



ΚΕΝΤΡΟ  
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ  
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

# ΟΔΗΓΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΨΥΞΗ



Ευρωπαϊκή Επιτροπή  
Γενική Δ/ση V  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

Υπουργείο Εργασίας  
Δ/ση Κοινοτικών Πρωτοβουλιών

# ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## ΟΔΗΓΟΣ ΨΥΞΗΣ

**ΜΗΝΑΣ ΙΑΤΡΙΔΗΣ**  
**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ MSc**

**Τομέας**

**Ορθολογικής Χρήσης Ενέργειας**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 1996**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή .....	1
2. Η ψύξη και η χρήση της .....	2
3. Η Διαδικασία ψύξης .....	3
3.1 Απλές αρχές.....	3
3.1.1 Μονοβάθμιο σύστημα ψύξης .....	4
3.1.2 Διβάθμιο σύστημα ψύξης .....	6
4. Κύρια Μέρη Ψυκτικού Συγκροτήματος .....	7
4.1. Συμπιεστές (Θετικού Εκτοπίσματος).....	7
4.1.1 Κατηγορίες Συμπιεστών .....	7
4.1.2 Παλινδρομικοί Συμπιεστές.....	8
4.1.3 Περιστροφικοί Συμπιεστές .....	9
4.2 Απόδοση Συμπιεστή και Απόδοση Συστήματος.....	11
4.2.1 Υπολογισμός της Απόδοσης Συμπιεστή.....	12
4.3 Συμπυκνωτές.....	15
4.3.1 Γενικά .....	15
4.3.2 Κατάταξη Συμπυκνωτών .....	16
4.3.3 Αερόψυκτοι Συμπυκνωτές.....	16
4.3.4 Υδρόψυκτοι Συμπυκνωτές .....	17
4.3.5 Συμπυκνωτές Εξαμιζόμενου Τύπου.....	18
4.4 Εκτονωτικές Βαλβίδες .....	18
4.4.1 Γενικά .....	18
4.4.2 Είδη Εκτονωτικών Βαλβίδων .....	18
4.4.3 Τριχοειδής Σωλήνας .....	19
4.4.4 Αυτόματη Εκτονωτική Βαλβίδα.....	19
4.4.5 Θερμοεκτονωτική Βαλβίδα .....	20
4.4.6 Εκτονωτική Βαλβίδα Επίπλευσης Χαμηλής Πλευράς .....	21
4.4.7 Εκτονωτική Βαλβίδα Επίπλευσης Υψηλής Πλευράς.....	22
4.5 Εξαμιστές ή Ψυκτικά Στοιχεία .....	23
4.5.1 Στοιχεία Ξηρής Εκτόνωσης.....	23
4.5.2 Στοιχεία Υπερχειλιστικά ή Υγρής Εκτόνωσης.....	24

4.5.3	Στοιχεία Με Γυμνές Σωληνώσεις.....	24
4.5.4	Στοιχεία Με Πτερύγια .....	24
4.5.5	Στοιχεία Τύπου Πλάκας.....	25
4.5.6	Στοιχεία Φυσικής Κυκλοφορίας Αέρα .....	25
4.5.7	Στοιχεία Βεβιασμένης Κυκλοφορίας Αέρα.....	26
4.5.8	Στοιχεία Βυθιζόμενου ή Εμβαπτισμένου Τύπου .....	26
4.6	Ψυκτικά Μέσα .....	27
4.6.1	Γενικά .....	27
4.6.2	Ψυκτικά μέσα και περιβάλλον.....	28
5.	Παράγοντες που επηρεάζουν την Απόδοση .....	30
5.1	Συντελεστής Συμπεριφοράς .....	31
5.2	Πρωτογενείς Παράμετροι .....	31
5.2.1	Ψυκτικά φορτία .....	31
5.2.2	Θερμοκρασία Εξάτμισης.....	32
5.2.3	Θερμοκρασία Συμπύκνωσης .....	32
5.2.4	Απόδοση του συμπιεστή.....	33
5.2.5	Ισχύς Βοηθητικού Εξοπλισμού .....	34
6.	Ενεργειακή Πρόβλεψη - Ενεργειακή Καταγραφή.....	35
6.1	Ενεργειακές απώλειες συστήματος ψύξης.....	35
6.2	Ενεργειακή Καταγραφή (Energy Audit).....	37
7.	Προσδιορισμός Δυσλειτουργιών - Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	41
7.1	Προσέγγιση Ανεύρεσης δυσλειτουργιών και αποκατάσταση .....	41
7.2	Εκσυγχρονισμός της εγκατάστασης.....	41
7.3	Υπολογισμός του κόστους δυσλειτουργιών.....	43
7.4	Παρακολούθηση της λειτουργίας και μέτρηση απόδοσης.....	44
7.5	Έλεγχος απόδοσης - Ένα Παράδειγμα .....	45
8.	Υπολογισμός Του Ετήσιου Κόστους.....	53
8.1	Εξοπλισμός Ψυκτικού Συγκροτήματος.....	53
8.2	Ψυκτικά Φορτία .....	55
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	57
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	58

## 1. Εισαγωγή

**Συστήματα ψύξης** χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως στη βιομηχανία για τη συντήρηση τροφίμων και τον κλιματισμό. Αυτό το φυλλάδιο αφορά πρωταρχικά τη ψύξη στη βιομηχανική χρήση της και τις μεγάλες κλιματιστικές εφαρμογές. Όμως, οι βασικές αρχές που εδώ αναλύονται εφαρμόζονται σε όλα τα συστήματα ψύξης. Ο οδηγός αυτός γράφτηκε για να υπενθυμίσει και να συμπληρώσει τις βασικές γνώσεις των μηχανικών που εξειδικεύονται στον τομέα ενεργειακής διαχείρισης στη βιομηχανία μέσω του προγράμματος εκπαίδευσης του ΚΑΠΕ. Επίσης και όλων αυτών που ασχολούνται με την αγορά, τοποθέτηση, συντήρηση και αποδοτική λειτουργία των συστημάτων ψύξης.

Τα συστήματα ψύξης εγκαθίστανται για να παράγουν ή να διατηρούν τη θερμοκρασία ενός χώρου ή υλικού σε σταθερή χαμηλή θερμοκρασία. Με λίγα λόγια, δημιουργούμε ψύξη με την αφαίρεση θερμότητας από το ψυχόμενο χώρο. Η επιλογή όμως των ψυκτικών συστημάτων τις περισσότερες φορές γίνεται με μόνο κριτήριο την απαιτούμενη ψυκτική ικανότητα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απόδοση και το κόστος ψύξης. Έρευνες έχουν δείξει ότι ένα ποσοστό 25% μπορεί να εξοικονομηθεί πάρα πολύ εύκολα.

Η αποδοτική λειτουργία ενός ψυκτικού συστήματος είναι αναμφίβολα συνδυσασμένη με το σκοπό της αγοράς του, το σχεδιασμό του, την εγκατάσταση και τη χρήση του.

Για να γίνει αντιληπτό τι σημαίνει αποδοτική λειτουργία θα πρέπει να κατανοήσουμε την βασική λειτουργία του ψυκτικού συστήματος τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του. Όπως, επιπλέον θα πρέπει να κατανοήσουμε τα διάφορα τμήματα του ψυκτικού συστήματος και τους συγκεκριμένους τύπους αυτών των τμημάτων.

Στο φυλλάδιο λοιπόν αυτό εξηγούνται οι επιμέρους παράμετροι λειτουργίας και η συνολική λειτουργία του συστήματος ψύξης. Δίνονται τα βήματα ενεργειακού ελέγχου, εξετάζονται μέθοδοι πρόβλεψης και ορθολογικής ενεργειακής διαχείρισης.

Οπωσδήποτε, μέσα στις λίγες αυτές σελίδες δεν δύναται να περιληφθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας του συστήματος ψύξης. Ωστόσο για λεπτομερέστερη εμβάθυνση και περισσότερες πληροφορίες προτείνεται εκτενής βιβλιογραφία στο τέλος του οδηγού αυτού.

## 2. Η ψύξη και η χρήση της

Η ψύξη σήμερα κυρίως χρησιμοποιείται για την διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις βιομηχανικών διαδικασιών ή για την διατήρηση θερμοκρασιών άνεσης στους χώρους κατοικίας και εργασίας.

Η χρήση της κρίνεται επίσης αναγκαία για την συντήρηση τροφίμων - ποτών για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ελαχιστοποιώντας συγχρόνως την υποβάθμιση της ποιότητας τους.

Πριν προχωρήσει κανείς στην αγορά και λειτουργία ενός ψυκτικού μηχανήματος πρέπει να αναρωτηθεί **αν χρειάζεται ψύξη**. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να διατηρηθεί ή να παραχθεί ψύξη χρησιμοποιώντας την από φυσικούς πόρους παρεχόμενη ψύξη ή δροσισμό, όπως για παράδειγμα η χρήση:

- Των πύργων ψύξης που μπορούν να ψύχουν το νερό στους 30°C και ακόμη χαμηλότερα και τις πιο ζεστές μέρες του καλοκαιριού.
- Του αερισμού με προϋποθέσεις ή η χρήση του νυχτερινού αερισμού κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.
- Του νερού από πηγάδια μικρού βάθους γεωτρήσεων ή πηγών που συνήθως είναι στους 10°C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
- Της μόνωσης που πλέον θεωρείται αναγκαία διότι λειτουργεί το ίδιο καλά στο να διατηρεί τη ζητούμενη θερμοκρασία εντός όσο και εκτός του χώρου που μας ενδιαφέρει.
- Εξωτερικών σκιάστρων (πατζούρια, ρολά) για τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες, κλπ.

### **3. Η Διαδικασία ψύξης**

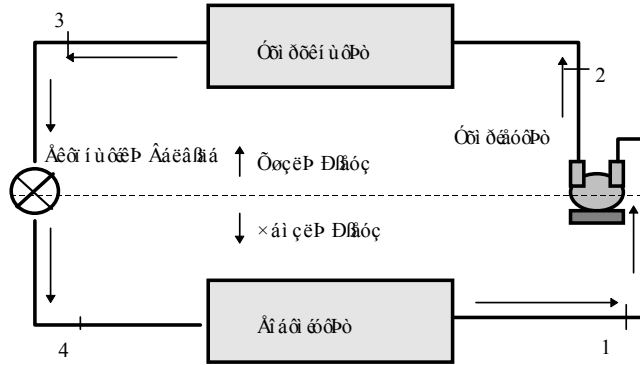
Υπάρχουν πολλές διατάξεις παραγωγής ψύξης, όμως μία έχει σχεδόν επικρατήσει, αυτή με μηχανική συμπίεση. Στη χώρα μας η ψύξη γίνεται ως επί το πλείστον με μηχανική συμπίεση ατμού και εφαρμόζεται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις ισχύος 40W έως 17,5MW ανά μονάδα. Βεβαίως για να λειτουργήσουν απαιτείται μηχανική ενέργεια ώστε να τεθεί σε κίνηση ο συμπιεστής. Υπάρχουν βεβαίως και άλλες ψυκτικές διατάξεις, συμπεριλαμβανομένου και του κύκλου ψύξης με απορρόφηση, στις οποίες δεν υπάρχει συμπιεστής αλλά μία πηγή θερμότητας (συνήθως υγραέριο). Οι διατάξεις αυτές δεν έχουν επικρατήσει λόγω υψηλού λειτουργικού κόστους σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

#### **3.1 Απλές αρχές**

Οι διατάξεις συμπίεσης ατμού και συγκεκριμένα οι αντλίες θερμότητας και οι υπόλοιπες ψυκτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν με βάση την αρχή ότι τα καθαρά υγρά εξατμίζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διαφορετικές πιέσεις - οι υψηλές πιέσεις δίνουν υψηλά σημεία βρασμού - και κατά τον βρασμό απορροφούν λανθάνουσα θερμότητα από το περιβάλλον τους. Αντίστροφα, κατά την μετατροπή ατμού σε υγρό (συμπύκνωση) εκλύεται θερμότητα. Εάν η εξάτμιση μπορεί να λάβει χώρα σε μια δεδομένη πίεση και η συμπύκνωση σε άλλη τότε η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί από ένα επίπεδο σε άλλο. Στην ψύξη θέλουμε να μεταφέρουμε θερμότητα από κάποια χαμηλή (ψυχρή) θερμοκρασία σε μία υψηλότερη. Ο ατμός που παράγεται από το υγρό που βράζει σε χαμηλή πίεση πρέπει να συμπιεστεί σε υψηλότερη πίεση έτσι ώστε να μπορεί να συμπυκνωθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτή η συμπίεση ατμού απαιτεί μηχανική ενέργεια και όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών υγροποίησης και εξάτμισης τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς που απαιτείται από τον συμπιεστή για την ίδια ποσότητα ψύξης.

### 3.1.1 Μονοβάθμιο σύστημα ψύξης

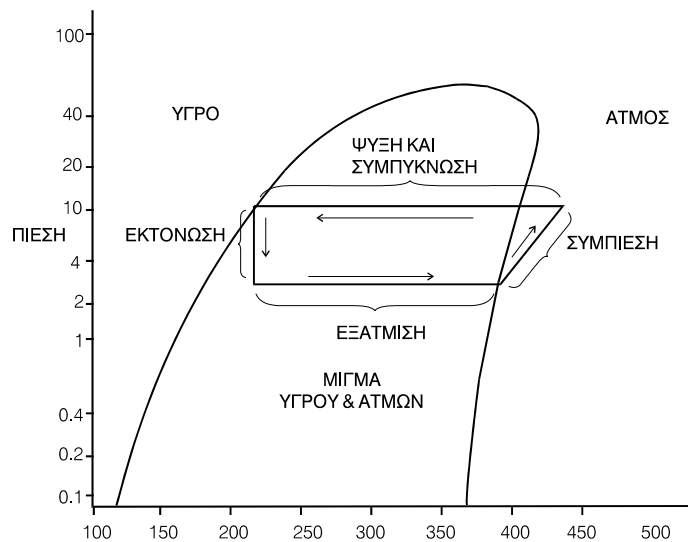
Η λειτουργία ενός απλού μονοβάθμιου κυκλώματος ψύξης δείχνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Απλό μονοβάθμιο κύκλωμα ψύξης

Η ενέργεια απορροφάται από το ψυκτικό μέσο στον εναλλάκτη θερμότητας γνωστό ως εξατμιστής. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από το προς ψύξη υλικό που είναι -νερό, αέρας, αλατόνερο ή οτιδήποτε άλλο. Ο συμπιεστής ο οποίος κινείται συνήθως από έναν ηλεκτρικό κινητήρα αυξάνει την πίεση και συνεπώς την θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου. Ο συμπιεσμένος ατμός τότε ψύχεται κι υγροποιείται μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας τον αποκαλούμενο συμπυκνωτή και αποβάλλει την λανθάνουσα θερμότητα του, συνήθως στον περιβάλλοντα αέρα ή το νερό.

Το υγροποιημένο ψυκτικό μέσο τότε περνά από την υψηλή πίεση μέσω εκτονωτικής βαλβίδας (στραγγαλιστικού μηχανισμού) σε χαμηλή πίεση και πάλι πίσω στον εξατμιστή. Ο κύκλος τώρα μόλις συμπληρώνεται. Συχνά είναι χρήσιμο να δείχνεται ο κύκλος ψύξης με το διάγραμμα Mollier πίεσης - ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου. Στο Διάγραμμα 2 εμφανίζεται ψυκτικό μέσο R22.



Διάγραμμα 2. Διάγραμμα ψυκτικού μέσου R 22



Το ψυκτικό μέσο μπαίνει στον συμπιεστή με χαμηλή πίεση και σε μία θερμοκρασία μερικών βαθμών υψηλότερη από το σημείο βρασμού στην ίδια πίεση. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντική για την λειτουργική απόδοση των συστημάτων.

Μέσα στον συμπιεστή το ψυκτικό αέριο αυξάνει τόσο τη θερμοκρασία όσο και τη πίεση του. Για τον ίδιο βαθμό συμπίεσης ένας λιγότερο αποδοτικός συμπιεστής θα χρησιμοποιήσει περισσότερη ισχύ και θα παρέχει θερμότερο αέριο.

Το αέριο από τον συμπιεστή πηγαίνει στον συμπυκνωτή. Το αέριο πρώτα κρύνει από την θερμοκρασία κατάθλιψης του συμπιεστή στην θερμοκρασία κορεσμού συμπύκνωσης αποδίδοντας την αισθητή θερμότητα.

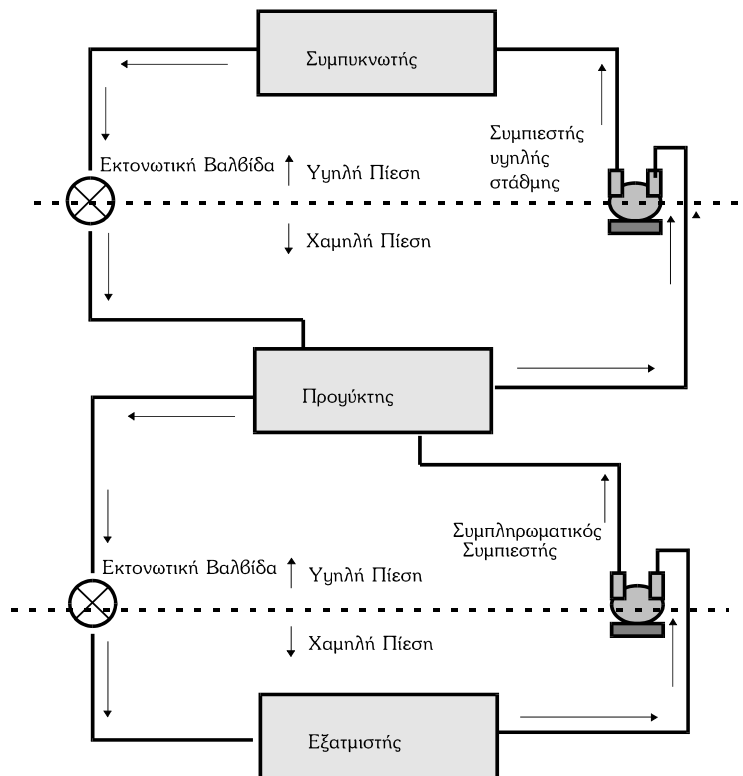
Το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που μεταφέρεται (λανθάνουσα θερμότητα) στον συμπυκνωτή εμφανίζεται όταν το ψυκτικό μέσο μετατρέπεται από αέριο σε υγρό. Το υγρό μπορεί στη συνέχεια να "υποψυχθεί" σε μία θερμοκρασία κάτω από την θερμοκρασία συμπύκνωσης. Συνήθως η υπόψυξη μέσα στον συμπυκνωτή είναι μόνο μερικούς βαθμούς. Ο συμπυκνωτής είναι κάτι ανάλογο προς ένα εναλλάκτη ατμού μέσα στον οποίο ο καυτός ατμός υγροποιείται αποβάλλοντας την λανθάνουσα του θερμότητα. Έτσι, λοιπόν εάν παρομοιάσουμε το συμπυκνωτή με εναλλάκτη ατμού τότε η εκτονωτική βαλβίδα είναι η ατμοπαγίδα. Όταν το υγρό ψυκτικό μέσο περνά από την ψηλή στη χαμηλή πίεση μέρος από το υγρό σχηματίζει ένα μίγμα από υγρό και ατμό χαμηλής θερμοκρασίας. Συνεχίζοντας το μηχανικό ανάλογο με το κύκλωμα ατμού ο εξατμιστής είναι ο λέβητας όπου το υγρό ψυκτικό μέσο εξατμίζεται σε σταθερή θερμοκρασία. Ο ψυκτικός ατμός επιστρέφει τότε στον αναρροφητικό συμπιεστή και έτσι ολοκληρώνεται το κύκλωμα.

### 3.1.2 Διβάθμιο σύστημα ψύξης

Το πλέον διαδεδομένο σύστημα ψύξης στη βιομηχανία είναι αυτό του μονοβάθμιου κύκλου και λειτουργεί, όπως περιγράφεται πιο πάνω.

Όμως, για μεγάλες εφαρμογές και θερμοκρασίες κάτω από  $-20^{\circ}\text{C}$  χρησιμοποιούνται τα συστήματα ψύξης δύο και τριών φάσεων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται καλύτερη απόδοση.

Βέβαια υπάρχουν και άλλες διατάξεις ( π.χ. κύκλος απορρόφησης, θερμοσυφωνικά συστήματα, και άλλα ) οι οποίες είναι εφαρμόσιμες κατά περίπτωση. Η σχηματική διάταξη διβάθμιου κύκλου εμφανίζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Σχηματική διάταξη διβάθμιου ψυκτικού κυκλώματος

## 4. Κύρια Μέρη Ψυκτικού Συγκροτήματος

### 4.1. Συμπιεστές (Θετικού Εκτοπίσματος)

Το σπουδαιότερο τμήμα του ψυκτικού συγκροτήματος με την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση είναι ο συμπιεστής.

Οι συμπιεστές είναι μηχανικές διατάξεις που αντλούν τον ψυκτικό ατμό από τον εξατμιστή, αυξάνοντας την πίεση του και κινούν το ψυκτικό μέσο στο κύκλωμα. Η αύξηση της πίεσης επιτυγχάνεται με τη μείωση του όγκου του χώρου συμπίεσης με κάποιο μηχανικό τρόπο.

#### 4.1.1 Κατηγορίες Συμπιεστών

Ανάλογα με το είδος του μηχανισμού που εφαρμόζεται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Σε παλινδρομικούς ή εμβολοφόρους
2. Σε περιστροφικούς

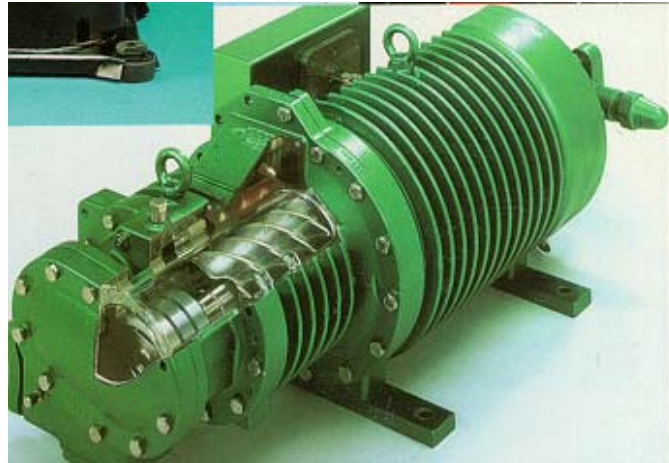
Μια άλλη κατάταξη των συμπιεστών γίνεται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του ζεύγους ηλεκτροκινητήρα και συμπιεστή. Χωρίζονται:

α) σε ανοικτού τύπου

β) σε ημιαερομηχανικούς και

γ) σε αερομηχανικούς

1. *Ανοικτού τύπου* είναι αυτοί που ο κινητήρας (ηλεκτρικός ή άλλος) είναι ξεχωριστός από τον συμπιεστή. Η κίνηση μεταδίδεται μέσω καταλλήλου συνδέσμου (π.χ. τροχαλίες, μεταλλικό κόμπλερ κλπ.).
2. *Ημιαερομηχανικού τύπου* συμπιεστές είναι αυτοί που ο ρότορας του ηλεκτροκινητήρα και ο άξονας ή στρόφαλος του συμπιεστή είναι κοινός. Το αέριο ψυκτικό μέσο διέρχεται μέσα από το σώμα του ηλεκτροκινητήρα. (Εικόνα 1).
3. *Αερομηχανικού τύπου* συμπιεστές είναι αυτοί που κινητήρας και συμπιεστής είναι μέσα σε κοινό κλειστό περίβλημα. (Εικόνα 2).



Εικόνα 1 και 2. Ερμητικού και ημιερμητικού τύπου Συμπιεστές

Μπορούμε επίσης να διακρίνουμε τους συμπιεστές ανάλογα με τη στιβαρότητα κατασκευής, τη χρήση για την οποία προορίζονται και το κόστος κατασκευής σε:

1. *Ελαφρού τύπου*: μικροί, ερμητικού τύπου
2. *Εμπορικού τύπου ή μέσου*: ημιερμητικοί μέσης απόδοσης, κατάλληλοι για ψυγεία καταστημάτων επίσης ανοικτού τύπου χωρίς αντικαθιστόμενα χιτώνια.
3. *Βιομηχανικού τύπου*: μέσης και μεγάλης απόδοσης, με αντικαθιστόμενα χιτώνια, με μεγάλη αντοχή σε μακροχρόνια και συνεχή χρήση.

#### 4.1.2 Παλινδρομικοί Συμπιεστές

Είναι ο πλέον κοινός τύπος συμπιεστή. Συνίσταται από 1 έως 16 κυλίνδρους. Ένας μικρός παλινδρομικός συμπιεστής απορροφά λιγότερο από 10kW, ένας μεσαίου μεγέθους 10-50kW και τέλος ένας μεγάλου μεγέθους με πολλαπλούς κυλίνδρους από 50kW και πάνω. Οι πιο σύγχρονοι είναι οι παλινδρομικοί και είναι σχετικά πολύστροφοι <1800 rpm. Η ταχύτητα περιστροφής έχει περιορισμένο εύρος γιατί με την αύξηση της πάνω από κάποια τιμή μειώνεται η ροή του ψυκτικού μέσου (ατμοποιημένου) μέσω των βαλβίδων (επιτρεπόμενα όρια 60m/s στο R-717, 46m/s στο R12 και R22).

Οι πιο συνηθισμένοι παλινδρομικοί συμπιεστές, διακρίνονται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας τους σε:

1. Μονοβάθμιους (Single): μπορούν να πετύχουν θερμοκρασίες αναρρόφησης έως  $-45.5^{\circ}\text{C}$ , με θερμοκρασία συμπύκνωσης  $35^{\circ}\text{C}$  και χρήση ψυκτικού μέσου R-502.
2. Χαμηλής βαθμίδας (Booster): λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες κυρίως με ψυκτικό μέσο R22 και R-717 ( $-65^{\circ}\text{C}$  με R22 και  $-54^{\circ}\text{C}$  με R717).
3. Διβάθμιους συμπιεστές: πετυχαίνουν θερμοκρασίες χαμηλές έως  $-62^{\circ}\text{C}$  με χρήση R22. Ο διβάθμιος συμπιεστής πετυχαίνει την χαμηλή και υψηλή βαθμίδα ενός διβάθμιου κύκλου μέσα σε ένα κέλυφος και με τον ίδιο κινητήρα. Ορισμένοι κύλινδροι χρησιμοποιούνται για τη χαμηλή βαθμίδα, οι δε υπόλοιποι για την υψηλή.

#### **4.1.3 Περιστροφικοί Συμπιεστές**

Τους συμπιεστές όπου ο μηχανισμός συμπίεσης του αερίου ακολουθεί περιστροφική ή κυκλικής μορφής κίνηση τους χαρακτηρίζουμε σαν περιστροφικούς συμπιεστές. Διακρίνουμε τα εξής είδη:

Μικρής δυναμικότητας περιστροφικοί συμπιεστές : Είναι μικρού μεγέθους συμπιεστές και χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό. Έχουν σχετικά μικρή στάθμη θορύβου και ελάχιστους κραδασμούς. Ταχύτητα περιστροφής 2950 έως 3450 rpm. Κατασκευάζονται σε δύο τύπους:

Μεγάλης δυναμικότητας περιστροφικοί συμπιεστές : Χρησιμοποιούνται κυρίως σε χαμηλή βαθμίδα (Booster) ψυκτικού κυκλώματος για θερμοκρασίες  $-87^{\circ}\text{C}$  έως  $-20^{\circ}\text{C}$  με μεγάλες παροχές ψυκτικού μέσου έως  $6000\text{m}^3/\text{h}$  και ιπποδυνάμεις έως 600 HP.

##### **4.1.3.1 Συμπιεστές Ελικοειδούς Μορφής (Screw Type)**

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

###### **α. Με μονό έλικα:**

Εφαρμόστηκαν μετά το 1960 στον κλιματισμό και τη βιομηχανική ψύξη. Αποτελούνται από ένα κοχλία (ρότορα) και ένα ζευγάρι τροχών αστεροειδούς μορφής. Ο κεντρικός κοχλίας έχει έξι (6) ελικοειδείς προεξοχές και οι δύο τροχοί από έντεκα (11) δόντια, που βρίσκονται σε δύο αντίθετες πλευρές από τον κεντρικό κοχλία.

Κατά την συνεχή περιστροφή του κοχλίου και των αστεροειδών τροχών διακρίνουμε τρεις φάσεις: Αναρρόφηση, Συμπίεση, Κατάθλιψη

#### **β. Με δίδυμο έλικα (Screw Type):**

Οι συμπιεστές με δίδυμο έλικα αναπτύχθηκαν μετά το 1930. Στη βιομηχανία ψύχους εφαρμόστηκαν μετά την ανάπτυξη της μεθόδου εκτόξευσης λιπαντικού, το 1950.

Αποτελείται από δύο κοχλίες ελικοειδούς μορφής, που περιστρέφει ο ένας τον άλλο και το κέλυφός τους.

Συνήθως οι δύο κοχλίες έχουν ίδια διάμετρο. Η συμπίεση γίνεται σε τέσσερις φάσεις: Αναρρόφηση-Μεταφορά -Συμπίεση-Κατάθλιψη

Οι ιπποδυνάμεις των κινητήρων των κοχλιωτών συμπιεστών κυμαίνονται μεταξύ 20 και 1500 HP. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοτική και αξιόπιστη λειτουργία των κοχλιωτών συμπιεστών είναι η σωστή και αδιάκοπη λειτουργία του κυκλώματος κυκλοφορίας, εκτόξευσης, ανάκτησης και ψύξης του λιπαντικού.

Στους δίδυμους κοχλιωτούς συμπιεστές υπάρχει μηχανισμός για συνεχή μεταβολή του φορτίου συνήθως από 10% έως 100%. Το μηχανισμό μεταβολής του φορτίου κινεί ένα έμβολο που μετακινείται με τη βοήθεια της πίεσης του λιπαντικού.

#### **4.1.3.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές (Turbocompressors)**

Έχουν εφαρμογή στην βιομηχανική ψύξη και τον κλιματισμό κυρίως όπου απαιτούνται μεγάλες παροχές ψυκτικού μέσου έως και 50000 m<sup>3</sup>/h. Οι ταχύτητες περιστροφής κυμαίνονται από 1800 έως 90000 rpm και οι θερμοκρασία αναρρόφησης τους από -100°C έως +10°C. Ο λόγος συμπίεσης κυμαίνεται μεταξύ 2 και 30. Εργάζονται με όλα τα ψυκτικά μέσα.

#### **4.1.3.3 Συμπιεστές περιστροφικού ανεμιστήρα (Rotary Vane)**

Ο συμπιεστής αυτού του τύπου αποτελείται από έναν άξονα που φέρει ακτινικά πτερύγια ο οποίος περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος του ρότορα. Καθώς περιστρέφεται ο άξονας, ο όγκος του παγιδευμένου αερίου μειώνεται το αέριο συμπιέζεται και τελικά εκτονώνεται από την θυρίδα εξόδου. Το εύρος μεγέθους των συγκεκριμένων συμπιεστών κυμαίνεται από 1kW - 400kW.

#### **4.1.3.4. Σπειροειδής συμπιεστής (Scroll)**

Και οι σπειροειδείς συμπιεστής είναι περιστροφικού τύπου με θετικό εκτόπισμα. Χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε μικρές συσκευές κλιματιστικών αντλιών θερμότητας (5 - 35kW) και συστήματα κλιματιστικών αυτοκινήτων.

Το σπειροειδές είναι ανοικτό σπείρωμα υποστηριζόμενο σε μια επίπεδη πλάκα. Η σπειροειδής διάταξη αποτελείται από δύο σπειροειδή: Το ένα είναι σταθερό και το άλλο, είναι τοποθετημένο σε σχέση με το σταθερό κατά γωνία 180°, κινούμενο γύρω από το σταθερό σημείο του σταθερού (παράλληλη μετατόπιση).

Καθώς το κινούμενο μετατοπίζεται παράλληλα, το αέριο εισέρχεται στο μεταξύ διάστημα των σπειροειδών και συγκεκριμένα στα άκρα της διάταξης. Καθώς το αέριο κινείται εσωτερικά, ο όγκος του κενού μειώνεται και το αέριο συμπιέζεται. Τέλος η θυρίδα εκτόνωσης ανοίγει και το αέριο εκτονώνεται. Ο σπειροειδής συμπιεστής έχει σταθερή σχέση συμπίεσης. Η σχέση συμπίεσης ρυθμίζεται από τον αριθμό των τυλιγμάτων του ανοικτού σπειρώματος και την θέση των θυρίδων αναρρόφησης και εκτόνωσης. Οι σπειροειδείς συμπιεστής είναι κατά 10% πιο αποδοτικοί από όλους του περιστροφικούς που χρησιμοποιούνται σήμερα στις κλιματιστικές μονάδες.

## **4.2 Απόδοση Συμπιεστή και Απόδοση Συστήματος**

Είναι πολύ βασικό να αποδίδεται σωστά η διαφορά μεταξύ της απόδοσης του συμπιεστή και εκείνης του συστήματος ψύξης. Η παράμετρος της απόδοσης συγγέεται συχνά για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο να δωθεί ξεκάθαρα η σχέση τους.

Η απόδοση συμπιεστή συχνά παρουσιάζεται από τους κατασκευαστές είτε υπό μορφή διαγράμματος (Διάγραμμα 3) είτε από πίνακες απόδοσης και ισχύος για την περιοχή θερμοκρασιών συμπύκνωσης και εξάτμισης.

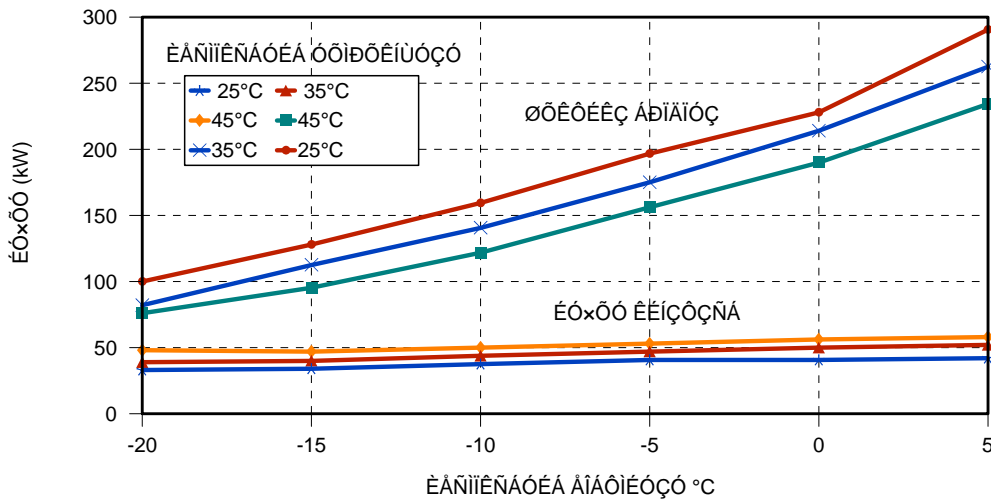
Όταν λοιπόν μιλάμε για απόδοση του ψυκτικού συστήματος ενοούμε την ένδειξη της ενεργειακής απόδοσης ολόκληρου του ψυκτικού κύκλου.

Συνήθως την εκφράζουμε με τον συντελεστή συμπεριφοράς (COP).

Ο συντελεστή συμπεριφοράς (COP) ενός ψυκτικού συγκροτήματος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες :

- Το ψυκτικό μέσο
- Τη διάταξη του κύκλου
- Τις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης
- Την απόδοση του συμπιεστή
- Τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον βοηθητικό εξοπλισμό.

Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες έχει μια συγκεκριμένη επίδραση στο COP και οπωσδήποτε στην συνολική ενεργειακή απόδοση.



Διάγραμμα 3. Στοιχεία απόδοσης τυπικού συμπιεστή

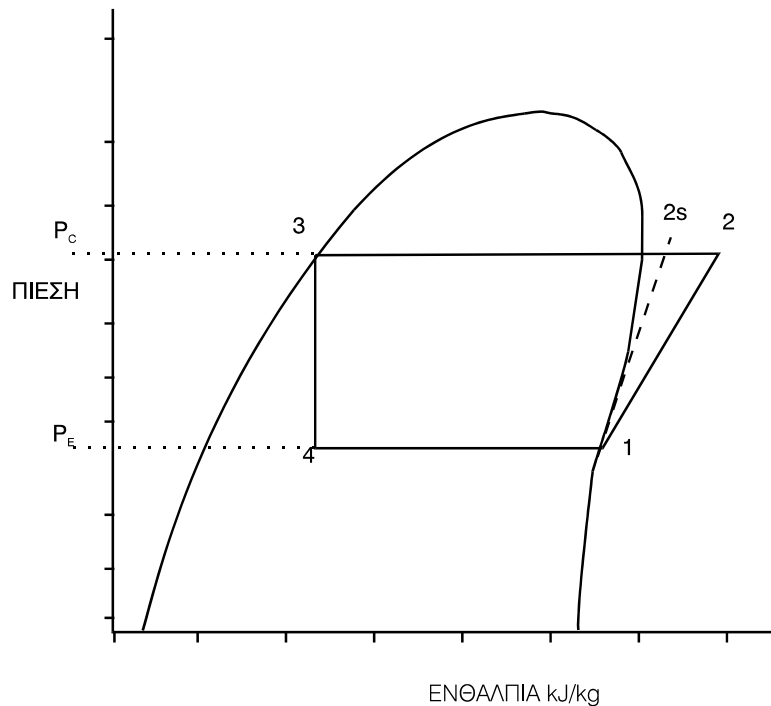
Για παράδειγμα, μείωση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης κατά 1° C μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή κατανάλωση του συμπιεστή κατά 3%.

Η ουσιαστική παρατήρηση που γίνεται άμεσα αντιληπτή είναι ότι η απόδοση του συμπιεστή είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση του συμπιεστή και κατ' επέκταση το συντελεστή συμπεριφοράς του συστήματος ψύξης.

#### 4.2.1 Υπολογισμός της Απόδοσης Συμπιεστή



Ο υπολογισμός της απόδοσης του συμπιεστή από τα στοιχεία του κατασκευαστή είναι απαραίτητος για τη διαμόρφωση του θερμοδυναμικού κύκλου χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ψυκτικών ιδιοτήτων. Το βασικό σχεδιάγραμμα ενός μονοβάθμιου κύκλου παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 με το αντίστοιχο διάγραμμα του Mollier (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4 Διάγραμμα Πίεσης - Ενθαλπίας (Mollier)

Η απόδοση του συμπιεστή ορίζεται σαν :

$$\eta_{\text{ισοεντρ.}} = \frac{\text{Θεωρητικό έργο συμπίεσης}}{\text{Πραγματικό έργο συμπίεσης}}$$

Κάνοντας αναφορά στην Διάγραμμα 4 αυτό είναι ισοδύναμο με :

$$\eta_{\text{ισοεντρ.}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

όπου  $h$  είναι η ενθαλπία του ψυκτικού μέσου. Εάν χρησιμοποιήσουμε έναν συμπιεστή με τα ακόλουθα δεδομένα :

Ψυκτικό μέσο	R22
Ψυκτική ισχύς	100 kW
Ισχύς άξονα	30 kW

Θερμοκρασία εξάτμισης	-10°C
Θερμοκρασία συμπύκνωσης	35°C
Υπέρθερμη Κατάθλιψη	10°C
Υπόψυξη	15°C

Για την εκτίμηση της απόδοσης πρέπει να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες:

1. Βρίσκουμε τις συνθήκες ενθαλπίας και εντροπίας της κατάθλιψης του συμπιεστή στους πίνακες υπέρθερμου για R22 (Παράρτημα) σε θερμοκρασία κορεσμού -10°C με 10°C υπέρθερμου.

$$h_1 = 308,9 \text{ kJ/kg}$$

$$S_1 = 1,792 \text{ kJ/kg}$$

2. Για θερμοκρασία κορεσμού 35°C στην κατάθλιψη προσδιορίζεται στο σημείο 2S αναζητώντας σταθερό σημείο όπου

$$S_{2S} = S_1$$

Επομένως  $h_{2S} = 343.3 \text{ kJ/kg}$

3. Η ενθαλπία του σημείου 3 στους πίνακες κορεσμένου υγρού στους 25°C (35°C μείον 10°C του υγρού υπόψυξης)

$$h_3 = 129.8 \text{ kJ/kg}$$

4. Επειδή οι βαλβίδες εκτόνωσης που συμμετέχουν δεν εναλλάσσουν ενέργεια

$$h_4 = h_3 = 129.8 \text{ kJ/kg}$$

5. Η ψυκτική ισχύς , q, για κάθε kg ψυκτικού μέσου δίνεται από :

$$q = h_1 - h_4$$

$$= 308.9 - 129,8 = 179.1 \text{ kJ/kg}$$

Η Πραγματική ψυκτική ισχύς δίνεται από

$$Q = q \dot{m} \text{ (όπου } \dot{m} \text{ είναι η ροή μάζας του ψυκτικού υγρού σε kg/s)}$$

$$\text{Όπου } \dot{m} = Q/q$$

$$= 100/179.1 = 0.558 \text{ kg/s}$$

6. Η πραγματική ισχύς του συμπιεστή,  $P$ , δίνεται από

$$P = (h_2 - h_1) \dot{m}$$

$$\text{Όπου } h_2 - h_1 = P/\dot{m}$$

$$= 30/0.56 = \mathbf{53.73 \text{ kJ/kg h}}$$

7. Η απόδοση του συμπιεστή μπορεί να υπολογιστεί ως εξής :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{ισοεντ.}} &= \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \times 100 \\ &= \frac{343.3 - 308.9}{53.73} \times 100 = \mathbf{64.0\%} \end{aligned}$$

Η τιμή της απόδοσης του συμπιεστή  $\eta_{\text{ισοεντ.}}$  64% είναι μόνο για τις ειδικές συνθήκες που καθορίζονται στο συγκεκριμένο παράδειγμα. Εάν ο ίδιος συμπιεστής λειτουργούσε με διαφορετικές θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξατμίσης ή άλλο ψυκτικό μέσο η τιμή θα ήταν πολύ διαφορετική.

## 4.3 Συμπυκνωτές

### 4.3.1 Γενικά

Ο συμπυκνωτής είναι ένα από τα βασικότερα εξαρτήματα οποιασδήποτε ψυκτικής εγκατάστασης, όπου εισερχόμενο το υπέρθερμο ψυκτικό αέριο υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης εντός του αποβάλλει θερμότητα προς το μέσο συμπύκνωσης (νερό, αέρας ή και τα δύο) και συμπυκνώνεται.

Μπορούμε να πούμε ότι ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, όπου εναλλάσσεται θερμότητα, μεταξύ ψυκτικού αερίου και μέσου συμπύκνωσης.

Η επιφάνεια του συμπυκνωτή θα πρέπει να είναι κατά 25% μεγαλύτερη από την επιφάνεια του εξατμιστή για να μπορέσει να αποβληθεί όλη η απορροφηθείσα θερμότητα από το ψυκτικό ρευστό κατά τον κύκλο ψύξης. Διότι το ψυκτικό ρευστό κατά το κύκλο ψύξης απορροφά θερμότητα:

1. Εντός του εξατμιστή (όταν εξατμίζεται)
2. Εντός του συμπιεστή (όταν συμπιέζεται)
3. Εντός της γραμμής αναρρόφησης (όταν το μήκος της είναι κάπως μεγάλο και δεν είναι επαρκώς μονωμένη)

#### **4.3.2 Κατάταξη Συμπυκνωτών**

Οι συμπυκνωτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ως προς το χρησιμοποιούμενο μέσο συμπύκνωσης του ψυκτικού αερίου.

Στους **Αερόψυκτους**

Στους **Υδρόψυκτους**

Στους **Ατμοποίησης ή Εξατμιζόμενου Τύπου**

#### **4.3.3 Αερόψυκτοι Συμπυκνωτές**

Αερόψυκτοι λέγονται οι συμπυκνωτές εκείνοι οι οποίοι χρησιμοποιούν σαν μέσο συμπύκνωσης τον ατμοσφαιρικό αέρα του περιβάλλοντος.

Η κυκλοφορία του αέρα ψύξης στους αερόψυκτους συμπυκνωτές γίνεται κατά δύο τρόπους:

- α) Με φυσική κυκλοφορία όπου ο αέρας ψύξης κυκλοφορεί ελεύθερα λόγω της βαρύτητας τους
- β) Με βεβιασμένη κυκλοφορία όπου ο αέρας κυκλοφορεί μέσω ανεμιστήρα. Ο αριθμός των σειρών των σωλήνων ενός αερόψυκτου συμπυκνωτή μπορεί να είναι από μία (1) έως των (8)

Στις πρώτες σειρές των σωλήνων ενός αερόψυκτου συμπυκνωτή ο αέρας απορροφά μεγαλύτερο ποσό θερμότητας από το ψυκτικό αέριο σε σύγκριση με τις τελευταίες

σωληνώσεις όπου απορροφά λιγότερο ποσό θερμότητας επειδή η θερμοκρασία του έχει ήδη ανυψωθεί κατά τη διαδρομή του.

#### **4.3.4 Υδρόψυκτοι Συμπυκνωτές**

Υδρόψυκτοι καλούνται οι συμπυκνωτές οι οποίοι χρησιμοποιούν σα μέσο συμπύκνωσης του ψυκτικού αερίου, το νερό.

Ειδικές εφαρμογές με αυξημένα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας είναι η χρήση του νερού από γεωθερμικά πηγάδια, λίμνες, ποτάμια, θάλασσα όπου η θερμοκρασία του νερού είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου το αποτέλεσμα είναι η σημαντική αύξηση του COP.

Το χρησιμοποιούμενο νερό για τη συμπύκνωση του θερμού αερίου μέσα στο συμπυκνωτή μπορεί να χρησιμοποιείται είτε μια μόνο φορά και στη συνέχεια να πηγαίνει προς την αποχέτευση είτε να χρησιμοποιείται και πάλι αφού προηγουμένως ψυχθεί στον πύργο ψύξης.

Η λειτουργία του υδρόψυκτου συμπυκνωτή είναι όμοια με εκείνη του αερόψυκτου, δηλαδή στις πρώτες σωληνώσεις αποβάλλεται η θερμότητα υπερθέρμανσης, στη συνέχεια αρχίζει η συμπύκνωση και τέλος το ψυκτικό υγρό γίνεται υπόψυκτο στις τελευταίες σωληνώσεις του.

#### **Είδη Υδρόψυκτων Συμπυκνωτών**

Οι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές από πλευράς κατασκευής διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες

1. Συμπυκνωτές με διπλές σωληνώσεις Double Tube (ο ένας σωλήνας εντός του άλλου σωλήνα)
2. Συμπυκνωτές με κέλυφος και στοιχείο Shell & Coil (σπειροειδής σωλήνας εντός κελύφους)
3. Συμπυκνωτές με κέλυφος και σωληνώσεις Shell & Tube (επιμήκεις σωλήνες εντός κελύφους)

#### **4.3.5 Συμπυκνωτές Εξατμιζόμενου Τύπου**

Οι συμπυκνωτές αυτού του τύπου χρησιμοποιούν ως μέσο συμπύκνωσης το νερό και τον αέρα ταυτόχρονα. Το μεν νερό αντλείται με την βοήθεια κυκλοφορητή από την δεξαμενή όπου βρίσκεται στο κατώτατο μέρος του συμπυκνωτή και τροφοδοτείται από το δίκτυο παροχής (πόλεως ή άλλης πηγής).

Η θερμότητα η οποία αποβάλλεται από το ψυκτικό αέριο προς το μέσο συμπύκνωσης (νερό και αέρας) είναι *αισθητή και λανθάνουσα*.

Όμως, για να προκληθεί η εξατμηση του νερού, θα πρέπει ο εισερχόμενος αέρας να έχει χαμηλή θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου, δηλαδή να είναι όσο το δυνατό ξερός, διότι ο αέρας διερχόμενος δια μέσου των σωληνώσεων του συμπυκνωτή θερμαίνεται, και υγραίνεται με συνέπεια να μην υπάρχουν πλέον άλλα περιθώρια.

### **4.4 Εκτονωτικές Βαλβίδες**

#### **4.4.1 Γενικά**

Η εκτονωτική βαλβίδα είναι εκείνο το βασικό εξάρτημα κάθε ψυκτικής εγκατάστασης που με την συνεργασία του συμβάλλει :

1. Στον έλεγχο της ακριβούς ποσότητας του διερχόμενου ψυκτικού ώστε ο εξατμιστής να μη παρουσιάζει έλλειψη ή υπερχειλίση ψυκτικού. Το αποτέλεσμα είναι η μονάδα να εργάζεται με τη μέγιστη της απόδοση και χωρίς να υπερφορτίζεται.
2. Προκαλώντας την εκτόνωση του υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού, μειώνοντας την πίεση και την θερμοκρασία του σε επίπεδα λειτουργίας του εξατμιστή.

#### **4.4.2 Είδη Εκτονωτικών Βαλβίδων**

Τα είδη των χρησιμοποιούμενων εκτονωτικών βαλβίδων είναι 5:

1. Ο τριχοειδής σωλήνας
2. Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα ή βαλβίδα σταθερής πίεσης

3. Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα ή θερμοεκτονωτική βαλβίδα ή βαλβίδα σταθερής υπερθέρμανσης
4. Η βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής πλευράς
5. Η βαλβίδα επίπλευσης υψηλής πλευράς

#### **4.4.3 Τριχοειδής Σωλήνας**

Ο τριχοειδής σωλήνας είναι μια εκτονωτική βαλβίδα η οποία χρησιμοποιείται αποκλειστικά στις μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπως π.χ. στα οικιακά ψυγεία, στις κλιματιστικές συσκευές δωματίου, καθώς επίσης και στις μικρές επαγγελματικές μονάδες.

#### **4.4.4 Αυτόματη Εκτονωτική Βαλβίδα**

Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα όπως και κάθε άλλη εκτονωτική εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

Πρώτο, ρυθμίζει την απαιτούμενη ποσότητα του ψυκτικού υγρού, η οποία πρέπει να εισέλθει μέσα στον εξατμιστή, ανάλογα με το υπάρχον θερμικό φορτίο μέσα στο θάλαμο ψύξης.

Δεύτερο, προκαλώντας την εκτόνωση του ψυκτικού υγρού που βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, μειώνοντας δηλαδή την υψηλή πίεση και θερμοκρασία, στα επίπεδα πίεσης και θερμοκρασίας του εξατμιστή.

#### **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

##### Πλεονεκτήματα

Η ρύθμιση της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας είναι πρακτική και εύκολη. Οι συνθήκες λειτουργίας της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας είναι σχεδόν σταθερές και δεν επηρεάζονται από άλλους παράγοντες όπως συμβαίνει με τις άλλες εκτονωτικές βαλβίδες, (θέση και κατάσταση βολβού θερμοεκτονωτικής)

### Μειονεκτήματα

Όταν αυξάνεται το φορτίο θερμότητας αντί να στείλει περισσότερο ψυκτικό υγρό μέσα στον εξατμιστή προς αντιμετώπιση του, επιτρέπει λιγότερο ψυκτικό να εισέλθει, με συνέπεια να εξατμιστεί και να μειώνεται η ψυκτική ικανότητα.

Όταν ελαττώνεται το φορτίο θερμότητας του ψυκτικού θαλάμου, αντί να περιορίσει την εισερχόμενη ποσότητα μέσα στον εξατμιστή επιτρέπει μεγαλύτερη της επιτρεπόμενης ποσότητας να εισέλθει με αποτέλεσμα την υπερχειλίση.

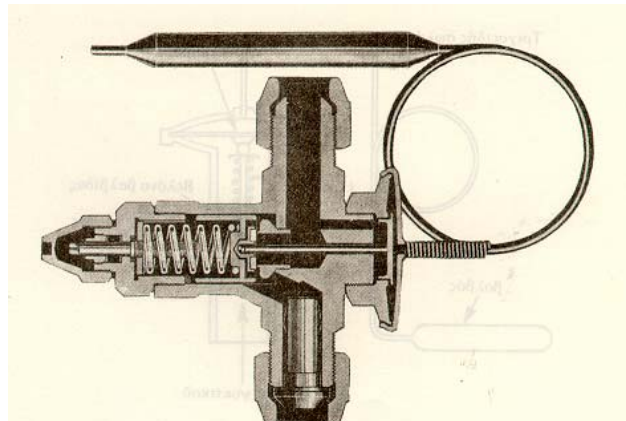
Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα όπως και ο τριχοειδής σωλήνας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ψυκτικές εγκαταστάσεις όπου τον συμπιεστή ελέγχει *πρεσοστάτης*, παρά μόνον με *θερμοστάτη*.

Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα χρησιμοποιείται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις όπου το φορτίο θερμότητας είναι μικρό και σταθερό π.χ. συντηρητές παγωτών και ψύκτες νερού.

#### **4.4.5 Θερμοεκτονωτική Βαλβίδα**

Η θερμοεκτονωτική βαλβίδα είναι ακριβώς η ίδια με κάθε άλλη εκτονωτική βαλβίδα

Η κατασκευή της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας κατέστη αναγκαία λόγω των παρουσιαζομένων μειονεκτημάτων των άλλων εκτονωτικών βαλβίδων. Η χρήση της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας είναι ευρεία τόσο στις ψυκτικές εγκαταστάσεις βιομηχανία - εμπόριο, όσο και στον κλιματισμό, με εξαίρεση τα κλιματιστικά δωματίων που έχουν τριχοειδή σωλήνα.



Εικόνα 3. Θερμοεκτονωτική Βαλβίδα

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας είναι ο τριχοειδής σωλήνας και ο βολβός.



Η αρχή λειτουργίας της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας στηρίζεται επί της διαφοράς των πιέσεων του βολβού της αφ' ενός και των πιέσεων στοιχείου και ρυθμιστικού ελατηρίου αφ' ετέρου.

Όμως ο έλεγχος της κανονικής λειτουργίας της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας εξασφαλίζεται από τη διαφορά των θερμοκρασιών εξάτμισης ψυκτικού υγρού και θερμοκρασίας ψυκτικού αερίου στη θέση τοποθέτησής του βολβού, δηλαδή από την υπερθέρμανση.

Η θερμοεκτονωτική βαλβίδα δεν λειτουργεί βάσει μιας εκ των προτέρων καθορισμένης σταθερής πίεσης (όπως στην αυτόματη εκτονωτική), αλλά βάσει μιας προκαθορισμένης σταθερής υπερθέρμανσης. Γι αυτό τον λόγο ονομάζεται και βαλβίδα σταθερής υπερθέρμανσης.

Καθ' όλο το χρονικό διάστημα που λειτουργεί ο συμπιεστής και το στοιχείο αφαιρεί θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο, η θερμοεκτονωτική βαλβίδα περιορίζει συνεχώς την ποσότητα του εισερχόμενου υγρού εντός του στοιχείου. Ακριβώς το αντίθετο της αυτόματης εκτονωτικής βαλβίδας

Όταν αυξάνεται το φορτίο θερμότητας εντός του ψυχόμενου χώρου, τότε η θερμοεκτονωτική βαλβίδα στέλνει περισσότερο υγρό για να καλύψει τη νέα απαίτηση, ενώ αντίθετα όταν ελαττώνεται το φορτίο περιορίζει την εισερχόμενη ποσότητα εντός του εξατμιστή.

#### ***4.4.6 Εκτονωτική Βαλβίδα Επίπλευσης Χαμηλής Πλευράς***

Η εκτονωτική βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής σκοπό έχει να διατηρεί μία σταθερή στάθμη ψυκτικού εντός του εξατμιστή όπου και είναι τοποθετημένη.

Αποτελείται από ένα μεταλλικό πλωτήρα (χάλκινο) ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το μοχλικό σύστημα κινήσεως της βελόνας η οποία κινείται αντίθετα προς τον πλωτήρα. Έτσι όσο λειτουργεί ο συμπιεστής και απορροφά τους ψυκτικούς ατμούς από το στοιχείο και η στάθμη του υγρού κατέρχεται, τόσο ο πλωτήρας κατέρχεται για να ανέλθει η βελόνα και να επιτρέψει την είσοδο νέας ποσότητας ψυκτικού διατηρώντας έτσι τη στάθμη του υγρού εντός του στοιχείου σταθερή. Η βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής χρησιμοποιήθηκε παλιότερα στα οικιακά ψυγεία, σήμερα δεν χρησιμοποιείται.

## **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

### Πλεονεκτήματα

1. Κατά την παύση λειτουργίας του συμπιεστή οι πιέσεις χαμηλής και υψηλής εξισώνονται, πράγμα που καθιστά την εκκίνηση του συμπιεστή περισσότερο εύκολη και φυσικά δεν τον υπερφορτίζει.
2. Η φόρτιση της ψυκτικής μονάδας με ψυκτικό δεν είναι κρίσιμη, υπάρχουν περιθώρια ως προς το ακριβές βάρος.

### Μειονεκτήματα

1. Η ψυκτική μονάδα πρέπει να είναι οριζοντιωμένη (αλφαδιασμένη) για να μπορεί να λειτουργεί η βαλβίδα.
2. Η αυξημένη παρουσία ψυκτελαίου στην επιφάνεια του ψυκτικού μέσα στον εξατμιστή δημιουργεί ανωμαλίες στη λειτουργία της βαλβίδας.

### **4.4.7 Εκτονωτική Βαλβίδα Επίπλευσης Υψηλής Πλευράς**

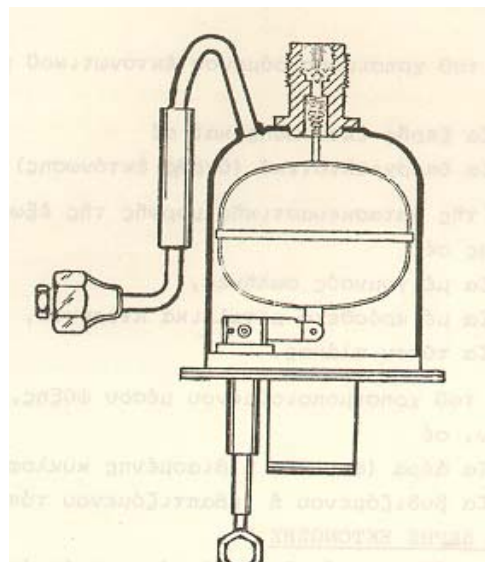
Η κατασκευή της βαλβίδας αυτού του τύπου είναι σχεδόν όμοια με την βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής πλευράς. Η διαφορά είναι στη θέση όπου είναι τοποθετημένη και στο αντίστροφο της κίνησης πλωτήρα και βελόνας βαλβίδας.

Κατά τη διακοπή λειτουργίας του συμπιεστή η στάθμη του υγρού κατέρχεται και η βαλβίδα κλείνει.

Η βαλβίδα αυτή χρησιμοποιήθηκε σε ψυκτικές εγκαταστάσεις χαμηλών θερμοκρασιών.

Η φόρτιση της μονάδας με ψυκτικό είναι κρίσιμη, διότι όταν πληρωθεί με μεγαλύτερη της επιτρεπόμενης ποσότητας υγρού, τότε θα

υπερχειλίσει το στοιχείο και με αυτό τον τρόπο θα μειωθεί η ψυκτική ικανότητα του εξατμιστή.



Εικόνα 4. Εκτονωτική βαλβίδα επίπλευσης υψηλής πλευράς

Τέλος τόσο η βαλβίδα με πλωτήρα στη χαμηλή, όσο και στη υψηλή χρησιμοποιούνται στις μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις αμμωνίας.

#### **4.5 Εξατμιστές ή Ψυκτικά Στοιχεία**

Ο εξατμιστής ή ψυκτικό στοιχείο είναι εκείνο το βασικό εξάρτημα κάθε ψυκτικής εγκατάστασης μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η εξάτμιση του ψυκτικού υγρού (ψυκτικό μέσο).

Λόγω των ποικίλων απαιτήσεων στις εφαρμογές της ψύξης και προς αντιμετώπιση τους οι εξατμιστές κατασκευάζονται και λειτουργούν κατά διάφορους τρόπους.

Έτσι τους εξατμιστές τους κατατάσσουμε στις εξής βασικές κατηγορίες:

1. Αναλόγως του χρησιμοποιούμενου εκτονωτικού μέσου (βαλβίδας) σε:
  - Στοιχεία ξηρής εκτόνωσης και σε
  - Στοιχεία υπερχειλιστικά (υγρής εκτόνωσης)
2. Αναλόγως της κατασκευαστικής μορφής της εσωτερικής τους επιφάνειας σε:
  - Στοιχεία με γυμνούς σωλήνες,
  - Στοιχεία με πρόσθετα μεταλλικά πτερύγια
  - Στοιχεία τύπου πλάκας
3. Αναλόγως του χρησιμοποιούμενου μέσου ψύξης, χώρου και προϊόντων, σε:
  - Στοιχεία αέρα (φυσικής ή βιασμένης κυκλοφορίας)
  - Στοιχεία βυθιζόμενου ή εμβαπτιζόμενου τύπου,

##### **4.5.1 Στοιχεία Ξηρής Εκτόνωσης**

Ονομάζουμε Εξατμιστές ξηρής εκτόνωσης εκείνους που λειτουργούν με τις παρακάτω εκτονωτικές βαλβίδες: θερμοεκτονωτική, αυτόματη εκτονωτική και τριχοειδή σωλήνα.

Τα στοιχεία ξηρής εκτόνωσης χρησιμοποιούνται ευρέως στην εμπορική ψύξη. Η επιτρεπόμενη πτώση πίεσης πρέπει να είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να μη μειώνεται η ταχύτητα του ψυκτικού κάτω του ορίου κατά το οποίο να συσσωρεύεται το ψυκτέλαιο

εντός του εξατμιστή και να μειώνει τη ψυκτική του ικανότητα λόγω ατελούς εξάτμισης του υγρού.

#### ***4.5.2 Στοιχεία Υπερχειλιστικά ή Υγρής Εκτόνωσης***

Υπερχειλιστικά ή υγρής εκτόνωσης στοιχεία καλούμε εκείνα τα οποία χρησιμοποιούν ως εκτονωτικά μέσα τις βαλβίδες επιπλεύσεως χαμηλής και υψηλής πλευράς. Τα στοιχεία υγρής εκτονώσεως είναι πάντοτε γεμάτα με ψυκτικό υγρό ανεξάρτητα από το εκάστοτε φορτίο του ψυκτικού θαλάμου η δε στάθμη του ελέγχεται από ένα πλωτήρα (όπως έχουμε αναφέρει προγενέστερα)

#### ***4.5.3 Στοιχεία Με Γυμνές Σωληνώσεις***

Τα στοιχεία με γυμνές σωληνώσεις είναι ένα μεταλλικό συγκρότημα αποτελούμενο από χάλκινους σωλήνες διαφόρων διαμέτρων εάν κυκλοφορεί εντός του Freon ή από χαλυβδοσωλήνες, εάν κυκλοφορεί αμμωνία, διότι όπως γνωρίζουμε η αμμωνία διαβρώνει το χαλκό.

#### ***4.5.4 Στοιχεία Με Πτερύγια***

Επειδή οι εξατμιστές ξηράς εκτόνωσης, οι οποίοι σήμερα κυριαρχούν στην εμπορική ψύξη, είχαν μικρή απόδοση με τους γυμνούς σωλήνες σκέφθηκαν να τους αυξήσουν την ενεργό επιφάνεια τους, βέβαια χωρίς να αυξήσουν το μήκος και την διάμετρο των σωληνώσεων, επειδή θα ήταν οικονομικά ασύμφοροι.

Έτσι τοποθετώντας επάνω στους γυμνούς σωλήνες του στοιχείου μεταλλικά πτερύγια, αυξάνεται η επιφάνεια με αποτέλεσμα η ψυκτική ικανότητα τους να βελτιώνεται αισθητά.

Οι εξατμιστές με πτερύγια μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για θερμοκρασία κάτω των 0° C λόγω των λειτουργούντων αυτομάτων συστημάτων αποψύξεως.

#### **4.5.5 Στοιχεία Τύπου Πλάκας**

Τα στοιχεία αυτού του τύπου παρουσιάζονται σε δύο μορφές:

- α) στα στοιχεία εύτηκτης πλάκας και
- β) στα στοιχεία πλάκας.

Τα στοιχεία εύτηκτης πλάκας αποτελούνται από τον κυρίως σωλήνα εντός του οποίου κυκλοφορεί το ψυκτικό υγρό και από τα μεταλλικά φύλλα τα οποία κατάλληλα διαμορφωμένα συγκολλούνται για να αποτελέσουν ένα στεγανό διαμέρισμα. Τα στοιχεία ευτήκτου πλάκας χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε ψυκτικές εγκαταστάσεις χαμηλών θερμοκρασιών και ειδικότερα σε αυτοκίνητα ψυγεία και αυτοκίνητα συντηρήσεως και μεταφοράς παγωτών.

Τα στοιχεία τύπου πλάκας αποτελούνται από δύο φύλλα αλουμινίου τα οποία έχουν κατάλληλα πρεσαριστεί και στη συνέχεια συγκολληθεί. Τα στοιχεία τύπου πλάκας έχουν χαμηλό κόστος και ευκολία στον καθαρισμό τους (εξωτερικά). Χρησιμοποιούνται στα οικιακά ψυγεία.

#### **4.5.6 Στοιχεία Φυσικής Κυκλοφορίας Αέρα**

Τα στοιχεία φυσικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις όπου δεν απαιτείται υψηλή ταχύτητα αέρα και υψηλή αφύγρανση των ψυχωμένων προϊόντων.

Τέτοιες ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι:

1. τα οικιακά ψυγεία
2. τα διάφορα ψυγεία-βιτρίνες όπου η θερμοκρασία είναι κάτω των 32°C και
3. οι μεγάλες αποθήκες συντηρήσεως και αποθηκεύσεως τροφίμων τα οποία δεν χρειάζονται μεγάλη αφύγρανση.

Η κυκλοφορία του αέρα στα στοιχεία επηρεάζεται άμεσα από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ στοιχείων και χώρου ψύξεως, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το ποσόν του κυκλοφορούντος αέρα πάνω από το στοιχεία. Όμως η κυκλοφορία του αέρα εξαρτάται και από το μέγεθος το σχήμα και τη θέση τοποθέτησης του στοιχείου.

#### **4.5.7 Στοιχεία Βεβιασμένης Κυκλοφορίας Αέρα**

Τα στοιχεία βεβιασμένης κυκλοφορίας του αέρα εργάζονται με εκτονωτικές βαλβίδες (όχι με πλωτήρες) και αποτελούνται από σειρές χάλκινων σωληνώσεων επί των οποίων είναι τοποθετημένα τα περύγια για την αύξηση της επιφάνειας μεταφοράς της θερμότητας.

#### **4.5.8 Στοιχεία Βυθιζόμενου ή Εμβαπτισμένου Τύπου**

Στους εξατμιστές εμβαπτισμένου τύπου το μέσο μεταφοράς της θερμότητας προς τον εξατμιστή είναι υγρό. Είτε νερό είτε άλμη. Τα στοιχεία αυτού του τύπου επειδή χρησιμοποιούν σα μέσο μεταφοράς της θερμότητας προς το στοιχείο υγρό, έχουν το πλεονέκτημα ότι η απόδοση τους είναι κατά 50 έως 100 φορές μεγαλύτερη της απόδοσης των στοιχείων με αέρα. Τα περισσότερα χρησιμοποιούμενα στοιχεία βυθιζόμενου τύπου είναι τα κάτωθι:

1. Σπειροειδείς εξατμιστές
2. Εξατμιστές σωλήνων εντός κελύφους (chillers)
3. Εξατμιστές τύπου δεξαμενής

##### **1. Σπειροειδή Στοιχεία**

Ο σπειροειδής εξατμιστής αποτελείται από ένα μεταλλικό κέλυφος μέσα στο οποίο υπάρχει ένα γυμνό σπειροειδές στοιχείο το οποίο συνήθως είναι ξηράς εκτόνωσης, όπου μέσα στο σπειροειδή εξατμιστή κυκλοφορεί το ψυκτικό και γύρω του το προς ψύξη υγρό.

Χρησιμοποιείται εκτεταμένα στους ψύκτες πόσιμου νερού και γενικά παγωμένων ποτών, όπου η θερμοκρασία τους κυμαίνεται γύρω στους 4° C.

##### **2. Εξατμιστές Σωλήνων Εντός Κελύφους (CHILLERS)**

Όπως και οι σπειροειδείς εξατμιστές έτσι και οι εξατμιστές αυτού του τύπου είναι ξηράς και υγράς εκτόνωσης με συνέπεια στην πρώτη περίπτωση το προς ψύξη νερό να περνά εκτός των σωλήνων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η εκτόνωση γίνεται γύρω στους σωλήνες και μέσα στο κέλυφος και η κυκλοφορία του νερού μέσα στους σωλήνες.

Το κέλυφος των εξατμιστών αυτού του τύπου είναι χαλύβδινο διαμέτρου από 8" έως 60" και έχει επαρκή θερμομόνωση.

Μέσα στο κέλυφος υπάρχουν παράλληλοι σωλήνες χάλκινοι (αν κυκλοφορεί μέσα τους Freon) ή χαλύβδινοι αν κυκλοφορεί αμμωνία.

Οι εξατμιστές ξερής εκτόνωσης χρησιμοποιούνται στις μικρές και μέσες ψυκτικές εγκαταστάσεις (2-280 ψυκτικοί τόνοι) ενώ οι εξατμιστές υγρής εκτονώσεως χρησιμοποιούνται στις μέσες και μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις.

### **3. Εξατμιστές Τύπου Δεξαμενής**

Ο εξατμιστής αυτού του τύπου αποτελείται από μια χαλύβδινη δεξαμενή μέσα στην οποία είναι τοποθετημένο ένα γυμνό σπειροειδές στοιχείο. Η δεξαμενή είναι πλήρης υγρού (άλμης ή νερού) το οποίο εισέρχεται από το άνω μέρος και εξέρχεται από το κάτω μέρος. Εντός του σπειροειδούς στοιχείου κυκλοφορεί το ψυκτικό, είτε Freon είτε αμμωνία και εκτονούνται.

Οι εξατμιστές αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται συνήθως στις παγολεκάνες των παγοποιείων.

## **4.6 Ψυκτικά Μέσα**

### **4.6.1 Γενικά**

Η καταλληλότητα μιας χημικής ουσίας για τη χρησιμοποίησή της ως ψυκτικού μέσου σχετίζεται με τα θερμοδυναμικά, φυσικοχημικά και εμπορικά χαρακτηριστικά της.

Ένα ψυκτικό μέσο για να χρησιμοποιηθεί σε μια ψυκτική εφαρμογή πρέπει να έχει τις παρακάτω βασικές ιδιότητες:

1. Χαμηλή θερμοκρασία βρασμού.
2. Υψηλή κρίσιμη θερμοκρασία σε σχέση με τη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας του.
3. Μικρό ειδικό όγκο ατμών.
4. Να έχει καλές θερμοδυναμικές και θερμοφυσικές ιδιότητες.
5. Να μη διαβρώνει τα μέταλλα.

6. Να έχει σταθερές φυσικοχημικές ιδιότητες κατά τη διάρκεια της χρήσης του.
7. Να μην είναι αναφλέξιμο ή εκρηκτικό.
8. Να μην είναι τοξική ουσία.
9. Να γίνεται εύκολα ανίχνευση των διαρροών του.
10. Να έχει χαμηλό κόστος και να είναι διαθέσιμο στην αγορά.

Στην πράξη δεν υπάρχει χημική ουσία που να συγκεντρώνει όλες τις παραπάνω ιδιότητες. Για την επιλογή του ψυκτικού μέσου λαμβάνονται υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε σχέση με τις ειδικές συνθήκες εφαρμογής

Τα ψυκτικά μέσα μπορούν να καταταγούν σε τρεις κατηγορίες

- Αλογονοπαράγωγα των υδρογονανθράκων CFCs
- Υδρογονάνθρακες
- Ανόργανες ουσίες

Τα ψυκτικά μέσα συμβολίζονται με το γράμμα R και ένα διψήφιο ή τριψήφιο αριθμό . Στον πίνακα 1 αναγράφονται τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα.

#### **4.6.2 Ψυκτικά μέσα και περιβάλλον**

Βασικό κριτήριο κατά την επιλογή του ψυκτικού ρευστού είναι να υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ του κρίσιμου σημείου και της θερμοκρασίας συμπύκνωσης. Επίσης, ένα άλλο κριτήριο είναι ο ειδικός όγκος του ρευστού στις συνθήκες λειτουργίας.

Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι: R-717(αμμωνία) R-12 (δίχλωρο-διφθορο-μεθάνιο),R-22 (μονοχλωρο-διφθορο-μεθάνιο).

**Αμμωνία.** Χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις. Είναι αέριο με δυσάρεστη και τοξική οσμή. Έχει την ιδιότητα να διαβρώνει τόσο το χαλκό όσο και διάφορα κράματα χαλκού και ψευδαργύρου. Για το λόγο αυτό στις ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται σιδηροσωλήνες ή χαλυβδοσωλήνες.

Η αμμωνία είναι φθηνή με πολύ καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες, υψηλή ογκομετρική ψυκτική απόδοση, υψηλή διαλυτότητα στο νερό και χρησιμοποιείται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους με παλινδρομιλούς συμπιεστές. Το μειονέκτημα της αμμωνίας είναι η τοξικότητά της.



Οι σπουδαιότεροι χλωροφθοράνθρακες είναι:

**R11** ( Τριχλωρομεθάνιο  $C Cl_3 F$  ) χρησιμοποιείται λόγω του μεγάλου μοριακού του βάρους σε μονοβάθμιους και πολυβάθμιους φυγοκεντρικούς συμπιεστές μεγάλης ισχύος και κυρίως στη βιομηχανία για την ψύξη ύδατος ή σε μεγάλες εγκαταστάσεις κλιματισμού, για κεντρικό κλιματισμό μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων, στη χημική βιομηχανία κ.α.

**R12** (διχλωρομεθάνιο  $CCl_2 F_2$  ) Είναι μια αδρανής και σταθερή χημική ένωση. Δεν διαβρώνει το χαλκό και τα διάφορα κράματα χαλκού και ψευδαργύρου. Είναι κατάλληλο για την λειτουργία αντλιών θερμότητας λόγω των χαμηλών πιέσεων συμπύκνωσης. Η θερμοκρασιακή περιοχή χρήσεως είναι από  $-40^{\circ}C$  έως  $+10^{\circ}C$ .

**R22** Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εγκαταστάσεις όπου απαιτούνται ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι παρόμοιο με το R-12 με τη διαφορά ότι το σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση είναι  $-41^{\circ}C$  ενώ στο R-12 είναι  $-29^{\circ}C$ . Για τη συμπίεση του χρησιμοποιούνται κυρίως εμβολοφόροι συμπιεστές ανοιχτού ή κλειστού τύπου. Η θερμοκρασιακή περιοχή χρήσεως είναι  $-80^{\circ}C$  έως  $+50^{\circ}C$ .

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) χαρακτηρίζονται από διαφορετική δυναμικότητα καταστροφής του όζοντος (διεθνώς ODR). Δίνοντας στο R-11 αυθαίρετα την τιμή  $ODR=1$  (Ozone Depleting Potential) υπολογίζεται η καταστροφή του όζοντος από τη χρήση ουσιών με ODR μεγαλύτερο του 0.

Τα ψυκτικά μέσα που πρέπει να χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι λιγότερο βλαβερά για το περιβάλλον από ότι οι CFCs. Θα πρέπει να έχουν μικρή τιμή ODR να είναι σταθερές και αδρανείς ουσίες, μη τοξικές, άφλεκτες και με μικρό δυναμικό για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Από τα υποκατάστατα το HCFC-22 και άλλα αντίστοιχα βρίσκονται ήδη σε χρήση. Τα HFC έχουν μηδενική τιμή ODR. Βέβαια εκτός του ODR σημαντικός περιοριστικός παράγοντας είναι και το δυναμικό συμμετοχής του υποκατάστατου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP. Global Warming Potential).

Οι ακόλουθες προτάσεις θεωρούνται σημαντικές για τη μείωση της χρήσης των CFCs.

- Αντικατάσταση των CFC-12 με HCF-134a για την οικιακή και εμπορική χρήση
- Ευρύτερη χρησιμοποίηση των HCFC-22 (προσωρινά) και αμμωνίας για βιομηχανική χρήση. Τα νέα υποκατάστατα που είναι μείγματα των R134a, R125, R152a, R32, R143a, R290, έχουν ήδη περάσει από το στάδιο της δοκιμαστικής

λειτουργίας στο στάδιο της εφαρμογής και έχουν πάρει τα εμπορικά τους ονόματα.  
(KLEA 60/61, FX 40/90, MP 39/66, κ.ά)

Οι Ευρωπαϊκές εταιρείες παραγωγής αυτών των προϊόντων εν' όψη της απαγόρευσης τους που έχει προγραμματιστεί, επενδύουν στην έρευνα άλλων εναλλακτών ψυκτικών μέσων.

Τα υποκατάστατα μαζί με το πρόγραμμα ανακύκλωσης και αντικατάστασης των επικίνδυνων CFCs αναμένεται ότι θα οδηγήσουν στην σταθεροποίηση του στρώματος του όζοντος έτσι ώστε να επανέλθει στα επίπεδα που ήταν το 1970.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα στοιχεία των ψυκτικών μέσων που έχουν άμεση σχέση με το περιβάλλον όπως διάρκεια ζωής, ODR, GWP. Επίσης αναφέρεται και με ποια ψυκτικά μέσα θα αντικατασταθούν τα πλέον επιβλαβή για το περιβάλλον.

ΨΥΚΤΙΚΟ ΜΕΣΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ (έτη)	ODR	GWP	ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΩ-ΜΕΝΟ ΜΕΣΟ
CFC 11	CCl <sub>3</sub> F	50-65	1	1	
CFC 12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120		2,1	
CFC 113	CCl <sub>2</sub> F-CClF <sub>2</sub>	90	0,8-0,9	1,3-1,4	
CFC 114	CClF <sub>2</sub> -CClF <sub>2</sub>	180-200	0,6-0,9	3,7-4,1	
CFC 115	CClF <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>	380-400	0,3-0,6	7,4-7,6	
HCFC 22	CHClF <sub>2</sub>	15,3	0,05	0,43	
HCFC 123	CHClF <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>	1,6	0.013-0,022	0.017-0,02	CFC11
HCFC 141b	CH <sub>3</sub> -CCl <sub>2</sub> F	7,8	0,07-0,11.	0,084-0,97	CFC11
HCF 125	CHF <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>	28,1	0	0,71	R502
HCF 134a	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	15,5	0	0,34	CFC12
HCF 143a	CH <sub>3</sub> -CF <sub>3</sub>	41	0	0,72-0,76	R502
HCF 152a	CHF <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	1,7	0	0.04	CFC12
ΠΡΟΠΑΝΙΟ	C <sub>3</sub> H <sub>18</sub>	1	0		CFC12
ΙΣΟΒΟΥΤΑΝΙΟ	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1	0		
R500	R12/R152a		0,74		
R502	R22/R115		0,33		
ΑΜΜΩΝΙΑ	NH <sub>3</sub>	1	0	0	
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ	CO <sub>2</sub>	120	0	0	

Πίνακας 1. Περιγραφή Ψυκτικών μέσων - Υποκατάστατα.

## 5. Παράγοντες που επηρεάζουν την Απόδοση

Είναι απαραίτητο να αντιληφθεί κανείς τους παράγοντες που άμεσα επηρεάζουν την απόδοση ενός συστήματος ψύξης όπως επίσης και το κόστος λειτουργίας τους. Ο

αποτελεσματικός έλεγχος των παραγόντων αυτών περιγράφεται σύντομα στο κεφάλαιο αυτό.

## 5.1 Συντελεστής Συμπεριφοράς

Συντελεστής Συμπεριφοράς είναι η πιο χρήσιμη παράμετρος για τον προσδιορισμό της απόδοσης, ορίζεται δε ως ο λόγος του ψυκτικού αποτελέσματος προς απαιτούμενη ισχύ από το συμπιεστή.

$$\text{COP} = \frac{\text{ΨΥΚΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ (kW)}}{\text{ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ (kW)}}$$

Υψηλός συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς στο ψυκτικό συγκρότημα σημαίνει περισσότερη ψύξη για δεδομένη ισχύ λειτουργίας, δηλ. το σύστημα είναι πιο αποδοτικό. Ο συντελεστής (COP) δεν εκφράζεται επί τις εκατό και σπάνια είναι μικρότερος από 1. Για τις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές ο συντελεστής κυμαίνεται στην περιοχή του 2 ( για συστήματα με θερμοκρασία εξάτμισης γύρω στους  $-40^{\circ}\text{C}$ ) και 5 ( για συστήματα με θερμοκρασία εξάτμισης γύρω στους  $0^{\circ}\text{C}$ ). Ο συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς μπορεί να μεταβάλλεται αισθητά αφού εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τις απαιτούμενες αλλαγές της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο ορισμός που δόθηκε πιο πάνω είναι από τους πιο διαδεδομένους για υπολογισμούς στην βιομηχανία. Οποσδήποτε όμως, δεν θεωρείται και η καλύτερη παράμετρος υπολογισμού για ένα ολοκληρωμένο ψυκτικό σύστημα. Η απαιτούμενη ενέργεια δεν είναι αυτή μόνο του συμπιεστή αλλά και του υπόλοιπου εξοπλισμού δηλ. των ανεμιστήρων και των αντλιών του εξαμιστή και του συμπυκνωτή. Έτσι, λοιπόν ορίζεται ο συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς του συστήματος:

$$\text{COP}_{\text{ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ}} = \frac{\text{ΨΥΚΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ (kW)}}{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (kW)}}$$

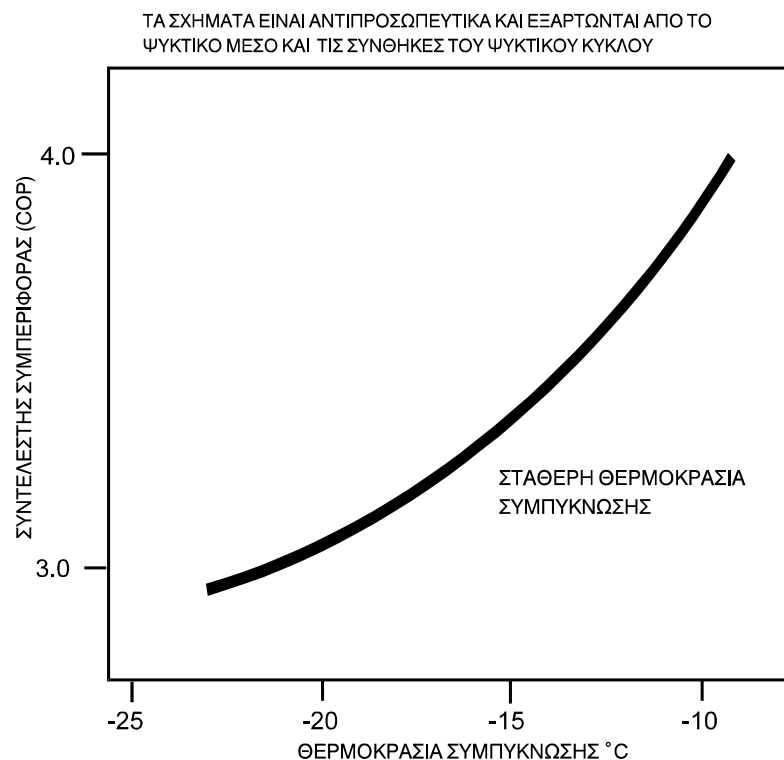
## 5.2 Πρωτογενείς Παράμετροι

### 5.2.1 Ψυκτικά φορτία

Τα ψυκτικά φορτία παίζουν ουσιαστικό ρόλο στα λειτουργικά έξοδα του ψυκτικού συστήματος. Εάν το ψυκτικό φορτίο είναι υψηλότερο από το απαιτούμενο, τότε χρειάζεται μεγαλύτερο ψυκτικό φορτίο και υψηλότερο λειτουργικό κόστος.

### 5.2.2 Θερμοκρασία Εξάτμισης

Το Διάγραμμα 5 απεικονίζει την επίδραση της θερμοκρασίας εξάτμισης σε σχέση με τον συντελεστή συμπεριφοράς. Υψηλή θερμοκρασία εξάτμισης σημαίνει υψηλό συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς (COP) και χαμηλό λειτουργικό κόστος. Πρακτικά μιλώντας για αύξηση θερμοκρασία εξάτμισης κατά 1°C σημαίνει μείωση τους κόστους λειτουργίας από 2 έως 4%. Υψηλότερες θερμοκρασίες εξάτμισης μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας καλά συστήματα ελέγχου και σημεία αναφοράς και κάνοντας καλή χρήση της διαθέσιμης επιφάνειας του εξατμιστή, αποφεύγοντας τις επικαθίσεις, την δημιουργία πάγου, την υπερβολική υπερθέρμανση, την κακή μεταφορά θερμότητας, κλπ.

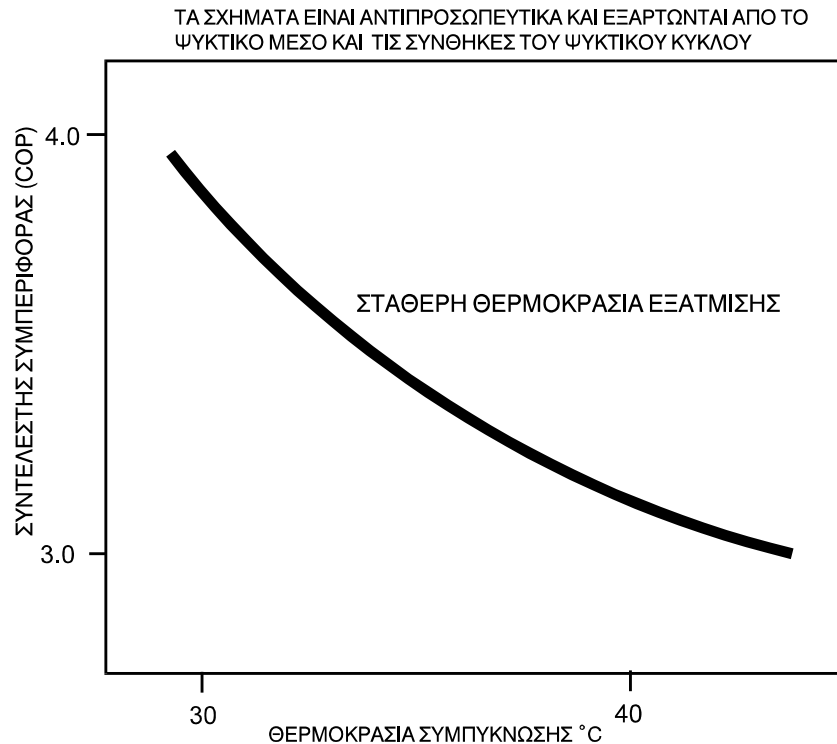


Διάγραμμα 5. Επίδραση της θερμοκρασίας εξάτμισης στην απόδοση του συστήματος

### 5.2.3 Θερμοκρασία Συμπύκνωσης

Το Διάγραμμα 6 απεικονίζει την επίδραση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης σε σχέση με τον συντελεστή συμπεριφοράς (COP). Πρακτικά μιλώντας, η μείωση της

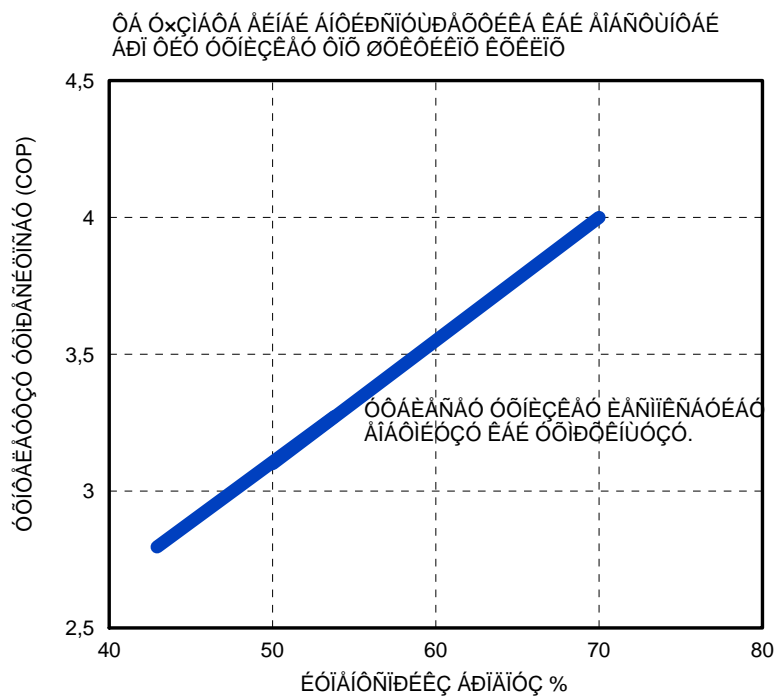
θερμοκρασίας συμπύκνωσης κατά  $1^{\circ}\text{C}$  σημαίνει μείωση του κόστους λειτουργίας από 2 έως 4%. Χαμηλότερες θερμοκρασίες συμπύκνωσης μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας καλά συστήματα ελέγχου και κάνοντας καλή χρήση της διαθέσιμης επιφάνειας του συμπυκνωτή, αποφεύγοντας τις επικαθίσεις, τις στομώσεις, την κακή μεταφορά θερμότητας, κλπ.



Διάγραμμα 6. Επίδραση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης στην απόδοση του συστήματος

#### 5.2.4 Απόδοση του συμπιεστή

Το Διάγραμμα 7 δείχνει την επίδραση της απόδοσης του συμπιεστή στον συντελεστή συμπεριφοράς (COP). Υψηλότερη απόδοση σημαίνει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Ισοεντροπική απόδοση είναι η μέγιστη τιμή της απόδοσης του συμπιεστή. Στους περισσότερους τύπους συμπιεστών, ιδιαίτερα στους κοχλιοτούς και στους φυγοκεντρικούς η απόδοση πέφτει όταν λειτουργούν υπό μερικό φορτίο. Κάτι άλλο που είναι εξίσου σημαντικό είναι η απόδοση του κινητήρα του συμπιεστή. Σε γενικές γραμμές, υψηλές αποδόσεις μπορούν να επιτευχθούν αποφεύγοντας την λειτουργία υπό μερικό φορτίο, χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συμπιεστές την συγκεκριμένη χρονική στιγμή και κάνοντας την καλύτερη δυνατή συντήρηση στο συμπιεστή.



Διάγραμμα 7. Επίδραση της απόδοσης του συμπιεστή στην απόδοση του συστήματος

### 5.2.5 Ισχύς Βοηθητικού Εξοπλισμού

Ο βοηθητικός εξοπλισμός ενός συστήματος ψύξης απαιτεί για την λειτουργία του περίπου το 25% της ισχύος του συνολικού φορτίου και μερικές φορές πολύ μεγαλύτερο όταν λειτουργεί σε μερικό φορτίο. Μειώνοντας την ισχύ του βοηθητικού εξοπλισμού μειώνεται σημαντικά η απόδοση του συστήματος.

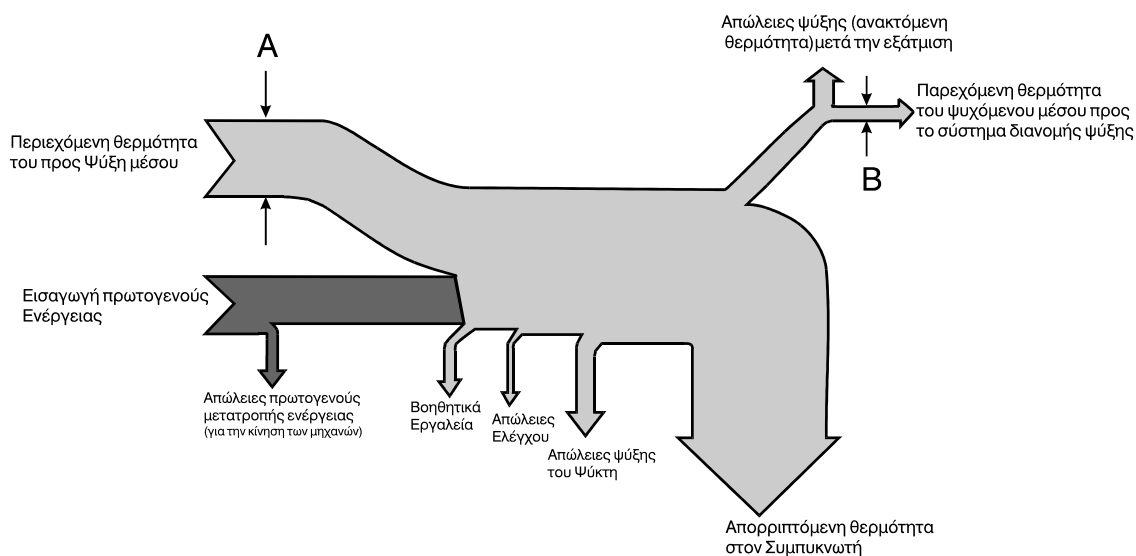
## 6. Ενεργειακή Πρόβλεψη - Ενεργειακή Καταγραφή

Η εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης και σωστής διαχείρισης ενέργειας αποτελούν πολύ σημαντικές μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται:

- Με έλεγχο, καταγραφή και παρακολούθηση όλων των ενεργειακών παραμέτρων και με ενεργειακό έλεγχο των απωλειών.
- Με σωστό προγραμματισμό της συντήρησης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή λειτουργία του ψυκτικού συστήματος και να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας,
- Με ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του προσωπικού σε θέματα ενέργειας.

### 6.1 Ενεργειακές απώλειες συστήματος ψύξης

Οι κυριότερες απώλειες ενέργειας απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα Sankey.

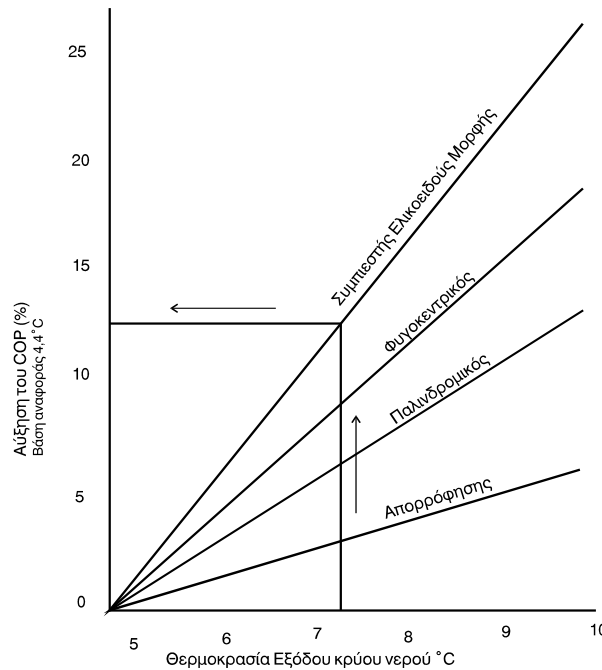


Διάγραμμα 8. Ενεργειακό Ισοζύγιο ψυκτικού συγκροτήματος. (Η διαφορά A-B αποτελεί το αποδιδόμενο έργο της ψυκτικής εγκατάστασης.)

**Απώλειες από την μετατροπή της πρωτογενούς ενέργειας:** Τα ψυκτικά συγκροτήματα που λειτουργούν με απορρόφηση, καίγοντας συμβατικά καύσιμα, χάνουν ενέργεια από τα καυσαέρια και την κακή απόδοση του καυστήρα. Τα ψυκτικά

συγκροτήματα με εξατμιστές σωλήνων σε κέλυφος (Chillers) που χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους ηλεκτροκίνητους συμπιεστές έχουν απώλειες ενέργειας λόγω της κακής απόδοσης του κινητήρα.

Η θερμοδυναμική απόδοση μιας πραγματικής ψυκτικής διαδικασίας θα εξαρτηθεί κατά μεγάλο μέρος από τις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης όπως δείχνονται στα Διαγράμματα 9, 10



Διάγραμμα 9 Σχέση αύξησης του COP με αύξηση της θερμοκρασίας του κρύου νερού

Η θεωρητική απόδοση του κύκλου ψύξης μειώνεται από την κακή απόδοση του συμπιεστή που οφείλεται στις απώλειες τριβής, τα νεκρά διαστήματα και τις διαρροές.

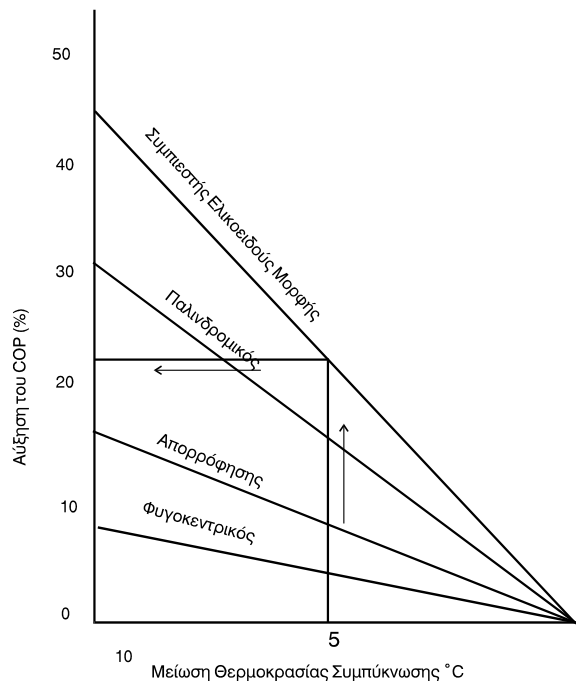
Λύσεις που σκοπεύουν στην μείωση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης και αύξηση της θερμοκρασίας εξάτμισης βελτιώνουν την απόδοση της διαδικασίας.

**Απώλειες ψύξης.** Όπως είναι ήδη γνωστό οι απώλειες ψύξης εκδηλώνονται μέσω ακτινοβολίας, αγωγής και μεταφοράς. Απώλειες μπορούν να εκδηλωθούν μόνο στους εξατμιστές σωλήνων σε κέλυφος (chillers) αλλά και μεταξύ του εξατμιστή και του σημείου του ψυχόμενου μέσου. Όταν η ψυκτική μονάδα έχει συγχρόνως το κρύο μέρος (π.χ. εξατμιστή) και το ζεστό μέρος (π.χ. συμπυκνωτή), αυτές οι απώλειες



μπορούν να συμβούν εξωτερικά και εσωτερικά μέσω των τοιχωμάτων ή από τη διαρροή του ψυκτικού μέσου από την υψηλή στην χαμηλή πίεση.

Έτσι αυτές οι απώλειες συμβαίνουν πάντα σε συστήματα που λειτουργούν περιοδικά παρά σε συστήματα που βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία.



Διάγραμμα 10. Σχέση της αύξησης του COP με μείωση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης

**Απώλειες βοηθητικού εξοπλισμού:** Αυτές περιλαμβάνουν την δαπανώμενη ενέργεια των οργάνων ελέγχου. Αντλιών, ανεμιστήρων, κλπ.

## 6.2 Ενεργειακή Καταγραφή (Energy Audit)

Για την απολεσματικότερη αντιμετώπιση των ψυκτικών απωλειών η μέθοδος της ενεργειακής καταγραφής βοηθά σημαντικά στον προσδιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας με τελικό στόχο τον έλεγχο του ενεργειακού κόστους. Με την ενεργειακή καταγραφή στο σύστημα ψύξης πρέπει να εξετάζονται τρεις βασικές περιοχές :

- Η κατάσταση του εξοπλισμού
- Ο βαθμός επιτυχίας του θερμοκρασιακού ελέγχου
- Οι ώρες λειτουργίας των συστημάτων και του εξοπλισμού της παραγωγής

Πριν από τον ενεργειακό έλεγχο, θα πρέπει να προηγηθεί αναλυτικός κατάλογος όλου του εξοπλισμού του ψυκτικού συγκροτήματος και των εγκαταστάσεων κλιματισμού καθώς και των χώρων που εξυπηρετούν και είναι εγκατεστημένοι. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε με αναφορά στα υπάρχοντα μηχανολογικά σχέδια των εγκαταστάσεων είτε με επιτόπια καταγραφή του εξοπλισμού εάν δεν υπάρχουν σχέδια. Για τις μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι απαραίτητο να εξετάζονται χωριστά οι περιοχές της εξάτμισης και της συμπύκνωσης.

Η καταγραφή είναι προτιμότερο να γίνεται κατά την διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης ( αιχμών), οι αιχμές διαφέρουν και είναι ανάλογες των παραγωγικών διαδικασιών και της εφαρμοζόμενης ψυκτικής άνεσης, αλλά και με συνεχείς μετρήσεις στη διάρκεια περιόδων μικρότερων φορτίων ώστε να καθιερωθούν συνθήκες λειτουργίας μερικού φορτίου.

Για εφαρμογές ψυκτικών παραγωγικών διαδικασιών θα ήταν απαραίτητο να ερχόμαστε σε επαφή με τον αντίστοιχο υπεύθυνο του ψυκτικού εξοπλισμού ή της παραγωγικής διαδικασίας ψύξης έτσι ώστε να προσδιοριστούν επ' ακριβώς οι απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας.

Τα κυριότερα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για να έχουμε μια πλήρη ενεργειακή καταγραφή του συστήματος ψύξης είναι :

### **1. Ψυχόμενη περιοχή και παραγωγική διαδικασία**

Καθορίζεται ο γεωμετρικός χώρος και η παραγωγική διαδικασία που το ψυκτικό συγκρότημα εξυπηρετεί.

### **2. Περιγραφή του συστήματος**

Σημειώνεται ο τύπος του συστήματος, π.χ. chiller με πύργο ψύξης, κλιματιστικό διαιρούμενου τύπου κλπ. Καταγράφεται εάν υπάρχει σύστημα αποθήκευσης νερού ή πάγου ( παγολεκάνη) ή σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Περιγράφονται τα συστήματα ελέγχου.

### **3. Περιγραφή εξοπλισμού**

Καταγράφεται η ηλικία και ο τύπος του εξοπλισμού ( π.χ. παλινδρομικός, φυγοκεντρικός), ο τύπος του καυσίμου/ ισχύ. Σημειώνονται επίσης οι τύποι του

εξοπλισμού της απορριπτόμενης θερμότητας (π.χ. πύργοι ψύξης, εξατμιστικός συμπυκνωτής κλπ.)

#### **4. Απαιτήσεις Ψύξης**

Προσδιορίζεται ο χρόνος, ημέρα/μήνας/έτος της απαιτούμενης ψύξης και συγκρίνεται με τις πραγματικές ώρες λειτουργίας ( επαληθεύεται από το βιβλίο αναφοράς εάν υπάρχει, Παράρτημα II). Σημειώνεται όπου υπάρχει αιτιολογία για υπερφόρτιση ή μερικό φορτίο.

#### **5. Λειτουργία και σειρά πολλαπλών Chillers**

Σημειώνεται αν οι ψύκτες κλιματισμού (Chillers) είναι συνδεδεμένοι σε σειρά ή παράλληλα με ποιό τρόπο και ο χρόνος που μεμονωμένα οι ψύκτες ξεκινούν και σταματούν. Σημειώνεται εάν υπάρχει χειροκίνητο ή αυτόματο σύστημα ελέγχου. Η καταγραφή θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρο τον βοηθητικό εξοπλισμό όπως *ελαιοδιαχωριστές, ενδιάμεσα δοχεία - παγίδες επιστροφών, εναλλάκτες θερμότητας, φίλτρα και αφυγραντές, δείκτες στάθμης, αντλίες ψυκτικού υγρού, ψύκτες γλυκόλης ή νερού, αντλίες πύργου ψύξης, παγολεκάνες κα.*

#### **6. Θερμοκρασίες Εξάτμισης και συμπύκνωσης**

Ελέγχονται τα σημεία αναφοράς (set points) και οι πραγματικές θερμοκρασίες όπου υπάρχουν ενσωματωμένοι μετρητές στο ψυκτικό εξοπλισμό. Ελέγχεται εάν το σύστημα ελέγχου έχει τη δυνατότητα ανακαθορισμού των σημείων αναφοράς σύμφωνα με την μεταβολή των φορτίων. Καθορίζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες και επιθυμητές θερμοκρασίες της ψυκτικής διαδικασίας και εξασφαλίζεται η διατήρησή τους.

#### **7. Συσκευή Απορριπτόμενης Θερμότητας**

Επαληθεύεται η γενική κατάσταση του πύργου ψύξης, ψάχνουμε για ακάθαρτους εναλλάκτες θερμότητας. Ελέγχουμε την ποιότητα του νερού και την ποσότητα των χημικών του συγκροτήματος, εάν η ποιότητα του νερού είναι προβληματική χρειάζεται η επιθεώρηση των αυλών του συμπυκνωτή και ο άμεσος καθαρισμός τους εάν απαιτείται. Επαληθεύεται εάν τα συστήματα προστασίας από τον πάγο λειτουργούν κανονικά όπως προβλέπεται. Σημειώνεται η θέση του αγωγού απορριπτόμενου αέρα και η θερμοκρασία του για να διαπιστωθεί εάν είναι κατάλληλος για κατάθλιψη μέσω του πύργου ή του συμπυκνωτή.

## **8. Στάθμη Ψυκτικού Μέσου**

Ελέγχεται η στάθμη του ψυκτικού μέσου μέσω του γυάλινου σκοπευτικού οργάνου. Εάν εντοπίζονται απώλειες τότε επιδιορθώνουμε τις διαρροές και αποφεύγουμε την συνεχή συμπλήρωση ψυκτικού υγρού.

## **9. Έλεγχος Απόδοσης**

Σημειώνεται η χρησιμοποιούμενη μέθοδος ελέγχου της απόδοσης για ολόκληρο τον εξοπλισμό ψύξης. Αυτό απαιτεί την αναφορά στα σχετικά εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού.

## **10. Χρήση Νερού Πόλης**

Εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης νερού πόλης για ψύξη. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να προηγείται του ενεργειακού ελέγχου. Οπου υπάρχει η δυνατότητα, εξετάζεται η θέση της κεντρικής παροχής σε σχέση με το απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο.

Η συγκέντρωση περισσότερων και πιο σύνθετων δεδομένων λειτουργίας που αποσκοπούν στη βελτίωση της απόδοσης του ψυκτικού κυκλώματος για την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους, είναι πέρα από τους σκοπούς του ενεργειακού μηχανικού. Σε αυτές τις περιπτώσεις συχνά απαιτείται η βοήθεια της κατασκευάστριας εταιρείας ή της εταιρείας υποστήριξης με εξειδικευμένο προσωπικό.

## **7. Προσδιορισμός Δυσλειτουργιών - Εξοικονόμηση Ενέργειας**

### **7.1 Προσέγγιση Ανεύρεσης δυσλειτουργιών και αποκατάσταση**

Αυτό το τμήμα του οδηγού ασχολείται με την καταγραφή των δυσλειτουργιών και την επιτυχανόμενη εξοικονόμηση. Η συγκροτημένη προσέγγιση πραγματοποιείται σε σταθερή βάση, τουλάχιστον μια φορά την εβδομάδα στις περισσότερες περιπτώσεις.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι αναγνώρισης των προβλημάτων και βελτίωσης της ενεργειακής κατανάλωσης που εμφανίζονται στην ψύξη. Αυτές είναι : Παρακολούθηση και Καθορισμός Στόχων (Π&Σ) (Monitoring and Targeting) και Εκτέλεση Δοκιμαστικής Εξέτασης (Ε.Δ.Ε.) (Performance Testing)

Με την Π&Σ η κατανάλωση ψυκτικής εγκατάστασης μετριέται σε σταθερή χρονική π.χ. εβδομαδιαία, βάση. Οι τιμές της κατανάλωσης συγκρίνονται με τις τιμές στοχοθέτησης, λαμβάνοντας υπόψη εξωγενείς παράγοντες όπως παραγωγικές δραστηριότητες, θερμοκρασίες περιβάλλοντος κ.λ.π.

Η Εκτέλεση Δοκιμαστικής Εξέτασης (Ε.Δ.Ε.) περιλαμβάνει μετρήσεις παραμέτρων κλειδιών του συστήματος ψύξης και σύγκριση αυτών των παραμέτρων (θερμοκρασίες και πιέσεις) με τις αναμενόμενες τιμές που βασίζονται στα στοιχεία του κατασκευαστή. Κατάλληλο λογισμικό βοηθάει στην ολοκλήρωση αυτής της μεθόδου.

Η Ε.Δ.Ε. υποδεικνύει τα προβλήματα της ψυκτικής εγκατάστασης ενώ η μέθοδος Π&Σ επίσης τονίζει τα προβλήματα ανάλογα με τις ψυκτικές απαιτήσεις.

### **7.2 Εκσυγχρονισμός της εγκατάστασης**

Όσον αφορά τον εκσυγχρονισμό των ψυκτικών εγκαταστάσεων με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας εφαρμόζονται τα εξής:

1. Εγκατάσταση καταγραφικών και μετρητικών συστημάτων καθώς και αυτοματισμών για την παρακολούθηση και καταγραφή των ενεργειακών μεγεθών και επίσης ελέγχου όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση της

ψυκτικής εγκατάστασης. Με τη χρήση των αυτοματισμών επιδιώκεται η αυτόματη προσαρμογή του κάθε θερμικού φορτίου με την επιμέρους ενέργεια που καταναλώνεται από τα ψυκτικά στοιχεία τους συμπιεστές και τους συμπυκνωτές.

Ο αποδοτικότερος τύπος ψυκτικών αυτοματισμών είναι εκείνος που ο έλεγχος και η ρύθμιση γίνεται απευθείας από κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα και με προκαθορισμένο πρόγραμμα λειτουργιών. Οι μετρήσεις των διαφόρων αισθητήρων μεταφέρονται στο κεντρικό σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, επεξεργάζονται και από εκεί τα σήματα ρύθμισης μεταδίδονται στα αντίστοιχα όργανα. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται η βέλτιστη διαχείριση και εκμετάλλευση ενέργειας.

2. Χρησιμοποίηση εναλλακτών θερμότητας ψυκτικού μέσου-νερού. Με αυτούς γίνεται εκμετάλλευση της υπερθέρμανσης του ψυκτικού μέσου, το οποίο είναι υπέρθερμο μετά τη φάση συμπίεσης και προθερμαίνει σημαντικές ποσότητες νερού αξιοποιώντας έτσι την απορριπτόμενη θερμική ενέργεια
3. Με τη σωστή επιλογή των μονώσεων επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Επιδιώκεται η εγκατάσταση καλύτερων και αποτελεσματικότερων υλικών μόνωσης τόσο στους ψυκτικούς θαλάμους όσο και στα δίκτυα σωληνώσεων. Έχει υπολογιστεί ότι με την ενίσχυση-βελτιστοποίηση της μόνωσης π.χ., ενός ψυκτικού θαλάμου καθώς και με τον περιορισμό των απωλειών από το ανοιγοκλείσιμο των θυρών επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό από 10% έως 20%. Τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν :

α) υψηλή θερμομονωτική ικανότητα, που καθορίζεται από το συντελεστή θερμοπερατότητας  $K$ ,

β) υψηλή αντοχή στην υδροαπορρόφηση και στην διάχυση ατμών,

γ) μεγάλη μηχανική αντοχή

δ) μεγάλη διάρκεια ζωής

Στον πίνακα 2 αναφέρονται διάφορες επεμβάσεις στην ψυκτική εγκατάσταση καθώς και τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας ανά επέμβαση (βελτίωση μόνωσης, εγκατάσταση και χρήση καταγραφικών και αυτοματισμών, έλεγχος διαρροών)

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
1. Βελτίωση των Συμπιεστών	10 -20 %
2. Ορθολογική Χρήση Συμπιεστή	15 - 20%
3. Προγραμματισμένη Συντήρηση	15 - 20%
4. Σωστή επιλογή μόνωσης	10 - 15%
5. Εγκατάσταση Αυτοματισμών	15 - 20%

Πίνακας 2 Επεμβάσεις για Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Ψυκτική Εγκατάσταση

### 7.3 Υπολογισμός του κόστους δυσλειτουργιών

Με τα Π&Σ συστήματα είναι εύκολο να εκτιμηθεί το κόστος για κάθε πρόβλημα. Είναι απλά η διάφορα μεταξύ του πραγματικού και αναμενόμενου κόστους για μια συγκεκριμένη περίοδο και εξαρτάται από την επίτευξη των αρχικών στόχων. Ο υπολογισμός του κόστους των δυσλειτουργιών με την μέθοδο της Ε.Δ.Ε. είναι λίγο δυσκολότερος.

Ακολουθείται λοιπόν η εξής μεθοδολογία :

- Υπολογίζεται ο αναμενόμενος συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς της εγκατάστασης.
- Μετρίεται ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς.
- Υπολογίζεται το επιπλέον κόστος χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Επιπλεον Κοςτος} = \left[ \frac{\text{COP Αναμενομενο}}{\text{COP Πραγματικο}} - 1 \right] \times \text{Αναμενομενο Κοςτος Ηλεκτρικης Ενεργειας}$$

Με τον υπολογισμό του κόστους δυσλειτουργίας θα οδηγηθούμε στον ανάλογο καταμερισμό του χρόνου και των μέσων για την αποκατάσταση του.

#### Μετρήσεις

Ο σωστός προσδιορισμός των δυσλειτουργιών βασίζεται στις ακριβείς μετρήσεις. Αυτό εφαρμόζεται στην Π&Σ και στην Ε.Δ.Ε. Είναι σημαντικό να ελέγχονται και να

εξακριβώνονται οι βαθμονομήσεις των οργάνων σε τακτά χρονικά διαστήματα και να διασταυρώνονται αν είναι δυνατόν όλες οι τιμές.

#### **7.4 Παρακολούθηση της λειτουργίας και μέτρηση απόδοσης**

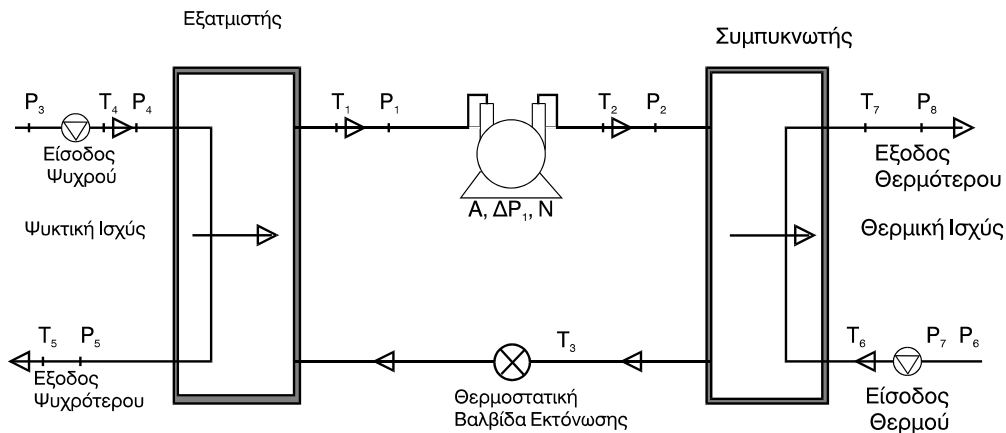
Τα φύλλα αναφοράς (Παράρτημα II) μπορούν μόνο να παρέχουν ένα πρόχειρο οδηγό για το πως λειτουργεί η εγκατάσταση.

Αυτό διότι, οι ιδανικές παράμετροι λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος διαφοροποιούνται με τον αέρα του εξατμιστή ή την εσωτερική θερμοκρασία του υγρού, το φορτίο του συστήματος και την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο μόνος τρόπος για να καθοριστεί ικανοποιητικά η λειτουργική απόδοση μιας ψυκτικής εγκατάστασης είναι να καταστρωθεί ένα πλήρες ισοζύγιο θερμότητας και μετά να συγκριθεί η πραγματική απόδοση της εγκατάστασης με την απόδοση σχεδιασμού. Αυτό στην πραγματικότητα δεν είναι τόσο δύσκολο όσο ακούγεται, όπως θα δείξει και το ακόλουθο παράδειγμα.



## 7.5 Έλεγχος απόδοσης - Ένα Παράδειγμα

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία απόδοσης που περιέχονται στα φύλλα αναφοράς στους παρακάτω πίνακες, η απόδοση του συστήματος (Εικ. 7) μπορεί να αναλυθεί τμηματικά.



### ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

$T_1$	Θερμοκρασία αναρρόφησης συμπιεστή	$T_4$	Θερμοκρασία εξόδου αντλίας
$P_1$	Πίεση αναρρόφησης συμπιεστή	$P_6$	Πίεση εξόδου αντλίας
$T_2$	Θερμοκρασία κατάθλιψης συμπιεστή	$T_5$	Θερμοκρασία εξόδου εξατμιστή
$P_2$	Πίεση κατάθλιψης συμπιεστή	$T_6$	Θερμοκρασία νερού εισόδου στον συμπυκνωτή
$A$	Ένταση ηλ. ρεύματος κινητήρα συμπιεστή	$P_5$	Πίεση εισόδου αντλίας
$\Delta P_1$	Διαφορά πίεσης λαδίου συμπιεστή	$P_7$	Πίεση εξόδου αντλίας
$N$	Κατάσταση φορτίου συμπιεστή	$T_7$	Θερμοκρασία νερού εξόδου στον συμπυκνωτή
$T_3$	Θερμοκρασία υγρού	$P_8$	Πίεση εξόδου συμπυκνωτή
$P_3$	Πίεση εισόδου αντλίας		

## Ο εξατμιστής

Η πτώση πίεσης του νερού είναι κοντά στις αναμενόμενες τιμές, έτσι μπορούμε να υποθέσουμε ότι η παροχή του νερού είναι κοντά στη παροχή σχεδιασμού. Η ισχύς του εξατμιστή μπορεί τώρα να υπολογιστεί:

$$\begin{aligned} \text{Ισχύς} &= \text{παροχή νερού} \times \text{θερμοχωρητικότητα} \times (T_4 - T_5) \\ &= 25 \text{ kg/s} \times 4.18 \text{ kJ/kg} \\ &= 261 \text{ kW} \end{aligned}$$

Η αποδοτικότητα της μεταφοράς θερμότητας του εξατμιστή δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{aligned} \text{Αποδοτικότητα} &= (T_4 - T_5) / (T_4 - T_{P1}) \\ &= (7.4 - 4.9) / (7.4 - 2.9) \\ &= 0.56 \end{aligned}$$

ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΣ							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΕΞΑΤΜΙΖΟΜΕΝΟ ΥΓΡΟ ΚΕΚΟΡΕΣΜΕΝΟ $T_{P1}$	ΝΕΡΟ ΕΙΣΟΔΟΥ		ΝΕΡΟ ΕΞΟΔΟΥ		ΠΙΕΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
			ΠΙΕΣΗ $P_4$	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ $T_4$	ΠΙΕΣΗ $P_5$	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ $T_5$	ΑΝΤΛΙΑΣ P3
προτεινόμενες τιμές		1° έως 5°	2,5 bar	7° έως 10°	2 bar	5°	0,6 bar
28/6/96	10:30	2,9	2,5	7,4	1,95	4,9	0,6

Η αποδοτικότητα μπορεί να συγκριθεί τώρα με την υπολογισθείσα κατά τον σχεδιασμό του συστήματος ή από τα στοιχεία λειτουργίας του. Αν η αποδοτικότητα από τα στοιχεία που μετρήθηκαν είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή των στοιχείων σχεδιασμού τότε θα πρέπει να ερευνηθεί η αιτία.

### Ο συμπιεστής

Οι κατασκευαστές συμπιεστών παρέχουν στοιχεία απόδοσης για τους συμπιεστές τους είτε με μορφή πίνακα είτε με καμπύλες στη μορφή που δείχνεται στο Διάγραμμα 3. Χρησιμοποιώντας το Διάγραμμα 3 με τις μετρημένες θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης ( $T_{P1}$  και  $T_{P2}$ ) έχουμε ψυκτική απόδοση 245 kW με καταναλισκόμενη ισχύ κινητήρα 45 kW υπό πλήρες φορτίο, αφού διορθωθεί για τη πραγματική υπερθέρμανση και υπόψυξη.

Στο παράδειγμα μας, η ψυκτική απόδοση από τις καμπύλες συμφωνεί σχεδόν απόλυτα με αυτή που υπολογίστηκε από τη παροχή του νερού. Γενικά, έχουμε υπόψη μας ότι συμφωνία ως και 15% θεωρείται ικανοποιητική.

### ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΟ ΥΓΡΟ		ΝΕΡΟ ΕΙΣΟΔΟΥ		ΝΕΡΟ ΕΞΟΔΟΥ		ΠΙΕΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ
		ΚΕΚΟΡΕΣΜΕΝΟ T <sub>P2</sub>	Θ ΓΡΑΜΜΗΣ T <sub>3</sub>	ΠΙΕΣΗ P <sub>7</sub>	ΘΕΡ/ΣΙΑ T <sub>6</sub>	ΠΙΕΣΗ P <sub>8</sub>	ΘΕΡ/ΣΙΑ T <sub>7</sub>	ΑΝΤΛΙΑΣ P <sub>6</sub>
προτεινόμενες τιμές		TP2-2 <sup>0</sup> έως TP2-5 <sup>0</sup>		2,8 bar		2-3 bar		0,8 bar
26/8/96	10:30	30,0	28,0	2,75	25	2,3	27,4	0,8

Η πραγματική ψυκτική απόδοση που λαμβάνεται από το συμπιεστή μπορεί να υπολογιστεί από την απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύ. Παίρνοντας υπόψη τη συνηθισμένη τριφασική παροχή χαμηλής τάσης:

$$\text{Ισχύς} = 1.73 \times 0.415 \times \text{amps} \times \text{συντελεστής ισχύος} \times \text{απόδοση}$$

Στο παράδειγμα μας

$$\text{Ισχύς} = 1.73 \times 0.415 \times 92.5 \times 0.87 \times 0.83$$

$$= 48 \text{ kW}$$

Ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα δίνεται από τον κατασκευαστή ή υπολογίζεται από τα στοιχεία στο πλαίσιο του κινητήρα. Η απόδοση είναι η συνδυασμένη μηχανική απόδοση του κινητήρα και του συστήματος μετάδοσης κίνησης ανάμεσα στον κινητήρα και τον συμπιεστή. Εάν υπάρχει άμεση μετάδοση κίνησης, αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως 100% και 95% για V ιμάντες κίνησης.

### Ο συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής μπορεί να αναλυθεί κατά παρόμοιο τρόπο με τον εξατμιστή. Σ' αυτή τη περίπτωση η αποδοτικότητα δίνεται:

$$\text{Αποδοτικότητα} = (T_7 - T_6) / (T_{P2} - T_6)$$

$$=(27.4-25.0)/(30.0-25.0)$$

$$=0.48$$

ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ										
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Σ	ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑ ΤΟΣ AMPS	ΘΕΡ/ΣΙΑ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ		ΚΑΤΑΘΛΙΨΗ ΚΕΚΟΡΕΣΜΕ ΝΗ TP2	ΘΕ/ΣΙΑ ΠΡΑΓΜ ΑΤΙΚΗ T1	ΘΕΡ/ΣΙΑ ΥΓΡΟΥ T3	ΦΟΡΤΙΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ %	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΛΑΔΙΟΥ
				ΚΕΚΟΡΕ ΣΜΕΝΗ TP1	ΠΡΑΓΜ ΑΤΙΚΗ T1					
Προτεινόμενες τιμές				1°εως5°	TP1+3° - TP1+7°	T6+5° - T6+15°	-	TP2-2° - TP2-5°		>3bar
26/8/96	10:30	2472	92,5	3,0	6,1	30,0	57,2	28,0	100	4,2

Για τους αερόψυκτους συμπυκνωτές και τους συμπυκνωτές εξατμιζόμενου τύπου είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται τα δημοσιευμένα από τους κατασκευαστές στοιχεία απόδοσης. Αυτό δίνει την από σχεδιασμού απορριπτόμενη θερμότητα για τη μετρούμενη θερμοκρασία συμπύκνωσης και την εσωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα (ξηρού βολβού για αερόψυκτους συμπυκνωτές και υγρού βολβού για συμπυκνωτές εξατμιζόμενου τύπου). Για αερόψυκτους συμπιεστές αυτά τα στοιχεία συχνά εκφράζονται σαν τιμές kW απορριπτόμενης θερμότητας ανά °C διαφοράς ανάμεσα στη θερμοκρασία συμπύκνωσης και στη θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα.

Όταν τα συστήματα των αερόψυκτων συμπυκνωτών και των συμπυκνωτών εξατμιζόμενου τύπου έχουν σύστημα ελέγχου «υδροστατικής πίεσης» είναι συνήθως αδύνατο να προσδιοριστεί ποσοτικά η απόδοση του συμπυκνωτή εάν το σύστημα είναι σε λειτουργία.

## **Αυτόματος έλεγχος**

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για έλεγχο με μικροηλεκτρονικά και για συστήματα λογισμικού. Η πιο ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή είναι η ενσωμάτωση του ψυκτικού συστήματος στο κεντρικό σύστημα ελέγχου. Ενώ αυτός είναι ο πιο βολικός τρόπος έκθεσης και καταγραφής από μακριά των παραμέτρων της εγκατάστασης, έχει δύο βασικά μειονεκτήματα. Πρώτον, ο έλεγχος γίνεται από μηχανικούς και χειριστές της εγκατάστασης που δεν είναι εξειδικευμένοι στη ψύξη, οι οποίοι δεν θα αντιληφθούν τη σπουδαιότητα των φαινομενικά μικρών αποκλίσεων από το σωστό σημείο λειτουργίας. Δεύτερον, ο τρόπος αυτός σημαίνει λιγότερες επισκέψεις στην εγκατάσταση, πράγμα που σημαίνει ότι προειδοποιητικές ενδείξεις όπως διαρροές ελαίου και ασυνήθιστοι θόρυβοι δεν εντοπίζονται σύντομα με τα ανάλογα σε κάθε περίπτωση αποτελέσματα.

Ο κεντρικός όμως έλεγχος σιγά-σιγά αντικαθίσταται από συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε ειδικά σχεδιασμένους μικροεπεξεργαστές. Αυτά τα συστήματα δίνουν τη δυνατότητα τόσο για επιτόπιο όσο και από απόσταση έλεγχο των πιέσεων και θερμοκρασιών της εγκατάστασης (χρησιμοποιώντας modems και τηλεφωνικές γραμμές, όπου είναι απαραίτητο), επίσης μπορούν κατά ένα μέρος ή εξ' ολοκλήρου να αντικαταστήσουν τους παραδοσιακούς ηλεκτρομηχανικούς ελέγχους και τα ασφαλιστικά συστήματα διακοπής λειτουργίας της διαδικασίας.

## **Ανάλυση απόδοσης μικροϋπολογιστών**

Οι υπολογισμοί που αναφέρθηκαν πιο πάνω για καθορισμό της απόδοσης ενός ψυκτικού συστήματος μπορούν να καταγραφούν σε ένα αρκετά απλό πρόγραμμα υπολογιστή. Η πλήρης ανάλυση απαιτεί τις καμπύλες του συμπιεστή να ενσωματωθούν στο πρόγραμμα, αλλά ακόμη και με αυτό το πρόγραμμα της πλήρους ανάλυσης μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα μικροϋπολογιστή μεγέθους τσέπης. Αυτό διευκολύνει στο να γίνει μια ολοκληρωμένη ανάλυση στο χώρο της εγκατάστασης σε μερικά λεπτά.

Παρόμοια προγράμματα ανάλυσης μπορούν να ενσωματωθούν μέσα σε λογισμικά συστήματα ελέγχου και στοιχείων που περιγράφονται πιο πάνω. Αυτό διευκολύνει στο να γίνεται η ανάλυση αυτόματα και όσο συχνά είναι επιθυμητό.

## Εύρεση και διάγνωση βλαβών

Ο έλεγχος και η ανάλυση που περιγράφηκαν στα προηγούμενα τμήματα συχνά δίνουν μια πολύ καλή ένδειξη για το που υπάρχουν προβλήματα στα ψυκτικά συστήματα. Δυστυχώς μερικές βλάβες των ψυκτικών συστημάτων δίνουν ένα αριθμό συμπτωμάτων και μερικές βλάβες δίνουν τα ίδια ακριβώς συμπτώματα.

Ο Πίνακας 3. δίνει ένα κατάλογο από τις πιο συνηθισμένες βλάβες που γίνονται στα βιομηχανικά συστήματα ψύξης. Ο πίνακας επίσης δίνει κατάλογο των συμπτωμάτων αν και πρέπει πάντα να θυμόμαστε ότι η βλάβη ίσως να μη παρουσιάσει όλα τα συμπτώματα που αναφέρονται στον κατάλογο. Πολύ συχνά συμβαίνει το σύμπτωμα να αναπτύσσεται σε τέτοιο βαθμό που να ενεργοποιηθούν τα ασφαλιστικά διακοπής λειτουργίας ασφαλείας του συστήματος πριν ακόμη να ανακαλυφθεί η βλάβη. Συστήματα που έχουν παρουσιάσει πρόβλημα δεν πρέπει να μπαίνουν σε λειτουργία πάλι χωρίς να παρακολουθούνται μέχρι που να προσδιοριστεί και να αποκατασταθεί η αιτία που προκάλεσε το πρόβλημα.

Επίσης φαίνεται στον Πίνακα 3 το αυξημένο κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης έχοντας εντοπίσει τη βλάβη. Πολλές φορές οι βλάβες ξεκινούν με μικρή ή καθόλου αύξηση στο κόστος λειτουργίας τους και σιγά και σταθερά η κατάσταση χειροτερεύει. Οι τιμές που αναφέρονται στην απώλεια ισχύος και τη μείωση του Συντελεστή Συμπεριφοράς είναι ενδεικτικές εκείνων που καταγράφηκαν σε πραγματικές εγκαταστάσεις, οι πραγματικές τιμές θα μπορούσαν να είναι καλύτερες ή χειρότερες από αυτές, και το σύστημα θα έπρεπε να διακοπεί μπαίνοντας σε λειτουργία ασφαλιστικά.

Με τον ίδιο τρόπο που αριθμητικοί υπολογισμοί μπορούν να γίνουν σε ένα μικροϋπολογιστή, οι διαδικασίες της διάγνωσης της βλάβης μπορούν επίσης να αυτοματοποιηθούν. Οι χειριστές της εγκατάστασης μπορούν να πληροφορηθούν για τη πτώση στην απόδοση και παρόμοια θέματα την ώρα που αναπτύσσονται, έτσι ώστε να παρθούν μέτρα αποκατάστασης πολύ πριν συνειδητοποιήσουν οι χρήστες της «ψύξης» ότι υπάρχει πρόβλημα.

Πίνακας 3. Κατάλογος βλαβών σε βιομηχανικά συστήματα ψύξης

ΚΥΡΙΟ ΣΥΜΠΤΩΜΑ	ΆΛΛΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΛΥΣΗ	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
Χαμηλή ψυκτική απόδοση σε σύγκριση με την καμπύλη του συμπιεστή	Φυσαλίδες στο ψυκτικό υγρό ή μηδενική υπόψυξη από τον συμπυκνωτή	Υποεκτιμημένο σύστημα με βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής πλευράς ή με θερμοεκτονωτική βαλβίδα.	Συμπλήρωση ψυκτικού υγρού στην απαιτούμενη ποσότητα	Μέχρι 25%
	Στο υπερχειλιστικό σύστημα υψηλής πίεσης.	Ανοικτή εκτονωτική βαλβίδα επίπλευσης υψηλής πλευράς, ανοικτή βοηθητική διάδος, διέλευση αερίου.	Προσδιορίζεται κατ'αρχήν γιατί άνοιξε η βαλβίδα βοηθητικής διάδου. Διορθώνεται το πρόβλημα. Κλείνεται αμέσως η βαλβίδα βοηθητικής διάδου.	Μέχρι και 30%
	Υψηλή θερμοκρασία κατάθλιψης του συμπιεστή και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας από τον συμπιεστή.	Κατεστραμμένη ή μπλοκαρισμένη η βαλβίδα αναρρόφησης του παλινδρομικού συμπιεστή.	Επιδιορθώνεται η βαλβίδα και προσδιορίζεται η αιτία μπλοκαρίσματος.	Ανάλογη των κυλίνδρων που έχουν υποστεί τη βλάβη.
	Υψηλή θερμοκρασία κατάθλιψης του συμπιεστή.	Κατεστραμμένη ή μπλοκαρισμένη η βαλβίδα κατάθλιψης του συμπιεστή.	Επιδιορθώνεται η βαλβίδα και προσδιορίζεται η αιτία μπλοκαρίσματος.	Ανάλογη των κυλίνδρων που έχουν υποστεί τη βλάβη.
Χαμηλή αποδοτικότητα του εξατμιστή.	Χαμηλή πίεση εξατμίσσης, υψηλή πτώση πίεσης νερού /αέρα.	Επικαθίσεις στον εξατμιστή από την πλευρά του νερού /αέρα.	Καθαρίζεται ο εξατμιστής και προσδιορίζεται η αιτία. Επεμβαίνουμε στην δημιουργία των επικαθίσεων.	Έως 15% στο COP και έως 25% στην ψυκτική ισχύ.
	Χαμηλή πίεση εξατμίσσης, υψηλή υπερθέρμανση.	Φραγμένος αποστραγγιστής αναρρόφησης.	Καθαρίζεται ο αποστραγγιστής αναρρόφησης. Προσδιορίζεται και επιδιορθώνεται η αιτία μπλοκαρίσματος.	Έως 25% αύξηση του COP.
	Απώλεια ψυκτελαίου από το στροφαλοθάλαμο του συμπιεστή.	Συσώρευση ψυκτελαίου σε υπερχειλιστικά στοιχεία	Απομακρύνεται το επιπλέον ψυκτέλαιο. Γίνεται αντικατάσταση αποτελεσματικότερου απαστραγγιστή ψυκτελαίου ή από άλλο σύστημα.	Έως και 25% αύξηση του COP.

	Για όλα τα συστήματα: Πιθανή υψηλή υπόψυξη της γραμμής υγρού, υψηλή υπερθέρμανση αναρρόφησης.	Φράξιμο στην γραμμή υγρού.	Εντοπίζεται και καθαρίζεται η περιοχή. Προσδιορίζεται η αιτία και επιδιορθώνεται.	Έως και 20% αύξηση της απόδοσης και του COP.
Χαμηλή αποδοτικότητα του συμπυκνωτή.	Υψηλή θερμοκρασία συμπύκνωσης, υψηλή υπόψυξη υγρού.	Υπερεκτιμημένο σύστημα με βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής πλευράς ή με θερμοεκτονωτική βαλβίδα.	Απομακρύνεται η επιπλέον ποσότητα.	Αύξηση έως 10% της απόδοσης και του COP.
	Υψηλή συμπύκνωση, υψηλή υπόψυξη του υγρού.	Αέρας ή μη συμπυκνούμενα αέρια στο σύστημα.	Απαλλαγή από τα μη συμπυκνωμένα αέρια από το συμπυκνωτή.	Αύξηση έως 10% στο COP.
	Υψηλή πτώση πίεσης του νερού /αέρα.	Επικαθίσεις νερού /αέρα στο συμπυκνωτή.	Καθαρισμός του συμπυκνωτή. Προσδιορίζεται και διορθώνεται η δημιουργία επικαθίσεων.	Αύξηση 25% στο COP και 10% στην απόδοση.
Χαμηλή υπερθέρμανση αναρρόφησης.	Εκτονωτική βαλβίδα επίπλευσης χαμηλής πλευράς και θερμοεκτονωτική βαλβίδα. Πιθανή χαμηλή θερμοκρασία κατάθλιψης του συμπιεστή.	Λανθασμένος έλεγχος του εκτονωτικού συστήματος.	Προσδιορίζεται και επιδιορθώνεται η βλάβη.	Αύξηση 10% στη απόδοση.
Υψηλή υπερθέρμανση αναρρόφησης.	Εκτονωτική βαλβίδα επίπλευσης υψηλής πλευράς: Πιθανή χαμηλή στάθμη υγρού στον εξατμιστή.	Το σύστημα έχει ανεπαρκή ποσότητα υγρού.	Προστίθεται ψυκτικό υγρό.	Αύξηση 10% στην απόδοση.
Χαμηλή διαφορά πίεσης ψυκτελαίου.	Σχηματισμός αφρών στο ψυκτέλαιο στον στροφαλοθάλαμο και ιδιαίτερα στο ξεκίνημα.	Το ψυκτικό μέσο διαλύθηκε στο ψυκτέλαιο του στροφαλοθαλάμου σε αλογονάνθρακες, αυτό οφείλεται σε βλάβη του θερμαντή του στροφαλοθαλάμου.	Ελέγχεται η λειτουργία του θερμαντή του στροφαλοθαλάμου - θερμοκρασία ψυκτελαίου θα πρέπει να είναι 50-60°C. Εάν ο θερμαντής είναι εντάξει ελέγχεται το σύστημα εκτόνωσης.	Αύξηση 10% στην απόδοση.



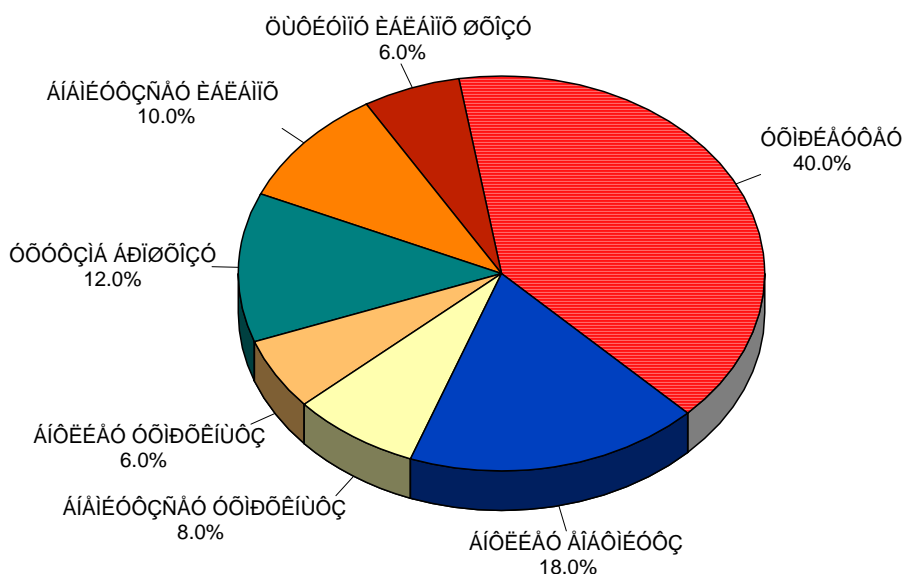
## 8. Υπολογισμός Του Ετήσιου Κόστους

### 8.1 Εξοπλισμός Ψυκτικού Συγκροτήματος

Ο καλύτερος τρόπος υπολογισμού του ετήσιου κόστους ψυκτικού συγκροτήματος είναι η χρήση μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να καλυφθούν οι σχετικές περιοχές που καταναλώνουν ενέργεια στην οποία πρέπει να περιλαμβάνονται:

- Κεντρική εγκατάσταση ( π.χ. συμπιεστές)
- Κύριος βοηθητικός εξοπλισμός (π.χ. ανεμιστήρες και αντλίες συμπυκνωτή, ανεμιστήρες και αντλίες εξατμιστή, ανεμιστήρες και αντλίες για την διανομή του δευτερεύοντος αέρα ψύξης).
- «Δευτερεύοντα» βοηθήματα δηλ. άλλος εξοπλισμός που δεν συνδέεται άμεσα με το ψυκτικό συγκρότημα αλλά επηρεάζουν την απόδοση του ( π.χ. φωτισμός ψυχόμενου αποθηκευτικού χώρου, εξοπλισμός απόψυξης των ψυχωμένων θαλάμων κλπ.)

### ΕΑΪΟΪΪΣ ΕΪΟΪΟΪΟΪΟ ΞΕΑΪΕΪΝΕΪΕΣΪ ΑΪΑΪΝΑΪΕΑΪΟ ΑΪΕΑΪΟΪΣ



Διάγραμμα 11. Κατανομή κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη.

Εάν δεν υπάρχουν κατάλληλοι μετρητές για τη μέτρηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούμε να εκτιμήσουμε την ισχύ για κάθε τμήμα του εξοπλισμού:

Αυτό γίνεται με διαφόρους τρόπους:

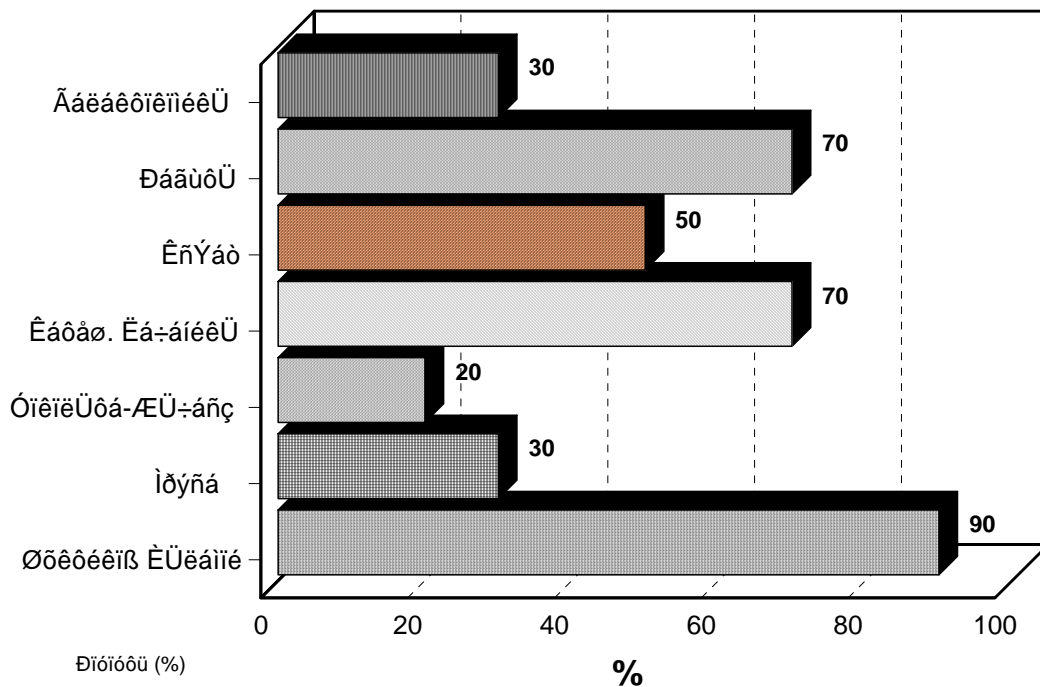
- Μετρώντας την ένταση του ρεύματος προσδιορίζουμε την ισχύ, κάνοντας χρήση του τύπου:

$$\text{Power} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \frac{\cos\phi}{1000} \text{ (kW)}$$

Όπου:            V     = Τάση  
                      I     = Ένταση  
                      cosφ = Συντελεστής Ισχύος (Τυπικά 0.9 έως 0.98)

- Θα πρέπει να γίνεται κάποια εκτίμηση της χρησιμοποιούμενης μεταβολής ισχύος κατά διάφορα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, η ισχύς του συμπιεστή μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης και εξάτμισης, η ισχύς της αντλίας μεταβάλλεται με τη πίεση κλπ. Επίσης, τα κατασκευαστικά στοιχεία είναι πολλές φορές απαραίτητα.
- Για κάθε τμήμα του εξοπλισμού, προσδιορίζεται ο χρόνος και οι συνθήκες λειτουργίας και σε συνδυασμό με τις τιμές της χρησιμοποιούμενης ισχύος βοηθά στον υπολογισμό της συνολικής χρήσης. Καλό είναι να γίνονται υπολογισμοί σε μηνιαία και ετήσια βάση.
- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες πληροφορίες θεωρείται πολλές φορές απαραίτητη. Έτσι, για παράδειγμα η σύγκριση του κατώτερου ψυκτικού φορτίου με τους λογαριασμούς ηλεκτρικής κατανάλωσης μπορεί να επαληθεύσει ότι η υπολογιζόμενη ενέργεια που ισοδυναμεί στη ψύξη είναι η αναμενόμενη (Διάγραμμα 12). Παρατηρώντας το κατώτερο ψυκτικό φορτίο και συγκρίνοντας το με το κατώτερο ψυκτικό φορτίο της εγκατάστασης.
- Οι παραπάνω τρόποι προσέγγισης και προσδιορισμού της ενέργειας και του κόστους είναι πρακτικές μέθοδοι, ωστόσο βοηθούν σε συμπεράσματα που λίγο απέχουν από την πραγματικότητα. Οι εκτιμώμενες τιμές εξάλλου μπορούν να προβάλλουν κάποια ενδιαφέροντα στοιχεία (π.χ. πολύ υψηλά βοηθητικά και

βασικά φορτία). Εάν τα αποτελέσματα είναι ασαφή, το κόστος είναι αρκετά υψηλό, τότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση μετρητών, ώστε να εξαχθούν οι ακριβείς τιμές.



Διάγραμμα 12. Ποσοστό συμμετοχής της ψύξης σε κλάδους της βιομηχανίας τροφίμων

## 8.2 Ψυκτικά Φορτία

Το επόμενο βήμα είναι να εξετάσουμε τις ψυκτικές απαιτήσεις και να καταμερίσουμε το κόστος τους. Λαμβάνοντας τις τιμές της χρησιμοποιούμενης ισχύος του συμπιεστή, μαζί με τις τυπικές συνθήκες λειτουργίας και τα φορτία του συμπιεστή είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η συνολική ψυκτική απόδοση από την εγκατάσταση. Τα κατασκευαστικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της αποκτούμενης ψύξης από την εγκατάσταση σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Εάν τα στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα, τότε ένας κατά προσέγγιση υπολογισμός μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Αποκτούμενη Ψύξη} = 0.6 \cdot \text{COP(Carnot)} \cdot \text{Καταναλισκόμενη Ηλεκτ. Ενέργεια}$$

$$\text{Όπου: } \boxed{\text{COP(Carnot)} = \frac{T_c - T_e}{T_e}}$$

$T_c$  = Θερμοκρασία συμπύκνωσης (K)

$T_e$  = Θερμοκρασία Εξάτμισης (K)

Οι θερμοκρασίες είναι σε Kelvin και της «Αποκτούμενης ψύξης» ίδιες με τις μονάδες της ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν η συνολική ψύξη είναι γνωστή, τότε θα πρέπει να διαχωρίζεται σε επιμέρους φορτία. Η πληροφορία αυτή είναι ουσιαστική και χρησιμοποιείται για να διαπιστωθούν τα φορτία που επιβαρύνουν περισσότερο το κόστος. Έτσι, λογικά η προτεραιότητα θα πρέπει να δίνεται στα συγκεκριμένα φορτία.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Good Practice Guide. Commercial Refrigeration Plant : Energy Efficiency Installation, Energy Efficiency Office, 1992.
2. Energy Management Series for Industry Commerce and Institutions. “Heating Ventilation and Air Conditioning” , Minister of Supply and Services, Canada 1987.
3. American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE Handbook “Refrigeration Systems and Applications” SI Edition 1990.
4. Τεχνολογία της Ψύξης Βλάβες - Επισκευές. Σ. Αναστασιάδης, Αθήνα 1985.
5. Industrial Refrigeration Plant “Energy Efficient Operation and Maintenance” Energy Efficiency Office, 1992.
6. Βιομηχανική ψύξη και Εξοικονόμηση Ενέργειας. Γ. Λαμπρινός 1996. (Σεμινάριο Ενεργειακής διαχείρισης στη βιομηχανία)
7. Ψυκτικές Μηχανές. Δ. Κουρεμένος, 1976.
8. Αρχές Λειτουργίας και Βασικός Εξοπλισμός Ψυκτικών Εγκαταστάσεων. Ομάδα συνεργατών του περιοδικού “-20 +35”, 1994.
9. The Economic Use of Refrigeration Plant, Energy Efficiency Office 1990.
10. New Application of Natural Working fluids in Refrigeration and Air Conditioning (Refrigeration science and technology proceedings). Germany 1994.
11. Εξοικονόμηση Ενέργειας στην Βιομηχανία Ψύξης Τροφίμων. Φυλλάδιο SAVE - ΚΑΠΕ 1994.
12. Τεχνολογία Ψύξης στην Συντήρηση και Μεταφορά Φρούτων και Λαχανικών. COMETT. ATE 1990.

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Φύλλα αναφοράς ψυκτικής εγκατάστασης

Ψυχομετρικά Διαγράμματα









