

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ

Σ.Τ.Ε.Φ. ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή Εργασία

ΘΕΜΑ:

*Υπολογισμός θερμικών κερδών εσωτερικού χώρου &
Αντιστάθμιση θερμαντικών κερδών με αντλία θερμότητας*



Γεωργάκης - Κώστας Κων/νος

A.M. :4219

Δρίζης Δημήτριος

A.M. : 3825

Επιβλέπων Καθηγητής: κ_{ος} Καπλάνης Σωκράτης

Πάτρα 2006



Πρόλογος	1
Εισαγωγή.....	2

1^ο ΜΕΡΟΣ : ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΕΡΔΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Κεφάλαιο Πρώτο: Εισαγωγή στον κλιματισμό

1.1 Ιστορική εξέλιξη του κλιματισμού &	
1.2 Κατάταξη των συστημάτων κλιματισμού.....	5
1.2.1 Ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν	5
1.2.2 Ανάλογα με την εποχή λειτουργίας	6
1.2.3 Ανάλογα με την έκταση των χώρων που εξυπηρετούν.....	8

Κεφάλαιο δεύτερο: Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Γενικά στοιχεία.....	14
2.1.1 Θερμικές απώλειες - θερμικά φορτία και Θερμικά κέρδη - ψυκτικά φορτία.....	14
2.1.2 Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας &	
2.1.3 Η θερμοχωρητικότητα των κτιρίων.....	24
2.1.4 Μεταχρονισμός των ψυκτικών φορτίων.....	26

2.2	Είδη θερμικών κερδών.....	26
2.2.1	Εξωτερικά θερμικά κέρδη.....	26
2.2.2	Εσωτερικά θερμικά κέρδη.....	27
2.3	Υπολογισμός θερμικών κερδών με τη μέθοδο ASHRAE.....	28
2.3.1	Συναγωγή μέσω της εξωτερικής δομής.....	29
2.3.2	Συναγωγή μέσω της εσωτερικής δομής.....	31
2.3.3	Ηλιακή ακτινοβολία μέσω γυάλινων επιφανειών.....	32
2.3.4	Φωτισμός.....	33
2.3.5	Άνθρωποι.....	34
2.3.6	Εξοπλισμός &	
2.3.7	θερμότητα από τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα μέσω ανοιγμάτων.....	35
2.3.8	ψυκτικό φορτίο χώρου &	
2.3.9	Μέγιστα ψυκτικά φορτία χώρων &	
2.3.10	Μέγιστα ψυκτικά φορτία κτιρίων.....	36
2.3.11	Ψυκτικό φορτίο κλιματισμού &	
2.3.12	Ανύψωση θερμοκρασίας.....	37
2.3.13	Συνθήκες αέρα προσαγωγής.....	38

Κεφάλαιο τρίτο: Υπολογισμός θερμικών κερδών του εργαστηρίου των Η.Μ.Ε.

3.1	Στοιχεία της δομής του κτιρίου.....	39
3.2	Υπολογισμοί θερμικών κερδών.....	40
3.3	Συμπεράσματα.....	47

2^ο ΜΕΡΟΣ : ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΕΡΔΩΝ ΜΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Κεφάλαιο τέταρτο: Ψυκτικός κύκλος - Αντλία θερμότητας

4.1 Γενικά στοιχεία για την ψύξη.....	52
4.1.1 Βασικές αρχές	52
4.1.2 Ιστορική αναδρομή.....	53
4.1.3 Σχέση μεταξύ πίεσης και θερμοκρασίας	55
4.1.4 Ψυκτικά μέσα – Ψυκτικές ουσίες	56
4.2 Ψυκτικός κύκλος με συμπίεση ατμών – Αντλία θερμότητας	61
4.2.1 Θεωρητική αρχή λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας.....	62
4.2.2 Τεχνολογία της Αντλίας Θερμότητας &	
4.2.3 Εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου.....	64
4.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αντλιών θερμότητας	85
4.3 Τυπική λειτουργία αντλίας θερμότητας R-22.....	86

Κεφάλαιο πέμπτο: Διάγραμμα ψυκτικού κύκλου P-h


5.1 Βασικές Αρχές.....	91
5.2 Ανάλυση διαγράμματος P-h.....	94
5.2.1 Γραμμές σταθερής πίεσης και σταθερής ενθαλπίας &	
5.2.2 Η γραμμή κορεσμού.....	94
5.2.3 Οι γραμμές μίγματος υγρού – ατμού.....	95

5.2.4 Οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας	96
5.2.5 Οι γραμμές σταθερού ειδικού όγκου και σταθερής εντροπίας.....	97
5.2.6 Το διάγραμμα (P-h) με τα θερμοδυναμικά στοιχεία του.....	98
5.3 Θερμοδυναμική εξέταση του ψυκτικού κύκλου.....	99
5.4 Πραγματικός θερμοδυναμικός κύκλος.....	103

Κεφάλαιο έκτο: Κατασκευή διαγράμματος P-h

6.1 Διαδικασία μετρήσεων και υπολογισμός μεγεθών Ψ.Μ. – R-22.....	109
6.2 Συμπεράσματα.....	115
 Επίλογος.....	 118
 Βιβλιογραφία.....	 119
 Παράρτημα – Πίνακες Ashrae.....	 121

Πρόλογος

 κλιματισμός είναι ο μόνος πρακτικός τρόπος για να ρυθμιστούν ταυτόχρονα, η θερμοκρασία, η υγρασία και η ποιότητα του αέρα σε έναν κλειστό χώρο. Η θερμική ισορροπία του εσωτερικού χώρου μπορεί εύκολα να χαθεί, όταν μεταβληθούν οι εξωτερικές, ατμοσφαιρικές συνθήκες. Μπορούμε λοιπόν με το κλιματιστικό σύστημα, να επαναφέρουμε το επίπεδο θερμικής άνεσης στο χώρο, όταν ο συνδυασμός υψηλής περιβαλλοντικής θερμοκρασίας και υγρασίας δημιουργεί δυσφορία και μείωση απόδοσης.

Τα τελευταία χρόνια, η εξάπλωση των μικρών, κλιματιστικών μονάδων είναι πολύ σημαντική, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της πιο προσιτής τιμής τους. Παρόλα αυτά, ο τρόπος λειτουργίας τους, τόσο θεωρητικά, όσο και πρακτικά, δε γίνεται εύκολα κατανοητός, παρά μόνο από τους ειδικούς.

Η ιδέα για την κατασκευή μιας κλιματιστικής μονάδας, η οποία θα διαφέρει από τις κοινές μονάδες του εμπορίου, μας κίνησε το ενδιαφέρον και ήταν η αφορμή για τη συγγραφή αυτής της εργασίας. Στην αντλία θερμότητας τύπου split, την οποία ανακατασκευάσαμε, είναι εμφανείς οι διεργασίες και οι λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα, με σκοπό τη μελλοντική χρησιμοποίηση της κατασκευής ως εκπαιδευτικό υλικό. Έχουν γίνει φυσικά οι απαιτούμενες τροποποιήσεις, που δίνουν τη δυνατότητα στον παρατηρητή να παίρνει μετρήσεις και η συστοιχία των εξαρτημάτων επιτρέπει την εύκολη κατανόηση του ψυκτικού κύκλου.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ιδιαίτερα, ευχαριστούμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σωκράτη Καπλάνη, για την ουσιαστική του υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του.

Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελείται από δύο ξεχωριστά μέρη. Στο 1^ο μέρος, στόχος είναι η μελέτη των θερμικών κερδών του εργαστηριακού χώρου, με τη μέθοδο ASHRAE. Πριν όμως από αυτό, γίνεται μια αναφορά στα σημαντικότερα φαινόμενα που σχετίζονται με τη μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό των κτιρίων. Αυτό θα βοηθήσει στην κατανόηση της μεθόδου.

Στο 2^ο μέρος μελετάται η αντιστάθμιση των θερμικών κερδών του χώρου του εργαστηρίου με τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας. Θα αναφερθούν οι αρχές των ψυκτικών μηχανημάτων και η θεωρία της λειτουργίας τους. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει μια παρουσίαση των αντλιών θερμότητας και μεγαλύτερο βάρος θα δοθεί στη μελέτη των θερμοδυναμικών λειτουργιών και στο πώς αυτές απεικονίζονται σε ένα διάγραμμα Mollier. Τέλος, η θεωρία αυτή θα εφαρμοστεί



στην ψυκτική μονάδα που κατασκευάσαμε, ώστε να υπολογισθούν τα μεγέθη της λειτουργίας της και να χαραχθεί το διάγραμμα λειτουργίας πίεσης – ενθαλπίας.

Η δομή της εργασίας έχει την ακόλουθη μορφή:

1^ο ΜΕΡΟΣ

- Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στη σημασία του κλιματισμού και στα είδη που διαχωρίζεται.
- Στο 2^ο κεφάλαιο παρατίθεται το θεωρητικό πλαίσιο. Παρουσιάζονται τα είδη και οι πηγές των θερμικών κερδών, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους, με τη μέθοδο ASHRAE.
- Στο 3^ο κεφάλαιο δίνεται το σχέδιο του εργαστηριακού χώρου και πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί των θερμικών του κερδών.

2^ο ΜΕΡΟΣ


- Το 4^ο κεφάλαιο ασχολείται με τον ψυκτικό κύκλο της αντλίας θερμότητας και αναφέρεται στη θεωρητική του ανάλυση και στα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται.
- Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του κύκλου ψύξης και η θεωρία για το πώς αυτά απεικονίζονται πάνω σε ένα διάγραμμα Mollier.
- Το 6^ο κεφάλαιο εμπεριέχει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων, τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και τους υπολογισμούς που έγιναν για την κατασκευή του διαγράμματος P-h και για τα υπόλοιπα μεγέθη της ψυκτικής μονάδας.

1^ο ΜΕΡΟΣ:

**ΜΕΛΕΤΗ
ΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΚΕΡΔΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ
ΧΩΡΟΥ**

Κεφάλαιο πρώτο: Εισαγωγή στον κλιματισμό

1.1 Ιστορική εξέλιξη του κλιματισμού

 πρώτη σοβαρή προσπάθεια παραγωγής μηχανημάτων κλιματισμού για τον έλεγχο των συνθηκών ενός χώρου έγινε το 1930¹ και δέκα χρόνια αργότερα η παραγωγή μονάδων κλιματισμού κάνει πλέον την παρουσία της σε επίπεδο επιστημονικής οργάνωσης, έρευνας και εφαρμογής.

Σήμερα, όλοι σχεδόν οι επαγγελματικοί χώροι, αλλά και μεγάλος αριθμός κατοικιών, έχουν κλιματισμό για όλο τον χρόνο (θέρμανση-ψύξη). Ο κλιματισμός, πλέον και στην Ελλάδα, δεν θεωρείται πολυτέλεια αλλά ανάγκη ή συμπλήρωμα στην άνεση που πρέπει να έχει ο σύγχρονος άνθρωπος στο σπίτι του ή την εργασία του.

Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή (κατασκευή ή συναρμολόγηση) κλιματιστικών μονάδων και στην Ελλάδα αυξάνεται ραγδαία και η ποιότητα των παραγόμενων μονάδων είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι να δημιουργούνται σοβαρές προϋποθέσεις και για εξαγωγές ελληνικών κλιματιστικών μονάδων, με ικανοποιητικά οφέλη για την εθνική μας οικονομία.

1.2 Κατάταξη των συστημάτων κλιματισμού

Η κατάταξη των μονάδων κλιματισμού και των κλιματιστικών εγκαταστάσεων γενικότερα, γίνεται με βάση το σκοπό που εξυπηρετούν, αλλά και με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Έτσι, μπορούμε να χωρίσουμε τις κλιματιστικές μονάδες στις ακόλουθες κατηγορίες:

1.2.1 Ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν

Οι εγκαταστάσεις κλιματισμού, ως προς το σκοπό που εξυπηρετούν, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Σε εγκαταστάσεις άνεσης, που έχουν ως κύριο στόχο την άνετη διαμονή του ανθρώπου σε χώρους μη εργασιακούς, όπως κατοικίες, σχολεία κ.α.

¹ Η πρώτη κλιματιστική εγκατάσταση κατασκευάστηκε από τον W. Carrier το 1902 για τις ανάγκες μιας χαρτοβιομηχανίας.

- Σε εγκαταστάσεις επαγγελματικού τύπου, που στοχεύουν στην άνετη παραμονή του πελάτη σε έναν επαγγελματικό χώρο για να αγοράσει προϊόντα και να αυξηθούν έτσι τα κέρδη της επιχείρησης. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι ο κλιματισμός super market, εστιατορίων κλπ.
- Σε εγκαταστάσεις βιομηχανικού τύπου, όπου ο κλιματισμός θα πρέπει να εξυπηρετεί την ποιότητα της παραγωγής και την παραγωγικότητα της επιχείρησης και όχι απαραίτητα την άνεση των εργαζομένων σε αυτή. Τέτοιου είδους εγκαταστάσεις κλιματισμού υπάρχουν συνήθως σε χαρτοποιίες, εργοστάσια παραγωγής γλυκισμάτων κλπ.

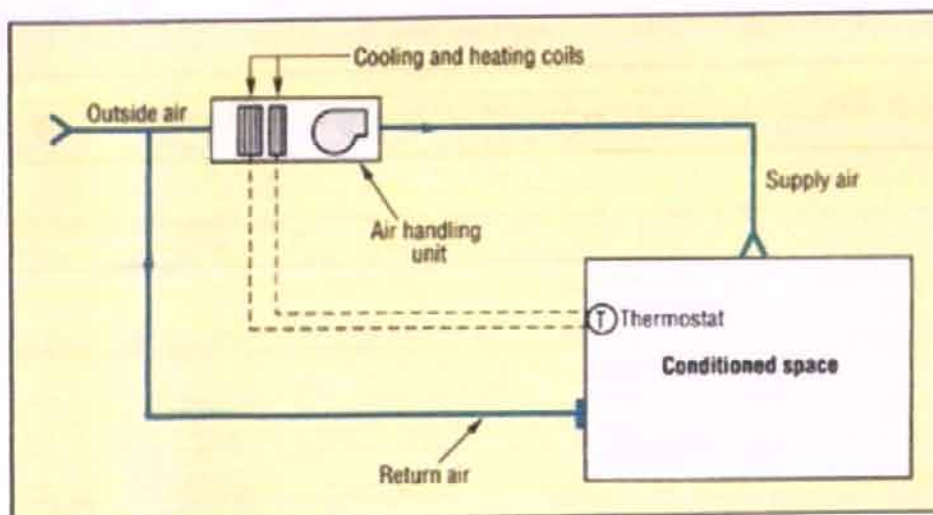
1.2.2 Ανάλογα με την εποχή λειτουργίας

Ανάλογα με την εποχή που εξυπηρετεί, μια εγκατάσταση κλιματισμού χαρακτηρίζεται ως:

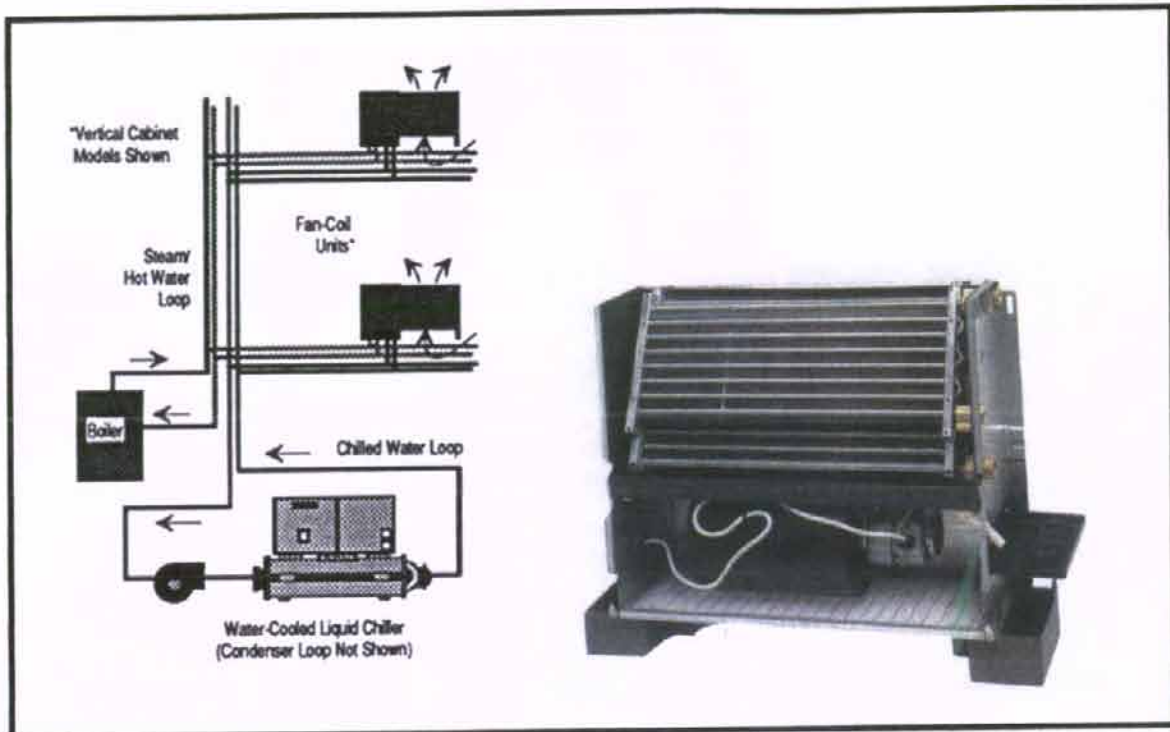
- Εγκατάσταση χειμερινού κλιματισμού
- Εγκατάσταση καλοκαιρινού κλιματισμού
- Εγκατάσταση κλιματισμού για όλο το χρόνο

Όμως, η ολοκληρωμένη μορφή της έννοιας του κλιματισμού δίνεται με την ικανοποίηση όλων των στόχων του, δηλαδή θέρμανση, ψύξη και εξαερισμός. Γι' αυτό όταν μιλάμε για κλιματιστική εγκατάσταση αναφερόμαστε πάντα σε κλιματισμό για όλο το χρόνο. Τέτοιες μονάδες είναι:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (θέρμανσης ή ψύξης) αέρα και την προσαγωγή του στο χώρο με αεραγωγούς

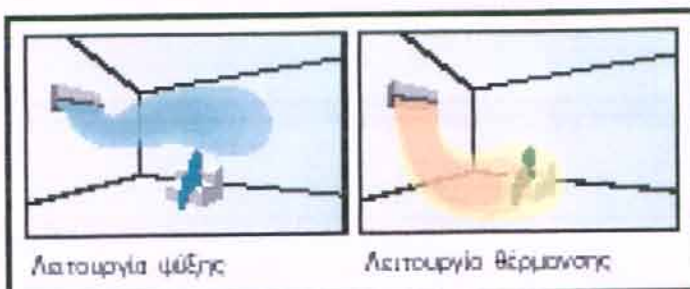
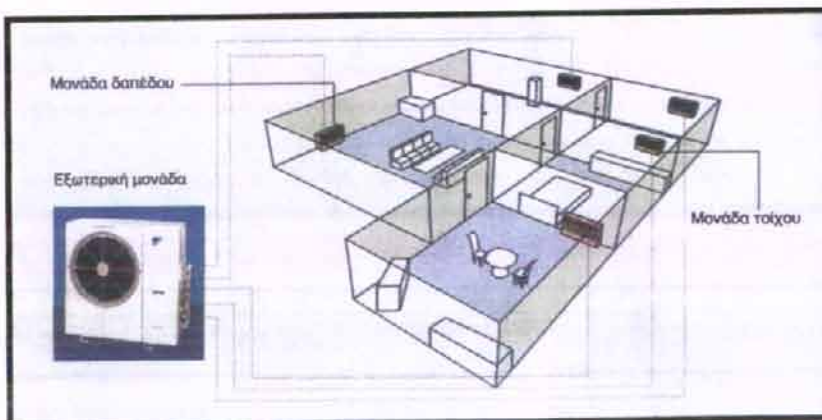


- Μικρές τοπικές κλιματιστικές μονάδες Fan Coils δαπέδου, τοίχου ή οροφής



Μονάδα εσωτερικού χώρου (Fan Coil)

- Αντλία θερμότητας (heat pumps), που μπορεί να λειτουργεί για ψύξη ή ψύξη και θέρμανση



1.2.3 Ανάλογα με την έκταση των χώρων που εξυπηρετούν

Οι κλιματιστικές μονάδες ή εγκαταστάσεις, ανάλογα με τους χώρους που εξυπηρετούν, κατατάσσονται σε:

- Μονάδες δωματίου (τοίχου ή διαιρούμενες)
- Ημικεντρικές μονάδες
- Κεντρικές μονάδες

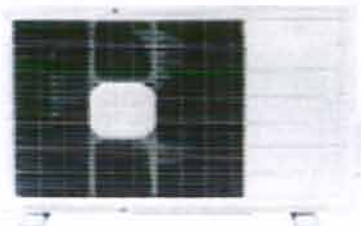
Οι κλιματιστικές μονάδες δωματίου είναι μονάδες μικρής ισχύος και εξυπηρετούν τις ανάγκες μόνο ενός συγκεκριμένου χώρου. Τέτοιες μονάδες κλιματισμού είναι οι μονάδες τοίχου ή παραθύρου, οι οποίες τοποθετούνται σε τρύπα που ανοίγεται στον εξωτερικό τοίχο ενός δωματίου, καθώς επίσης και οι μονάδες διαιρούμενου τύπου (Split Type). Οι μονάδες τοίχου ή παραθύρου τείνουν να καταργηθούν, λόγω των πολλών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν (έλλειψη καλαισθησίας, θόρυβος κλπ.).

Αντίθετα, οι μονάδες δωματίου διαιρούμενου τύπου (split) προτιμώνται, γιατί παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των μονάδων τοίχου.



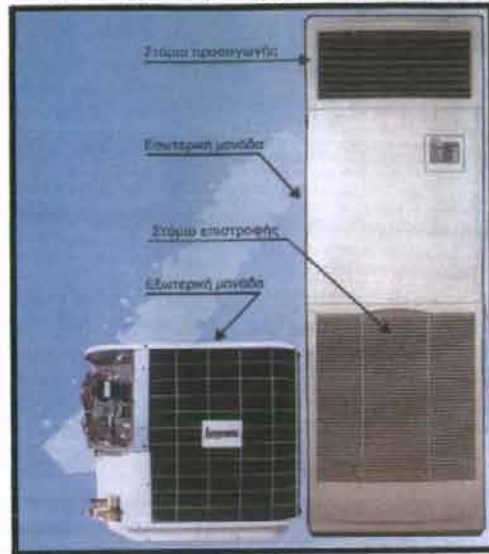
Μερικά από τα πλεονεκτήματα των διαιρούμενων μονάδων είναι :

- Εύκολη και χωρίς ζημιές τοποθέτηση των μονάδων.
- Τοποθετούνται σε οποιοδήποτε σημείο του κλιματιζόμενου χώρου και όχι μόνο σε εξωτερικούς τοίχους.
- Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη, αφού ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής που προξενούν το θόρυβο, βρίσκονται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο. Στην κατηγορία των διαιρούμενων μονάδων (Split) κατατάσσονται και οι πολυδιαφύμενες (Multi unit), στις οποίες μια εξωτερική μονάδα (συμπιεστής - συμπυκνωτής) μπορεί να συνδεθεί με περισσότερες από δυο εσωτερικές μονάδες (μέχρι και πέντε), που λειτουργούν ανεξάρτητα.



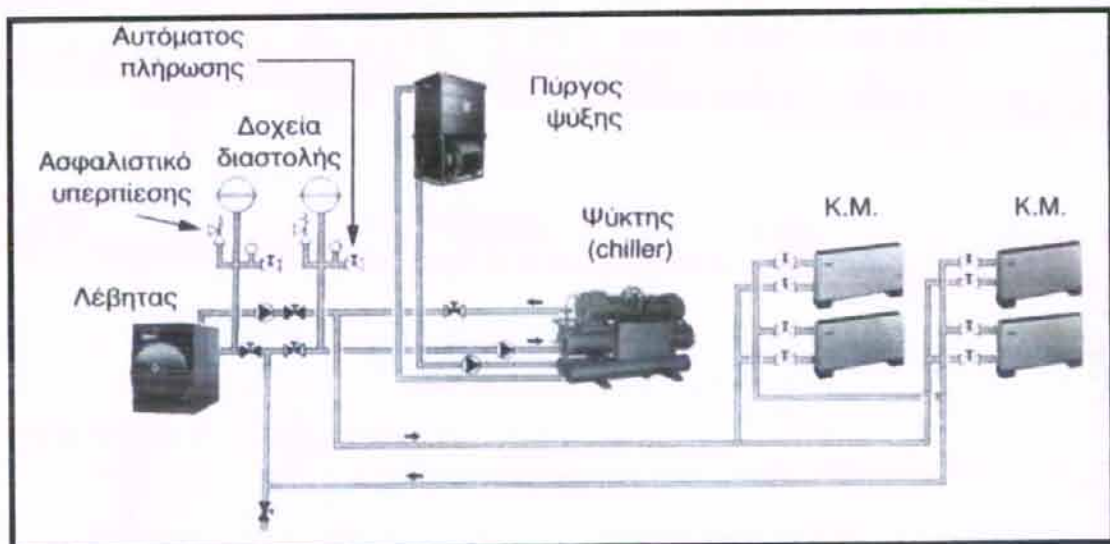
Οι ημικεντρικές μονάδες κλιματισμού έχουν ως στόχο τη θέρμανση ή ψύξη περισσότερων του ενός ή μεγαλύτερων χώρων. Είναι διαιρούμενου τύπου και ανάλογα με το μέσο ψύξης του συμπυκνωτή, χωρίζονται σε αερόψυκτες ή υδρόψυκτες.

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες τέτοιων μηχανημάτων. Αυτές που συνδέονται με δίκτυο αεραγωγών και αυτές που προσάγουν τον κλιματιζόμενο αέρα απευθείας στο χώρο (τύπος ντουλάπας).

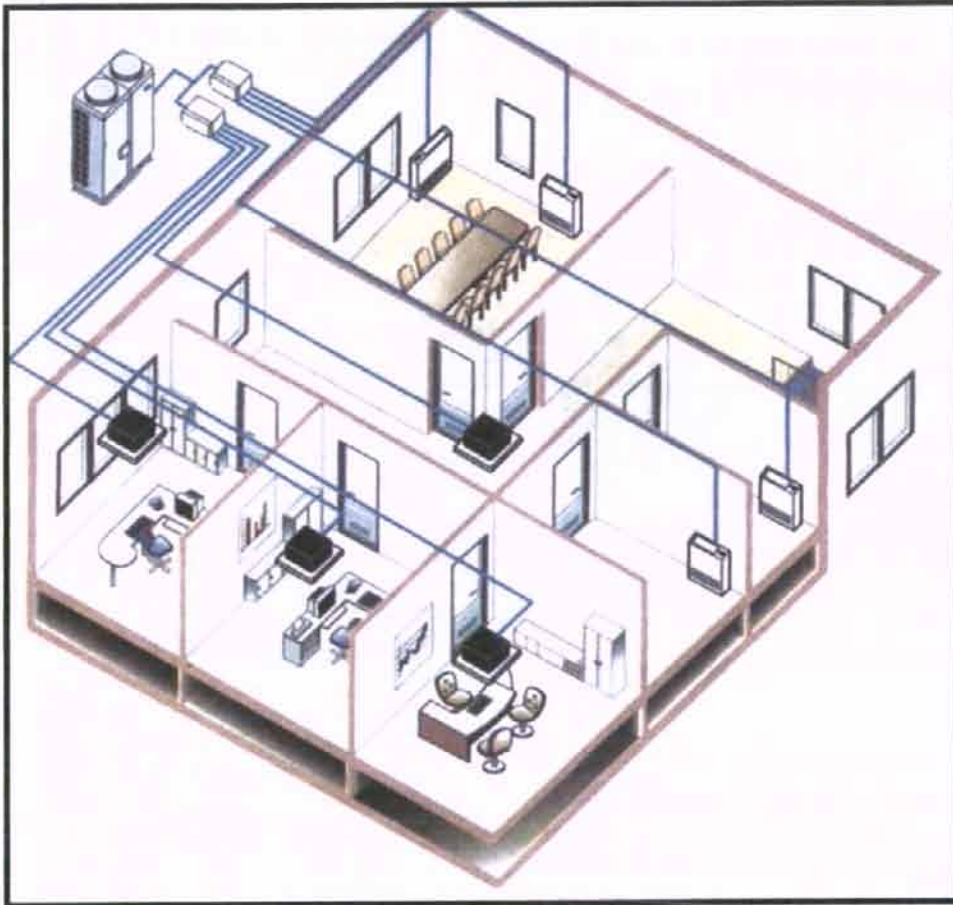


Οι κεντρικές μονάδες κλιματισμού κλιματίζουν ολόκληρο το κτίριο στο οποίο είναι εγκατεστημένες και είναι κατά κανόνα μονάδες για όλο το χρόνο (ψύξη και θέρμανση). Οι κεντρικές μονάδες διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Στις μονάδες ή εγκαταστάσεις ψύξης - θέρμανσης με ψύκτη νερού και κλασσικό λέβητα ζεστού νερού ή ατμού



- Στις μονάδες που δίνουν ψύξη - θέρμανση με αναστροφή του κύκλου λειτουργίας, γνωστές ως αντλίες θερμότητας (Heat pumps).



Σύστημα κλιματισμού μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου (Variable Refrigerant Volume – VRV)

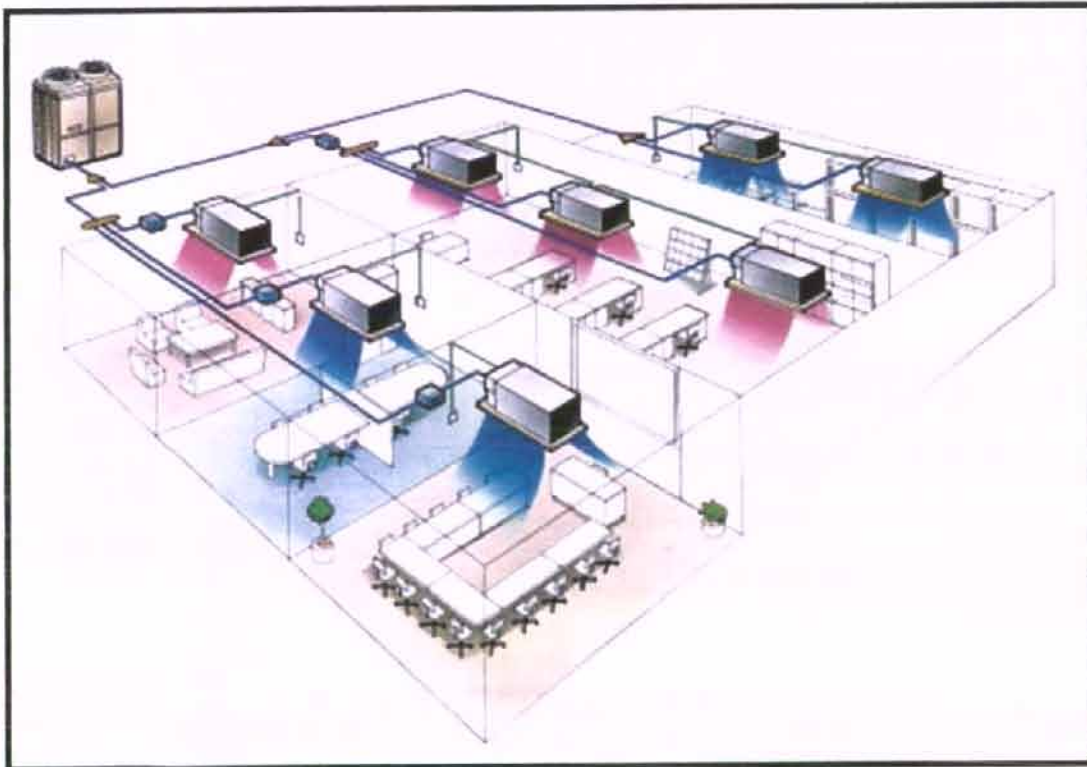
Τα τελευταία χρόνια, σε μοντέρνα συγκροτήματα κτιρίων, εφαρμόζεται σύστημα κεντρικού κλιματισμού, με τοπικό έλεγχο της ποσότητας του εξατμιζόμενου ψυκτικού ρευστού. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό στους τεχνικούς που ασχολούνται με τον κλιματισμό ως σύστημα μεταβαλλόμενου όγκου ψυκτικού ρευστού ή VRV system.

Το σύστημα VRV λειτουργεί με το μηχανισμό λειτουργίας του συμπιεστή INVERTER². Το αισθητήριο, που είναι ενσωματωμένο στην εσωτερική μονάδα του

² Ο συμπιεστής που έχει τη δυνατότητα να διαφοροποιεί τον αριθμό των στροφών του με κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη, που μπορεί και μεταβάλλει τη συχνότητα του ρεύματος.

συστήματος, ανιχνεύει τη θερμοκρασία του δωματίου και την ελέγχει δίνοντας οδηγίες στο σύστημα INVERTER με την επιλογή κατάλληλης συχνότητας.

Το σύστημα INVERTER επιλέγει την κατάλληλη συχνότητα λειτουργίας του κλιματιστικού μηχανήματος, σύμφωνα με τη θερμοκρασία του χώρου, δηλαδή μεταβάλλει την ψυκτική / θερμική απόδοση του κλιματιστικού μηχανήματος, ανάλογα με τα φορτία του χώρου. Η μονάδα λειτουργεί σε υψηλές συχνότητες, όταν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας χώρου και επιθυμητής και σε χαμηλές συχνότητες, όταν αυτή η διαφορά θερμοκρασίας είναι μικρή. Το INVERTER επιλέγει την κατάλληλη συχνότητα με βάση την παραπάνω διαφορά θερμοκρασίας και εκτελεί την ανάλογη αλλαγή στροφών στο συμπιεστή.



Εγκατάσταση συστήματος VRV σε κτίριο

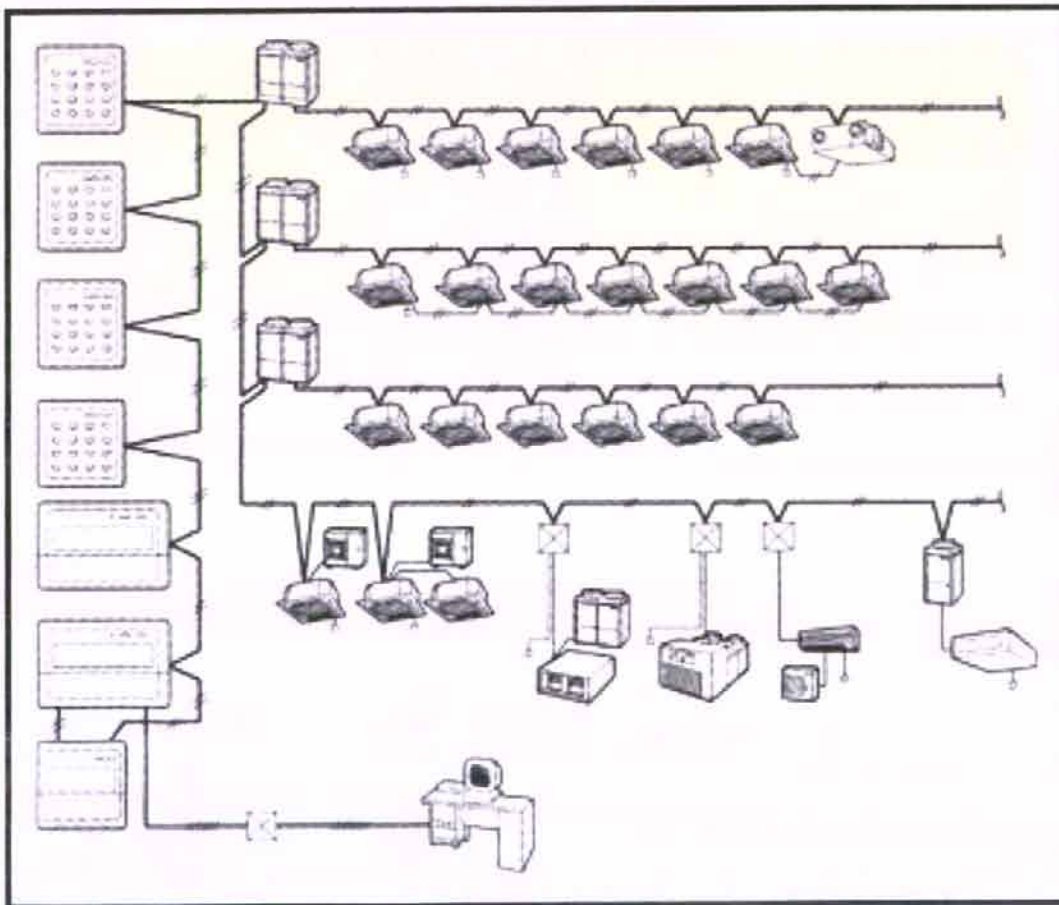
Το σύστημα VRV είναι σημαντικά βελτιωμένο σε ότι αφορά τη θερμική απόδοση σε σχέση με τις συμβατικές αντλίες θερμότητας. Μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στο INVERTER και ένα συμβατικό κλιματιστικό είναι επίσης η ισχύς εκκίνησης.

Ακόμα, ο χαμηλής θερμοκρασίας αέρας θερμαίνεται ταχύτατα μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Ο χρόνος που απαιτείται για την άνοδο της θερμοκρασίας στο επιθυμητό επίπεδο είναι συνήθως μικρότερος από το μισό χρόνο που χρειάζεται ένα

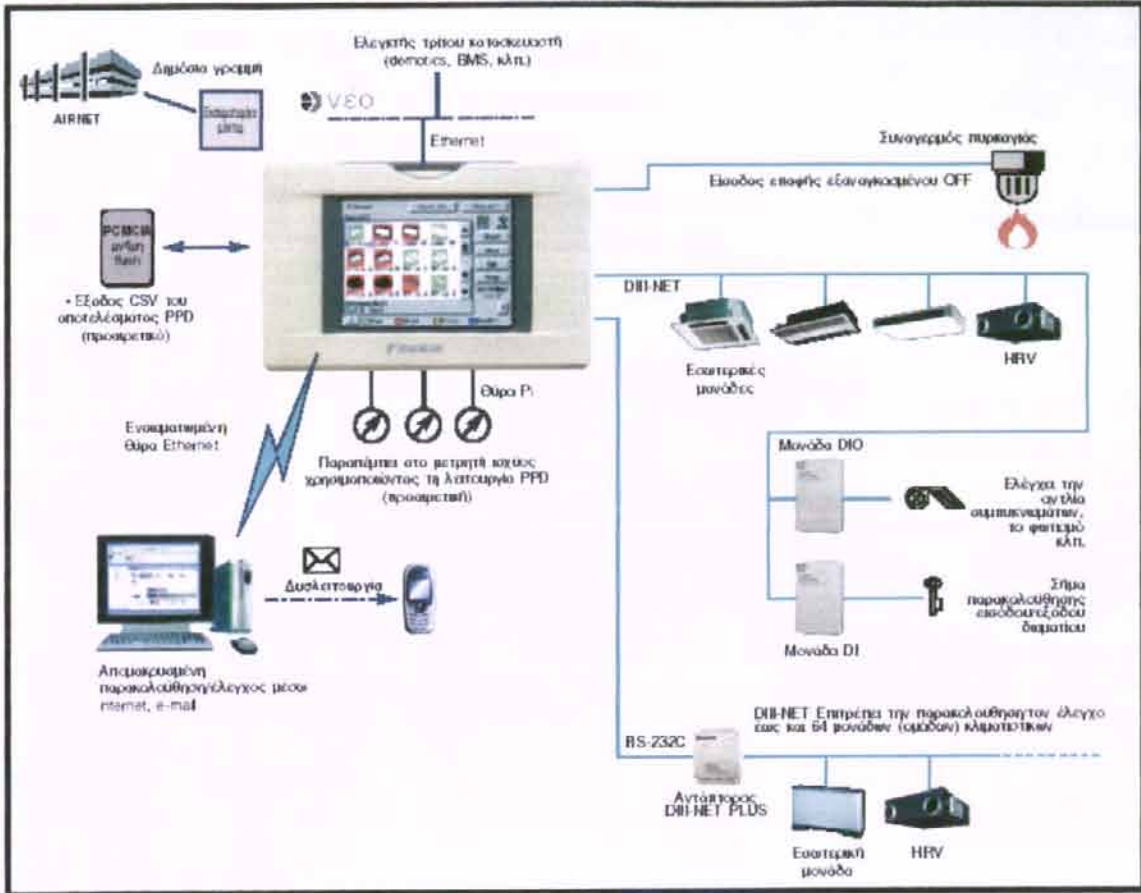
συμβατικό κλιματιστικό. Όταν η επιθυμητή θερμοκρασία επιτευχθεί, το INVERTER ελαττώνει σταδιακά την ισχύ του. Μια χαμηλής ισχύος λειτουργία του κλιματιστικού στα 30 Hz, διατηρεί άνετη θερμοκρασία, αντίθετα με τις συμβατικές μονάδες που ξοδεύουν πρόσθετη ισχύ με την επαναλαμβανόμενη on/off λειτουργία τους στα 50Hz.

Τα πιο εξελιγμένα συστήματα VRV έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης έως και δεκαέξι εσωτερικών μονάδων σε μία εξωτερική μονάδα, γραμμικό έλεγχο απόδοσης μέσω συμπιεστών INVERTER 10-100 % και δυνατότητα ανάπτυξης του κεντρικού δικτύου σωληνώσεων μέχρι και 100 μέτρα ανά εσωτερική μονάδα, με μέγιστη υψομετρική διαφορά εξωτερικής-εσωτερικής μονάδας 50 μέτρα.

Υπολογίζεται ότι, για λειτουργία του συστήματος στο 50% του φορτίου, επιτυγχάνεται με το σύστημα VRV εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 40% έναντι του συμβατικού συστήματος.



Ηλεκτρονικός έλεγχος λειτουργίας του συστήματος



Αναλυτική παράταξη και συνδεσμολογία των εξαρτημάτων του συστήματος VRV

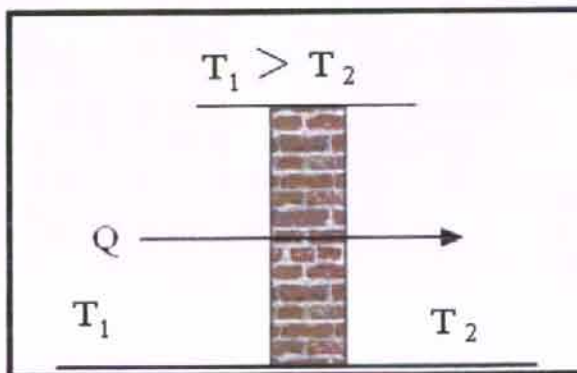
Κεφάλαιο δεύτερο: Θεωρητικό πλαίσιο

Σ το κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά στα φαινόμενα που σχετίζονται με τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου. Θα παρουσιαστούν τα είδη και οι πηγές των θερμικών κερδών και θα γίνει μια παρουσίαση της μεθόδου υπολογισμού των θερμικών κερδών της ASHRAE. Οι πίνακες της ASHRAE, από τους οποίους προέκυψαν τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς, βρίσκονται σε Παράρτημα στο τέλος της εργασίας αυτής.

2.1 Γενικά στοιχεία

2.1.1 Θερμικές απώλειες - θερμικά φορτία και Θερμικά κέρδη - ψυκτικά φορτία

Θερμότητα ονομάζεται η ποσότητα ενέργειας (θερμικής ενέργειας) που μεταφέρεται μεταξύ δύο σωμάτων, σαν συνέπεια της διαφοράς θερμοκρασίας τους (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι διάδοσης της θερμότητας:

- Διάδοση της θερμότητας με αγωγή

Αυτός ο τρόπος διάδοσης είναι υπεύθυνος για τη ροή θερμότητας σε στερεά σώματα. Οφείλεται στην ιδιότητα της ύλης να επιτρέπει το πέρασμα της θερμικής ενέργειας ακόμα και σε σώματα αδιαπέραστα σε άλλα είδη ακτινών (Σχήμα 2.2).

Ειδικότερα ισχύει:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T^3, \text{ όπου}$$

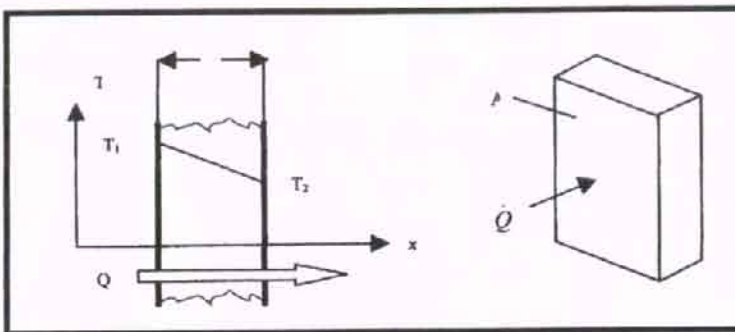
³ Νόμος των Biot και Fourier

Q είναι ο ρυθμός ροής θερμότητας από αγωγιμότητα (W),

U ονομάζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού και ισούται με λ/δ , όπου λ : ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού⁴ ($W/m \text{ } ^\circ C$) και δ : το πάχος του τοιχώματος (m),

A είναι η επιφάνεια που περικλείει το θερμαινόμενο χώρο (m^2) και

ΔT είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του περιβάλλοντος t_0 και του θερμαινόμενου χώρου t_i ($^\circ C$).



Σχήμα 2.2 Αγωγή θερμότητας μέσω τοιχώματος

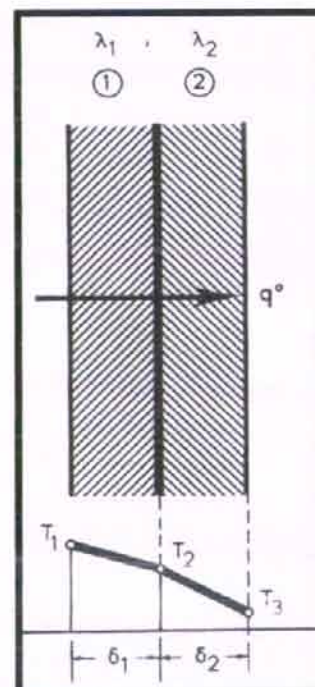
Σε πολλές εφαρμογές, υπάρχουν τοιχώματα τα οποία αποτελούνται από περισσότερα διαφορετικά υλικά. Στην περίπτωση αυτή, ισχύει:

$$U = 1 / (\delta_1/\lambda_1) + (\delta_2/\lambda_2)$$

Αν τα στρώματα είναι περισσότερα, έστω n , τότε για τον συντελεστή θερμοπερατότητας U ισχύει ότι:

$$U = \sum_n (\delta_i/\lambda_i)$$

Στο διπλανό σχήμα απεικονίζεται η αγωγή θερμότητας μέσα από ένα διπλό τοίχωμα και φαίνεται ότι η ροή θερμότητας των δύο τοιχωμάτων δεν είναι ίδια. Αυτό οφείλεται στη διαφορά της ειδικής, θερμικής αγωγιμότητας του κάθε υλικού.



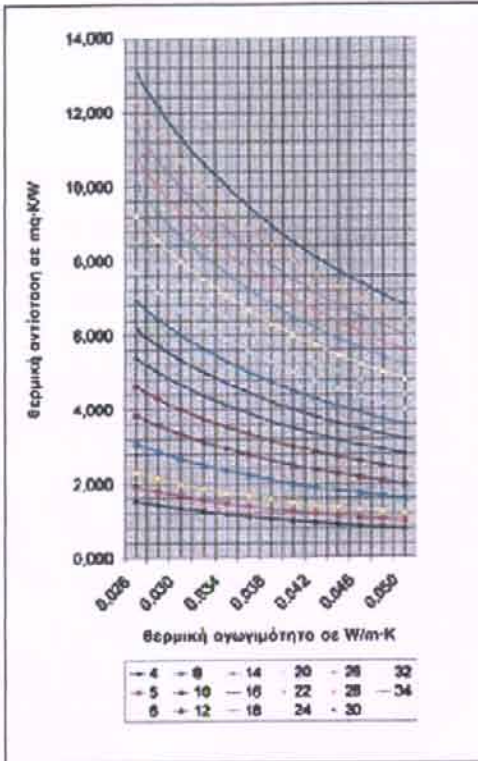
⁴ Η θερμομονωτική ικανότητα ενός υλικού δίνεται από το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) που παρουσιάζει. Όσο μικρότερη τιμή έχει ο συντελεστής λ , τόσο μεγαλύτερη θερμομονωτική ικανότητα έχει το υλικό. Οι τυπικές τιμές του λ των υλικών θερμομόνωσης είναι $0,032 < \lambda < 0,05 \text{ W/mK}$.

Για τα διάφορα δομικά υλικά που κατασκευάζονται, έχουν υπολογιστεί και δίνονται από πίνακες, ο συντελεστής θερμοπερατότητας, η θερμομονωτική ικανότητα και τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

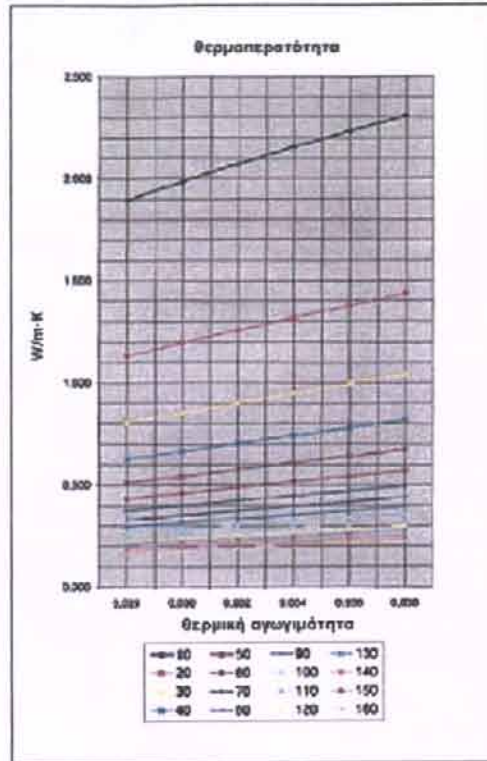
	POR.90	POR.200	POR.225	POR.250	POR.280
Διαστάσεις	90X140 X250	200X140 X250	225X140 X300	250X150 X300	280X140 X300
Βάρος (kg/τεμ)	2,1	5,7	7,2	8,4	8,5
Αντοχή σε Θλίψη (kg/τεμ)	50	50	50	50	50
Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας Υλικού (kcal/m²h³C)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Αριθμός Τούβλων (m²)	25	26	22	19	22
Πάχος Πλινθοδομής	90	200	225	250	280
Βάρος Τοιχοποιίας (ανεπίχριστης) (kg/m²)	75	148	158	160	187
Αντίσταση Θερμοδιαφυγής 1/Λ (m²h³C/kcal)	1,5	1,603	1,662	1,714	1,76
Συντελεστής Θερμοπερατότητας κ (kcal/m²h³C)	0,583	0,557	0,539	0,521	0,504



A/A	Περιγραφή	U, W/m ² K
	A' Δομικά στοιχεία χωρίς θερμομόνωση	
1	Συνήθης εξωτερικός τοίχος από τούβλα, πάχους 20 cm	2,16
2	Τοίχος συρομένων κουφωμάτων	2,86
3	Συνήθης εξωτερικός τοίχος με στεγανό διάκενο >2 cm	0,79
4	Τοίχος από μπετόν, δοκάρια, υποστύλωματα	3,40
5	Οροφή ή δάπεδο (πλάκα από μπετόν), με πλάκες και υγραμόνωση	2,63
6	Δάπεδο πάνω στο χώμα	1,00
7	Μεσοτοιχος, δρομικός	2,87
8	Πλάκα με κεραμοσκεπή αεριζόμενη από τα κενά των κεραμιδιών	3,26
9	Πλάκα με στεγανή κεραμοσκεπή (μέσω μονωτικού φυλλού)	2,24
	B' Δομικά στοιχεία με θερμομόνωση, k = 0,04 W/m-K	
10	Συνήθης εξωτερικός τοίχος με μόνωση 5 cm	0,58
11	Τοίχος συρομένων κουφωμάτων, με μόνωση 5 cm	0,63
12	Τοίχος από μπετόν, δοκάρια, υποστύλωματα με μόνωση 5 cm	0,65
13	Οροφή ή δάπεδο με πλάκα από μπετόν και με μόνωση 5 cm	0,61
14	Οροφή ή δάπεδο με πλάκα από μπετόν και με μόνωση 7 cm	0,47
15	Δάπεδο πάνω στο χώμα με μόνωση 3 cm	0,57
16	Κεραμοσκεπή στεγανή με μόνωση 5 cm πάνω στη πλάκα του μπετόν	0,66
17	Κεραμοσκεπή στεγανή με μόνωση 7 cm πάνω στη πλάκα του μπετόν	0,50
	Γ' Κουφώματα	
18	Κουφώματα αλουμινίου με απλά τζάμια	5,00
19	Κουφώματα αλουμινίου με διπλά τζάμια με κενό αέρα	3,00
20	Ξύλινα κουφώματα με απλά τζάμια	4,50
21	Ξύλινα κουφώματα με διπλά τζάμια με κενό αέρα	2,60
22	Ξύλινες επιφάνειες χωρίς υαλοπίνακα	3,00



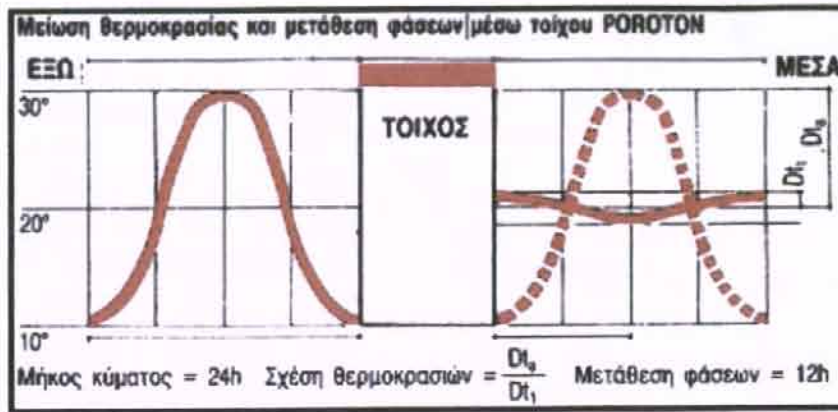
Καθορισμός πάχους του θερμομονωτικού στοιχείου σε σχέση με τη θερμική αγωγιμότητα



Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν πώς μεταβάλλεται η θερμική αντίσταση και η θερμική αγωγιμότητα ενός μονωτικού υλικού κατά την αυξομείωση του πάχους του.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει μια νέα γενιά δομικών στοιχείων για την κατασκευή τοίχων. Η κατασκευή ενός τέτοιου τοίχου έχει την ικανότητα, από τη μια μεριά να μετατρέπει τις μεγάλες ημερήσιες εξωτερικές μεταβολές της θερμοκρασίας σε μικρές διακυμάνσεις στο εσωτερικό του χώρου και από την άλλη να πραγματοποιεί μία χρονική μετατόπιση των φάσεων, να επιβραδύνει δηλαδή την επίδραση της αλλαγής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του τοίχου. Τα ευνοϊκότερα όρια της μετατόπισης αυτής για τον κατοικήσιμο χώρο, βρίσκονται μεταξύ 10 και 14 ωρών.

Η μετατόπιση των φάσεων που επιτεύχθηκε με την κατασκευή ενός τέτοιου τοίχου, στη δοκιμή είναι 12 ωρών (Σχήμα 2.3). Αυτή η κατασκευή προσφέρει θερμομόνωση και εξισορρόπηση θερμοκρασίας με επιβράδυνση επίδρασης κατά 12 ώρες. Οι δύο αυτές ιδιότητες του υλικού καθορίζουν την αποτελεσματικότητά του στην απομάκρυνση των μεταβολών της θερμοκρασίας, τόσο στο χώρο (μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου), όσο και στο χρόνο (καθυστέρηση της επίδρασης της μεταβολής).



Σχήμα 2.3

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ενδεικτικά ο συντελεστής θερμοπερατότητας για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων (μονών-διπλών, απλών ή χαμηλής εκπομπής, με πλήρωση αέρα ή αργό στο διάκενο).

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ			
Τύπος υαλοπίνακα	Πάχος υαλοπίνακα-διακένου-υαλοπίνακα (mm)	Αέριο διακένου	Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² K)
Μονός	6	-	5,7
Μονός	8	-	5
Διπλός	4-6-4	Αέρας	3,4
Διπλός	4-12-4	Αέρας	2,9
Διπλός - χαμηλής εκπομπής	4-10-4	Αέρας	2,0 - 2,4
Διπλός - χαμηλής εκπομπής	4-12-4	Αέρας	1,7 - 2,4
Διπλός - χαμηλής εκπομπής	4-6-4	Αργό	2,1 - 2,6
Διπλός - χαμηλής εκπομπής	4-12-4	Αργό	1,3 - 1,7

• Διάδοση της θερμότητας με μεταφορά

Στα υγρά και τα αέρια η θερμότητα διαδίδεται με μεταφορά. Κατά την μεταφορά αυτή, ποσότητες υγρού ή αερίου θερμαίνονται και μεταφέρονται σε ψυχρότερη περιοχή, όπου και προκαλούν την θέρμανσή της. Μπορεί να υπάρξει διάδοση μεταξύ στερεού και υγρού ή αερίου σώματος. Το ποσό της θερμότητας δίνεται από τη σχέση:

$$Q_h = h \cdot A (T_s - T_b)^5, \text{ όπου}$$

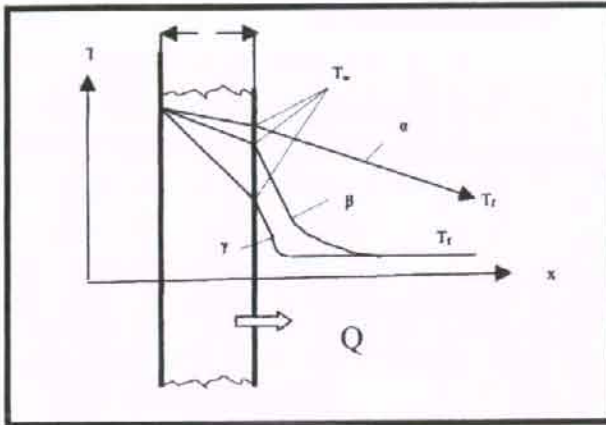
Q είναι ο ρυθμός ροής θερμότητας με μεταφορά (W),

h είναι ο συντελεστής αναλογίας ή επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και εξαρτάται από τη γεωμετρία των επιφανειών, τη φύση τους, αλλά και από το ρευστό, το οριακό στρώμα κ.α. (W/m²K),

⁵ Νόμος του Νεύτωνα

T_s είναι η θερμοκρασία στην επιφάνεια και

T_b είναι η θερμοκρασία στον κύριο όγκο του ρευστού.



Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας h: Ενδεικτικές τιμές	
h (W/m ² K)	
Ελεύθερη και εξαναγκασμένη μεταφορά: Αέριο	10-100
Ελεύθερη και εξαναγκασμένη μεταφορά: Υγρό	500-5000
Νερό που βράζει	Έως 20000
Ατμός που συμπυκνώνεται	Έως 60000

• Διάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία

Για την διάδοση της θερμότητας με αγωγή ή με μεταφορά χρειάζεται η παρουσία της ύλης (στερεά, υγρά ή αέρια). Η θερμότητα όμως διαδίδεται και στο κενό. Γνωστό παράδειγμα στη φύση είναι η θέρμανση της Γης από τον Ήλιο, όπου δεν υπάρχει μέσο διάδοσης.

Αυτός ο τρόπος διάδοσης της θερμότητας λέγεται διάδοση με ακτινοβολία και δίνεται από τον τύπο:

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{\text{περ.}}^4) \quad ^6, \text{ όπου}$$

Q είναι ο ρυθμός ροής θερμότητας από ακτινοβολία (W),

ε καλείται αφετικότητα του σώματος και είναι το μέτρο σύγκρισης του σώματος, όσον αφορά στην ικανότητα ακτινοβολίας με το μέλαν σώμα,

σ είναι η σταθερά του Boltzmann και ισούται με $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$,

A είναι η επιφάνεια που περικλείει το θερμαινόμενο χώρο (m²),

T_s είναι η θερμοκρασία στην επιφάνεια και

$T_{\text{περ.}}$ είναι η απόλυτη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

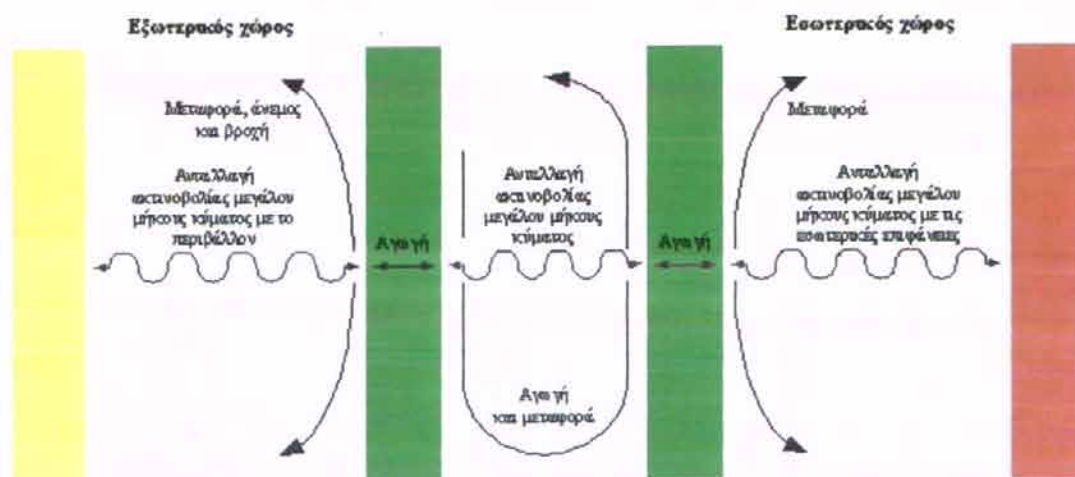
⁶ Νόμος των Stefan και Boltzmann

Η θερμική ακτινοβολία διαδίδεται στο χώρο με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (όμοια με τα φωτεινά), απορροφάται από τα διάφορα σώματα και τα θερμαίνει.

Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων, η μονάδα θερμότητας είναι το joule, ενώ στο Τεχνικό Σύστημα είναι η Βρετανική μονάδα θερμότητας (BTU) που ορίζεται σαν η αναγκαία θερμότητα για να αυξηθεί η θερμοκρασία μιας λίβρας νερού από τους 63 στους 64 βαθμούς Φαρενάιτ.

Η θερμίδα (cal) και η χιλιοθερμίδα (Kcal) ήταν η μονάδα που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τη θερμότητα. Οι μονάδες θερμότητας έχουν μεταξύ τους τις ακόλουθες σχέσεις: $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4186,8 \text{ joules} = 3968 \text{ BTU}$.

Οι θερμικές απώλειες στην περίπτωση παραθύρου με μονή υάλωση είναι ιδιαίτερα αυξημένες, λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας του γυαλιού. Αποτελεσματική αύξηση της θερμικής αντίστασης μπορεί να επιτευχθεί με χρήση διπλής υάλωσης, δηλαδή ενός δεύτερου φύλλου γυαλιού, που διαχωρίζεται από το πρώτο με διάκενο αέρα. Το διάκενο αυτό εξασφαλίζει επιπρόσθετη θερμική αντίσταση εξαιτίας της σχετικά χαμηλής, θερμικής αγωγιμότητας του αέρα (σε σχέση με αυτή του γυαλιού), ενώ το δεύτερο φύλλο γυαλιού, παρέχει επιπλέον μείωση των θερμικών απωλειών. Στο Σχήμα 2.5, παρουσιάζεται σχηματικά ο μηχανισμός θερμικών απωλειών για παράθυρο με διπλή υάλωση. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας στην περίπτωση της μονής υάλωσης υστερεί σημαντικά σε σχέση με την περίπτωση της διπλής υάλωσης (τιμές U-value 5,4 και 2,8 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ αντίστοιχα), αλλά στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις η βελτίωση αυτή δεν αρκεί για ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας και χρειάζεται μεγαλύτερη θερμομόνωση.

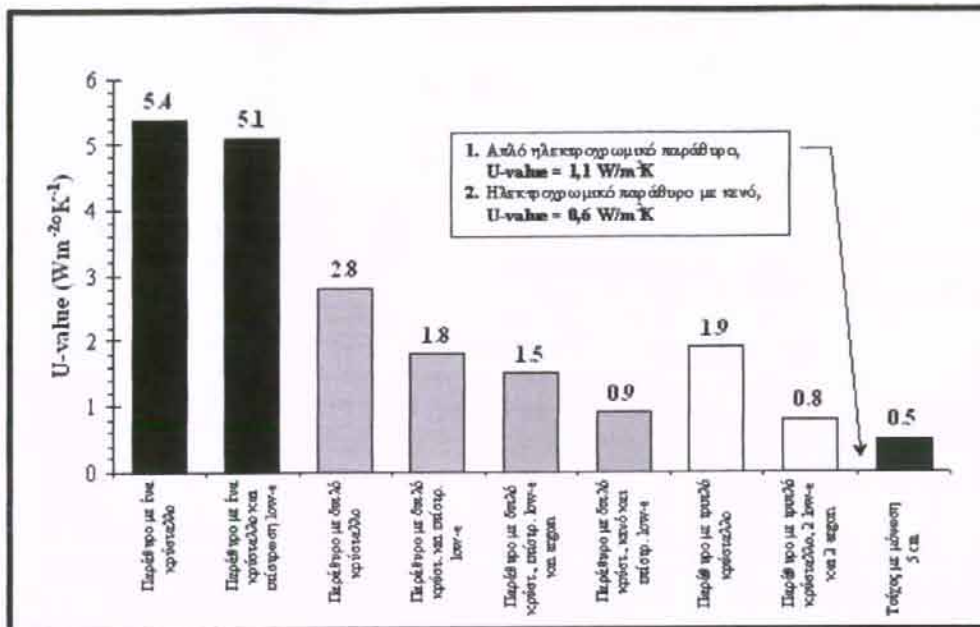


Σχήμα 2.5: Μηχανισμός θερμικών απωλειών στην περίπτωση παραθύρου με διπλή υάλωση

Η θερμική αντίσταση σε παράθυρα με διπλή υάλωση μπορεί να αυξηθεί:

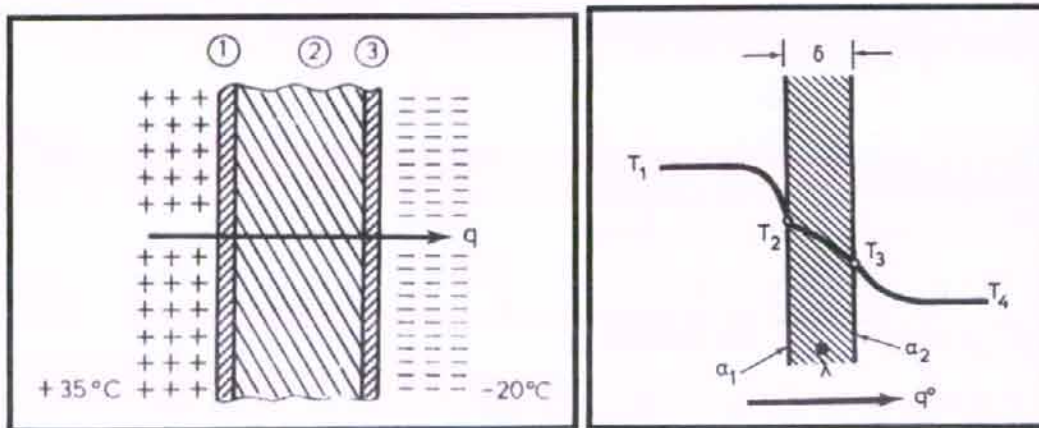
- 1) Με αύξηση του πλάτους του διάκενου: αυξάνοντας το πλάτος του διάκενου μπορεί να βελτιωθεί η θερμική αντίσταση μέχρι ένα ανώτατο όριο, (περί τα 15 mm – 16 mm).
- 2) Χρησιμοποιώντας επιστρώσεις χαμηλής εκπεμπιμότητας (low-e): η χρήση τέτοιων επιστρώσεων μπορεί να μειώσει δραστικά τη μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας ανάμεσα στα δύο κρύσταλλα. Το ποσό της θερμότητας που διαδίδεται μέσω ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό και φτάνει μέχρι και το 60% της συνολικής θερμότητας που διαδίδεται μέσω του διάκενου. Η επίστρωση χαμηλής εκπεμπιμότητας μπορεί να ελαττώσει έως και 75% τις απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία, μειώνοντας έτσι δραστικά και την τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας ($U\text{-value} * 1,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$).
- 3) Με πλήρωση του διάκενου με αέρια χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας σε σχέση με αυτή του αέρα: η χρήση αδρανών κυρίως αερίων (αργόν) μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας ($U\text{-value} * 1,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$).
- 4) Με χρήση διάκενου σε χαμηλή πίεση: σε αυτή την περίπτωση μηδενίζονται οι απώλειες λόγω αγωγής και μεταφοράς ($U\text{-value} * 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}^{-1}$). Τέτοιες λύσεις θεωρούνται ακόμη μη πρακτικές αλλά και ιδιαίτερα δαπανηρές.
- 5) Με συνδυασμό των παραπάνω τεχνικών ($U\text{-value} * 0,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

Στους παραπάνω μηχανισμούς ελάττωσης των θερμικών απωλειών θα πρέπει να προστεθεί και η χρήση τριπλών υαλώσεων στα παράθυρα. Ο συνδυασμός τριπλής υάλωσης με τις τεχνικές που αναφέρονται παραπάνω, μπορεί να δώσει τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας, οι οποίες μπορούν να προσεγγίσουν την τιμή τοίχου με μόνωση 5cm. Στο ραβδόγραμμα της επόμενης σελίδας, φαίνονται οι τιμές του $U\text{-value}$ για διάφορους συνδυασμούς υάλωσης (απλή, διπλή και τριπλή) με ταυτόχρονη χρήση επιστρώσεων low-e και αδρανών αερίων.



• Διάβαση

Η διάβαση χαρακτηρίζει το φαινόμενο μετάδοσης θερμότητας διαμέσου ενός μονού ή πολλαπλού τοιχώματος και δύο ρευστών, ανάμεσα από τα οποία βρίσκεται το τοίχωμα, όπως φαίνεται στο αριστερό σχήμα. Η θερμότητα φεύγει από τον υψηλότερης θερμοκρασίας αέρα και περνάει με συναγωγή στο πρώτο υλικό του τοιχώματος (σημείο 1). Η θερμότητα συνεχίζει να περνάει με αγωγή τα διάφορα υλικά μέχρι που φτάνει στο σημείο 3. Εκεί, η θερμότητα μεταδίδεται και πάλι με συναγωγή στον χαμηλότερης θερμοκρασίας αέρα.



Στο δεύτερο σχήμα (στα δεξιά), φαίνεται η απλή περίπτωση ενός επίπεδου τοιχώματος, το οποίο έχει πάχος δ και ειδική, θερμική αγωγιμότητα λ . Βρίσκεται μεταξύ δύο ρευστών με θερμοκρασίες T_1 και T_4 και ειδικών συναγωγιμοτήτων α_1 και α_2 . Στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$Q = (1/\kappa) * A * \Delta T$, όπου

Q είναι ο ρυθμός ροής θερμότητας από διάβαση (W),

A είναι η επιφάνεια που περικλείει το θερμαινόμενο χώρο (m²) και

ΔT είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του περιβάλλοντος T₁ και του θερμαινόμενου χώρου T₄ (° C).

Επίσης, $1/\kappa = (1/a_1) + (\delta/\lambda) + (1/a_2)$

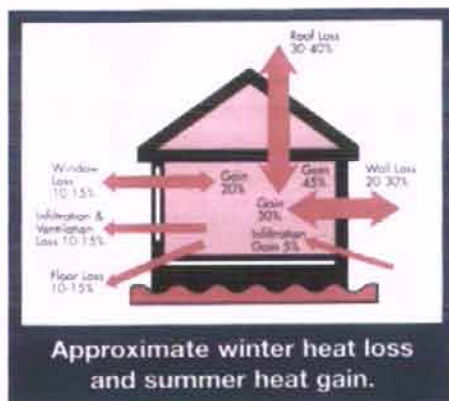
Το μέγεθος κ λέγεται συντελεστής διάβασης και έχει μονάδες W/m²K. Αν το τοίχωμα είναι πολλαπλό και αποτελείται από διαδοχικά στρώματα 1,2,3...n, με πάχη δ₁, δ₂, δ₃...δ_n και αντίστοιχες ειδικές αγωγιμότητες λ₁, λ₂, λ₃...λ_n, τότε η ειδική διαβατότητα θα είναι:

$$1/\kappa = (1/a_1) + (\sum_n \delta_i/\lambda_i) + (1/a_2)$$

Όπως είναι φυσικό, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, παρατηρείται ροή θερμότητας από το θερμαινόμενο χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον, αφού η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από αυτή του εσωτερικού χώρου που θερμαίνεται. Όταν συμβαίνει αυτό, λέμε ότι έχουμε θερμικές απώλειες. Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας ενός χώρου σε ένα επιθυμητό επίπεδο, θα πρέπει να γίνεται αναπλήρωση των θερμικών αυτών απωλειών από κάποια εσωτερική πηγή θερμότητας, όπως ένα αερόθερμο, ένα κλιματιστικό μηχανήμα, μια κεντρική μονάδα θέρμανσης κ.α.



Από την άλλη μεριά, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, έχουμε εισροή θερμότητας από το περιβάλλον προς τους εσωτερικούς χώρους. Τότε λέμε ότι έχουμε θερμικά κέρδη. Για να έχουμε λοιπόν την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό περιβάλλον, θα πρέπει τα θερμικά κέρδη του χώρου να αποβάλλονται από κάποιο κατάλληλο μηχανισμό, όπως ένα ψυκτικό μηχανήμα ή μία αντλία θερμότητας ή κάποιο σύστημα κεντρικού κλιματισμού κ.α.

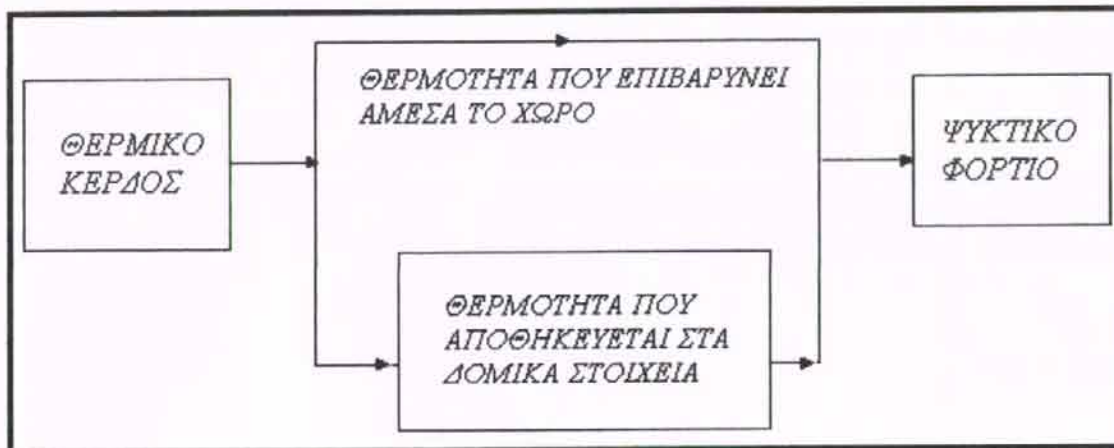


κατάλληλο μηχανισμό, όπως ένα ψυκτικό μηχανήμα ή μία αντλία θερμότητας ή κάποιο σύστημα κεντρικού κλιματισμού κ.α.

Οι θερμικές απώλειες και τα θερμικά κέρδη έχουν διαφορετικά ποσοστά ροής θερμότητας στα διάφορα μέρη της δομής ενός κτιρίου. Στη διπλανή εικόνα φαίνονται, κατά προσέγγιση, τα ποσοστά των θερμικών απωλειών και θερμικών

κερδών στα διάφορα κατασκευαστικά σημεία ενός κτιρίου.

Ο όρος ψυκτικά φορτία χρησιμοποιείται για να δηλώσει το ποσό της θερμότητας που προστίθεται στον κλιματιζόμενο χώρο στη μονάδα του χρόνου, από διάφορες πηγές και επιβαρύνει την κλιματιστική εγκατάσταση (Σχήμα 2.6). Παρόλο που τα ψυκτικά φορτία συνδέονται άμεσα με το καλοκαίρι, υπάρχει η πιθανότητα να παρατηρηθούν ψυκτικά φορτία ακόμα και κατά την χειμερινή περίοδο. Αυτό μπορεί να συμβεί αν έχουμε έκλυση θερμότητας από μηχανήματα μεγάλης ισχύος που βρίσκονται μέσα στον χώρο.



Σχήμα 2.6: Διάγραμμα ροής θερμότητας που παρουσιάζει τα κέρδη θερμότητας, αποθήκευση θερμότητας και το ψυκτικό φορτίο

2.1.2 Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας

Η ταχύτητα μεταφοράς της θερμότητας δεν είναι παντού η ίδια και διαφέρει ανάλογα με τα υλικά κατασκευής. Για παράδειγμα, όταν υπάρχει θερμομόνωση, η ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται η θερμότητα, μέσω της θερμομόνωσης, είναι πολύ χαμηλή, οπότε αρκετές ώρες αργότερα μπορεί να έχουμε ένα πολύ ζεστό σπίτι, αν και στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατεί δροσιά. Αλλά, όταν υπάρχει θερμομόνωση, τα ποσά της θερμότητας που φθάνουν στο εσωτερικό του σπιτιού είναι μικρότερα.

Θερμική ροή ονομάζεται ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα σε σχέση με το χρόνο dt

$$Q = \Delta Q/dt$$

2.1.3 Η θερμοχωρητικότητα των κτιρίων

Θερμοχωρητικότητα είναι ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα σε σχέση με την ανύψωση της θερμοκρασίας του ΔT .

$$C = \delta Q/dT$$

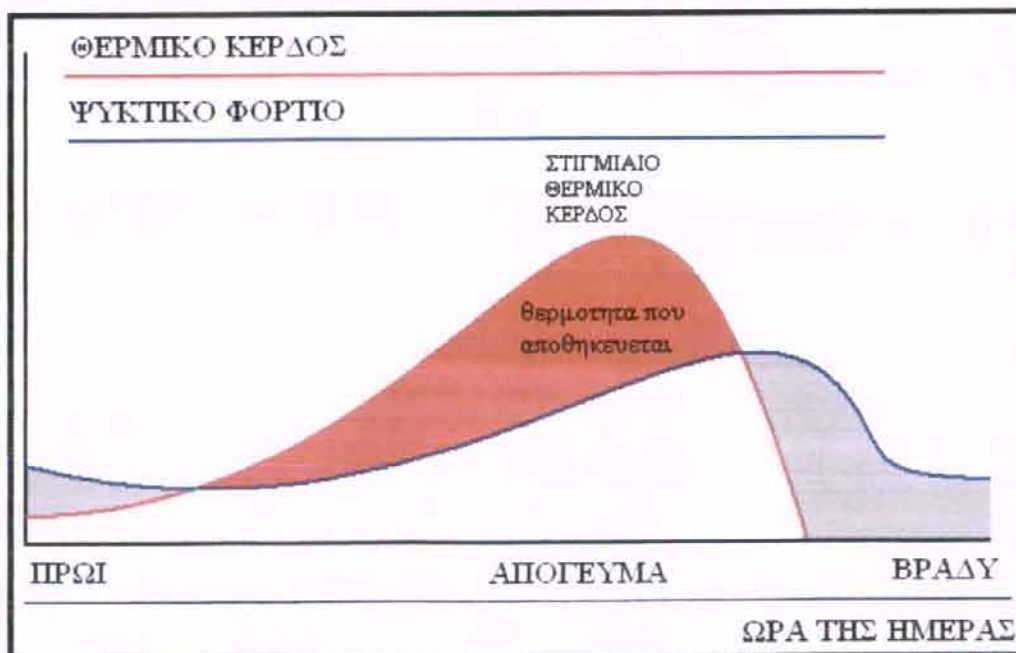
Η ειδική θερμοχωρητικότητα αναφέρεται στη μονάδα της μάζας, ενώ η

γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα αναφέρεται σε ένα mole του υλικού.

Εν γένει, η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού δεν είναι μια σταθερά, αλλά εξαρτάται από τη διαδικασία που ακολουθείται κατά τη θέρμανση του υλικού. Δηλαδή, για την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας ΔT , διαφορετικές διαδικασίες θέρμανσης μπορεί να απαιτούν διαφορετικά ποσά θερμότητας ΔQ .

Τα δομικά στοιχεία του κάθε κτιρίου αποθηκεύουν πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας. Όταν υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης τόσο μεγάλης ποσότητας θερμότητας, τότε λέμε ότι το κτίριο έχει μεγάλη ενεργό θερμοχωρητικότητα. Το αποτέλεσμα της μεγάλης θερμοχωρητικότητας είναι ότι το θερμικό ή το ψυκτικό φορτίο είναι μικρότερο από το άθροισμα όλων των ποσοτήτων θερμότητας που εισέρχονται ή εξέρχονται από ένα συγκεκριμένο χώρο σε μία ορισμένη χρονική στιγμή (Σχήμα 2.7).

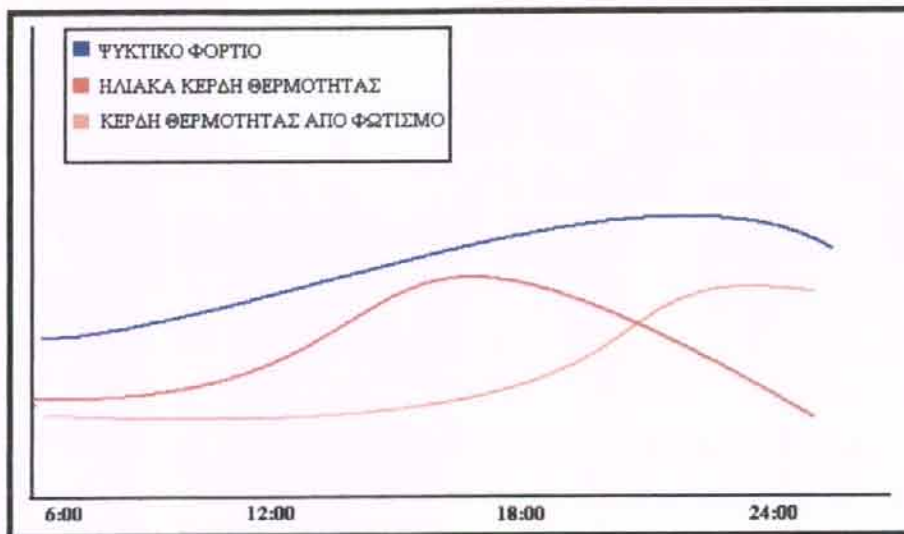
Στην περίπτωση της ψύξης θεωρούμε ότι στα δομικά στοιχεία της οικοδομής βρίσκεται αποθηκευμένη μια μικρή ποσότητα θερμότητας και γι' αυτό το λόγο τα δομικά στοιχεία είναι σε θέση να απορροφούν ευκολότερα την εισερχόμενη στο χώρο θερμότητα. Η εγκατάσταση κλιματισμού λειτουργεί για να εξισορροπεί τα ψυκτικά φορτία, αλλά και για να διατηρεί την επιφάνεια των τοίχων σε χαμηλή θερμοκρασία, δηλαδή την αποθηκευμένη στα δομικά στοιχεία θερμότητα, σε χαμηλά επίπεδα. Ο χώρος διατηρείται δροσερός με τη βοήθεια των δομικών στοιχείων, που θα πρέπει να διατηρούνται δροσερά για να ψύχουν τον περιεχόμενο αέρα και να απορροφούν συγχρόνως ένα μέρος από την εισερχόμενη θερμότητα.



Σχήμα 2.7: Διαφορά μεταξύ στιγμιαίου θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου ως αποτέλεσμα της αποθήκευσης θερμότητας

2.1.4 Μεταγχορονισμός των ψυκτικών φορτίων

Ο μεταγχορονισμός είναι το φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο τα ψυκτικά φορτία δεν παρουσιάζονται όλα μαζί. Αν για παράδειγμα, έχουμε φορτία από ηλιακή ακτινοβολία 5000 W κατά την ημέρα και από φώτα 1000 W κατά τη νύχτα, το ψυκτικό φορτίο δεν είναι το άθροισμα όλων των φορτίων, γιατί τα δύο αυτά είδη δεν παρουσιάζονται την ίδια χρονική περίοδο. Το σχήμα 2.8 αναφέρεται στο ψυκτικό φορτίο κτιρίου με μεγάλα κέρδη θερμότητας από φωτισμό. Όπως φαίνεται, τα δύο διαφορετικά κέρδη θερμότητας δε συμπίπτουν χρονικά, με αποτέλεσμα το ψυκτικό φορτίο να μην είναι το άθροισμά τους, αλλά μικρότερο αυτού.



Σχήμα 2.8: Μεταγχορονισμός θερμικών κερδών

2.2 Είδη θερμικών κερδών

Οι απώλειες, που πρέπει να μειωθούν για να έχουμε την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό περιβάλλον, διαχωρίζονται σε δύο είδη σύμφωνα με το αν οι αιτίες που τις προκαλούν προέρχονται από τον εσωτερικό χώρο ή βρίσκονται στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι αιτίες αυτές, όταν πρόκειται για "θερινό" κλιματισμό ονομάζονται ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη και διακρίνονται σε εξωτερικά και εσωτερικά.

2.2.1 Εξωτερικά θερμικά κέρδη

Τα εξωτερικά θερμικά κέρδη είναι:

- Άμεση και δι' αγωγής μεταφερόμενη ηλιακή ακτινοβολία, από ηλιοφανή παράθυρα.

- Μεταφορά θερμότητας μέσω τοιχωμάτων, θυρών, παραθύρων κ.λπ., λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα.
- Μεταφορά θερμότητας λόγω άμεσης προσβολής (υπερθέρμανσης) ηλιοφανών τοιχωμάτων ή άλλων στοιχείων του περιβλήματος της οικοδομής.
- Θερμικά κέρδη τα οποία οφείλονται στην εισροή θερμού αέρα, μέσω των ανοιγμάτων και χαραμάδων του χώρου.

2.2.2 Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη είναι:

- Θερμικά κέρδη λόγω λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροφωτισμού (θερμές πηγές φωτός).
- Θερμικά φορτία τα οποία οφείλονται στον φυσικό μεταβολισμό των ατόμων (ή άλλων ζωντανών οργανισμών) που βρίσκονται στον χώρο.
- Θερμικά φορτία τα οποία προκαλούνται εξαιτίας της λειτουργίας θερμικών ή ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών μηχανών / συσκευών, στον κλιματιζόμενο χώρο.
- Θερμικά φορτία τα οποία δημιουργούνται από άτομα ή μηχανές λόγω δραστηριοτήτων ή διαδικασιών παραγωγής έργου.

Τα αναφερόμενα ως θερμικά κέρδη λόγω εισόδου αέρα, φυσικού μεταβολισμού και ανθρώπινης δραστηριότητας αναλύονται (και εξετάζονται) ως κέρδη αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας.

Το ποσό θερμότητας που απομακρύνεται κατά την υγραποίηση των υδρατμών μιας ποσότητας αέρα, αλλά χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα και συμβολίζεται με Q_L . Η αντίστοιχη μεταβολή της ενθαλπίας ονομάζεται λανθάνουσα διαφορά ενθαλπίας και συμβολίζεται με Δh_L .

Το ποσό θερμότητας που απομακρύνεται κατά την ψύξη μιας ποσότητας αέρα, χωρίς να λαμβάνει χώρα υγραποίηση υδρατμών, ονομάζεται αισθητή θερμότητα και συμβολίζεται με Q_S . Η αντίστοιχη μεταβολή της ενθαλπίας, ονομάζεται αισθητή διαφορά ενθαλπίας και συμβολίζεται με Δh_S .

Το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας $Q_S + Q_L$, ονομάζεται ολική θερμότητα. Αντίστοιχα το άθροισμα $\Delta h_L + \Delta h_S$, ονομάζεται ολική διαφορά ενθαλπίας.

2.3 Υπολογισμός θερμικών κερδών με τη μέθοδο ASHRAE

Το μέγεθος των ψυκτικών φορτίων μεταβάλλεται με το χρόνο (μήνα, ώρα της ημέρας), ανάλογα με τον τόπο (γεωγραφικό πλάτος, κλιματολογικές συνθήκες), τον προσανατολισμό και το είδος του εξωτερικού, δομικού στοιχείου. Επειδή το σύστημα κλιματισμού πρέπει να αντισταθμίζει τα μέγιστα φορτία, τα οποία εμφανίζονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, πρέπει να γνωρίζουμε τον τρόπο εύρεσής τους.

Μία γνωστή και αξιόπιστη μέθοδος για τον υπολογισμό των θερμικών κερδών είναι της ASHRAE. Κατά την ASHRAE η ποσότητα θερμότητας που εισρέει σ' ένα κτίριο, μπορεί να υπολογιστεί, αφενός με βάση ισοδύναμες τιμές διαφοράς θερμοκρασίας (CLTD), ώστε να μη χρειαστεί χωριστή εξέταση για την επίδραση της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα και της ηλιακής ακτινοβολίας και αφετέρου από πλήθος διορθωτικών συντελεστών για τον προσανατολισμό, το μήνα, την ώρα κ.α. Πολλοί τέτοιοι πίνακες βρίσκονται στο Παράρτημα, στο τέλος της εργασίας αυτής και η χρησιμότητά τους φαίνεται στη μεθοδολογία του υπολογισμού των θερμικών κερδών που ακολουθεί.

Για κάθε χώρο που θα κλιματιστεί, θα πρέπει να συλλεχθούν πληροφορίες για:

α) τα δομικά χαρακτηριστικά (λ, c_p, U κ.α.) και τη φύση της κατασκευής (τοιχοί, δάπεδα, οροφές, ανοίγματα, κ.ά.)
β) τη γεωμετρία και τη χρήση του χώρου
γ) την παραμονή, διαμονή ή εργασία ανθρώπων σε αυτόν
δ) τα θερμικά φορτία τα οποία προκύπτουν από τη διέλευση και λειτουργία δικτύων και αγωγών (θέρμανση, φωτισμός, δίκτυα νερού, ψυγρών ή θερμών ρευστών, κ.ά.)
ε) τη λειτουργία μηχανών, συσκευών
στ) την επίδραση του προσανατολισμού και ειδικότερα της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ακριβής εκτίμηση όλων των παραπάνω παραγόντων είναι πρακτικά αδύνατη, γιατί εξαρτάται από πολλούς μεταβλητούς παράγοντες. Η παρουσία π.χ. εργαζόμενων ατόμων σ' ένα χώρο, καθώς και η ένταση της εργασίας κατά τις κρίσιμες ώρες που εμφανίζει αιχμή το θερμικό φορτίο, είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με μεγάλη αξιοπιστία. Πρέπει όμως ο μελετητής να εκτιμήσει με ικανοποιητική προσέγγιση την τάξη μεγέθους, άρα και την τεχνική επίδραση κάθε παράγοντα, ώστε να αποδεχθεί σε κάθε περίπτωση κάποιες παραδοχές ή να επιμείνει σε δύσκολους και χρονοβόρους υπολογισμούς.

2.3.1 Συναγωγή μέσω της εξωτερικής δομής κατά ASHRAE

Συναγωγή, (συνδυασμός αγωγής-μεταφοράς), μέσω των εξωτερικών τοίχων, της στέγης και των γυάλινων επιφανειών

Τα θερμικά κέρδη μέσω της εξωτερικής δομής βρίσκονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q = U * A * CLTD_c, \text{ όπου:}$$

Q = καθαρό θερμικό κέρδος λόγω συναγωγής μέσω της στέγης, του τοίχου, ή του γυαλιού.	BTU / hr W
U = γενικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για τη στέγη, τον τοίχο, ή το γυαλί.	BTU / hr*ft ² *F W /m ² *K
A = εμβαδόν της στέγης, του τοίχου, ή του γυαλιού.	ft ² m ²
CLTD_c = (διορθωμένη) διαφορά θερμοκρασίας,	
$CLTD_c = [(CLTD + LM) * K + (78 - t_R) + (t_0 - 85)] * f$	F °C
Για τζάμια χρησιμοποιούμε: $CLTD_c = CLTD + (78 - t_R) + (t_0 - 85)$	

<p>CLTD = Ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά, είναι μια διαφορά θερμοκρασίας που προσμετρά την αποθήκευση θερμότητας. Η ASHRAE έχει υπολογίσει και καταχωρίσει τις τιμές CLTD για κάθε υλικό η κατασκευή σε πίνακες.</p>				
ΣΤΕΓΕΣ	ΠΙΝΑΚΑΣ 3			
ΤΟΙΧΟΥΣ	ΠΙΝΑΚΕΣ 4 & 5			
ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ	ΠΙΝΑΚΑΣ 7			
<p>U = γενικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας. Από τους παραπάνω πίνακες θα παίρνουμε και την αντίστοιχη τιμή U που έχει το υλικό.</p>				
<p>LM = διόρθωση για το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα</p>	ΠΙΝΑΚΑΣ 2			
<p>K = διόρθωση για το χρώμα της επιφάνειας</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>• K = 1,0 για σκοτεινά χρώματα ή βιομηχανικές περιοχές</td> </tr> <tr> <td>• K = 0,5 για ανοικτό χρώμα στέγης</td> </tr> <tr> <td>• K = 0,65 για ανοικτό χρώμα τοίχου</td> </tr> </table> <p>Συστήνεται K = 1,0 σε τόπους όπου τα χρώματα μπορεί να σκουραίνουν από τη ρύπανση ή άλλες αιτίες.</p>		• K = 1,0 για σκοτεινά χρώματα ή βιομηχανικές περιοχές	• K = 0,5 για ανοικτό χρώμα στέγης	• K = 0,65 για ανοικτό χρώμα τοίχου
• K = 1,0 για σκοτεινά χρώματα ή βιομηχανικές περιοχές				
• K = 0,5 για ανοικτό χρώμα στέγης				
• K = 0,65 για ανοικτό χρώμα τοίχου				
<p>t_R = θερμοκρασία δωματίου</p> <p>t_o = μέση, εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού (περιβάλλοντος)</p>	ΠΙΝΑΚΑΣ 1			

<p>Η εσωτερική θερμοκρασία για επίτευξη συνθηκών άνεσης το καλοκαίρι είναι 78-80 F, DB και η σχετική υγρασία (RH) 50%, συνήθως. Η εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες. Ο τρόπος προσδιορισμού και τιμές αυτής για διάφορες ελληνικές πόλεις δίνονται στον πίνακα 1.</p>	<p>F, °C</p>
<p>f = διόρθωση για τον εξαερισμό οροφής (για τη στέγη μόνο)</p>	
<p>f = 0,75 για ανεμιστήρα σε σοφίτα ή ψευδοροφή, διαφορετικά f = 1,0.</p>	

2.3.2 Συναγωγή μέσω της εσωτερικής δομής

Η θερμότητα που ρέει από εσωτερικούς (τυχόν) μη κλιματιζόμενους χώρους στους κλιματιζόμενους, μέσω χωρισμάτων, πατώματων και οροφών, μπορεί να βρεθεί από την εξίσωση:

$$Q = U \cdot A \cdot TD, \text{ όπου}$$

<p>Q = ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μέσω χωρίσματος, πατώματος, ή οροφής.</p>	<p>BTU / hr W</p>
<p>U = γενικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για τα χωρίσματα, τα πατώματα, ή την οροφή.</p>	<p>BTU / hr*ft²*F W /m²*K</p>
<p>A = εμβαδόν του χωρίσματος, του πατώματος, ή της οροφής.</p>	<p>ft² m²</p>

<p>TD = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μη κλιματιζόμενου και κλιματιζόμενου χώρου</p>	<p>F °C</p>
<p>Εάν η θερμοκρασία του μη κλιματιζόμενου χώρου δεν είναι γνωστή, μια συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση είναι να υποθέσουμε ότι είναι κατά 5F χαμηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Χώροι με πηγές θερμότητας, όπως λεβητοστάσια, μπορούν να είναι σε ακόμα υψηλότερη θερμοκρασία.</p>	

2.3.3 Ηλιακή ακτινοβολία μέσω γυάλινων επιφανειών

Η ακτινοβολούμενη, από τον ήλιο, ενέργεια περνά μέσω των διαφανών υλικών, όπως το γυαλί και γίνεται θερμικό κέρδος για το δωμάτιο. Η τιμή της μεταβάλλεται με το χρόνο, τον προσανατολισμό, τη σκίαση, και την επίδραση αποθήκευσης. Το καθαρό θερμικό κέρδος μπορεί να βρεθεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q = SHGF * A * SC * CLF$$

<p>Q = καθαρό, ηλιακό, θερμικό κέρδος ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού</p>	<p>BTU / hr W</p>
<p>SHGF = μέγιστος παράγοντας ηλιακού, θερμικού κέρδους</p> <p>Ο μέγιστος παράγοντας ηλιακού, θερμικού κέρδους (SHGF) είναι το μέγιστο, ηλιακό, θερμικό κέρδος μέσω μονού καθαρού τζαμιού πάχους 1/8 in σε ένα δεδομένο μήνα, προσανατολισμό, και γεωγραφικό πλάτος. Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 8 για την εικοστή πρώτη ημέρα κάθε μήνα.</p>	<p>BTU / hr*ft² W /m²</p>
<p>A = εμβαδό του τζαμιού</p>	<p>ft² m²</p>

SC = συντελεστής σκίασης

Για διαφορετικούς, από τον προαναφερθέντα, τύπους τζαμιών (1/8"), καθώς και χρήση μηχανισμών σκίασης χρησιμοποιείται ο συντελεστής SC, τιμές του οποίου δίνονται στον **πίνακα 9**.

CLF = παράγοντας ψυκτικού φορτίου για το τζάμι

Ο παράγοντας CLF περιέχει την αποθήκευση μέρους του ηλιακού, θερμικού κέρδους. Τιμές του, δίνονται στον **πίνακα 10** για ελαφρές, μεσαίες και βαριές κατασκευές και παρουσία ή απουσία εσωτερικής σκίασης.

2.3.4 Φωτισμός

Η εξίσωση για τον καθορισμό του κέρδους θερμότητας από το φωτισμό είναι:

$$Q = 3.4 * W * BF * CLF$$

Q = καθαρό θερμικό κέρδος από το φωτισμό, BTU/hr	BTU / hr W
W = ισχύς φωτισμού. Η τιμή 3,4 μετατρέπει τα Watt σε BTU/hr.	Watt
BF = παράγοντας τύπου φωτισμού	
<ul style="list-style-type: none"> • Ο παράγοντας BF είναι 1,25 για φωτισμό φθορισμού • Για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως BF = 1,0 	

CLF = παράγοντας φορτίου ψύξης για το φωτισμό

Οι παράγοντας CLF προσμετρά την αποθήκευση μέρους του κέρδους της θερμότητας φωτισμού. Η επίδραση αποθήκευσης εξαρτάται από το πόση ώρα ο φωτισμός και το σύστημα ψύξης βρίσκονται σε λειτουργία, από το είδος κατασκευής του κτιρίου, τον τρόπο ανάρτησης φωτισμού και το ρυθμό εξαερισμού. Συνήθως CLF=1,0.

2.3.5 Άνθρωποι

Το θερμικό κέρδος από τους ανθρώπους αποτελείται από δύο μέρη, την αισθητή θερμότητα και τη λανθάνουσα, ως αποτέλεσμα κυρίως της εφίδρωσης. Οι εξισώσεις για τα αισθητά και λανθάνοντα, θερμικά κέρδη είναι:

$$Q_s = q_s * n * CLF \quad \text{και} \quad Q_l = q_l * n$$

Q_s, Q_l = αισθητά και λανθάνοντα, θερμικά κέρδη	BTU / hr W
q_s, q_l = αισθητά και λανθάνοντα, θερμικά κέρδη ανά άτομο	BTU / hr W
n = αριθμός ανθρώπων	
<p>Το θερμικό κέρδος από τους ανθρώπους εξαρτάται από τη σωματική τους δραστηριότητα. Ο πίνακας 11 απαριθμεί τιμές για ορισμένες χαρακτηριστικές δραστηριότητες για θερμοκρασία δωματίου 78 F DB.</p>	

CLF = παράγοντας ψυκτικού φορτίου για τους ανθρώπους

Ο παράγοντας αποθήκευσης θερμότητας CLF ισχύει για το κέρδος αισθητής θερμότητας από τους ανθρώπους. Εάν το σύστημα κλιματισμού κλείνει τη νύχτα, CLF = 1. Διαφορετικά, βρίσκουμε την τιμή του CLF για τους ανθρώπους από πίνακες.

2.3.6 Εξοπλισμός

Το θερμικό κέρδος από τον εξοπλισμό μπορεί μερικές φορές να βρεθεί άμεσα από στοιχεία που ενδεχομένως παρέχει ο κατασκευαστής του, που αφορούν διακοπτόμενη χρήση του κλιματισμού. Κάποιες συσκευές παράγουν και αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα. Σχετικές τιμές για διάφορες συσκευές παρουσιάζονται στον **πίνακα 12**.

2.3.7 Θερμότητα από τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα μέσω ανοιγμάτων

Η διείσδυση αέρα μέσω χαραμιάδων στην περίμετρο παραθύρων ή θυρών προκαλεί και αισθητό και λανθάνον θερμικό κέρδος στους εσωτερικούς χώρους. Τα κέρδη αυτά υπολογίζονται ως εξής:

$$Q_s = 1.1 * CFM * TC \quad \& \quad Q_i = 0.68 * CFM * (W_o - W_i), \text{ όπου}$$

Q_s, Q_i = αισθητά και λανθάνοντα, ψυκτικά φορτία από τον αέρα διείσδυσης	BTU / hr W
CFM = ρυθμός διείσδυσης αέρα. Πίνακας 13.	ft³ / min.
TC = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αέρα περιβάλλοντος και εσωτερικού	F °C
W_o, W_j = ειδική υγρασία εξωτερικού και εσωτερικού αέρα	gr w./lb d.a.

Τα περισσότερα συστήματα θερινού κλιματισμού παρέχουν μηχανικό εξαερισμό με εξωτερικό αέρα, γεγονός που μειώνει ή εξαλείφει τη διείσδυση, επειδή δημιουργείται έτσι υψηλότερη πίεση στο εσωτερικό του κτιρίου σε σχέση με το περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή, ο αέρας εξαερισμού δεν αποτελεί φορτίο του εσωτερικού χώρου, αλλά φορτίο του κεντρικού συστήματος κλιματισμού. Πολλά μοντέρνα κτίρια έχουν σφραγισμένα παράθυρα και ως εκ τούτου μηδενικό κέρδος διείσδυσης, εκτός από τις εισόδους.

2.3.8 Ψυκτικό φορτίο χώρου

Ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα πρέπει να αφαιρεθεί από ένα χώρο, ονομάζεται ψυκτικό φορτίο χώρου και είναι το άθροισμα των διορθωμένων, καθαρών, θερμικών κερδών.

2.3.9 Μέγιστα ψυκτικά φορτία χώρων

Τα μέγιστα ψυκτικά φορτία παρουσιάζονται:

- Για δυτικά προσανατολισμένα τζάμια στα μέσα καλοκαιριού, το απόγευμα.
- Για ανατολικά προσανατολισμένα τζάμια στις αρχές ή μέσα καλοκαιριού, νωρίς το πρωί.
- Για νότια προσανατολισμένα τζάμια μέγιστα ηλιακά θερμικά κέρδη εμφανίζονται το φθινόπωρο ή το χειμώνα, νωρίς το απόγευμα.
- Για νοτιοδυτικά προσανατολισμένα τζάμια μέγιστα, ηλιακά, θερμικά κέρδη εμφανίζονται το φθινόπωρο, το απόγευμα.
- Για τις στέγες εμφανίζονται το καλοκαίρι, το απόγευμα ή το βράδυ.
- Για τους τοίχους εμφανίζονται το καλοκαίρι, το απόγευμα ή το βράδυ.

2.3.10 Μέγιστα ψυκτικά φορτία κτιρίων

Η τιμή του μέγιστου φορτίου κάθε χώρου καθορίζει το ρυθμό ψύξης σε κάθε δωμάτιο. Εάν τα μέγιστα θερμικά κέρδη κάθε δωματίου προστεθούν, το άθροισμα προκύπτει μεγαλύτερο από το μέγιστο ψυκτικό φορτίο που απαιτείται για ολόκληρο το κτίριο. Αυτό συμβαίνει, επειδή τα μέγιστα θερμικά κέρδη στους επιμέρους χώρους δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα. Επομένως, ο σχεδιαστής πρέπει επίσης να καθορίσει το μήνα του έτους και την ώρα της ημέρας, όπου το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου είναι μέγιστο και στη συνέχεια να το υπολογίσει. Δίνονται οι ακόλουθες οδηγίες:

- Για κτίρια τετραγωνικής, περίπου, διαμόρφωσης με παρόμοια κατασκευή στους τέσσερις τοίχους, το μέγιστο φορτίο εμφανίζεται συνήθως το καλοκαίρι, αργά το απόγευμα. Αυτό συμβαίνει, επειδή η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη τότε, και δεν υπάρχει καμία ειδική επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας σε καμιά πλευρά του κτιρίου.
- Για κτίρια με εκτεταμένη έκθεση σε νότιο ή νοτιοδυτικό προσανατολισμό, τα οποία έχουν μεγάλες, γυάλινες επιφάνειες, το μέγιστο φορτίο μπορεί να εμφανιστεί το φθινόπωρο, γύρω στο μεσημέρι, επειδή τότε η ακτινοβολία είναι υψηλότερη. Αυτή η περίπτωση απαιτεί προσεκτική ανάλυση.
- Για κτίρια ενός ορόφου με πολύ μεγάλη επιφάνεια στέγης, το μέγιστο φορτίο εμφανίζεται συνήθως το καλοκαίρι, το απόγευμα.

2.3.11 Ψυκτικό φορτίο κλιματισμού

Αφού καθοριστούν τα μέγιστα κέρδη αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας του κτιρίου, το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί το ψυκτικό φορτίο του κλιματιστικού εξοπλισμού. Αυτό θα είναι μεγαλύτερο από το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου, επειδή υπάρχουν πρόσθετα κέρδη θερμότητας στο σύστημα κλιματισμού που δεν προέρχονται από τα κλιματιζόμενα δωμάτια. Αυτά τα κέρδη μπορούν να προέρχονται από:

- Εξαερισμό (εξωτερικό αέρα)
- Κέρδη θερμότητας στους αεραγωγούς
- Θερμότητα που παράγεται από τους ανεμιστήρες και τις αντλίες των συστημάτων κλιματισμού
- Διαρροή αέρα από τους αεραγωγούς

2.3.12 Ανύψωση θερμοκρασίας


Οι υπολογισμοί ψυκτικών φορτίων που έχουν περιγραφεί ανωτέρω, βασίζονται στη διατήρηση σταθερής, εσωτερικής θερμοκρασίας. Επιτρέποντας σε αυτή να ανέρχεται πάνω από το επίπεδο που έχει τεθεί στο θερμοστάτη - ανύψωση θερμοκρασίας - το φορτίο μειώνεται περαιτέρω. Οι σχετικοί υπολογισμοί απαιτούν ωριαία ανάλυση των φορτίων. Επειδή, για εξοικονόμηση ενέργειας, οι εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού είναι αρκετά υψηλές, δεν υπάρχει ανάγκη για διόρθωση σε σχέση με τη θερμοκρασιακή ανύψωση, παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

Σε πολύ μεγάλα κτίρια ο μελετητής μπορεί συχνά να μειώσει το υπολογισμένο μέγιστο φορτίο, θεωρώντας ότι δεν γίνεται ταυτόχρονη χρήση όλων των χώρων. Κέρδη από ανθρώπους και φώτα μπορούν να αλλάζουν στο χρόνο. Σε ένα μεγάλο εκπαιδευτικό κτίριο ή συγκρότημα κτιρίων για παράδειγμα, οι φοιτητές μπορεί να μετακινηθούν από τις τάξεις σε ένα μεγάλο αμφιθέατρο. Είναι λάθος και σπατάλη ενέργειας να υποτεθεί ότι αυτοί οι χώροι χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα κατά τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου κλιματισμού. Τυπικοί παράγοντες για μη ταυτόχρονη χρήση κυμαίνονται από 0,70-0,90 για ανθρώπους και φώτα. Κάθε περίπτωση απαιτεί ιδιαίτερη ανάλυση.

2.3.13 Συνθήκες αέρα προσαγωγής

Αφού υπολογισθούν τα αισθητά και λανθάνοντα θερμικά κέρδη, οι συνθήκες αέρα προσαγωγής (παροχή ροής, θερμοκρασία και υγρασία), αναγκαίες για την εξασφάλιση των συνθηκών άνεσης των χώρων, προσδιορίζονται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη.

Κεφάλαιο τρίτο: Υπολογισμός θερμικών κερδών του χώρου του εργαστηρίου των Η.Μ.Ε

 το κεφάλαιο αυτό, θα υπολογιστούν τα ολικά θερμικά κέρδη για το χώρο του εργαστηρίου, σύμφωνα με τη μέθοδο της ASHRAE⁷. Οι πίνακες που θα χρησιμοποιηθούν στους παρακάτω υπολογισμούς βρίσκονται στο Παράρτημα. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, υπάρχει το δομικό σχέδιο του χώρου, το οποίο δίνει στοιχεία για τον προσανατολισμό και τις διαστάσεις των δομικών στοιχείων.

3.1 Στοιχεία της δομής του κτιρίου

Δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου⁸

- Στέγη κτιρίου: συμπαγής, 6'', 1'' μόνωση, σκουρόχρωμη και επιφάνεια 180,73ft²
- Νότιος τοίχος: 4'' διπλό, κοινό τούβλο με κενό αέρα και φινίρισμα, ανοιχτόχρωμος, με επιφάνεια 228,6ft²
- Νότιο, συμπαγές δοκάρι, κάθετο και οριζόντιο, 20'', με φινίρισμα, ανοιχτόχρωμο, με συνολική επιφάνεια 30,51ft²
- Δυτικό, συμπαγές δοκάρι, κάθετο και οριζόντιο, 20'', με φινίρισμα, ανοιχτόχρωμο, με επιφάνεια 10,22ft²
- Ξύλινο χώρισμα / θύρα, με συνολική επιφάνεια 67,3ft²
- Μονό τζάμι ελαφριάς κατασκευής, με σκίαση, συνολικής επιφάνειας 24,21ft²

Επιπλέον στοιχεία μελέτης:

- Φωτισμός φθορίου 8*36W
- Δύο Η/Υ γραφείου
- Δύο εργαζόμενοι
- Εσωτερική θερμοκρασία για την επίτευξη συνθηκών άνεσης T_R 78F

⁷ Βλ. Κεφάλαιο 2

⁸ Οι επιφάνειες των δομικών στοιχείων έχουν μετατραπεί σε ft² για τις ανάγκες της μεθόδου

3.2 Υπολογισμοί θερμικών κερδών

Υπολογισμός στέγης

Τα μέγιστα κέρδη θερμότητας λόγω συναγωγής από τη στέγη, δίνονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD_c$$

Και

$$CLTD = [(CLTD + LM) \cdot K + (78 - TR) + (T_o - 85)] \cdot F$$

$$U = 0,192 \text{ (Πίνακας 3)}$$

$$CLTD \rightarrow 18:00 \text{ και } 19:00 \rightarrow 45 \text{ (Πίνακας 3)}$$

$$LM \rightarrow \text{Ιούνιος: } +2$$

$$K \rightarrow 1 \text{ (σκούρα επιφάνεια)}$$

$$F \rightarrow 1 \text{ (χωρίς ψευδοροφή)}$$

$$TR \rightarrow 78 \text{ (εσωτερική θερμοκρασία)}$$

$$T_o \rightarrow 95 \text{ (θερμοκρασία περιβάλλοντος Πάτρας)}$$

$$CLTD_c = [(45 + 2) \cdot 1 + (78 - 78) + (95 - 85)] \cdot 1 = 47 + 10 = 57 \cdot F$$

$$Q = 0,192 \cdot 180,73 \cdot 57 = \mathbf{1977 \text{ BTU/hr}}$$

Υπολογισμός νότιου τοίχου

Τα μέγιστα κέρδη θερμότητας λόγω συναγωγής από το νότιο τοίχο, δίνονται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD_c$$

$$U = 0,151 - 0,231 \approx 0,2 \text{ (Πίνακας 4)}$$

$$A = 10 \cdot 22,86 = 228,6 \text{ Ft}^2$$

$$CLTD = [(CLTD + LM) \cdot K + (78 - TR) + (T_o - 85)] \cdot F$$

$$CLTD \rightarrow 20:00 - 21 \text{ (Πίνακας 5, ομάδα τοίχου B)}$$

$$LM \rightarrow \text{Αύγουστος: } +3$$

$K=0,65$ (για ανοιχτό χρώμα)

$F=1$ (χωρίς ψευδοροφή)

$$CLTD_c = [(21+3)*0,65+0+10]*1 = 25,6F$$

$$Q = 0,2*228,6*25,6 = 1170 \text{ BTU/hr}$$

Υπολογισμός δοκαριού νότιου, κάθετο και οριζόντιο

$$Q = U*A*CLTD_c$$

$U=0,1$ (Πίνακας 4 τοίχων, ομάδα Α)

$A=30,51\text{ft}^2$ κάθετο με οριζόντιο $62,66\text{ft}^2$

$$CLTD = [(CLTD+LM)*K+(78-TR)+(T_o-85)]*F$$

$CLTD \rightarrow 20:00 \rightarrow 19$ (Πίνακας 5)

$LM \rightarrow$ Αύγουστος: 3 (Πίνακας 2)

$K=0,65$

$F=1$

$$CLTD_c = [(19+3)*0,65+0+10]*1 = 24,3F$$

$$Q = 0,1*62,66*24,3 = 152,26 \text{ BTU/hr}$$

Υπολογισμός δοκαριού δυτικού

$$Q = U*A*CLTD_c$$

$U=0,1$ (Πίνακας 4, ομάδα Α)

$A=10,22\text{ft}^2$

$$CLTD_c = [(CLTD+LM)*K+(78-TR)+(T_o-85)]*F$$

$CLTD \rightarrow 7:00 \rightarrow 24$ (Πίνακας 5 τοίχων)

$LM \rightarrow$ Ιούνιος: 1 (Πίνακας 2)

$K=0,65$

$F=1$

$$CLTD_c = [(24+1)*0,65+0+10]*1 = 26,25f$$

$$Q = 0,1*10,22*26,25 = \mathbf{26,52 \text{ BTU/hr}}$$

Υπολογισμός τζαμιού

$$Q = U*A*CLTD_c$$

$$U = 1,04 \text{ (Πίνακας 6, μονό τζάμι)}$$

$$A = 24,21\text{Ft}^2$$

$$CLTD_c = CLTD + (78 - TR) + (T_o - 85)$$

$$CLTD \rightarrow 16:00 \rightarrow 14 \text{ (Πίνακας 7)}$$

$$CLTD_c = 14 + 0 + 10 = 24f$$

$$Q = 0,04*18,17*24 = \mathbf{453 \text{ BTU/hr}}$$

Υπολογισμός ξύλινου χωρίσματος / θύρας

$$Q = U*A*CLTD_c$$

$$U = 0,622 \text{ (Πίνακας 4, ομάδα G)}$$

$$A = 67,3\text{Ft}^2$$

$$CLTD_c = [(CLTD + LM)*K + (78 - TR) + (T_o - 85)]*F$$

$$CLTD \rightarrow 17:00 \rightarrow 72 \text{ (Πίνακας 5 τοίχων)}$$

$$LM \rightarrow \text{Ιούνιος: } +1$$

$$K = 1$$

$$F = 1$$

$$CLTD_c = [(72+1)*1+0+10]*1 = 83f$$

$$Q = 0,622*67,3*83 = \mathbf{3474 \text{ BTU/hr}}$$

Υπολογισμός τζαμιού με ακτινοβολία

$$Q = SHGF * A * Sc * CLF$$

$$SHGF \rightarrow \text{Ιούνιος} \rightarrow 216$$

$$A = 18,17 \text{ft}^2$$

$$Sc = 0,39 \text{ (τζάμι μονό, με ρολά σκίασης, ημιδιαφανή, ανοιχτά) από πίνακα 9}$$

Κατασκευή ελαφριά (Δ)

$$CLF \rightarrow 16:00 \text{ και } 17:00 \rightarrow 0,83 \text{ (πίνακας 10)}$$

$$Q = 216 * 18,17 * 0,39 * 0,83 = \mathbf{1270 \text{ BTU/hr}}$$

Υπολογισμός φωτισμού

$$Q = 3,4 * W * BF * CLF$$

$$W \rightarrow 8 \text{ λάμπες φθορίου} * 36 \text{W} = 288 \text{W}$$

$$BF = 1,25 \text{ (για λάμπες φθορίου)}$$

$$CLF = 1$$

$$Q = 3,4 * 288 * 1,25 * 1 = \mathbf{1224 \text{ BTU/hr}}$$

Υπολογισμός ανθρώπων

$$Q_s = q_s * n * CLF \text{ (αισθητά κέρδη)}$$

$$Q_i = q_i * n \text{ (λανθάνοντα κέρδη)}$$

$$q_s = 255 \text{ BTU/hr και}$$

$$q_i = 255 \text{ BTU/hr (Πίνακας 11)}$$

$$n = 2 \text{ (αριθμός ανθρώπων)}$$

$$CLF = 1$$

$$Q_s = 255 * 2 * 1 = 510$$

$$Q_i = 255 * 2 = 510$$

$$Q_s + Q_i = 510 + 510 = \mathbf{1020 \text{ BTU/hr}} \text{ (ολικά κέρδη)}$$

Υπολογισμός εξοπλισμού

Έχουμε 2 Η/Υ με οθόνες μικρές. Από τον πίνακα 12 βρίσκουμε ότι:

$$\text{Δύο Η/Υ} * 55\text{W} = 110\text{W}$$

$$\text{Δύο οθόνες μικρές} * 55\text{W} = 110\text{W}$$

$$\text{Σύνολο: } 220\text{W} \rightarrow 0,220\text{KW} * 3400 \rightarrow Q = 748 \text{ BTU/hr}$$

Όπως φαίνεται στους πίνακες, π.χ. για το νότιο τοίχο τα μέγιστα κέρδη, λόγω προσανατολισμού LM, θα εμφανιστούν κατά τους μήνες Μάρτιος – Σεπτέμβριος. Αλλά, την περίοδο αυτή, η εξωτερική θερμοκρασία θα είναι σε χαμηλά επίπεδα και ίσως χαμηλότερη από τις συνθήκες που επιθυμούμε να επικρατούν στο εσωτερικό περιβάλλον. Οπότε, τα μέγιστα θερμικά κέρδη θα εμφανιστούν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, δηλαδή τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πιθανόν να υπάρχουν μέγιστα, θερμικά κέρδη και κατά τη διάρκεια άλλων, εκτός των θερινών, μηνών, όπου η θερμοκρασία μπορεί να βρίσκεται σε υψηλά για την εποχή επίπεδα.

Αρχικά, πρέπει να βρεθεί ο μήνας του καλοκαιριού, κατά τη διάρκεια του οποίου παρουσιάζονται τα μέγιστα, θερμικά κέρδη από εξωτερικά αίτια.

Υπολογισμός μέγιστων θ.κ. κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών			
	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος
Στέγη	1977	1943	1804
Τοίχος(N)	1052	1111	1170
Δοκάρι(N)	136	144	152
Δοκάρι(Δ)	27	26	26
Τζάμι(συναγωγή)(N)	453	453	453
Ξύλο(N)	3474	3433	3433
Τζάμι(ακτινοβολία)(N)	1270	1270	1270
Σύνολο	8389	8380	8308

Τα εξωτερικά, θερμικά κέρδη είναι σχεδόν ίδια, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Οι ελάχιστες διαφορές που παρουσιάζονται, ίσως να μην ισχύουν, γιατί είναι εντός των ορίων του σφάλματος. Θα υπολογιστεί ο μήνας

Ιούλιος, κατά τη διάρκεια του οποίου συνήθως παρατηρούνται οι μέγιστες θερμοκρασίες του καλοκαιριού.

Τα θερμικά κέρδη, όπως έχουν αναλυθεί στο θεωρητικό μέρος και όπως φαίνεται από τους πίνακες, είναι ωροεξαρτώμενα, δηλαδή η κάθε πηγή δίνει ένα μέγιστο θερμικό κέρδος κάποια δεδομένη ώρα. Οπότε, δε μπορούν να προστεθούν τα μέγιστα, θερμικά κέρδη των διάφορων πηγών, εφόσον αυτά δε λαμβάνουν χώρα την ίδια χρονική στιγμή. Πρέπει λοιπόν να υπολογιστεί, εκτός από το μήνα, και ποια είναι αυτή η ώρα της ημέρας που το σύνολο των θερμικών κερδών από τις πηγές θα δώσει το μέγιστο θερμικό κέρδος.

Από τους υπολογισμούς φαίνεται ότι, τα μέγιστα θερμικά κέρδη από τις διάφορες εξωτερικές πηγές, εμφανίζονται τις απογευματινές ώρες και μεταβάλλονται μεταξύ των ωρών 4μ.μ. – 8μ.μ. Οπότε, το μέγιστο, θερμικό κέρδος θα υπάρξει σε κάποια ώρα αυτού του χρονικού διαστήματος.

Άρα, θα υπολογιστούν τα θερμικά κέρδη που δίνει κάθε εξωτερική πηγή, όλες τις ώρες μεταξύ 4μ.μ. και 8μ.μ., ώστε, στη συνέχεια, να συγκριθούν.

Υπολογισμός εξωτερικών θερμικών κερδών στο διάστημα 4μ.μ.-8μ.μ.		
Επιφάνεια	Ωρα	Θερμικό κέρδος(BTU/hr)
Στέγη	16:00	1769
	17:00	1873
	18:00	1943
	19:00	1943
	20:00	1908
Νότιος τοίχος	16:00	932,6
	17:00	992,1
	18:00	1051
	19:00	1081
	20:00	1111
Νότια δοκάρια	16:00	127,8
	17:00	131,9
	18:00	135,9
	19:00	134,7
	20:00	144,1

Δυτικό δοκάρι	16:00	22,17
	17:00	22,17
	18:00	22,84
	19:00	23,50
	20:00	24,83
Τζάμι	16:00	453
	17:00	434
	18:00	415
	19:00	377
	20:00	340
Ξύλινο χώρισμα / θύρα	16:00	3223
	17:00	3432
	18:00	3223
	19:00	2428
	20:00	1632
Τζάμι (ακτινοβολία)	16:00	1270
	17:00	1270
	18:00	964
	19:00	290,7
	20:00	214,2

Στη συνέχεια, προστίθενται τα θερμικά κέρδη όλων των επιφανειών που εμφανίζονται για κάθε ώρα, ώστε να βρεθεί πότε εμφανίζεται το μέγιστο.

Ωρα	Συνολικό εξωτερικό θ.κ. (BTU/hr)
16:00	7797
17:00	8155
18:00	7754
19:00	6282
20:00	5374

Τα μέγιστα θερμικά κέρδη από τις εξωτερικές πηγές θα εμφανιστούν στις 5μ.μ. και θα είναι 8155 BTU/hr. Προσθέτοντας και τα υπόλοιπα θερμικά κέρδη από ανθρώπους-εξοπλισμό-φωτισμό θα έχουμε:

Εξωτερικές πηγές	8151 BTU/hr
Άνθρωποι	1020 BTU/hr
Φωτισμός	1224 BTU/hr
Εξοπλισμός	748 BTU/hr
Σύνολο	11147 BTU/hr

Τα μέγιστα θερμικά κέρδη που μπορούν να εμφανιστούν κατά τις συνθήκες περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου και προϋποθέσεις που θεωρήσαμε θα είναι 11147 BTU/hr.

Όσον αφορά τις απώλειες λόγω διαφυγής του εσωτερικού αέρα, αυτές είναι αμελητέες γιατί ο χώρος είναι μικρός, με ένα άνοιγμα. Περισσότερες απώλειες λόγω διαφυγής θα υπάρξουν στην περίπτωση που θα γίνεται συχνή χρήση της θύρας. Γι' αυτό το λόγο, θα γίνει μια προσάυξηση στις απώλειες, λόγω διαφυγής αλλά και λόγω εισροής νεπού αέρα της τάξεως του 10%.

Οπότε:

$$11147 * 10\% = 12262 \text{ BTU/hr}$$

Το μέγεθος αυτό είναι το μέγιστο, ψυκτικό φορτίο του χώρου που πρέπει να καλύψει το ψυκτικό μηχάνημα.

3.3 Συμπεράσματα

Κατά την ανάλυση των θερμικών κερδών, σύμφωνα με τη θεωρία της μεταφοράς θερμότητας των κτιρίων, παρατηρείται ότι, όσον αφορά τα θ.κ. λόγω αγωγιμότητας, ισχύει η θεωρία της θερμοχωρητικότητας. Οπότε, αυτά εμφανίζονται μέγιστα, με καθυστέρηση, αργά το απόγευμα, παρόλο που τότε η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρή. Στην περίπτωση των θ.κ. από ακτινοβολία, αυτά εμφανίζονται, όπως είναι λογικό, νωρίς το απόγευμα, όταν ο ήλιος γυρίσει προς τη δύση και οι ακτίνες του καλύψουν με καλύτερη γωνία πρόσκρουσης την επιφάνεια του τζαμιού.

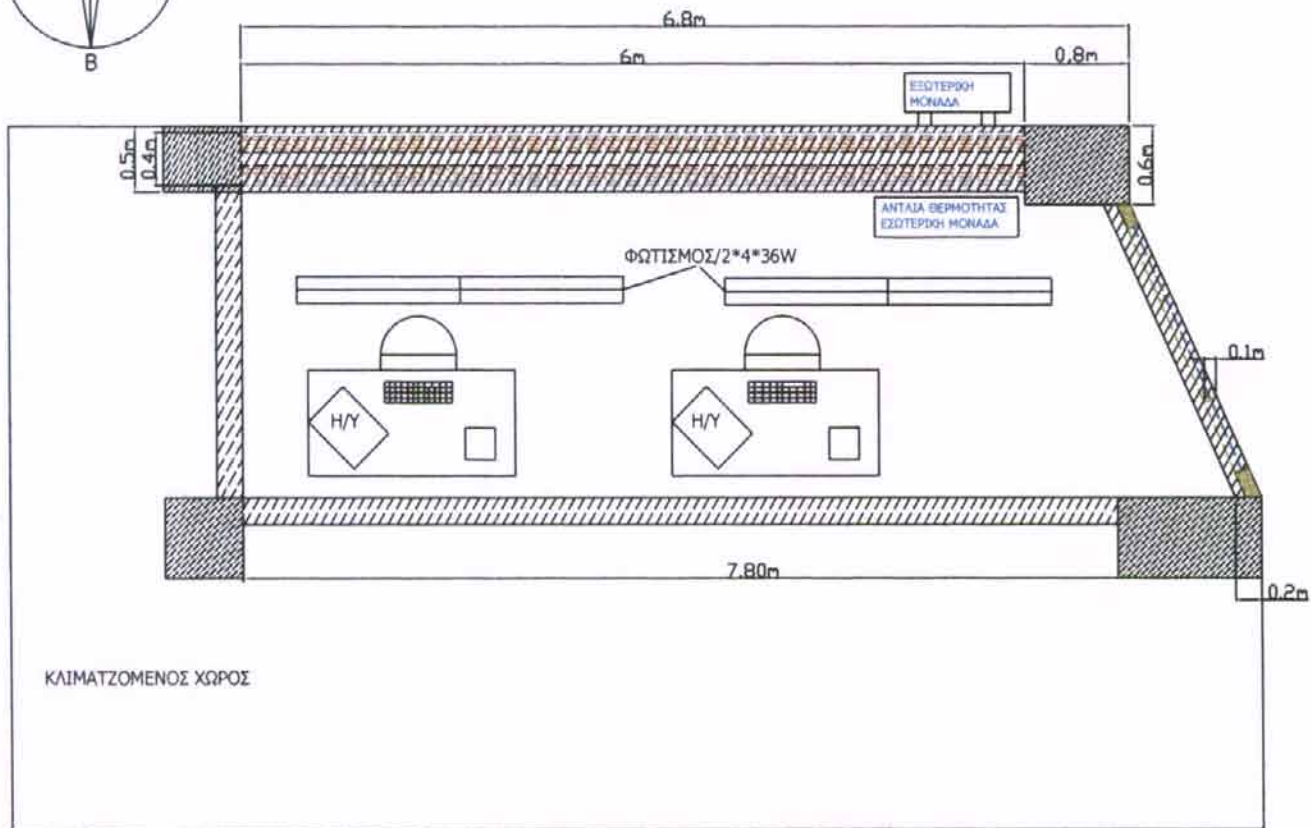
Τα φορτία που υπολογίστηκαν από τις εσωτερικές πηγές (φωτισμός, άνθρωποι, εξοπλισμός) είναι και αυτά ωροεξαρτώμενα και μπορεί να μην εμφανίζονται ταυτόχρονα. Σε αυτή την περίπτωση το φορτίο κλιματισμού είναι μικρότερο. Δηλαδή, το μέγεθός τους εξαρτάται από παράγοντες όπως η εργασία του προσωπικού, ο ταυτόχρονος χειρισμός των δύο Η/Υ, αν γίνεται χρήση του ηλεκτρικού φωτισμού ή αν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, τις ώρες που το εξωτερικό θερμικό κέρδος είναι μέγιστο.

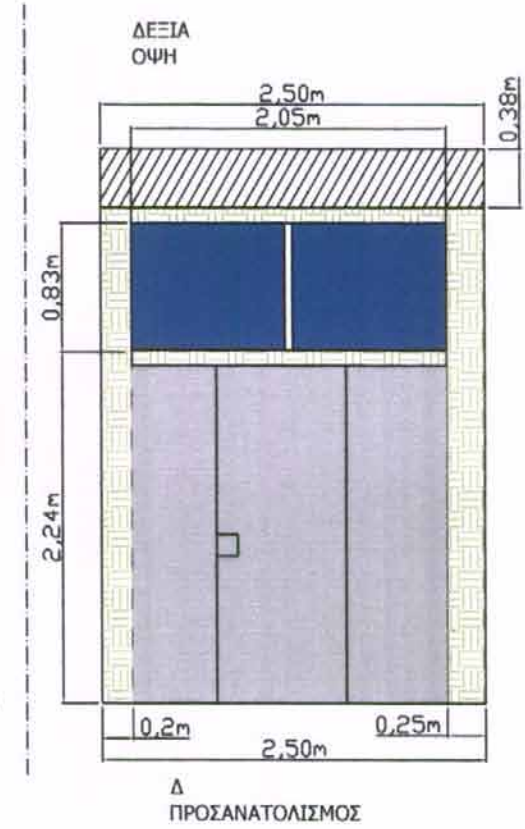
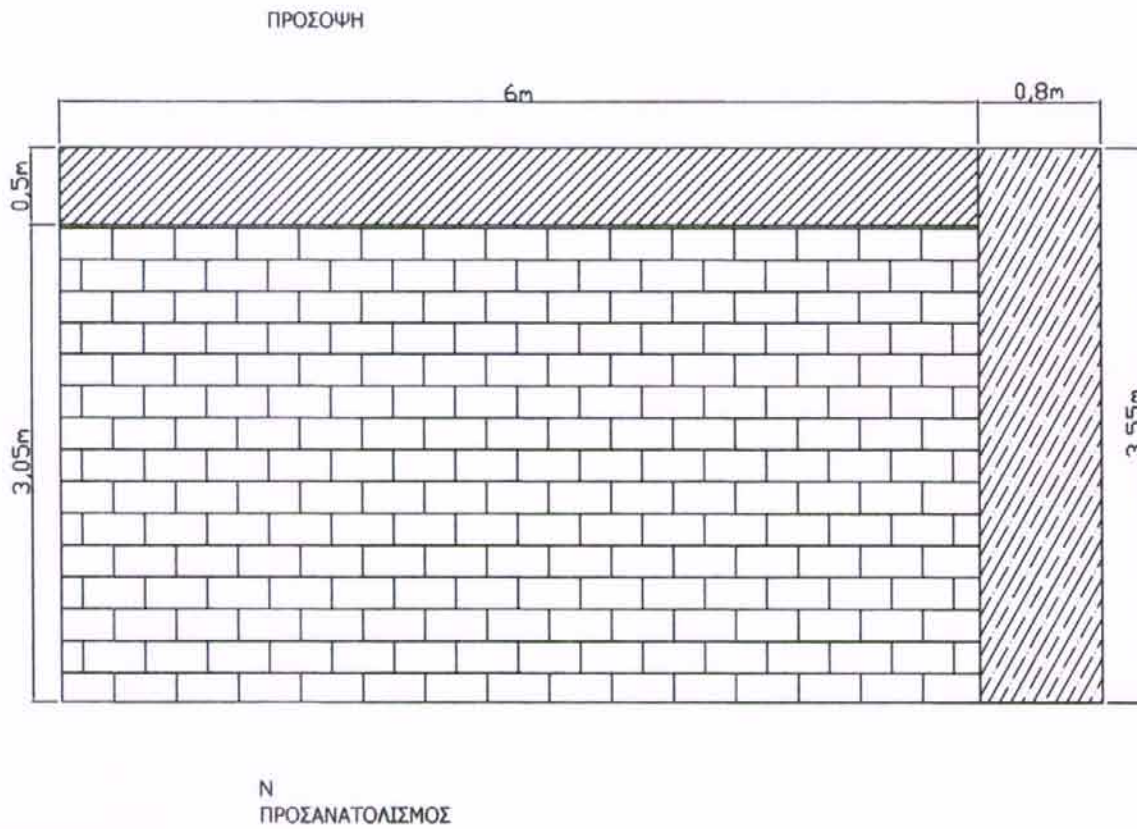
Για τους υπολογισμούς, κρίθηκε απαραίτητη η χρήση του ηλεκτρικού φωτισμού, επειδή τα μέγιστα, θερμικά κέρδη εμφανίστηκαν το απόγευμα και ο χώρος του εργαστηρίου δεν είναι ευήλιος. Όσον αφορά το ανθρώπινο δυναμικό και τον εξοπλισμό, θεωρήθηκε ότι βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία και τις απογευματινές ώρες, αφού πρόκειται για εργαστηριακό χώρο.

Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι με καλύτερο, φυσικό φωτισμό και με ώρες λειτουργίας μέχρι το μεσημέρι, το συνολικό θερμικό φορτίο θα εμφανιζόταν αρκετά μικρότερο.



ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟ/
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ






2^ο ΜΕΡΟΣ:

**ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ
ΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΚΕΡΔΩΝ
ΜΕ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΑΝΤΛΙΑΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

Κεφάλαιο τέταρτο: Ψυκτικός Κύκλος- Αντλία Θερμότητας

4.1 Γενικά στοιχεία για την ψύξη

4.1.1 Βασικές αρχές

 ψύξη ορίζεται ως η διεργασία μεταφοράς θερμότητας από το ένα μέρος σε κάποιο άλλο. Όταν τοποθετήσουμε ένα θερμό σώμα κοντά σε ένα ψυχρό, παρατηρείται μεταφορά θερμότητας από το θερμότερο στο ψυχρότερο σώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το αντικείμενο που ήταν πιο θερμό να αρχίζει να γίνεται ψυχρότερο από πριν. Όταν για παράδειγμα το σώμα μας έρθει σε επαφή με νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας, θα αρχίσουμε να κρυώνουμε. Αυτό οφείλεται στην εξάτμιση του νερού, απορροφώντας θερμότητα από το δέρμα. Σε σχέση με το νερό, το οινόπνευμα προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη ψύξη στο δέρμα, γιατί εξατμίζεται πιο γρήγορα.

Τα υγρά λοιπόν, που χρησιμοποιούνται στα ψυκτικά συστήματα και παράγουν ψύξη απάγοντας θερμότητα, ονομάζονται ψυκτικά μέσα. Ένα από τα πρώτα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η αμμωνία. Όταν η καθαρή αμμωνία τοποθετηθεί σε ανοικτό δοχείο, τότε εξατμίζεται τόσο γρήγορα ώστε κοχλάζει¹.

Εφαρμογή της ψυκτικής δράσης έχουμε με μια ψυκτική μονάδα, η οποία αποτελείται από ένα απομονωμένο κουτί ψύξης, μια δεξαμενή με υγρό κάτω από πίεση και ένα χώρο ψύξης, ο οποίος απορροφά θερμότητα από την εξάτμιση της αμμωνίας σε ατμοσφαιρική πίεση. Πρακτικά βέβαια, η χρήση ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι δυνατή λόγω του μεγάλου κόστους της αμμωνίας και των επικίνδυνων καυσαερίων που θα πρέπει να οδηγηθούν έξω με ασφάλεια. Το ψυκτικό μέσο πρέπει να επανέρχεται στην υγρή του μορφή και να φυλάσσεται, ώστε να μπορεί πάλι να μετατραπεί σε αέριο. Για την εργασία αυτή υπάρχουν δύο αρχικές μέθοδοι. Η πρώτη βασίζεται στην ανακάλυψη πάνω από έναν αιώνα πριν, του Michael Faraday.

¹ Η αμμωνία απάγει θερμότητα πολύ πιο γρήγορα από το οινόπνευμα. Όταν κοχλάζει σε ατμοσφαιρική πίεση φτάνει τους (-35 °0) (-28Τ). Η περιοχή, όπου κοχλάζει είναι πολύ ψυχρή.

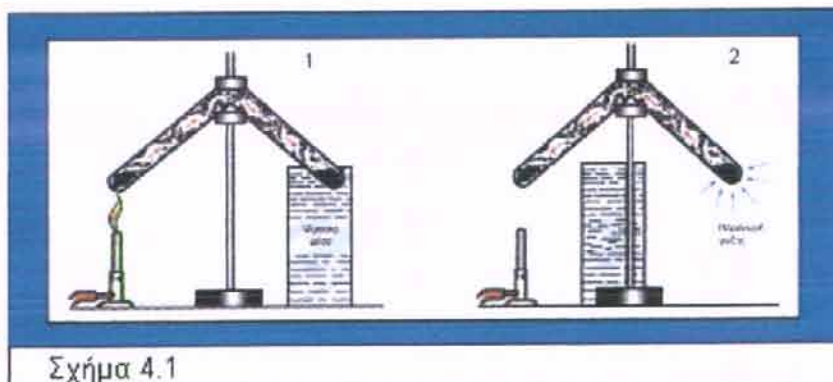
4.1.2 Ιστορική αναδρομή

Τα πειράματα του Faraday

Στην εποχή του Faraday ήταν γνωστό πως τα αέρια μπορούν να μετατραπούν σε υγρά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (πίεσης και θερμοκρασίας), αν και δεν είχαν στη διάθεσή τους τον απαιτούμενο εξοπλισμό για αυτή την εργασία. Ένα από τα πιο δύσκολα σε υδροποίηση αέρια ήταν η αμμωνία. Ο Faraday γνώριζε πως ο χλωριούχος άργυρος είχε την ιδιότητα να απορροφά την αέρια αμμωνία. Γι' αυτό το λόγο έριξε σκόνη χλωριούχου αργύρου σε αέρια αμμωνία και έκλεισε το μίγμα αυτό σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα, που είχε σχήμα V.

Με την παροχή θερμότητας στη σκόνη, τα αέρια της αμμωνίας ξεχώριζαν από τον χλωριούχο άργυρο. Τα αέρια αυτά ψύχονταν λόγω βύθισης του άλλου άκρου του σωλήνα V σε νερό. Όταν η θερμική αμμωνία έμπαινε στο ψυχρό μέρος του σωλήνα, άρχισαν να σχηματίζονται σταγόνες υγρής αμμωνίας. Ο Faraday μετατόπισε το θερμαντήρα και τον ψύκτη και έκπληκτος παρατήρησε την αμμωνία να βράζει και να μετατρέπεται πάλι σε ατμό. Είχε απορροφηθεί θερμότητα η οποία μεταφερόταν κατά την διεργασία. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε. Όταν ο Faraday ακούμπησε το τέλος του σωλήνα είδε ότι ήταν πολύ κρύος. Το πιο εντυπωσιακό ήταν όμως, ότι η ψύξη παραγόταν από το υγρό που έβραζε χωρίς ορατή πηγή θέρμανσης.

Όσο αρχαίο και αν δείχνει το πείραμα, αυτές στις ίδιες αρχές στηρίζεται ακόμη και σήμερα η ψύξη. Το ένα μέρος της ψυκτικής μονάδας μπορεί να θερμαίνεται την στιγμή που το άλλο μέρος μπορεί να ψύχεται σε δοχείο με νερό, ώστε να αλλάξει η κατάσταση του ψυκτικού μέσου σε υγρό. Η ανακάλυψη αν γίνει σε μονωμένο κουτί τότε μπορεί να παρουσιασθεί και σαν ψυγείο. Όμως, μειονεκτεί στο ότι είναι διακοπτόμενη και μη αποδοτική.



Σχήμα 4.1

Τα πειράματα των Black και Watt

Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται σε μία άλλη ανακάλυψη των Black και Watt. Τα πρώτα πειράματά τους έγιναν θερμαίνοντας ένα δοχείο με νερό. Όσο θερμαινόταν το δοχείο με το νερό, η θερμοκρασία αυξανόταν. Σταθεροποιήθηκε όταν το νερό άρχισε να βράζει και δεν υπερέβη τους 100°C (212°F).

Αυτό που απέδειξαν δηλαδή, ήταν ότι καθώς το υγρό μετατρέπεται σε αέριο μπορεί να απορροφήσει μεγάλα ποσά θερμότητας, χωρίς να αυξηθεί η θερμοκρασία του. Αυτή η θερμότητα ονομάστηκε λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, διότι υπήρξε απορρόφηση μεγάλων ποσών θερμικής ενέργειας, χωρίς αύξηση θερμοκρασίας, η δε ενέργεια αυτή έδειχνε να εξαφανίζεται. Έτσι εξηγείται γιατί τα εν βρασμό ψυκτικά μέσα είναι τόσο αποδοτικά.

Άλλοι επιστήμονες, μετά τους Black και Watt κατάφεραν να μετατρέπουν τον ατμό σε υγρό ψύχοντας το με μίγμα αλατιού και πάγου. Απέδειξαν ότι η θερμότητα που μεταφερόταν κατά την υγροποίηση ήταν ακριβώς ίση με το ποσό της θερμότητας που χρειαζόταν για να ατμοποιηθεί η ουσία στην ίδια πίεση.

Αλλαγή του σημείου βρασμού εφαρμόζοντας πίεση

Πολλοί ήταν οι επιστήμονες που, για να υγροποιήσουν τον ατμό, χρησιμοποίησαν την πίεση. Γνώριζαν πως κάθε ουσία συμπυκνώνεται με την ίδια θερμοκρασία με την οποία βράζει.

Επίσης, έγινε γνωστή η θεωρία ότι αν εφαρμοσθεί πίεση, τότε μεταβάλλεται το σημείο βρασμού. Το νερό έβραζε στους 100°C (212°F) και οι επιστήμονες περίμεναν να συμπυκνωθεί ο ατμός στην ίδια θερμοκρασία. Με την εφαρμογή της πίεσης όμως, η θερμοκρασία συμπύκνωσης έγινε μεγαλύτερη από 100°C. Κατάλαβαν λοιπόν, ότι όσο μεγαλύτερη πίεση εφαρμόζεται, τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Όλα όσα προαναφέρθηκαν σχετικά με τα πειράματα και τις αρχές που διατύπωσαν αυτοί οι επιστήμονες, αποτέλεσαν τα θεμέλια για τα ψυκτικά συστήματα που λειτουργούν με την εφαρμογή πίεσης.

Η θερμοκρασία του ατμού μπορεί να αυξηθεί με συγκέντρωση ή με συμπίεση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη εφαρμογή πίεσης.

Η δημιουργία ενός μηχανικού συστήματος ψύξης είναι δυνατή διότι:

1. Όλα τα υγρά απορροφούν μεγάλα ποσά θερμότητας όταν ατμοποιούνται.

2. Εφαρμόζοντας πίεση, είναι δυνατή η συμπύκνωση του ατμού σε υγρό και αυτή η διεργασία είναι δυνατόν να γίνει επαναλαμβανόμενη.

4.1.3 Σχέση μεταξύ πίεσης και θερμοκρασίας

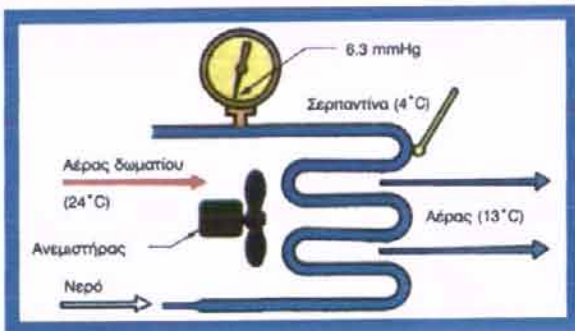
Το σημείο βρασμού του νερού μπορεί να αλλάξει και να ρυθμιστεί, ρυθμίζοντας την πίεση του ατμού πάνω από το νερό.

Το καθαρό νερό βράζει στους 100°C στην επιφάνεια της θάλασσας, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 21°C (κανονικές συνθήκες) επειδή κάτω απ αυτές τις συνθήκες ασκείται μια πίεση 760mm.Hg ($14,696\text{ psi}$) πάνω στην επιφάνεια του νερού. Όταν το ίδιο δοχείο με το νερό μεταφερθεί σε μια κορυφή βουνού, το σημείο βρασμού μεταβάλλεται, επειδή προκαλείται πτώση της πίεσης (περίπου $83\text{mm.Hg}/1000\text{m}$) λόγω της αραιότερης ατμόσφαιρας.

Η μελέτη του πίνακα πίεσης / θερμοκρασίας του νερού φανερώνει ότι, όποτε αυξάνεται η πίεση αυξάνεται και το σημείο βρασμού και αντιθέτως, όποτε μειώνεται η πίεση μειώνεται και το σημείο βρασμού.

Αν σε μια σερπατίνα (Σχήμα 4.2) χρησιμοποιήσουμε νερό, το οποίο βρίσκεται σε πίεση $6,3\text{mm.Hg}$, από πίνακα θα βρούμε ότι αντιστοιχεί σε μια θερμοκρασία βρασμού 4°C .

Εάν ο αέρας του δωματίου περάσει στη σερπατίνα, τότε αυτή θα απορροφήσει θερμότητα από τον αέρα του δωματίου και ο αέρας θα εγκαταλείψει τη σερπατίνα κρύος.



Σχήμα 4.2

Όταν το νερό χρησιμοποιείται με αυτόν τον τρόπο, τότε ονομάζεται ψυκτική ουσία (ή ψυκτικό μέσο). Ψυκτικό μέσο είναι ένα υλικό που μπορεί εύκολα να μεταβληθεί σε ατμό με το βρασμό του και μετά να μεταβληθεί πάλι σε υγρό, με τη συμπύκνωση του. Το ψυκτικό μέσο πρέπει να έχει τη δυνατότητα αυτής της γρήγορης μεταβολής χωρίς όμως να αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του. Το νερό δεν χρησιμοποιείται συνήθως

σαν ψυκτικό μέσο στις μικρές εφαρμογές.

Η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου θα βρίσκονται σε αντιστοιχία μεταξύ τους, όταν συνυπάρχουν το υγρό και το αέριο (ατμός) κάτω από δύο προϋποθέσεις:

- 1) Όταν λαμβάνει χώρα η αλλαγή της κατάστασης (βρασμός ή συμπύκνωση)
- 2) Όταν το ψυκτικό μέσο βρίσκεται σε ισορροπία (δηλαδή, δεν προστίθεται ούτε αφαιρείται θερμότητα).

Όταν ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις, μπορούμε να βρούμε, για κάθε ψυκτικό ρευστό, από πίνακες, τη θερμοκρασία και την πίεση που βρίσκονται σε αντιστοιχία.

Θερμο- κρασία °F	Ψυκτικό μέσο			Θερμο- κρασία °F	Ψυκτικό μέσο			Θερμο- κρασία °F	Ψυκτικό μέσο					
	12	22	134a		502	12	22		134a	502	12	22	134a	502
	psig				psig				psig					
-60	19,0	12,0		7,2	12	15,8	34,7	13,2	43,2	42	38,8	71,4	37,0	83,8
-55	17,3	8,2		3,8	13	16,4	35,7	13,8	44,3	43	39,8	73,0	38,0	85,4
-50	15,4	6,2		0,2	14	17,1	36,7	14,4	45,4	44	40,7	74,5	39,0	87,0
-45	13,3	2,7		1,9	15	17,7	37,7	15,1	46,5	45	41,7	76,0	40,1	88,7
-40	11,0	0,5	14,7	4,1	16	18,4	38,7	15,7	47,7	46	42,6	77,6	41,1	90,4
-35	8,4	2,6	12,4	6,5	17	19,0	39,7	16,4	48,8	47	43,6	79,2	42,2	92,1
-30	5,5	4,9	9,7	9,2	18	19,7	40,8	17,1	50,0	48	44,6	80,8	43,3	93,9
-25	2,3	7,4	6,8	12,1	19	20,4	41,9	17,7	51,2	49	45,7	82,4	44,4	95,6
-20	0,6	10,1	3,8	15,3	20	21,0	43,0	18,4	52,4	50	46,7	84,0	45,5	97,4
-18	1,3	11,3	2,2	16,7	21	21,7	44,1	19,2	53,7	55	52,0	92,6	51,3	106,6
-16	2,0	12,5	0,7	18,1	22	22,4	45,3	19,9	54,9	60	57,7	101,6	57,3	116,4
-14	2,8	13,8	0,3	19,5	23	23,2	46,4	20,6	56,2	65	63,8	111,2	64,1	126,7
-12	3,6	15,1	1,2	21,0	24	23,9	47,6	21,4	57,5	70	70,2	121,4	71,2	137,6
-10	4,5	16,5	2,0	22,6	25	24,6	48,8	22,0	58,8	75	77,0	132,2	78,7	149,1
-8	5,4	17,9	2,8	24,2	26	25,4	49,9	22,9	60,1	80	84,2	143,6	86,8	161,2
-6	6,3	19,3	3,7	25,8	27	26,1	51,2	23,7	61,5	85	91,8	155,7	95,3	174,0
-4	7,2	20,8	4,6	27,5	28	26,9	52,4	24,5	62,8	90	99,8	168,4	104,4	187,4
-2	8,2	22,4	5,5	29,3	29	27,7	53,6	25,3	64,2	95	108,2	181,8	114,0	201,4
0	9,2	24,0	6,5	31,1	30	28,4	54,9	26,1	65,6	100	117,2	195,9	124,2	216,2
1	9,7	24,8	7,0	32,0	31	29,2	56,2	26,9	67,0	105	126,6	210,8	135,0	231,7
2	10,2	25,6	7,5	32,9	32	30,1	57,5	27,8	68,4	110	136,4	226,4	146,4	247,9
3	10,7	26,4	8,0	33,9	33	30,9	58,8	28,7	69,9	115	146,8	242,7	158,5	264,9
4	11,2	27,3	8,6	34,9	34	31,7	60,1	29,5	71,3	120	157,6	259,9	171,2	282,7
5	11,8	28,2	9,1	35,8	35	32,6	61,5	30,4	72,8	125	169,1	277,9	184,8	301,4
6	12,3	29,1	9,7	36,8	36	33,4	62,8	31,3	74,3	130	181,0	296,8	198,7	320,8
7	12,9	30,0	10,2	37,9	37	34,3	64,2	32,2	75,8	135	193,5	316,6	213,5	341,2
8	13,5	30,9	10,8	38,9	38	35,2	65,6	33,2	77,4	140	206,6	337,2	229,1	362,6
9	14,0	31,8	11,4	39,9	39	36,1	67,1	34,1	79,0	145	220,3	358,9	245,5	385,0
10	14,6	32,8	11,9	41,0	40	37,0	68,5	35,1	80,5	150	234,6	381,5	262,7	408,4
11	15,2	33,7	12,5	42,1	41	37,9	70,0	36,0	82,1	155	249,5	405,1	280,7	432,9

4.1.4 Ψυκτικά μέσα – Ψυκτικές ουσίες

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

Η εκλογή του κατάλληλου ψυκτικού μέσου για μια εγκατάσταση, δε γίνεται μόνο με θερμοδυναμικά κριτήρια. Σημαντικό ρόλο παίζουν και άλλες ιδιότητες του ψυκτικού μέσου, όπως η τοξικότητα, η αναφλεξιμότητα, το ιξώδες κ.α. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στο είδος των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην ψυκτική εγκατάσταση, στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν, π.χ. μέσα στα

τοιχώματα των εμβολοφόρων συμπιεστών και στη συνεργασία του ψυκτικού μέσου με το λάδι λίπανσης.

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος του ψυκτικού μέσου, είναι η θερμότητα ατμοποίησης. Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η ψυκτική ικανότητα του ψυκτικού μέσου, που επιφέρει οικονομία στην παροχή μάζας m^o για μια δεδομένη ψυκτική ισχύ και συνεπώς μικρότερη εγκατάσταση, από άποψη όγκου.

Υπάρχουν αρκετά προϊόντα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψυκτικά μέσα. Συνήθως στα οικιακά και τα ελαφρά εμπορικά κλιματιστικά συστήματα, χρησιμοποιούνται τα εξής ψυκτικά μέσα: R-11, R-12, R-22, και τα οικολογικά 134, 407, 410 κ.α.



Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης (γίνεται εκτενής αναφορά στη συνέχεια του κεφαλαίου), για την προστασία του περιβάλλοντος, θα πρέπει να σταματήσει η παραγωγή των μη οικολογικών ψυκτικών υγρών, μέχρι το πέρας του χρονικού ορίου που έχει καθορισθεί. Όσον αφορά τα ήδη υπάρχοντα κλιματιστικά μηχανήματα, αυτά θα πρέπει να υποστούν τις απαραίτητες τροποποιήσεις, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία τους με τη χρήση οικολογικών ψυκτικών μέσων.

Στον παρακάτω πίνακα, ανάλογα με την εφαρμογή του μη οικολογικού ψυκτικού υγρού, δίνεται το, φιλικό προς το περιβάλλον, εναλλακτικό, ψυκτικό μέσο.

Προϊόν	Εφαρμογές	Αντικαθιστά
AZ-50 (R-507)	Χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας ψυκτικά μέσα	R-502, R-22, R-12, R-22, R-502
404A	Χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας	R-502, R-22, R-12
402A (HP80)	Χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας - Retrofits	R-502
AZ-20 (R410A)	Κλιματιστικά & αντλίες θέρμανσης, μέσης θερμοκρασίας ψύξης	R-22
407C	Κλιματιστικά	R-22
134A	Μέσης θερμοκρασίας, κλιματιστικά αυτοκινήτων, Κλιματιστικά ψυκτικοί θάλαμοι.	R-12, R-22, R-12 R-12, R-22 R-12

401A (MP39)	Μέσης θερμοκρασίας - Retrofits	R-12
401B (MP66)	Χαμηλής θερμοκρασίας - Retrofits	R-12
409A	Retrofits Ψύξης	R-12
123	Centrifugal chillers	R-11
124	Specialty Chillers	R-11
23	Χαμηλής θερμοκρασίας ψύξη	R-13, R-503

Η σωστή επιλογή του ψυκτικού μέσου είναι σημαντική, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Επίσης, η ψυκτική ουσία θα πρέπει να είναι ασφαλής για την προστασία των ανθρώπων, από ασθένεια ή τραυματισμό. Βέβαια, τα σύγχρονα ψυκτικά μέσα είναι μη τοξικά και ο εξοπλισμός είναι σχεδιασμένος ώστε να χρησιμοποιεί την ελάχιστη ποσότητα ψυκτικού μέσου που απαιτείται για να εκτελέσει τη δουλειά του. Ακόμα, είναι σημαντικό το ψυκτικό μέσο να μπορεί να ανιχνεύεται αμέσως.

Το σημείο βρασμού του ψυκτικού μέσου θα πρέπει να είναι χαμηλό στην ατμοσφαιρική πίεση, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται χαμηλές θερμοκρασίες, χωρίς να οδηγούμαστε σε υποπίεση.

Κάθε ψυκτικό μέσο έχει ένα χημικό τύπο και μια ονομασία. Για παράδειγμα το R-12 έχει χημικό τύπο CCl_2F_2 και ονομάζεται διχλωροδιφθορομεθάνιο. Ο κάθε τύπος ψυκτικού μέσου περιέχεται σε έναν κύλινδρο που έχει ένα χαρακτηριστικό χρώμα.



R - 407 B	Κρεμ	R - 717	Ασημί
R - 407 C	Σοκολατί	R - 409 A	Μελανό
R - 410 A	Ροζ	R - 123	Ανοιχτό γκρι
R - 11	Πορτοκαλί	R - 401 A	Κόκκινο
R - 12	Άσπρο	R - 401 B	Μουσταρδί
R - 22	Πράσινο	R - 401 C	Νερού
R - 113	Βυσσινί	R - 402 A	Ανοιχτό καφέ
R - 134a	Ανοιχτό μπλέ	R - 402 B	Πράσινο - καφέ
R - 114	Σκούρο μπλέ	R - 404 A	Πορτοκαλί
R - 500	Κίτρινο	R - 406 A	Ανοιχτό γκρι - πράσινο
R - 502	Το χρώμα της ορχιδέας	R - 407 A	Ανοιχτό πράσινο

Στον διπλανό πίνακα, αναφέρονται τα χρώματα των κυλίνδρων που περιέχουν τα πιο συνηθισμένα ψυκτικά μέσα.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί, ότι η συλλογή και η ανακύκλωση των ψυκτικών μέσων, με ειδικές μονάδες, βοηθάει στην αποφυγή εκπομπής των χλωροφθοροανθράκων στην ατμόσφαιρα, που είναι καταστροφικοί για το όζον. Ένας τέτοιο μηχάνημα συλλογής ψυκτικού ρευστού φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Παγκόσμια Νομοθεσία κατά της Μεταβολής του Κλίματος

Η παγκόσμια νομοθεσία έχει ξεκινήσει από το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environmental Programme, UNEP) και σκοπός της είναι να ελαττώσει την καταστροφή του στρώματος του όζοντος. Το πρωτόκολλο του Montreal εγκρίθηκε το 1987 με σκοπό να ελέγξει την παραγωγή των υπεύθυνων ουσιών για την καταστροφή του στρώματος του όζοντος μεταξύ των οποίων είναι και τα CFC, HCFC.

Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ έχει την πρόληψη τόσο να κατευθύνει όσο και να ελέγξει μελλοντικές τεχνικές και οικονομικές μελέτες.

Επίσης, στις αρχές του '90, υπήρξαν και άλλες συνθήκες όπως τα Πρωτόκολλα του Λονδίνου (1990), Κοπεγχάγης (1992) και Βιέννης (1995).

Τα CFC, τα οποία έχουν την υψηλότερη ικανότητα Καταστροφής του Όζοντος (Ozone Depletion Performance, ODP), σταδιακά καταργήθηκαν από 1/1/96. Σήμερα, οι μόνες ποσότητες ψυκτικών μέσων που μπορούν να αντικαταστήσουν υπάρχοντα μηχανήματα που χρησιμοποιούν CFC, είναι αυτές που είχαν αποθηκευτεί σε αποθήκες πριν το 1996 ή αυτές που διασώθηκαν από άχρηστα ή παροπλισμένα μηχανήματα (ανακυκλωμένο ψυκτικό μέσο). Παρόλα αυτά, μηχανήματα που ήδη χρησιμοποιούν CFC, επιτρέπεται να παραμείνουν σε λειτουργία.

Η χρήση των HCFC (το πιο διαδεδομένο από όλα είναι το HCFC-22 ή R-22 το οποίο χρησιμοποιείται εδώ και 60 χρόνια) έχουν κυριολεκτικά κατακτήσει την



βιομηχανία κλιματισμού, όχι μόνο σε ψύκτες και αντλίες θερμότητας αλλά και σε μικρά κλιματιστικά επίσης. Η κατανάλωση των ψυκτικών αυτών μέσων έχει περιοριστεί από το 1996 σε διάφορες βαθμίδες.

Σύμφωνα με τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA) και όσον αφορά την σταδιακή κατάργηση των διαφόρων ψυκτικών μέσων HCFC, η πρότασή του στην συνάντηση της Κοπεγχάγης είναι αυτή που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Κατάργηση των HCFC σύμφωνα με EPA				
HCFC	ODP	Τέλος χρήσης σε καινούρια μηχανήματα	Τέλος χρήσης για συντήρηση	Τέλος παραγωγής
141b	0,1	-	-	2003
142b	0,07	-	-	2010
22	0,05	2010	2020	2020
123	0,02	2020	2030	2030

Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν υιοθετήσει ακόμη πιο αυστηρά μέτρα. Έτσι, αντλίες θερμότητας με χρήση του HCFC-22 θα σταματήσουν να παράγονται πέρα απ' το τέλος του 2003, η παραγωγή των ψυκτών θα σταματήσει πλήρως πέρα από τα μέσα του 2002, ενώ η τεχνική υποστήριξη και συντήρηση των μηχανημάτων αυτών θα συνεχιστεί μέχρι τα τέλη του 2008.

Οι συναντήσεις του Ρίο (1992) αλλά και του Κιότο (1997) δεν έχουν καταλήξει σε κάποια παγκόσμια και οριστική νομοθεσία, αλλά μόνο σε γενικούς κανόνες και προτάσεις για την μείωση της παραγωγής των ανά περίπτωση υπεύθυνων αερίων. Τα πιο γνωστά αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι, μεταξύ άλλων, το CO₂, μεθάνιο και NO_x.

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι η καύση των συμβατικών καυσίμων είναι ο κύριος παράγοντας για την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό προέρχεται από αυτοκίνητα και λεωφορεία, από εργοστάσια που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, γραφεία και κατοικίες. Ένας από τους μεγαλύτερους χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας, η βιομηχανία HVACR είναι και πάλι στο στόχαστρο της παγκόσμιας νομοθεσίας σε θέματα της Παγκόσμιας Μεταβολής Κλίματος.

Όπως με το ODP έτσι και εδώ, κάθε ψυκτικό μέσο έχει ένα μέτρο σύγκρισης: το Δυναμικό Επιβάρυνσης του Φαινομένου του Θερμοκηπίου (Global Warming

Potential, GWP). Η μονάδα GWP ορίζεται ως το μέγεθος της συμβολής μιας χημικής ουσίας στο φαινόμενο θερμοκηπίου για μία περίοδο 100 χρόνων συγκρινόμενη με αυτή του CO₂. Το GWP του CO₂ έχει οριστεί ίσο με 1 και από πίνακες μπορούμε να δούμε πώς μεταβάλλονται το ODP και το GWP ανάλογα με το ψυκτικό μέσο.

Ακόμη, ένα άλλο μέτρο σχετίζεται με την κατανάλωση του μηχανήματος. Έτσι, όσο περισσότερο αποδοτικός είναι ο ψύκτης, για παράδειγμα, τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται για να λειτουργήσει και άρα τόσο λιγότερο CO₂ εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος.

4.2 Ψυκτικός κύκλος με συμπίεση ατμών – Αντλία θερμότητας

Σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα, η πρώτη αντλία θερμότητας κατασκευάστηκε από τον Perkins το 1820. Το 1824, ο Carnot πέτυχε τη θεωρητική της θεμελίωση. Η πρώτη εμπειρική εγκατάσταση αντλίας θερμότητας, έγινε στη Σκωτία το 1927.

Μετά το 1950, έγιναν πολλές βελτιώσεις στον σχεδιασμό και τα συστήματα ελέγχου, οπότε οι αντλίες θερμότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται εκτεταμένα, ειδικά σε χώρες με ήπιο κλίμα, όπου η αποδοτικότητά τους αναμενόταν αυξημένη. Όμως, οι τεχνικές αδυναμίες που παρουσιάστηκαν κατά τη λειτουργία τους, οδήγησαν σε μια ύφεση στην παραγωγή και χρήση των συσκευών αυτών.

Η ενεργειακή κρίση του 1973, έφερε ξανά στο προσκήνιο τις αντλίες θερμότητας, με τις οποίες επιτυγχάνεται όχι μόνον εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας που είναι διάχυτη στη φύση.

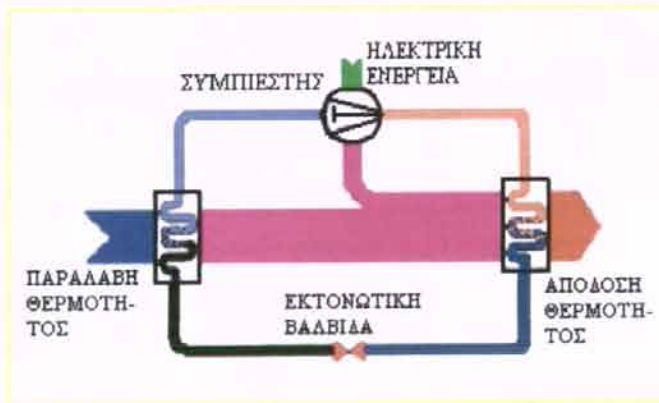
Στις μέρες μας, η αντλία θερμότητας αποτελεί συσκευή κλιματισμού ή απλής ψύξης, με μεγάλο εύρος εφαρμογών στη βιομηχανία και τα κτίρια κατοικιών, εργασίας κ.λπ.

4.2.1 Θεωρητική αρχή λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας

Από το 2^ο θερμοδυναμικό αξίωμα, γνωρίζουμε ότι η θερμότητα μεταδίδεται μόνη της από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλότερης και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Κι αυτό όμως είναι εφικτό, με την κατανάλωση κάποιας μορφής ενέργειας, π.χ. ηλεκτρικής και την προσφορά αυτής μέσω της αντλίας θερμότητας.

Έτσι, με τη βοήθεια μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και ενός ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμού (Σχήμα 4.3), επιτυγχάνεται η μεταφορά (προς ένα χώρο ή από ένα χώρο) ποσού ενέργειας διπλάσιου ή και τριπλάσιου της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το έργο που παράγεται (στον συμπιεστή) W προστίθεται στη θερμότητα που μεταφέρεται Q_1 και έτσι έχουμε:

$$Q_1 + W = Q_2$$

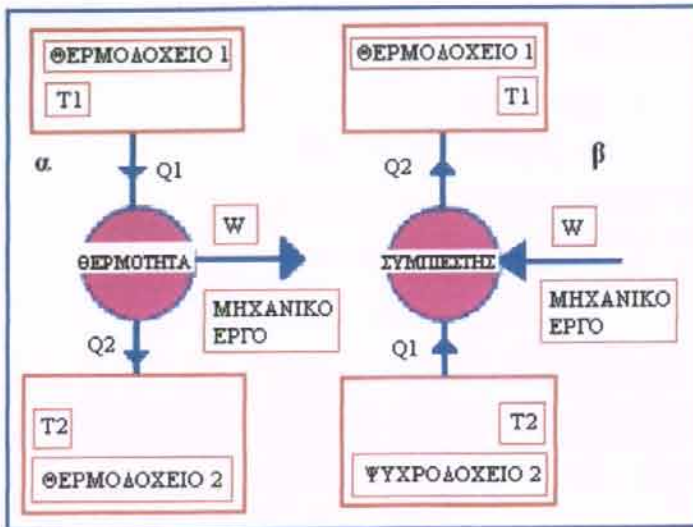


Σχήμα 4.3

Άρα, γίνεται κατανοητό ότι η αντλία θερμότητας δίνει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από το έργο που καταναλώνεται και αυτό είναι φυσικό, αφού η θερμότητα δεν παράγεται με το έργο που δαπανάται, αλλά αποσπάται από το εξωτερικό περιβάλλον ή από τον χώρο και μεταφέρεται αντίστοιχα στον χώρο ή το περιβάλλον.

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας είναι η αντίθετη φορά της αρχής της μηχανής του Carnot. Για να λειτουργήσει η μηχανή Carnot είναι απαραίτητα δύο θερμοδοχεία, ένα υψηλής (T_1) και ένα χαμηλής θερμοκρασίας (T_2) (Σχήμα 4.4.α). Κατά τη λειτουργία της μηχανής αυτής, έχουμε την παραγωγή έργου με πρόσδοση θερμότητας. Σε ιδανικές συνθήκες πλήρους αντιστρεψιμότητας και χωρίς απώλειες θερμότητας, ο συντελεστής απόδοσης του κύκλου αυτού δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1$$



Σχήμα 4.4 Η αρχή λειτουργίας του κύκλου Carnot (α) και η αντίστροφη λειτουργία (β)

Αντιστρέφοντας τη λειτουργία του παραπάνω κύκλου (Σχήμα 4.4.β), δίνεται η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Εδώ παράγεται ψυκτική ή θερμαντική ισχύς με κατανάλωση μηχανικού έργου.

Ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας σε ιδανικές συνθήκες, ο οποίος χαρακτηρίζει και την ποιότητα της, δίνεται από το αντίστροφο του συντελεστή, που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως **C.O.P.:**

$$\text{C.O.P.} = T_1 / (T_1 - T_2)$$

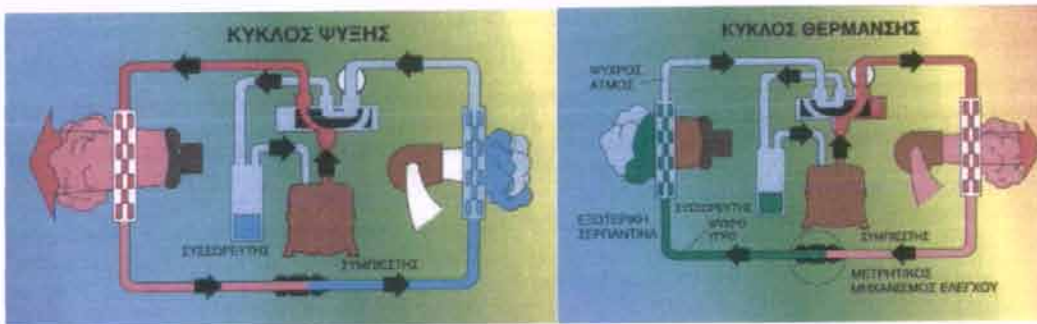
Ο ειδικός αυτός βαθμός απόδοσης χαρακτηρίζεται με τον όρο συντελεστής λειτουργίας και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2,5 και 3,5. Σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση, ο C.O.P. της αντλίας θερμότητας εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δύο θερμοδοχείων, κάτι που ισχύει και σε πραγματικές συνθήκες. Ο συντελεστής δίνεται από τη σχέση:

$$\text{C.O.P.} = Q_{\theta} / (Q_{\theta} - Q_{\psi})$$

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η θερμοκρασία της πηγής από την οποία αντλείται η θερμότητα, η θερμοκρασία με την οποία αποβάλλεται η θερμότητα και το έργο που καταναλώνεται είναι πολύ σημαντικά στοιχεία για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τον βαθμό απόδοσης και την οικονομική λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Έτσι, όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών (ήπιο κλίμα), τόσο λιγότερο έργο καταναλώνεται, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσης (C.O.P.) της αντλίας θερμότητας.

4.2.2 Τεχνολογία της Αντλίας Θερμότητας

Η αντλία θερμότητας μπορεί να οριστεί ως μια μηχανή που μεταφέρει τη θερμότητα που βρίσκεται στη φύση, από κάποια θερμοκρασιακή στάθμη σε μια άλλη, υψηλότερη. Δηλαδή, η αντλία θερμότητας, με τη δαπάνη ενεργείας, μεγαλώνει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο θερμοδοχείων, αντιμαχόμενη τη θερμοδυναμική τάση προς εξισορρόπηση των θερμοκρασιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ψύξη το καλοκαίρι, όσο και για θέρμανση τον χειμώνα.



Η αντλία θερμότητας αποτελείται από δύο τμήματα, ένα εσωτερικό, που τοποθετείται στον κλειστό χώρο και ένα εξωτερικό, που αποτελεί τον κύριο μηχανισμό της αντλίας θερμότητας και βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον που είναι διαθέσιμη και ανεξάντλητη (ή έστω πολύ μεγάλη) ενεργειακή δεξαμενή, όπως ο αέρας, το έδαφος ή το νερό. Αυτές οι ενεργειακές δεξαμενές θεωρείται πρακτικά ότι έχουν σταθερή θερμοκρασία. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ατμοσφαιρικός αέρας, το υγρό και ευθερμαγωγό έδαφος (σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια), όπως και μια μεγάλη φυσική δεξαμενή νερού, δεν παρουσιάζουν αισθητή διαφορά θερμοκρασίας αν τους διοχετευτούν κάποιες σχετικά μικρές ποσότητες θερμότητας, που αντλούνται για τον δροσισμό ενός χώρου, ή τους αφαιρεθούν ανάλογες ποσότητες θερμότητας, που χρειάζονται για τη θέρμανση του ίδιου χώρου, το χειμώνα.

Η απορρόφηση και η απόδοση θερμότητας γίνονται με μεταβολή φάσεων ρευστού (από υγρό σε αέριο και από αέριο σε υγρό), κατάλληλων θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του ψυκτικού ρευστού.

Το καλοκαίρι, στη λειτουργία για δροσισμό: Ο συμπιεστής, που παίρνει κίνηση από έναν ηλεκτροκινητήρα, αναρροφά το ψυκτικό ρευστό σε αέρια κατάσταση και σε χαμηλή πίεση. Στην έξοδο του συμπιεστή, η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού έχουν ανέβει αρκετά. Καθώς περνάει από το συμπυκνωτή –

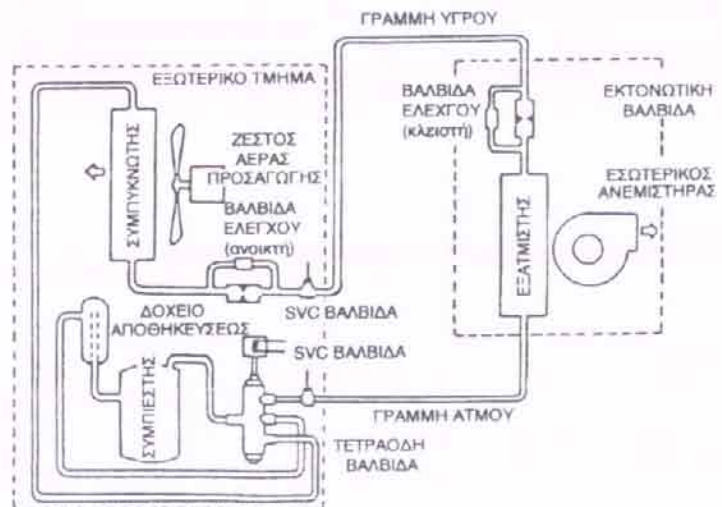
εναλλάκτη έρχεται σε έμμεση επαφή με τη χαμηλότερη θερμοκρασία του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και αποβάλλει θερμότητα προς το περιβάλλον, υπό σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβληθεί το αέριο σε κορεσμένο υγρό ή και υπόψυκτο.

Έπειτα, το υγρό περνάει μέσα από τη βαλβίδα εκτόνωσης, όπου μειώνονται η πίεση και η θερμοκρασία του. Στο σημείο αυτό, η αέρια και η υγρή φάση του ρευστού συνυπάρχουν και η αναλογία τους εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες. Τώρα, η θερμοκρασία του ρευστού είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου που περιβάλλει τον εξατμιστή, ώστε ο αέρας του χώρου, κατά την έμμεση επαφή του με το ψυκτικό ρευστό, απορροφά θερμότητα κάτω από σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα είναι να φτάσει το ρευστό σε κατάσταση κορεσμένου ή και υπέρθερμου αερίου και είναι έτοιμο να εκτελέσει ξανά τον κύκλο. Η αποβολή και απορρόφηση θερμότητας που πραγματοποιείται στο συμπυκνωτή και εξατμιστή αντίστοιχα, υποβοηθείται από ειδικούς ανεμιστήρες, οι οποίοι συντελούν στην ταχύτερη κυκλοφορία του περιβάλλοντος αέρα (νωπού ή εσωτερικού χώρου).

4.2.3 Εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου

Τα κύρια εξαρτήματα του κύκλου ψύξης με συμπίεση ατμών είναι:

- Ο συμπιεστής
- Ο συμπυκνωτής
- Η βαλβίδα εκτόνωσης (διάταξη στραγγαλισμού)
- Ο εξατμιστής
- Οι ενδιάμεσες σωληνώσεις (για τη σύνδεση των παραπάνω στοιχείων)
- Τα βοηθητικά εξαρτήματα (συλλέκτης υγρού)
- Εξαρτήματα αυτόματου ελέγχου της μονάδας (πιεσοστάτες, θερμοστάτες)



Πιο αναλυτικά:

Ο συμπιεστής

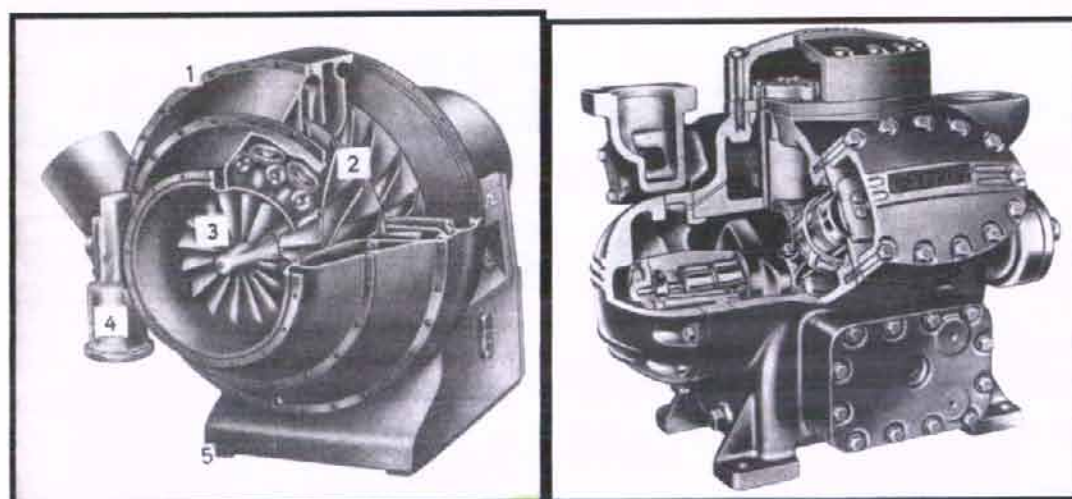
Δημιουργεί τη διαφορά πίεσης που είναι απαραίτητη για την κίνηση του ψυκτικού ρευστού μέσα στους αγωγούς και τις επιμέρους συσκευές των ψυκτικών μηχανών, υπερνικώντας τις τριβές ροής. Αναρροφά το ψυκτικό αέριο από τον εξατμιστή και ρυθμίζει την πίεση και την ποσότητα που ατμοποιείται και στη συνέχεια συμπιέζει το ψυκτικό αέριο προς το συμπυκνωτή της μονάδας, ώστε αυξάνει την πίεση του ατμού σε μια θερμοκρασία συμπύκνωσης μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.



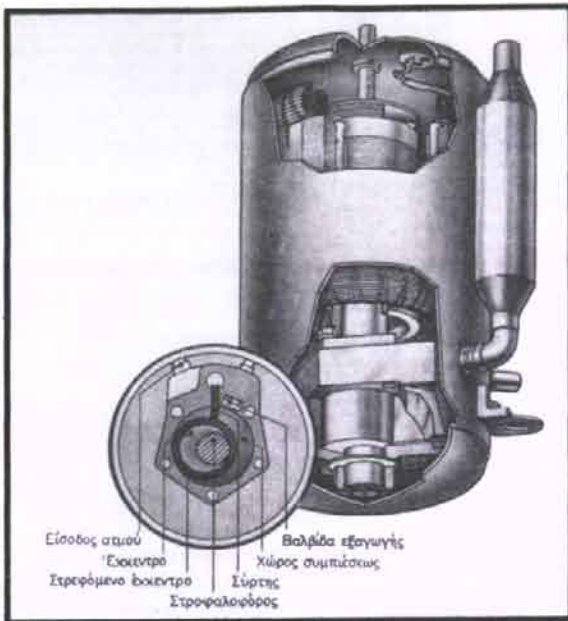
Ο συμπιεστής, για να λειτουργήσει, χρειάζεται μηχανική ενέργεια, η οποία πρέπει να προσδοθεί στον άξονα περιστροφής του. Αυτή η ενέργεια, συνήθως δίνεται από έναν ηλεκτροκινητήρα.

Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης του συμπιεστή διακρίνουμε τους εξής τύπους:

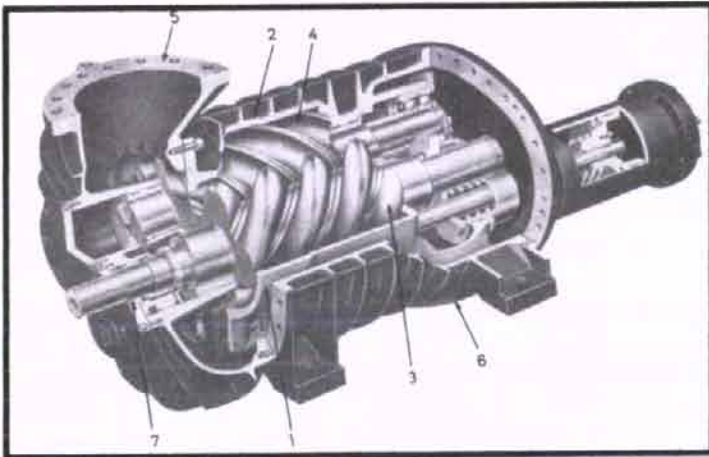
- Εμβολοφόρους συμπιεστές
- Φυγοκεντρικούς συμπιεστές
- Κοχλιόμορφους συμπιεστές
- Συμπιεστές τυμπάνου



Συμπιεστές: Φυγοκεντρικός ερμητικός: 1→διβάθμιος συμπιεστής και ηλεκτροκινητήρας
2→στροφέιο 3→πτερύγια προσυστροφής 4→υδραυλική βαλβίδα (αριστερή εικόνα)
Πολυκύλινδρος εμβολοφόρος, ανοιχτού τύπου, σε ημιτομή (δεξιά εικόνα)



Συμπιεστής τυμπάνου ερμητικός, κατάλληλος για χρήση αντλίας θερμότητας, με ψυκτικό μέσο R-22



Κοχλιόμορφος συμπιεστής: 1→κέλυφος συμπίεσης αρσενικού λοβού 2→κέλυφος συμπίεσης θηλυκού λοβού 3→αρσενικός λοβός 4→θηλυκός λοβός 5→αναρρόφηση 6→εξαγωγή 7→στεγανοποίηση ανοικτού άξονα

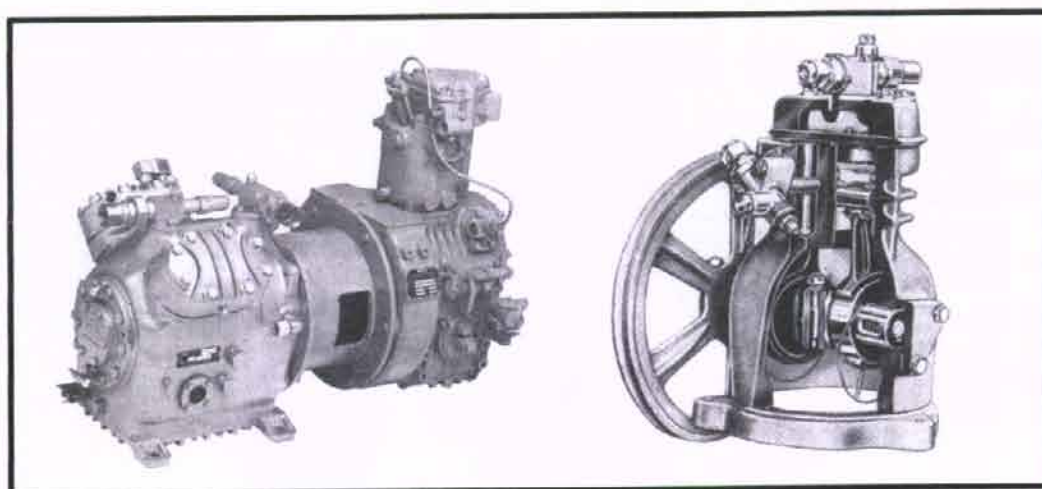
Τα υλικά κατασκευής των συμπιεστών είναι κατάλληλα για να συνεργάζονται με το ψυκτικό μέσο και το λάδι λίπανσης κατά τρόπο που να αποκλείει την εμφάνιση χημικών επιδράσεων, όπως οξείδωση των μετάλλων, προσβολή μέσων στεγανοποίησης, καταλυτική διάσπαση του ψυκτικού μέσου κ.α.

Ως προς τη στεγανότητα, οι συμπιεστές διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

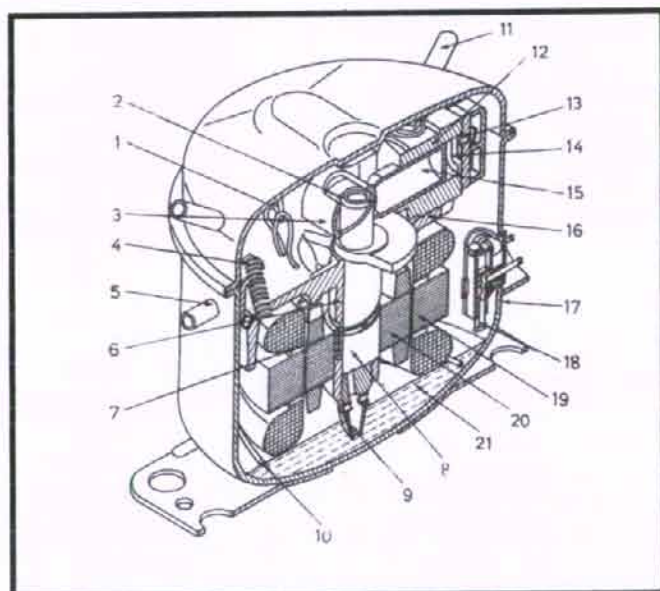
- Τους κλειστούς ή ερμητικούς συμπιεστές: ο ηλεκτροκινητήρας και ο συμπιεστής βρίσκονται μέσα στο ίδιο στεγανό κέλυφος και δεν υπάρχει

διαρροή ψυκτικού μέσου προς το περιβάλλον. Αυτοί οι συμπιεστές είναι συνήθως μικρής ισχύος.

- Τους ανοιχτούς 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 είναι ευαίσθητη προς τη στεγανότητα.



Συμπιεστές ανοιχτού τύπου: εμβολοφόρος, που κινείται από μικρό κινητήρα Diesel (αριστερή εικόνα), μονοκύλινδρος, σε ημιτομή (δεξιά εικόνα)



Διάταξη ερμητικού συμπιεστή 1/12 PS.

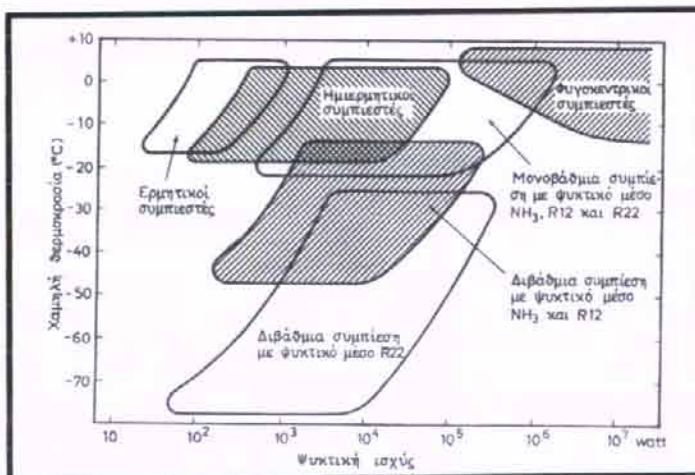
1. Βρόχος αγωγού υψηλής πίεσης. 2. Γόμφος στροφαλοφόρου ατράκτου. 3. Κέλυφος αρθρώσεως ολισθήσεως. 4. Ελατήριο αναρτήσεως. 5. Αναμονή υψηλής πίεσης. 6. Έδρανο στροφαλοφόρου ατράκτου. 7. Αυλάκι λιπάνσεως. 8. Στροφαλοφόρος άτρακτος. 9. Προστατευτικό έλασμα. 10. Φυγό-κεντρο αντλία λιπάνσεως. 11. Αναμονή 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 ηλεκτρο-κινητήρα. 20. Στροφείο ηλεκτροκινητήρα. 21. Στάθμη λαδιού.



Εξωτερική μορφή ερμητικών, εμβολοφόρων συμπιεστών, σύγχρονης τεχνολογίας

Οι ανάγκες για εγκαταστάσεις ψύξης είναι πολλές και διαφορετικές, γι' αυτό κατασκευάζονται διάφορα μεγέθη και τύποι συμπιεστών για την κάλυψή τους. Στο παρακάτω σχήμα, έχει γίνει μια συνοπτική αναπαράσταση των πιο συνηθισμένων ψυκτικών εφαρμογών, ανάλογα με την ψυκτική ισχύ και τη θερμοκρασία λειτουργίας.

Όπως φαίνεται, για μεγάλες τιμές ψυκτικής ισχύος και σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες, κατάλληλοι είναι οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές. Για μεσαίες τιμές ψυκτικής ισχύος, χρησιμοποιούνται οι ημιαερικοί συμπιεστές, ενώ για μεσαίες τιμές ψυκτικής ισχύος και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιούνται διβάθμιες¹⁰ εγκαταστάσεις με συνηθισμένα ψυκτικά μέσα (R-22).



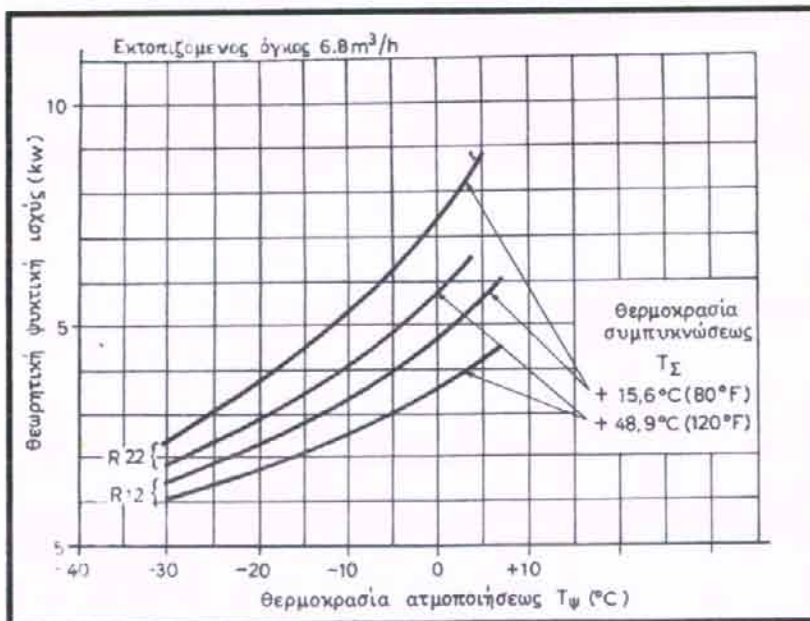
¹⁰ Είναι οι ψυκτικές εγκαταστάσεις στις οποίες η ψύξη γίνεται διαδοχικά σε δύο στάδια. Έτσι η θερμότητα του ψυχρότερου συμπυκνωτή δίνεται στο στοιχείο ατμοποίησης της δεύτερης διάταξης που λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συμπιεστών

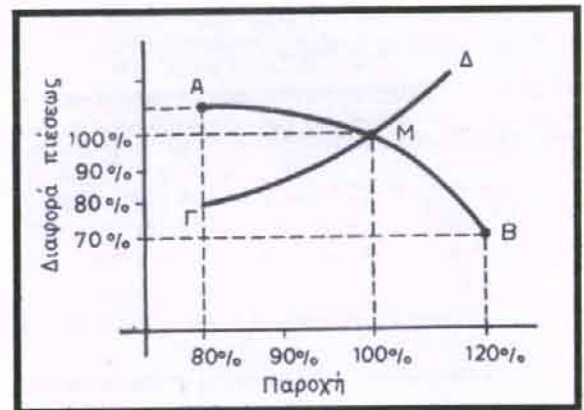
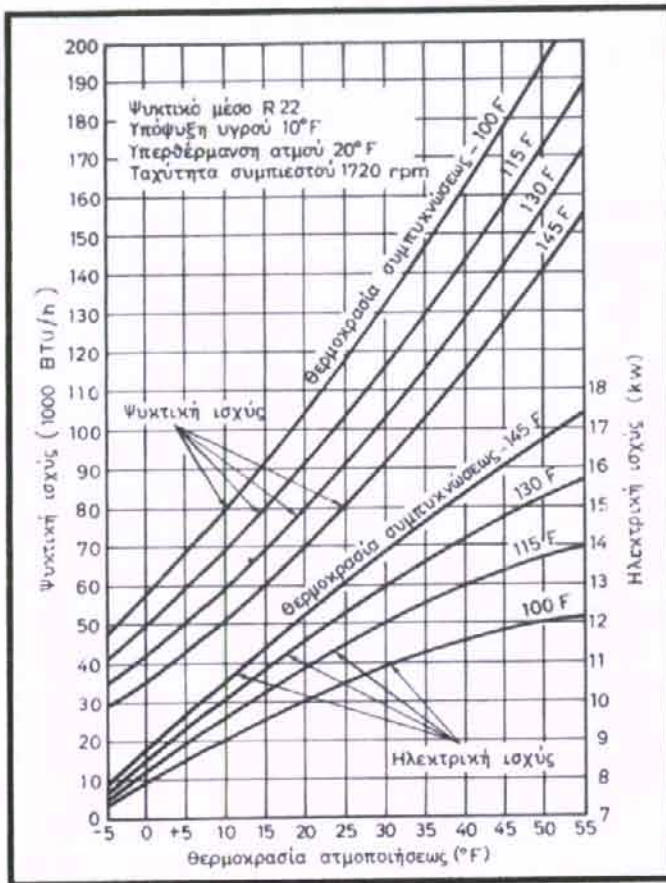
Οι χαρακτηριστικές λειτουργίες είναι τα διαγράμματα εκείνα που περιγράφουν την ικανότητα και τις επιδόσεις του συμπιεστή, κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Οι συνθήκες λειτουργίας ενός συμπιεστή καθορίζονται από αρκετές παραμέτρους, που οι σημαντικότερες είναι οι εξής:

1. αριθμός περιστροφών στη μονάδα του χρόνου (rpm)
2. είδος ψυκτικού μέσου
3. θερμοκρασία ατμοποίησης (και πίεση)
4. θερμοκρασία συμπύκνωσης (και πίεση)
5. υπόψυξη συμπυκνώματος
6. υπερθέρμανση αναρρόφησης
7. σταθερότητα παροχής ψυκτικού μέσου
8. θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος
9. ψύξη λαδιού (αν χρησιμοποιείται)

Τα μεγέθη αυτά επηρεάζουν τη λειτουργία και τις χαρακτηριστικές του συμπιεστή και πρέπει να είναι γνωστά, όταν συγκρίνονται ή κατασκευάζονται εγκαταστάσεις. Παρακάτω, ακολουθούν μερικά παραδείγματα χαρακτηριστικών καμπύλων λειτουργίας διάφορων συμπιεστών.



Θεωρητική ψυκτική ισχύς για ογκομετρική παροχή $6,8 \text{ m}^3/\text{hr}$ για διάφορες θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπύκνωσης, με ψυκτικό μέσο R-22



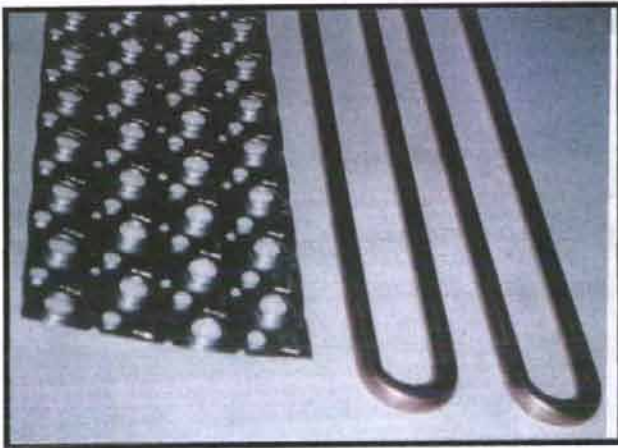
Τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες εμβολοφόρου, ερμητικού συμπιεστή. Δίνεται η πραγματική, ψυκτική ισχύς και η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς (αριστερή εικόνα). Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας φυγοκεντρικού συμπιεστή AB και καμπύλη αντίστασης ροής ΓΔ, συναρτήσει της διαφοράς πίεσης και της παροχής (δεξιά εικόνα).

Ο συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής απορρίπτει (αποβάλλει) την αισθητή και τη λανθάνουσα θερμότητα από το ψυκτικό σύστημα, με αποτέλεσμα να συμπυκνώνεται ο υπέρθερος ατμός που προέρχεται από το συμπιεστή. Η θερμότητα αυτή μπορεί να προέρχεται από αυτήν που έχει απορροφήσει ο εξατμιστής, από αυτήν που έχει δημιουργηθεί κατά τη συμπίεση ή από μηχανικές τριβές, από αυτήν που προέρχεται από τις περιελίξεις του κινητήρα και από οποιαδήποτε θερμότητα έχει απορροφηθεί κατά την υπερθέρμανση της γραμμής αναρρόφησης, πριν αυτή εισέλθει στο συμπιεστή.



Δηλαδή, ο συμπυκνωτής είναι στην πραγματικότητα ένας θερμικός εναλλάκτης, όπου θερμότητα Q_H αφαιρείται από το ψυκτικό αέριο προς το περιβάλλον, με τη βοήθεια του μέσου ψύξης (ανεμιστήρας). Όταν το σύστημα λειτουργεί, το ψυκτικό κυκλοφορεί στις σωληνώσεις του συμπυκνωτή, ενώ εξωτερικά ρέει αέρας που τροφοδοτείται από έναν ανεμιστήρα, ώστε να αυξάνει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Για τον ίδιο λόγο, στις σωληνώσεις του συμπυκνωτή προστίθενται και πτερύγια. Με την αφαίρεση της θερμότητας από το σύστημα προς το περιβάλλον, πραγματοποιείται η υγροποίηση (συμπύκνωση) του ψυκτικού αερίου. Το αέριο (ατμός) που εισέρχεται στο συμπυκνωτή, είναι πολύ θερμό σε σύγκριση με τον περιβάλλοντα αέρα, ούτως ώστε να αρχίζει αμέσως η ανταλλαγή θερμότητας στον αέρα.



Τα κυριότερα υλικά κατασκευής των συμπυκνωτών

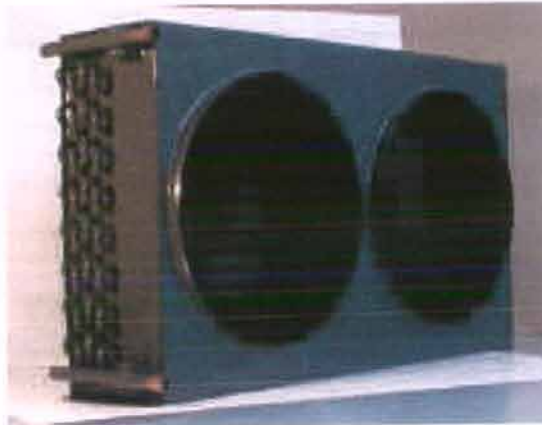
Μόλις αρχίσει η μετακίνηση του αερίου (ατμού) μέσα στο συμπυκνωτή, τότε αυτό αρχίζει να αποβάλλει θερμότητα στον περιβάλλοντα αέρα. Αυτό το γεγονός προκαλεί μια πτώση της θερμοκρασίας του αερίου (ατμού). Το αέριο (ατμός) συνεχίζει να ψύχεται, έως ότου φτάσει στη θερμοκρασία συμπύκνωσης, οπότε αρχίζει η αλλαγή της κατάστασης. Το υγρό, στο τέλος (στην έξοδο) του συμπυκνωτή, βρίσκεται στη θερμοκρασία συμπύκνωσης και έχει τη δυνατότητα ακόμα να αποδώσει κάποια ποσά θερμότητας προς τον περιβάλλοντα αέρα, που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία κατέβει κάτω από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης του ψυκτικού υγρού, τότε αυτό καλείται υπόψυκτο. 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.

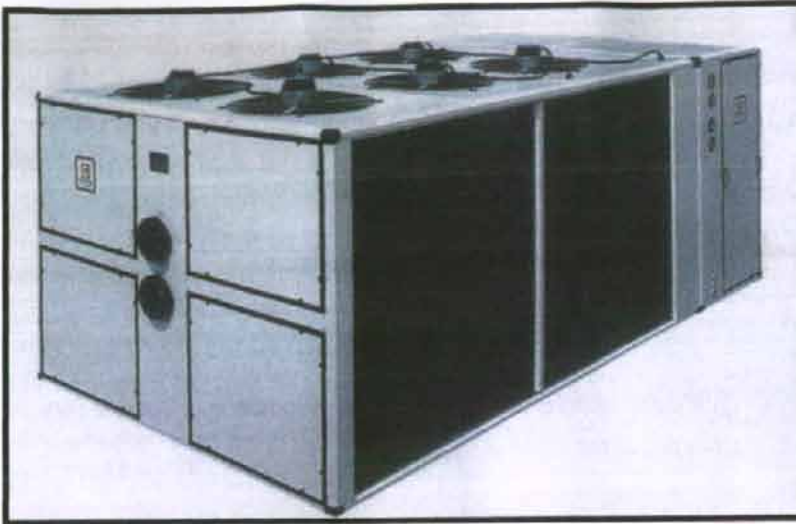
Ο συμπυκνωτής υπολογίζεται πάντοτε έτσι, ώστε να επαρκεί για το μέγιστο φορτίο της εγκατάστασης, κάτω από τις πιο δυσμενείς συνθήκες, που προβλέπονται να εμφανιστούν.

Για να λειτουργήσει ικανοποιητικά η ψυκτική διάταξη, πρέπει η πίεση στο συμπυκνωτή να παραμένει σε ορισμένα όρια. Αύξηση της πίεσης συμπύκνωσης προκαλεί μείωση της ψυκτικής ισχύος. Η ελάττωση προκαλεί μείωση στη ροή του υγρού, ψυκτικού μέσου προς το σημείο ατμοποίησης και απώλεια ψυκτικής ισχύος. Τα φαινόμενα αυτά προλαμβάνονται με χρήση κατάλληλων διατάξεων αυτοματισμού για το νερό και τον αέρα ή για το ψυκτικό μέσο.

Ανάλογα με το «περιβάλλον» στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα των συμπυκνωτών των ψυκτικών εγκαταστάσεων, έχουν αναπτυχθεί και οι αντίστοιχοι τύποι συμπυκνωτών που είναι οι εξής:

- 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 σωληνώσεων αυξάνεται τεχνητά με την προσθήκη επιφάνειας που έχει τη μορφή πτερυγίου ή συρμάτων. Η αύξηση αυτή της επιφάνειας είναι αναγκαία, λόγω του μικρού συντελεστή ειδικής συναγωγιμότητας του αέρα. Για αύξηση της αποδοτικότητας του συμπυκνωτή, ώστε να αξιοποιηθούν καλύτερα οι επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας με τον αέρα του περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται συνήθως ηλεκτροκίνητοι ανεμιστήρες που αυξάνουν τις ταχύτητες ροής του αέρα. Πολλές φορές το μέγεθος του συμπυκνωτή καθορίζεται για μια δεδομένη θερμοκρασιακή διαφορά, μεταξύ θερμοκρασίας συμπύκνωσης του ψυκτικού μέσου και θερμοκρασίας του αέρα περιβάλλοντος.

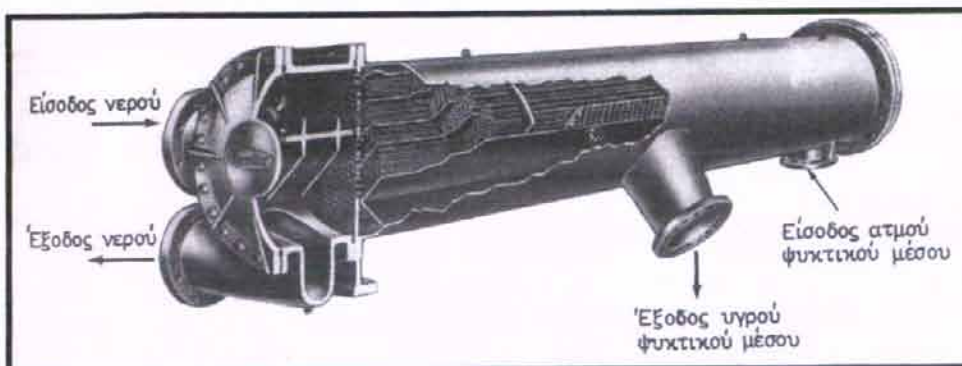




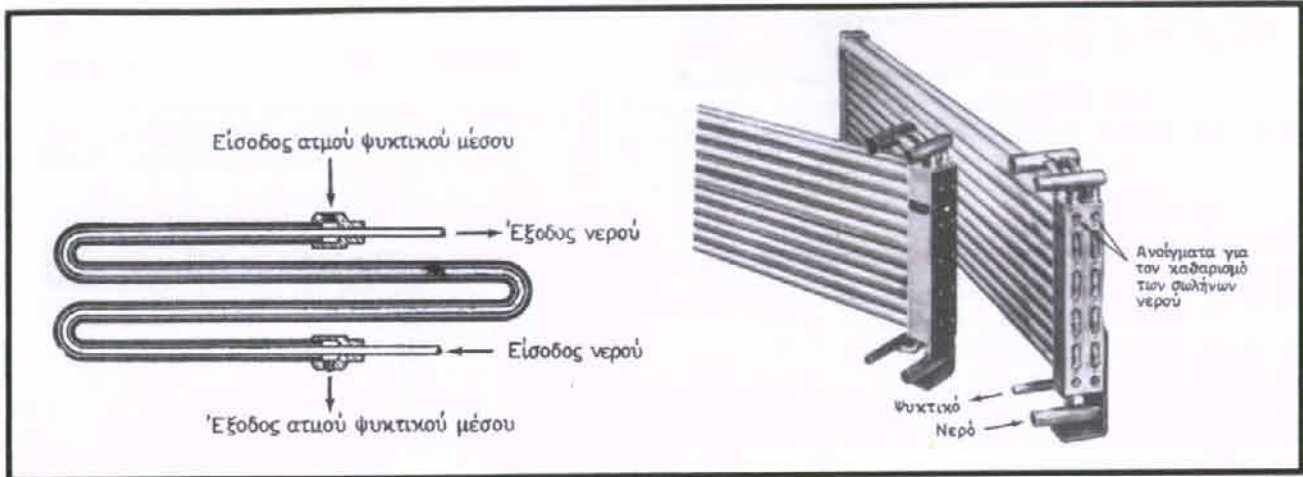
Αερόψυκτο συγκρότημα κλειστό σε μεταλλική κατασκευή

- Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές: σε αυτούς τους συμπυκνωτές, νερό που κυκλοφορεί απάγει τη θερμότητα που αφαιρείται από το ψυκτικό μέσο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συμπυκνωτών, ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση:

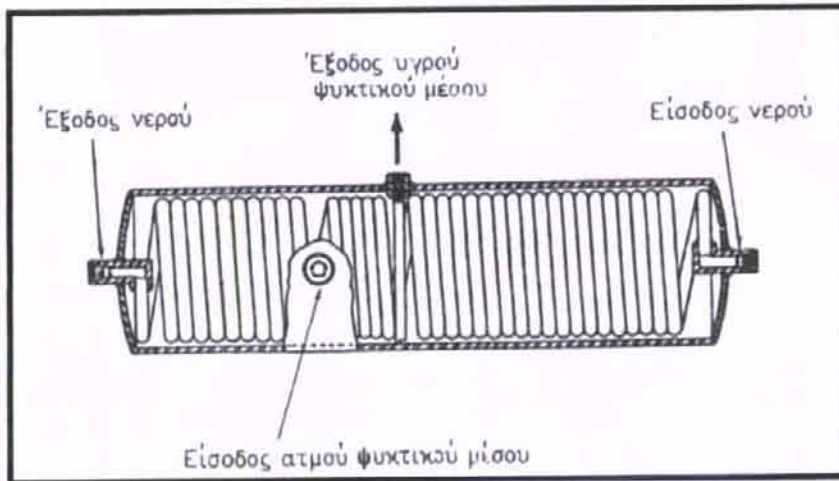
- ο Κελύφους – σωλήνων
- ο Κελύφους – σπειρών
- ο Ομοαξονικών σωλήνων
- ο Ελεύθερης επιφάνειας νερού
- ο Πλακοειδείς



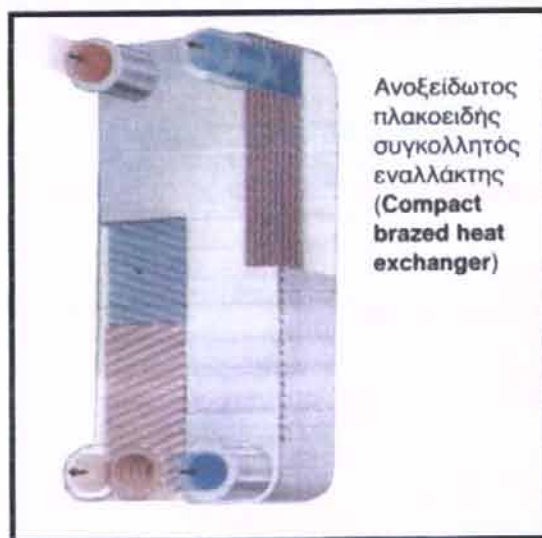
Υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους - σωλήνων



Υδρόψυκτος συμπυκνωτής ομοαξονικών σωλήνων

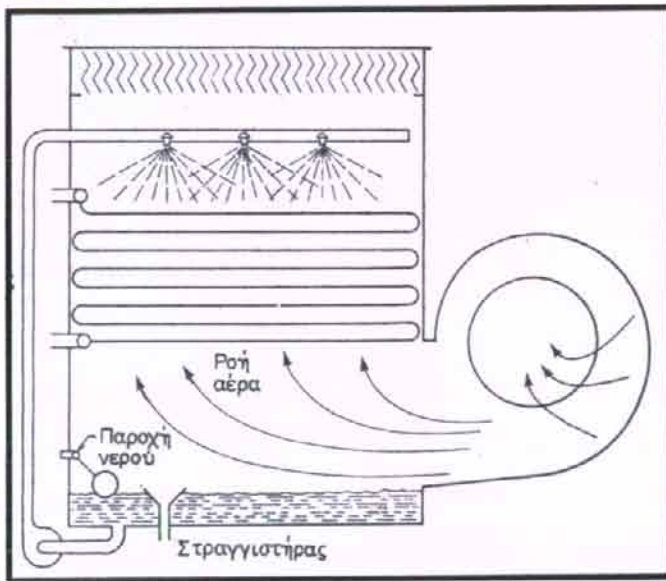


Υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους – σπειρών



Κατασκευαστική διαμόρφωση πλακοειδούς εναλλάκτη

- Συμπυκνωτές εξάτμισης νερού: στους συμπυκνωτές εξάτμισης νερού, το νερό που παίρνει την απορριπτόμενη θερμότητα φτάνει έως 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 από το εξατμιζόμενο νερό και βοηθάει ώστε να συνεχίζεται η εξάτμιση. Το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στο εσωτερικό ενός σπειροειδούς σωλήνα και συμπυκνώνεται. Το νερό στάζει πάνω στους σωλήνες σε μορφή σταγονιδίων και τους βρέχει. Ο αέρας κυκλοφορεί στην εξωτερική πλευρά των σωληνώσεων και συμπαρασύρει το εξατμιζόμενο νερό προς το περιβάλλον.



Συμπυκνωτής εξάτμισης νερού, τύπου καταθλίψεως

Εκτονωτικοί μηχανισμοί

Μετά το συμπυκνωτή, το θερμό, υπόψυκτο υγρό κινείται προς τα κάτω στη γραμμή υγρού, προς την κατεύθυνση του εκτονωτικού μηχανισμού, ώστε να υποβιβάσει την πίεσή του και να επιστρέψει στο στοιχείο ατμοποίησης για να ξαναγίνει ατμός.

Η βαλβίδα εκτόνωσης (διάταξη στραγγαλισμού) είναι το εξάρτημα στο οποίο το ψυκτικό υγρό εκτονώνεται. Δηλαδή, το ψυκτικό μέσο μεταβάλλεται από υγρό (συνήθως υπόψυκτο) υψηλής πίεσης, σε μίγμα υγρού – ατμού χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Ο στραγγαλισμός εάν υποθεθεί ότι γίνεται αδιαβατικά¹¹, είναι μεταβολή ισοenthalπική. Επειδή οι πιέσεις λειτουργίας της εγκατάστασης μεταβάλλονται με την εποχή και με το

¹¹ Χωρίς συναλλαγή θερμότητας μεταξύ ψυκτικού μέσου και περιβάλλοντος

ψυκτικό φορτίο που υπάρχει κάθε φορά, η παροχή της διάταξης στραγγαλισμού πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται σε αυτές τις ανάγκες. Γι' αυτό το σκοπό, επιβάλλονται ρυθμιστικές διατάξεις ελέγχου των διάφορων σημείων της εγκατάστασης, ώστε η διάταξη του στραγγαλισμού να προσαρμόζεται στο μέσο όρο της παροχής του συμπιεστή. Για τον παραπάνω λόγο μετρούνται και ελέγχονται η θερμοκρασία, η πίεση, η στάθμη υγρού του ψυκτικού μέσου και η υπερθέρμανση του ατμού του ψυκτικού μέσου στην έξοδο του εξατμιστή. Με βάση αυτές τις τιμές ρυθμίζεται η παροχή του ψυκτικού μέσου. Οπότε η διάταξη στραγγαλισμού έχει διπλή αποστολή. Στραγγαλίζει δηλαδή, την πίεση στην πίεση λειτουργίας του εξατμιστή και ρυθμίζει την παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή προς τον εξατμιστή.

Ένας τύπος μηχανισμού ελέγχου είναι ο τριχοειδής σωλήνας. Αυτός είναι ένας μικρός σωλήνας, πολύ μικρής διατομής, που παρεμβάλλεται στην κανονική σωλήνωση. Αυτός ο μηχανισμός, εμποδίζει την πλήρη ροή του ψυκτικού μέσου και είναι το διαχωριστικό σημείο μεταξύ της πλευράς υψηλής πίεσης και της πλευράς χαμηλής πίεσης του συστήματος. Το μήκος και η διάμετρος του σωλήνα εξαρτώνται από το είδος του ψυκτικού μέσου, από τη



διαφορά πίεσης και από την ψυκτική ισχύ. Μέσα σ' αυτόν το μηχανισμό μπορεί να εισέλθει μόνο υγρό. Η ροή του υγρού είναι πολύ περιορισμένη σε αυτό το σημείο. Το υγρό ψυκτικό μέσο εισέρχεται στο τριχοειδές με υψηλή πίεση. Το ψυκτικό μέσο εγκαταλείπει το τριχοειδές σαν μίγμα υγρού (75% περίπου) και ατμού (25% περίπου) σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία¹².

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 εκτόνωσης. Όταν η ψυκτική μονάδα είναι εκτός λειτουργίας, ο τριχοειδής σωλήνας εξισώνει την πίεση σε ολόκληρη την εγκατάσταση και έτσι ο συμπιεστής μπορεί να εκκινήσει με ευνοϊκές συνθήκες αντιθλίψεως.

Στον επόμενο πίνακα, φαίνονται τυποποιημένες διαστάσεις διάφορων τριχοειδών σωλήνων.

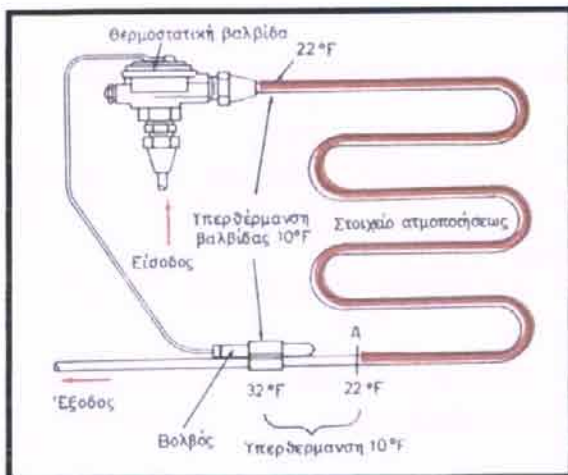
¹² Βλ. υποκεφάλαιο 5.3

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

Μηχανικές βαλβίδες εκτόνωσης

Ένα άλλο είδος εκτονωτικού μηχανισμού είναι οι μηχανικές βαλβίδες εκτόνωσης. Έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορίες για την πίεση ατμοποίησης, τη θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού, το ύψος στάθμης υγρού ή το συνδυασμό αυτών και να ρυθμίζουν την παροχή του ψυκτικού μέσου προς τον εξατμιστή. Σε όλες 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 θερμικής ή υδραυλικής δράσης ή και ηλεκτρικός. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι είναι οι εξής:

- Θερμοστατική βαλβίδα
- Πιεζοστατική βαλβίδα
- Θερμοηλεκτρική βαλβίδα
- Βαλβίδα πλωτήρα χαμηλής και υψηλής πίεσης



Θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης, για λειτουργία με υπερθέρμανση 10° F (5,6° C)

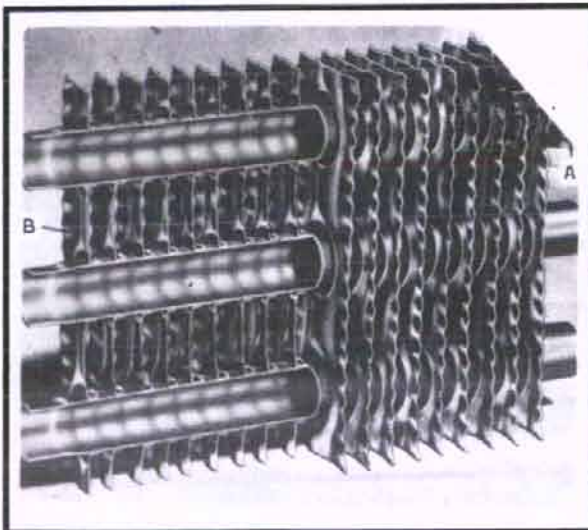
Ο εξατμιστής

Ο εξατμιστής ή στοιχείο ατμοποίησης είναι όμοια διάταξη με τον συμπυκνωτή, μόνο που εργάζεται αντίθετα. Σκοπός του είναι η αφαίρεση θερμότητας από τον κλιματιζόμενο χώρο και η πρόσδοσή της στο υγρό, ψυκτικό μέσο, το οποίο αλλάζει φάση και γίνεται ατμός. Η αλλαγή φάσης γίνεται εν γένει σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση του ψυκτικού μέσου, που εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου. Η θερμότητα που αποβάλλεται από τον αέρα είναι ίση με τη θερμότητα που απορροφάται από το ψυκτικό, όταν περνά μέσα από τον εξατμιστή.



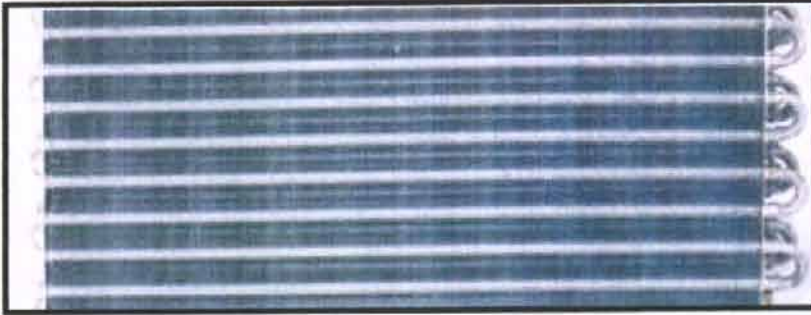
Υπάρχει πολλή μεγάλη ποικιλία στοιχείων ατμοποίησης με μορφή και κατασκευή που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της κάθε εγκατάστασης. Το ρευστό που ψύχεται χαρακτηρίζει τις δύο μεγάλες κατηγορίες των στοιχείων ατμοποίησης:

- Τα στοιχεία ψύξης αέρα: στο είδος αυτό, το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται μέσα σε σωλήνες κυκλικής διατομής, οι οποίοι, ανάλογα με την εφαρμογή στην εξωτερική τους πλευρά είναι λείο ή έχουν πτερύγια τα οποία αυξάνουν την επιφάνειά τους. Τα πτερύγια αυτά, ανάλογα με την ανάγκη που εξυπηρετεί το στοιχείο ατμοποίησης, μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφα ή και να έχουν και κατάλληλη κλίση. Επίσης, μπορεί να είναι μονά ή διπλά.



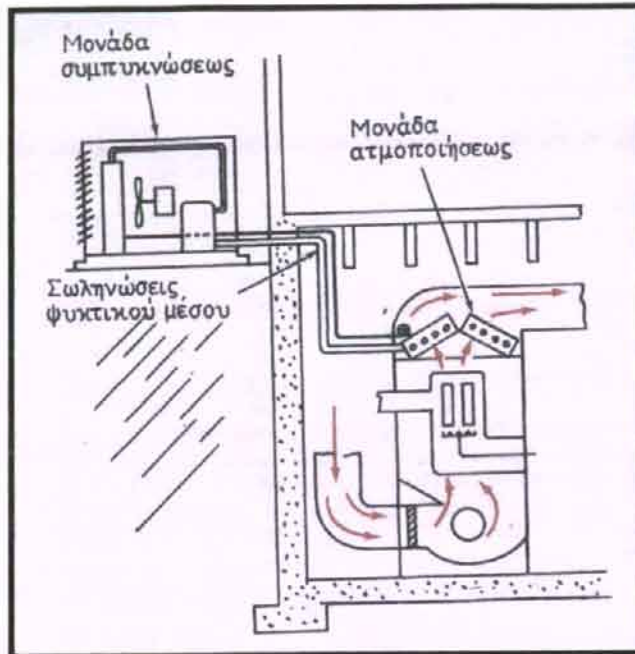
Τομή σε στοιχείο ατμοποίησης A→σωλήνες B→πτερύγια

Ανάλογα με τη ροή του αέρα, τα στοιχεία ατμοποίησης, μπορεί να είναι φυσικής ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν.



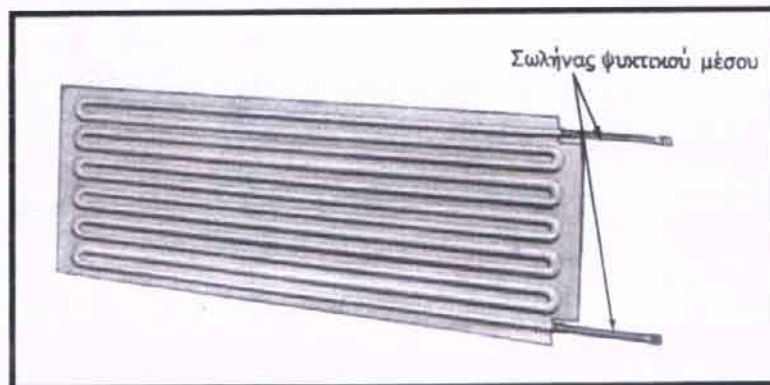
Κατασκευαστική διαμόρφωση και λειτουργία πλακοειδούς εναλλάκτη αέρος-αέρος

Ο τρόπος ενσωμάτωσης των στοιχείων στην όλη εγκατάσταση εξαρτάται από το είδος της εγκατάστασης¹³.



Κλιματιστική συσκευή που διαμορφώθηκε κατάλληλα στη γεωμετρία του χώρου με διπλό κεκλιμένο στοιχείο ατμοποίησης

Για ορισμένες εφαρμογές, τα στοιχεία ατμοποίησης κατασκευάζονται από δύο ελάσματα, τα οποία σχηματίζουν τους αγωγούς – σωλήνες με κατάλληλα βαθουλώματα, όπως φαίνεται και στο σχήμα, όπου επάνω στα επίπεδα ελάσματα τυπώνεται το σχήμα των σωληνώσεων που θέλουμε να κατασκευαστεί.



Στοιχείο ατμοποίησης κατασκευασμένο από δύο ελάσματα με κατάλληλη διαμόρφωση

¹³ Γεωμετρία και θέση που εξυπηρετεί την εγκατάσταση

Μετά, τα δύο επίπεδα ελάσματα, τοποθετημένα αντικριστά, συμπιέζονται τόσο ισχυρά ώστε να γίνουν ένα σώμα.

- Τα στοιχεία ψύξης υγρών: τα στοιχεία ατμοποίησης που ψύχουν υγρά, είναι εναλλάκτες θερμότητας, στους οποίους η μία πλευρά διαρρέεται από υγρό που ψύχεται, ενώ η άλλη πλευρά από ψυκτικό μέσο που ατμοποιείται. Υπάρχουν πολλοί τύποι τέτοιων στοιχείων, οι οποίοι έχουν διαμορφωθεί για να εξυπηρετούν συγκεκριμένες ανάγκες και δίνονται στον πίνακα της επόμενης σελίδας, ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης, όπου χρησιμοποιούνται.

Για οποιονδήποτε όμως τύπο στοιχείου ατμοποίησης, υπάρχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του ή το σχεδιασμό του και είναι:

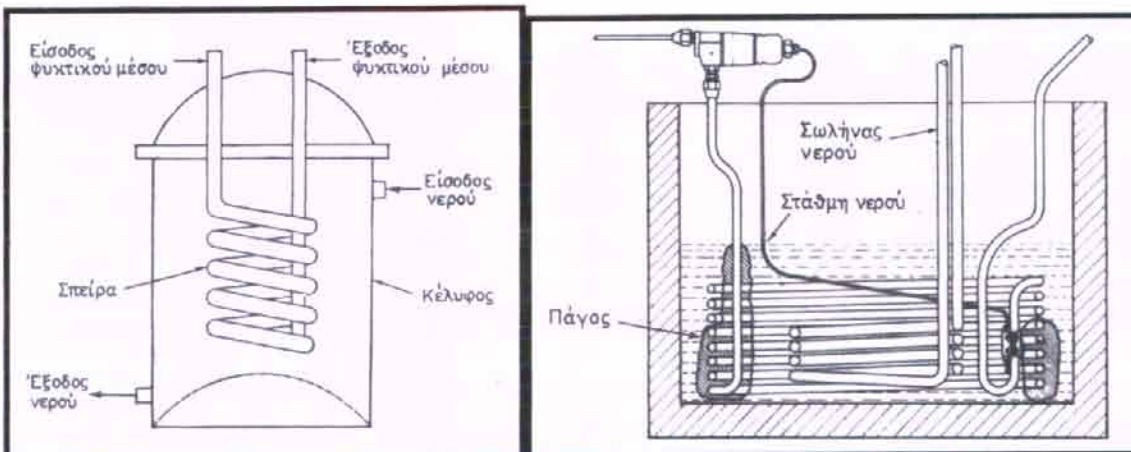
- ο Επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας
- ο Μέθοδος παροχής ψυκτικού μέσου στο στοιχείο
- ο Ασφάλεια της κατασκευής
- ο Απώλειες ψυκτικού μέσου, λόγω διαρροών
- ο Περιεκτικότητα υγρού, ψυκτικού μέσου
- ο Ρύπανση επιφανειών
- ο Οξειδωση των μεταλλικών επιφανειών
- ο Όγκος και βάρος της κατασκευής
- ο Δυνατότητα παγώματος ψυχόμενου υγρού
- ο Πτώση πίεσης ψυχόμενου υγρού, λόγω κυκλοφορίας του
- ο Κόστος του στοιχείου

Τύπος στοιχείου	Συνηθισμέ- νη διάταξη παραχής ψυ- κτικού μέσου	Συνηθισμέ- νη ψυκτι- κή ισχύς (ψυκτικοί τόνοι, RT).	Ψυκτικό μέσο, που συνήθως χρησιμοποιείται
1. Κελύφους- απλών σωλή- νων υπερ- χειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πίεσεως.	50 – 500	717 (αμμωνία)
2. Κελύφους- περυγα- φόρων σωλή- νων υπερ- χειλίσεως.	Πλωτήρας χαμηλής πίεσεως. Πλωτήρας υψηλής πίεσεως.	25 – 2000 50 – 5000	11, 12, 22, 113 114, 500
3. Κελύφους- σωλήνων κα- ταιωνισμού (σπρέϋ).	Πλωτήρας χαμηλής πίεσεως. Πλωτήρας υψηλής πίεσεως.	50 – 5000	11, 12, 113, 114
4. Κελύφους- σωλήνων «ξηρής» εκτο- νώσεως.	Θερμοστατι- κή βαλβίδα στραγγαλι- σμού.	5 – 350	12, 22, 500 502, 717
5. Καταιωνισμού νερού υπερχειλί- σεως.	Πλωτήρας χαμηλής πίεσεως.	10 – 100	717
6. Καταιωνισμού νερού «ξηρής» εκτο- νώσεως.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλι- σμού.	5 – 25	12, 22, 717
7. Ομοαξονικών σωλήνων υπερχειλί- σεως.	Πλωτήρας χαμηλής πίεσεως.	10 – 25	717
8. Ομοαξονικών σωλήνων «ξηρής» εκτο- νώσεως.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλι- σμού.	5 – 25	12, 22, 717
9. Κελύφους- σπείρας.	Θερμοστατική βαλβίδα στραγγαλι- σμού.	2 – 10	12, 22, 717
10. Δαχείου ανα- δεύσεως. υπερχειλί- σεως.	Πλωτήρας χαμηλής πίεσεως.	50 – 200	717

Όπως είναι γνωστό, ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντοτε μία ποσότητα υδρατμού που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε στιγμής. Όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας έρθει σε επαφή με κάποια ψυχρή επιφάνεια, ψύχεται και ο υδρατμός που εμπεριέχει. Εάν η ψύξη αυτή είναι αρκετή, τότε ο υδρατμός συμπυκνώνεται, κατά κάποιο ποσοστό, και επάνω στην ψυχρή επιφάνεια εμφανίζονται σταγόνες νερού. Τα στοιχεία ατμοποίησης, πολλές φορές, χρησιμοποιούνται και για να αφυγράνουν τον αέρα και με κατάλληλη διάταξη, απομακρύνουν τα συμπυκνώματα. Βέβαια, η συμπύκνωση των υδρατμών πρέπει να γίνεται με προσοχή, ώστε να μην σχηματίζεται πάγος επάνω στην επιφάνεια του εξατμιστή, διότι δυσκολεύει τη μετάδοση θερμότητας.



Κατασκευαστική διαμόρφωση εναλλάκτη κελύφους – σωλήνα, με σωλήνες μορφής U



Σχηματική παράταξη στοιχείου κελύφους – σπειρών (αριστερή εικόνα), στοιχείο εμβλατισμένο σε νερό για συσσώρευση πάγου (δεξιά εικόνα).

4.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αντλιών θερμότητας

Τα πλεονεκτήματα της αντλίας θερμότητας:

- Το κόστος των αντλιών θερμότητας εξαρτάται μόνο από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι αρκετά χαμηλότερο από το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μιας μικρής εγκατάστασης, κλασσικού συστήματος κεντρικής θέρμανσης, με ζεστό νερό και θερμαντικά σώματα. Η αντλία θερμότητας είναι αρκετά οικονομική για τον κλιματισμό μεμονωμένων χώρων ή μικρών κτιρίων, γιατί εκμεταλλεύεται ποσά θερμότητας του φυσικού περιβάλλοντος.
- Δε συμβάλλει στη ρύπανση του περιβάλλοντος
- Η εγκατάσταση δεν απαιτεί μεγάλους χώρους
- Έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει ή να ψύχει ένα χώρο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του καταναλωτή
- Για ήπια κλίματα, όπως αυτό της χώρας μας, η αντλία θερμότητας παρουσιάζει υψηλό συντελεστή απόδοσης (C.O.P.). Ο C.O.P. είναι ακόμα καλύτερος όταν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας, όπου η κίνηση δίνεται από μια μηχανή Diesel.

Τα μειονεκτήματα της αντλίας θερμότητας:

- Το κόστος εγκατάστασης μιας αντλίας θερμότητας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος ενός συμβατικού καλοριφέρ
- Ο C.O.P. της αντλίας μειώνεται αισθητά σε περιόδους που οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι μεγάλες. Ενώ ο ονομαστικός C.O.P. μιας αντλίας είναι συνήθως 3,25 για 10° C στο εξωτερικό περιβάλλον και 21° C στο εσωτερικό, ο βαθμός πέφτει κάτω από 1,5, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω από -6° C. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται αντιστάσεις θέρμανσης που θα καλύψουν το επιπλέον φορτίο.

Η οικονομικότητα ή όχι των αντλιών θερμότητας εξαρτάται από την απαραίτητη ισχύ που θα πρέπει να καταναλώνεται στις αντιστάσεις. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή θερμότητας το νερό ή το έδαφος, όπου η θερμοκρασία δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης βέβαια, σε αυτές τις περιπτώσεις είναι μεγάλο.

Οι μεγάλες αντλίες χρησιμοποιούνται σε μεγάλα κτίρια και η απόδοσή τους κορυφώνεται, όταν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης κάποιων χώρων και ταυτόχρονα, ψύξης κάποιων άλλων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εντυπωσιακή εξοικονόμηση ενέργειας, αφού έχουμε μεταφορά θερμότητας από τον ένα χώρο στον άλλο. Οι αντλίες επίσης, γίνονται ανταγωνιστικές, όταν παράλληλα με τη θέρμανση του χειμώνα απαιτείται και ψύξη το καλοκαίρι και η διάχυτη θερμοκρασιακή κατάσταση έχει ευνοϊκά χαρακτηριστικά για την αποδοτική άντληση θερμότητας.

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν ένα σοβαρό αντίπαλο για τα υπόλοιπα συστήματα θέρμανσης, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που έχουν, αλλά και για το γεγονός ότι εκμεταλλεύονται χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος. Πάντως, θα πρέπει να προηγείται η οικονομική σύγκριση των αντλιών θερμότητας, όταν προορίζονται για ένα χώρο με συσκευές που χρησιμοποιούν άλλες πηγές ενέργειας.

4.3 Τυπική λειτουργία αντλίας θερμότητας R-22

Στη συνέχεια περιγράφεται η τυπική λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας, που ανταποκρίνεται στις θερμοκρασίες και το κλίμα της χώρας μας, ώστε να γίνουν πιο κατανοητές οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε όλο τον κύκλο ψύξης του συστήματος. Για την καλύτερη κατανόηση, στη σελίδα 88 υπάρχει το σχέδιο μιας αντλίας θερμότητας με όλα τα εξαρτήματά της. Το ίδιο σκαρίφημα είναι σχεδιασμένο και στο ταμπλό της ψυκτικής μονάδας που έχουμε κατασκευάσει.

Με αυτή την αναφορά στον τυπικό κύκλο ψύξης, γίνεται, στη συνέχεια ευκολότερη η κατανόηση και της πραγματικής λειτουργίας της ψυκτικής μονάδας, καθώς έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι δύο λειτουργίες (τυπική, πραγματική) να είναι παράλληλα διατεταγμένες (όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα) και να μπορεί ο παρατηρητής να καταλήγει σε πιο άμεσα και ακριβή συμπεράσματα. Τέλος, μπορεί με την προσθήκη κάποιων επιπλέον οργάνων να συγκρίνει τα δύο συστήματα.

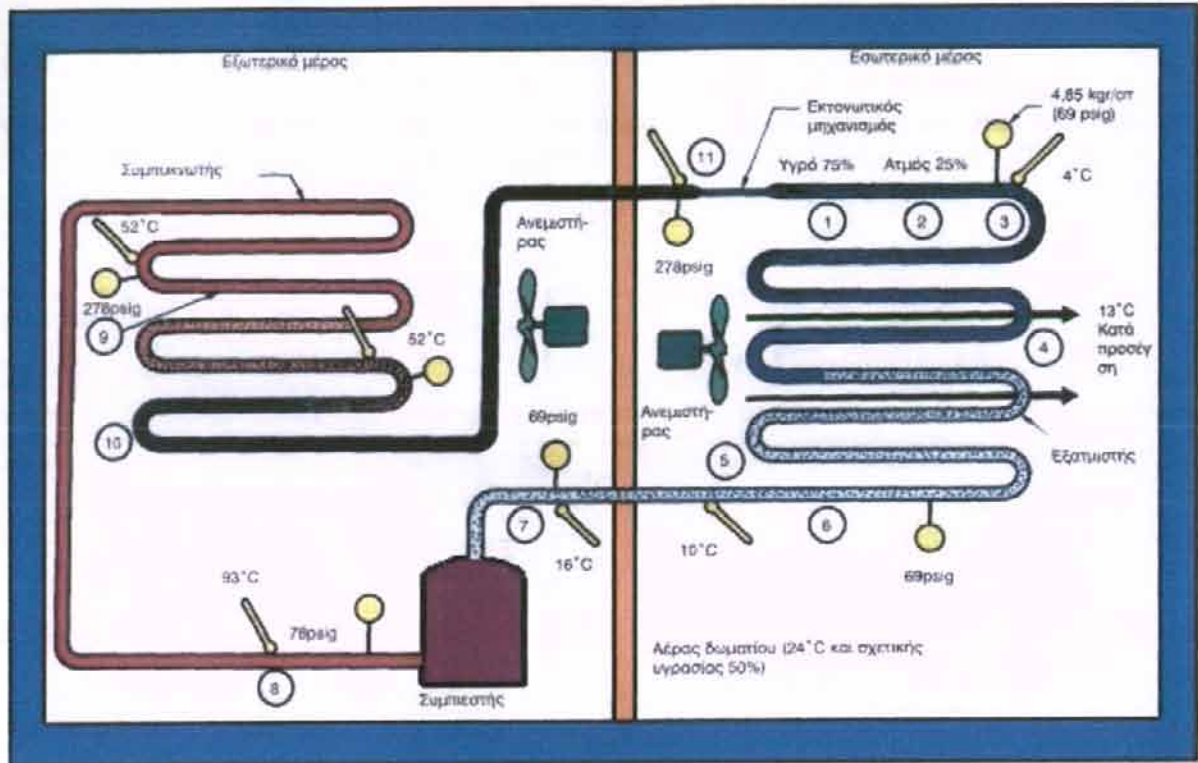


Τα βασικά στοιχεία ενός μηχανικού συστήματος συμπίεσης ψύξης, πρέπει να είναι κατάλληλα ταιριασμένα για κάθε ειδική εφαρμογή.

Ένα συνηθισμένο, για τη χώρα μας, σύστημα κλιματισμού λειτουργεί σε μια προκαθορισμένη εσωτερική θερμοκρασία 24°C που έχει υγρασία 50%. Αυτές οι συνθήκες λειτουργίας πρέπει να παραμένουν σταθερές μέσα στο σπίτι. Τα σημαντικότερα σημεία του κύκλου ψύξης έχουν αριθμηθεί με αύξοντες αριθμούς, στο σχέδιο της επόμενης σελίδας και η ανάλυσή τους γίνεται στις παρακάτω ξεχωριστές, αριθμημένες παραγράφους:

- 1) Ένα μίγμα με 75% υγρό και 25% ατμό, εγκαταλείπει τον εκτονωτικό μηχανισμό και εισέρχεται στον εξατμιστή.
- 2) Το μίγμα είναι ψυκτικό μέσο R-22 σε μια πίεση 69psig, που αντιστοιχεί σ' ένα σημείο βρασμού 4°C .
- 3) Το μίγμα ρέει μέσα στο σωλήνα του εξατμιστή, όπου το υγρό εξατμίζεται κατά την κίνηση αυτή και απορροφά θερμότητα από το χώρο.
- 4) Όταν το μίγμα βρίσκεται περίπου στη μέση της διαδρομής μέσα στην περιέλιξη του εξατμιστή, τότε αυτό αποτελείται από 50% υγρό και 50% ατμό, ενώ η θερμοκρασία και η πίεση παραμένουν σταθερές, επειδή αλλάζει η κατάσταση του ψυκτικού μέσου.
- 5) Το ψυκτικό μέσο τώρα είναι 100% ατμός. Με άλλα λόγια, έχει φτάσει στο σημείο κορεσμού του ατμού (κεκορεσμένος ατμός). Εάν προστεθεί οποιοδήποτε ποσό θερμότητας, έχουμε θερμοκρασιακή άνοδο του ατμού. Αυτό ονομάζεται υπερθέρμανση. Ο κεκορεσμένος ατμός είναι ακόμη στους 4°C και

είναι σε θέση να απορροφήσει ακόμη περισσότερη θερμότητα από τον αέρα του δωματίου, που βρίσκεται στους 24°C .



- 6) Ο καθαρός ατμός σ' αυτό το σημείο είναι υπέρθερμος, περίπου 6°C πάνω από το σημείο κορεσμού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, σ' αυτή τη γραμμή η θερμοκρασία είναι περίπου 10°C .
- 7) Ο ατμός έλκεται μέσα στο συμπιεστή από τη δυνατότητα άντλησης που έχει, η οποία προκαλεί μια αναρρόφηση χαμηλής πίεσης. Όταν ο ατμός εγκατέλειψε τον εξατμιστή, η θερμοκρασία του ήταν περίπου 10°C , με 6°C υπερθέρμανση πάνω από την κεκορεσμένη θερμοκρασία βρασμού. Ο ατμός καθώς κινείται προς το συμπιεστή, περιέχεται μέσα στη γραμμή αναρρόφησης. Αυτή η γραμμή συνήθως κατασκευάζεται από χαλκό και μονώνεται, για να προστατεύσει το σύστημα από τη θερμότητα του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά όμως, απορροφά κάποια ποσά θερμότητας. Επειδή η γραμμή αναρρόφησης μεταφέρει ατμό, οποιαδήποτε θερμότητα απορροφηθεί, θα έχει σαν αποτέλεσμα τη γρήγορη ανύψωση της θερμοκρασίας. Ο ατμός δεν απαιτεί μεγάλα ποσά αισθητής θερμότητας για να ανεβάσει τη θερμοκρασία του. Η θερμοκρασία της γραμμής αναρρόφησης κοντά στο συμπιεστή θα είναι περίπου 16°C ,

γεγονός που εξαρτάται από το μήκος της γραμμής και τη ποιότητα της μόνωσης.

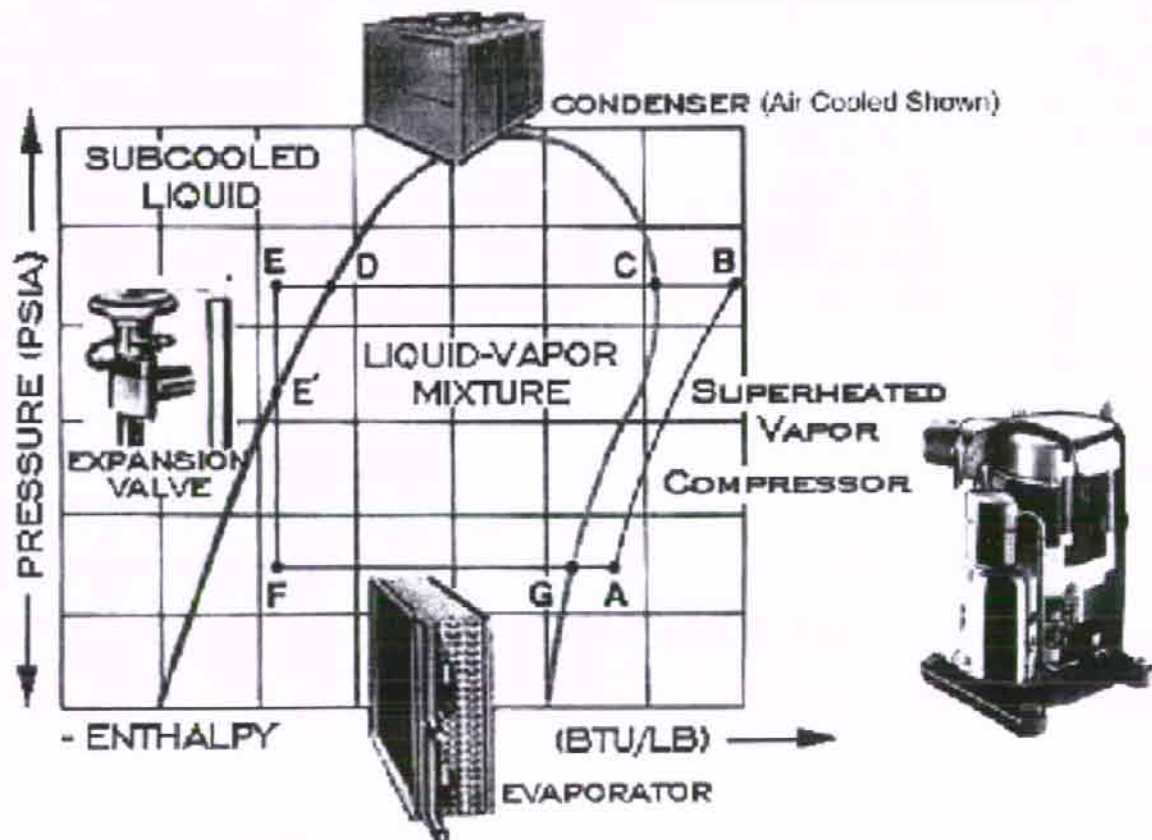
- 8) Ο ατμός που εγκαταλείπει το συμπιεστή είναι λίαν υπέρθερος και κατευθύνεται διαμέσου της γραμμής θερμού αερίου προς την πλευρά υψηλής πίεσης του συστήματος. Αυτή η γραμμή κανονικά είναι πολύ κοντή, επειδή ο συμπυκνωτής συνήθως, είναι κοντά στο συμπιεστή. Κατά τη διάρκεια μιας ζεστής ημέρας, η γραμμή θερμού αερίου πλησιάζει τους 93°C , με πίεση 278 psig ($195\text{kg}/\text{cm}^2$). Επειδή η θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στα 278 psig ($195\text{kg}/\text{cm}^2$) είναι 52°C , η γραμμή θερμού αέρα έχει περίπου 41°C υπερθέρμανση, η οποία πρέπει να αφαιρεθεί πριν γίνει η συμπύκνωση του ατμού. Επειδή η γραμμή είναι πολύ θερμή και περιέχει ατμό, τότε η γραμμή θα αποβάλλει αμέσως θερμότητα προς το περιβάλλον, Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα είναι 35°C .
- 9) Η υπερθέρμανση έχει αφαιρεθεί και στο σημείο αυτό έχουμε κατέβει σε θερμοκρασία συμπύκνωσης, που είναι 52°C . Σ' αυτό το σημείο λοιπόν, αρχίζει να σχηματίζεται υγρό ψυκτικό μέσο. Οι συνθήκες συμπύκνωσης φτάνουν μέχρι τη γνωστή ικανότητα συμπύκνωσης του συμπυκνωτή. Σ' αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιούμε ένα σταθερό συμπυκνωτή, ο οποίος έχει μια θερμοκρασία συμπύκνωσης περίπου 17°C υψηλότερη από τη θερμοκρασία που χρησιμοποιεί ο περιβάλλοντος αέρας για να απορροφήσει θερμότητα από το συμπυκνωτή. Μερικοί συμπυκνωτές συμπυκνώνουν σε μια θερμοκρασία 14°C πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Αυτοί είναι συμπυκνωτές υψηλής απόδοσης και η πλευρά υψηλής πίεσης του συστήματος θα λειτουργεί κάτω από μικρότερη πίεση.
- 10) Το ψυκτικό μέσο σ' αυτό το σημείο είναι 100% υγρό, σε θερμοκρασία κορεσμού των 52°C . Αφού το υγρό συνεχίζει την κίνηση του μέσα στην περιέλιξη (σερπατίνα), ο αέρας συνεχίζει να ψύχει το υγρό κάτω από την πραγματική θερμοκρασία συμπύκνωσης. Το υγρό πρέπει να κατέβει 11°C κάτω από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, που είναι 52°C , πριν φτάσει στον εκτονωτικό μηχανισμό.
- 11) Το υγρό, ψυκτικό μέσο φτάνει στον εκτονωτικό μηχανισμό από το συμπυκνωτή διαμέσου ενός σωλήνα, ο οποίος συνήθως είναι χάλκινος. Αυτή η γραμμή υγρού συχνά τοποθετείται στο έδαφος και δεν είναι

μονωμένη. Η απόσταση μεταξύ του συμπιεστή και του εκτονωτικού μηχανισμού μπορεί να είναι μεγάλη και η γραμμή μπορεί να αποδίδει θερμότητα σε όλο το μήκος της. Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον εκτονωτικό μηχανισμό ψυχρότερο κατά 11°C σε σύγκριση με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, που είναι 52 °C. Άρα, η είσοδος της υγρής γραμμής στον εκτονωτικό μηχανισμό έχει θερμοκρασία 41 °C. Μέσα στο μικρό διάστημα του τριχοειδούς μηχανισμού ελέγχου, το παραπάνω υγρό μετατρέπεται σ' ένα μίγμα με 75% υγρό και 25% ατμό περίπου. Το 25% του ατμού ονομάζεται flash gas (αστραπιαία παραγόμενο αέριο) και χρησιμεύει για την ψύξη του 75% του υγρού που παραμένει στη θερμοκρασία των 4°C, που είναι η θερμοκρασία βρασμού του εξατμιστή.

Έτσι, το ψυκτικό μέσο ολοκληρώνει τον ψυκτικό κύκλο και είναι έτοιμο να τον ξαναεκτελέσει. Αυτό αποδεικνύει ότι το ψυκτικό μέσο κάνει το ίδιο πράγμα συνέχεια και μετατρέπεται από υγρό σε ατμό (αέριο) μέσα στον εξατμιστή και ξαναεπιστρέφει στην υγρή μορφή μέσα στο συμπυκνωτή. Ο εκτονωτικός μηχανισμός ελέγχου ελέγχει τη ροή προς τον εξατμιστή και ο συμπιεστής αντλεί το ψυκτικό μέσο από τον εξατμιστή.

Κεφάλαιο πέμπτο: Διάγραμμα ψυκτικού κύκλου P-h

Σ το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα θερμοδυναμικά αξιώματα και οι θερμοδυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε έναν κύκλο ψύξης με συμπίεση ατμών. Θα αναλυθεί επίσης, το διάγραμμα Mollier (P-h) με τα θερμοδυναμικά στοιχεία του και πώς απεικονίζονται οι διάφορες φάσεις του ψυκτικού κύκλου πάνω σε αυτό. Τέλος, θα αναφερθούν οι νόμοι που περιλαμβάνει η θεωρία για τον υπολογισμό των μεγεθών και των αποτελεσμάτων μιας ψυκτικής μονάδας.



5.1 Βασικές Αρχές

- Θερμοδυναμικός νόμος A: Η ενέργεια που προσφέρεται ή αφαιρείται από ένα σύστημα, οδηγεί τόσο στην μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας, όσο και στην εκτέλεση κάποιου έργου, δηλ. $dQ = dU + dW$. Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος είναι εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Δηλαδή, η θερμότητα μπορεί να μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και το αντίστροφο, αλλά το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα παραμένει σταθερό.

- Το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα αναφέρεται στη ροή της θερμότητας, η οποία γίνεται πάντα από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας προς άλλο χαμηλότερης.
- Θερμοδυναμικός νόμος B¹⁴: Σε κάθε διαδικασία που συντελείται σε ένα απομονωμένο σύστημα, η εντροπία δε μειώνεται.
- Θερμοδυναμικός νόμος B¹⁵: Είναι αδύνατον να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετασχηματίζει τη θερμική ενέργεια σε έργο κατά 100 %.
- Θερμότητα: Είναι η ενέργεια που μεταφέρεται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας δύο σωμάτων και συμβολίζεται με Q. Μονάδα μέτρησης της ενέργειας, επομένως και της θερμότητας, είναι το Joule.
- Θερμοκρασία: Ονομάζεται το αριθμητικό μέγεθος, με τη βοήθεια του οποίου χαρακτηρίζεται ένα σώμα πόσο ζεστό ή κρύο είναι. Η θερμοκρασία είναι ένα μέγεθος από το οποίο εξαρτάται η κατανομή των σωματιδίων ως προς τις κινητικές τους ενέργειες.
- Πίεση: Η πίεση είναι αποτέλεσμα των κρούσεων των μορίων με τα τοιχώματα του δοχείου. Για μεγαλύτερη ακρίβεια, η πίεση είναι ίση με την ορμή που μεταδίδεται από όλα τα μόρια στη μονάδα της επιφάνειας, στη μονάδα του χρόνου.
- Αδιαβατική διαδικασία (ή μεταβολή): Είναι η διαδικασία κατά την οποία δεν υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας του συστήματος με το περιβάλλον. Εδώ, το έργο κατά την μεταβολή του αερίου, είναι αντίθετο της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας του αερίου ($w = -\Delta U$).
- Ισοβαρής ή ισόθλιπη διαδικασία (ή μεταβολή): Είναι μια θερμική μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου, που γίνεται με σταθερή πίεση ($P = \text{constant}$). Σε μια τέτοια διαδικασία για να αυξηθεί ο όγκος του συστήματος, πρέπει να προσφέρεται διαρκώς θερμότητα, διατηρώντας σταθερή την πίεση.

¹⁴ Διατύπωση του Clausius

¹⁵ (διατύπωση των Kelvin Planck

- Ισόθερμη διαδικασία (ή μεταβολή): Είναι θερμική μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου, που πραγματοποιείται υπό σταθερή θερμοκρασία ($T = \text{constant}$). Σε μια τέτοια διαδικασία επειδή η θερμοκρασία είναι σταθερή, η εσωτερική ενέργεια του αερίου δε μεταβάλλεται, γεγονός που σημαίνει ότι στην ισόθερμη διαδικασία όλη η θερμότητα που προσφέρεται μετατρέπεται σε έργο.
- Ισόχωρη διαδικασία (ή μεταβολή): Είναι θερμική μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου που πραγματοποιείται διατηρώντας σταθερό τον όγκο ($V = \text{constant}$). Το έργο σε μια τέτοια διαδικασία, είναι προφανώς ίσο με το μηδέν.
- Καταστατική εξίσωση: Καταστατική εξίσωση αερίου ονομάζεται η εξίσωση που συνδέει τις τιμές των θερμοδυναμικών παραμέτρων (p, V, T, n) σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας.
- Κυκλική μεταβολή (ή διαδικασία): Είναι η διαδικασία κατά την οποία ξεκινώντας από μια κατάσταση A, καταλήγουμε στην ίδια κατάσταση. Στη μεταβολή αυτή, η εσωτερική ενέργεια του αερίου δε μεταβάλλεται. Εδώ, η προσφερόμενη ενέργεια με μορφή θερμότητας μεταφέρεται, κατά ένα μέρος, μέσω έργου από το αέριο στο περιβάλλον. Σε ένα διάγραμμα P-V, η μεταβολή παριστάνεται με μια κλειστή καμπύλη.
- Θερμοκρασία ατμοποίησης: Ονομάζεται η θερμοκρασία στην οποία ατμοποιείται ένα υγρό και εξαρτάται από το είδος του ρευστού και από την πίεση του. Παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της ατμοποίησης.
- Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης: Είναι το ποσό θερμότητας που απορροφάται από ένα υγρό κατά την ατμοποίηση.
- Θερμοκρασία συμπύκνωσης: Είναι η θερμοκρασία στην οποία συμβαίνει η συμπύκνωση (υγροποίηση) των ατμών του ψυκτικού ρευστού. Εξαρτάται από το είδος του ψυκτικού ρευστού και από την πίεση του. Η θερμοκρασία συμπύκνωσης παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της συμπύκνωσης.
- Λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης: Είναι το ποσό θερμότητας που απορροφάται από ένα υγρό κατά την ατμοποίηση.

5.2 Ανάλυση διαγράμματος P-h

5.2.1 Γραμμές σταθερής πίεσης και σταθερής ενθαλπίας

Η κλίμακα της πίεσης αναφέρεται σε απόλυτη πίεση και είναι λογαριθμική.

Από κάθε υποδιαίρεση της απόλυτης πίεσης ξεκινά μια οριζόντια γραμμή (παράλληλη στον άξονα της ενθαλπίας), που λέγεται γραμμή σταθερής πίεσης (σχήμα 5.1α). Από κάθε υποδιαίρεση της κλίμακας της ενθαλπίας ξεκινούν γραμμές κάθετες (παράλληλες στον άξονα της απόλυτης πίεσης), που λέγονται γραμμές σταθερής ειδικής ενθαλπίας (σχήμα 5.1β).

Σχήμα 5.1



Μονάδες μέτρησης			
Πίεση P	Bar 10^5N/m^2	at kp/cm^2	psi lbs/in^2
Ειδική ενθαλπία h	KJ/kg	Kcal/kg	BTU/lb

5.2.2 Η γραμμή κορεσμού

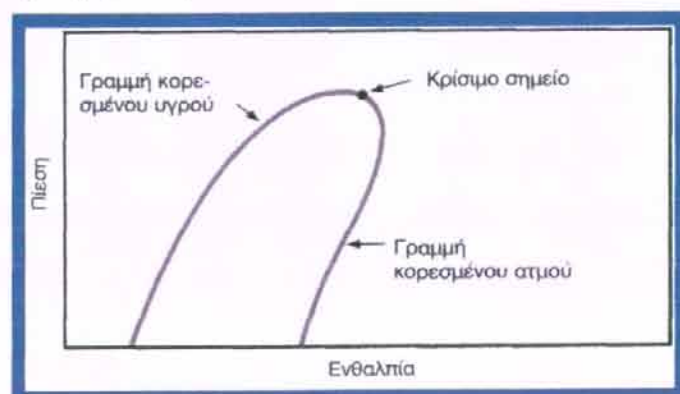
Το διάγραμμα (P - h) χωρίζεται, από τη γραμμή κορεσμού, σε τρεις περιοχές (σχήμα 5.2). Στην κορυφή της υπάρχει το κρίσιμο σημείο το οποίο χωρίζει την γραμμή στο τμήμα κορεσμένου ατμού¹⁶ (δεξιά του κρίσιμου σημείου) και το τμήμα κορεσμένου υγρού¹⁷ (αριστερά του κρίσιμου σημείου).

¹⁶ Κορεσμένος ατμός. Είναι 100% ατμός που έχει θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης η οποία αντιστοιχεί στην επικρατούσα πίεση (βρίσκεται σε επαφή με κορεσμένο υγρό).

¹⁷ Κορεσμένο υγρό. Είναι 100% υγρό που έχει θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία κορεσμού, η οποία αντιστοιχεί στην επικρατούσα πίεση (βρίσκεται σε επαφή με κορεσμένο ατμό).

Η γραμμή κορεσμού χωρίζει το χώρο του διαγράμματος, ανάλογα με τη θερμοδυναμική κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ψυκτικό ρευστό. Στην περιοχή που βρίσκεται δεξιά της γραμμής κορεσμένου ατμού, το ψυκτικό έχει τη μορφή υπέρθερμου ατμού¹⁸, γι' αυτό η περιοχή ονομάζεται περιοχή υπέρθερμου ατμού. Η περιοχή που βρίσκεται αριστερά από τη γραμμή κορεσμένου υγρού, λέγεται περιοχή υπόψυκτου υγρού. Κάθε σημείο αυτής της περιοχής, αναφέρεται σε υπόψυκτο ψυκτικό υγρό¹⁹. Τέλος, η περιοχή που περικλείεται από τη γραμμή κορεσμού ονομάζεται περιοχή κορεσμένου ρευστού, στην οποία το ψυκτικό ρευστό βρίσκεται σε διφασική κατάσταση (υγρού - ατμού), σε διάφορες αναλογίες.

Αναφορικά με τις συνθήκες του κρίσιμου σημείου, είναι γνωστό ότι υπάρχει απόλυτη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας συμπύκνωσης ενός αερίου και της εφαρμοζόμενης πίεσης. Συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλη πρέπει να είναι η θερμοκρασία συμπύκνωσης (υγροποίησης), τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η εφαρμοζόμενη πίεση και το αντίστροφο. Όμως, υπάρχει κάποια θερμοκρασία (διαφορετική για κάθε αέριο) πέρα της οποίας το αέριο δεν μπορεί να υγροποιηθεί και ονομάζεται κρίσιμη θερμοκρασία. Η πίεση που εφαρμόζεται κατά τη μέτρηση της κρίσιμης θερμοκρασίας, ονομάζεται κρίσιμη πίεση.



Σχήμα 5.2

5.2.3 Οι γραμμές μίγματος υγρού - ατμού.

Η μεταβολή του υγρού σε ατμό γίνεται προοδευτικά από τα αριστερά προς τα δεξιά του διαγράμματος, εντός της περιοχής διφασικού μίγματος. Έτσι, το ψυκτικό ρευστό ξεκινά από τη γραμμή κορεσμένου υγρού (100% υγρό) και καταλήγει στη γραμμή κορεσμένου ατμού (100% ατμός). Μεταξύ των δύο αυτών ακραίων γραμμών,

¹⁸ Υπέρθερμος ατμός. Είναι ο ατμός που έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης που αντιστοιχεί στην επικρατούσα πίεση (δεν περιέχεται ίχνος υγρού).

¹⁹ Υπόψυκτο υγρό. Είναι το υγρό που έχει θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στην επικρατούσα πίεση (δεν περιέχεται ίχνος αερίου).

υπάρχουν άλλες που ξεκινούν από το κρίσιμο σημείο (κορυφή της γραμμής κορεσμού) και καταλήγουν στην κλίμακα ενθαλπίας (σχήμα 5.3).

Οι γραμμές αυτές δείχνουν ουσιαστικά την εκατοστιαία σύνθεση του διφασικού μίγματος κατά βάρος. Π.χ. η ένδειξη $x = 0.3$ ή 30% σημαίνει ότι το μίγμα της περιοχής, από την οποία περνάει η γραμμή με την ένδειξη αυτή, περιέχει 30% ατμό και 70% υγρό. Η εκατοστιαία αυτή σύνθεση του κορεσμένου ρευστού λέγεται βαθμός ξηρότητας. Στη διφασική περιοχή λοιπόν όπου συνυπάρχουν υγρό και ατμός, ορίζεται η ποιότητα ή ο βαθμός ξηρότητας ως ο λόγος της μάζας του ατμού προς τη μάζα του μίγματος $X (\%) = m_{\text{ατμου}} / m_{\text{μίσματος}}$



Σχήμα 5.3

5.2.4 Οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας

Στην περιοχή του υπόψυκτου υγρού, οι ισοθερμοκρασιακές καμπύλες είναι σχεδόν κάθετες προς την κλίμακα της ενθαλπίας. Στην περιοχή που περικλείεται από τη γραμμή κορεσμού (δηλαδή την περιοχή του διφασικού μίγματος), οι γραμμές είναι παράλληλες προς την κλίμακα της ενθαλπίας. Στην περιοχή του υπέρθερμου ατμού, οι γραμμές της θερμοκρασίας καταλήγουν να είναι κάθετες προς την κλίμακα της ενθαλπίας.



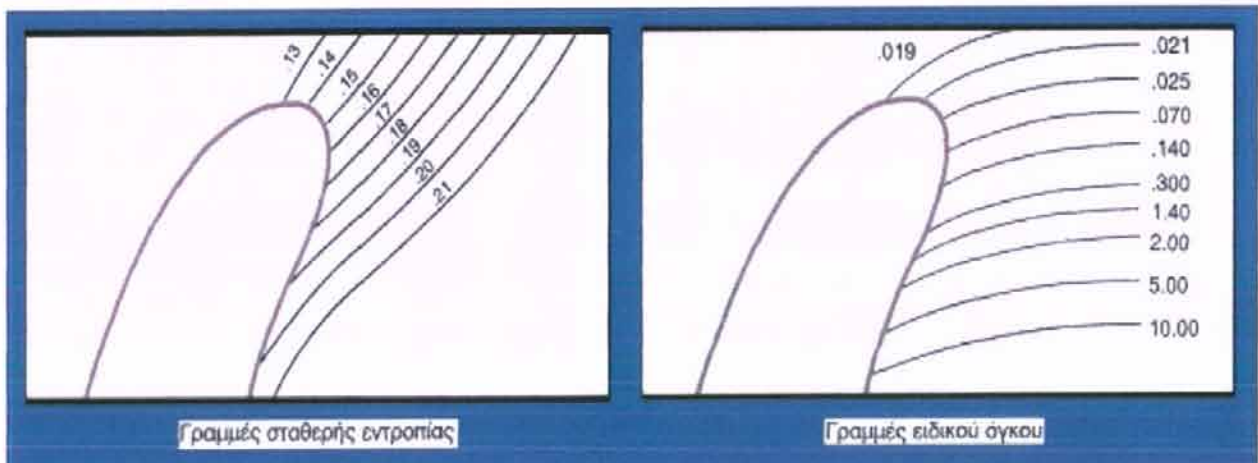
Σχήμα 5.4

Μονάδες μέτρησης			
Θερμοκρασία	°C	°C	°F

5.2.5 Οι γραμμές σταθερού ειδικού όγκου και σταθερής εντροπίας

Οι γραμμές του σταθερού, ειδικού όγκου, ξεκινούν από τη γραμμή κορεσμένου ατμού και κατευθύνονται προς τα πάνω και δεξιά με μικρή κλίση. Προσδιορίζουν, σε κάθε σημείο της περιοχής του υπέρθερμου ατμού, το μέγεθος του ειδικού όγκου²⁰. Πολλές φορές, αντί του ειδικού όγκου οι καμπύλες αυτές δείχνουν την πυκνότητα και λέγονται ισόχωρες.

Οι γραμμές ειδικής εντροπίας, ξεκινούν από τη γραμμή κορεσμένου ατμού με κατεύθυνση προς τα πάνω και δεξιά με μεγαλύτερη όμως κλίση από τις ισόχωρες καμπύλες.



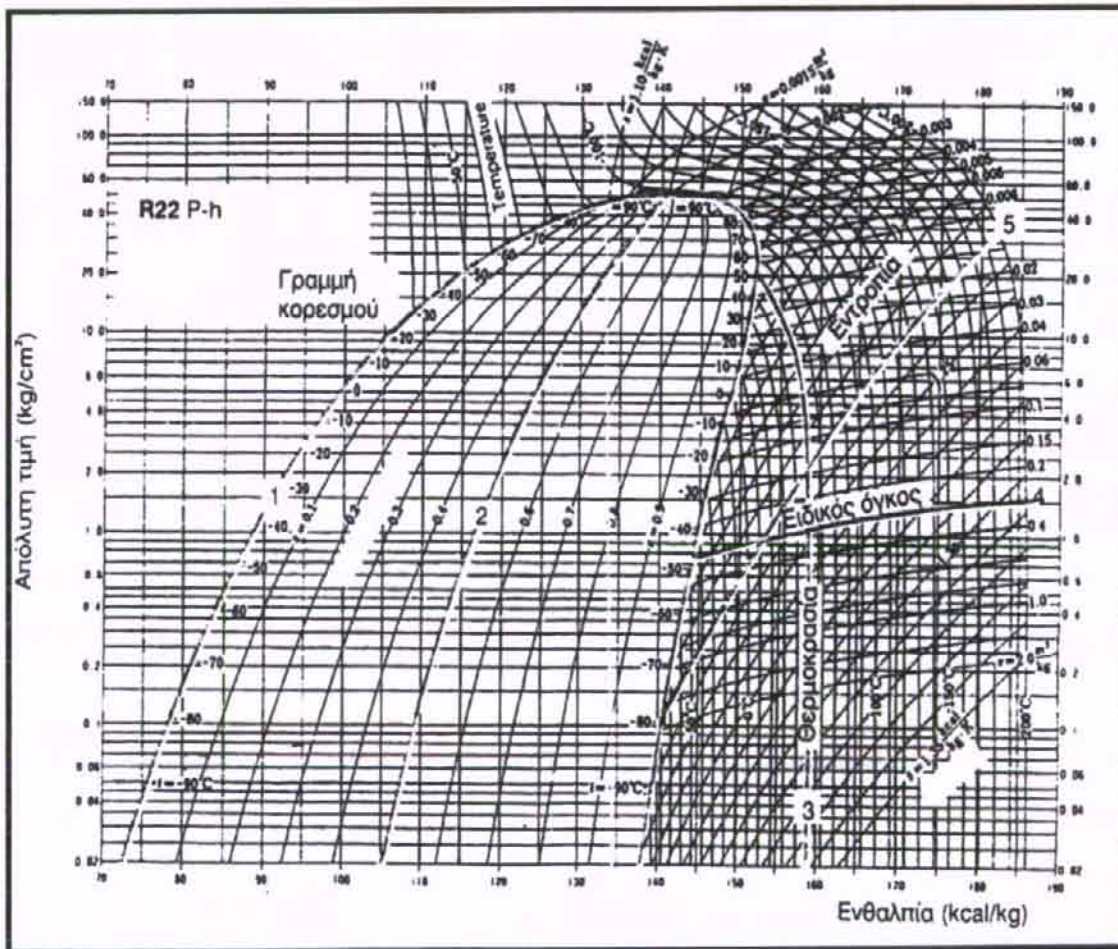
Σχήμα 5.5

Μονάδες μέτρησης				
Εντροπία s		KJ /kg°K	Kcal /kg°K	BTU /lb°R
Ειδικός όγκος v	Ατμού	m ³ /kg	L / kg	uft/lb
	Υγρού	m ³ /kg	m ³ /kg	uft/lb

²⁰ Ο ειδικός όγκος είναι το αντίστροφο μέγεθος της πυκνότητας

5.2.6 Το διάγραμμα (P - h) με τα θερμοδυναμικά στοιχεία του

Αν δοθούν ή αν μετρηθούν δύο από τα θερμοδυναμικά στοιχεία του ψυκτικού ρευστού, με τη βοήθεια του διαγράμματος πίεσης – ενθαλπίας, μπορεί να οριστεί η θερμοδυναμική κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ψυκτικό ρευστό, καθώς και να υπολογιστούν όλα τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά στοιχεία του. Συνήθως, τα στοιχεία που μπορούν να μετρηθούν εύκολα είναι η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού στις διάφορες φάσεις του²¹, κατά τον ψυκτικό κύκλο. Για κάθε ψυκτικό ρευστό υπάρχει ένα διάγραμμα (P - h). Στη συνέχεια παρατίθεται ένα τέτοιο διάγραμμα για το Φρέον R-22, με τα θερμοδυναμικά στοιχεία του.



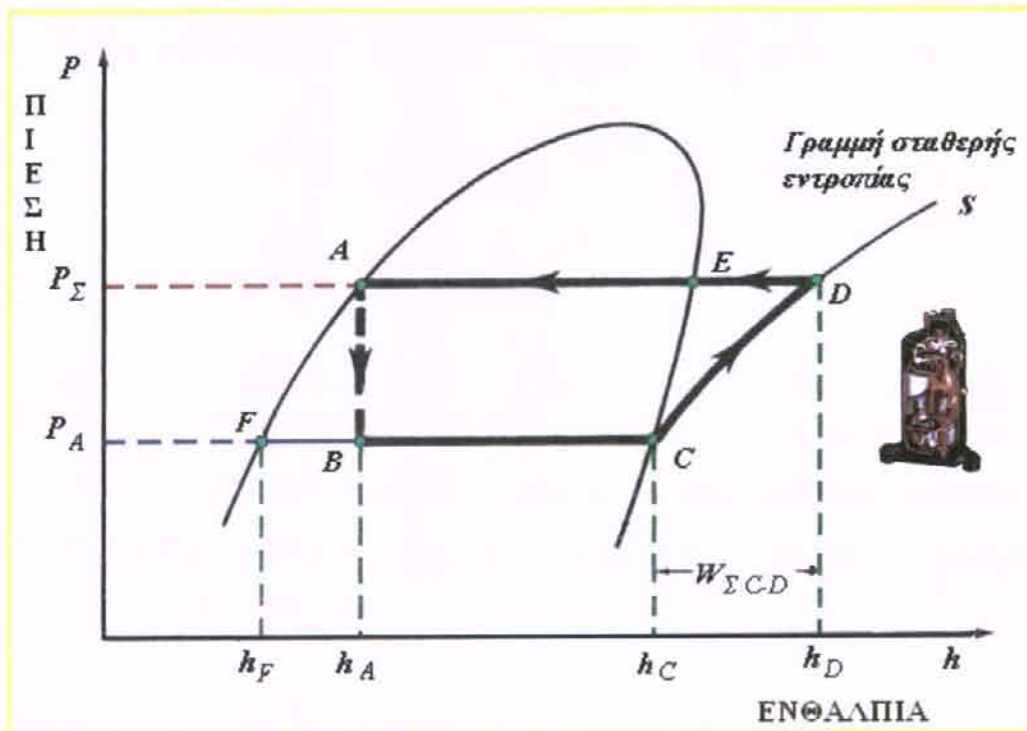
²¹ Βλ. υποκεφάλαιο 5.3

5.3 Θερμοδυναμική εξέταση του ψυκτικού κύκλου

Στον ιδανικό κύκλο ψύξης παρουσιάζονται οι παρακάτω τέσσερις φάσεις:

- Η φάση της ισεντροπικής συμπίεσης
- Η φάση της ισοβαρούς συμπύκνωσης
- Η φάση της ισενθαλπικής εκτόνωσης
- Η φάση της ισοβαρούς ατμοποίησης ή εξάτμισης

Η φάση της ισεντροπικής συμπίεσης



Η συμπίεση πραγματοποιείται από το συμπιεστή της ψυκτικής μονάδας. Το ψυκτικό ρευστό αναρροφάται από το συμπιεστή, σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία. Το σημείο C στο διάγραμμα βρίσκεται πάνω στη γραμμή σταθερής πίεσης P_A , η οποία αντιστοιχεί στην πίεση ατμοποίησης και στη θέση ξηρού και κορεσμένου ατμού²². Στη συνέχεια, το ψυκτικό ρευστό συμπιέζεται στην πίεση συμπύκνωσης P_{Σ} (σημείο D). Η συμπίεση του ατμού είναι η μεταβολή $C \rightarrow D$. Είναι αδιαβατική συμπίεση και συνεπώς, βρίσκεται πάνω στην καμπύλη σταθερής εντροπίας s , η οποία περνάει

²² Είναι ο ατμός που έχει πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης και δεν περιέχει ίχνος σταγονιδίων υγρού

Η διαφορά μεταξύ της Λ.Θ.Α και του Κ.Ψ.Α. οφείλεται στο γεγονός ότι η ατμοποίηση δεν αρχίζει από το σημείο F αλλά από το B. Η διαφορά αυτή είναι ένα ποσό θερμότητας που χάνεται. Δηλαδή:

Λ.Θ.Α - Κ. Ψ.Α,

Όσο πιο κοντά είναι τα σημεία F, B τόσο πιο μεγάλο γίνεται το Κ.Ψ.Α. και τόσο πιο αποδοτικά δουλεύει η μονάδα. Στην περίπτωση που τα δύο σημεία συμπέσουν το Κ.Ψ.Α. θα ισούται με τη Λ.Θ.Α, οι απώλειες θα μηδενιστούν και η απόδοση της ψυκτικής μονάδας θα γίνει μέγιστη. Συμπερασματικά, το Κ.Ψ.Α. δεν είναι σταθερό κατά τη λειτουργία της ψυκτικής μονάδας. Αυξάνεται ή ελαττώνεται ανάλογα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργεί η μονάδα.

Συνολικά λοιπόν στον ψυκτικό κύκλο συμβαίνουν τα ακόλουθα:

Κατά τη φάση της συμπύκνωσης αφαιρείται από το σύστημα ποσό θερμότητας Q_0 που ισούται με το άθροισμα του:

$$\mathbf{Κ. Ψ.Α = q = h_C - h_B}$$

και του έργου κατά τη συμπίεση:

$$\mathbf{W_\Sigma = h_D - h_C}$$

$$\mathbf{Κ. Ψ.Α + W_\Sigma}$$

Δηλαδή ισχύει:

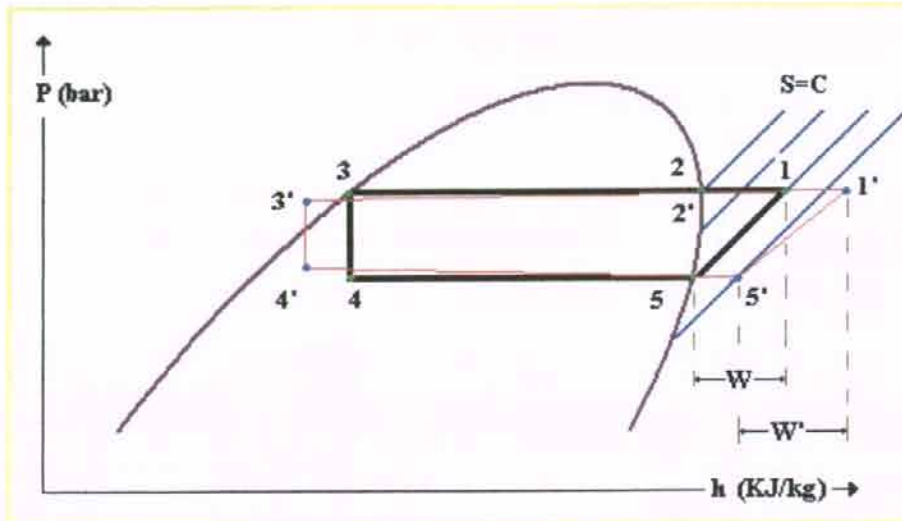
$$\mathbf{Q_0 = q + W_\Sigma}$$

5.4 Πραγματικός θερμοδυναμικός κύκλος

Όπως είναι φυσικό, στην πραγματική λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης, οι πραγματικές θερμοδυναμικές μεταβολές του ψυκτικού ρευστού, παρουσιάζουν αποκλίσεις από αυτές του ιδανικού κύκλου (Σχήμα 5.6).

Οι αναγκαίες τροποποιήσεις του θεωρητικού κύκλου είναι οι εξής:

1. Επειδή υπάρχει κίνδυνος να σχηματιστούν σταγόνες υγρού μέσα στον κύλινδρο συμπίεσης, με αποτέλεσμα την πρόκληση σοβαρής βλάβης, ο ατμός οδηγείται υπέρθερμος στο συμπιεστή. Η υπερθέρμανση αυτή είναι η διαφορά $5 \rightarrow 5'$ που φαίνεται στο σχήμα.



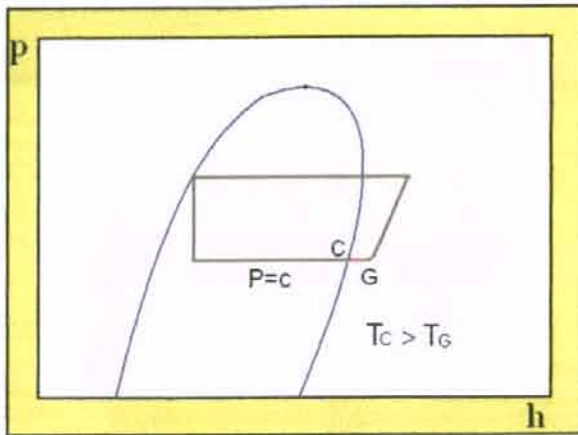
Σχήμα 5.6: Διαφορές θεωρητικής και πραγματικής λειτουργίας ψυκτικού κύκλου

- Επειδή ο συμπιεστής δε μπορεί να εκτελέσει μια καθαρά ισεντροπική συμπίεση, απαιτείται περισσότερο μηχανικό έργο. Το επιπλέον έργο W' αυξάνει τη θερμότητα του ρευστού, άρα ανεβάζει και τη θερμοκρασία εξόδου του από το συμπιεστή στο σημείο $1'$.
- Στους εναλλάκτες θερμότητας (συμπυκνωτής – εξατμιστής) οι μεταβολές είναι θεωρητικά ισοβαρείς και ισόθερμες. Στην πράξη όμως, λόγω της ταχύτητας που διατηρείται αρκετά μεγάλη, υπάρχει πτώση πίεσης λόγω τριβών, η οποία, όπως φαίνεται και στο σχήμα, εμφανίζεται με τις κεκλιμένες ευθείες $1'-3'$ (συμπύκνωση) και $4'-5'$ (εξάτμιση).
- Επειδή υπάρχει κίνδυνος να σχηματιστεί ατμός πριν από την εκτονωτική βαλβίδα, από απρόβλεπτη θέρμανση ή πτώση πίεσης, πρέπει να γίνει μια υπόψυξη του υγρού. Όπως φαίνεται στο σχήμα, από τη θέση 3 στη θέση $3'$.

Η φάση της υπερθέρμανσης

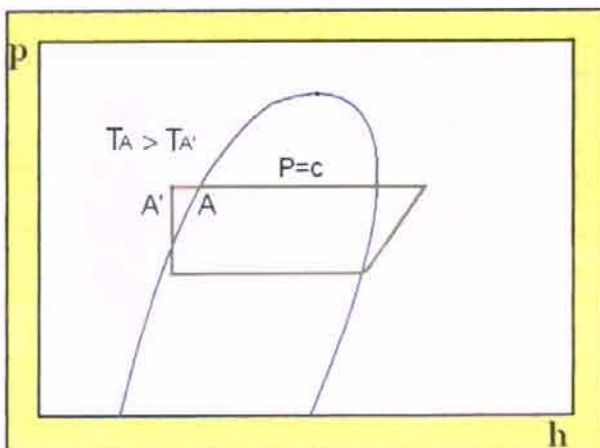
Η υπερθέρμανση αντιστοιχεί στη γραμμή C-G του παρακάτω διαγράμματος. Συμβαίνει κατά την έξοδο του ψυκτικού από τον εξατμιστή, μέχρι την είσοδο του στο συμπιεστή της μονάδας. Κατά την υπερθέρμανση προστίθεται ένα ποσό θερμότητας. Το σημείο G ορίζεται από τη γραμμή της σταθερής πίεσης εξάτμισης και από τη γραμμή

της θερμοκρασίας που έχει το υπέρθερμο ψυκτικό αέριο κατά την είσοδο του στο συμπιεστή.



Η φάση της υπόψυξης

Πραγματοποιείται περί το τέλος του συμπυκνωτή και μέχρι την είσοδο του ψυκτικού υγρού στην εκτονωτική βαλβίδα. Η φάση της υπόψυξης αντιστοιχεί στη γραμμή A-A'. Το σημείο A' ορίζεται από τη γραμμή της σταθερής πίεσης συμπύκνωσης και από τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού στην είσοδο της στραγγαλιστικής βαλβίδας. Κατά τη φάση της υπόψυξης, αφαιρείται θερμότητα από το ψυκτικό υγρό ώστε κατά την εξάτμιση του να έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης θερμότητας (αυξάνει το Κ.Ψ.Α.) και έτσι να ενισχύεται η ψυκτική ικανότητα της μονάδας.



Από την περιγραφή των δύο τελευταίων φάσεων συμπεραίνεται ότι, κατά τη λειτουργία των ψυκτικών μονάδων, θα πρέπει να επιδιώκεται όσο γίνεται μικρότερη υπερθέρμανση και μέγιστη δυνατή υπόψυξη.

Ο περιορισμός της υπερθέρμανσης γίνεται με τη μόνωση της σωλήνωσης αναρρόφησης της ψυκτικής μονάδας, η οποία βρίσκεται έξω από τον ψυκτικό θάλαμο.

Η υπόψυξη πραγματοποιείται στη σωλήνωση μεταξύ συμπυκνωτή και εκτονωτικής βαλβίδας, αν βέβαια η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι αρκετά μικρότερη από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης του ψυκτικού υγρού.

Συνεπώς, στους ψυκτικούς κύκλους πραγματικών εγκαταστάσεων υπάρχουν αρκετές αποκλίσεις από τον ιδανικό κύκλο. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

- Η διαδικασία της συμπίεσης δεν είναι ισεντροπική (αδιαβατική αντιστρεπτή)
- Ο ατμός στην είσοδο του συμπιεστή είναι, πολλές φορές, υπέρθερμος
- Το υγρό στην είσοδο της διάταξης στραγγαλισμού είναι υπόψυκτο
- Η ατμοποίηση και η συμπύκνωση δεν είναι ιδανικές ισόθλιπτες διεργασίες

Συντελεστής συμπεριφοράς ψυκτικής μηχανής (C.O.P.)

C.O.P. ονομάζεται ο λόγος της θερμότητας που απορροφάται από τον εξατμιστή κατά τη φάση της ατμοποίησης q προς τη μηχανική ενέργεια που προστίθεται κατά τη φάση της συμπίεσης W_{Σ} . Η θερμότητα q που απορροφάται από τον εξατμιστή έχει αναφερθεί και ως καθαρό ψυκτικό αποτέλεσμα Κ.Ψ.Α. Η μαθηματική έκφραση που δίνει τον ορισμό του C.O.P. είναι:

$$\text{C.O.P.} = q / W_{\Sigma}$$

Ο C.O.P. δείχνει το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται από την ψυκτική μονάδα, ανά μονάδα μηχανικού έργου που καταναλώνεται.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής, τόσο πιο αποδοτικά εργάζεται η ψυκτική μονάδα. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του C.O.P. είναι οι ακόλουθοι:

- 1) Το είδος του ψυκτικού ρευστού
- 2) Η θερμοκρασία ατμοποίησης και συμπύκνωσης (επομένως και οι αντίστοιχες πιέσεις)
- 3) Τα μεγέθη της υπόψυξης και της υπερθέρμανσης

Η ψυκτική και μηχανική ισχύς της ψυκτικής μονάδας

Ψυκτική ισχύς μιας ψυκτικής μονάδας είναι το ποσό της θερμότητας που αφαιρείται από τον ψυχόμενο χώρο στη μονάδα του χρόνου και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\psi} = q \cdot m^{\circ}, \text{ όπου}$$

q είναι το καθαρό ψυκτικό αποτέλεσμα (KJ/Kg ή Kcal/Kg) και

m° η μάζα του ψυκτικού ρευστού που κυκλοφορεί (Kg/s).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αύξηση ή η μείωση της πίεσης συμπύκνωσης, προκαλεί μείωση της ψυκτικής ισχύος.

Μηχανική ισχύς μιας ψυκτικής μονάδας είναι το μηχανικό έργο που δαπανάται κατά τη λειτουργία της, στη μονάδα του χρόνου (KW, HP) και δίνεται από τη σχέση:

$$N = W_{\Sigma} \cdot m^{\circ}, \text{ όπου}$$

W είναι το έργο συμπίεσης (KJ/Kg ή Kcal/Kg) και

m° η μάζα του ψυκτικού ρευστού που κυκλοφορεί (Kg/s).

Κεφάλαιο έκτο: Κατασκευή διαγράμματος P-h



Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίζονται τα θερμοδυναμικά μεγέθη του ψυκτικού κύκλου για την χάραξη των διάφορων φάσεων λειτουργίας σε ένα διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας. Ακόμα, θα υπολογιστούν όλα τα μεγέθη που έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, στο οποίο έγινε θεωρητική ανάλυση των ψυκτικών μηχανών.

Η ψυκτική μονάδα που κατασκευάστηκε, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, έχει ενσωματωμένα όργανα μέτρησης της μανομετρικής πίεσης (χαμηλής και υψηλής) και όργανα μέτρησης ολικού, ηλεκτρικού ρεύματος λειτουργίας. Οι παρακάτω μετρήσεις εκτελέστηκαν σε εξωτερική θερμοκρασία θέρους 95° F (34° C), στην οποία βασίστηκε η μελέτη των θερμικών κερδών του χώρου του εργαστηρίου.



Η ψυκτική μονάδα που κατασκευάσαμε διαφέρει από τις κοινές μονάδες του εμπορίου στα εξής:

- Το περίβλημα του εξατμιστή είναι κατασκευασμένο από πλέξη γκλας, ώστε να φαίνεται η διαδρομή που κάνει ο αέρας του χώρου, τα εξαρτήματα του μοτέρ του ανεμιστήρα, καθώς και η κατασκευή αφαίρεσης των συμπυκνωμάτων του αέρα.

- Ο συμπιεστής βρίσκεται παραδόξως στον εσωτερικό χώρο, για να γίνει πιο κατανοητό και με τη βοήθεια του χαραγμένου τυπικού κύκλου, η διαδρομή του ψυκτικού υγρού (κύκλος ψύξης).

- Υπάρχουν τοποθετημένα όργανα μέτρησης πίεσης (υψηλής-χαμηλής) και μέτρησης του ρεύματος λειτουργίας.

- Οι σωληνώσεις έχουν τοποθετηθεί στην ίδια απόχρωση και σε παράλληλη διάταξη με τον τυπικό κύκλο.

6.1 Διαδικασία μετρήσεων και υπολογισμός μεγεθών Ψ.Μ. – R-22

Πιο αναλυτικά θα υπολογιστούν:

- Η μηχανική ισχύς της μονάδας (N)
- Η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης (Λ.Θ.Α.) και η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης (Λ.Θ.Σ.), καθώς και η θερμοκρασία ατμοποίησης και συμπύκνωσης
- Το καθαρό ψυκτικό αποτέλεσμα q (Κ.Ψ.Α.)
- Το μηχανικό έργο συμπίεσης - θερμότητα συμπίεσης (W_{Σ})
- Η ψυκτική ισχύς της μονάδας (Q_{ψ})
- Χάραξη του διαγράμματος λειτουργίας P-h

Εργοστασιακά χαρακτηριστικά - Κατασκευαστικά μεγέθη

ΨΥΚΤΙΚΟ ΥΓΡΟ: R-22
ΒΑΡΟΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ: 1.2KG
ΒΑΡΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΟΥΝΤΟΣ Ψ.Υ R-22: 0.028 KG/SEC
ΟΝ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ: 1.3KW
ΟΝ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΕΣΩ. ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ: 0.130KW
ΟΝ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΕΞΩ. ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ: 0.2KW

- Ονομαστική, ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή: 1,3KW
- Βάρος κυκλοφορούντος ψυκτικού υγρού: $m^{\circ} = 0,028\text{Kg/sec}$
- Ονομαστική, ηλεκτρική ισχύς εσωτερικού ανεμιστήρα: 0,130KW
- Ονομαστική, ηλεκτρική ισχύς εξωτερικού ανεμιστήρα: 0,2KW
- Βαθμός απόδοσης συμπιεστή: $\eta = 0,93$

Αυτή η ψυκτική μονάδα είναι κατασκευασμένη να λειτουργεί με ψυκτικό υγρό φρέον R-22, με συνολική ποσότητα εργαζόμενου υγρού 1,2Kg.

Μετρούμενα μεγέθη

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με εξωτερική θερμοκρασία χώρου 34°C και τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

- Μανομετρική, υψηλή πίεση: 21 bar



- Μανομετρική, χαμηλή πίεση: 4,8 bar



- Ολικό, ηλεκτρικό ρεύμα κατανάλωσης: 7,4 A



Υπολογισμοί

Από τα εργοστασιακά χαρακτηριστικά του συμπιεστή, υπολογίζεται η μηχανική ισχύς της μονάδας που ισούται με:

$$N = P_{ηλ} * η \rightarrow N = 1,3 \text{ (KW)} * 0,93 \rightarrow N = 1,209 \text{ KW}$$

Όπως είναι γνωστό η μηχανική ισχύς του συμπιεστή ισούται και με:

$$N = W_{\Sigma} * m^{\circ}, \text{ όπου}$$

W_{Σ} είναι το έργο του συμπιεστή και

m° είναι η μάζα του κυκλοφορούντος υγρού

Έτσι, λύνοντας ως προς το έργο του συμπιεστή έχουμε:

$$W_{\Sigma} = N / m^{\circ} \rightarrow W_{\Sigma} = 1,209 \text{ (KW)} / 0,028 \text{ (kg/sec)} \rightarrow W_{\Sigma} = 43,2 \text{ KJ/kg}$$

Για τον υπολογισμό της Λ.Θ.Α. χρησιμοποιείται το διάγραμμα P-h. Όσον αφορά τη θερμότητα ατμοποίησης, βρισκόμαστε στη μεριά της χαμηλής πίεσης του διαγράμματος. Η μέτρηση της χαμηλής πίεσης που πήραμε, ήταν 4,8bar. Η τιμή αυτή θα πρέπει να μετατραπεί σε απόλυτη πίεση, οπότε προστίθεται 1bar (1atm \approx 1bar). Η απόλυτη πίεση είναι 5,8bar. Στη συνέχεια, στο διάγραμμα P-h, βρίσκουμε την πίεση των 5,8bar στη γραμμή του κορεσμένου υγρού (σημείο F) και με ισοβαρή εξάτμιση του υγρού στα 5,8bar καταλήγουμε στην καμπύλη κορεσμένου ατμού (σημείο C). Η Λ.Θ.Α. είναι η θερμότητα που χρειάζεται 1Kg ψυκτικού υγρού για να ατμοποιηθεί και, όπως προκύπτει από το διάγραμμα θα είναι ίση με:

$$h_C - h_F = 407 - 205 = 202 \text{ KJ/Kg}$$

Με την απεικόνιση της Λ.Θ.Α. στο διάγραμμα προκύπτει η θερμοκρασία ατμοποίησης, εφόσον θεωρηθεί ότι η εξάτμιση είναι ισοβαρής. Η θερμοκρασία αυτή θα είναι 4° C.

Για τον υπολογισμό της Λ.Θ.Σ. βρισκόμαστε στην υψηλή πίεση του συστήματος, όπου λαμβάνει χώρα η συμπίκνωση του ψυκτικού υγρού. Η μέτρηση που πήραμε από το μανόμετρο υψηλής πίεσης ήταν 21bar και μετατρέποντάς τη σε απόλυτη πίεση

γίνεται 22bar. Έπειτα, βρίσκουμε τη γραμμή της πίεσης των 22bar που τέμνει την καμπύλη κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα (σημείο E) και θεωρώντας τη συμπύκνωση του ατμού ισοβαρή, καταλήγουμε στην καμπύλη κορεσμένου υγρού (σημείο A).

Η Λ.Θ.Σ. είναι η θερμότητα που αποβάλλει 1Kg ψυκτικού ατμού για να συμπυκνωθεί και είναι ίση με:

$$h_E - h_A = 418 - 269 = 149 \text{ KJ/Kg}$$

Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται στο περιβάλλον. Με την απεικόνιση της Λ.Θ.Σ. στο διάγραμμα προκύπτει η θερμοκρασία συμπύκνωσης, εφόσον η συμπύκνωση είναι ισοβαρής. Η θερμοκρασία αυτή είναι 55° C.

Απεικόνιση της εκτόνωσης

Το ψυκτικό ρευστό, μετά τη συμπύκνωση στο σημείο A, βρίσκεται σε υγρή μορφή 100%. Στο σημείο εκείνο παρεμβάλλεται ο εκτονωτικός μηχανισμός και γίνεται η εκτόνωση του ψυκτικού υγρού, που θεωρούμε ότι γίνεται ισενθαλπικά μέχρι το σημείο B, όπου έχουμε τη χαμηλή πίεση του συστήματος. Με την απεικόνιση της ισενθαλπικής φάσης στο διάγραμμα (σημεία A, B) φαίνεται ότι το ψυκτικό υγρό θα εισέλθει στον εξατμιστή σε μορφή υγρού 32% και ατμού 68%.

Απεικόνιση της φάσης συμπίεσης του ψυκτικού υγρού

Στο σημείο C του διαγράμματος, παρεμβάλλεται ο συμπιεστής της μονάδας αμέσως μετά τον εξατμιστή. Το έργο του συμπιεστή έχει βρεθεί ότι είναι ίσο με:

$$W_{\Sigma} = 43,2 \text{ KJ/kg}$$

Ακόμα, είναι γνωστό ότι ο συμπιεστής ανεβάζει την πίεση από την πλευρά της χαμηλής 5,8bar στην πλευρά της υψηλής πίεσης 22bar. Με όλα τα παραπάνω μπορεί να απεικονιστεί η διεργασία της συμπίεσης στο διάγραμμα, όπου έχουμε ανύψωση της πίεσης 22-5,8=16,2bar και με προσδιδόμενη θερμότητα στο ψυκτικό ρευστό

$$h_D - h_C = 450,2 - 407 = 43,2 \text{ KJ/Kg}$$

Με την απεικόνιση της συμπίεσης (σημεία C, D) συμπεραίνεται ότι η διεργασία αυτή δεν είναι ισεντροπική και ακόμα στο τέλος της, το ψυκτικό υγρό είναι υπέρθερμο με θερμοκρασία 88° C.

Στο σημείο D, το ψυκτικό ρευστό είναι υπέρθερμο, με θερμοκρασία 88° C και αποβάλλει ποσά θερμότητας στο περιβάλλον με σταθερή πίεση, μέχρι το σημείο E, όπου θα φτάσει στη θερμοκρασία συμπύκνωσης 55° C. Τα ποσά θερμότητας που αποβάλλονται είναι:

$$h_D - h_E = 450 - 118 = 332 \text{ KJ/Kg}$$

Υπολογισμός καθαρού ψυκτικού αποτελέσματος

Το καθαρό ψυκτικό αποτέλεσμα, δηλαδή η θερμότητα που αφαιρέθηκε από τον κλιματιζόμενο χώρο ανά Kg ψυκτικού ρευστού, είναι ισοβαρής εξάτμιση από το σημείο B, όπου εκτονώθηκε το ψυκτικό υγρό, ως το σημείο C, όπου πραγματοποιήθηκε η πλήρης εξάτμισή του. Οπότε:

$$K.P.A. = h_C - h_B = 407 - 269 = 138 \text{ KJ/Kg}$$

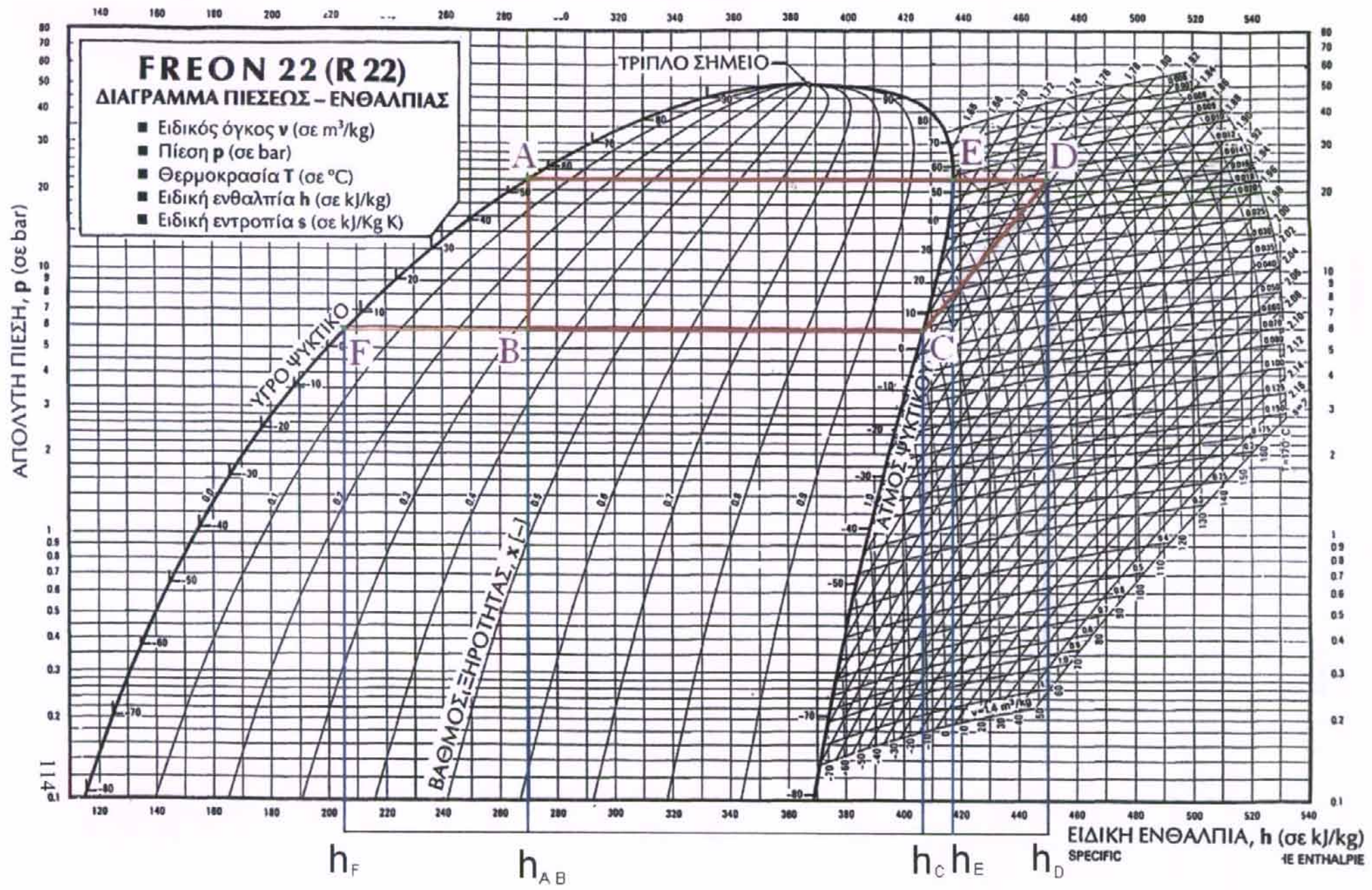
Η ψυκτική ισχύς, όταν η μονάδα λειτουργεί με τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι:

$$Q_\psi = q \cdot m^o = 138 \text{ (KJ/kg)} \cdot 0,028 \text{ (kg/sec)} = 3,86 \text{ KW}$$

$$1 \text{ KW} = 3402 \text{ (BTU/hr)} / (\text{KW}) \rightarrow 3,86 \text{ KW} \cdot 3402 \text{ (BTU/hr)} / (\text{KW}) = 13145 \text{ BTU/hr}$$

Υπολογισμός συντελεστή συμπεριφοράς μονάδας C.O.P.

$$C.O.P. = q / W_c = 138 / 43,2 = 3,2$$



6.2 Συμπεράσματα

Μετά από την κατασκευή του διαγράμματος, μπορούμε να συγκρίνουμε την ψυκτική ισχύ της μονάδας με το ψυκτικό φορτίο του χώρου, που προήλθε από τα διάφορα θερμικά κέρδη, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο τρίτο κεφάλαιο. Η ψυκτική ισχύς της μονάδας είναι 13145 BTU/hr και το ψυκτικό φορτίο 12262 BTU/hr. Οπότε, η μονάδα αυτή μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του χώρου στις πιο δυσμενείς συνθήκες θερμικών κερδών και με ένα ποσοστό υπερκάλυψης περίπου 8%. Αυτή η κάλυψη δίνει μία ασφάλεια σε τυχόν θεωρητικά σφάλματα στους υπολογισμούς.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η ψυκτική ισχύς που προέκυψε, ίσως εμπεριέχει κάποια σφάλματα, με αποτέλεσμα να μην είναι απόλυτα ακριβής. Αυτό συμβαίνει επειδή, για την κατασκευή του διαγράμματος, θεωρήσαμε ότι:

- οι διεργασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης ήταν ισοβαρείς, οπότε και ισοθερμικές
- η φάση της εκτόνωσης έγινε ισηθαλπικά

Συνήθως, στην πραγματική λειτουργία, οι διεργασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης δεν είναι ισοβαρείς και η εκτόνωση δε γίνεται ισηθαλπικά. Στη φάση της συμπίεσης, όπως αυτή απεικονίζεται στο διάγραμμα, φαίνεται ότι δεν είναι ισητροπική, όπως και συνήθως συμβαίνει. Αυτό συμβαίνει γιατί το ψυκτικό ρευστό απορροφά θερμότητα από τον ηλεκτροκινητήρα και τα μηχανικά μέρη του συμπιεστή και η θερμότητα αυτή δε μπορεί να μετρηθεί.

Ακόμα δεν έχει ληφθεί υπόψη, ότι στον ψυκτικό κύκλο υπάρχει μια μικρή υπερθέρμανση του ψυκτικού ρευστού πριν το συμπιεστή, για λόγους ασφαλείας. Αυτό επηρεάζει αρνητικά την ψυκτική ισχύ της μονάδας. Αντίστοιχα, πριν τον εκτονωτικό μηχανισμό συνήθως δημιουργείται μια υπόψυξη του ψυκτικού ρευστού ώστε αυτό να εκτονωθεί σε όσο το δυνατόν μικρότερο βαθμό ξηρότητας, με αποτέλεσμα να δίνεται ένα μεγαλύτερο καθαρό ψυκτικό αποτέλεσμα, οπότε και μια μεγαλύτερη ψυκτική ισχύς.

Για τους παραπάνω λόγους, τα τελικά αποτελέσματα μπορούν μεν να δώσουν μια πολύ καλή ένδειξη για τη λειτουργία της μονάδας, αλλά όχι ακριβή αποτελέσματα. Η συσκευή θα μπορούσε να δώσει πιο ακριβή αποτελέσματα με τη χρήση κάποιων επιπρόσθετων οργάνων, το κόστος τους όμως είναι αρκετά υψηλό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μονάδα έχει έναν καλό συντελεστή ενεργειακής απόδοσης (C.O.P. = 3,2). Με τους κανονισμούς που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, οι κλιματιστικές συσκευές πρέπει να φέρουν ένδειξη για την κατηγορία ενεργειακής απόδοσης στην οποία ανήκουν. Η ενεργειακή σήμανση²³ αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου προγράμματος αλλαγής του κλίματος των Ευρωπαϊκών χωρών που στοχεύει στην ενεργειακή σήμανση ως μέθοδο μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Με αυτό τον τρόπο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ελπίζει ότι η καλή ενημέρωση θα έχει ως αποτέλεσμα την αγορά πιο οικονομικών (οικολογικών) μονάδων, που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των καταναλωτών.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει, ανάλογα με την τιμή της ενεργειακής απόδοσης EER (C.O.P.) την κατηγορία στην οποία ανήκει η συσκευή.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΨΥΞΗΣ:	
A	$EER > 3,20$
B	$3,20 \geq EER > 3,00$
C	$3,00 \geq EER > 2,80$
D	$2,80 \geq EER > 2,60$
E	$2,60 \geq EER > 2,40$
F	$2,40 \geq EER > 2,20$
G	$2,20 \geq EER$

Η συγκεκριμένη ψυκτική μονάδα λοιπόν, εργάζεται με ένα συντελεστή ενεργειακής απόδοσης που ανήκει στην κατηγορία B, άρα συγκαταλέγεται ανάμεσα στις οικονομικές-οικολογικές μονάδες.

²³ Η ενεργειακή σήμανση παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας της μονάδας. Οι κλιματιστικές μονάδες ταξινομούνται σε 7 διαφορετικές κατηγορίες, από A έως G, ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας και είναι χρωματικά κωδικοποιημένες σύμφωνα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν.

Από τα διαγράμματα μπορούμε ακόμα κανείς να αντιληφθεί, όπως έχει ήδη αναλυθεί και στη θεωρία των αντλιών θερμότητας, ότι μια μικρότερη θερμοκρασία εξατμίσεως θα είχε πολύ μεγαλύτερη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, οπότε πιθανόν και ένα μεγαλύτερο Κ.Ψ.Α. Αλλά, πρέπει να επισημανθεί ότι δεν είναι εύκολο να κατέβει η θερμοκρασία εξάτμισης κάτω των 2° C, διότι έτσι δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα από τον πάγο που δημιουργείται στον εξατμιστή από τη συμπύκνωση της υγρασίας του αέρα που βρίσκεται στο χώρο.

Μερικές φορές όμως, μπορεί να παρουσιαστούν στοιχεία πάγου στον εξατμιστή. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, επειδή η εξάτμιση δεν είναι ισοβαρής, οπότε και σε περίπτωση που η χαμηλή πίεση του συστήματος πέσει κάτω από τα 5,2bar, τα συμπυκνώματα του αέρα θα παγώσουν διότι, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, το ψυκτικό υγρό σε αυτή την πίεση εξατμίζεται, σε μια θερμοκρασία περίπου 0° C. Ακόμα, αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το νερό γίνεται πάγος στους 0° C και σε ατμοσφαιρική πίεση. Όμως, η πίεση του αέρα, όταν αυτός εισέρχεται στο χώρο του στοιχείου, δεν είναι σταθερή, σε κάποια σημεία επικρατεί υποπίεση και σε άλλα υπερπίεση. Αυτή η διαφορά πίεσης από την ατμοσφαιρική, μπορεί να ανυψώσει το σημείο πήξης του νερού σε πάγο.

Τέλος, κάθε φορά που λειτουργεί η ψυκτική μονάδα σε διαφορετικές θερμοκρασίες χώρου και περιβάλλοντος, τα όργανα μέτρησης θα δείξουν διαφορετικές τιμές πιέσεων και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό γίνεται κατανοητό από τη θεωρία της αντλίας θερμότητας, ότι ο συντελεστής λειτουργίας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες του χώρου και του περιβάλλοντος. Οπότε, όσο αυξάνεται η διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, θα είναι μεγαλύτερο το έργο κατανάλωσης, οπότε και μικρότερο συντελεστή λειτουργίας, ενώ στη μικρότερη διαφορά ο συντελεστής λειτουργίας είναι καλύτερος.

Επίλογος

Τώρα που η εργασία αυτή έφτασε στο τέλος της και κάνοντας μια σύντομη αλλά ειλικρινή αξιολόγηση της δουλειάς μας, θα θέλαμε να πούμε ότι είμαστε αρκετά ικανοποιημένοι από την έκβασή της. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι, αν υπήρχε οικονομική υποστήριξη, η χρήση κάποιων ακόμα οργάνων θα έδινε περισσότερα στοιχεία για τη λειτουργία της μονάδας, στοιχεία τα οποία συγκεντρώθηκαν από τα εργοστασιακά δεδομένα των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Από την άλλη πλευρά, το κόστος της κατασκευής ήταν ήδη αρκετά υψηλό και το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για την κατασκευή, τη συλλογή στοιχείων και εξαρτημάτων, αλλά και τη συγγραφή της εργασίας ήταν αρκετά μεγάλο, αν αναλογιστεί κανείς ότι όλα αυτά πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια μιας πτυχιακής εργασίας.

Ελπίζουμε η συσκευή αυτή να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε, δηλαδή να αποτελέσει μια πηγή μάθησης γύρω από την τεχνολογία του κλιματισμού. Η εργασία που συνοδεύει την κατασκευή παρουσιάζει και αναλύει τα βασικά στοιχεία της θεωρίας για τις αντλίες θερμότητας και μερικά γενικά στοιχεία για τον κλιματισμό. Δεν αποτελεί όμως παρά ένα μικρό κομμάτι της επιστήμης αυτής, που συνεχώς εξελίσσεται.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ασημακόπουλος, Α. Διακουμάκος, Κ. & Σεκεριάδης, Ν. (2002). *Εγκαταστάσεις κλιματισμού II*. Αθήνα : Ο.Ε.Δ.Β
- Δελίδης, Κ. (2001). *Τεχνική θερμοδυναμική*. Αθήνα : Ίων.
- Καπλάνης, Σ.Ν. (1994). *Διαλέξεις στη μετάδοση θερμότητας*. Πάτρα.
- Καπλάνης, Σ.Ν. (2004). *Ήπιες μορφές ενέργειας II*. Αθήνα: Ίων.
- Κουρεμένος, Δ.Α. (2003). *Ψυκτικές μηχανές και εγκαταστάσεις*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Λέγγα, Σ.Ν. & Παρίκου, Ν.Ι. (1992). *Θέρμανση-Αερισμός-Κλιματισμός*. Αθήνα : Ίων.
- Πρελορέντζου, Λ.Α. & Παπαθεοδοσίου, Θ.Κ. (1992). *Θερμοδυναμική*. Αθήνα: Ίων.
- Σελλούντος, Β.Η. (1995). *Θέρμανση – Κλιματισμός*. Αθήνα : Τεκδοτική.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (1993). *ASHRAE, Handbook of Fundamentals*, New York: SI Edition.

- Briganti, A. (1996). *Κλιματισμός*. Αθήνα : Τεχνοεκδοτική Ε.Π.Ε.

- Whitman, Johnson & Tomczyk. (2000). *Εγκαταστάσεις ψύξης Ι*. Αθήνα : Ίων.

- Whitman, Johnson & Tomczyk. (2000). *Εγκαταστάσεις κλιματισμού*. Αθήνα : Ίων.

- <http://www.daikin.gr>

- <http://www.grissinpappas.gr>

- <http://tristate.apogee.net/cool/cfh.asp>

- <http://www.engineeringtoolbox.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

**ΣΤΟΙΧΕΙΑ
&
ΠΙΝΑΚΕΣ
ΤΗΣ
ASHRAE
ΓΙΑ
ΤΟΥΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΠΟΛΗ Η' ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΕΣΗ	ΜΕΣΗ	DB1%	DB 1%	DB 2,5%	DB 2,5%
	ΗΜ/ΣΙΑ ΔΙΑΚ. (DR) °C	ΗΜ/ΣΙΑ ΔΙΑΚ. (DR) F	ΘΕΡ/ΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ °C	ΘΕΡ/ΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ F	ΘΕΡ/ΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ °C	ΘΕΡ/ΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ F
ΑΓΡΙΝΙΟ	16	28,8	35,5	95,9	34,5	94,1
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	13		34,0		32,5	90,5
ΑΘΗΝΑ(ΑΣΤΕΡ/ΕΙΟ)	10	18,0	36,0	96,8	34,0	93,2
ΑΘΗΝΑ(ΕΛΛΗΝΙΚΟ)		0,0	34,5	94,1	33,0	91,4
ΑΘΗΝΑ(Ν.ΦΙΛ/ΦΕΙΑ)	12	21,6	36,5	97,7	35,0	95,0
ΑΘΗΝΑ(ΤΑΤΟΙ)	12	21,6	35,5	95,9	34,0	93,2
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	12	21,6	33,5	92,3	32,0	89,6
ΑΡΑΞΟΣ	12	21,6	34,5	94,1	33,5	92,3
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	11	19,8	31,5	88,7	30,0	86,0
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	10	18,0	36,0	96,8	34,5	94,1
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	8	14,4	33,0	91,4	31,5	88,7
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	7	12,6	32,5	90,5	31,0	87,8
ΠΑΤΡΑ	11	19,8	35,0	95,0	34,0	93,2
ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	14	25,2	34,5	94,1	33,0	91,4
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	8	14,4	35,0	95,0	33,5	92,3
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	17	30,6	34,5	94,1	33,0	91,4
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	14	25,2	34,5	94,1	32,5	90,5
ΚΕΡΚΥΡΑ	14	25,2	33,5	92,3	32,5	90,5
ΚΟΖΑΝΗ	16	28,8	33,5	92,3	32,0	89,6
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	13	23,4	33,5	92,3	32,5	90,5
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	10	18,0	33,5	92,3	32,0	89,6
ΛΑΜΙΑ	11	19,8	36,0	96,8	34,0	93,2
ΛΑΡΙΣΑ	16	28,8	37,0	98,6	35,0	95,0
ΛΗΜΝΟΣ	8	14,4	31,0	87,8	30,0	86,0
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	9	16,2	33,0	91,4	31,5	88,7
ΝΑΞΟΣ	6	10,8	29,5	85,1	28,5	83,3
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	7	12,6	33,5	92,3	32,0	89,6
ΡΟΔΟΣ	11	19,8	34,0	93,2	33,0	91,4
ΣΑΜΟΣ	7	12,6	33,0	91,4	31,5	88,7
ΣΕΡΡΕΣ	14	25,2	34,5	94,1	33,0	91,4
ΣΚΥΡΟΣ	6	10,8	30,5	86,9	29,5	85,1
ΣΟΥΔΑ	9	16,2	35,0	95,0	33,0	91,4
ΤΑΝΑΓΡΑ	14	25,2	36,0	96,8	34,5	94,1
ΤΡΙΠΟΛΗ	16	28,8	34,0	93,2	32,5	90,5
ΦΛΩΡΙΝΑ	14	25,2	33,0	91,4	31,5	88,7

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΔΙΟΡΘΩΣΗ (LM) ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΓΙΑ
ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΟΡΟΦΕΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ 40°(σε °F)**

ΜΗΝΑΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ					ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
	B	BA/BA	A/Δ	NA/NA	N	
Δεκέμβριος	-6	-10	-10	0	+7	-21
Ιανουάριος / Νοέμβριος	-5	-10	-9	+1	+8	-19
Φεβρουάριος / Οκτώβριος	-5	-8	-6	+3	+8	-14
Μάρτιος / Σεπτέμβριος	-4	-5	-3	+4	+7	-8
Απρίλιος / Αύγουστος	-1	-2	0	+2	+3	-3
Μάιος / Ιούλιος	0	0	0	0	+1	+1
Ιούνιος	+1	+1	+1	0	-1	+2

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: CTLD ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΣΤΕΓΗΣ	ΜΑΖΑ lb/ft ² (kg/m ²)	U BTU h* ft ² ($\frac{W}{k* m^2}$)	ΤΟΠΙΚΗ ΩΡΑ														
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ΣΤΕΓΕΣ ΧΩΡΙΣ ΨΕΥΔΟΡΟΦΗ																		
1	Συμπαγής πάχους 4", με μόνωση 1"	52 (140)	0,200 (1,12)	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48
2	Ομοίως, μόνωση 2"	52 (140)	0,120 (0,67)	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48
3	Συμπαγής, ταράτσα με μόνωση	75 (202)	0,106 (0,6)	10	16	14	13	15	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46
4	Συμπαγής 6", με 1" μόνωση	75 (202)	0,192 (1,08)	17	19	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44
5	Ομοίως με 2" μόνωση	75 (202)	0,117 (0,66)	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	48	44
ΣΤΕΓΕΣ ΜΕ ΨΕΥΔΟΡΟΦΗ																		
6	Συμπαγής 4" με μόνωση 1"	53 (146)	0,128 (0,72)	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	36	38	38
7	Ομοίως, μόνωση 2"	54 (148)	0,090 (0,50)	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	36	38	38
8	Συμπαγής, ταράτσα με μόνωση	77 (208)	0,082 (0,46)	25	24	23	22	22	22	23	23	25	26	28	31	34	32	33
9	Συμπαγής, 6" με 1" μόνωση	77 (208)	0,125 (0,70)	24	25	22	21	21	22	23	24	26	28	30	33	32	34	34
10	Ομοίως, με 2" μόνωση	77	0,088															

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΙΧΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥΣ (ΕΠΙΛΟΓΗ) ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ASHRAE**

ΚΩΔΙΚΟΣ ΟΜΑΔΑΣ	ΚΥΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ U	
C	Τούβλο Ώψεως 4"	Κενό αέρα και τούβλο 4"	0,358	2,00
D		Κοινό τούβλο 4"	0,415	2,33
C		1" μόνωση ή κενό αέρα και 4" κοινό τούβλο	0.174-0.301	0,98 - 1,69
B		2" μόνωση και 4" κοινό τούβλο	0.111	0,62
B		4" διπλό κοινό τούβλο με κενό αέρα + φινίρισμα	0,151-0,231	0,75 - 1,37
C	Τούβλο	Κενό αέρα και συμπαγές (π. χ. μπετόν) πύχους 2"	0,350	1,96
B		2" μόνωση και 4" συμπαγές	0,116	0,65
E	Συμπαγής	4" συμπαγής	0,586	3,29
D		1" συμπαγής και 1" ή 2" μόνωση	0.119-0,200	0,67-1,12
C		8" συμπαγής	0,490	2,75
B		8" συμπαγής + 1" ή 2" μόνωση	0,115-0,187	0,65-1,05
A		12" συμπαγής + 1" ή 2" μόνωση	0,113	0,63
A		20" συμπαγής + φινίρισμα	0,100	0,56
ΚΩΔΙΚΟΣ ΟΜΑΔΑΣ	ΚΥΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ U	
G	Απλός μεταλλικός Τοίχος	Με ή χωρίς διάκενο +1"/ 2" μόνωση	0,091-0,230	0,7
G	Απλό ξύλινο Τοίχος η θύρα	Ξύλινα χωρίσματα – θύρες με διάκενο	0,622	3,49

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΙΧΟΥΣ ΗΛΙΑΖΟΜΕΝΟΥΣ,
ΚΑΤΑ ASHRAE (επιλογή), σε °F**

ΠΡΟΣΑ- -----	ΤΟΠΙΚΗ ΩΡΑ													
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΝ Α													
B	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12
A	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25
N	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19
Δ	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22
	ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΝ Β													
B	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12	13	14
A	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27
N	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21
Δ	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19
	ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΝ C													
B	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16
A	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29
N	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26
Δ	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32
	ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΝ D													
B	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19
A	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30
N	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	29	29	29	29
Δ	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	27	30	36	40
	ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΝ E													
B	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23
A	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28
N	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29
Δ	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49
	ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΝ G													
B	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15
A	31	47	54	55	50	40	53	31	30	29	27	24	19	15
N	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15
Δ	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 :
ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ Ύ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ (BTU/hr*ft² - F)

ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ (ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ, ΣΥΡΩΜΕΝΕΣ ΠΑΛΙΝΕΣ ΠΟΡΤΕΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣΜΑΤΑ) – ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΖΑΜΙΑ, ΥΑΛΟΤΟΥΒΛΑ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΤΖΑΜΙΑ				ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ (ΦΕΓΓΙΤΕΣ) – ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΖΑΜΙΑ, ΥΑΛΟΤΟΥΒΛΑ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟΙ ΘΟΛΟΙ			
Περιγραφή	Εξωτερικά			Περιγραφή	Εξωτερικά		
	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Εσωτερικά		Χειμώνας	Καλοκαίρι	Εσωτερικά
Επίπεδοι Υαλοπίνακες Μονό τζάμι μονωμένο τζάμι-διπλό	1.10	1.04	0.73	Επίπεδοι Υαλοπίνακες Μονό τζάμι μονωμένο τζάμι-διπλό	1.23	0.83	0.96
1/4" διάκενο	0.58	0.61	0.49	1/4" διάκενο	0.65	0.54	0.59
1/2" διάκενο	0.49	0.56	0.46	1/2" διάκενο	0.59	0.49	0.56
1/2" διάκενο, χαμηλό προστατ. Στρώμα για μείωση ακτινοβολίας				1 1/2" διάκενο, χαμηλό προστατ. Στρώμα για μείωση ακτινοβολίας			
e = 0.20	0.32	0.38	0.32	e = 0.20	0.48	0.36	0.39
e = 0.40	0.38	0.45	0.38	e = 0.40	0.52	0.42	0.45
e = 0.60	0.43	0.51	0.42	e = 0.60	0.56	0.46	0.50
μονωμένο τζάμι-τρητό				Υαλότουβλο			
1/4" διάκενο	0.39	0.44	0.38	1 1/4 x 1 1/4 x 3 in. πάχους			
1/2" διάκενο	0.31	0.39	0.30		0.53	0.35	0.44
παράθυρα θυέλλης				12 x 12 x 4 in. πάχους			
1" to 4" διάκενο	0.50	0.50	0.44		0.51	0.34	0.42
Πλαστικό τζάμι				Πλαστικοί θόλοι			
μονό				μονοί	1.15	0.80	
1/8" πάχους	1.06	0.98		διπλοί	0.70	0.46	
1/4" πάχους	0.96	0.89		ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕΤΟΥΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ			
1/2" πάχους	0.81	0.76	-				
μονωμένη μονάδα-διπλή							
1/4" διάκενο	0.55	0.56		Περιγραφή	Μονό τζάμι	Διπλοί ή Τριπλό τζάμι	Παράθυρα Θυέλλης
1/2" διάκενο	0.43	0.45					
Υαλότουβλο				Παράθυρα			
6 x 6 x 4 in. πάχους	0.60	0.54	0.46	Όλο γιάλινο	1.00	1.00	1.00
8x8x4 in. πάχους	0.56	0.54	0.44	Σασί ξύλου-80%Γιαλί	0.90	0.95	0.90
με ενδιάμεσο χώρισμα	0.48	0.46	0.38	Σασί ξύλου-60%Παλί	0.80	0.85	0.80
12 x 12 x 4 in. πάχους	0.52	0.50	0.41	Σασί ξύλου-80%Γιαλί	1.00	1.20 ⁹	1.20 ⁹
με ενδιάμεσο χώρισμα	0.44	0.42	0.36	Συρώμενες Υαλόπορτες			
12 x 12x2 in. Πάχους	0.60	0.57	0.46	Ξύλινο πλαίσιο	0.95	1.00	
				Μεταλλικό πλαίσιο	1.00	1.10 ⁹	

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩ ΓΥΑΛΙΟΥ.												
ΩΡΑ	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
CLTD												
F/°C	0	-2	-2	0	4	9	13	14	12	8	4	2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΜΕΓΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΕΡΔΟΥΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΓΥΑΛΙ, BTU/HR – FT ² ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΑ ΠΛΑΤΗ										
SHGF για 40°										
	B	BBA BBΔ	BA BΔ	ΔBA ΔBΔ	A Δ	ANA ΔNΔ	NA NΔ	NNA NNΔ	N	ΟΡΙΖ.
Ιούνιος	48	113	172	205	216	199	161	116	95	267
Ιούλιος	38	102	163	198	216	203	170	129	109	262
Αύγουστος	35	71	135	185	216	214	196	165	149	247

ΠΙΝΑΚΑΣ 9:

**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΚΙΑΣΕΩΣ SC ΓΙΑ ΤΖΑΜΙΑ ΜΕ Η ΧΩΡΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΚΙΑΣΗ
ΑΠΟ ΒΕΝΕΤΙΚΑ ΣΤΟΡΙΑ Η ΚΟΥΡΤΙΝΕΣ ΣΚΙΑΣΗΣ**

Τύπος γυαλιού	Ονομαστικό Πάχος σε in	Ηλιακή Μεταβίβαση	Χωρίς εσωτερική σκίαση h ₀ =4,0	Τύπος Εσωτερικής Σκίασης				
				Βενετικά στόρια		Κουρτίνες		
				Μέτρια	Ανοιχτά	Σκούρες	Μέτριες	Ανοιχτές
Μονό Καθαρό	3/32 to 1/4	0,87-0,80	1,00					
Καθαρό	1/4 to 1/2	0,80-0,71	0,94					
Καθαρό	3/8	0,72	0,90					
Καθαρό	1/2	0,67	0,87	0,64	0,55	0,59	0,25	0,39
Καθαρό Πρότυπο	1/8 to 9/32	0,87-0,79	0,83					
Πρότυπα απορροφητικά θερμότητας	1/8		0,83					
Απορροφητικά θερμότητας	3/16 to 1/4	0,46	0,69					
Πρότυπα απορροφητικά θερμότητας	3/16 to 1/4		0,69	0,57	0,53	0,44	0,3	0,36
Βαμμένα ελαφρός	1/8 to 7/32	0,59-0,45	0,69	0,54	0,52	0,4	0,28	0,32
Απορροφητικά θερμότητας ή πρότυπα	3/8	0,44-0,30	0,60					
Απορροφητικά θερμότητας		0,34	0,60					
Απορροφητικά θερμότητας ή πρότυπα	1/2	0,44-0,30	0,53	0,42	0,4	0,36	0,28	0,32
Τζάμια αντανakλαστικά βαμμένα			0,30	0,25	0,23			
			0,40	0,33	0,29			
			0,50	0,42	0,38			
			0,60	0,5	0,44			

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 CLF

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟ- ΛΙΣΜΟΣ ΤΖΑΜΙΟΥ	Είδος Κατασκ ευής	ΗΛΙΑΚΗ ΩΡΑ																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
B	L	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	0,70	0,65	0,65	0,74	0,81	0,87	0,91	0,91	0,88	0,84	0,87	0,80	0,92	0,27	0,19	0,15	0,12	0,10	0,08
	M	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07	0,73	0,66	0,65	0,73	0,80	0,86	0,89	0,89	0,86	0,82	0,85	0,78	0,91	0,24	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09
	H	0,09	0,09	0,08	0,07	0,09	0,75	0,67	0,66	0,74	0,80	0,86	0,89	0,88	0,85	0,80	0,73	0,76	0,88	0,23	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10
BA	L	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,55	0,76	0,75	0,60	0,39	0,31	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,16	0,12	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
	M	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,56	0,76	0,74	0,58	0,37	0,29	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,16	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
	H	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,57	0,77	0,74	0,58	0,36	0,28	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,11	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
A	L	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,45	0,71	0,80	0,77	0,64	0,43	0,29	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
	M	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,47	0,72	0,80	0,76	0,62	0,41	0,27	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
	H	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,48	0,72	0,80	0,75	0,61	0,40	0,25	0,22	0,21	0,19	0,16	0,14	0,10	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
NA	L	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,29	0,56	0,74	0,82	0,81	0,70	0,52	0,35	0,30	0,26	0,22	0,18	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
	M	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,30	0,56	0,74	0,81	0,79	0,68	0,46	0,33	0,28	0,25	0,22	0,18	0,13	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04
	H	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,31	0,57	0,74	0,81	0,79	0,67	0,48	0,31	0,27	0,23	0,20	0,17	0,13	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05
N	L	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,08	0,15	0,22	0,37	0,58	0,75	0,84	0,82	0,71	0,53	0,37	0,29	0,20	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
	M	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,09	0,16	0,22	0,38	0,58	0,75	0,83	0,80	0,68	0,50	0,35	0,27	0,19	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
	H	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,11	0,17	0,24	0,39	0,59	0,75	0,82	0,79	0,67	0,49	0,33	0,26	0,18	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05
NA	L	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,06	0,10	0,13	0,16	0,18	0,22	0,38	0,59	0,76	0,84	0,83	0,72	0,48	0,18	0,13	0,11	0,08	0,07	0,06
	M	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,38	0,59	0,75^0,83^0,81	0,69	0,45	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	
	H	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,08	0,12	0,15	0,18	0,20	0,23	0,39	0,59	0,75	0,82	0,80	0,68	0,43	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06
A	L	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,05	0,08	0,11	0,13	0,14	0,15	0,17	0,30	0,53	0,72x	0,83	0,83	0,63	0,19	0,14	0,11	0,07	0,06	
	M	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,31	0,53	0,72	0,82	0,81	0,61	0,16	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06
	H	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,18	0,31	0,54	0,71	0,81	0,80	0,59	0,15	0,11	0,09	0,07	0,06	0,06
BA	L	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,20	0,21	0,22	0,30	0,52	0,73	0,83	0,71	0,19	0,13	0,10	0,08	0,07	0,05
	M	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,07	0,11	0,14	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,30	0,52	0,73	0,82	0,69	0,16	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06
	H	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,12	0,15	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,30	0,52	0,73	0,81	0,67	0,15	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05
OPIZ	L	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,10	0,26	0,43	0,59	0,72	0,83	0,87	0,87	0,83	0,74	0,60	0,44	0,27	0,15	0,12	0,09	0,08	0,06	0,05
	M	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,12	0,27	0,44	0,59	0,72	0,81	0,85	0,85	0,81	0,71	0,58	0,42	0,25	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06
	H	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,13	0,29	0,45	0,60	0,72	0,81	0,85	0,84	0,79	0,70	0,56	0,40	0,23	0,13	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07
L = Ελαφρά Κατασκευή		M = Μεσαία Κατασκευή						H = Βαριά Κατασκευή																	

ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΛΟΓΩ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟ ΧΩΡΟ

ΒΑΘΜΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡ.	Τυπικές Περιπτώσεις	Ολ.Θερμ. Ενηλίκων Ανδρών			Ολ. Θερμότητα			Αισθητή Θερμότητα			Λανθάνουσα Θερμότητα		
		Watts	Btuh	Kcal/hr	Watts	Btuh	Kcal/hr	Watts	Btuh	Kcal/hr	Watts	Btuh	Kcal/hr
Καθισμένα αναπαυτικά Καθισμένα και μετρίως εργαζόμενα Καθισμένα τρώγοντας	Κινηματοθέατρα	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
	Γραφεία, ξενοδοχεία	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
	Εστιατόρια	150	520	130	170	580	145	75	255	60	55	325	80
Εργασία γραφείου	Γραφεία.	185	640	160	150	510	130	75	255	60	75	255	65
Άτομα όρθια ή βαδίζοντα με βραδύ ρυθμό	Καταστήματα, τράπεζες	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Ελαφριά εργασία Βάδισμα 5Km/h και ελαφριά εργασία	Εργοστάσια	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Μπόουλινγκ	Χώρος Μπόουλινγκ	350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Μοντέρνος χώρος Βαριά εργασία, και έντονη προσπάθεια	Dance hall	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Γυμναστική	Εργοστάσια	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
	Γυμναστήρια	585	2000	500	525	1800	450	185	635	160	340	1165	290

Πίνακας 12 : Ενδεικτικές τιμές ψυκτικών φορτίων από ηλεκτρικές συσκευές

Είδος ηλεκτρικής συσκευής	Αισθητό	Λανθάνον
Καφετιέρα	250	120
Συσκευή θέρμανσης καφέ	70	40
Φωτοαντιγραφικό	85	-
Laser printer μικρός	75	-
Οθόνη υπολογιστή μεγάλη	80	-
Οθόνη υπολογιστή μικρή	55	-
Ψυκτης νερού 30l/h	350	-
Σχάρα για μπιφτέκια	1550	850
Κουζίνα-φούρνος με μόνωση	2100	550
Στεγνωτήρας μαλλιών με κάσκα	550	100
Εκτυπωτής Η/Υ	20	-
Προσωπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής (PC)	55	-

Πίνακας 13 : Αισθητό ψυκτικό φορτίο λόγω διείσδυσης αέρα και εξαερισμού

Θερμοκρασία Σχεδιασμού	85	90	95	100	105	110
Διείσδυση, BTU/hr ανά ft από τη μικτή εκτεθειμένη περιοχή τοίχων	0,7	1,1	1,5	1,9	2,2	2,6
Διείσδυση, BTU/hr ανά ft από τη μικτή εκτεθειμένη περιοχή τοίχων	11	16	22	27	32	38