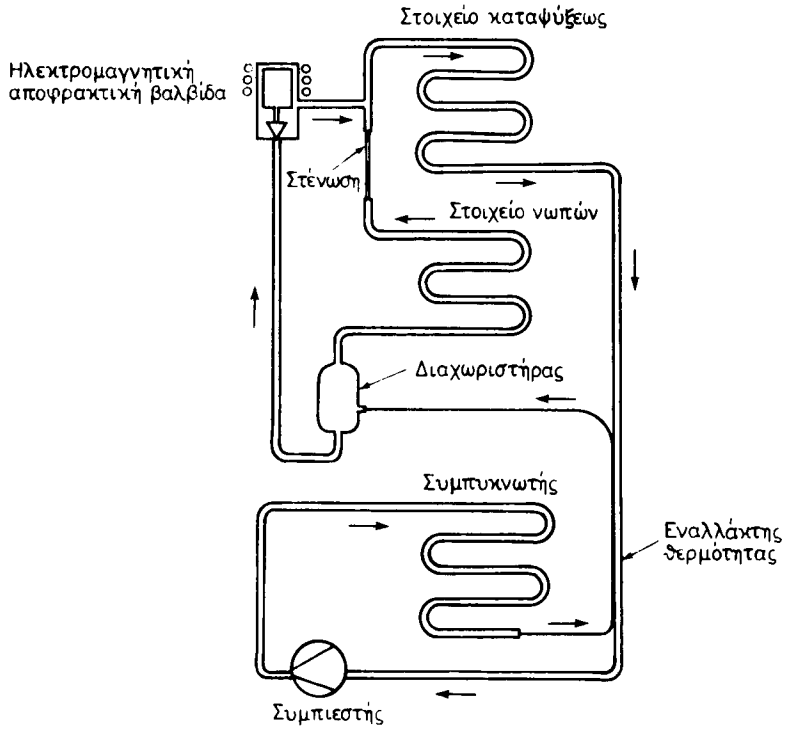
Σχ. 6.7η.
Ψυκτικό κύκλωμα με τριχοειδή σωλήνα ως διάταξη στραγγαλισμού και αποπάγωση με θερμό ατμό.



Σχ. 6.7θ.
Ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα θερμού ατμού. 1. Είσοδος θερμού ατμού. 2. Έξοδος θερμού ατμού. 3. Πηνίο ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. 4. Ηλεκτρικοί ακροδέκτες.

ποιεί τριχοειδή σωλήνα ως διάταξη στραγγαλισμού και αποπάγωση με θερμό ατμό, ελεγχόμενη από μια μόνο ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα. Όταν η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική είναι κλειστή, το ψυκτικό κύκλωμα λειτουργεί κανονικά σε φάση ψύξεως. Όταν αρχίσει η αποπάγωση, ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική και έτσι περνάει ο υπέρθερμος ατμός από την είσοδο του συμπυκνωτή κατευθείαν στην είσοδο του στοιχείου ατμοποιήσεως. Στη φάση της αποπαγώσεως η διαφορά πιέσεως μεταξύ βαθμίδας υψηλής και χαμηλής πιέσεως ελαττώνεται σημαντικά και συνεπώς, επειδή το άνοιγμα του τριχοειδή σωλήνα μένει σταθερό, η ποσότητα υγρού ψυκτικού μέσου, που στραγγαλίζεται, ελαττώνεται πάρα πολύ. Η αρχή αυτή λειτουργίας δεν μπορεί να εφαρμοσθεί, αν η διάταξη στραγγαλισμού είναι θερμοστατική εκτονωτική, γιατί τότε η θερμοστατική ανοίγει και στέλνει υγρό ψυκτικό μέσο.

Οι ηλεκτρομαγνητικές αποφρακτικές βαλβίδες που εξυπηρετούν ψυκτικά κυκλώματα του τύπου του σχήματος 6.7η, είναι σχετικά απλές στην κατασκευή τους. Μια βαλβίδα του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 6.7θ. Είναι γωνιακού τύπου με στόμια κατάλληλα για συγκόλληση. Η ίδια ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική βαλβίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για οικιακά ψυγεία με δυο βαθμίδες ψύξεως, που εξυπηρετούν χώρο για κατεψυγμένα προϊόντα (−18°C) και χώρο για νωπά προϊόντα (+4°C). Υπάρχουν και σ' αυτές τις περιπτώσεις πάρα πολλές διατάξεις τόσο για την παραγωγή της ψυκτικής ισχύος, σε δυο διαφορετικές θερμοκρασίες, όσο



Σχ. 6.7ι.
Ψυκτικό κύκλωμα οικιακού ψυγείου με χώρο νωπών και κατεψυγμένων και χωριστά στοιχεία ατμοποιήσεως. Η ηλεκτρομαγνητική όταν ανοίγει ενισχύει τη λειτουργία της καταψύξεως.

και για την αποπάγωση. Στο σχήμα 6.7ι εικονίζεται το διάγραμμα μιας απλής περιπτώσεως, όπου υπάρχουν δυο διαδοχικά στοιχεία ατμοποιήσεως, τα οποία συνδέονται εν σειρά, και μια αποφρακτική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, η οποία ξεκινά ή σταματά το στοιχείο ατμοποιήσεως του χώρου διατηρήσεως νωπών προϊόντων (+4°C). Όταν η βαλβίδα είναι ανοικτή, όπως στο σχήμα, τότε ενισχύεται η λειτουργία της καταψύξεως και αντιμετωπίζεται ένα έκτακτο φορτίο, όπως είναι για παράδειγμα η ανάγκη για κατάψυξη κάποιου προϊόντος. Όπως φαίνεται από το σχήμα τα δυο στοιχεία ατμοποιήσεως, όταν είναι κλειστή η ηλεκτρομαγνητική αποφρακτική, διαρρέονται από το ίδιο ψυκτικό μέσο. Επειδή όμως ανάμεσα στα δυο στοιχεία υπάρχει μια περιοχή με μεγάλη πτώση πιέσεως, ουσιαστικά δηλαδή μια δεύτερη διάταξη σωλήνα στραγγαλισμού, γι' αυτό στο στοιχείο ατμοποιήσεως του χώρου κατεψυγμένων επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία, αφού η πίεση είναι χαμηλότερη. Το άνοιγμα της ηλεκτρομαγνητικής αποφρακτικής διακόπτει την τροφοδότηση του πρώτου στοιχείου ατμοποιήσεως (χώρος νωπών) και στέλνει ουσιαστικά ολόκληρη την ποσότητα στο στοιχείο ατμοποιήσεως του χώρου καταψύξεως. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μεν πολύ ψυκτικό μέσο στο συγκεκριμένο στοιχείο αλλά η πίεση ατμοποιήσεως αυξάνει και συνεπώς και η θερμοκρασία. Η

διάταξη αυτή, με το άνοιγμα της ηλεκτρομαγνητικής αποφρακτικής, εξυπηρετεί ανάγκες καταψύξεως τροφίμων, τα οποία στην αρχή είναι πιο ζεστά και απαιτούν μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ για να παγώσουν ώστε να καταψυχθούν.

Εκτός από τις συνηθισμένες διατάξεις αποπαγώσεως που α αφέρθηκαν, υπάρχουν και πολλές άλλες. Αν κάποια εγκατάσταση δεν έχει καθόλου διατάξεις αποπαγώσεως, τότε η εγκατάσταση αυτή, όταν χρειάζεται αποπάγωση, τίθεται από το χειριστή εκτός λειτουργίας και περιμένομε όσο χρόνο χρειάζεται για να λιώσει ο πάγος. Αν η αποπάγωση πρέπει να γίνει σύντομα, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ζεστός αέρας ή νερό για την επιτάχυνση. Η απόσπαση κομματιών πάγου με μηχανικά μέσα, δηλαδή ξύσιμο, κτύπημα, ή χρήση μικρών μοχλών, ***πρέπει να αποφεύγεται,*** γιατί οι χαλκοσωλήνες και τα πολύ λεπτά πτερύγια αλουμινίου των στοιχείων ατμοποιήσεως τραυματίζονται ή τρυπούν σχετικά εύκολα.

Τελειώνοντας, πρέπει να σημειώσομε ότι οποιοσδήποτε τρόπος αποπαγώσεως και αν χρησιμοποιείται, το τελικό αποτέλεσμα είναι το ίδιο, δηλαδή το λιώσιμο του πάγου. Το λιώσιμο όμως του πάγου δημιουργεί νερό, που πρέπει κάπου να συγκεντρώνεται ή να φεύγει, γιατί αν δεν γίνει αυτό τρέχει μέσα στα τρόφιμα ή στο δάπεδο και δημιουργεί προβλήματα. Σε ορισμένα ψυγεία το νερό αυτό καταλήγει σε μια λεκάνη στερεωμένη στο επάνω μέρος του συμπιεστή, ώστε να διατηρείται ζεστή. Με τη θέρμανση του κινητήρα - συμπιεστή, θερμαίνεται η λεκάνη και ατμοποιείται το νερό. Σε άλλες κατασκευές χρησιμοποιούνται ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις που ατμοποιούν το νερό της αποπαγώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΨΥΚΤΙΚΟΙ ΠΥΡΓΟΙ

7.1 Γενικά.

Όπως αναφέρθηκε στο Δεύτερο Κεφάλαιο είναι ίσως προτιμότερο, οι συμπυκνωτές και οι μεγάλοι συμπιεστές, να λειτουργούν υδρόψυκτα. Με την υδρόψυκτη λειτουργία επιτυγχάνονται χαμηλότερες θερμοκρασίες συμπυκνώσεως και έτσι γίνεται σημαντική οικονομία στην ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως. Η υδρόψυκτη όμως λειτουργία προϋποθέτει την ύπαρξη παροχής νερού με θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παλιότερα, που υπήρχε μεγαλύτερη επάρκεια νερού, συχνά χρησιμοποιούσαν νερό που στη συνέχεια διοχετεύονταν στα απόβλητα. Σήμερα όμως, που παρατηρείται στενότητα στην παροχή νερού, οι υδρόψυκτες εγκαταστάσεις πρέπει να ανακυκλοφορούν το νερό, ώστε αφού ψύχεται να χρησιμοποιείται συνεχώς για την ψύξη του συμπυκνωτή. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ψυκτικών πύργων. Οι ψυκτικοί πύργοι ή πύργοι ψύξεως είναι συσκευές στις οποίες ψύχεται το ζεστό νερό της ψυκτικής εγκαταστάσεως με τη βοήθεια του αέρα του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, σ' ένα ψυκτικό πύργο προσάγεται το ζεστό νερό καθώς και αέρας του περιβάλλοντος. Ένα μικρό ποσοστό του ζεστού νερού εξατμίζεται ενώ το υπόλοιπο νερό κρυώνει και έτσι μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για την ψύξη της ψυκτικής εγκαταστάσεως· ταυτόχρονα ο αέρας γίνεται πιο υγρός και πιο ζεστός και έτσι φεύγει από τον ψυκτικό πύργο.

Με τον τρόπο αυτό τελικά η θερμότητα της ψυκτικής εγκαταστάσεως απορρίπτεται προς τον ***αέρα*** του περιβάλλοντος, το δε νερό χρησιμοποιείται σαν ενδιάμεσος υλικός φορέας, που μεταφέρει τη θερμότητα από το συμπυκνωτή και το συμπιεστή προς τον αέρα. Έτσι όμως η θερμοκρασία συμπυκνώσεως είναι πρακτικά ίδια με εκείνη μιας αντίστοιχης αερόψυκτης εγκαταστάσεως. Παρά το γεγονός αυτό, το νερό χρησιμοποιείται ως ενδιάμεσος φορέας γιατί στο χώρο του μηχανοστασίου απαιτείται ένας μικρός σχετικά εναλλάκτης θερμότητας, ο συμπυκνωτής, ενώ ο μεγάλος όγκος του ψυκτικού πύργου τοποθετείται σε κάποιον απομακρυσμένο εξωτερικό χώρο.

Ψυκτικοί πύργοι υπάρχουν διαφόρων τύπων. Ανάλογα με τον τρόπο που κυκλοφορεί ο αέρας μέσα τους οι ψυκτικοί πύργοι διακρίνονται σε:

- ***Φυσικής κυκλοφορίας.***
- ***Εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.***

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

Στους πύργους φυσικής κυκλοφορίας ο αέρας ρέει μέσα από τον ψυκτικό πύργο λόγω της διαφοράς πυκνότητας που δημιουργείται κατά τη θέρμανσή του, όπως δηλαδή συμβαίνει και στις καπνοδόχους.

Στους πύργους εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, υπάρχει πάντοτε ένας ισχυρός ανεμιστήρας, που αναγκάζει τον αέρα να κινείται με μεγάλη ταχύτητα μέσα από τον πύργο ψύξεως. Εδώ διακρίνονται δυο περιπτώσεις, ανάλογα με τη θέση και τον τρόπο λειτουργίας του ανεμιστήρα:

'Οταν ο ανεμιστήρας στέλνει αέρα από το περιβάλλον προς τον πύργο ψύξεως, τότε υπάρχει ελαφρή υπερπίεση αέρα μέσα στον πύργο και έχομε ***ψυκτικό πύργο υπερπιέσεως*** ή ***καταθλίψεως.*** 'Οταν όμως ο ανεμιστήρας είναι στην έξοδο του ψυκτικού πύργου και αναρροφά τον αέρα μέσα από τον πύργο, τότε στον ψυκτικό πύργο επικρατεί ελαφρή υποπίεση και ο πύργος χαρακτηρίζεται ως ***πύργος αναρροφήσεως*** ή ***υποπέσεως.***

Στους πύργους καταθλίψεως ο ανεμιστήρας λειτουργεί με ατμοσφαιρικό αέρα ξηρό, ενώ στους πύργους αναρροφήσεως ο ανεμιστήρας έχει να αντιμετωπίσει και τις σταγόνες του νερού που συμπαρασύρονται από τον αέρα.

Το νερό που ψύχεται με εξάτμιση, ψεκάζεται στο επάνω μέρος του πύργου και πέφτει λόγω της βαρύτητας προς το κάτω μέρος, όπου υπάρχει μία λεκάνη. Από τη λεκάνη αυτή το αναρροφά η αντλία ανακυκλοφορίας, η οποία το ξαναστέλνει στο πάνω μέρος, όπου ξαναψεκάζεται. Συνήθως ο αέρας και το νερό κινούνται σε διάταξη αντιρροής, ώστε να επιτυγχάνονται τα καλύτερα αποτελέσματα. Υπάρχουν, όμως και άλλες διατάξεις, που εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς.

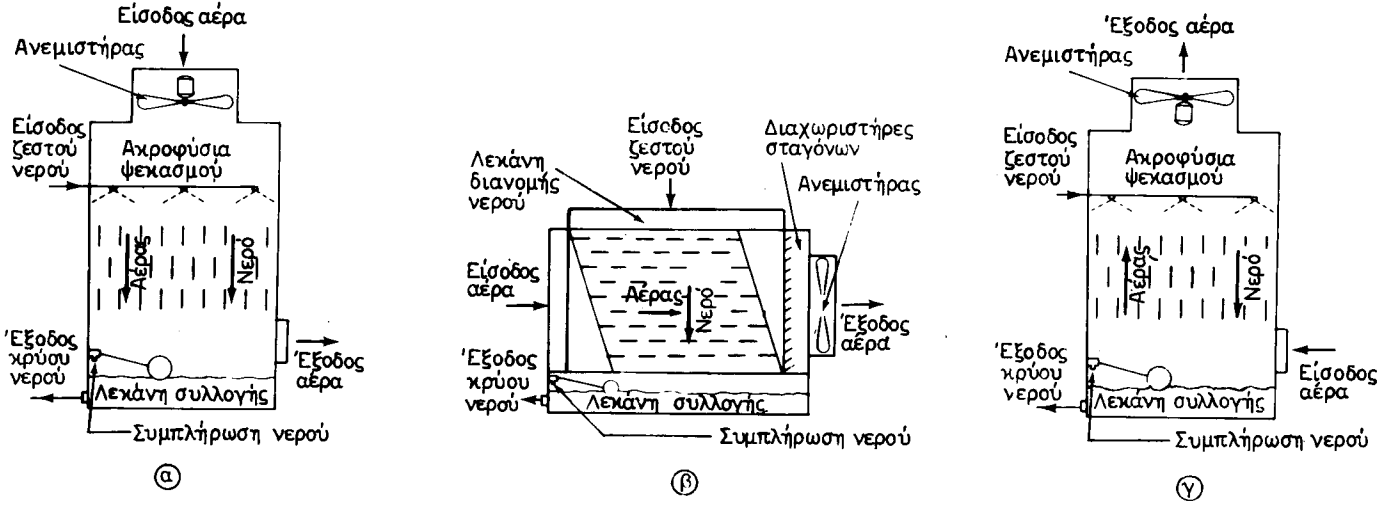
Στο σχήμα 7.1α φαίνονται 3 διαφορετικές διατάξεις ροής αέρα και νερού. Η διάταξη 7.1α(α) είναι διάταξη ομορροής με είσοδο αέρα από το πάνω μέρος και έξοδο στα πλάγια. Η διάταξη 7.1α(β) δείχνει τη λειτουργία με εγκάρσια ροή, με είσοδο και έξοδο αέρα από τα πλάγια, ενώ η διάταξη 7.1α(γ) είναι διάταξη αντιρροής με έξοδο αέρα προς τα πάνω. Η τρίτη αυτή διάταξη είναι πιο ικανοποιητική για τη συναλλαγή θερμότητας και μάζας, αλλά ο υγρός αέρας εξωθείται προς τα πάνω συμπαρασύροντας και τις σταγόνες σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτή η διάταξη είναι η πιο συνηθισμένη.

Στο σχήμα 7.1β φαίνονται τρεις διαφορετικοί τρόποι καταμερισμού του νερού σε ψυκτικό πύργο με διάταξη αντιρροής. Στο σχήμα 7.1β(α) το νερό ψεκάζεται μέσα από ακροφύσια και διασπάται σε μικρές σταγόνες, που περιβρέχουν τις επιφάνειες που γεμίζουν τον πύργο ψύξεως. Στο σχήμα 7.1β(β) το νερό διανέμεται με τη βαρύτητα μέσα από κατάλληλους οχετούς - χωνιά, οι οποίοι το κατανέμουν όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα πάνω στις επιφάνειες που βρέχονται και φέρνουν σε επαφή το νερό με τον αέρα. Ο τύπος αυτός κατανομής του νερού δεν απαιτεί αντλία μεγάλης πιέσεως για το ψεκασμό και έτσι εξοικονομείται ενέργεια. Απαιτεί όμως μεγαλύτερες επιφάνειες διαβροχής, ακριβώς γιατί το νερό δεν καταμερίζεται σε λεπτές σταγόνες, και συνεπώς μεγαλύτερο όγκο ψυκτικού πύργου.

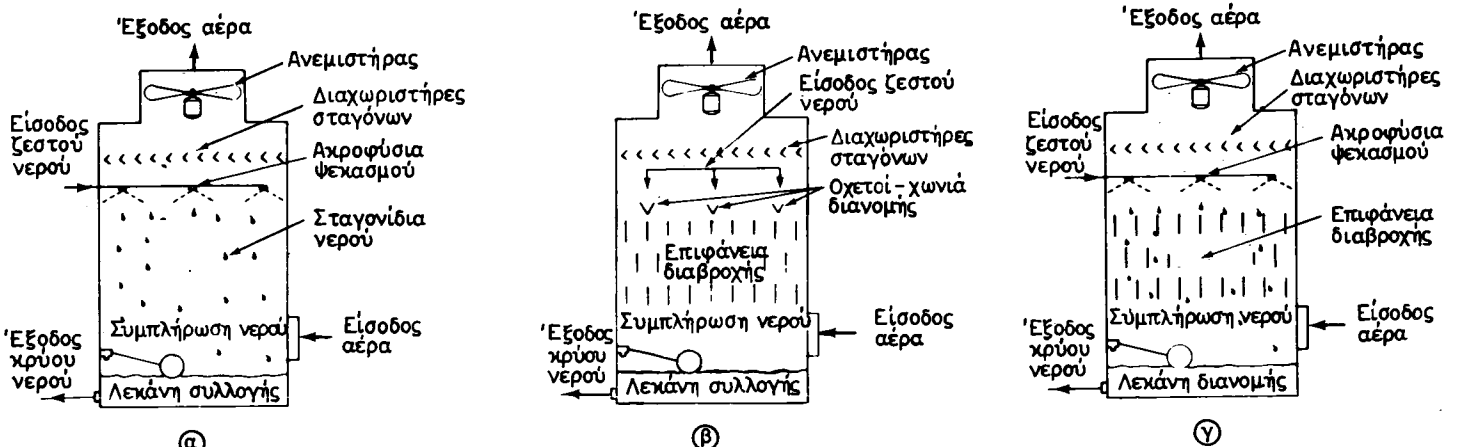
Ο τύπος του σχήματος 7.1β(γ) είναι συνδυασμός διατάξεως ψεκασμού και επιφανειών διαβροχής, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερο αποτέλεσμα.

7.2 Ψυκτικοί πύργοι φυσικής κυκλοφορίας.

Οι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας λειτουργούν με την κίνηση του αέρα λόγω του



Σχ. 7.1α.
Διαφορετικές διατάξεις ροής αέρα και νερού σε πύργους ψύξεως.
α) Ομορροή. β) Εγκάρσια ροή. γ) Αντιρροή.

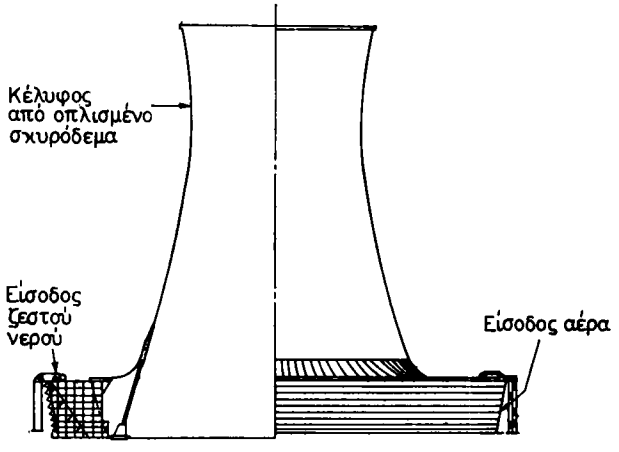


Σχ. 7.1β.

Διαφορετικοί τρόποι εξατμίσεως νερού σε πύργους ψύξεως (διάταξη αντιρροής).
α) Ψεκασμός από ακροφύσια. β) Διανομή με βαρύτητα μέσα από οχετούς-χωνιά και εξάτμιση επάνω σε επιφάνειες διαβροχής. γ) Συνδυασμός ψεκασμού από ακροφύσια και επιφανειών διαβροχής.

φυσικού ελκυσμού. Ο αέρας στο εσωτερικό του πύργου θερμαίνεται, γίνεται ελαφρότερος και ανεβαίνει προς τα πάνω συμπαρασύροντας και τον υδρατμό που σχηματίζεται από την εξάτμιση του νερού. Η συνθήκη αυτή πρέπει να εμφανίζεται οπωσδήποτε, γιατί χωρίς αυτή δε μπορούν να λειτουργήσουν οι πύργοι με φυσική κυκλοφορία αέρα.

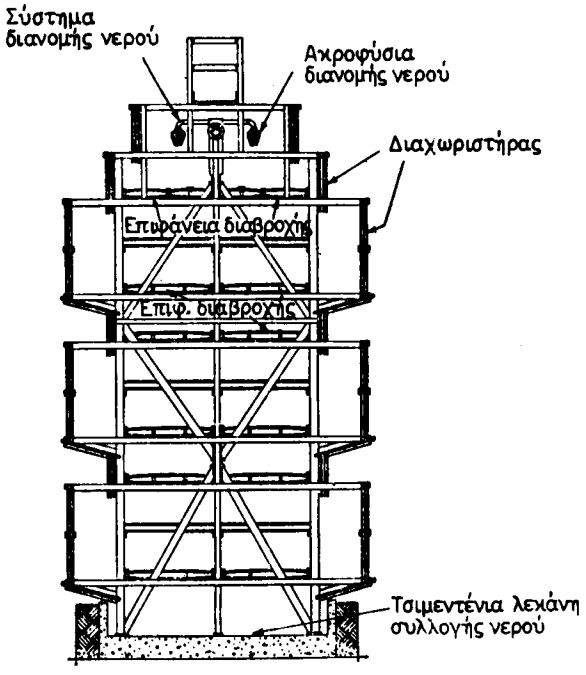
Οι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας κατασκευάζονται σε πολύ μεγάλες διαστάσεις για μεγάλες ισχείς. Η μορφή τους έχει σχήμα ***υπερβολοειδούς*** εκ περιστροφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2α. Οι πύργοι του είδους αυτού κατασκευάζονται από



Σχ. 7.2α.
Πύργος ψύξεως φυσικης κυκλοφορίας με σχήμα υπερβολοειδούς εκ περιστροφής.

οπλισμένο σκυρόδεμα· οι διαστάσεις τους φθάνουν μέχρι και 75 m σε διάμετρο βάσεως και σε ύψος μέχρι και 120 m. Το υλικό που διαβρέχεται στοιβάζεται σε ύψη που φθάνουν τα 3 και 6 m, ενώ το υπόλοιπο ύψος των πύργων αυτών μένει κενό και λειτουργεί σα καπνοδόχος. Πύργοι αυτού του είδους υπάρχουν σε πολλούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ και εξυπηρετούν ψύξη νερού με ισχύ αρκετών εκατοντάδων MWatt.

Στην ίδια κατηγορία ψυκτικών πύργων θα μπορούσαν να καταταγούν και οι ***ατμοσφαιρικοί*** πύργοι. Σ' αυτούς ο αέρας κινείται από κάτω προς τα πάνω από τον άνεμο που φυσάει. Για να λειτουργήσουν απαιτείται μια ελάχιστη ταχύτητα ανέμου γύρω στα 5 km/h. Υπάρχουν, ως προς την κατασκευή, δυο είδη πύργων αυτού του τύπου. Ο ένας λειτουργεί με ψεκασμό του νερού από πάνω προς τα κάτω, ενώ ο άλλος έχει εσωτερικά διαβρεχόμενες επιφάνειες, συνήθως ξύλα τοποθετημένα εγκάρσια μεταξύ τους, επάνω στις οποίες τρέχει το νερό. Οι κατασκευές του είδους αυτού είναι βέβαια απλές, αλλά εξαρτούν τη λειτουργία τους από την ύπαρξη ανέμου. Μια τέτοια κατασκευή φαίνεται στο σχήμα 7.2β. Στο πάνω μέρος φαίνονται τα ακροφύσια διανομής του νερού που ψύχεται και στο κάτω μέρος η λεκάνη συλλογής του νερού. Οι πύργοι του είδους αυτού μπορούν να επεξεργάζονται νερό με



Σχ. 7.2β.
Ατμοσφαιρικός πύργος ψύξεως.

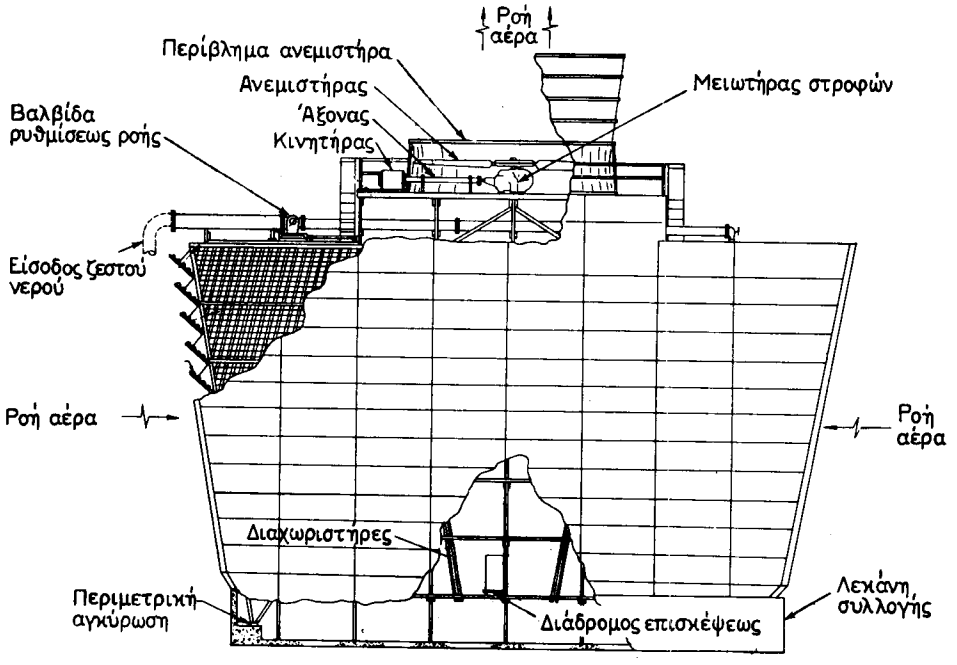
πυκνότητα παροχής μεταξύ 1-7 $(m^3/h)/m^2$, δηλαδή 1 ως 7 m^3 νερό την ώρα για κάθε 1 m^2 εγκάρσιας επιφάνειας του ψυκτικού πύργου. Σ' αυτούς τους πύργους η ψύξη του νερού δεν είναι μεγαλύτερη από 8°C και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί. Λόγω της αδυναμίας αυτής οι πύργοι έχουν περιορισμένες εφαρμογές.

7.3 Ψυκτικοί πύργοι εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Στους πύργους εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ο αέρας κυκλοφορεί με ανεμιστήρες. Για το λόγο αυτό η λειτουργία τους είναι περίπου ανεξάρτητη από την ταχύτητα του ανέμου που φυσάει.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ο ανεμιστήρας κυκλοφορίας του αέρα μπορεί να τοποθετείται είτε στην είσοδο είτε στην έξοδο, δηλαδή να είναι πύργος καταθλίψεως (υπερπιέσεως) ή αναρροφήσεως (υποπιέσεως). Στους πύργους καταθλίψεως, ο ανεμιστήρας, το σύστημα μειώσεως των στροφών (ιμάντες - τροχαλίες ή μειωτήρας) και ο κινητήρας βρίσκονται σε περιοχή που δεν υπάρχουν σταγόνες και υγρασία, ενώ στους πύργους αναρροφήσεως συμβαίνει το αντίθετο. Το μειονέκτημα όμως αυτό υπερκαλύπτεται από ένα άλλο σημαντικό λειτουργικό πλεονέκτημα:

Όταν υπάρχει δηλαδή άνεμος, τότε ο αέρας και ο υδρατμός στην έξοδο του πύργου ψύξεως παρασύρονται απ' αυτόν προς το υπήνεμο μέρος του πύργου, ό-



Σχ. 7.3.
Ψυκτικός πύργος αναρροφήσεως με εγκάρσια ροή.

που δημιουργείται υποπίεση. Σε πολλές περιπτώσεις, αν η ταχύτητα εξόδου του υδρατμού από τον πύργο δεν είναι μεγάλη, τότε ο υδρατμός λόγω του ανέμου, ξαναφθάνει στην αναρρόφηση και έτσι ελαττώνεται η απόδοση του ψυκτικού πύργου. Το φαινόμενο αυτό αποφεύγεται σχεδόν τελείως, όταν ο ανεμιστήρας τοποθετείται στην έξοδο του ψυκτικού πύργου, γιατί τότε επιτυγχάνονται μεγαλύτερες ταχύτητες εξόδου και ο υδρατμός απομακρύνεται σημαντικά από την αναρρόφηση.

Ένας μεγάλος ψυκτικός πύργος αναρροφήσεως φαίνεται στο σχήμα 7.3, με ανεμιστήρα στην έξοδο του αέρα. Σχεδόν όλοι οι ψυκτικοί πύργοι εξαναγκασμένης κυκλοφορίας κατασκευάζονται πια με τον ανεμιστήρα τους στην έξοδο, για να αποφεύγεται η επαναπορρόφηση του υδρατμού από τον πύργο.

Στους πύργους εξαναγκασμένης κυκλοφορίας η πυκνότητα παροχής μάζας νερού κυμαίνεται μεταξύ 2 και 20 $(m^3/h)/m^2$.

7.4 Λειτουργία πύργου ψύξεως.

Η αρχή λειτουργίας των πύργων ψύξεως στηρίζεται στην εξάτμιση του νερού και στην πτώση θερμοκρασίας που προκαλεί. Όταν το ζεστό νερό έρχεται σε επαφή με τον αέρα, ένα μικρό ποσοστό του νερού εξατμίζεται. Η θερμότητα που απαιτείται για την εξάτμιση αυτή, παρέχεται από το ίδιο το νερό, ή και τον αέρα, και έ-

τσι η θερμοκρασία του νερού πέφτει.

Αυτή η πτώση της θερμοκρασίας είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο ξηρός είναι ο αέρας στην είσοδο του πύργου, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η σχετική υγρασία του αέρα του περιβάλλοντος. Από αυτό φαίνεται ότι η λειτουργία του πύργου εξαρτάται έντονα από τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Γενικά σε πύργους εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ή σε πύργους ατμοσφαιρικούς η απόδοσή τους αυξάνει, όταν:

— Αυξάνεται το ύψος του πύργου.
— Αυξάνεται η εγκάρσια διατομή (για την ίδια παροχή νερού).
— Αυξάνεται η γόμωση των υλικών διαβροχής.

Το μέγεθος των πύργων καθορίζεται από την παροχή αέρα με την οποία λειτουργούν.

Η λειτουργία των ανεμιστήρων των πύργων ψύξεως προκαλεί θόρυβο, που μπορεί να ξεπερνάει τα ανεκτά όρια. Πύργοι ψύξεως με στάθμη θορύβου 70 db (βλέπε Παράρτημα 1) σε απόσταση 15 m από τον πύργο θεωρούνται γενικά ως ικανοποιητικοί. Εντούτοις το θέμα του θορύβου είναι υποκειμενικό και μπορεί άλλους ανθρώπους να τους ενοχλεί και άλλους όχι. Ιδίως κατά τις νυκτερινές ώρες, ο θόρυβος είναι πολύ πιο αισθητός και ενοχλητικός και δυνατόν να υπάρχουν παράπονα.

Ο θόρυβος παράγεται από τις δονήσεις και κραδασμούς των πλευρικών τοιχωμάτων, των υλικών διαβροχής και επίσης και από τον ίδιο τον ανεμιστήρα και το σύστημα κινήσεως. Είναι δύσκολο αλλά πάντως μπορεί να καταπολεμηθεί ο θόρυβος του πύργου ψύξεως. Η όλη όμως διαδικασία και τα υλικά στοιχίζουν πολύ και μπορεί να διπλασιάσουν την τιμή του.

Συνήθως γύρω από τον πύργο ψύξεως σε κατάλληλη απόσταση, τοποθετούνται κατάλληλοι φράκτες ή πλέγματα, τα οποία καλύπτουν τον πύργο, ώστε αισθητικά μεν να είναι ωραίοι, ακουστικά δε δημιουργούν ένα πέτασμα ηχητικό. Έτσι περιορίζεται ο παραγόμενος ήχος μόνο σε μια μικρή περιοχή γύρω από τον πύργο ψύξεως. Η κατασκευή αυτού του φράκτη όμως απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην παρεμποδίζεται η κυκλοφορία του αέρα που απάγει τον υδρατμό.

Ο θερμοδυναμικός υπολογισμός των ψυκτικών πύργων είναι δύσκολοςκαι απαιτεί τη γνώση και αρκετών δεδομένων που προσδιορίζονται από τον κατασκευαστή του πύργου με μετρήσεις και πειράματα. Συνήθως οι επιδόσεις των ψυκτικών πύργων αναφέρονται για την περίπτωση θερμοκρασιών λειτουργίας 90-80-70 °F), δηλαδή για θερμό νερό 9η°F (32,2°C) που ψύχεται μέχρι 80°F (26,7°C) σε ατμοσφαιρικό αέρα με θερμοκρασία υγρού βολβού 70°F (21,1°C). Η λειτουργία του πύργου σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασιών περιγράφεται από κατάλληλο σμήνος καμπυλών, που πρέπει να δίνουν οι κατασκευαστές του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

8.1 Γενικά.

Η μεγαλύτερη και σημαντικότερη εφαρμογή της τεχνολογίας της ψύξεως είναι αναμφισβήτητα η διατήρηση των τροφίμων. Εξάλλου από αυτήν ακριβώς την ανάγκη αναπήδησε ολόκληρος ο κλάδος.

Η διατήρηση των παραγομένων τροφίμων για όσο το δυνατόν μακρότερη χρονική διάρκεια, επιβάλλεται από πολλούς λόγους. Έτσι η αποθήκευση των τροφίμων σε χαμηλή θερμοκρασία αποτελεί σχεδόν πάντοτε τη λύση που ενδείκνυται και χρησιμοποιείται, είτε αυτά πρέπει να καταναλωθούν σε περιόδους που έχει σταματήσει πλέον η παραγωγή, είτε υπάρχει υπερπαραγωγή που πρέπει να καλύψει ανάγκες μεγάλης χρονικής περιόδου καταναλώσεως, είτε υπάρχει ανάγκη μεταφοράς σε μακρές αποστάσεις, συχνά πέρα από ωκεανούς. Πολλές φορές, η χαμηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου δεν είναι αρκετή για το επιθυμητό αποτέλεσμα και λαμβάνονται και πρόσθετα μέσα, όπως είναι η ακτινοβόληση των τροφίμων, η επεξεργασία με υγρά ή αέρια χημικά μέσα ή τέλος η διατήρηση μέσα σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, δηλαδή μέσα σε περιβάλλον με αυξημένη αναλογία σε CO_2 ή άλλο κατάλληλο αέριο.

Τα είδη των τροφίμων που απαιτούν χαμηλή θερμοκρασία για την αύξηση του χρόνου διατηρήσεώς τους είναι πάρα πολλά. Οι μεγάλες ομάδες περιλαμβάνουν κυρίως:

- Κρέατα.
- Πουλερικά.
- Ψάρια.
- Γαλακτομικά.
- Φρούτα θαλοβόλων δένδρων και σταφύλια.
- Εσπεριδοειδή και μπανάνες.
- Λαχανικά.
- Κατεψυγμένα φρούτα και λαχανικά.
- Χυμούς φρούτων.
- Προμαγειρευμένα φαγητά.
- Ζαχαροπλαστικά.
- Είδη αρτοποιΐας.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

— Ποτά.
— Αυγά.

Κάθε ομάδα περιλαμβάνει διαφορετικά είδη και κάθε είδος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και μεταχείριση, ώστε να διατηρηθεί χωρίς βλάβες για το χρονικό διάστημα που επιβάλλεται. Παρά τις διαφοροποιήσεις όμως αυτές, υπάρχουν και ορισμένοι γενικοί κανόνες, που πρέπει να τηρούνται σε όλες τις περιπτώσεις.

Για παράδειγμα, επειδή όλα σχεδόν τα τρόφιμα αποτελούνται κατά κύριο λόγο από νερό, σε ποσοστό μεγαλύτερο ή μικρότερο από το 80%, υπάρχει μια θερμοκρασία χαρακτηριστική για το κάθε ένα, λίγο χαμηλότερη από τους 0°C, στην οποία αλλάζουν φάση (κατάσταση) και γίνονται στερεά επειδή κρυσταλλώνει το νερό κυρίως που περιέχουν και μεταβάλλεται σε πάγο. Το φαινόμενο αυτό δεν εμφανίζεται στους 0°C γιατί δεν πρόκειται για καθαρό νερό. Οι ουσίες που είναι διαλυμένες μέσα του κατεβάζουν το σημείο πήξεως και έτσι ανάλογα με το είδος του τροφίμου η στερεοποίηση γίνεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Επειδή το νερό, όταν γίνεται πάγος, εμφανίζει όγκο μεγαλύτερο από αυτόν που είχε ως υγρό, υπάρχουν περιπτώσεις που το γεγονός αυτό προκαλεί ρήξη των μεμβρανών των κυττάρων που συνιστούν το προϊόν. Στις περιπτώσεις αυτές, όταν το προϊόν ξαναθερμανθεί για να χρησιμοποιηθεί, αποβάλλει ένα μέρος από τα υγρά (χυμοί) που περιείχε και εμφανίζεται απώλεια βάρους και ενδεχομένως και μικρή αλλαγή στη γεύση όταν καταναλώνεται.

Τα λαχανικά, τα φρούτα, οι πατάτες και μετά τη συγκομιδή τους εξακολουθούν και συνεχίζουν το μεταβολισμό τους. Έτσι στο χώρο που είναι αποθηκευμένα, καταναλώνουν οξυγόνο και με την καύση παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία αποθηκεύσεως, τόσο πιο έντονος είναι ο μεταβολισμός και τόσο ταχύτερα καταστρέφονται.

Στις χαμηλές θερμοκρασίες ο μεταβολισμός επιβραδύνεται σημαντικά και η διάρκεια ζωής αυξάνει. Για να επιμηκυνθεί ακόμη περισσότερο η διάρκεια αυτή, σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου συμφέρει οικονομικά, χρησιμοποιείται και τεχνητή προστατευτική ατμόσφαιρα. Διοχετεύεται δηλαδή στο χώρο αποθηκεύσεως πρόσθετο CO_2, το οποίο λόγω της αυξημένης συγκεντρώσεως εμποδίζει την παραγωγή πρόσθετης ποσότητας από τα αποθηκευμένα προϊόντα που έτσι ζουν περισσότερο.

Πρόωρη καταστροφή των προϊόντων επέρχεται και από μικροοργανισμούς που αρχίζουν να αναπτύσσονται και προξενούν ζημιές. Για την περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται είτε εμβάπτιση των τροφίμων σε κατάλληλα διαλύματα με υγρά, που καταστρέφουν τους μικροοργανισμούς, πριν από την αποθήκευσή τους, είτε προστατευτικά πλαστικά καλύμματα ή καλύμματα από παραφίνη, κερί κλπ.

Για τη μακροχρόνια διατήρηση των τροφίμων απαιτείται η συνεργασία πολλών κλάδων των επιστημών, όπως είναι η χημεία τροφίμων, η γεωπονία, η βιολογία, η τεχνική των ακτινοβολιών κλπ. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις η διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας είναι ο σημαντικότερος παράγοντας και για το λόγο αυτό η τεχνολογία της ψύξεως παίζει πρωταρχικό ρόλο.

Ενδεικτικές τιμές της επιμηκύνσεως της ωφέλιμης ζωής, διαφόρων ευαίσθητων φρούτων και λαχανικών, για διάφορες θερμοκρασίες αποθηκεύσεως, δίνονται συνήθως ως εξής:

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

Θερμοκρασία		Χρόνος διατηρήσεως
°F	°C	
0	−18	1 έτος
5	−15	5 μήνες
10	−12	2 μήνες
15	− 9,4	1 μήνας
20	− 7	2 εβδομάδες
25	− 4	1 εβδομάδα
30	− 1	3 ημέρες

Η τιμή των −18°C είναι η χαρακτηριστική θερμοκρασία αποθηκεύσεως κατεψυγμένων προϊόντων η οποία προδιαγράφεται ακόμη και για το θάλαμο κατεψυγμένων (κατάψυξη) των οικιακών ψυγείων. Αντίθετα, για τα νωπά προϊόντα, ο κύριος θάλαμος των οικιακών ψυγείων πρέπει να διατηρείται στη θερμοκρασία των +4°C ώστε να αποφεύγεται κατάψυξη των τροφίμων που προορίζονται για τις τρέχουσες ανάγκες και καταναλώνονται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Η χαμηλή θερμοκρασία προλαβαίνει ή επιβραδύνει την αλλοίωση των τροφίμων η οποία προκαλείται από:

— Μικρόβια.
— Μεταβολισμό (καύση).
— Χημικές επιδράσεις.

Στις καταστρεπτικές επιδράσεις των μικροβίων υπόκεινται τα φρούτα, τα λαχανικά, τα τρόφιμα που έχουν κρέας, τα αυγά και τα πουλερικά. Εντούτοις η αλλοίωση των φρούτων και των λαχανικών οφείλεται κυρίως στη φυσιολογία τους, δηλαδή προκαλείται από την καύση που συνεχίζεται και μετά τη συγκομιδή τους.

Ακριβώς αυτή η συνέχιση της καύσεως μέσα στα φρούτα και τα λαχανικά δημιουργεί και πρόσθετη παραγωγή θερμότητας που επιβαρύνει τον ψυκτικό θάλαμο αποθηκεύσεως. Εκτός δηλαδή από τα συνηθισμένα θερμικά φορτία του θαλάμου που περιλαμβάνουν το φωτισμό, την εναλλαγή αέρα, τις θερμικές απώλειες μέσα από τη μόνωση του κτηρίου και την ψύξη των προϊόντων που κατά την εισαγωγή τους έχουν υψηλότερη θερμοκρασία, πρέπει να υπολογίζεται και η θερμότητα που εκλύεται από τα προϊόντα.

8.2 Ειδικές συνθήκες.

Οι συνθήκες περιβάλλοντος για τη διατήρηση των διαφόρων τροφίμων οι οποίες προδιαγράφονται, ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του προϊόντος, με τον τρόπο προπαρασκευής του και πολλές φορές, για φυτικά προϊόντα, και με το έτος ή την εποχή συγκομιδής. Πάντως όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία αποθηκεύσεως τόσο μακρύτερος είναι ο χρόνος της ωφέλιμης ζωής των προϊόντων. Μια γενική ιδέα για τα αναμενόμενα αποτελέσματα διατηρήσεως κατεψυγμένων κρεάτων δίνει ο πίνακας 8.2.1.

Μία άλλη εικόνα δίνει και ο πίνακας 8.2.2, που αναφέρεται στην αποθήκευση μήλων μέσα σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Η πραγματοποίηση της απαιτήσεως αυτής γίνεται κατά πολλούς τρόπους. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η τοπο-

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.1.
Αναμενόμενη διάρκεια διατηρήσεως κατεψυγμένων κρεάτων.

Προϊόν	Μήνες			
	Θερμοκρασία			
	−12°C	−18C	−23°C	−29°C
Βοδινό κρέας	4 – 12	6 – 18	12 – 24	12
Αρνί	3 –8	6 – 16	12 – 18	12
Μοσχαρίσιο	3 – 4	4 – 14	8	12
Χοιρινό	2 – 6	4 – 12	8 – 15	10
Κιμάς βοδινός	3 – 4	4 – 6	8	10
Μαγειρευμένα φαγητά	2 – 3	2 – 4		

θέτηση κιβωτίων (τελλάρων) μέσα σε μεγάλους πλαστικούς σάκους, οι οποίοι γεμίζονται με αδρανές αέριο, συνήθως άζωτο και με τις περιεκτικότητες CO_2 και O_2 που δείχνει ο πίνακας. Η θερμοκρασία αποθηκεύσεως δίνεται στην τελευταία στήλη δεξιά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.2.
Απαιτήσεις ελεγχόμενης ατμόσφαιρας για αποθήκευση μήλων.

Ποικιλία μήλων	% CO_2	O_2%	Θερμοκρασία °C
Μακ Ίντος	2 – 5	3	+ 3,3
Ντελίσιους	1,5 – 3	2,5 – 3	– 1,1 έως 0
Γκόλτεν Ντελίσιους	1 – 2	2 – 3	– 1,1 έως 0
Τζόναθαν	3 – 5	3	0

Πρέπει να τονισθεί ότι οι τιμές αυτές μεταβάλλονται ανάλογα με τον τόπο παραγωγής, το έτος και τη διαδικασία συγκομιδής, συσκευασίας, επιλογής και μεταφοράς. Απαιτείται κάθε φορά ειδική έρευνα για να βρεθούν οι πιο κατάλληλες συνθήκες που αφορούν τα συγκεκριμένα προϊόντα. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η αναλογία στο χώρο μπορεί να αλλάζει λόγω του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα.

Μία ιδέα της παραγόμενης ποσότητας CO_2 από διάφορα λαχανικά δίνεται με τον πίνακα 8.2.3.

Τα ποσά θερμότητας που εκλύονται από τα φρούτα, τα λαχανικά, τις πατάτες κλπ. ποικίλλουν πάλι ανάλογα με την προέλευση και το είδος των προϊόντων. Σαν ενδεικτικό παράδειγμα για την περίπτωση ορισμένων τύπων εσπεριδοειδών δίνονται οι τιμές του πίνακα 8.2.4.

Οι τιμές πρέπει να ληφθούν μόνο σαν παράδειγμα. Φαίνεται όμως καθαρά η αύξηση της θερμότητας που εκλύεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθηκεύσεως. Η θερμότητα όμως αυτή προέρχεται από την καύση που γίνεται μέσα στα φρούτα και συνεπώς δείχνει και το ρυθμό φθοράς που υφίστανται. Και με το δεί-

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.3.
Παραγωγή CO_2 κατά την αποθήκευση.

Λαχανικά	Παραγωγή CO_2 σε mg/kgh		
	0°C	+4°C	+21°C
Σπαράγγια	44	82	222
Φασόλια	20	28	156
Μπρόκολα	20	97	310
Κρεμμύδια πράσινα	16	25	117
Κρεμμύδια ξερά	3	4	17
Πατάτες	3	6	13
Σπανάκι	21	46	230

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.4.
Παραγόμενη θερμότητα από εσπεριδοειδή.

Θερμοκρασία αποθηκεύσεως °C	BTU/τόνο φρούτων και 24ωρο			
	Πορτοκάλια		Γκρέιπ φρουτ	Λεμόνια
	Ομφαλοφόρα	Βαλίντσια		
0	900	400	500	700
+ 4	1400	1000	800	1100
+ 10	3000	2600	2500	2500
+ 15,6	5000	2800	2600	3500

κτη αυτό, είναι εμφανής η επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας στην επιμήκυνση της ωφέλιμης ζωής των προϊόντων.

8.3 Κατάψυξη.

Κατάψυξη είναι η διαδικασία παγώματος των τροφίμων που επιτυγχάνεται με ταχεία αφαίρεση θερμότητας. Το κατεψυγμένο προϊόν πρέπει να φθάσει σε θερμοκρασία χαμηλότερη από −18°C, οπότε οδηγείται στη συνέχεια σε θάλαμο διατηρήσεως κατεψυγμένων.

Η ταχεία αφαίρεση θερμότητας γίνεται είτε με ρεύμα πολύ ψυχρού αέρα (−35 ÷ − 40 °C) που περνάει πάνω από τα προϊόντα είτε με εμβάπτιση των προϊόντων μέσα σε ψυχρό διάλυμα είτε με επαφή με μεταλλικές πλάκες χαμηλής θερμοκρασίας.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι πραγματοποιήσεως των μεθόδων αυτών που προσαρμόζονται στις εκάστοτε απαιτήσεις ή ανάγκες και προδιαγράφουν και τις κατάλληλες εγκαταστάσεις. Για το σκοπό αυτό είτε κατασκευάζονται ψυκτικές σήραγγες μεγάλες, είτε χρησιμοποιούνται μικρότερες μεταλλικές κατασκευές με κατάλληλους μηχάνισμούς εισόδου και εξόδου των προϊόντων που καταψύχονται. Αν η ροή

των προϊόντων είναι συνεχής ή αν απαιτείται φόρτωση και εκφόρτωση της εγκαταστάσεως είναι απαίτηση που επηρεάζει σημαντικά τη μορφή της ψυκτικής σήραγγας. Σε κάθε όμως περίπτωση, βασική απαίτηση είναι η επίτευξη ομοιόμορφης κατά το δυνατόν θερμοκρασίας στα καταψυχόμενα προϊόντα, ώστε να απαιτείται ο ελάχιστος δυνατός χρόνος και να αποφεύγονται τοπικές χαμηλές θερμοκρασίες και ατέλειες σε ορισμένο τμήμα των προϊόντων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Θόρυβος συμπιεστών.

Οι συμπιεστές των ψυκτικών διατάξεων, αλλά και όλα τα βοηθητικά μηχανήματα μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως, όπως π.χ. αντλίες, ανεμιστήρες κλπ. όταν λειτουργούν παράγουν θόρυβο.

Ανάλογα με το είδος της εγκαταστάσεως, ο θόρυβος παράγεται είτε σ' ένα κεντρικό μηχανοστάσιο, όπου είναι συγκεντρωμένο το κύριο πλήθος των μηχανών, είτε, για μικρότερες μηχανές, στις θέσεις λειτουργίας τους. Για παράδειγμα, μια κλιματιστική παραθύρου, λειτουργεί και παράγει θόρυβο στο παράθυρο ή στον τοίχο όπου έχει εγκατασταθεί, ενώ μια μεγαλύτερη κλιματιστική μονάδα τοποθετημένη στην ταράτσα κάποιου κτιρίου παράγει θόρυβο στην ταράτσα.

Ο θόρυβος είναι ανεπιθύμητος, αλλά δυστυχώς και αναπόφευκτος. Είναι ανεπιθύμητος τόσο για τους χειριστές των μηχανημάτων όσο και για τους ένοικους ή εργαζόμενους του κτιρίου. Σε πολλές όμως περιπτώσεις ο θόρυβος είναι τόσο ισχυρός ή παράγεται σε τέτοιες θέσεις του κτιρίου, ώστε να ενοχλούνται ακόμη και οι γείτονες.

Για ορισμένες ειδικές εφαρμογές, όπως είναι π.χ. τα οικιακά ψυγεία, τα οποία λειτουργούν και τη νύκτα μέσα στο σπίτι, και μάλιστα ίσως μέσα σε κουζίνες που είναι δίπλα σε κρεβατοκάμαρες, οι απαιτήσεις για μειωμένη στάθμη θορύβου είναι ακόμη πιο επιτακτικές.

Τα μέτρα καταπολεμήσεως του θορύβου πρέπει να λαμβάνονται και να εφαρμόζονται ακριβώς στη θέση, όπου παράγεται ο θόρυβος, γιατί αλλοιώς αυξάνει σημαντικά το κόστος της ηχομονώσεως.

Όταν υπάρχουν πολλές πηγές θορύβου, τότε πρέπει η στάθμη σε όλες τις πηγές να μειωθεί, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Δεν ωφελεί να μειωθεί η στάθμη στις περισσότερες και να μείνει έστω και μια πηγή θορύβου ισχυρή, γιατί τότε το αποτέλεσμα είναι περίπου το ίδιο.

Η ισχύς του ήχου, ο οποίος παράγεται, και κατά συνέπεια και η έντασή του, εξαρτάται σχεδόν αναλογικά από τη μηχανική ισχύ της εγκαταστάσεως. Αυτό εξηγείται εύκολα, αν σκεφθεί κανείς, ότι ο παραγόμενος ήχος είναι ένα ποσοστό ολόκληρης της μηχανικής ισχύος, που μετατρέπεται σε ήχο είτε λόγω των μηχανικών τριβών στα διάφορα μέρη της μηχανής είτε λόγω των τριβών του ρευστού (υγρό και ατμός), το οποίο ρέει μέσα στους αγωγούς, στις βαλβίδες και στα διάφορα μέρη της εγκαταστάσεως. Η αναλογική αυτή αύξηση του θορύβου με τη μηχανική ισχύ, ισχύει βέβαια με μεγαλύτερη ακρίβεια για όμοιες κατασκευές με διαφορετικό μέγεθος και όχι με τόση ακρίβεια για διαφορετικές κατασκευές.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

Ο συμπιεστής του ψυκτικού μέσου είναι συνήθως η κύρια πηγή θορύβου της εγκαταστάσεως μαζί φυσικά με τον ηλεκτροκινητήρα του ή τον κινητήρα εσωτερικής καύσεως, ο οποίος τον κινεί.

Οι αιτίες παραγωγής θορύβου από το συμπιεστή είναι πολλές, οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι εξής:

- Ακατάλληλες ανοχές συναρμογών των μερών του κινητήρα, τα οποία περιστρέφονται ή παλινδρομούν.
- Ακατάλληλα ζεύγη μετάλλων, τα οποία έρχονται σε μηχανική επαφή και εμφανίζεται τριβή στη σχετική κίνηση μεταξύ τους.
- Ανεπαρκής κατεργασία των μεταλλικών επιφανειών, οι οποίες έχουν τραχύτητα και αυξάνουν και την τριβή.
- Μεγάλη αξονική χάρη («παίξιμο») στο μηχανισμό στροφαλοφόρου - διωστήρα - εμβόλου.
- Ανεπαρκής ζυγοστάθμιση μαζών, οι οποίες είτε περιστρέφονται είτε παλινδρομούν.
- Μικρός «επιζήμιος» χώρος συμπιέσεως.
- Ταλαντώσεις των βαλβίδων κατά τη λειτουργία τους.

Στις αιτίες αυτές, οι οποίες αφορούν στη μηχανουργική κατασκευή του συμπιεστή, πρέπει να προστεθούν και μερικές αιτίες, οι οποίες οφείλονται στη ροή των ρευστών του συμπιεστή, δηλαδή στη ροή του ατμού του ψυκτικού μέσου και στη ροή του λαδιού λιπάνσεως. Έτσι θόρυβος παράγεται επί πλέον και για τους εξής λόγους:

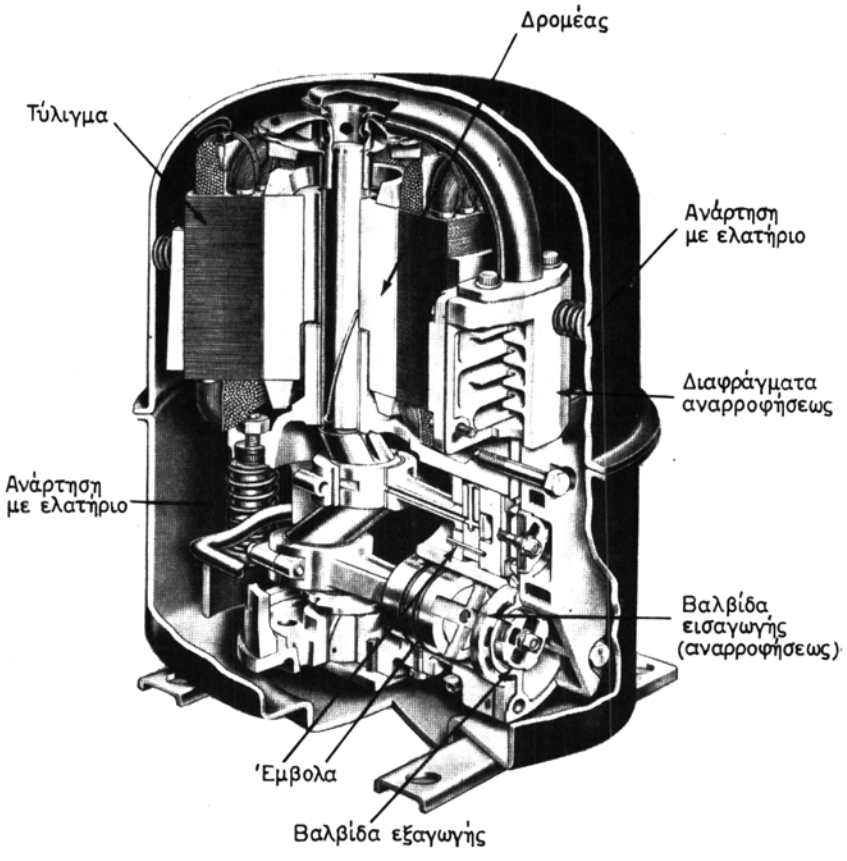
- Ροή ατμού ψυκτικού μέσου μέσα από τις βαλβίδες.
- Ταλαντώσεις του ατμού μέσα στους αγωγούς αναρροφήσεως και εξαγωγής.
- Ελλειπής λίπανση (ροή λαδιού στα έδρανα και στον κύλινδρο).
- Υψηλή περιεκτικότητα υγρού ψυκτικού μέσου στον ατμό που συμπιέζεται (ιδίως κατά το ξεκίνημα του συμπιεστή).

Εκτός απ' αυτά πρέπει να τονισθεί και ο θόρυβος, ο επί πλέον, που παράγεται όταν σε κάποιο έδρανο η πίεση του λαδιού γίνει πολύ μικρή και έτσι προκαλείται τοπική εξάτμιση του ψυκτικού μέσου που είναι διαλυμένο στο λάδι λιπάνσεως. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να είναι σημαντικός και γι' αυτό πρέπει η πίεση του λαδιού να είναι κατάλληλη. Αν η πίεση γίνει υψηλότερη ή χαμηλότερη, ο θόρυβος λειτουργίας αυξάνει.

Ο θόρυβος που παράγεται από τη ροή γύρω στις βαλβίδες, και από τις ταλαντώσεις της ροής μέσα στους αγωγούς, είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός, γιατί παράγεται στην περιοχή συχνοτήτων 1,5 ως 2,5 kHz, όπου το ανθρώπινο αυτί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο. Η συχνότητα αυτή δημιουργείται από την παλμική κίνηση του ατμού στους αγωγούς, λόγω της διαδοχικής καταθλίψεως ατμού από τα διάφορα έμβολα, η οποία δημιουργεί, εκτός από τα άλλα, και στάσιμα ή οδεύοντα ακουστικά κύματα.

Η απόσβεση των θορύβων αυτών, τόσο στην αναρρόφηση όσο και στην κατάθλιψη, γίνεται σε ικανοποιητικό βαθμό με χρήση καταλλήλων σιγαστήρων, όπως ακριβώς γίνεται και με τις εξατμίσεις των κινητήρων εσωτερικής καύσεως στα αυτοκίνητα ή στα δίτροχα.

Στο σχήμα Π.1α φαίνεται η κατασκευή ενός σιγαστήρα αναρροφήσεως, με τα



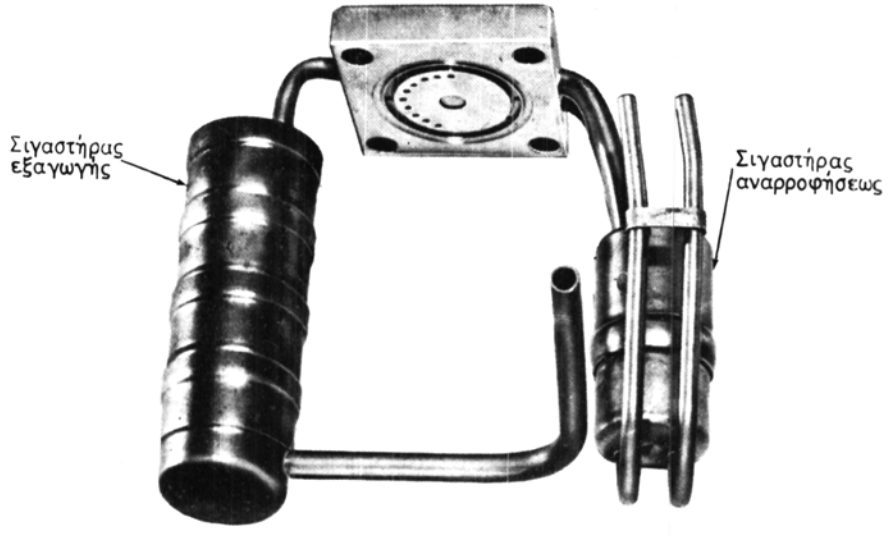
Σχ. Π.1α.
Δικύλινδρος εμβολοφόρος συμπιεστής για επαγγελματικά ψυγεία ή μικρές κλιματιστικές συσκευές αυτόνομες.

κατάλληλα διαφράγματα, για τη μείωση του θορύβου που παράγεται από τη ροη του ατμού, ενώ στο σχήμα Π.1β φαίνονται δυο σιγαστήρες για ένα συμπιεστή, δηλαδή ένας σιγαστήρας για την αναρρόφηση και ένας για την κατάθλιψη.

Ο ήχος του συμπιεστή, ανεξάρτητα από τον τρόπο που παράγεται, αν δηλαδή οφείλεται σε μηχανικά αίτια ή στη ροή του ατμού, τελικά προκαλεί δόνηση στο κέλυφος του συμπιεστή, η οποία μεταφέρει τα ηχητικά κύματα στον αέρα του χώρου και στην έδραση της μηχανής.

Προκειμένου να παραθέσομε ορισμένα διαγράμματα με τα οποία είναι δυνατόν να εκτιμήσομε το θόρυβο που προκαλούν συμπιεστές διαφόρων τύπων και ισχύων, είναι σκόπιμο να υπενθυμίσομε ορισμένα μεγέθη της Ακουστικής.

Είναι γνωστό ότι με κάθε ηχητικό κύμα μεταφέρεται ενέργεια κατά τη διεύθυνση διαδόσεως του κύματος. Εάν θεωρήσομε τμήμα επιφάνειας, εμβαδού ΔS, κά-



Σχ. Π.1β.
Σιγαστήρες για την αναρρόφηση και την εξαγωγή του ατμού ενός εμβολοφόρου συμπιεστή.

κού κύματος το πηλίκον:

$$I = \frac{\Delta A}{\Delta S \,.\, \Delta t} \qquad (\Pi 1.1)$$

όπου ΔΑ: η ενέργεια του ηχητικού κύματος, που διέρχεται σε χρόνο Δt από την επιφάνεια (J),

ΔS: το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2), και

Δt: το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο διέρχεται από την επιφάνεια η ενέργεια ΔΑ (s).

Είναι φανερό ότι η στάθμη του ηχητικού κύματος έχει μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας (W/m^2). Έτσι, μπορούμε να ορίσομε τη στάθμη ενός ηχητικού κύματος ως την ισχύ του ακουστικού κύματος ανά μονάδα επιφάνειας, από την οποία διέρχεται το κύμα.

Για τη σύγκριση της στάθμης δυο ηχητικών κυμάτων έχει επικρατήσει η χρησιμοποίηση της μονάδας ***decibel (db).*** Λέμε ότι η στάθμη ενός κύματος I_β είναι μεγαλύτερη από μια στάθμη αναφοράς I_0, κατά N decibel, αν ισχύει:

$$N = 10 \,.\, \log \frac{I_\beta}{I_0} \qquad (\Pi 1.2)$$

Αν θέσομε στην εξίσωση (Π1.2) N = 1db, τότε λαμβάνομε:

$$10 \log \frac{I_1}{I_2} = 1 \quad \text{ή} \quad \frac{I_1}{I_2} = 10^{0,1} \quad \text{ή} \quad \frac{I_1}{I_2} = 1,259$$

Λέμε λοιπόν ότι οι στάθμες δυο ηχητικών κυμάτων διαφέρουν κατά 1db, όταν η στάθμη του ενός κύματος είναι κατά 25,9% μεγαλύτερη από τη στάθμη του άλλου κύματος.

Συνήθως ως στάθμη αναφοράς I_0 λαμβάνεται η τιμή 10^{-12} W/m². Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει το ονομαζόμενο ***κατώφλι ακουστότητας***, δηλαδή την ελάχιστη στάθμη που μπορεί να συλλάβει ένα φυσιολογικό ανθρώπινο αυτί. Γενικά, το ***υποκειμενικό*** ακουστικό αίσθημα ενός ήχου από ένα ανθρώπινο αυτί ονομάζεται ***ακουστότητα*** και είναι διαφορετικό σε κάθε άνθρωπο. Έστω π.χ. ότι ένας ήχος κάποιας συχνότητας f = 500 Hz έχει στάθμη $N_\beta = 40$ db, που αντιστοιχεί σε $I_\beta = 10^{-8}$ W/m². Δυο διαφορετικοί παρατηρητές θα ακούσουν τον ήχο αυτό διαφορετικά, δηλαδή με διαφορετικό αίσθημα. Η ακουστότητα ενός ήχου με στάθμη I_β (W/m²) σε μονάδες ***Phon*** δίνεται από την εξίσωση:

$$P(\text{phon}) = 10 \log \frac{I_\pi}{I_0} \qquad (\Pi 1.3)$$

όπου $I_0 = 10^{-12}$ W/m², και

I_π : η στάθμη (W/m²) ήχου εκπεμπόμενου στην πρότυπη συχνότητα των 1000 Hz που προκαλεί το ίδιο ***υποκειμενικό*** αίσθημα στον παρατηρητή, όπως ο αρχικός ήχος εντάσεως I_β.

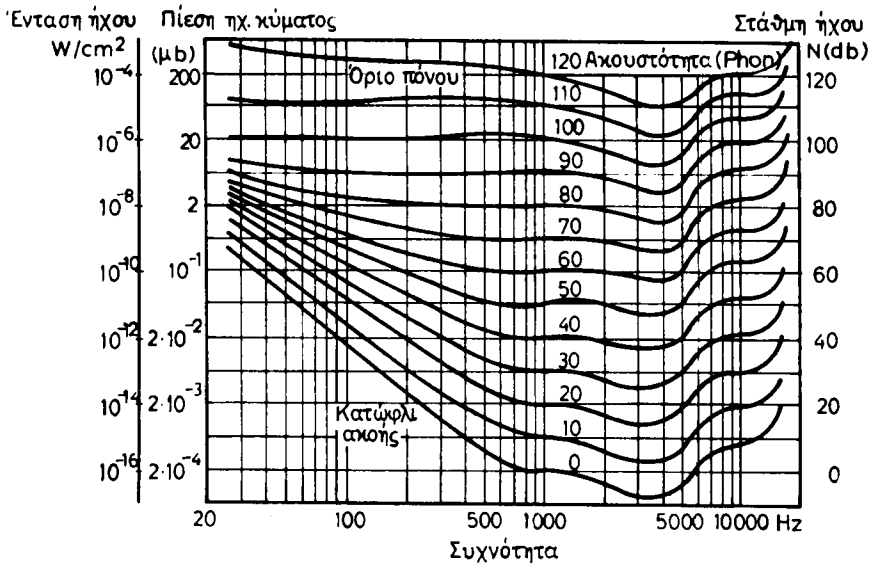
Σκόπιμο είναι επίσης να προσθέσομε ότι:

- Ένας ήχος μόλις ακουστός από ανθρώπινο αυτί, προκαλεί ακουστότητα μηδέν Phon, και
- ένας ήχος με στάθμη που να προκαλεί πόνο, προκαλεί ακουστότητα 130 Phon.

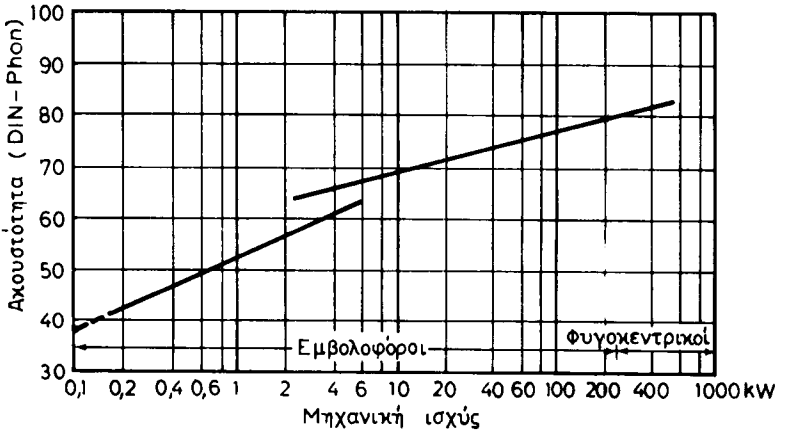
Ανακεφαλαιώνοντας, αναφέρομε ότι η μονάδα Phon (ή και DIN-Phon) αποτελεί μονάδα μετρήσεως του υποκειμενικού αισθήματος του ήχου, ενώ η μονάδα db αποτελεί μονάδα μετρήσεως της αντικειμενικής ισχύος του ήχου. Είναι επίσης φανερό ότι για ήχους συχνότητας 1000 Hz οι δυο μονάδες ταυτίζονται. Σε άλλες όμως συχνότητες αυτό δεν συμβαίνει· η σχέση μεταξύ των δυο μονάδων, db και Phon, φαίνεται στο σχήμα Π.1γ. Από το σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά ό,τι οι συχνότητες, μεταξύ 2,5 και 3,5 kHz ακούγονται από τον άνθρωπο πολύ πιο έντονα από ό,τι οι υπόλοιπες. Για παράδειγμα στάθμη ήχου 20 db σε συχνότητα 1000 Hz προκαλεί ακουστικό αίσθημα 20 DIN-Phon, ενώ η ίδια στάθμη ήχου των 20 db σε συχνότητα 3,5 Hz δημιουργεί ακουστικό αίσθημα 26 DIN-Phon. Αν πάλι για την ίδια στάθμη, η συχνότητα του ήχου είναι 0,5 kHz, τότε το ακουστικό αίσθημα είναι μόνο 10 DIN-Phon, δηλαδή το μισό από ό,τι προκαλεί η ίδια στάθμη ήχου με ήχο συχνότητας 1000 Hz.

Η ένταση του ακουστικού αισθήματος, δηλαδή η ακουστότητα των συμπιεστών των ψυκτικών μέσων σε συνάρτηση με την ισχύ τους δίνεται σε διαγράμματα, όπως αυτό του σχήματος Π.1δ.

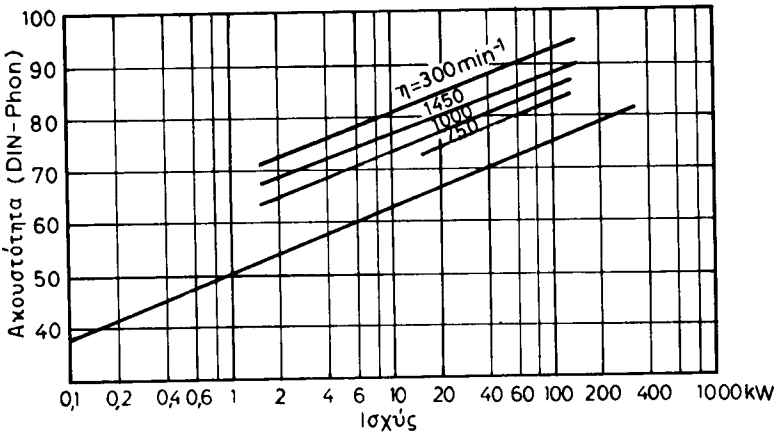
Ο θόρυβος που παράγεται στο συμπιεστή, μπορεί να μη διαδοθεί περισσότερο, σε μεγάλη κλίμακα, αν ληφθούν κατάλληλα μέτρα. Η έδραση πάνω σε ελαστικά κομμάτια, με κατάλληλες διαστάσεις και συντελεστή αποσβέσεως, είναι από τα πιο δραστικά μέσα. Επίσης η ηχομόνωση της συσκευής μέσα σε ένα κέλυφος ή η ηχο-



Σχ. Π.1γ.
Καμπύλες σταθερού ηχητικού αισθήματος ανθρώπου για διαφορετικές ακουστικές συχνότητες.



Σχ. Π.1δ.
Ένταση ακουστικού αισθήματος συμπιεστών ψυκτικών μέσων, σε συνάρτηση με τη μηχανική ισχύ του συμπιεστή.



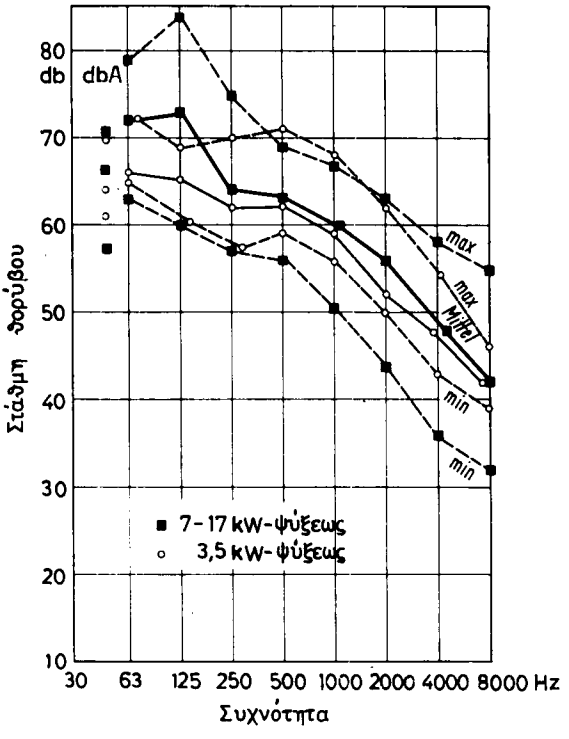
Σχ. Π.1ε.
Ακουστικό αίσθημα θορύβου ηλεκτροκινητήρων συμπιεστών.

μόνωση ολόκληρου του μηχανοστασίου περιορίζουν τη διάδοση του ήχου μέσα από τον αέρα.

Θόρυβο όμως δεν προκαλεί μόνο ο συμπιεστής, αλλά και ο κινητήρας του είτε αυτός είναι ηλεκτροκινητήρας, είτε μηχανή εσωτερικής καύσεως. Η ένταση του ακουστικού αισθήματος ηλεκτροκινητήρων, ανοικτού τύπου, διαφόρων ισχύων, δίνεται στο σχήμα Π.1ε. Και εδώ στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ηλεκτρική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα, ενώ στον κατακόρυφο απεικονίζεται το ακουστικό αίσθημα μετρημένο σε DIN-Phon. Όπως φαίνεται από το σχήμα, και οι ηλεκτροκινητήρες παράγουν σημαντικό θόρυβο, ίσως της ίδιας εντάσεως με τους συμπιεστές, όταν η ισχύ τους είναι σχετικά μεγάλη.

Εκτός όμως από τους συμπιεστές και τους ηλεκτροκινητήρες, θόρυβο παράγουν και οι ανεμιστήρες και οι αντλίες αλλά πολλές φορές και η ροή του ψυκτικού μέσου μέσα στις σωληνώσεις. Επίσης είναι δυνατόν μια πλήρης ψυκτική συσκευή, όπως είναι π.χ. μια κλιματιστική παραθύρου ή ένα οικιακό ψυγείο, να παράγει περισσότερο θόρυβο από ό,τι οι επί μέρους μονάδες που την αποτελούν, λόγω συντονισμού διαφόρων ελασμάτων, σωλήνων κλπ.

Η στάθμη του θορύβου (db) κλιματιστικών συσκευών παραθύρου, σε συνάρτηση με τη συχνότητα των ηχητικών κυμάτων δίνεται σε διαγράμματα, όπως αυτό του σχήματος Π.1στ.



Σχ. Π.1στ.
Στάθμη θορύβου παγωμένου από κλιματιστική συσκευή παραθύρου ψυκτικής ισχύος 7 ως 17 kW - ψύξεως και από μια άλλη ψυκτικής ισχύος 3,5 kW - ψύξεως.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Θερμοδυναμική

1.1 Γενικά 1
1.2 Θερμοκρασία 2
1.3 Κλίμακα θερμοκρασιών 3
1.4 Μέτρηση θερμοκρασίας 9
1.5 Εσωτερική ενέργεια 10
1.6 Θερμότητα 13
1.7 Πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα 14
1.8 Έργο ογκομεταβολής 15
1.9 Τεχνικό έργο 18
1.10 Ενθαλπία 20
1.11 Πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για σύστημα p,v,T 20
1.12 Ειδική θερμοχωρητικότητα 21
1.13 Διάγραμμα p - v 25
1.14 Κυκλικές μεταβολές 27
1.15 Στραγγαλισμός πιέσεως 28
1.16 Ισόθλιπτη μεταβολή 30
1.17 Ισόογκη μεταβολή 31
1.18 Αδιαβατική μεταβολή 32
1.19 Θερμικά και θερμιδομετρικά μεγέθη 35
1.20 Ατμοποίηση 36
1.21 Συμπύκνωση 39
1.22 Διάγραμμα πιέσεως - ενθαλπίας p - h 41
1.23 Στραγγαλισμός υγρού 44
1.24 Ψυκτικός κύκλος 46
1.25 Παράσταση ψυκτικού κύκλου στο διάγραμμα p - h 51
1.26 Συντελεστής συμπεριφοράς 53
1.27 Ψυκτική ισχύς 56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ψυκτικά μέσα

2.1 Γενικά 58
2.2 Ονομασία ψυκτικών μέσων 60
2.3 Μονάδες μετρήσεως 62
2.4 Ψυκτικό μέσο R12 64
2.5 Ψυκτικό μέσο 717 (NH_3) 70
2.6 Ψυκτικό μέσο R22 77
2.7 Ψυκτικό μέσο R13 85
2.8 Ψυκτικό μέσο R114 95
2.9 Θερμική σύγκριση ψυκτικών μέσων 99
2.10 Ογκομετρική ψυκτική ικανότητα 103
2.11 Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικών μέσων 107
2.12 Πεδία εφαρμογής ψυκτικών μέσων 112
2.13 Επιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας 113
2.14 Συνεργασία με λάδι λιπάνσεως 117
2.15 Δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα (Άλμες) 119
2.16 Μίγματα ψυκτικών μέσων (R502) 120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Μετάδοση θερμότητας

3.1 Γενικά 124
3.2 Αγωγή 125
3.3 Ειδική θερμική αγωγιμότητα 128
3.4 Πολλαπλά στρώματα 132
3.5 Υγρασία μονώσεων 134
3.6 Πτερύγια συναλλαγής θερμότητας 135
3.7 Συναγωγή 136
3.8 Ειδική (θερμική) συναγωγιμότητα 138
3.9 Συναγωγή αέρα 139
3.9.1 Φυσική κυκλοφορία 139
3.9.2 Εξαναγκασμένη κυκλοφορία 141
3.10 Συναγωγή νερού 141
3.10.1 Φυσική κυκλοφορία 142
3.10.2 Εξαναγκασμένη κυκλοφορία 142
3.11 Συναγωγή με αλλαγή φάσεως 143
3.12 Ακτινοβολία 145
3.13 Διάδοση θερμότητας 148

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Συμπιεστές

1.1 Εισαγωγή 153
1.2 Γενική περιγραφή των κυριοτέρων τύπων συμπιεστών 154
1.2.1 Εμβολοφόροι συμπιεστές 154
1.2.1α Ερμητικοί εμβολοφόροι συμπιεστές 158
1.2.1β Ημιερμητικοί και ανοιχτοί εμβολοφόροι συμπιεστές 164
1.2.1γ Βαλβίδες εμβολοφόρων συμπιεστών 170
1.2.1δ Γενικά χαρακτηριστικά των εμβολοφόρων συμπιεστών 172
1.2.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές 173
1.2.3 Κοχλιόμορφοι συμπιεστές 176
1.2.4 Συμπιεστές τυμπάνου 179
1.3 Εφαρμογές συμπιεστών 182
1.3.1 Ψύξη για κλιματισμό ανέσεως 183
1.3.2 Ψύξη για βιομηχανικό κλιματισμό 184
1.3.3 Βιομηχανική ψύξη 185
1.3.4 Μεγέθη συμπιεστών 188
1.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συμπιεστών 189
1.4.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας εμβολοφόρων συμπιεστών 192
1.4.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας φυγοκεντρικών συμπιεστών 197
1.4.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας κοχλιομόρφων συμπιεστών 200
1.4.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συμπιεστών τυμπάνου 200
1.5 Απόδοση εμβολοφόρων συμπιεστών 203
1.6 Λίπανση συμπιεστών 207
1.6.1 Λίπανση εμβολοφόρων συμπιεστών 207
1.6.2 Λίπανση φυγοκεντρικών συμπιεστών 213
1.6.3 Λίπανση κοχλιομόρφων συμπιεστών 213
1.6.4 Λίπανση συμπιεστών στρεφόμενου τυμπάνου 213
1.7 Ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών 216
1.7.1 Επαγωγικός κινητήρας βοηθητικής φάσεως 221
1.7.2 Επαγωγικός κινητήρας πυκνωτή εκκινήσεως (capacitor start) 222
1.7.3 Επαγωγικός κινητήρας απωστικής εκκινήσεως (repulsive start) 223
1.7.4 Επαγωγικός κινητήρας μόνιμης βοηθητικής φάσεως με πυκνωτή [permanent split capacitor (PSC)] 223
1.7.5 Επαγωγικός κινητήρας με σκιασμένο πόλο (shaded pole) 225
1.7.6 Ασύγχρονοι επαγωγικοί τριφασικοί κινητήρες 226
1.8 Αυτόματος έλεγχος και προστασία ηλεκτροκινήρων 229
1.8.1 Διατάξεις προστασίας 229
1.8.2 Διατάξεις ελέγχου 235
1.9 Ρύθμιση ψυκτικής ισχύος εμβολοφόρων συμπιεστών 243

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Συμπυκνωτές

2.1 Εισαγωγή 250
2.2 Αερόψυκτοι συμπυκνωτές 252
2.3 Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές 261
2.4 Συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού 267

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Στοιχεία ατμοποιήσεως

3.1 Εισαγωγή 271
3.2 Στοιχεία ατμοποιήσεως για ψύξη αέρα 272
3.3 Στοιχεία ατμοποιήσεως για ψύξη υγρού 281

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Διατάξεις στραγγαλισμού

4.1 Γενικά 291
4.2 Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως 294
4.2.1 Γενικά 294
4.2.2 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με μεμβράνη 296
4.2.3 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με πτυχωτό σωλήνα 306
4.3 Ειδικές θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως 309
4.3.1 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με διπλούς πτυχωτούς σωλήνες 309
4.3.2 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με διάταξη βαλβίδας-πιλότου 309
4.3.3 Θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως χωρίς αισθητήριο βολβό 313
4.3.4 Θερμοστατικές βαλβίδες με επανέγχυση 314
4.4 Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως με περιοριστή χαμηλής πιέσεως 316
4.5 Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονώσεως με εξωτερική εξίσωση πιέσεως 321
4.6 Γόμωση αισθητηρίων βολβών των θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως 325
4.7 Μέγεθος θερμοστατικών βαλβίδων εκτονώσεως 326
4.8 Πιεζοστατική βαλβίδα εκτονώσεως 328
4.9 Θερμοηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα 332
4.10 Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα με υψηλή πίεση 335
4.11 Εκτονωτική βαλβίδα πλωτήρα με χαμηλή πίεση 336
4.12 Εκτόνωση με τριχοειδή σωλήνα 338
4.13 Μεταβολές χαμηλής πιέσεως 341

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Διατάξεις ελέγχου ρυθμίσεως προστασίας

5.1 Εισαγωγή 343
5.2 Ρυθμιστικές βαλβίδες κυκλώματος ψυκτικού μέσου 344
5.2.1 Ρυθμιστικές βαλβίδες ελάχιστης πιέσεως στοιχείου ατμοποιήσεως 345
5.2.2 Ρυθμιστικές βαλβίδες πιέσεως εκκινήσεως (αναρροφήσεως) 348
5.2.3 Ρυθμιστικές βαλβίδες ψυκτικής ισχύος (παρακάμψεις) 350
5.2.4 Τετραοδικές βαλβίδες μεταγωγής ψυκτικού μέσου 353

5.3 Ρυθμιστικές βαλβίδες νερού συμπυκνωτή 356
5.3.1 Ηλεκτροκίνητες βαλβίδες νερού 357
5.3.2 Πιεζοστατικές βαλβίδες νερού 359
5.3.3 Θερμοστατικές βαλβίδες νερού 362
5.3.4 Χειροκίνητες βαλβίδες νερού 363
5.4 Πιεζοστατική ρύθμιση - προστασία του συστήματος συμπιεστή - κινητήρα 364
5.4.1 Πιεζοστατική προστασία με έλεγχο του ψυκτικού μέσου 365
5.4.2 Πιεζοστατική προστασία με έλεγχο του λαδιού λιπάνσεως 369
5.5 Θερμοστάτες και θερμοστατική ρύθμιση και προστασία 370
5.5.1 Ρύθμιση θερμοστάτη 370
5.5.2 Θερμοστάτες μικρών ψυκτικών εγκαταστάσεων 379
5.5.3 Θερμοστάτες χώρου 383
5.6 Αποφρακτικές βαλβίδες 390
5.6.1 Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ψυκτικού μέσου 390
5.6.2 Χειροκίνητες αποφρακτικές βαλβίδες ψυκτικό μέσου 394
5.6.3 Βαλβίδες αντεπιστροφής ψυκτικού μέσου 396
5.6.4 Ασφαλιστικές βαλβίδες και βαλβίδες ανακουφίσεως του ψυκτικού μέσου 399
5.7 Ειδικά εξαρτήματα προστασίας 403
5.7.1 Παγίδες σταγόνων ψυκτικού μέσου 403
5.7.2 Ελαιοδιαχωριστήρες 405
5.7.3 Φίλτρα - ξηραντήρες ψυκτικού μέσου 406
5.7.4 Ενδεικτικά υγρασίας ψυκτικού μέσου 410

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Αποπάγωση των στοιχείων ατμοποιήσεως

6.1 Γενικά 413
6.2 Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας και το φαινόμενο της συμπυκνώσεως και στερεοποιήσεώς τους 414
6.3 Μέθοδοι αποπαγώσεως 416
6.4 Χρονοδιακόπτες αποπαγώσεως 417
6.5 Αποπάγωση με θερμό ατμό 425
6.6 Άλλες μέθοδοι αποπαγώσεως 432
6.7 Αποπάγωση οικιακών ψυγείων 434

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Ψυκτικοί πύργοι

7.1 Γενικά 443
7.2 Ψυκτικοί πύργοι φυσικής κυκλοφορίας 444
7.3 Ψυκτικοί πύργοι εξαναγκασμένης κυκλοφορίας 448
7.4 Λειτουργία πύργου ψύξεως 449

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Διατήρηση τροφίμων

8.1 Γενικά 451
8.2 Ειδικές συνθήκες 453
8.3 Κατάψυξη 455

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 457

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ