

ΨΥΞΗ - ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ



Ενέργεια 2.3.2: «Ανάπτυξη των Τ.Ε.Ε. και Σ.Ε.Κ.»

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ:

Σταμάτης Αλαχιώτης

*Καθηγητής Γενετικής Πανεπιστημίου Πατρών
Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου*

Έργο:

«Βιβλία Τ.Ε.Ε.»

– Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου:

Γεώργιος Βούτσινος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

– Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα

Δαφέρμος Ολύμπιος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΨΥΞΗ – ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΓΟΜΑΤΟΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΥΤΡΑΣ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

1ος Κύκλος Τάξη Β΄

Ειδικότητα: *Ψυκτικών Εγκαταστάσεων και Κλιματισμού*

ΤΟΜΕΑΣ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

- Γομάτος Λεωνίδας, Μηχανολόγος Μηχανικός, Διπλωματούχος ΕΜΠ, Δρ Διδακτικής, Καθηγητής ΣΕΛΕΤΕ
- Λύτρας Κωνσταντίνος, Μηχανολόγος Μηχανικός, Διπλωματούχος ΕΜΠ, MSc, Επιστημονικός Συνεργάτης ΚΑΠΕ

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ

- Ροζάκος Νικόλαος, Μηχανολόγος Μηχανικός

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

- Τσιαντής Κων/νος, Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος-Μηχανικός, Καθηγητής ΤΕΙ
- Σπυρίδωνος Πέτρος, Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος-Μηχανικός, Σχολικός Σύμβουλος
- Μπούρκας Περικλής, Ηλεκτρολόγος-Μηχανολόγος-Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

- Αλιφεροπούλου Μαρία, Φιλολόγος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Λέτσης Φίλιππος

ATELIER

- COSMOSWARE

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα
Δαφέρμος Ολύμπιος
Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό έχει γραφτεί σύμφωνα με το εγκεκριμένο από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (Π.Ι.) αναλυτικό πρόγραμμα του μαθήματος ΨΥΞΗ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ. Προορίζεται για σχολικό εγχειρίδιο του παραπάνω μαθήματος της Β΄ τάξης του Α΄ κύκλου των ΤΕΕ στην ειδικότητα Ψυκτικών Εγκαταστάσεων και Κλιματισμού.

Περιλαμβάνει τρία Μέρη: Εισαγωγή, Ψύξη, Κλιματισμός.

Στο Πρώτο Μέρος γίνεται ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη της Ψύξης και του Κλιματισμού και σύντομη παρουσίαση των κυριότερων εφαρμογών τους. Στο μέρος αυτό θα ασχοληθούμε επίσης με τη Θερμοδυναμική της Ψύξης, ξεκινώντας από βασικές αρχές και έννοιες της Θερμοδυναμικής που βρίσκουν εφαρμογή στις εγκαταστάσεις Ψύξης και Κλιματισμού και καταλήγοντας στην αναλυτική παρουσίαση του ψυκτικού κύκλου.

Στο Δεύτερο Μέρος γίνεται παρουσίαση των διαφόρων τρόπων παραγωγής ψύξης καθώς και των εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών της ψύξης, κυρίως στη συντήρηση τροφίμων. Εκεί θα γνωρίσουμε επίσης τα βασικά εξαρτήματα και τις συσκευές του κύκλου ψύξης με μηχανική συμπίεση ατμών. Τέλος θα ασχοληθούμε με τα διάφορα ψυκτικά μέσα, τις ιδιότητές τους και τις νεότερες εξελίξεις που υπάρχουν στο θέμα αυτό λόγω των επιτακτικών αναγκών προστασίας του περιβάλλοντος.

Στο Τρίτο Μέρος διαπραγματευόμαστε τα θέματα που αφορούν την επίτευξη συνθηκών άνεσης του ανθρώπου σε ένα χώρο με ένα σύστημα κλιματισμού, στις ελεγχόμενες με τον κλιματισμό θερμοδυναμικές ιδιότητες του αέρα και στις αντίστοιχες ψυχομετρικές μεταβολές. Στο μέρος αυτό θα αναφερθούμε επίσης στον υπολογισμό των ποσών θερμότητας που συναλλάσσει ένας κλιματιζόμενος χώρος με το περιβάλλον και θα γνωρί-

σουμε τρόπους και τυπικά συστήματα για τη διανομή του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο καθώς και το πώς επηρεάζει η πίεση του αέρα το σχεδιασμό τους.

Για τη μέτρηση των διαφόρων φυσικών μεγεθών χρησιμοποιούμε τις μονάδες του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (S.I.). Το σύστημα αυτό έχει γίνει διεθνώς αποδεκτό. Ωστόσο, στην Ψύξη και τον Κλιματισμό, χρησιμοποιούνται ακόμη και παλιότερες μονάδες (του Μετρικού Συστήματος ή του Αγγλοσαξονικού Συστήματος). Παρότι οι μονάδες αυτές αντικαθίστανται σταδιακά από μονάδες του S.I., δε θα μπορούσαμε να τις αγνοήσουμε. Δίνουμε όμως, σε κάθε τέτοια περίπτωση, τη σχέση με την αντίστοιχη μονάδα του S.I. Σχέσεις μετατροπής μεταξύ των διαφόρων μονάδων μπορείτε να βρείτε και μέσα στα κείμενα αλλά και σε συγκεντρωτικούς πίνακες στο Παράρτημα 2.

Το μάθημα ΨΥΞΗ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ δεν είναι το μοναδικό γύρω από το θέμα αυτό στην ειδικότητά σας. Υπάρχει σειρά μαθημάτων στα πλαίσια των οποίων θα εμβαθύνετε και θα κάνετε εργαστηριακές εφαρμογές σε όλα τα θέματα που πραγματεύεται το εγχειρίδιο που κρατάτε στα χέρια σας. Μέλημά μας, κατά τη συγγραφή του βιβλίου αυτού, ήταν να προσεγγίσουμε βασικές αρχές και έννοιες γύρω από τη θεματολογία της ψύξης και του κλιματισμού. Ελπίζουμε πως το εγχειρίδιο αυτό θα βοηθήσει το μαθητή να αποκτήσει στέρεες θεωρητικές γνώσεις που θα τις χρειαστεί καθώς εμβαθύνει στα αντίστοιχα θέματα, καθώς αποκτά δεξιότητες στο εργαστήριο και, τέλος, όταν αντιμετωπίζει πρακτικά προβλήματα σε επαγγελματικούς χώρους.

Αρκετά συχνά, κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας, στα σχολεία της Δευτεροβάθμιας Εκπ/σης, δίνεται έμφαση στο “μαθηματικό μέρος” της επιστήμης, πράγμα που οδηγεί πολλές φορές σε μια μηχανική χρήση των συμβόλων, ενώ παραβλέπεται η ανάγκη να προηγηθεί μια ποιοτική προσέγγιση των διαφόρων εννοιών. Τα αδιέξοδα που προκύπτουν από αυτή την πρακτική φαίνονται όταν οι μαθητές βρίσκονται αντιμέτωποι με προβλήματα που ξεφεύγουν λίγο από τα τυποποιημένα των σχολικών εγχειριδίων, όπως π.χ. τα πραγματικά προβλήματα που συναντά ένας τεχνικός εγκαταστάσεων ψύξης και κλιματισμού στη δουλειά του. Κατά την άποψή μας, στη διδασκαλία των επιστημών και της τεχνολογίας, θα πρέπει να προτιμηθούν άλλες προσεγγίσεις που θα δίνουν έμφαση στην ποιοτική γνώση. Προς αυτή την κατεύθυνση κινούνται και οι προτάσεις της σύγχρονης Διδακτικής. Αυτό το πνεύμα υιοθετούν ε-

πίσης και οι οδηγίες συγγραφής που δόθηκαν από τη συντονιστική ομάδα του Μηχανολογικού Τομέα του Π.Ι.

Για τους λόγους που αναπτύχθηκαν παραπάνω, προτιμήσαμε τα κείμενά μας, κατά το δυνατό, να θέτουν ερωτήματα και να μη σπεύδουν στις έτοιμες απαντήσεις. Με τη μορφή των κειμένων θεωρήσαμε σκόπιμο να συντελέσουμε στην ανάπτυξη προβληματισμού στην τάξη ή κατά την ατομική μελέτη. Προτείνουμε αρκετά ερωτήματα προς διαπραγμάτευση, είτε μέσα στο κείμενο είτε στις Ερωτήσεις-Δραστηριότητες που ακολουθούν κάθε κεφάλαιο. Ορισμένα από τα ερωτήματα συνοδεύονται από το σύμβολο ^Π. Αυτά προσφέρονται περισσότερο για επεξεργασία κατά ομάδες στην τάξη. Γύρω από τα ερωτήματα αυτά γίνεται μια εκτενέστερη συζήτηση στο Παράρτημα 1. Παραπέμπουμε συχνά το μαθητή από το κείμενο στα παραρτήματα ή στις ερωτήσεις-δραστηριότητες και αντιστρόφως. Θεωρούμε ότι μια τέτοια “κινητικότητα” κατά τη μελέτη των κειμένων βοηθά το μαθητή στο να προσεγγίσει κριτικά και ερευνητικά τη γνώση γύρω από τα συγκεκριμένα θέματα που διαπραγματεύεται το εγχειρίδιο αυτό. Στις ερωτήσεις-δραστηριότητες προτείναμε και αρκετά ανοιχτά προβλήματα, στα οποία θα πρέπει ο μαθητής να καθορίσει ορισμένες από τις συνθήκες για να προχωρήσει.

Ευχαριστούμε θερμά όσους βοήθησαν στην προσπάθειά μας και κυρίως τους τρεις κριτές που ορίστηκαν από το Π.Ι., καθώς και το συντονιστή του Π.Ι. για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε σ’ όλο το διάστημα της συγγραφής. Θεωρούμε πως η διδακτική πράξη θα δείξει, περισσότερο από κάθε άλλο, έως ποιο βαθμό το βιβλίο αυτό θα βοηθήσει στην επίτευξη των γενικότερων σκοπών του μαθήματος. Για το λόγο αυτό, με χαρά θα δεχθούμε από καθηγητές και μαθητές -αλλά και από κάθε αναγνώστη- κρίσεις, σκέψεις και παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν το βιβλίο σε επόμενη έκδοσή του.

Οι συγγραφείς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

- 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 1.2 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ
- 1.3 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΥΞΗΣ
- 1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
- ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
- ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να αναφέρουν ιστορικά στοιχεία από την εξέλιξη της ψύξης και του κλιματισμού.
- ✓ Να συσχετίζουν έννοιες και νόμους της φυσικής με τη λειτουργία των ψυγείων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού.
- ✓ Να κατανοούν την αναγκαιότητα της ψύξης και του κλιματισμού για τον άνθρωπο.
- ✓ Να περιγράφουν τις διάφορες εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού και να διακρίνουν το πόσο απαραίτητες έχουν καταστεί σήμερα για τη διαβίωση του ανθρώπου.

1.1 Ιστορική εξέλιξη της ψύξης και του κλιματισμού

Από το ξεκίνημα της μεγάλης πορείας του πάνω στη γη, ο άνθρωπος επιβιώνει και αναπτύσσει τον πολιτισμό του ζώντας μέσα σε ένα **φυσικό περιβάλλον**, που επηρεάζει άμεσα τη λειτουργία του οργανισμού του και τις δραστηριότητές του (εργασία, μετακίνηση). Το περιβάλλον αυτό χαρακτηρίζεται από διαρκώς **μεταβαλλόμενες** και συχνά ακραίες **κλιματικές συνθήκες**. Ο καύσωνας και η ξηρασία των αγρών, η παγωνιά και το χιόνι, η καταιγίδα και η ανεμοθύελλα, η έντονη υγρασία είναι γνωστά παραδείγματα των μεταβολών στο κλίμα ενός τόπου.

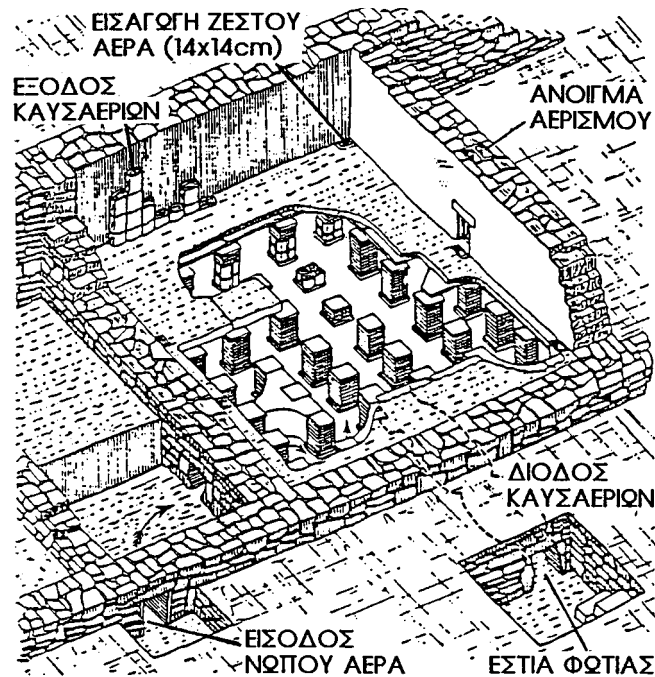
Ο άνθρωπος προσπάθησε να **ελέγξει** τις **κλιματικές μεταβολές** προκειμένου να πετύχει να ζει και να εργάζεται με **άνεση** και ασφάλεια σε κλει-

στούς χώρους με **καθαρό** αέρα και για να **διατηρεί** την τροφή του, τις διεργασίες και τα προϊόντα των διαφόρων δραστηριοτήτων του σε **συγκεκριμένες** περιβαλλοντικές **συνθήκες**. Για το σκοπό αυτό, εφάρμοσε στην αρχή απλούς τρόπους και πολύ αργότερα, με την αύξηση των γνώσεών του, μηχανικά συστήματα **ψύξης και κλιματισμού**.

Οι πολύ μακρινοί πρόγονοί μας, στην προσπάθειά τους να επιβιώσουν σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, ζούσαν αρχικά σε σπηλιές για να προστατευθούν τόσο από την παγωνιά του χειμώνα όσο και από τον καύσωνα του καλοκαιριού. Έκαιγαν ξύλα για να ζεσταθούν με τη φωτιά και εκμεταλλεύονταν τη δροσιά του χώρου. Αργότερα, έκτισαν οικοδομήματα για να ζουν στο εσωτερικό τους πιο άνετα. Με τον κατάλληλο προσανατολισμό των οικοδομών και τη διαμόρφωση των δομικών στοιχείων τους, προσπάθησαν να **περιορίσουν** τις αρνητικές **επιδράσεις** του εξωτερικού περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με την **εκμετάλλευση** των ευνοϊκών **συνθηκών** του κλίματος και της γεωγραφίας ενός τόπου (ήλιος, άνεμος, νερό, έδαφος) (Εικόνα 1.1). Παράλληλα, χρησιμοποίησαν εστίες φωτιάς για τη θέρμανση και τον αερισμό εσωτερικών χώρων με διάφορους τρόπους. Μία εξελιγμένη εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε στην αρχαιότητα, ήταν το **θερμαινόμενο δάπεδο** για την έμμεση θέρμανση του αέρα κατοικιών από τα καυσάερια της εστίας (Σχήμα 1.1).



Εικόνα 1.1. Το μοναστήρι της Χοζοβιώτισσας Αμοργού

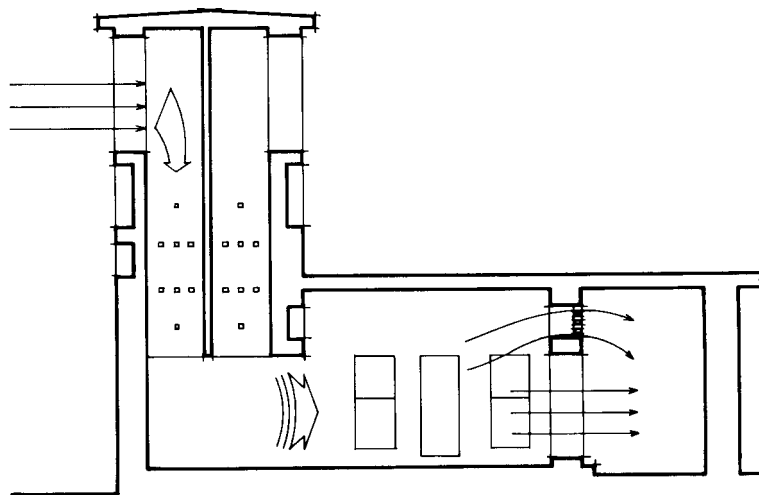


Σχήμα 1.1. Ρωμαϊκό θερμαινόμενο δάπεδο

Σε θερμούς τόπους, όπως στις Αραβικές χώρες, στην Περσία και στην Ινδία εφαρμόστηκαν αρχικά ειδικές οικοδομικές τεχνικές και απλές πρακτικές για τον **αερισμό και το δροσισμό** των εσωτερικών χώρων, μέσω της **φυσικής κίνησης του αέρα** και της **εξάτμισης του νερού**. Για παράδειγμα, η διαμόρφωση κατακόρυφων προεξοχών-καμινάδων ή ανεμόπυργων με στενή διατομή σε συνδυασμό με κατάλληλα ανοίγματα, προκαλούσε την έντονη κυκλοφορία ρευμάτων σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και την εξαγωγή θερμών μαζών αέρα από τους χώρους κατοίκησης (Εικόνα 1.2 και Σχήμα 1.2).



Εικόνα 1.2. Παραδοσιακή καμινάδα φυσικού αερισμού



Σχήμα 1.2. Τομή παραδοσιακού αραβικού ανεμόπυργου

Για τη **διατήρηση** της **τροφής** του σε χαμηλές θερμοκρασίες, από τα πρώτα μέσα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος ήταν το **χιόνι**, ο φυσικός **πάγος**, το **κρύο νερό** της θάλασσας, των λιμνών και των ποταμιών και τα βαθιά **πηγάδια**. Οι Ρωμαίοι και άλλοι λαοί **μετέφεραν** χιόνι και πάγο από ψηλά βουνά σε πεδινές περιοχές. Χρησιμοποιούσαν επίσης τις λεγόμενες **χιονοαποθήκες**, δηλαδή κοιλότητες σκαμμένες στο έδαφος και μονωμένες στα πλάγια με σανίδες και άχυρο, όπου το χιόνι διατηρούνταν σε στερεή κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Άλλες πρώτες μορφές ψύ-

ξης περιελάμβαναν **την παρασκευή φυσικού πάγου** μέσω της **ψύξης** μάζας νερού κατά τη διάρκεια μιας κρύας νύχτας με ξαστεριά.

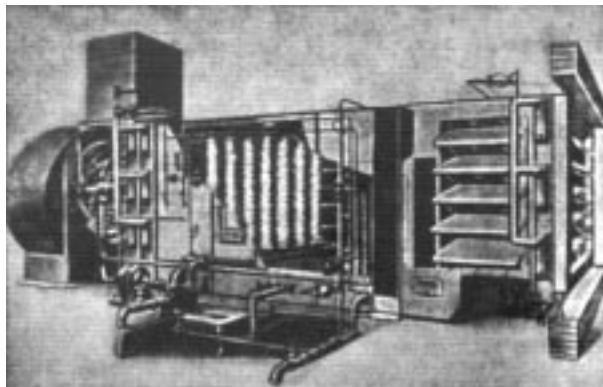
Το **18ο** αιώνα, το μίγμα χλωριούχου ασβέστιου και χιονιού είχε εμπορική χρήση στη Βρετανία, για την παρασκευή παγωτών. Τότε ανέτειλε και η βιομηχανία της **ψύξης τροφίμων** σε ζεστούς τόπους του νότου, με τη **μεταφορά**, με πλοiάρια, **φυσικού πάγου** που λαμβανόταν από τους παγετώνες και την τοποθέτησή του σε ειδικούς θαλάμους.

Στις αρχές του **19ου** αιώνα ήταν γνωστές οι αρχές **τεχνητής παραγωγής πάγου**. Τότε, αφενός ο **Carnot** με το σχεδιασμό του **αναστρέψιμου κύκλου** θερμικής μηχανής και αφετέρου ο λόρδος **Kelvin** και ο **Clausius** με τις διατυπώσεις του **2ου Θερμοδυναμικού Αξιώματος** έθεσαν τις θεωρητικές βάσεις για τη λειτουργία ψυκτικών μηχανών. Το **1843** ο Αμερικανός **Jacob Perkins** κατασκεύασε την πρώτη μηχανή παραγωγής πάγου που χρησιμοποίησε **συμπιεστή**. Το **1851** ο Γάλλος **Ferdinand Karre** σχεδίασε την πρώτη μηχανή παραγωγής πάγου με σύστημα **απορρόφησης** ατμού αμμωνίας (ψυκτική ουσία). Το **1872** ο **David Boyle** ανέπτυξε την πρώτη μηχανή παραγωγής πάγου με **μηχανική συμπίεση αμμωνίας**. Έως τα τέλη του 19ου αιώνα, οι ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησίμευαν κυρίως για την παραγωγή πάγου και για τη συντήρηση κρεάτων και ψαριών και περιπτωσιακά για την παραγωγή μπύρας, το δροσισμό του κρασιού αλλά και για τον κλιματισμό χώρων μέσω πάγου (Η.Π.Α., Ευρώπη, Αυστραλία).

Μέχρι το **1940** η παραγωγή πάγου γίνονταν μόνο σε μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις, σε **κολώνες**, ενώ αργότερα αναπτύχθηκαν αυτόνομες ψυκτικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή πάγου σε μικρότερα κομμάτια για τη συντήρηση τροφίμων και την ψύξη ποτών στα κτίρια υπηρεσιών. Στα 1920 παρουσιάστηκαν τα πρώτα οικιακά ψυγεία στις ΗΠΑ. Μετά τα μέσα του **20ου** αιώνα εδραιώθηκαν στην παγκόσμια αγορά οι σύγχρονες οικιακές ψυκτικές μηχανές, τα **ηλεκτρικά ψυγεία** και οι **καταψύκτες** τροφίμων.

Σχετικά με τον **κλιματισμό των εσωτερικών χώρων**, δηλαδή τη διατήρηση της κατάστασης του αέρα ενός χώρου σε ορισμένα πλαίσια, το **1902**, ο νεαρός μηχανικός **Willis Carrier**, ο αποκαλούμενος “πατέρας του κλιματισμού”, σχεδίασε, δοκίμασε και εγκατέστησε την πρώτη βιομηχανική **εγκατάσταση κλιματισμού** σε μεγάλο τυπογραφείο, στο Brooklyn της Νέας Υόρκης. Η εγκατάσταση λειτουργούσε όλο το χρόνο **παρέχοντας θέρμανση, ψύξη, ύγρανση και αφύγρανση** στους χώρους της επιχείρησης, προστατεύοντας έτσι την ποιότητα των χρωμάτων στο χαρτί. Το **1911** ο Carrier παρουσίασε τον **ψυχομετρικό χάρτη**, που συνδέει γραφικά τις

ψυχομετρικές ιδιότητες του αέρα καθώς και τα αντίστοιχα φορτία, απλοποιώντας έτσι τα πολύπλοκα προβλήματα της αναλυτικής μελέτης του κλιματιζόμενου αέρα. Το **1930** κάποια μεγάλα κτίρια (μέγαρο χρηματιστηρίου, διοικητικά κτίρια γραφείων, νοσοκομεία, θέατρα κλπ.) στις Η.Π.Α. διέθεταν ήδη εγκατάσταση κλιματισμού (Εικόνα 1.3).



***Εικόνα 1.3.** Κλιματιστική συσκευή εποχής (Carrier)*

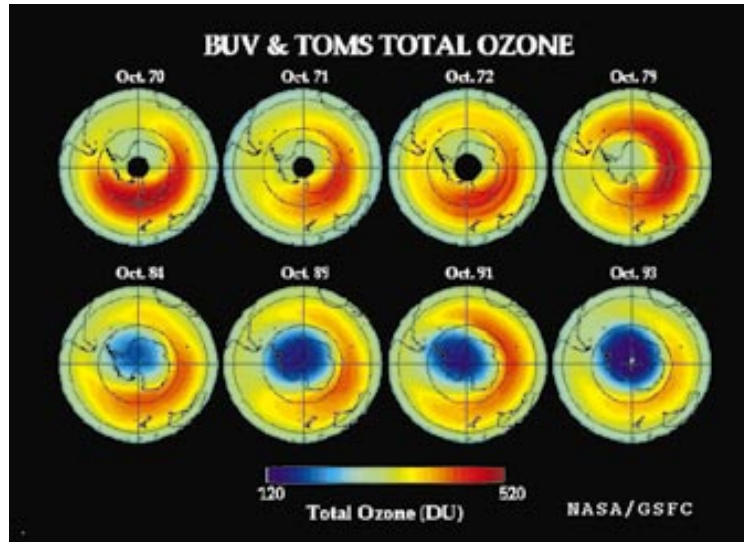
Στη δεκαετία του **1930** έγιναν οι πρώτες σοβαρές προσπάθειες για τη **βιομηχανική παραγωγή κλιματιστικών** μηχανημάτων με τη χρήση και πιο ασφαλών ψυκτικών ουσιών (μέσων), όπως το **Freon-12**. Οι διαστάσεις, το βάρος, ο θόρυβος και το κόστος των συσκευών άρχισαν να ελαττώνονται και εδραιώθηκε η χρήση μικρών κλιματιστικών συσκευών δωματίου, για οικιακή και εμπορική χρήση.

Μετά το **1945** αυξήθηκαν οι απαιτήσεις για κλιματισμό κτιρίων με κεντρικά συστήματα. Οι τεχνολογίες του **κλιματισμού** και του **αυτόματου ελέγχου** εξελίχθηκαν γρήγορα και προωθήθηκαν μαζικά στην παγκόσμια αγορά, σαν αποτέλεσμα της οργανωμένης βιομηχανικής έρευνας, των νέων παραγωγικών διαδικασιών και των προτύπων για το σχεδιασμό εφαρμογών σε κτίρια, βιομηχανικές διεργασίες και μέσα μεταφοράς. Οι εφαρμογές του κλιματισμού πλήθαιναν παντού, με βάση τη δομή και τις αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης αστικής κοινωνίας και οικονομίας. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν την άνετη διαβίωση σε κλειστούς χώρους με ποιότητα αέρα και τη βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος. Στατιστικά, έχει παρατηρηθεί αύξηση των εσόδων διαφόρων επιχειρήσεων μετά την εγκατάσταση συστημάτων κλιματισμού στους χώρους τους και ταυτόχρονα αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζόμενων και της ικανοποίη-

σης των πελατών.

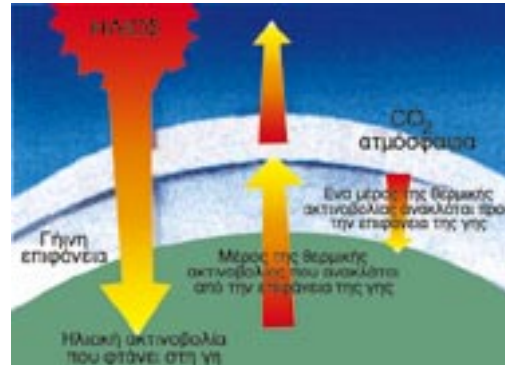
Με την πρώτη **ενεργειακή κρίση** του **1973**, απογειώθηκαν οι **τιμές** των καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού. Τότε, τέθηκε για πρώτη φορά η απαίτηση για **αποδοτική λειτουργία** των συστημάτων αυτών με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Στην αγορά εμφανίστηκαν νέα συστήματα με χαμηλότερο **λειτουργικό κόστος**, που **εξοικονομούν ενέργεια** και συμβάλλουν στην **προστασία του περιβάλλοντος**. Παράλληλα, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης του κλιματισμού στα κτίρια, άρχισαν να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα για την κάλυψη, από τα δίκτυα των εταιρειών ηλεκτρισμού, των αναγκών των καταναλωτών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ειδικών συστημάτων για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

Το **1987**, στο Montreal του Καναδά, οι κυβερνήσεις όλων των χωρών της γης δεσμεύτηκαν να **διακόψουν** σταδιακά τη διάθεση και χρήση ψυκτικών ουσιών επικίνδυνων για το περιβάλλον, όπως οι **χλωροφθοράνθρακες ή CFCs**. Έτσι, θα προστατευθεί το **στρώμα όζοντος** της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρας) της γής, που μας προφυλάσσει από την επικίνδυνη για την υγεία μας υπεριώδη (UV) ηλιακή ακτινοβολία. Τα CFCs ευθύνονται για τη δημιουργία **τρύπας** στο στρώμα όζοντος, που μας εκθέτει στην **υπεριώδη (UV) ακτινοβολία** (Εικόνα 1.4). Για το λόγο αυτό, το γνωστό μας **φρέον (R-22)** θα αποτελεί από το **2004** παρελθόν για κάθε σύστημα ψύξης και κλιματισμού και θα αντικατασταθεί ολοκληρωτικά από ισοδύναμες **οιολογικές** ψυκτικές ουσίες, όπως το **R-407C** και το **R-134a**.

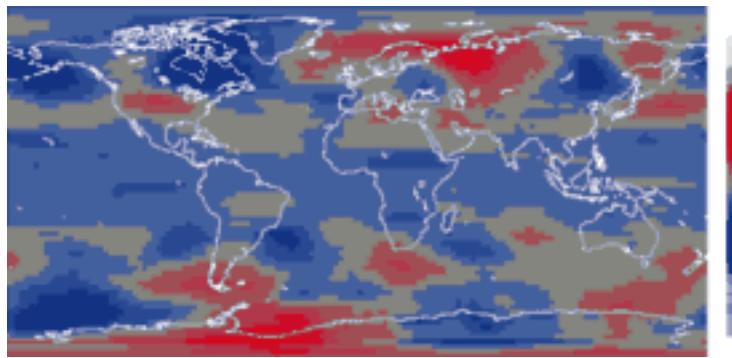


Εικόνα 1.4. Η διαχρονική μείωση της ποσότητας όζοντος (εμφάνιση “τρύπας”) γύρω από τη γη. Μπλέ : μικρή ποσότητα, Κόκκινα : μεγάλη ποσότητα)

Το **1992**, στο Rio de Janeiro της Βραζιλίας, η παγκόσμια κοινότητα δεσμεύτηκε, με την υπογραφή Συνθήκης, για τον **δραστικό περιορισμό** των εκπομπών **διοξειδίου του άνθρακα (CO_2)**. Το αέριο αυτό εκλύεται σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας της καύσης για παραγωγή ενέργειας, που, μεταξύ άλλων, απαιτείται και για τη λειτουργία των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού. Το διοξείδιο του άνθρακα δημιουργεί, μαζί με άλλα αέρια, όπως το μεθάνιο και το φρέον, μια επικίνδυνη στιβάδα στην ατμόσφαιρα, που προκαλεί το **φαινόμενο του θερμοκηπίου**. Λόγω της στιβάδας αυτής, **παγιδεύεται θερμότητα** κοντά στην επιφάνεια της γης, που προκαλεί **αύξηση της θερμοκρασίας** του περιβάλλοντος και μπορεί να δημιουργήσει επικίνδυνες για την ανθρωπότητα **κλιματικές αλλαγές** (ξηρασίες και πυρκαγιές δασών, λιώσιμο των παγετώνων και ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, θεομηνίες και πλημμύρες κλπ.) (Σχήμα 1.4 και Εικόνα 1.5).



Σχήμα 1.4 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου



Εικόνα 1.5. Η αφύσικη αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε σχέση με τα μέσα φυσιολογικά επίπεδα μιας εποχής του έτους

1.2 Φυσική και ψύξη

Όπως θα δούμε κατά την ανάλυση στη συνέχεια του βιβλίου, των εφαρμογών ψύξης και κλιματισμού, αναφερόμαστε πάντα στα βασικά φυσικά μεγέθη της **μάζας** και της **ενέργειας** ενός σώματος (π.χ. του αέρα, του νερού, μιας ψυκτικής ουσίας ακόμα και του ανθρώπου). Η μάζα, όπως γνωρίζουμε, είναι μια ποσότητα ύλης, ενώ η ενέργεια είναι η ικανότητα για παραγωγή έργου ή για πρόκληση κάποιας μεταβολής.

Η ενέργεια αλληλεπιδρά με την ύλη μέσα σε μία περιοχή του χώρου, που ονομάζεται **θερμοδυναμικό σύστημα** ή απλά **σύστημα**. Η έννοια του συστήματος περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 2.8 του βιβλίου.

Σε ένα σύστημα, η ενέργεια μπορεί να αλλάζει **μορφές** (π.χ. δυναμική, κινητική, χημική, πυρηνική, ηλεκτρική, μαγνητική ή θερμική ενέργεια - θερμότητα). Οι διάφορες μορφές ενέργειας σχετίζονται είτε με εξωτερικά αίτια και φαινόμενα (θέση και κίνηση σώματος, ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις) είτε με τη δομή και τη δραστηριότητα των μορίων του συστήματος (δεσμοί ατόμων και κίνηση μορίων, αλλαγές κατάστασης της ύλης). Η ενέργεια προκαλεί επίσης **αλλαγές** στις ιδιότητες της ύλης, επομένως **μεταβολή** του συστήματος από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Σε κάθε μεταβολή όμως, η συνολική **ποσότητα** της ενέργειας διατηρείται **πάντοτε σταθερή**. Για παράδειγμα, όταν τρώμε πολύ (εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ενέργειας από τις τροφές στο σώμα) και εξασκούμαστε λίγο (εξαγωγή μικρότερης ποσότητας ενέργειας από το σώμα), παχαίνουμε (αποθήκευση διαφοράς ποσότητας ενέργειας, υπό μορφή λίπους, στο σώμα), ενώ αντίστοιχα όταν τρώμε λίγο και εξασκούμαστε πολύ, αδυνατίζουμε (εξαγωγή αποθηκευμένης ποσότητας ενέργειας από το σώμα).

Στη **φύση**, οι ενεργειακές μεταβολές συμβαίνουν **πάντα προς μία κατεύθυνση και ποτέ αντίστροφα**. Όλοι γνωρίζουμε ότι αν αφήσουμε σε ένα τραπέζι ένα ποτήρι με καυτό γάλα για αρκετή ώρα, αυτό θα κρυώσει σταδιακά από μόνο του, ενώ αντίστροφα, αφήνοντας στο ίδιο τραπέζι για τον ίδιο χρόνο ένα ποτήρι με παγωμένο γάλα, αυτό δεν πρόκειται ποτέ να ζεσταθεί αντίστοιχα, από μόνο του. Οι **ψυκτικές διατάξεις** (αλλά και οι μηχανές που ονομάζονται αντλίες θερμότητας) καλύπτουν αυτή τη φυσική αδυναμία, δηλαδή τη **μεταφορά** της θερμικής ενέργειας (της θερμότητας) από μια περιοχή **χαμηλής** θερμοκρασίας σε μια περιοχή **υψηλής** θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, οι ψυκτικές διατάξεις έχουν ως σκοπό την **αφαί-**

ρεση ποσού θερμότητας από μάζα που είναι συνήθως περισσότερο κρύα από το περιβάλλον (αέρας, νερό). Η μεταφορά αυτή γίνεται με τη χρήση ειδικής ουσίας, του **ψυκτικού μέσου** και της προσφοράς **έργου** από εξωτερική πηγή (Σχήμα 1.5). Με τη διαίρεση της ποσότητας της μεταφερόμενης θερμικής (**ψυκτικής**) ενέργειας προς την ποσότητα του έργου που προσδίδεται για να γίνει αυτή η μεταφορά, υπολογίζουμε το μέτρο της **απόδοσης** μιας ψυκτικής διάταξης (και μιας αντλίας θερμότητας).



Σχήμα 1.5. Η αρχή λειτουργίας των ψυκτικών διατάξεων

1.3 Αναγκαιότητα της ψύξης και του κλιματισμού

Από τις αναφορές της παραγράφου 1.1, γίνεται αντιληπτό ότι έχουμε συνδυάσει την ανάπτυξη του πολιτισμού, των οικισμών και της οικονομίας μας με τον **πλήρη έλεγχο** των περιβαλλοντικών συνθηκών. Ο πλήρης έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών σημαίνει τη **διαρκή** κάλυψη των απαιτήσεων για καθαρότητα, κίνηση, **συγκεκριμένη** θερμοκρασία και υγρασία του αέρα μέσα σε ένα κλειστό χώρο, καθώς και για τη διατήρηση της ποιότητας τροφίμων, άλλων προϊόντων και διεργασιών. Η διάρκεια στην κάλυψη των απαιτήσεων αυτών έχει κάνει αναγκαία την εφαρμογή συστημάτων ψύξης και κλιματισμού. Έτσι εξασφαλίζεται η υγεία, η άνεση και η παραγωγική δράση μας σε όλη τη διάρκεια του χρόνου σε κάθε τόπο.

Είναι προφανές σε όλους μας η αναγκαιότητα της τεχνητής ψύξης των τροφίμων. Αν αφήσουμε, για παράδειγμα, το ωμό νωπό κρέας, το ψάρι, το τυρί, το γάλα ή μία τούρτα εκτός ψυγείου για κάποιες ημέρες, αυτά θα αλλοιωθούν, αναπτύσσοντας βακτήρια και μύκητες που είναι επικίνδυνα για την υγεία μας. Χωρίς την ψύξη άλλωστε, η κάθε είδους τροφή – ζωϊκής ή φυτικής προέλευσης δε θα μπορούσε να αποθηκευθεί για μεγάλη χρονική περίοδο και να μεταφερθεί σε μακρινές αποστάσεις από τον τόπο παραγωγής προς τον τόπο κατανάλωσής της. Με την κατάλληλη ψύξη, τα διάφορα τρόφιμα μπορούν και διατηρούν για αρκετό χρονικό διάστημα τις θρεπτικές ουσίες τους.

Εκτός από τα τρόφιμα και πλήθος άλλων προϊόντων, όπως φάρμακα, αγροτικά και βιομηχανικά προϊόντα, διατηρούν τις απαραίτητες ουσίες και ιδιότητές τους, μέσω της ψύξης τους, αποφεύγοντας έτσι ανεπιθύμητες βιολογικές και χημικές αντιδράσεις που θα τα αχρήστευαν. Επίσης, αρκετές ενεργειακές, βιομηχανικές και εργαστηριακές διεργασίες βασίζονται στην ψύξη (κρυογενικές και χημικοτεχνικές διεργασίες, παραγωγή σκυροδέματος, παραγωγή πάγου κλπ.)

Θα αναφερθούμε τώρα σε ένα απλό υποθετικό παράδειγμα, για να κατανοήσετε την αναγκαιότητα ενός συστήματος κλιματισμού. Το απομεσήμερο μιας καλοκαιρινής μέρας, με ελαφρό αεράκι, βρισκόμαστε μέσα σε ένα μεγάλο χώρο γραφείου που στεγάζεται στον τρίτο όροφο ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας και δεν κλιματίζεται. Στο χώρο εργάζονται αρκετοί άνθρωποι. Ο χώρος έχει πολλά παράθυρα προς τη δύση και το νότο, που είναι κλειστά για να μην ακούγεται ο θόρυβος από την κίνηση στην πόλη. Μπαίνει ήλιος, τα φωτοτυπικά και οι υπολογιστές λειτουργούν και τα φώτα έχουν μείνει όλα αναμμένα από το πρωί. Οι εργαζόμενοι νιώθουν αφορητή ζέστη και ανοίγουν αρκετά παράθυρα. Μετά από λίγο κάποιοι κοντά στα παράθυρα νιώθουν ανεπιθύμητα ρεύματα στην πλάτη τους και τα χαρτιά τους σκορπίζονται. Ο θόρυβος από έξω είναι δυνατός και μπαίνει σκόνη. Τα παράθυρα ξανακλείνουν και κάποιοι άλλοι που κάθονται στο βάθος του χώρου, μακριά από τα παράθυρα, διαμαρτύρονται γιατί ξανακλείσαν τα παράθυρα, αφού αυτοί δε νιώθουν ρεύματα και δεν ακούν και τόσο θόρυβο στο βάθος – πρέπει να έχουν και τα φώτα από πάνω τους πάντα αναμμένα, αφού δε φθάνει μέχρι μέσα το φυσικό φως. “Επιτέλους, πρέπει να βάλουμε κλιματισμό!” συμφωνούν όλοι. Με το παράδειγμα αυτό, γίνεται αντιληπτό ότι μόνο ο κλιματισμός καλύπτει την απαίτηση για εξασφάλιση ομοιόμορφων και σταθερών εσωτερικών συνθηκών άνεσης για τη με-

γάλη πλειοψηφία των ανθρώπων που ζούν και εργάζονται σε έναν κτιριακό χώρο, κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου με μεταβαλλόμενα και συχνά ακραία κλιματικά δεδομένα.

Για παρόμοιους λόγους τα συστήματα κλιματισμού έχουν γίνει αναγκαία και για την άνετη μετακίνησή μας με αυτοκίνητα, τρένα και πλοία. Για τα αεροπλάνα είναι προφανής η ανάγκη του κλιματισμού, για ένα άνετο ταξίδι, αφού οι καμπίνες τους πρέπει να είναι απομονωμένες από το εχθρικό εξωτερικό περιβάλλον της ατμόσφαιρας στο ύψος πτήσης τους. Είναι επίσης αναγκαίος ο διαρκής έλεγχος των εσωτερικών συνθηκών περιβάλλοντος, με συστήματα κλιματισμού, σε χώρους αποθήκευσης τροφίμων, εγκατάστασης εξοπλισμού και σε βιομηχανίες παραγωγής και αποθήκευσης προϊόντων που είναι ευαίσθητα σε θερμικές μεταβολές (π.χ. φωτογραφικό χαρτί και φιλμ, οπτικά όργανα, νήματα και υφάσματα, έγχρωμες εκτυπώσεις, ελαστικά, καπνά, ηλεκτρονικά).

1.4 Εφαρμογές ψύξης

Οι εφαρμογές της ψύξης αφορούν οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές διατάξεις και εγκαταστάσεις, που ονομάζονται γενικά **ψυγεία** ή – τα μεγαλύτερα - ψυκτικά συγκροτήματα. Τα ψυγεία αποτελούνται από διάφορες συσκευές και εξαρτήματα, η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από τη μάζα ενός σώματος, δηλαδή την ψύξη του, για τη μείωση της θερμοκρασίας του και τη διατήρησή του σε επιθυμητές συνθήκες. Η παραγωγή πάγου από μάζα νερού που έχει ψυχθεί είναι μια κλασική εφαρμογή ψυγείου.

Στην αγορά διακρίνουμε τις εξής εφαρμογές ψυγείων :

- **Οικιακά ψυγεία.** Κάθε νοικοκυριό έχει σήμερα και ένα “ηλεκτρικό” ψυγείο. Το χρησιμοποιούμε για να διατηρούμε τα τρόφιμα και τα ποτά μας. Συνήθως έχει ένα μεγάλο χώρο “συντήρησης” και ένα μικρότερο χώρο “κατάψυξης”. Στην αγορά υπάρχουν διάφορα μεγέθη, με ανάλογη ψυκτική ισχύ και διάφορες διαρρυθμίσεις των αποθηκευτικών τους χώρων (πόρτες, συρτάρια, διαχωριστικά κλπ.) (Εικόνα 1.6).



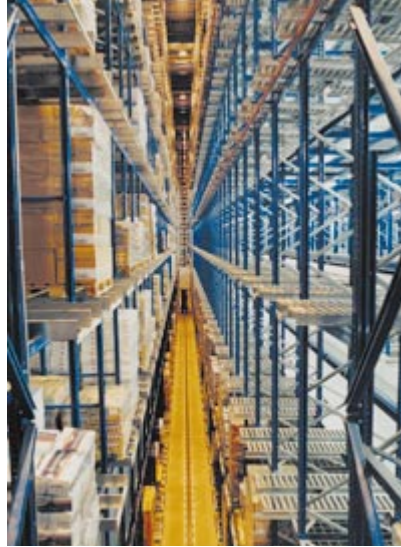
Εικόνα 1.6. Συνηθισμένο σύγχρονο οικιακό ψυγείο

- **Επαγγελματικά-εμπορικά ψυγεία.** Κάθε κατάστημα πώλησης-κατανάλωσης νωπών ή παρασκευασμένων τροφίμων (π.χ. υπεραγορά, κρεοπωλείο, ιχθυοπωλείο, ζαχαροπλαστείο, εστιατόριο) και κάθε χώρος μαζικής εστίασης και διατροφής ανθρώπων (π.χ. ξενοδοχείο, νοσοκομείο) διαθέτει τουλάχιστον ένα τέτοιο ψυγείο. Τα ψυγεία αυτά είτε συντηρούν φρέσκα τα τρόφιμα και άλλα προϊόντα (ψυγεία συντήρησης) είτε τα διατηρούν κατεψυγμένα (καταψύκτες) (Εικόνες 1.7, 1.8 και 1.9).



Εικόνες 1.7, 1.8, 1.9 – Μορφές επαγγελματικών ψυγείων διατήρησης τροφίμων και ποτών

- **Βιομηχανικά ψυγεία.** Όλες οι βιομηχανίες και οι μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι **τροφίμων** διαθέτουν πολύ **μεγάλα** ψυκτικά συγκροτήματα για τη συντήρηση ή την κατάψυξη μεγάλων ποσοτήτων των προϊόντων τους (Εικόνες 1.10 και 1.11). Στα βιομηχανικά ψυγεία περιλαμβάνονται οι μηχανές **παραγωγής πάγου** σε κολώνες ή κομμάτια διαφόρων μορφών από 10 κιλά ανά κομμάτι μέχρι 40 τόνους ανά κολώνα παραγόμενου πάγου. (Εικόνα 1.12). Μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις παραγωγής πάγου διαθέτουν για παράδειγμα οι ζυθοποιίες και οι χημικές βιομηχανίες. Υπάρχουν επίσης συγκροτήματα ψύξης **άλμης** για τη διατήρηση της επιφάνειας του πάγου σε συγκεκριμένες συνθήκες, στα **παγοδρόμια**. (Εικόνα 1.13).



Εικόνες 1.10, 1.11. Συγκρότημα και χώρος βιομηχανικής ψύξης



Εικόνα 1.12. Κοπή βιομηχανικού πάγου σε λωρίδες



Εικόνα 1.13. Παγοδρόμιο

Κρύα άλμη ή μίγμα κρύου νερού και ψηγμάτων πάγου χρησιμοποιούνται σε ψυκτικά συγκροτήματα που ψύχουν το **σκυρόδεμα** κατά τη βιομηχανική παραγωγή του για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας που βλάπτουν την ποιότητα και την αντοχή του σκυροδέματος. Τέλος, υπάρχουν πάρα πολλές **χημικές διεργασίες** και εγκαταστάσεις που απαιτούν τη χρήση ψυκτικών εγκαταστάσεων με δυνατότητες **ακριβούς ρύθμισης** των απαιτούμενων θερμικών συνθηκών.

- **Ψυγεία διακίνησης προϊόντων.** Τέτοια ψυγεία είναι τα ημιφορτηγά και φορτηγά οχήματα ψυγεία, τα πλοία ψυγεία, τα τρένα ψυγεία και τα αεροπλάνα ψυγεία.
- **Ψύκτες νερού.** Είναι μια απλή, τοπική αλλά γενικευμένης χρήσης εφαρμογή για την παραγωγή κρύου νερού σε χώρους συνάθροισης κοινού (π.χ. διαδρόμους κτιρίων γραφείων, καταστήματα φαγητού, θέατρα, γυμναστήρια κλπ.).

1.5 Εφαρμογές κλιματισμού

Οι εφαρμογές κλιματισμού αφορούν διατάξεις και εγκαταστάσεις, οι οποίες **παραλαμβάνουν** ή **παράγουν** θερμική **ενέργεια** και **κινούν μηχανικά** ποσότητες αέρα για να **ελέγχουν** διαρκώς τις **συνθήκες** (θερμοκρασία, υγρασία, καθαρότητα, ταχύτητα, ποσότητα) του **αέρα** κάποιου εσωτερικού χώρου. Ο έλεγχος αυτός είναι τέτοιος, ώστε όσοι κατοικούν και εργάζονται στο χώρο να αισθάνονται **άνετα**, ή να **ωφελούνται** τα βιομηχανικά προϊόντα που υπάρχουν και οι βιομηχανικές διεργασίες που διεξάγονται στο χώρο.

Διακρίνουμε επομένως δύο βασικές κατηγορίες εφαρμογών κλιματισμού :

- **Κλιματισμός άνεσης.** Στην κατηγορία αυτή υπάγονται ο κλιματισμός κατοικιών, καταστημάτων, κτιρίων γραφείων, εμπορικών κέντρων, υπεραγορών (super markets), ξενοδοχείων, νοσοκομείων, χώρων συνάθροισης κοινού (θέατρα, κινηματογράφοι, μου-

σειά, βιβλιοθήκες, εστιατόρια, χώροι μουσικής ψυχαγωγίας, αθλητικά γυμναστήρια κλπ.) καθώς και χώρων μέσων μεταφοράς (οχήματα, πλοία, τρένα, αεροπλάνα). Στην αγορά υπάρχει μεγάλη ποικιλία **συστημάτων** κλιματισμού, από **μικρά τοπικά** έως **μεγάλα κεντρικά**, που είναι κατάλληλα για κάθε περίπτωση εφαρμογής, ανάλογα με τη **φύση** και τη **διακύμανση** της ζήτησης του χώρου, δηλαδή του **φορτίου** κλιματισμού και ανάλογα με το **μέγεθος** της εφαρμογής (Εικόνες 1.14, 1.15, 1.16).



Εικόνες 1.14, 1.15, 1.16. Χαρακτηριστικές εφαρμογές κλιματισμού άνεσης σε κτίρια

- **Βιομηχανικός κλιματισμός** (χώρων, προϊόντων και ευαίσθητων διεργασιών). Και στην κατηγορία αυτή υπάρχει πληθώρα **γενικών** και **ειδικών** εφαρμογών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι : χώροι **αποθήκευσης τροφίμων**, χώροι **παραγωγικών διεργασιών** και αποθήκευσης σχετικών προϊόντων (π.χ. κλωστοϋφαντουργία, φωτογραφικό υλικό, τυπογραφεία, ηλεκτρομηχανολογικά και ηλεκτρονικά προϊόντα, χαρτοβιομηχανία, ξηραντήρια, ενεργειακή βιομηχανία), χώροι **εργαστηριακών διεργασιών** (π.χ. φαρμακευτικές, χημικές, βιολογικές διεργασίες, έλεγχος μηχανών), **ειδικοί χώροι** (π.χ. χώροι χειρουργείων, ευαίσθητων συλλογών βιβλιοθηκών, μουσείων, μαγειρεία) (Εικόνες 1.17 και 1.18).



Εικόνα 1.17. Κεντρική μονάδα κλιματισμού αίθουσας χειρουργείου



Εικόνα 1.18. Κλιματισμός με εμφανείς αεραγωγούς σε βιομηχανικό χώρο



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η ψύξη και ο κλιματισμός αφορούν τη διαχρονική προσπάθεια του ανθρώπου να **ελέγξει** τις **κλιματικές μεταβολές**, για τη διατήρηση της υγείας και της τροφής του και για την ανάπτυξη του πολιτισμού του. Η ανάγκη για **διαρκή** και **πλήρη** έλεγχο των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών, που εξασφαλίζουν την άνετη διαβίωση και την παραγωγική δράση μας καθώς και την ποιότητα τροφίμων, προϊόντων και διεργασιών, ώθησε, από το 19ο αιώνα, τη δημιουργία των θεωρητικών βάσεων και την ανάπτυξη των τεχνολογιών που εδραίωσαν την εφαρμογή των **μηχανικών μεθόδων** βιομηχανικής και εμπορικής ψύξης και από τα μέσα του 20ου αιώνα την εφαρμογή συστημάτων κλιματισμού και οικιακής ψύξης. Σήμερα, που είναι επιτακτική η ανάγκη για παραγωγική οικονομία, για ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και για προστασία του περιβάλλοντος, επιβάλλεται η **υψηλή ενεργειακή απόδοση** και το **χαμηλό λειτουργικό κόστος** των εφαρμογών ψύξης και κλιματισμού σε συνδυασμό με τη χρήση **οικολογικών ψυκτικών ουσιών** που αντικαθιστούν τους χλωροφθοράνθρακες (π.χ. του R-407C αντί του φρέον R-22).

Στις αναλύσεις των εφαρμογών ψύξης και κλιματισμού, η **ενέργεια** αλληλεπιδρά με μια **ποσότητα ύλης** μέσα σε ένα **θερμοδυναμικό σύστημα**. Εκεί, η ενέργεια μπορεί να αλλάζει **μορφές** και να προκαλεί **αλλαγές** στις ιδιότητες της ύλης, επομένως **μεταβολή** του συστήματος από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Σε κάθε μεταβολή, η συνολική **ποσότητα** της ενέργειας διατηρείται **πάντοτε σταθερή**. Στη **φύση**, οι ενεργειακές μεταβολές συμβαίνουν **πάντα προς μία κατεύθυνση και ποτέ αντίστροφα**. Οι **ψυκτικές διατάξεις** (αλλά και οι μηχανές που ονομάζονται αντλίες θερμότητας) καλύπτουν αυτή τη φυσική αδυναμία, δηλαδή τη **μεταφορά** της θερμικής ενέργειας (της θερμότητας) από μια περιοχή **χαμηλής** θερμοκρασίας σε μια περιοχή **υψηλής** θερμοκρασίας. Η μεταφορά αυτή γίνεται με τη χρήση ειδικής ουσίας, του **ψυκτικού μέσου** και της προσφοράς **έργου** από εξωτερική πηγή.

Οι εφαρμογές της ψύξης αφορούν οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές

διατάξεις και εγκαταστάσεις που ονομάζονται γενικά **ψυγεία** ή – τα μεγαλύτερα - ψυκτικά συγκροτήματα. Τα ψυγεία αποτελούνται από διάφορες συσκευές και εξαρτήματα, η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από τη μάζα ενός σώματος, δηλαδή την ψύξη του, για τη μείωση της θερμοκρασίας του και τη διατήρησή του σε επιθυμητές συνθήκες.

Οι εφαρμογές κλιματισμού αφορούν διατάξεις και εγκαταστάσεις, οι οποίες **παραλαμβάνουν** ή **παράγουν** θερμική **ενέργεια** και **κινούν μηχανικά** ποσότητες αέρα για να **ελέγχουν** διαρκώς τις **συνθήκες** (θερμοκρασία, υγρασία, καθαρότητα, ταχύτητα, ποσότητα) του **αέρα** κάποιου εσωτερικού χώρου.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

1. Ποιος είναι ο σκοπός των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού ;
2. Πότε παρουσιάστηκαν τα μηχανικά συστήματα ψύξης και πότε τα συστήματα κλιματισμού ;
3. Ποια φυσική αδυναμία καλύπτει μια ψυκτική διάταξη ;
4. Γιατί είναι αναγκαία η μηχανική ψύξη και ο κλιματισμός και ποιες θεωρείς ως τις βασικότερες εφαρμογές τους ;
5. Ποιος θεωρείται ο “πατέρας” του σύγχρονου κλιματισμού ;
6. Μέτρησε και κατονόμασε τις διατάξεις ψύξης και κλιματισμού που υπάρχουν στο σπίτι σου ή στο σπίτι ενός γείτονά σου και στο σχολείο σου. Θεωρείς ότι κάποια από αυτές έχει τοποθετηθεί/εγκατασταθεί χωρίς να χρειάζεται ή σε λάθος σημείο; Υπάρχει κάποια που λειτουργεί άσκοπα ;
7. Πού οφείλονται τα φαινόμενα το θερμοκηπίου και της τρύπας του όζοντος και πώς μπορούν να περιοριστούν σε σχέση με τη χρήση των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού ;

κεφάλαιο 2

ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ – ΕΡΓΟ

- 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
- 2.3 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ
- 2.4 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΡΓΟ-ΙΣΧΥΣ
- 2.5 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ-ΑΙΣΘΗΤΗ ΚΑΙ ΛΑΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ
- 2.6 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
- 2.7 ΠΙΕΣΗ-ΠΙΕΣΣΟΜΕΤΡΑ-ΜΟΝΑΔΕΣ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ
- 2.8 ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
- 2.9 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
- 2.10 ΠΡΩΤΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ
- 2.11 ΔΕΥΤΕΡΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ
- 2.12 ΕΝΘΑΛΠΙΑ-ΕΝΤΡΟΠΙΑ
- ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
- ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να κατανοούν βασικές έννοιες της θερμοδυναμικής και να τις συσχετίζουν με τα συστήματα ψύξης-κλιματισμού.
- ✓ Να ορίζουν την έννοια της αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας και να δίνουν παραδείγματα από το χώρο της ψύξης και του κλιματισμού.
- ✓ Να διακρίνουν τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας και να δίνουν παραδείγματα μετάδοσης θερμότητας από το χώρο των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού.
- ✓ Να χρησιμοποιούν τις μονάδες των διαφόρων μεγεθών και να κάνουν με ευχέρεια τις απαιτούμενες μετατροπές.
- ✓ Να διατυπώνουν το πρώτο και το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, δίνοντας παραδείγματα εφαρμογής τους.

2.1 Εισαγωγή

Μιλώντας για τα συστήματα ψύξης και κλιματισμού θα χρησιμοποιήσουμε συχνά έννοιες, όπως θερμότητα, θερμοκρασία, πίεση, έργο, αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα, κορεσμένος ατμός κ.ά. Πολλές από αυτές τις έννοιες θα τις έχετε ήδη γνωρίσει σε προηγούμενα χρόνια, σε άλλα μαθήματα των γυμνασιακών τάξεων ή της Α' τάξης του Τ.Ε.Ε. (Φυσική, Εισαγωγή στη Μηχανολογία). Ο τεχνικός της ψύξης και του κλιματισμού που έχει κατανοήσει τις βασικές αυτές έννοιες, αποκτά την ικανότητα να ερμηνεύ-

ει φαινόμενα και να λύνει προβλήματα με μεγαλύτερη ευκολία. Επίσης, του είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να χρησιμοποιεί με ευχέρεια τις μονάδες μέτρησης των αντίστοιχων φυσικών μεγεθών. Στο κεφάλαιο αυτό, καθώς και στα δύο επόμενα, θα θυμηθούμε τις έννοιες αυτές και θα τις συνδέσουμε με εφαρμογές της ψύξης και του κλιματισμού.

2.2 Θερμοκρασία

Όταν αγγίζουμε με το χέρι ένα θερμαντικό σώμα (καλοριφέρ) ή όταν βρισκόμαστε κοντά στη φωτιά, αισθανόμαστε ζέστη. Αντίθετα, όταν μπαίνουμε σ' ένα ψυκτικό θάλαμο ή όταν αγγίζουμε ένα παγάκι, αισθανόμαστε κρύο. Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να διαπιστώνει με την αίσθηση του ζεστού-κρύου αν κάτι είναι πιο ζεστό ή πιο κρύο από το ίδιο. Η φωτιά και το θερμαντικό σώμα ήταν πιο ζεστά από το ανθρώπινο σώμα. Ο αέρας του ψυκτικού θαλάμου και το παγάκι ήταν πιο κρύα από το σώμα μας. Ωστόσο, η **ανθρώπινη αίσθηση** είναι **υποκειμενική** και δεν μπορεί ούτε να κατατάξει τα σώματα σε μια σειρά (πιο κρύο - πιο ζεστό) ούτε να αποτιμήσει τη θερμική τους κατάσταση ποσοτικά (δείτε σχετικά τη δραστηριότητα 1 στο τέλος του κεφαλαίου). Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο με τρόπο **αντικειμενικό**, απαιτείται η **μέτρηση** ενός φυσικού μεγέθους που απεικονίζει τη θερμική κατάσταση του σώματος. Το **φυσικό μέγεθος** που μας δείχνει **πόσο ζεστό ή πόσο κρύο** είναι ένα σώμα είναι η **θερμοκρασία**.

2.3 Κλίμακες Θερμοκρασιών-Μετατροπή

Στην παράγραφο αυτή θα μας απασχολήσει το εξής ερώτημα :

► *Πώς μπορούμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία ;*

Όταν σε ένα σώμα αλλάζει η θερμοκρασία, τότε μεταβάλλονται και ορισμένες άλλες ιδιότητές του. Αν έχουμε ένα χαλκοσωλήνα ορισμένου μήκους και τον θερμάνουμε, τότε το μήκος του θα αυξηθεί. Είναι γνωστό ότι,

κατά κανόνα, όταν τα σώματα θερμαίνονται, διαστέλλονται. Όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση της θερμοκρασίας τους, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαστολή τους. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία κάποιου σώματος μειωθεί, τότε αυτό, κατά κανόνα, συστέλλεται. Αυτή την ιδιότητα της διαστολής και συστολής των σωμάτων, καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία τους, την εκμεταλλευόμαστε για την κατασκευή οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με τα **θερμόμετρα**. Επειδή μάλιστα το φαινόμενο της διαστολής και συστολής λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας είναι εντονότερο στα υγρά απ' ό,τι στα στερεά, αξιοποιούνται κυρίως τα υγρά στα θερμόμετρα που κατασκευάζονται.

Τα πιο συνηθισμένα θερμόμετρα είναι τα **γυάλινα θερμόμετρα** με υγρό (Σχήμα 2.1). Αποτελούνται από ένα γυάλινο δοχείο που καταλήγει σε σωλήνα με μικρή διάμετρο. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται ή ελαττώνεται, τότε η στήλη του υγρού ανεβαίνει ή κατεβαίνει αντίστοιχα. Το θερμόμετρο φέρει βαθμολογική κλίμακα κατά μήκος του σωλήνα.

Τα γυάλινα θερμόμετρα υγρού έχουν **μεγάλη ακρίβεια** μέτρησης. Το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν έχουν τηλε-ένδειξη (να μπορεί δηλ. να διαβάσει κάποιος την ένδειξη τους σε ένα σημείο μακριά από αυτό που γίνεται η μέτρηση) και επίσης δε δίνουν άλλα σήματα τα οποία χρειάζονται στις διατάξεις ρύθμισης, στους θερμοστάτες κ.λπ.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας έχουν κατασκευαστεί και πολλά άλλα είδη θερμομέτρων, που λειτουργούν με διαφορετικές αρχές από ό,τι το γυάλινο θερμόμετρο. Για παράδειγμα, είναι γνωστό από την Ηλεκτροτεχνία ότι η ηλεκτρική αντίσταση ενός υλικού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Εφαρμογή της ιδιότητας αυτής αποτελούν τα θερμόμετρα για τους κινητήρες αυτοκινήτων.

Άλλο φαινόμενο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάζονται τα **θερμοηλεκτρικά στοιχεία**. Αυτά αποτελούνται από δύο σύρματα διαφορετικών υλικών π.χ. σιδήρου και χαλκού, τα οποία έχουν δύο σημεία συγκόλλησης. Όταν το ένα σημείο συγκόλλησης έχει διαφορετική θερμοκρασία από το άλλο, τότε εμφανίζεται μια μικρή ηλεκτρική



Σχήμα 2.1.

Γυάλινο θερμόμετρο με υγρό

τάση, με βάση την οποία μετريέται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σημείων συγκόλλησης. Υπάρχουν ακόμα τα διμεταλλικά θερμόμετρα (σ' αυτά αξιοποιείται πάλι το φαινόμενο της θερμικής διαστολής), τα θερμίστορες, καθώς και άλλοι τύποι θερμομέτρων.

Κλίμακες θερμοκρασιών

Η κλίμακα θερμοκρασιών που έχει επικρατήσει στον Ευρωπαϊκό χώρο είναι η κλίμακα Κελσίου. Στην κλίμακα αυτή, στην **τήξη του πάγου** αντιστοιχεί το 0 της κλίμακας (0°C) και στο **βρασμό του νερού** αντιστοιχεί το 100 (100°C), με την προϋπόθεση ότι η τήξη και ο βρασμός γίνονται **υπό πίεση μιας φυσικής ατμόσφαιρας (1atm)**¹. Υπάρχει ακόμα και η κλίμακα Φαρενάιτ, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στις Η.Π.Α., αλλά τείνει να αντικατασταθεί από την κλίμακα Κελσίου. Τα αντίστοιχα σημεία στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι το 32 (32°F) για την τήξη του πάγου και το 212 (212°F), για το βρασμό του νερού, **υπό πίεση 1atm** . Τονίζουμε το υπό πίεση 1atm , γιατί, όπως θα δούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4, οι θερμοκρασίες τήξης και βρασμού μιας ουσίας **εξαρτώνται από την πίεση** που επικρατεί.

Μετατροπή ενδείξεων θερμοκρασιών

Η κλίμακα Φαρενάιτ χρησιμοποιείται συχνά στον κλιματισμό και στην ψύξη. Καλό είναι λοιπόν να γνωρίζει ο ψυκτικός **να μετατρέπει** ενδείξεις θερμοκρασιών από βαθμούς Φαρενάιτ σε βαθμούς Κελσίου και αντιστρόφως. Για τις μετατροπές αυτές, το καλύτερο είναι να χρησιμοποιούνται **πίνακες**, όπως ο Πίνακας 2.1 που δίνεται στο τέλος της παραγράφου. Στη μεσαία στήλη του πίνακα αυτού βρίσκουμε τη θερμοκρασία που πρέπει να μετατραπεί. Εάν η τιμή της θερμοκρασίας είναι σε βαθμούς Φαρενάιτ, τότε στην αριστερή στήλη δίδεται η αντίστοιχη τιμή σε βαθμούς Κελσίου. Εάν όμως η τιμή είναι σε βαθμούς Κελσίου, τότε στη δεξιά στήλη παίρνουμε την τιμή της σε βαθμούς Φαρενάιτ. Ας δούμε δύο παραδείγματα χρήσης του πίνακα :

¹ Με μια φυσική ατμόσφαιρα ισούται η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας. Η έννοια της πίεσης και οι μονάδες μέτρησής της αναλύονται στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου (Παράγραφος 2.7)

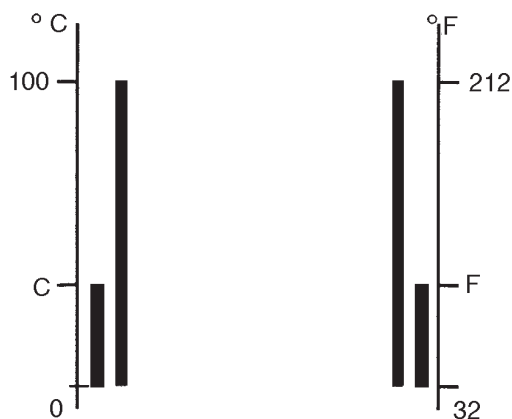
► Να μετατραπεί ένδειξη $+10^{\circ}\text{F}$ σε βαθμούς Κελσίου

Πάμε στη μεσαία στήλη του Πίνακα 2.1 και βρίσκουμε τον αριθμό $+10$. Αριστερά δίδεται η τιμή σε βαθμούς Κελσίου δηλ. $-12,2^{\circ}\text{C}$.	-12,8	+9	
	-12,2	+10	
	-11,7	+11	

► Να μετατραπεί ένδειξη -5°C σε βαθμούς Φαρενάιτ.

Πάμε στη μεσαία στήλη του Πίνακα 2.1 και βρίσκουμε τον αριθμό -5 . Δεξιά δίδεται η τιμή σε βαθμούς Φαρενάιτ δηλ. $+23^{\circ}\text{F}$.		-6	+21,2
		-5	+23,0
		-4	+24,8

Όταν δεν έχουμε στη διάθεσή μας πίνακες, μπορούμε να μετατρέπουμε **έχοντας στο μυαλό μας** μια αναλογία. Στο σχήμα που ακολουθεί, αριστερά έχουμε την κλίμακα Κελσίου και δεξιά την κλίμακα Φαρενάιτ. Όπως είπαμε παραπάνω, το 0 της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχεί στο 32 της κλίμακας Φαρενάιτ και το 100 της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχεί στο 212 της κλίμακας Φαρενάιτ. Έστω ότι σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία έχουμε ένδειξη C στο θερμόμετρο Κελσίου και ένδειξη F στο θερμόμετρο Φαρενάιτ και επιθυμούμε να βρούμε τη μεταξύ τους σχέση. Γράφουμε λοιπόν την εξής αναλογία :



$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{F - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} \Rightarrow \frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

Σχήμα 2.2. Αντιστοιχία ανάμεσα στις ενδείξεις των θερμομέτρων Κελσίου και Φαρενάιτ

Με βάση την παραπάνω σχέση μπορούμε να μετατρέπουμε από τη μια κλίμακα στην άλλη.

Απόλυτη θερμοκρασία

Σύμφωνα με τη Θερμοδυναμική, η **θερμοκρασία** είναι το μέγεθος που εκφράζει τη **μέση κινητική ενέργεια των μορίων** ενός σώματος. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η κινητική ενέργεια των μορίων του, τόσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία. Αντιθέτως, όσο μικρότερη είναι η κινητική ενέργεια των μορίων του, τόσο πιο μικρή είναι η θερμοκρασία. Υπάρχει μάλιστα κάποια θερμοκρασία τόσο χαμηλή, ώστε η κινητική ενέργεια των μορίων είναι 0, δηλαδή τα μόρια είναι ακίνητα. Η θερμοκρασία αυτή σε βαθμούς Κελσίου είναι -273 . Έχουν επιτευχθεί εργαστηριακά θερμοκρασίες λίγο μεγαλύτερες από αυτή την τιμή. Η θερμοκρασία αυτή λέγεται **απόλυτο μηδέν**. Με αφετηρία το απόλυτο μηδέν, φτιάχτηκε μια νέα κλίμακα θερμοκρασίας που ονομάζεται **κλίμακα απόλυτων θερμοκρασιών** ή κλίμακα **Κέλβιν**. Όταν κάνουμε **υπολογισμούς σε μαθηματικές σχέσεις**, όπου υπεισέρχεται η θερμοκρασία, τότε βάζουμε **την τιμή της θερμοκρασίας σε Κέλβιν (K)**. Η σχέση μετατροπής της θερμοκρασίας από βαθμούς Κελσίου σε Κέλβιν είναι η εξής :

$$K = ^\circ C + 273 \quad (2.1)$$

Κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας χρησιμοποιείται επίσης στο αγγλοσαξονικό σύστημα. Πρόκειται για την κλίμακα Rankine (Ρανκίν). Η σχέση μετατροπής από βαθμούς Φαρενάιτ σε Ρανκίν είναι η εξής :

$$R = ^\circ F + 460 \quad (2.2)$$

Κλείνουμε την παράγραφο παραθέτοντας πίνακα μετατροπής θερμοκρασιών από $^{\circ}C$ σε $^{\circ}F$ και αντιστρόφως με την επισήμανση πως το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) αποδέχεται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας **μόνο την κλίμακα Κελσίου και ως μονάδα μέτρησης της απόλυτης θερμοκρασίας το K**.

Πίνακας 2.1. Μετατροπή θερμοκρασιών από °C σε °F και αντιστρόφως.

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C η °F	°F	°C	°C η °F	°F
—40,0	—40	—40,0	—17,8	0	+32,0
—39,4	—39	—38,2	—17,2	+1	+33,8
—38,9	—38	—36,4	—16,7	+2	+35,6
—38,3	—37	—34,6	—16,1	+3	+37,4
—37,8	—36	—32,8	—15,6	+4	+39,2
—37,2	—35	—31,0	—15,0	+5	+41,0
—36,7	—34	—29,2	—14,4	+6	+42,8
—36,1	—33	—27,4	—13,9	+7	+44,6
—35,6	—32	—25,6	—13,3	+8	+46,4
—35,0	—31	—23,8	—12,8	+9	+48,2
—34,4	—30	—22,0	—12,2	+10	+50,0
—33,9	—29	—20,2	—11,7	+11	+51,8
—33,3	—28	—18,4	—11,1	+12	+53,6
—32,8	—27	—16,6	—10,6	+13	+55,4
—32,2	—26	—14,8	—10,0	+14	+57,2
—31,7	—25	—13,0	—9,4	+15	+59,0
—31,1	—24	—11,2	—8,9	+16	+60,8
—30,6	—23	—9,4	—8,3	+17	+62,6
—30,0	—22	—7,6	—7,8	+18	+64,4
—29,4	—21	—5,8	—7,2	+19	+66,2
—28,9	—20	—4,0	—6,7	+20	+68,0
—28,3	—19	—2,2	—6,1	+21	+69,8
—27,8	—18	—0,4	—5,5	+22	+71,6
—27,2	—17	+1,4	—5,0	+23	+73,4
—26,7	—16	+3,2	—4,4	+24	+75,2
—26,1	—15	+5,0	—3,9	+25	+77,0
—25,6	—14	+6,8	—3,3	+26	+78,8
—25,0	—13	+8,6	—2,8	+27	+80,6
—24,4	—12	+10,4	—2,2	+28	+82,4
—23,9	—11	+12,2	—1,7	+29	+84,2
—23,3	—10	+14,0	—1,1	+30	+86,0
—22,8	—9	+15,8	—0,6	+31	+87,8
—22,2	—8	+17,6	0	+32	+89,6
—21,7	—7	+19,4	+0,6	+33	+91,4
—21,1	—6	+21,2	+1,1	+34	+93,2
—20,6	—5	+23,0	+1,7	+35	+95,0
—20,0	—4	+24,8	+2,2	+36	+96,8
—19,4	—3	+26,6	+2,8	+37	+98,6
—18,9	—2	+28,4	+3,3	+38	+100,4
—18,3	—1	+30,2	+3,9	+39	+102,2

Θερμοκρασία		
°C	°C η °F	°F
+4,4	+40	+104,0
+5,0	+41	+105,8
+5,5	+42	+107,6
+6,1	+43	+109,4
+6,7	+44	+111,2
+7,2	+45	+113,0
+7,8	+46	+114,8
+8,3	+47	+116,6
+8,9	+48	+118,4
+9,4	+49	+120,2
+10,0	+50	+122,0
+10,6	+51	+123,8
+11,1	+52	+125,6
+11,7	+53	+127,4
+12,2	+54	+129,2
+12,8	+55	+131,0
+13,3	+56	+132,8
+13,9	+57	+134,6
+14,4	+58	+136,4
+15,0	+59	+138,2
+15,6	+60	+140,0
+16,1	+61	+141,8
+16,7	+62	+143,6
+17,2	+63	+145,4
+17,8	+64	+147,2
+18,3	+65	+149,0
+18,9	+66	+150,8
+19,4	+67	+152,6
+20,0	+68	+154,4
+20,6	+69	+156,2

2.4 Μηχανικό έργο - Ισχύς

Έργο

Έργο εμφανίζεται όταν έχουμε μετατόπιση του σημείου εφαρμογής μιας δύναμης. Όταν ανεβάζουμε ένα φορτίο στον Γ' όροφο μιας πολυκατοικίας, τότε μετατοπίζουμε τη δύναμη (στη συγκεκριμένη περίπτωση το βάρος του σώματος) προς τα πάνω. Για τη μετατόπιση αυτή πρέπει να **καταβάλουμε** έργο. Αν αφήσουμε να πέσει ένα σώμα από κάποιο ύψος, έχουμε πάλι μετατόπιση της δύναμης. Αυτή τη φορά όμως μπορούμε να **πάρουμε** έργο. Στην ειδική περίπτωση που το σημείο εφαρμογής της δύναμης μετα-

κινείται κάθετα προς τη διεύθυνση της δύναμης, τότε ούτε παράγεται ούτε καταναλίσκεται έργο. Το έργο είναι μηδέν.

Για να διακρίνουμε την **κατανάλωση** από τη **λήψη** έργου χρησιμοποιούμε το αντίστοιχο πρόσημο: όταν **καταναλώνουμε** έργο σημειώνουμε **αρνητικό** πρόσημο (-), ενώ όταν **παίρνουμε** έργο σημειώνουμε **θετικό** πρόσημο (+).

Η έννοια του έργου είναι βασική στη θερμοδυναμική. Η θερμοδυναμική ασχολείται με μηχανές που **παράγουν** μηχανικό έργο (π.χ. μηχανές αυτοκινήτων, ατμομηχανές), αλλά και με μηχανές που **καταναλώνουν** μηχανικό έργο (π.χ. αεροσυμπιεστές, συμπιεστές ψυκτικών εγκαταστάσεων). Σε όλες τις παραπάνω μηχανές, η παραγωγή ή η κατανάλωση έργου συνδέεται με μεταβολές της κατάστασης ενός αερίου (ή μίγματος αερίων) μέσα στη μηχανή.

Η **μονάδα μέτρησης για το έργο** στο S.I. είναι το Joule (Τζάουλ) (**J**). Συχνά χρησιμοποιείται και το πολλαπλάσιο του Joule, το Κιλοτζάουλ (kJ) ($1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$). Στο Μετρικό Σύστημα μονάδα έργου ήταν το kpm (κιλοπονόμετρο. $1 \text{ kpm} = 9.81 \text{ J}$)

Ενέργεια

Η ενέργεια νοείται ως η **ικανότητα παραγωγής έργου**. Λέμε ότι ένα σώμα που βρίσκεται σε κάποιο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους έχει ενέργεια, επειδή αν πέσει, μπορεί να παράγει έργο. Ο υπέρθερμος ατμός σε μια ατμομηχανή έχει ενέργεια διότι όταν φτάσει στο στρόβιλο ή στον κύλινδρο, μπορεί να παράγει έργο.

Η ενέργεια εμφανίζεται με διάφορες μορφές, όπως ηλεκτρική, ηλιακή, μηχανική κλπ. Η **αρχή διατήρησης της ενέργειας** ορίζει ότι η ενέργεια δεν εξαφανίζεται ούτε παράγεται από το μηδέν αλλά μετατρέπεται από μια μορφή σε άλλη.

Οι μονάδες ενέργειας είναι ίδιες με τις μονάδες έργου. Στο Παράρτημα 2 θα βρείτε πίνακα μετατροπής ανάμεσα στις διάφορες μονάδες ενέργειας.

Ισχύς

Στην έννοια του έργου δεν υπεισέρχεται καθόλου ο χρόνος μέσα στον οποίο αυτό παράγεται ή καταναλώνεται. Επειδή όμως μας ενδιαφέρει ο χρόνος αυτός, γι' αυτό ορίζουμε την έννοια της *ισχύος*. Ισχύς είναι το **στη μονάδα του χρόνου παραγόμενο ή καταναλισκόμενο έργο**.

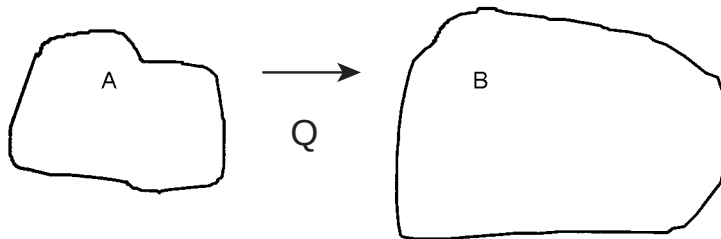
Μονάδα μέτρησης της ισχύος, σύμφωνα με τα όσα είπαμε, θα είναι το **J/s** (Τζάουλ ανά δευτερόλεπτο). Η μονάδα αυτή λέγεται και **Watt** (Βατ) και συμβολίζεται με **W**. Πολύ συχνά χρησιμοποιείται επίσης το πολλαπλάσιο του W, κιλοβάτ ($1\text{ kW} = 1000\text{ W}$).

Στο Μετρικό Σύστημα μονάδων είχαμε για την ισχύ το kpm/s (κιλοπονόμετρο ανά δευτερόλεπτο). Στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται συχνά ορισμένα παράγωγα αυτής της μονάδας όπως ο ίππος. Υπάρχει ο Μετρικός ίππος (PS ή CV) και ο Αγγλικός ίππος (HP). Ισχύει : $1\text{ PS} = 75\text{ Kpm/s}$ και $1\text{ HP} \approx 76\text{ Kpm/s}$. Ανάμεσα στο Μετρικό ίππο και το kW ισχύει η εξής σχέση:

$$1\text{ kW} = 1,36\text{ PS} \quad (2.3)$$

2.5 Θερμότητα - Αισθητή και Λανθάνουσα Θερμότητα

Η **θερμότητα** είναι ενέργεια που μεταδίδεται από ένα σώμα σε ένα άλλο. Δεν είναι ενέργεια που “έχει” ένα σώμα, αλλά ενέργεια που **μεταδίδεται** από ένα σώμα σε ένα άλλο, όταν υπάρχει μεταξύ τους **διαφορά θερμοκρασίας**. Η **θερμότητα είναι ενέργεια που μετακομίζει**. Μπορούμε να μιλάμε για θερμότητα που μεταδόθηκε από ένα σώμα σε ένα άλλο (για παράδειγμα από τον αέρα του δωματίου ενός θερμαινόμενου χώρου προς τα τοιχώματα του κτιρίου ή από τον εξωτερικό αέρα προς τα τοιχώματα ενός ψυκτικού θαλάμου). Δεν μπορούμε όμως να λέμε ότι ένα σώμα “έχει” υψηλή θερμότητα ή ότι “έχει” χαμηλή θερμότητα. Ας δούμε το Σχήμα 2.3:



Σχήμα 2.3

Ας υποθέσουμε ότι ανάμεσα στα σώματα A και B υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας και ότι το σώμα A έχει υψηλότερη θερμοκρασία από το σώμα B. **Η θερμότητα πηγαίνει πάντοτε από σώμα υψηλότερης σε σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας.** Στο παράδειγμά μας θα έχουμε μετάδοση ενέργειας (θερμότητα Q) από το σώμα A στο σώμα B. Κατά τη διάρκεια αυτής της μετάδοσης, αν δε συμβεί αλλαγή φυσικής κατάστασης σε κάποιο από τα δύο σώματα, η θερμοκρασία του σώματος A πέφτει ενώ η θερμοκρασία του σώματος B ανεβαίνει. Κάποια στιγμή οι δύο θερμοκρασίες θα εξισωθούν. Τότε παύει η μεταφορά ενέργειας από το A στο B και λέμε ότι τα δύο σώματα βρίσκονται σε **θερμική ισορροπία**.

Στις τεχνικές εφαρμογές, για τη **θερμότητα που δέχεται** ένα ρευστό, χρησιμοποιούμε **θετικό πρόσημο**, ενώ για τη **θερμότητα που δίνει** ένα ρευστό, χρησιμοποιούμε **αρνητικό πρόσημο**. Προσέξτε ότι τα πρόσημα είναι αντίστροφα από αυτά που χρησιμοποιήσαμε για το έργο.

Ως ενέργεια, η θερμότητα μετριέται σε μονάδες ενέργειας, δηλαδή **στο S.I. σε Joule (J)**. Ιστορικά όμως η θερμότητα, προτού γίνει κοινώς αποδεκτή η ενεργειακή της φύση, μετρήθηκε σε θερμίδες (cal) και στο πολλαπλάσιό τους χιλιοθερμίδες (kcal). Οι μονάδες αυτές είναι ευρύτατα διαδεδομένες στην πράξη ακόμα και στις μέρες μας. Επίσης διαδεδομένη στην ψύξη και τον κλιματισμό είναι η αγγλοσαξονική μονάδα θερμότητας, το B.T.U. (British Thermal Unit). Το kcal είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να δοθεί, ώστε να ανεβεί η θερμοκρασία μιας μάζας 1kg νερού κατά 1°C. Αντίστοιχα το B.T.U. είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να δοθεί σε μια λίμπρα (lb) νερού για να ανεβεί η θερμοκρασία της κατά 1°F. Η σχέση μεταξύ kcal και B.T.U., **μονάδες οι οποίες σταδιακά αντικαθίστανται από το J**, είναι η εξής :

$$1\text{kcal} \approx 4 \text{ B.T.U.} \quad (2.4)$$

Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα

Αισθητή θερμότητα ονομάζεται το ποσό θερμότητας που, όταν δίνεται σε ένα σώμα ή αφαιρείται από ένα σώμα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας του σώματος, χωρίς να έχουμε αλλαγή φυσικής κατάστασης (μετατροπή από υγρό σε αέριο, από στερεό σε υγρό ή αντιστρόφως).

Πολλές φορές, η μετάδοση θερμότητας από ή προς ένα σώμα δε συνοδεύεται από μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτό συμβαίνει στις αλλαγές φυσικής κατάστασης. Τότε μιλάμε για **λανθάνουσα θερμότητα**.

Ο όρος λανθάνουσα θερμότητα δηλώνει **το ποσό θερμότητας που συναλλάσσει μια μάζα μιας ουσίας με το περιβάλλον, όταν αλλάζει φυσική κατάσταση**. Θα δούμε αναλυτικά όλες τις περιπτώσεις αλλαγής φυσικής κατάστασης στο κεφάλαιο 4.

Όταν ένα υγρό μετατρέπεται σε αέριο, απορροφά ένα μεγάλο ποσό θερμότητας από το περιβάλλον του. Αυτό ακριβώς εκμεταλλευόμαστε στην πράξη, τις περισσότερες φορές, για την παραγωγή ψύξης.

Θερμική ισχύς

Πολλές φορές δε μας ενδιαφέρει μόνο η θερμότητα που μεταβιβάστηκε από ένα σώμα σε ένα άλλο αλλά και σε πόσο χρόνο μεταβιβάστηκε. Τότε μιλάμε για **θερμότητα στη μονάδα του χρόνου**. Το μέγεθος αυτό έχει διαστάσεις ισχύος. Η μονάδα μέτρησής της είναι το Watt (W). Είπαμε όμως και παραπάνω πως χρησιμοποιούνται ακόμα για τη θερμότητα και οι μονάδες kcal και BTU. Αντίστοιχα, υπάρχουν και ξεχωριστές μονάδες για τη θερμική ισχύ, οι οποίες σταδιακά αντικαθίστανται από το W. Οι μονάδες αυτές είναι το kcal/h (χιλιοθερμίδες ανά ώρα) και το BTU/h (Μπι-τι-γιού ανά ώρα). Ισχύουν οι εξής σχέσεις :

$$1 \text{ kcal/h} \approx 4 \text{ BTU/h} \quad (2.5)$$

$$1 \text{ kcal/h} = 1,161 \text{ W} \quad (2.6)$$

Στην ψύξη, όπου μας ενδιαφέρει κυρίως ο ρυθμός αφαίρεσης θερμότητας από ένα χώρο, χρησιμοποιείται συχνά ο όρος **ψυκτική ισχύς**. Για το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη η μονάδα **RT** (Ψυκτικός τόνος). Ισχύει :

$$1 \text{ RT} = 12000 \text{ BTU/h} \quad (2.7)$$

Το μέγεθος **θερμότητα στη μονάδα του χρόνου**, σε αρκετά εγχειρίδια, αναφέρεται και ως **παροχή θερμότητας ή ροή θερμότητας**.

Θέρμανση και ψύξη

Στο πρώτο κεφάλαιο είδαμε ότι ο άνθρωπος προσπαθεί να **ελέγξει** τις **κλιματικές μεταβολές**, προκειμένου να ζει και να εργάζεται με **άνεση** και ασφάλεια σε κλειστούς χώρους αλλά και να **διατηρεί** υγιεινή την τροφή του. Στο κεφάλαιο 9 θα αναλυθούν με λεπτομέρεια οι παράμετροι που θέλουμε να ελέγχονται σε έναν κλιματιζόμενο χώρο. Ανάμεσα σ' αυτούς, πέρα από τη θερμοκρασία και την καθαρότητα του αέρα, είναι και η **υγρασία**.

Μιλάμε για **θέρμανση**, όταν προσδίδουμε ένα ποσό θερμότητας στον αέρα του χώρου του οποίου θέλουμε να ελέγξουμε τις συνθήκες. Ποιο θα είναι το αποτέλεσμα αυτής της πρόσδοσης θερμότητας ; Μπορεί να είναι ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα, χωρίς να αλλάζει το περιεχόμενό του σε υγρασία. Τότε μιλάμε για **αισθητή θέρμανση**. Τέτοιου είδους θέρμανση έχουμε, όταν μεταβιβάζεται θερμότητα στον αέρα μέσω ενός θερμικού εναλλάκτη (π.χ. μέσω μιας σερπαντίνας). Σε πολλές περιπτώσεις όμως, ένα ποσό θερμότητας που προσδίδεται σε μια μάζα αέρα μπορεί να δαπανηθεί για την μετατροπή σταγονιδίων νερού σε υδρατμούς. Τότε μιλάμε για **θέρμανση με ύγρανση**.

Αντίστοιχα, έχουμε **ψύξη** όταν αφαιρείται ένα ποσό θερμότητας από τον αέρα. Το αποτέλεσμα αυτής της αφαίρεσης θερμότητας μπορεί να είναι η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενό σε υγρασία. Μπορεί όμως το αποτέλεσμα να είναι η μετατροπή των υδρατμών σε νερό (αφύγρανση).

Όλοι οι παραπάνω τρόποι θέρμανσης και ψύξης θα αναπτυχθούν αναλυτικά στο κεφάλαιο 10, με τη βοήθεια του λεγόμενου ψυχομετρικού διαγράμματος.

2.6 Μετάδοση Θερμότητας. Τρόποι Μετάδοσης

Το θέμα της μετάδοσης θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο απασχολεί συχνά την τεχνολογία και ιδιαίτερα την ψύξη και τον κλιματισμό.

► *Στις διάφορες εφαρμογές της ψύξης και του κλιματισμού, άλλοτε θέλουμε έντονη ροή θερμότητας και άλλοτε όσο το δυνατό μικρότερη. Μπορείτε να προσδιορίσετε και να καταγράψετε τις περιπτώσεις που ανήκουν στη μια ή την άλλη κατηγορία ; Π¹*

Η μετάδοση θερμότητας γίνεται πάντοτε, όπως τονίστηκε στην παράγραφο 2.5 από σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η μετάδοση θερμότητας μπορεί να γίνει διαμέσου υλικών σωμάτων αλλά και χωρίς την παρουσία ύλης, δηλαδή στο κενό. Ο τελευταίος αυτός τρόπος ονομάζεται μετάδοση με **ακτινοβολία**.

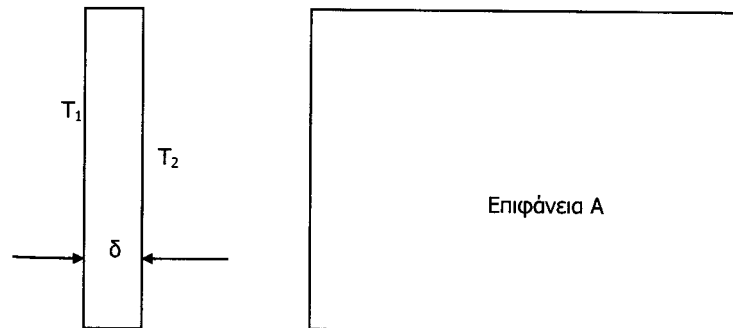
Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται υλικό μέσο για τη μετάδοση της θερμότητας, διακρίνουμε δύο τρόπους μετάδοσης : με **αγωγή** και με **μεταφορά**.

Θα αναφερθούμε στη συνέχεια λίγο πιο αναλυτικά στον κάθε τρόπο μετάδοσης. Ας θυμόμαστε όμως ότι, στις περισσότερες εφαρμογές της ψύξης και του κλιματισμού, οι τρόποι αυτοί εμφανίζονται συνδυασμένοι.

Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Με τον όρο αυτό εννοούμε τη μετάδοση θερμότητας μέσα από ένα υλικό σώμα, το οποίο δεν εμφανίζει εξωτερικά καμία κίνηση. Ο τρόπος αυτός αφορά κυρίως στερεά σώματα.

Για να κατανοήσουμε από ποιους παράγοντες εξαρτάται η μετάδοση με αγωγή, ας θεωρήσουμε έναν τοίχο που από τη μια πλευρά του έχει θερμοκρασία T_1 και από την άλλη θερμοκρασία T_2 χαμηλότερη από την T_1 . Αφού $T_1 > T_2$, η θερμότητα ρέει από την πλευρά 1 στην πλευρά 2.



Σχήμα 2.4

Το σχήμα 2.4 παρουσιάζει τον τοίχο σε δύο όψεις. Στο παραπάνω σχήμα, δ είναι το πάχος του τοίχου, ενώ A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου.

Η παροχή θερμότητας Q/t (δηλαδή πόση θερμότητα Q περνάει στη μονάδα του χρόνου t) από την πλευρά 1 στην πλευρά 2 εξαρτάται από διάφορους παράγοντες :

- Από το **πάχος του τοίχου (δ)**. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τοίχου τόσο μικρότερη θα είναι η παροχή θερμότητας (υπό την προϋπόθεση ότι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί).
- Από το **εμβαδόν του τοίχου (A)**. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του τοίχου τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παροχή θερμότητας (υπό την προϋπόθεση ότι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί).
- Από τη **διαφορά θερμοκρασίας ($T_1 - T_2$)**. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παροχή θερμότητας (υπό την προϋπόθεση ότι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί).
- Από το **υλικό του τοίχου**. Άλλη θα είναι η παροχή θερμότητας αν ο τοίχος είναι από μπετό, άλλη αν ο τοίχος είναι από τούβλα και άλλη αν ο τοίχος έχει εσωτερικά μόνωση. Αυτός ο παράγοντας, δηλ. το είδος του υλικού, μετριέται με την **ειδική θερμική αγωγιμότητα k** του υλικού. Όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική θερμική αγωγιμότητα k του υλικού, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παροχή θερμότητας (υπό την προϋπόθεση ότι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί).

Όλες αυτές οι σκέψεις μπορούν να γραφτούν μαθηματικά ως εξής:

$$\frac{Q}{t} = A \times \frac{k}{\delta} \times (T_1 - T_2) \quad (2.8)$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση και όπως αναγράφηκε προηγουμένως, η παροχή θερμότητας είναι ευθέως ανάλογη με την επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι, όταν επιθυμούμε μεγάλη παροχή θερμότητας, πρέπει να εξασφαλίζουμε μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής. Αυτό ισχύει για το **ψυκτικό στοιχείο** και για το **συμπυκνωτή** μιας ψυκτικής εγκατάστασης, όπου φροντίζουμε να έχουμε μεγάλο μήκος σωλήνων και πολλές φορές και πτερύγια για να αυξάνεται η επιφάνεια συναλλαγής.

► *Επιφάνεια 12 m^2 από ομοιογενές υλικό ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k ίσης με $0,7 \text{ Kcal/ hm}^\circ\text{C}$, έχει πάχος $0,20\text{m}$. Αν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της επιφάνειας είναι 25°C , να υπολογιστεί η παροχή θερμότητας σε Kcal/h και σε KW .*

Η παροχή θερμότητας θα είναι :

$$\frac{Q}{t} = A \times \frac{k}{\delta} \times (T_1 - T_2) = 12\text{m}^2 \times \frac{0,7 \text{ Kcal / hm}^\circ\text{C}}{0,2 \text{ m}} \times 25^\circ\text{C} = 1050 \text{ Kcal/h}$$

Η σχέση ανάμεσα στο Kcal/h και το W είναι : $1 \text{ Kcal/h} = 1,161 \text{ W}$, οπότε:

$$\text{Παροχή θερμότητας} = 1050 \text{ Kcal/h} \times 1,161 \frac{\text{W}}{\text{Kcal/h}} = 1209 \text{ W} = 1,209 \text{ KW}$$

► *Η μονάδα $\text{Kcal/ hm}^\circ\text{C}$ που συναντήσαμε στην προηγούμενη εφαρμογή δεν είναι μονάδα του S.I. . Ποια θα είναι η μονάδα της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας στο S.I. ;*

Τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k διαφόρων υλικών μπορείτε να βρείτε στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος 2.

Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

Μεταφορά είναι η μετάδοση θερμότητας που γίνεται **με μετακίνηση μάζας μέσα σε ένα ρευστό**. Με την κίνηση αυτή, θερμότερες μάζες του ρευστού κατευθύνονται σε περιοχές με ψυχρότερες μάζες, στις οποίες δίνουν θερ-

μότητα. Το ρευστό, υγρό ή αέριο, είναι το “μεταφορικό μέσο”, το οποίο μεταφέρει τη θερμότητα από το ένα μέρος στο άλλο.

Η κίνηση του ρευστού μπορεί να γίνει με κάποια συσκευή ή μηχανή (με αντλία, με ανεμιστήρα κλπ), η οποία εξαναγκάζει το ρευστό σε κίνηση και το θέτει σε κυκλοφορία. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε μεταφορά θερμότητας με **εξαναγκασμένη κυκλοφορία**. Μπορεί όμως η κίνηση αυτή να γίνει και από μόνη της (**φυσική κυκλοφορία**). Στο νερό του δοχείου του σχήματος 2.5, το οποίο θερμαίνεται στη βάση του, δημιουργούνται ρεύματα. Μπορούμε να το παρατηρήσουμε καλύτερα ρίχνοντας μέσα στο νερό ροκανίδια. Αυτά, όταν βραχούν αρκετά, παρακολουθούν την κίνηση του νερού μέσα στο δοχείο (Σχήμα 2.5).



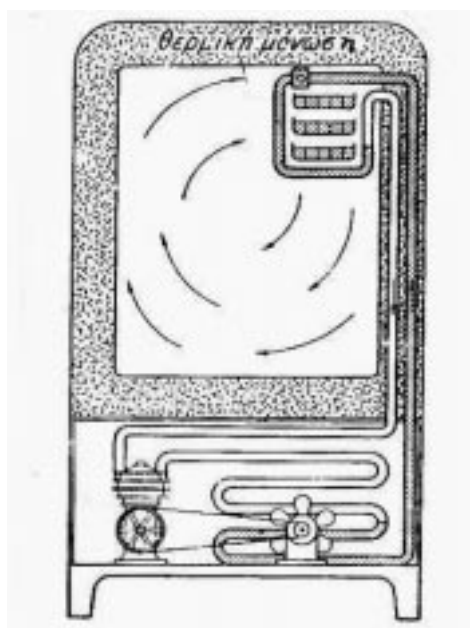
Σχήμα 2.5

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και σε ένα **δωμάτιο**, όπου υπάρχει ζεστό **σώμα κεντρικής θέρμανσης** (καλοριφέρ). Όταν ο αέρας του δωματίου έρχεται σε επαφή με το ζεστό σώμα θερμαίνεται, γίνεται ελαφρότερος και ανεβαίνει προς τα πάνω. Έχουμε και εδώ μεταφορά με *φυσική κυκλοφορία*. Για να πετυχαίνεται η φυσική κυκλοφορία πρέπει το θερμαντικό σώμα να βρίσκεται **όσο το δυνατό χαμηλότερα**.

Ας δούμε τώρα την αντίθετη περίπτωση όπου επιθυμούμε ψύξη :

- Το ψυκτικό στοιχείο (εξατμιστής) τοποθετείται στο πάνω μέρος (συνήθως στην οροφή) των ψυκτικών θαλάμων και των ψυγείων. Γιατί ;

Στο διπλανό σχήμα βλέπουμε το ψυκτικό στοιχείο (εξατμιστή) μέσα σε ένα οικιακό ψυγείο. Ο αέρας που περιβάλλει το ψυκτικό στοιχείο ψύχεται, αποκτά μεγαλύτερο ειδικό βάρος και κινείται προς τα κάτω, δημιουργώντας έτσι συνεχή κυκλοφορία του αέρα, με την οποία πετυχαίνεται η ψύξη του χώρου. Τοποθετώντας το ψυκτικό στοιχείο ψηλά, προκαλούμε φυσική κυκλοφορία του αέρα, δηλαδή μετάδοση θερμότητας με μεταφορά.



Σχήμα 2.6

Αν μέσα σε ένα ρευστό δεν μπορεί να γίνει μετακίνηση μάζας, τότε η μετάδοση θερμότητας είναι πολύ μικρή. Στην περίπτωση αυτή ο μόνος τρόπος μετάδοσης που απομένει είναι η αγωγή, η οποία όμως είναι πολύ μικρή στα ρευστά. Αυτό μπορείτε να το διαπιστώσετε με το ακόλουθο πείραμα, το οποίο πολύ εύκολα γίνεται στο εργαστήριο : Κρατάμε με το χέρι μας σε κλίση ένα δοκιμαστικό σωλήνα με νερό και τον θερμαίνουμε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7 :

- ♦ *Μετά από λίγο το νερό αρχίζει να βράζει στο ένα άκρο ενώ το άλλο άκρο, από το οποίο κρατάμε το σωλήνα είναι ακόμα τόσο ψυχρό που ούτε καν ενοχλεί το χέρι μας. Αυτό δείχνει ότι η θερμότητα ελάχιστα μεταδόθηκε. Γιατί ;*^{π1}



Σχήμα 2.7

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Στους δύο τρόπους μετάδοσης θερμότητας, με αγωγή και μεταφορά, τους οποίους εξετάσαμε προηγουμένως, είναι απαραίτητη η παρουσία ύλης. Όμως η θερμότητα μπορεί να μεταδοθεί και χωρίς την παρουσία ύλης. Ο τρόπος αυτός μετάδοσης θερμότητας ονομάζεται **μετάδοση με ακτινοβολία**. Αυτή γίνεται μέσω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο σχηματίζεται ανάμεσα σε σώματα διαφορετικών θερμοκρασιών. Όταν υπάρχει μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία από ένα σώμα Α σε ένα σώμα Β, η παροχή θερμότητας εξαρτάται κυρίως από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σωμάτων αλλά και από το μέγεθος και το είδος των επιφανειών τους (χρώμα, στιλπνότητα κλπ).

2.7 Πίεση - Πιεσόμετρα - Μονάδες - Μετατροπές

Η έννοια της πίεσης

Όταν σπρώχνουμε τον τοίχο της αίθουσας με το δάκτυλό μας δε βλέπουμε συνήθως σημάδια, να έχει δηλαδή υποχωρήσει στο σημείο που σπρώχνουμε. Ακόμα και αν αυξήσουμε τη δύναμη με την οποία σπρώχνουμε, δε θα παρατηρήσουμε σημάδια της ενέργειάς μας αυτής. Ας εξοπλιστούμε όμως με μια πινέζα και ας επαναλάβουμε την προσπάθειά μας **εφαρμόζοντας την ίδια δύναμη** με αυτή που εφαρμόσαμε προηγουμένως. Θα παρατηρήσουμε ότι η πινέζα εισχωρεί στον τοίχο. Αν και η “σπρώχνουσα δύναμη” είναι ίδια, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι το αν θα παραμορφώσουμε τον τοίχο, με το σπρώξιμο που εφαρμόζουμε, δεν εξαρτάται μόνο από τη δύναμη με την οποία σπρώχνουμε. Εξαρτάται και από έναν άλλο παράγοντα, που είναι η επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο σωμάτων. Το αν θα υποχωρήσει το σημείο του τοίχου που σπρώχνουμε εξαρτάται λοιπόν από το συνδυασμό των δύο παραπάνω παραγόντων. Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων μας δίνει ένα καινούργιο φυσικό μέγεθος, που λέγεται **πίεση**. Αν ονομάσουμε **F** τη δύναμη που εφαρμόζουμε και **S** την επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο σωμάτων, τότε μπορούμε να πούμε ότι η πίεση εξαρτάται και από τα δύο αυτά μεγέθη :

- Όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη με την οποία σπρώχνουμε, τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση
- Όσο μικρότερη είναι η επιφάνεια επαφής, τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση. Αυτό ακριβώς συνέβη όταν χρησιμοποιήσαμε την πινέζα. Η δύναμη με την οποία σπρώχναμε δεν άλλαξε. Στην περίπτωση όμως της πινέζας η επιφάνεια επαφής ήταν κατά πολύ μικρότερη. Το αποτέλεσμα ήταν να αναπτυχθεί μεγαλύτερη πίεση και να εισχωρήσει η πινέζα στον τοίχο. **Ίδια “σπρώχνουσα” δύναμη, αλλά διαφορετικές πιέσεις.**

Τις παραπάνω σκέψεις μπορούμε να τις συνοψίσουμε ως εξής : *Η πίεση είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης δύναμης και αντιστρόφως ανάλογη της επιφάνειας επαφής.* Μαθηματικά, η παραπάνω σχέση γράφεται :

$$P = \frac{F}{S} \quad (2.9)$$

όπου *F* η δύναμη, *S* η επιφάνεια επαφής και *P* η πίεση.

Μονάδες μέτρησης της πίεσης

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η πίεση θα μετριέται :

- σε $\frac{Nt}{m^2}$ στο S.I. Η μονάδα αυτή λέγεται Pascal και το σύμβολό της είναι Pa. Είναι πολύ μικρή για τις συνήθεις εφαρμογές στην πράξη γι' αυτό χρησιμοποιούνται πολλαπλάσιά της όπως το $bar \left(1 \text{ bar} = 10^5 \frac{Nt}{m^2} \right)$ και το $kPa \left(1 \text{ kPa} = 10^3 \frac{Nt}{m^2} \right)$
- σε $\frac{Kp}{cm^2}$ στις συνήθεις εφαρμογές στο Μετρικό Σύστημα. Η μονάδα αυτή ονομάζεται και **τεχνητή ατμόσφαιρα** και συμβολίζεται με 1at.
- σε $\frac{lb_f}{in^2}$ στο Αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων. Γράφεται και ως p.s.i. (pounds per square inch).

Ας κάνουμε και μια εφαρμογή μετατροπής μονάδων :

► *Να υπολογίσετε τη σχέση ανάμεσα στη μονάδα Kp/cm^2 και τη μονάδα p.s.i (λίμπρες ανά τετραγωνική ίντσα). Δίνεται ότι $1Kp = 2,2 \text{ lbf}$ και $1in = 2,54 \text{ cm}$.*

Ξεκινάμε από το Kp/cm^2 και μετατρέπουμε το Kp σε lb_f και τα cm σε in :

$$1 \frac{Kp}{cm^2} = \frac{2,2 \text{ lb}_f}{\left(\frac{1}{2,54} \text{ in}\right)^2} = \frac{2,2 \text{ lb}_f}{\left(\frac{1}{6,45} \text{ in}\right)^2} \cong 14,2 \frac{\text{lb}_f}{in^2}$$

Επισημαίνουμε πως και το Kp/cm^2 και το p.s.i. , παρότι χρησιμοποιούνται ακόμη συχνά στις εφαρμογές, αντικαθίστανται σταδιακά με τις μονάδες του S.I.

Η μονάδα bar έχει το πλεονέκτημα ότι είναι πολύ κοντά στη φυσική ατμόσφαιρα (atm) και στην τεχνητή ατμόσφαιρα (at). Το bar, η atm και η at είναι **διαφορετικές μονάδες** με πολύ **κοντινές τιμές**.

Στο τέλος του κεφαλαίου θα βρείτε πίνακα αριθμητικών σχέσεων μεταξύ των διαφόρων μονάδων πίεσης.

Τα υγρά ασκούν πιέσεις

Στα διάφορα σημεία ενός υγρού ασκούνται πιέσεις προς όλες τις κατευθύνσεις. Οι πιέσεις αυτές προέρχονται :

- από τη βαρύτητα, το βάρος δηλαδή του ίδιου του υγρού. Η πίεση αυτή ονομάζεται υδροστατική πίεση.
- από εξωτερικές πιέσεις, που δέχεται το υγρό. Τα υγρά έχουν την ιδιότητα να μεταδίδουν τις πιέσεις που δέχονται σε όλα τους τα σημεία (Αρχή του Pascal²).

Εφαρμογές της αρχής του Pascal συναντάμε στα μηχανήματα ανύψωσης αυτοκινήτου (συνήθως είναι υδροπνευματικό σύστημα, δηλ. συνδυασμός αέρα και υγρού) καθώς και το υδραυλικό σύστημα πέδησης (φρεναρίσματος) αυτοκινήτου.

Ατμοσφαιρική πίεση

Πιέσεις δεν ασκούν μόνο τα υγρά, αλλά και τα αέρια. Πίεση ασκεί και ο ατμοσφαιρικός αέρας που είναι μίγμα αερίων. Η πίεση αυτή μεταβάλλεται με το υψόμετρο.

Ατμοσφαιρική πίεση είναι η πίεση που ασκεί το ρευστό *ελεύθερος αέρας της ατμόσφαιρας* πάνω σε μια επιφάνεια. Αυτή ποικίλει ανάλογα με το υψόμετρο και μετριέται με όργανα που ονομάζονται **βαρόμετρα**. Στην επιφάνεια της θάλασσας ισούται με 76 cm στήλης υδραργύρου. Η πίεση αυτή ονομάζεται και **φυσική ατμόσφαιρα** και συμβολίζεται με **atm**. Έχουμε δηλαδή $1 \text{ atm} = 76 \text{ cm}$ ή 760 mm στήλης υδραργύρου.

► *Με ποιο ύψος στήλης νερού ισοδυναμεί μια φυσική ατμόσφαιρα ;*

Είναι σαν να απαντάμε στο εξής ερώτημα : ποια στήλη νερού ασκεί στη βάση της υδροστατική πίεση ίση με αυτή που ασκεί στη βάση της μια στήλη 76 cm υδραργύρου ; Γνωρίζουμε ότι ο υδράργυρος έχει μεγαλύτερο ει-

2 Θυμηθείτε την Αρχή του Pascal και τις πολύ ενδιαφέρουσες εφαρμογές της (υδραυλικός ανυψωτήρας, υδραυλικά φρένα) ανατρέχοντας στις σελίδες 263-267 του βιβλίου Φυσική Α΄ ΤΕΕ.

δικό βάρος από το νερό. Περιμένουμε λοιπόν το ύψος της στήλης του νερού να είναι πιο μεγάλο. Ο υδράργυρος έχει ειδικό βάρος 13,6 φορές μεγαλύτερο από αυτό του νερού. Η στήλη νερού λοιπόν θα είναι 13,6 φορές ψηλότερη, δηλαδή $76 \text{ cm} \times 13,6 = 1033 \text{ cm} = 10,33 \text{ m}$

Κενό και απόλυτο κενό. Όργανα μέτρησης της πίεσης

Κενό δημιουργείται σε ένα χώρο όταν από αυτόν αφαιρεθεί αέρας. Απόλυτο κενό έχουμε όταν αφαιρεθεί όλος ο αέρας και δεν υπάρχει πλέον ύλη στο χώρο αυτό.

Η πίεση μετριέται με όργανα που λέγονται μανόμετρα. Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπουμε δυο τέτοια όργανα. Η ένδειξη του μανόμετρου είναι η διαφορά της πραγματικής (ή απόλυτης) πίεσης του αερίου από την ατμοσφαιρική.



α) Μανόμετρο- Κενόμετρο

Εικόνα 2.1



(β) Μανόμετρο

Εικόνα 2.2

Στις παραπάνω εικόνες το όργανο αριστερά είναι μανόμετρο-κενόμετρο και το όργανο δεξιά είναι μανόμετρο. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο είναι ότι το όργανο (α) μπορεί να μετρήσει **και πιέσεις χαμηλότερες από την ατμοσφαιρική** (στην περιοχή από το 0 και προς τα αριστερά, Εικόνα 2.1). Μονάδα μέτρησης στα παραπάνω όργανα είναι το p.s.i. για το μανόμετρο, ενώ στο κενόμετρο η κλίμακα μέτρησης είναι σε inHg (Ιντσες υδραργύρου). Το απόλυτο κενό ισούται περίπου με 30 in Hg.

Δύο τέτοια μανόμετρα, ενσωματωμένα σε μια συσκευή (σετ), είναι τα πλέον χρήσιμα όργανα του τεχνικού ψύξης (Εικόνα 2.3).

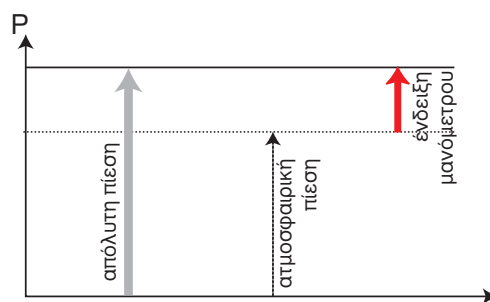
Η συσκευή αυτή λέγεται **κάσα μανομέτρων** και μας βοηθά να παρακολουθούμε και να ελέγχουμε τη λειτουργία της ψυκτικής εγκατάστασης. Επίσης αξιοποιούμε την **κάσα μανομέτρων** για να κάνουμε, με τη βοήθεια και άλλων συσκευών και εργαλείων, διάφορες εργασίες συντήρησης και επισκευής στην ψυκτική εγκατάσταση. Θα μάθετε να εκτελείτε τις εργασίες αυτές στις εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΨΥΞΗΣ.



Εικόνα 2.3 Κάσα μανομέτρων και σωληνώσεις σύνδεσής της με την ψυκτική εγκατάσταση

Την πίεση που μας δείχνει το μανόμετρο την ονομάζουμε **μανομετρική**. Αυτή ισούται με τη **διαφορά** της πραγματικής πίεσης του αερίου (**απόλυτη πίεση**) και της ατμοσφαιρικής³ πίεσης. Για να βρούμε την απόλυτη πίεση πρέπει να προσθέσουμε στην ένδειξη του μανόμετρου την ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί στο σημείο που έγινε η μέτρηση.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τι μας δείχνει το μανόμετρο και το κενόμετρο, ας προσέξουμε τα διαγράμματα που ακολουθούν :

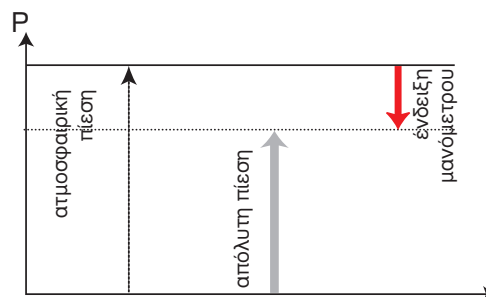


Διάγραμμα 2.1 Τι μας δείχνει ένα μανόμετρο

- 3 Αν το μανόμετρο βρίσκεται σε χώρο που δεν επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα, τότε η ένδειξή του είναι η διαφορά ανάμεσα στην απόλυτη πίεση του αερίου και την πίεση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται το όργανο (βλ. και την εφαρμογή που ακολουθεί).

Στο διάγραμμα αυτό, στον κατακόρυφο άξονα μετριέται η πίεση. Η διακεκομμένη γραμμή παριστάνει την ατμοσφαιρική πίεση στο σημείο που μετράει το μανόμετρο. Η ένδειξη του μανόμετρου παριστάνεται με το κόκκινο βελάκι, ενώ η απόλυτη πίεση παριστάνεται με το χοντρό γκρι βέλος. Με άλλα λόγια, το μανόμετρο μας δείχνει πόσο μεγαλύτερη είναι η απόλυτη πίεση του αερίου που μετράμε από την ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί στο σημείο όπου είναι τοποθετημένο το μανόμετρο. Για να βρούμε την απόλυτη πίεση θα πρέπει να προσθέσουμε στη μανομετρική την ατμοσφαιρική πίεση. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόλυτη πίεση} = \text{Μανομετρική πίεση} + \text{Ατμοσφαιρική πίεση} \quad (2.10)$$

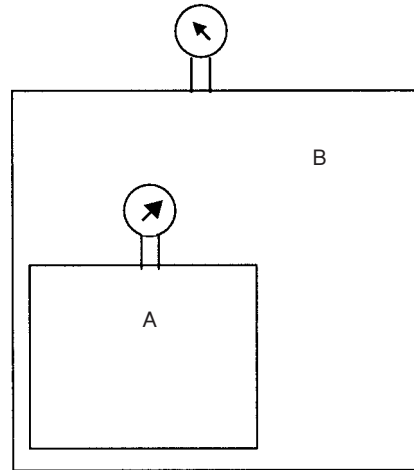


Διάγραμμα 2.2 Τι μας δείχνει ένα κενόμετρο

Στο διάγραμμα αυτό η ένδειξη του οργάνου είναι αρνητική (με την κόκκινη γραμμή). Πρόκειται, δηλαδή, για ένα **κενόμετρο**. Η απόλυτη πίεση παριστάνεται με το χοντρό γκρι βέλος. Και πάλι η ένδειξη του οργάνου είναι η διαφορά ανάμεσα στην απόλυτη και την ατμοσφαιρική πίεση.

Ας δούμε τώρα μια εφαρμογή των όσων αναπτύχθηκαν :

- ▶ Στο σχήμα που ακολουθεί, το δοχείο A έχει αέριο σε πίεση 3 bar, ενώ στο δοχείο B, το οποίο περιέχει το δοχείο A, υπάρχει αέριο σε πίεση 1,5 bar. Τις δύο αυτές πιέσεις τις βλέπουμε στα δύο μανόμετρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει το δοχείο B έχει πίεση 1 bar. Ζητείται να βρεθεί η απόλυτη πίεση των αερίων μέσα στο δοχείο A και στο δοχείο B.



Σχήμα 2.8

Όπως γνωρίζουμε, τα μανόμετρα δείχνουν τη διαφορά ανάμεσα στην απόλυτη πίεση και την πίεση του χώρου που περιβάλλει το μανόμετρο. Επομένως, για να βρούμε την απόλυτη πίεση, θα πρέπει να προσθέσουμε σε κάθε περίπτωση στην ένδειξη του μανομέτρου την πίεση περιβάλλοντος που επικρατεί στο σημείο της μέτρησης. Αρχίζουμε με το αέριο στο χώρο B :

$$P_{B\text{απ}} = P_{B\text{μαν.}} + P_{\text{ατμ.}} \text{ στη θέση του πάνω μανομέτρου}$$

$$\Rightarrow P_{B\text{απ}} = 1,5 \text{ bar} + 1 \text{ bar} \Rightarrow \mathbf{P_{B\text{απ}} = 2,5 \text{ bar}}$$

Στη συνέχεια βρίσκουμε την απόλυτη πίεση στο χώρο A, την $P_{A\text{απ}}$:

$$P_{A\text{απ}} = P_{A\text{μαν}} + P_{\text{περιβ.}},$$

όπου $P_{\text{περιβ.}}$ η πίεση που επικρατεί στον περιβάλλοντα χώρο, δηλαδή το χώρο B.

$$\Rightarrow P_{A\text{απ}} = 3 \text{ bar} + 2,5 \text{ bar} \Rightarrow \mathbf{P_{A\text{απ}} = 5,5 \text{ bar}}$$

Κλείνουμε την παράγραφο περί πίεσης, δίνοντας ένα πίνακα με τις σχέσεις μετατροπής ανάμεσα στις διάφορες μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρησή της.

Πίνακας 2.2. Αντιστοιχίες μεταξύ των διαφόρων μονάδων πίεσης

	Pa $= 1 \frac{N}{m^2}$	bar	at $= 1 \frac{Kp}{cm^2}$	p.s.i $= 1 \frac{lb_f}{in^2}$	Atm φυσική ατμόσφαιρα	mm στήλης Hg(Torr)	in στήλης Hg	m στήλης νερού
Pa	1	10^{-5}	$1,02 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-6}$	$7,5 \times 10^{-3}$	$2,95 \times 10^{-4}$	$1,02 \times 10^{-4}$
bar	10^5	1	1,0197	14,504	0,9869	750	29,5	10,2
at	$9,8 \times 10^4$	0,9807	1	14,22	0,9678	735,5	29	10
p.s.i.	$6,8 \times 10^3$	0,06895	0,07031	1	0,06805	51,7	2,04	0,703
Atm	$1,013 \times 10^5$	1,013	1,033	14,7	1	760	29,9	10,33
mm Hg	$1,33 \times 10^2$	0,00133	0,00136	0,0193	0,001316	1	0,0394	0,0136
in Hg	$3,39 \times 10^3$	0,0339	0,0345	0,491	0,0334	25,4	1	0,345
m H ₂ O	$9,81 \times 10^3$	0,0981	0,1	1,422	0,0968	73,6	2,9	1

Πώς χρησιμοποιούμε τον παραπάνω πίνακα

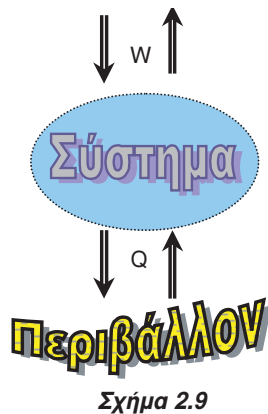
Σε κάθε μετατροπή ξεκινάμε από τη μονάδα που έχουμε και πηγαίνουμε οριζόντια μέχρι να συναντήσουμε τη στήλη της μονάδας, στην οποία θέλουμε να πάμε. Στη συνέχεια, **κάνουμε πολλαπλασιασμό με τον αριθμό που βρίσκουμε στο αντίστοιχο κελί**. Ας δούμε ένα παράδειγμα :

♦ **Να μετατραπούν 0,5 bar σε in Hg.**

Ξεκινάμε από την οριζόντια γραμμή που έχει το bar και προχωράμε μέχρι τη στήλη που έχει τις in Hg. Εκεί συναντάμε τον αριθμό 29,5. Αυτός είναι ο αριθμός με τον οποίο πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το 0,5. Άρα $0,5 \text{ bar} = 0,5 \times 29,5 \text{ in Hg} = 14,75 \text{ in Hg}$.

2.8 Ανοικτό και κλειστό σύστημα

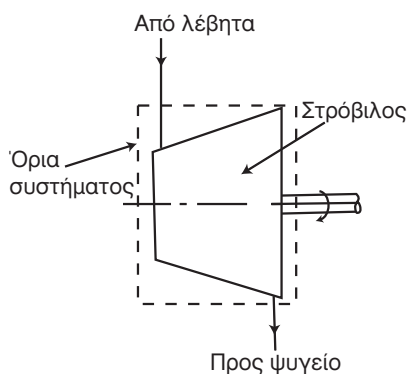
Για να είναι πιο εύκολη η μελέτη των μετατροπών ενέργειας, χρησιμοποιείται στη θερμοδυναμική η έννοια του συστήματος.



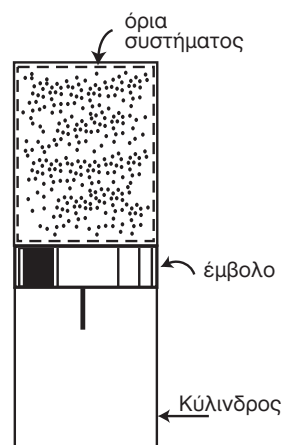
Σύστημα είναι ένας κλειστός χώρος που περιέχει ύλη. Το σύστημα έχει όρια που το χωρίζουν από τον υπόλοιπο κόσμο. Τα όρια αυτά καθορίζονται κάθε φορά από μας, ανάλογα με το τι θέλουμε να μελετήσουμε. Σε κάθε περίπτωση, το υπόλοιπο σύμπαν αποτελεί το περιβάλλον του. Τα ενεργειακά “πάρε-δώσε” κάθε συστήματος με το περιβάλλον γίνονται με το **έργο (W)** και με τη **θερμότητα (Q)**. (Σχήμα 2.9)

Ονομάζουμε **ανοικτό σύστημα** εκείνο το οποίο συναλλάσσει ποσότητα ύλης με το περιβάλλον, όπως ο στρόβιλος μιας εγκατάστασης ατμού (Σχήμα 2.10). Έχουμε δηλαδή ροή μάζας από ή προς το σύστημα (ή και τα δύο).

Κλειστό σύστημα ονομάζουμε το σύστημα εκείνο το οποίο δε συναλλάσσει ποσότητα ύλης με το περιβάλλον, όπως ένα σύστημα κυλίνδρου-εμβόλου (Σχήμα 2.11). Στα κλειστά συστήματα η μάζα παραμένει πάντοτε σταθερή.

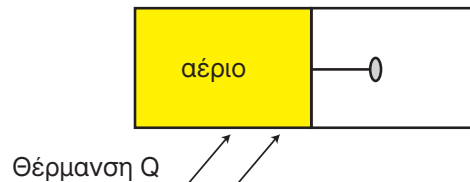


Σχήμα 2.10 Ανοικτό σύστημα



Σχήμα 2.11 Κλειστό σύστημα

2.9 Εσωτερική Ενέργεια

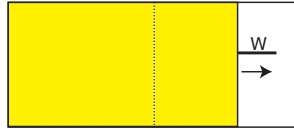


Σχήμα 2.12

Στο Σχήμα 2.12, ένα αέριο βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο με αμετακίνητα τοιχώματα (το έμβολο του κυλίνδρου συγκρατείται αμετακίνητο). Ας θεωρήσουμε ότι θερμαίνουμε εξωτερικά τον κύλινδρο, οπότε θα έχουμε μετάδοση θερμότητας στο αέριο. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή δεν παίρνουμε μηχανικό έργο. Τι έγινε όμως η θερμότητα που προσδόθηκε στο αέριο; Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η θερμότητα που δόθηκε δεν μπορεί να χάθηκε. Η θερμότητα αυτή **αποθηκεύτηκε μέσα στο αέριο**. Μπορούμε να μιλάμε για ένα μέγεθος που εκφράζει την αποθηκευμένη ενέργεια μέσα σε ένα αέριο. Το μέγεθος αυτό το ονομάζουμε **εσωτερική ενέργεια** και το συμβολίζουμε με **U** . Αν πάμε σε μικροσκοπικό επίπεδο, η ενέργεια αυτή εκφράζει την κινητικότητα των μορίων του αερίου και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Η εσωτερική ενέργεια λέμε ότι είναι **καταστατικό μέγεθος**, γιατί η τιμή της εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ένα σύστημα και όχι από το δρόμο που ακολουθήθηκε για να φτάσει το σύστημα στην κατάσταση αυτή. Στην πράξη, μας ενδιαφέρει περισσότερο όχι η απόλυτη τιμή της εσωτερικής ενέργειας όσο **οι αυξομειώσεις της**. Στο σχήμα 2.12 για παράδειγμα, είχαμε αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

Το ότι η θερμότητα που προσδόθηκε στο αέριο αποθηκεύτηκε υπό μορφή εσωτερικής ενέργειας μπορούμε εύκολα να το καταλάβουμε, αν παύσουμε να παρέχουμε θερμότητα και παύσουμε επίσης να εμποδίζουμε τη μετακίνηση του εμβόλου του σχήματος 2.12. Τότε το έμβολο μετακινείται άμεσα προς τα δεξιά και παίρνουμε μηχανικό έργο, όπως μας δείχνει το σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13

Στο Σχήμα 2.13 το έμβολο έχει μετακινηθεί από την αρχική του θέση προς τα δεξιά και μας έδωσε μηχανικό έργο (W), χωρίς εμείς να του δώσουμε θερμότητα. Από πού λοιπόν προήλθε αυτό το έργο; Έγινε με δαπάνη της εσωτερικής ενέργειας του αερίου. Στην περίπτωση αυτή δηλαδή θα έχουμε μείωση της εσωτερικής ενέργειας.

2.10 Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα

Από παλιά ο άνθρωπος είχε παρατηρήσει ότι ανάμεσα στη θερμότητα και στο μηχανικό έργο υπάρχει κάποια αντιστοιχία. Για παράδειγμα, όταν τρίβουμε δύο σώματα μεταξύ τους, παράγεται θερμότητα. Επίσης, όταν ένα σώμα πέφτει από ψηλά και προσκρούει στο δάπεδο παράγεται θερμότητα. Αντιστρόφως, αν θερμάνουμε ένα αέριο μέσα σε ένα κύλινδρο με κινητό έμβολο, τότε το έμβολο κινείται και παράγει μηχανικό έργο. Άργησε όμως ο άνθρωπος να διαπιστώσει ότι θερμότητα και έργο είναι, και τα δύο, τρόποι μεταφοράς ενέργειας από ένα σύστημα σε ένα άλλο και ότι θα μπορούσαν να μετρώνται με τις ίδιες μονάδες.

Ο Άγγλος James Joule, ακολουθώντας τη μέθοδο του πειράματος και των μετρήσεων, υπολόγισε στα 1847 την ισοδυναμία ανάμεσα στις μονάδες θερμότητας και μηχανικού έργου που υπήρχαν εκείνη την εποχή. Ο Joule απέδειξε ότι για να παραχθεί μια θερμίδα (cal) χρειάζονται 4,17 σημεινές μονάδες μηχανικής ενέργειας, υπολογισμός πολύ κοντινός σ' αυτό που λέμε σήμερα **μηχανικό ισοδύναμο της θερμίδας** (4,186 Joule/cal). Τι σημαίνει μηχανικό ισοδύναμο της θερμίδας ; Σημαίνει ότι αν μετατραπούν 4,186 Joule σε θερμότητα, τότε αυτό το ποσό θερμότητας θα είναι μια θερμίδα (1cal). Στη Θερμοδυναμική μας ενδιαφέρει περισσότερο η αντίστροφη μετατροπή, δηλαδή από θερμότητα σε έργο (αυτή είναι η δουλειά που κάνουν οι **θερμικές μηχανές**). Η μετατροπή αυτή (θερμότητα → έργο) είναι γενικά πιο δύσκολη από τη μετατροπή έργο → θερμότητα, ό-

πως θα αναλύσουμε στην επόμενη παράγραφο. Και γι' αυτή τη μετατροπή πάντως ισχύει ποσοτικά το μηχανικό ισοδύναμο της θερμίδας. Αν, δηλαδή, θερμότητα μιας θερμίδας (1cal) μετατραπεί πλήρως σε έργο τότε το έργο, αυτό θα είναι 4,186 Joule. Μπορούμε λοιπόν να γράφουμε :

$$1\text{cal} = 4,186 \text{ Joule} \quad (2.11)$$

Από τα παραδείγματα που περιγράφηκαν στα σχήματα 2.12 και 2.13 φαίνεται ότι η θερμότητα που δίνεται σε ένα αέριο δε γίνεται κατ' ανάγκη άμεσα έργο. Το **πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα** λέει ότι *“Η θερμότητα που δίνεται σε ένα αέριο ισούται με το άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που μας δίνει το αέριο”*. Αυτό μαθηματικά γράφεται :

$$Q = \Delta U + W \quad (2.12)$$

όπου Q η θερμότητα, W το έργο και ΔU η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

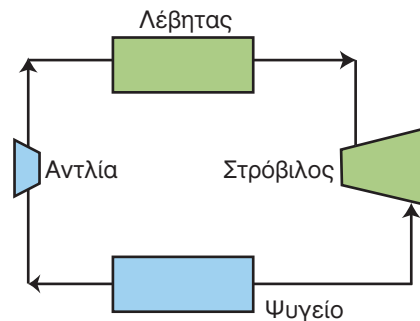
Επιστρέφουμε στα σχήματα 2.12 και 2.13 για να ερμηνεύσουμε τι συνέβη με βάση το Α' θερμοδυναμικό αξίωμα :

Στο Σχ. 2.12 δώσαμε θερμότητα στο αέριο αλλά δεν πήραμε έργο, δηλαδή είχαμε $W=0$. Η εξίσωση (2.12) γράφεται στην περίπτωση αυτή : $Q = \Delta U$, δηλαδή η θερμότητα που δόθηκε ισούται με τη μεταβολή (αύξηση στην περίπτωσή μας) της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

Στο σχ. 2.13 πήραμε έργο χωρίς να δώσουμε θερμότητα. Είχαμε δηλαδή $Q = 0$. Τότε η εξίσωση (2.12) γράφεται $-\Delta U = W$, δηλαδή το έργο ισούται με τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου ή, με άλλα λόγια, το έργο προήλθε από τη μείωση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

2.11 Δεύτερο Θερμοδυναμικό Αξίωμα

Όπως λέει το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα, μπορούμε δίνοντας θερμότητα να παίρνουμε έργο. Αυτό βέβαια ο άνθρωπος το γνώριζε από παλιά. Συστηματική εκμετάλλευση όμως αυτής της γνώσης άρχισε να γίνεται με την ανάπτυξη των ατμομηχανών, όπου επιδιώκουμε να παίρνουμε έργο βασιζόμενοι στις αλλαγές της θερμοδυναμικής κατάστασης του νερού.

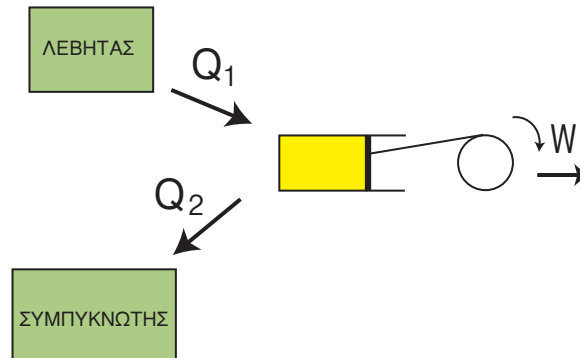


Σχήμα 2.14 Τα μέρη μιας ατμομηχανής

Πριν από την εποχή των πρώτων ατμομηχανών, πολλοί είχαν επιχειρήσει να φτιάξουν θερμική μηχανή που να δίνει συνεχώς έργο καθώς εμείς δίνουμε θερμότητα. Η πράξη έδειξε ότι κάτι τέτοιο είναι αδύνατο, αν δεν προβλέψουμε στη μηχανή αυτή και ένα ψυγείο (Σχήμα 2.14), όπου το εργαζόμενο μέσο (ο ατμός, στην περίπτωση της ατμομηχανής) θα αποβάλει θερμότητα. Αυτό διατυπώνει και το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα :

*“ Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή, η οποία να μετατρέπει θερμότητα σε έργο, χωρίς ταυτόχρονα να πα-
ρέχει κάποια θερμότητα προς μια δεξαμενή χαμηλότερης
θερμοκρασίας”*

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται οι ενεργειακές συναλλαγές του εργαζόμενου μέσου σε μια ατμομηχανή :



Σχήμα 2.15

Προς το εργαζόμενο μέσο χορηγείται θερμότητα Q_1 από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας T_1 (στην ατμομηχανή ο λέβητας). Το εργαζόμενο μέσο μας δίνει έργο W και αποβάλλει θερμότητα Q_2 προς τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας T_2 (το συμπυκνωτή ή το ψυγείο στην περίπτωση της ατμομηχανής). Κάνοντας έναν ενεργειακό ισολογισμό έχουμε :

$$Q_1 = W + Q_2 \quad (2.13)$$

Βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής

Ως βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής ορίζεται το πηλίκο του ωφέλιμου έργου της μηχανής προς την ενέργεια που καταναλώνει η μηχανή. Το ωφέλιμο έργο είναι το W , ενώ η ενέργεια που καταναλώνεται είναι η θερμότητα που προσδίδεται στο εργαζόμενο μέσο, δηλ. η Q_1 . Κατά συνέπεια ο βαθμός απόδοσης η μιας θερμικής μηχανής ισούται με :

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (2.14)$$

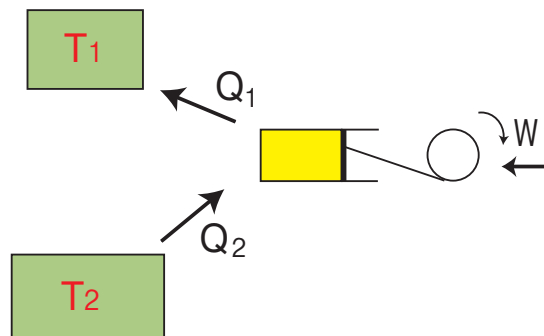
Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν παραπάνω, το έργο W είναι πάντοτε μικρότερο από την προσφερόμενη θερμότητα. Επομένως, **ο βαθμός απόδοσης** μιας θερμικής μηχανής είναι ένας **αριθμός μικρότερος από τη μονάδα**.

Β΄ θερμοδυναμικό αξίωμα για ψυκτική μηχανή

Ο Β΄ θερμοδυναμικός νόμος έχει και μια άλλη διατύπωση που αφορά τις ψυκτικές μηχανές. Είναι γνωστό ότι η θερμότητα ρέει από μόνη της από σώμα υψηλότερης προς σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Εμείς στην ψύξη επιδιώκουμε το αντίθετο. Να έχουμε δηλαδή μετάβαση θερμότητας από σώμα χαμηλής θερμοκρασίας (το χώρο που θέλουμε να ψύξουμε) προς σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας (συνήθως το περιβάλλον). Το Β΄ θερμοδυναμικό αξίωμα ορίζει ότι κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει από μόνο του, αλλά χρειάζεται να δώσουμε έργο. Συγκεκριμένα:

“Είναι αδύνατο να μεταβιβαστεί θερμότητα από σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας προς σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας, χωρίς να καταναλωθεί κάποιο έργο”.

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται σχηματικά οι ενεργειακές συναλλαγές του ψυκτικού μέσου σε μια ψυκτική μηχανή :



Σχήμα 2.16

Το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα Q_2 από τον ψυχόμενο χώρο και αποβάλλει θερμότητα Q_1 προς το περιβάλλον. Ενδιάμεσα όμως, εισπράττει έργο W (στον κύκλο ψύξης με μηχανική συμπίεση ατμών, αυτό γίνεται στο συμπιεστή). Ο ενεργειακός ισολογισμός μας δίνει για την ψυκτική μηχανή:

$$Q_2 + W = Q_1 \quad (2.15)$$

2.12 Ενθαλπία - Εντροπία

Ενθαλπία

Η ενθαλπία είναι ένα θερμοδυναμικό μέγεθος με μεγάλο ενδιαφέρον στις ψυκτικές εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά των ψυκτικών ρευστών, για παράδειγμα, τα παίρνουμε συχνά από διαγράμματα πίεσης (p)–ενθαλπίας (h) (βλ. τέτοια διαγράμματα στο Παράρτημα 3). Η Ενθαλπία εκφράζει την ενεργειακή κατάσταση ενός ρευστού. Είναι, όπως και η εσωτερική ενέργεια, καταστατικό μέγεθος. Είναι δηλαδή ανεξάρτητο από τον τρόπο με τον οποίο ένα ρευστό έφθασε στη συγκεκριμένη κατάσταση που βρίσκεται. Η ενθαλπία (**H**) εκφράζεται μαθηματικά από την ακόλουθη σχέση :

$$H = U + PV \quad (2.16)$$

όπου U η εσωτερική ενέργεια, P η πίεση και V ο όγκος.

Μονάδα μέτρησης της ενθαλπίας είναι το Joule. Συνήθως μας ενδιαφέρει περισσότερο **η ενθαλπία ανά μονάδα μάζας**. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται **ειδική ενθαλπία** και μετριέται (στο S.I.) σε J/kg. Θα συναντήσουμε ακόμα και το kcal/kg και το BTU/lb.

Εντροπία

Στην παράγραφο 1.2. τονίστηκε πως οι ενεργειακές μεταβολές συμβαίνουν με **φυσικό** τρόπο, **πάντα προς μία κατεύθυνση και ποτέ αντίστροφα**. Το πόσο εύκολα μπορεί ένα σύστημα να αποδώσει ενέργεια με φυσικό τρόπο, θα μπορούσε να χαρακτηρίσει την ενεργειακή “ποιότητα” του συστήματος.

Το μέγεθος που μετρά αυτή την ενεργειακή “ποιότητα” ενός συστήματος είναι η **εντροπία**. Όσο μικρότερη εντροπία έχει ένα σώμα, τόσο πιο χρήσιμη ενέργεια διαθέτει σε μακροσκοπικό επίπεδο, αλλά και τόσο πιο μεγάλη είναι η τάξη την οποία εμφανίζει σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η εντροπία μετριέται σε Joule ανά βαθμό θερμοκρασίας (J/K). Και εδώ μας ενδιαφέρει περισσότερο η εντροπία ανά μονάδα μάζας (J/kgK). Θα συναντήσουμε και το μέγεθος αυτό στα διαγράμματα πίεσης-ενθαλπίας.

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Θερμοκρασία είναι το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει πόσο ζεστό ή πόσο κρύο είναι ένα σώμα. Συνηθέστερη θερμομετρική κλίμακα είναι η κλίμακα Κελσίου. Σύμφωνα με τη Θερμοδυναμική, η θερμοκρασία είναι το φυσικό μέγεθος που εκφράζει την κινητική ενέργεια των δομικών στοιχείων του σώματος. **Απόλυτο μηδέν** είναι η θερμοκρασία, στην οποία η κινητική ενέργεια των μορίων του σώματος είναι μηδέν. Αντιστοιχεί στους -273°C . Με αφετηρία αυτή την τιμή φτιάχτηκε η απόλυτη θερμομετρική κλίμακα (Κέλβιν). **Απόλυτη θερμοκρασία** ενός σώματος ονομάζεται η θερμοκρασία του στην κλίμακα Κέλβιν. Την απόλυτη θερμοκρασία τη βρίσκουμε προσθέτοντας στην ένδειξη Κελσίου το 273 δηλ. $K = ^{\circ}\text{C} + 273$.

Ατμοσφαιρική πίεση ονομάζουμε την πίεση που ασκεί ο αέρας της ατμόσφαιρας πάνω σε μια επιφάνεια. Αυτή ποικίλει ανάλογα με το υψόμετρο. Μετριέται με τα βαρόμετρα. Στην επιφάνεια της θάλασσας ισούται με 76 cm στήλης υδραργύρου. Η πίεση αυτή ονομάζεται και φυσική ατμόσφαιρα και συμβολίζεται με atm. Έχουμε δηλαδή $1 \text{ atm} = 76 \text{ cm}$ ή 760 mm στήλης υδραργύρου.

Κενό δημιουργείται σε ένα χώρο, όταν από αυτόν αφαιρεθεί αέρας χωρίς να αντικαθίσταται. **Απόλυτο κενό** έχουμε, όταν από ένα χώρο αφαιρεθεί όλος ο αέρας και δεν υπάρχει πλέον ύλη στο χώρο αυτό.

Τα **μανόμετρα** είναι όργανα μέτρησης της πίεσης. Η ένδειξη του μανομέτρου είναι η **διαφορά** της πραγματικής (ή απόλυτης πίεσης) του αερίου από την ατμοσφαιρική.

Η θερμότητα είναι ενέργεια που μετακομίζει : μεταδίδεται από ένα σώμα σε ένα άλλο όταν υπάρχει μεταξύ τους διαφορά θερμοκρασίας. **Η θερμότητα πηγαιίνει πάντοτε από σώμα υψηλότερης σε σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας.** Μεταδίδεται με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία. Η θερμότητα μετριέται σε J, αλλά χρησιμοποιείται ακόμη και η παλιά μονάδα, η θερμίδα (cal).

Σχετικά με τη σχέση θερμότητας και έργου μας μιλούν τα δύο θερμοδυναμικά αξιώματα :

Α' θερμοδυναμικό αξίωμα : *“Η θερμότητα που δίνεται σε ένα αέριο ισούται με το άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που μας δίνει το αέριο”.* Αυτό μαθηματικά γράφεται : $Q = \Delta U + W$

Β' θερμοδυναμικό αξίωμα : *“Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή, η οποία να μετατρέπει θερμότητα σε έργο, χωρίς ταυτόχρονα να παρέχει κάποια θερμότητα προς μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας”.*

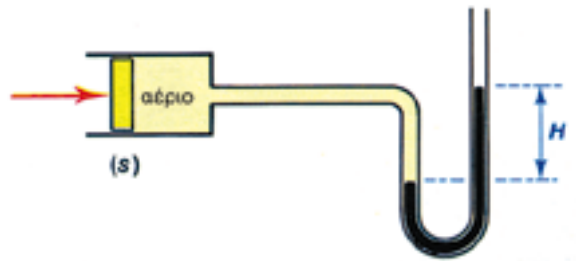


ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

- Επισημάνουμε στην παράγραφο 2.2. ότι η αίσθηση της αφής δεν είναι ασφαλές κριτήριο για να κατατάξουμε τα σώματα σε μια σειρά ως προς το ποιο είναι πιο ζεστό ή πιο κρύο. Κάνετε το εξής πείραμα : Πάνω στο τραπέζι του δωματίου σας βρίσκονται, για αρκετές ώρες, ένα κομμάτι από μάρμαρο και μια ξύλινη μολυβοθήκη. Ακουμπάτε τα δύο αυτά αντικείμενα, ένα με κάθε χέρι σας.
 - Το ερέθισμα από το άγγιγμα του μαρμάρινου κομματιού είναι το ίδιο με το ερέθισμα από το άγγιγμα της ξύλινης μολυβοθήκης ;
 - Μπορούμε με την αίσθηση της αφής και μόνο να απαντήσουμε ποιο είναι πιο ζεστό ή πιο κρύο (δηλαδή ποιο έχει ψηλότερη και ποιο χαμηλότερη θερμοκρασία) ^{Π1};
- Το υγρό που χρησιμοποιείται στα γυάλινα θερμόμετρα είναι συνήθως υδράργυρος. Για ποιο λόγο πιστεύετε ότι προτιμάται ο υδράργυρος; ^{Π1}
- Κάνετε τις ακόλουθες μετατροπές :**α.** 68 °F σε °C, **β.** 23 °C σε K, **γ.** – 40 °C σε °F και **δ.** 55 °F σε K.
- Ποιο είναι το μέγιστο βάθος από το οποίο μπορούμε να αντλήσουμε

νερό με μια αντλία τοποθετημένη στην επιφάνεια του εδάφους, χωρίς τη βοήθεια πτερυγίων που είναι τοποθετημένα μέσα στο νερό;^{π1}

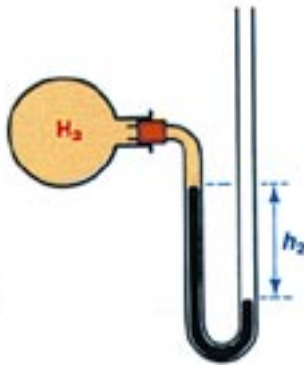
5. Τι είναι ατμοσφαιρική ή βαρομετρική πίεση και ποια η τιμή της στην επιφάνεια της θάλασσας ;
6. Να γίνουν οι εξής μετατροπές μονάδων πίεσης : **α.** 1,8 at σε bar **β.** 120 p.s.i. σε bar **γ.** 14 in Hg σε kPa **δ.** 120 p.s.i. σε bar και **ε.** 2 Torr σε Pa.
7. Τι ονομάζουμε μανομετρική και τι απόλυτη πίεση ; Ποια είναι η σχέση μεταξύ τους ;
8. Συμπιέζουμε το αέριο, το οποίο βρίσκεται στον κύλινδρο του Σχήματος 2.17, μέχρι τη θέση που φαίνεται στο σχήμα.
Ο κύλινδρος επικοινωνεί, μέσω σωλήνα μικρής διαμέτρου, με την ατμόσφαιρα. Μεταξύ του αερίου και του ανοιχτού άκρου του σωλήνα υπάρχει υδράργυρος. Στη θέση του Σχήματος 2.17, το ύψος H ισούται με 38 cm.



Σχήμα 2.17

- α.** Αν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 atm, υπολογίστε την απόλυτη πίεση του αερίου στη θέση του Σχήματος 2.17.
- β.** Τι θα μας έδειχνε, για την πίεση του αερίου, ένα μανόμετρο τοποθετημένο στον κύλινδρο ;
- γ.** Υπολογίστε τη δύναμη F με την οποία συγκρατείται το έμβολο στη θέση του Σχήματος 2.17, γνωρίζοντας ότι το εμβαδόν s της επιφάνειας του εμβόλου είναι 18 cm^2 .

9. Στο Σχήμα 2.18, έχουμε υδρογόνο μέσα σε ένα μπαλόνι, καθώς και σε ένα τμήμα του σωλήνα που επικοινωνεί με το χώρο του μπαλονιού. Στη θέση του σχήματος, η υψομετρική διαφορά h_2 ισούται με 240mm. Η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με 0,95 atm.



Σχήμα 2.18

- α. Ποια είναι η απόλυτη πίεση του υδρογόνου στη θέση του σχήματος ;
- β. Τι θα μας έδειχνε ένα κενόμετρο για την πίεση του υδρογόνου ;
10. Αναζήτησε στοιχεία για την ιστορία των ατμομηχανών, π.χ. από τα βιβλία Φυσική Β' Γυμνασίου (σελ. 97-98) ή Φυσική Α' ΕΠΛ (βλ. βιβλιογραφικές παραπομπές στο τέλος του βιβλίου) και βρες πώς οι πρώτες ατμομηχανές οδήγησαν την ανθρώπινη σκέψη στο Β' Θερμοδυναμικό αξίωμα.
11. Για να θερμάνουμε το νερό ενός δοχείου, τοποθετούμε συχνά το δοχείο πάνω σε μια πλάκα της ηλεκτρικής κουζίνας. Αν επιθυμούμε να ψύξουμε το νερό του δοχείου, πόσο αποτελεσματικό θα ήταν να τοποθετήσουμε το δοχείο πάνω σε μια κολώνα πάγου ;
12. Ο χυμός του πορτοκαλιού που στύψατε είναι πολύ ζεστός για να τον πιείτε. Έχετε όμως μια παγοθήκη, όπου συνυπάρχουν παγάκια και νερό στην ίδια θερμοκρασία. Για να κρυώσει γρήγορα ο χυμός, τι θα ήταν καλύτερο, να προσθέσετε στο ποτήρι με το χυμό ένα παγάκι ή νερό ίσης μάζας με το παγάκι από την παγοθήκη;

κεφάλαιο 3

ΤΕΛΕΙΟ ΑΕΡΙΟ

- 3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΕΛΕΙΟΥ ΑΕΡΙΟΥ
- 3.2 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΑΕΡΙΩΝ.
ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΕΣΗΣ-ΟΓΚΟΥ (P-V)
- 3.3 ΣΤΡΑΠΤΑΛΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΟΥ
- 3.4 ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ
- 3.5 ΚΥΚΛΟΣ CARNOT
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ-ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

**ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ**

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να ορίζουν το τέλειο αέριο και να αναφέρουν ποιες πραγματικές καταστάσεις αερίων μπορούν να προσεγγιστούν με το τέλειο αέριο.
- ✓ Να περιγράφουν τρόπους πραγματοποίησης χαρακτηριστικών μεταβολών της κατάστασης των αερίων (ισόογκη, ισόθλιπτη, ισοθερμοκρασιακή, αδιαβατική).
- ✓ Να απεικονίζουν τις χαρακτηριστικές μεταβολές κατάστασης των αερίων (ισόογκη, ισόθλιπτη, ισοθερμοκρασιακή, αδιαβατική) σε διάγραμμα πίεσης-όγκου.
- ✓ Να εφαρμόζουν μαθηματικές σχέσεις σε χαρακτηριστικές μεταβολές κατάστασης των αερίων (ισόογκη, ισόθλιπτη, ισοθερμοκρασιακή, αδιαβατική).
- ✓ Να ορίζουν τι είναι κυκλική μεταβολή ενός αερίου.
- ✓ Να αναφέρουν τις μεταβολές που περιλαμβάνει ο κύκλος του Carnot και να εξηγούν τη σημασία που έχει στις εφαρμογές ο παραπάνω κύκλος.

3.1 Ορισμός του τέλειου αερίου

Η συμπεριφορά των αερίων που βρίσκονται στη φύση, δηλαδή των **πραγματικών αερίων**, είναι αρκετά περίπλοκη. Για να παρασταθεί με ακρίβεια απαιτούνται σύνθετοι υπολογισμοί. Η συμπεριφορά των πραγματικών αερίων προσεγγίζεται στη Θερμοδυναμική με ένα μοντέλο, που ονομάζεται **τέλειο αέριο**. Το αέριο αυτό δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Πρόκειται για ανθρώπινη επινόηση, για ένα μαθηματικό πρότυπο, που μας βοηθά στο να περιγράψουμε κατά προσέγγιση τη συμπεριφορά των πραγματικών αερίων.

Από **μικροσκοπική** σκοπιά, τέλειο αέριο θεωρείται εκείνο του οποίου τα μόρια συμπεριφέρονται σαν ελαστικές σφαίρες, αμελητέων διαστάσεων, που δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους παρά μόνο κατά τη στιγμή που συγκρούονται. Το αέριο αυτό έχει συγκεκριμένη **μακροσκοπική** (εξωτερική) συμπεριφορά. Υπακούει σε κάποιους νόμους. Ορίζουμε λοιπόν ως τέλειο αέριο εκείνο που ακολουθεί την παρακάτω σχέση :

$$P \times V = m \times R \times T \quad (3.1)$$

όπου P η απόλυτη πίεση του αερίου, V ο όγκος του, m η μάζα του, T η απόλυτη θερμοκρασία του και R ένας αριθμός χαρακτηριστικός για κάθε αέριο. Τιμές του R για ορισμένα αέρια μας δίνει ο πίνακας 1 του παραρτήματος 2¹.

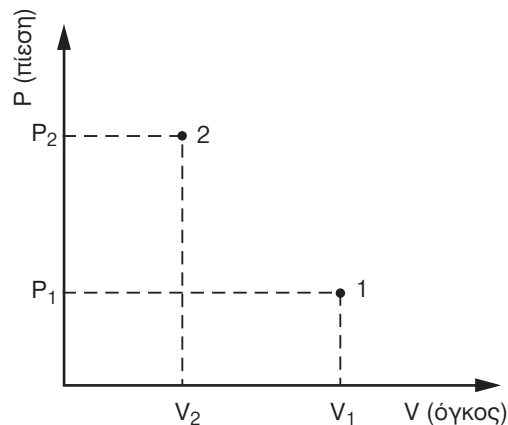
Η μελέτη του τέλειου αερίου μας ενδιαφέρει για τον ακόλουθο λόγο : έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι μερικά από τα αέρια που βρίσκονται στη φύση, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, ακολουθούν με πολύ καλή προσέγγιση τους νόμους των τέλειων αερίων. Το υδρογόνο, το άζωτο, το οξυγόνο συμπεριφέρονται σαν τέλεια αέρια, όταν οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας δεν απέχουν πολύ από τις συνηθισμένες. Τα αέρια αυτά υγροποιούνται δύσκολα. Συμπεριφέρονται επομένως σαν τέλεια αέρια σε συνηθισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, διότι τότε **απέχουν πολύ από τις συνθήκες υγροποίησης**. Αντιθέτως, αέρια που υγροποιούνται εύκολα, όπως οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα κ.λπ δεν μπορούμε να τα θεωρήσουμε, στις συνηθισμένες συνθήκες, σαν τέλεια αέρια.

1. Το γινόμενο του μοριακού βάρους (MB) ενός αερίου επί το R ισούται με ένα σταθερό αριθμό για όλα τα αέρια. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται παγκόσμια σταθερά των αερίων. Οι τιμές του R για τα διάφορα αέρια του πίνακα 1 έχουν προκύψει, διαιρώντας την παγκόσμια σταθερά των αερίων με το μοριακό βάρος.

3.2 Μεταβολές της κατάστασης ενός αερίου. Το διάγραμμα πίεσης-όγκου (P-V)

Η κατάσταση μιας δεδομένης ποσότητας ενός αερίου καθορίζεται από τις τιμές που παίρνουν τα μεγέθη P, V, T . Επομένως, αν ένα από τα μεγέθη αυτά μεταβληθεί, θα μεταβληθεί και η κατάσταση του αερίου. Κατά τις μεταβολές της κατάστασης ενός αερίου δε μας ενδιαφέρουν μόνο οι τιμές των μεγεθών P, V, T αλλά και η θερμότητα και το έργο που παίρνουμε ή δίνουμε στο αέριο.

Τις μεταβολές της κατάστασης ενός αερίου μπορούμε να τις απεικονίζουμε σε διαγράμματα. Το πιο γνωστό από αυτά είναι το **διάγραμμα P-V** (πίεσης-όγκου). Στο διάγραμμα αυτό, στον οριζόντιο άξονα μετريέται ο όγκος και στον κατακόρυφο άξονα η πίεση. Ας φανταστούμε ένα αέριο, το οποίο σε μια δεδομένη στιγμή έχει πίεση P_1 και όγκο V_1 . Η κατάσταση του αερίου αυτού μπορεί να παρασταθεί πάνω στο διάγραμμα με ένα σημείο (το σημείο 1 στο Διάγραμμα 3.1).



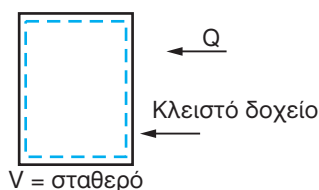
Διάγραμμα 3.1

Ας φανταστούμε τώρα ότι η κατάσταση του αερίου αλλάζει και ότι κάποια στιγμή ο όγκος του έχει γίνει V_2 και η πίεσή του P_2 . Η νέα κατάσταση του αερίου παριστάνεται πάνω στο διάγραμμα με το σημείο 2. Η θερμοκρασία του αερίου δεν φαίνεται πάνω σε ένα απλό διάγραμμα P-V. Στο παραπάνω διάγραμμα, απεικονίσαμε την αρχική κατάσταση του αερίου και την τελική κατάστασή του. Δε βλέπουμε όμως τις ενδιάμεσες καταστάσεις, δηλαδή πλήρως τη μεταβολή. Αν γνωρίζαμε όλες τις ενδιάμεσες κα-

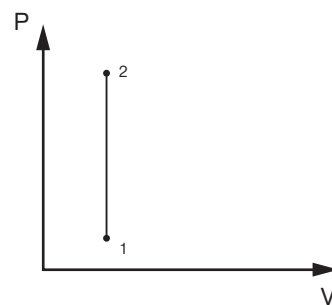
ταστάσεις, θα μπορούσαμε να απεικονίσουμε πλήρως τη μεταβολή με μια γραμμή που συνδέει το 1 και το 2. Θα δούμε τέτοιες απεικονίσεις χαρακτηριστικών αλλαγών κατάστασης στη συνέχεια.

3.2.1 Ισόογκη Μεταβολή

Ισόογκη ονομάζεται η μεταβολή κατά τη διάρκεια της οποίας δεν αλλάζει ο όγκος του αερίου. Μια τέτοια μεταβολή δείχνει το Σχήμα 3.1. Ένα ποσό θερμότητας προσδίνεται σε αέριο που βρίσκεται μέσα σε δοχείο με αμετακίνητα τοιχώματα. Το αποτέλεσμα είναι να αυξηθεί η πίεση και η θερμοκρασία, ενώ ο όγκος παραμένει σταθερός. Η μεταβολή παριστάνεται στο διάγραμμα P-V με μια γραμμή κάθετη προς τον άξονα των όγκων (Διάγραμμα 3.2).



Σχήμα 3.1



Διάγραμμα 3.2

Ισόογκη μεταβολή

Στο αέριο που περιέχει το δοχείο, μπορούμε να δώσουμε ή να αφαιρέσουμε θερμότητα. Και στις δύο περιπτώσεις ο όγκος του θα παραμείνει σταθερός, αν παραλείψουμε βέβαια την πολύ μικρή διαστολή ή συστολή του δοχείου. Όταν προσδίδεται θερμότητα στο αέριο, αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση, ενώ ο όγκος παραμένει σταθερός. Μάλιστα, *στην ισόογκη μεταβολή η πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία*. Αυτό γράφεται και ως εξής :

Ισόογκη μεταβολή : Όταν $V = \text{σταθερό}$, τότε
$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3.2)$$

Στην παραπάνω σχέση, P_1 είναι η αρχική και P_2 η τελική πίεση του αερίου (απόλυτες πιέσεις), ενώ T_1 είναι η αρχική και T_2 η τελική απόλυτη (δηλαδή σε Κέλβιν) θερμοκρασία του αερίου.

Ας δούμε ένα αριθμητικό παράδειγμα :

- ♦ *Αέριο βρίσκεται σε κύλινδρο σταθερού όγκου. Η αρχική θερμοκρασία του είναι 290 K και η αρχική απόλυτη πίεση είναι 40 Pa. Αν το αέριο θερμανθεί και φτάσει στη θερμοκρασία των 870 K, να υπολογιστεί η τελική πίεση του αερίου.*

Έχουμε

P_1 : η αρχική απόλυτη πίεση = 40 Pa , P_2 : η τελική απόλυτη πίεση,

T_1 : αρχική θερμοκρασία = 290 K, T_2 : τελική θερμοκρασία = 870 K.

Πρόκειται για ισόογκη μεταβολή, οπότε :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} \Rightarrow P_2 = \frac{40 \text{ Pa} \times 870 \text{ K}}{290 \text{ K}} \Rightarrow P_2 = 120 \text{ Pa}$$

- ♦ *Πώς προκύπτει η σχέση 3.2 αξιοποιώντας τη σχέση 3.1 για τα τέλεια αέρια ;^{π1}*

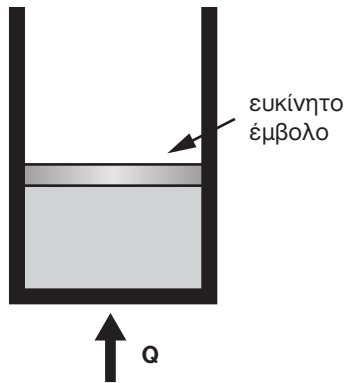
Στην ισόογκη μεταβολή προφανώς δεν παίρνουμε έργο. Σύμφωνα με το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα, έχουμε :

$$Q = \Delta U + W$$

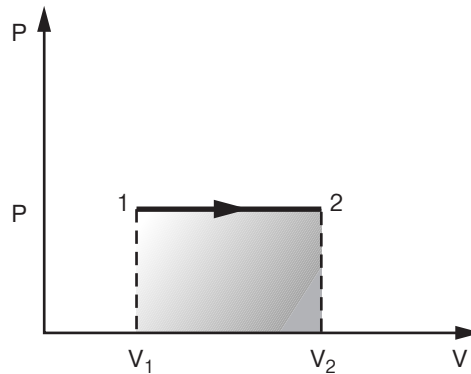
και εφόσον $W = 0$, θα είναι $Q = \Delta U$ ή $Q = U_2 - U_1$. Με άλλα λόγια, η θερμότητα **Q** που προσδόθηκε στο αέριο οδήγησε σε αύξηση **ΔU** της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

3.2.2 Ισόθλιπτη Μεταβολή

Ισόθλιπτη μεταβολή είναι εκείνη, η οποία γίνεται *υπό σταθερή πίεση*. Έχουμε, για παράδειγμα, ένα αέριο που βρίσκεται μέσα σ' έναν κύλινδρο με ευκίνητο έμβολο, όπως δείχνει το Σχήμα 3.2. Όταν το αέριο αυτό θερμαίνεται, τότε αυξάνεται όχι μόνο η θερμοκρασία του αλλά και ο όγκος του. Το έμβολο μετακινείται προς τα πάνω και ισορροπεί σε νέα θέση. Η πίεση του αερίου στη νέα θέση είναι ίδια με την αρχική και ίση με την ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί από την πάνω πλευρά του εμβόλου.



Σχήμα 3.2



Διάγραμμα 3.3

Ισόθλιπτη θέρμανση αερίου

Κατά την ισόθλιπτη μεταβολή παίρνουμε έργο, το οποίο παριστάνεται με τη σκιασμένη επιφάνεια στο διάγραμμα P-V (Διάγραμμα 3.3).

Σε μια ισόθλιπτη μεταβολή ο όγκος μεταβάλλεται ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία ή αλλιώς :

Ισόθλιπτη μεταβολή: Όταν $P = \text{σταθερή}$, τότε $\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$ (3.3)

♦ Αέριο βρίσκεται σε κύλινδρο, με έμβολο που μπορεί να κινείται ελεύθερα. Η αρχική απόλυτη θερμοκρασία του αερίου είναι 350 K και ο αρχικός του όγκος είναι $0,03\text{ m}^3$. Αν το αέριο θερμανθεί υπό σταθερή πίεση στη θερμοκρασία των 700 K , να βρεθεί ο τελικός όγκος του αερίου.

Έχουμε : $T_1 = 350\text{ K}$, $T_2 = 700\text{ K}$, $V_1 = 0,03\text{ m}^3$ και αναζητούμε το V_2 .

Πρόκειται για μια ισόθλιπτη μεταβολή, οπότε :

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} \Rightarrow V_2 = \frac{0,03\text{ m}^3 \times 700\text{ K}}{350\text{ K}} \Rightarrow V_2 = 0,06\text{ m}^3$$

Σε όλες τις αριθμητικές εφαρμογές σχετικά με τους νόμους των τέλειων αερίων οι τιμές της θερμοκρασίας είναι σε Κέλβιν. Αν σε κάποιο πρόβλημα δοθούν σε $^{\circ}\text{C}$, τότε μετατρέπουμε σε Κέλβιν με βάση τη γνωστή σχέση : $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$.

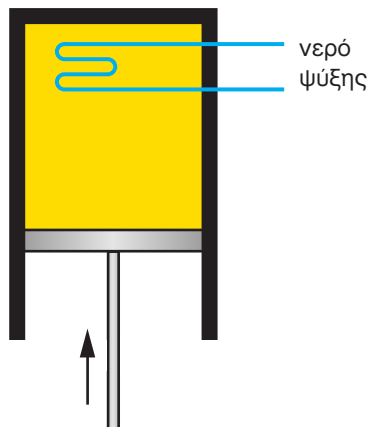


Στην **ισόθλιπτη μεταβολή**, η θερμότητα που συναλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον ισούται με τη **μεταβολή της ενθαλπίας** του συστήματος. Θυμηθείτε το αυτό όταν, στο Β μέρος του βιβλίου, θα σχεδιάζουμε τον ψυκτικό κύκλο πάνω σε διάγραμμα $p-h$ (πίεσης-ενθαλπίας).

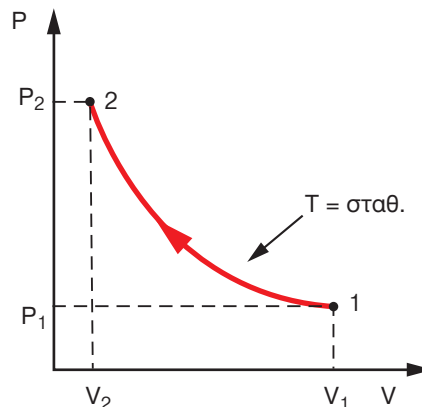
► Μπορείτε να αποδείξετε αυτό που διατυπώνει ο “κύριος $p-h$ ” για την περίπτωση της ισόθλιπτης μεταβολής του σχήματος 3.2 ;^{π1}

3.2.3 Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή

Ισοθερμοκρασιακή² είναι η μεταβολή κατά την οποία η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή. Μια τέτοια μεταβολή δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί στην πράξη. Ας φανταστούμε την περίπτωση, όπου ένα αέριο που βρίσκεται μέσα σε έναν κύλινδρο, συμπιέζεται από ένα έμβολο. Η θερμοκρασία αυξάνεται, οπότε η μεταβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί ισοθερμοκρασιακή. Για να επιτευχθεί ισοθερμοκρασιακή μεταβολή, πρέπει **να αφαιρείται συνεχώς θερμότητα από το αέριο**. Αυτό μπορεί να γίνει, για παράδειγμα, με τη διάταξη που δείχνει το Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3



Διάγραμμα 3.4

Ισοθερμοκρασιακή Μεταβολή

2. Σε πολλά βιβλία θα έχετε συναντήσει, για τη μεταβολή αυτή τον όρο *ισόθερμη*. Προτιμούμε τον όρο *ισοθερμοκρασιακή*, γιατί τον θεωρούμε πιο εύστοχο, καλό είναι όμως να γνωρίζετε και τους δύο όρους. Επίσης θα συναντήσετε τους όρους *ισόχωρη*(=*ισόογκη*) και *ισοβαρής* (=ισόθλιπτη).

Το αέριο που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο του σχήματος ψύχεται από το νερό, το οποίο διέρχεται από τον κύλινδρο με κατάλληλη σωλήνωση. Αυτό συμβαίνει συνεχώς, καθώς το έμβολο οδεύει προς τα πάνω συμπιέζοντας το αέριο. Το νερό απορροφά θερμότητα από το αέριο, με αποτέλεσμα να παραμένει κατά προσέγγιση σταθερή η θερμοκρασία του αερίου. Η μεταβολή αυτή μπορεί να πλησιάσει μια ισοθερμοκρασιακή μεταβολή. Στο Διάγραμμα 3.4 βλέπουμε μια ισοθερμοκρασιακή μεταβολή σε διάγραμμα P-V.

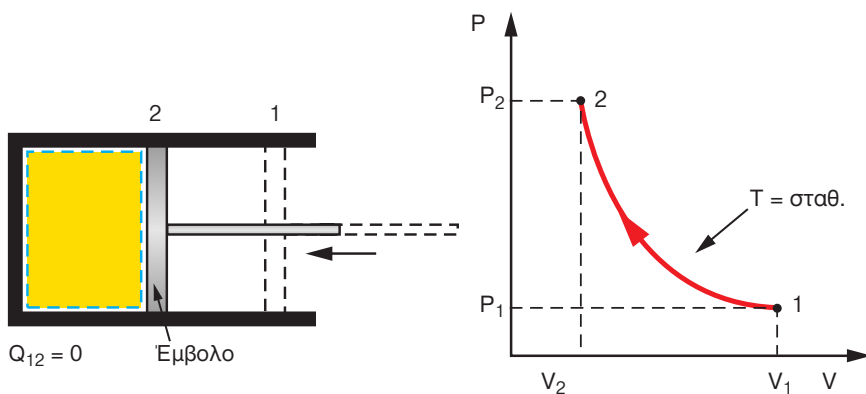
Στην ισοθερμοκρασιακή μεταβολή ο όγκος μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς την απόλυτη πίεση. Αυτό, με βάση τη θεμελιώδη σχέση $PV=mRT$, γράφεται και ως εξής :

Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή :

$$\text{όταν } T = \text{σταθ.}, \text{ τότε } \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{ή} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (3.4)$$

3.2.4 Αδιαβατική μεταβολή

Κατά τη διάρκεια αυτής της μεταβολής, **το αέριο δε συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον**. Η μεταβολή αυτή συναντάται συχνά στην πράξη (π.χ. στη συμπίεση ατμού στην ψυκτική μονάδα).



Σχήμα 3.4

Διάγραμμα 3.5

Αδιαβατική Μεταβολή

Ο κύλινδρος και το έμβολο του Σχήματος 3.4 είναι θερμικά μονωμένοι. Έτσι, μπορεί να έχουμε, για παράδειγμα, συμπίεση στον κύλινδρο αυτό,

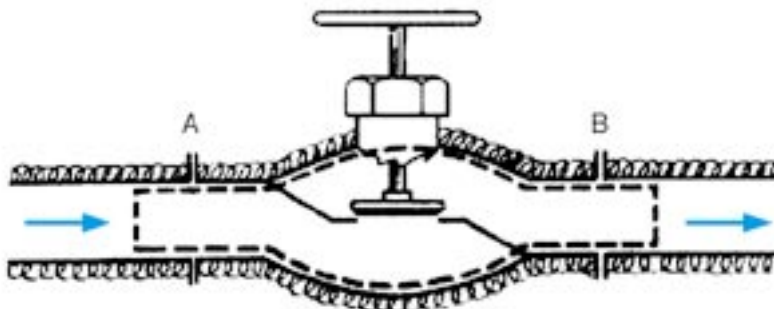
χωρίς να φεύγει θερμότητα από το αέριο προς το περιβάλλον. Στην πράξη, σπάνια υπάρχουν τέτοιες διατάξεις. Ωστόσο, μεταβολές που πλησιάζουν την αδιαβατική συναντάμε συχνά για τον εξής λόγο: ο χρόνος για μια συμπίεση ή μια εκτόνωση είναι στην πράξη πάρα πολύ μικρός. Έτσι, το αέριο δεν προλαβαίνει να συναλλάξει θερμότητα με τα τοιχώματα του κυλίνδρου με τα οποία έρχεται σε επαφή. Έτσι, σε ένα συνηθισμένο κύλινδρο συμπίεσης, έχουμε μεταβολές που προσεγγίζουν την αδιαβατική, όταν το έμβολο κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Στο Διάγραμμα 3.5 βλέπουμε μια αδιαβατική συμπίεση σε διάγραμμα P-V.



Στην **αδιαβατική μεταβολή ενός ανοιχτού συστήματος**, το έργο που συναλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον ισούται με τη **μεταβολή της ενθαλπίας** του συστήματος.

3.3 Στραγγαλισμός αερίου

Ας φανταστούμε ένα τμήμα σωλήνωσης μέσα στην οποία ρέει ένα αέριο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Στραγγαλισμός αερίου

Ο σωλήνας φέρει μια βαλβίδα που βρίσκεται σε σχεδόν κλειστή θέση, αφήνει όμως ένα μικρό διάκενο, απ' όπου περνά το αέριο. Στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται πτώση της πίεσης του αερίου μεταξύ των σημείων A

και Β. Η πτώση της πίεσης ενός αερίου με τον τρόπο αυτό ονομάζεται **στραγγαλισμός**. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορούσαμε να πάρουμε αν, αντί να έχουμε σχεδόν κλειστή βαλβίδα, οδηγούσαμε το αέριο σε ένα σωλήνα πολύ μικρής διατομής (τριχοειδή σωλήνα).

Γνωρίζουμε ότι σε πολλές τεχνικές εφαρμογές η υψηλή πίεση ενός ρευστού μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμο έργο (π.χ. να συντελέσει στην κίνηση ενός στροβίλου). Στο Σχήμα 3.5, αντίθετα, **δεν πήραμε έργο** από την πτώση πίεσης του ρευστού. Υπό την έννοια αυτή, ο στραγγαλισμός είναι **“καταστροφή” πίεσης**. Βέβαια, αυτή η “καταστροφή” πίεσης είναι σε πολλές περιπτώσεις επιθυμητή για να έλθει το ρευστό στη θερμοδυναμική κατάσταση που επιθυμούμε.

Στραγγαλισμό πίεσης έχουμε, για παράδειγμα, σε μια συσκευή οξυγόνου-ασετιλίνης. Το οξυγόνο είναι αποθηκευμένο στη φιάλη του υπό πολύ υψηλή πίεση. Δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί στην κατάσταση που βρίσκεται. Γι’ αυτό, πριν αναμειχθεί με την ασετιλίνη, πρέπει να περάσει από το μειωτήρα πίεσης. Εκεί γίνεται στραγγαλισμός πίεσης.

Στην Εικόνα 3.1 βλέπουμε ένα σύστημα εκτόνωσης της πίεσης ενός αερίου αποθηκευμένου σε φιάλη. Το μανόμετρο που βρίσκεται κοντά στη φιάλη δείχνει την πίεση του αερίου μέσα σ’ αυτή και το άλλο την πίεση μετά το στραγγαλισμό.



Εικόνα 3.1

Ο στραγγαλισμός δεν αφορά μόνο τα αέρια αλλά και τα υγρά. Μπορούμε να μιλάμε για στραγγαλισμό ρευστού. Στις εγκαταστάσεις ψύξης έχουμε στραγγαλισμό του ψυκτικού υγρού, πριν φτάσει στο στοιχείο ατμοποίησης.

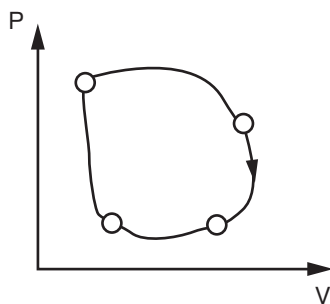


Ο στραγγαλισμός είναι μεταβολή **ισενθαλπική**, δηλαδή η ενθαλπία του ρευστού πριν και μετά το στραγγαλισμό είναι η ίδια.

3.4 Κυκλικές μεταβολές

Στις παραγράφους που προηγήθηκαν, περιγράψαμε ορισμένες χαρακτηριστικές μεταβολές της κατάστασης ενός αερίου. Σε όλες τις περιπτώσεις είχαμε μια αρχική και μια τελική κατάσταση. Θα μπορούσαμε να φανταστούμε μια σειρά διαδοχικών μεταβολών, στις οποίες η αρχική κατάσταση της πρώτης να συμπίπτει με την τελική κατάσταση της τελευταίας. Με άλλα λόγια, το αέριο μετά από τη σειρά αυτή των μεταβολών να επανέρχεται στην αρχική θερμοδυναμική του κατάσταση. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το αέριο έκανε μια **κυκλική μεταβολή ή κύκλο**.

Αν παραστήσουμε μια κυκλική αλλαγή πάνω σε διάγραμμα P-V, θα δούμε πως σχηματίζεται μια κλειστή γραμμή που αποτελείται από επιμέρους καμπύλες (Διάγραμμα 3.6).



Διάγραμμα 3.6

Κάθε μια από αυτές τις επιμέρους καμπύλες παριστάνει μια μεταβολή, κατά τη διάρκεια της οποίας το σύστημά μας πιθανόν να είχε ενεργειακές συναλλαγές με το περιβάλλον του. Οι συναλλαγές αυτές έγιναν είτε με τη μορφή θερμότητας είτε με τη μορφή του μηχανικού έργου. Ας φαντα-

στούμε για λίγο αυτή τη σειρά μεταβολών, αυτή την κυκλική μεταβολή, σαν μία και μοναδική μεταβολή και ας γράψουμε γι' αυτή το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα :

$$Q = \Delta U + W$$

όπου Q η θερμότητα, W το έργο και ΔU η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος. Επειδή όμως η αρχική και η τελική κατάσταση της κυκλικής μεταβολής συμπίπτουν, συμπεραίνουμε ότι η εσωτερική ενέργεια του συστήματος στην αρχική και τελική κατάσταση συμπίπτουν, δηλαδή $\Delta U=0$. Κατά συνέπεια :

$$\text{Σε μια κυκλική μεταβολή : } Q = W \quad (3.5)$$

Για να κατανοήσουμε αυτή τη σχέση, ας θυμηθούμε πως μια κυκλική μεταβολή αποτελείται από πολλές επιμέρους μεταβολές. Σε κάποιες από αυτές τις μεταβολές μπορεί να μεταβιβάστηκε θερμότητα στο σύστημα, σε άλλες να αποβλήθηκε θερμότητα από το σύστημα στο περιβάλλον. Επίσης, σε κάποιες από τις μεταβολές πιθανόν να πήραμε έργο, σε άλλες ίσως να δώσαμε έργο. Το Q της παραπάνω σχέσης συμβολίζει τον ισολογισμό, δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα, των συναλλαγών σε θερμότητα που έκανε το σύστημα με το περιβάλλον στη διάρκεια της κυκλικής μεταβολής. Αντίστοιχα, το W της παραπάνω σχέσης συμβολίζει τον ισολογισμό των συναλλαγών, υπό μορφή μηχανικού έργου, του συστήματος με το περιβάλλον. Δηλαδή :

Q = Θερμότητα που δόθηκε στο σύστημα – Θερμότητα που αποβλήθηκε από το σύστημα

W = Έργο που πήραμε από το σύστημα – Έργο που δώσαμε στο σύστημα

Έτσι λοιπόν η σχέση 3.5 σημαίνει πως :

Σε ένα θερμοδυναμικό κύκλο (κυκλική μεταβολή) ο ισολογισμός των έργων ισούται με τη διαφορά των προσδιδόμενων και των αποβαλλόμενων ποσών θερμότητας.

Σε ένα διάγραμμα P - V , ένας **δεξιόστροφος κύκλος** είναι κύκλος λειτουργίας **θερμικής μηχανής**, ενώ ένας **αριστερόστροφος κύκλος** είναι κύκλος λειτουργίας **ψυκτικής μηχανής**.

Το ίδιο ισχύει και στο διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (p - h).

3.5 Κύκλος Carnot

Μια χαρακτηριστική κυκλική μεταβολή ή κύκλος είναι ο λεγόμενος **κύκλος του Carnot** (Καρνό). Ο Sadi Carnot ήταν ένας Γάλλος μηχανικός που έζησε στις αρχές του 19ου αιώνα και υπήρξε πρωτοπόρος στη μελέτη της μετατροπής της θερμότητας σε έργο μέσω των θερμικών μηχανών. Συνέλαβε θεωρητικά μια σειρά διεργασιών, τις οποίες θα μπορούσε να ακολουθεί το εργαζόμενο μέσο μιας μηχανής στα πλαίσια μιας κυκλικής μεταβολής. Λέμε “θα μπορούσε”, γιατί δεν υπάρχει καμία πραγματική μηχανή, στην οποία το εργαζόμενο μέσο υφίσταται αυτές τις τέσσερις διεργασίες που προέβλεψε και μελέτησε ο Καρνό. Θα αναρωτηθείτε τότε : ποια είναι η χρησιμότητα ενός κύκλου που δεν πραγματοποιείται σε καμία μηχανή; **Η χρησιμότητά του είναι ότι μας καθορίζει το βέλτιστο βαθμό απόδοσης, στον οποίο μπορεί να φτάσει μια θερμική μηχανή που λειτουργεί ανάμεσα σε δύο καθορισμένες θερμοκρασίες (Υψηλή και Χαμηλή).**

Ο βαθμός απόδοσης η μιας μηχανής που λειτουργεί με τον κύκλο του Καρνό ισούται με :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3.6)$$

Στην παραπάνω σχέση, T_1 είναι η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής (λέβητας) και T_2 είναι η θερμοκρασία της ψυχρής δεξαμενής (ψυγείο).

♦ Ποιος είναι ο βέλτιστος βαθμός απόδοσης που μπορεί να πετύχει μια μηχανή που λειτουργεί ανάμεσα στις ακόλουθες θερμοκρασίες : 67°C (χαμηλή) και 727°C (υψηλή) ;

Η μηχανή θα πετύχαινε το βέλτιστο βαθμό απόδοσης στην περίπτωση που λειτουργούσε με τον κύκλο του Καρνό. Ο βαθμός απόδοσης προκύπτει από τη Σχέση 3.6. Πριν κάνουμε αντικατάσταση, μετατρέπουμε τις τιμές των θερμοκρασιών σε απόλυτες θερμοκρασίες :

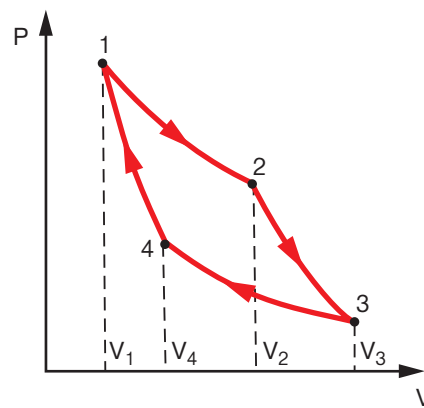
$$T_1 = 727 + 273 = 1000 \text{ K} \quad \text{και} \quad T_2 = 67 + 273 = 340 \text{ K}.$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{340}{1000} = 0,66 \quad \text{ή} \quad \eta = 66\%$$

Ο κύκλος του Καρνό περιλαμβάνει τέσσερις μεταβολές (δύο αδιαβατικές και δύο ισοθερμοκρασιακές) με την ακόλουθη σειρά :

Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση 1-2,
Αδιαβατική εκτόνωση 2-3,
Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση 3-4 και
αδιαβατική συμπίεση 4-1.

Στο Διάγραμμα 3.7 βλέπουμε τις τέσσερις αυτές μεταβολές σε διάγραμμα P-V.



Διάγραμμα 3.7 Κύκλος Καρνό σε διάγραμμα P-V

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Το τέλειο αέριο είναι ένα πρότυπο που μας βοηθά να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά των πραγματικών αερίων. Ορίζεται ως το αέριο εκείνο, για το οποίο τα μεγέθη P , V , m , T συνδέονται με τη σχέση :

$$P \times V = m \times R \times T$$

Προς το τέλειο αέριο πλησιάζει στην πράξη κάθε αέριο που βρίσκεται μακριά από το σημείο υγροποίησης, π.χ. το οξυγόνο, το υδρογόνο σε συνηθισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Τις αλλαγές κατάστασης των αερίων μπορούμε να τις απεικονίσουμε πάνω σε διαγράμματα. Ένα από τα πιο συνηθισμένα είναι το διάγραμμα P - V .

Ισόογκη ονομάζεται η μεταβολή κατά την οποία ο όγκος του αερίου παραμένει σταθερός. Ισόθλιπτη ονομάζεται η μεταβολή κατά τη διάρκεια της οποίας η πίεση παραμένει σταθερή. Μια μεταβολή κατά τη διάρκεια της οποίας η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, ονομάζεται ισοθερμοκρασιακή. Τέλος, αδιαβατική ονομάζεται η μεταβολή κατά τη διάρκεια της οποίας το αέριο δε συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

Όταν το αέριο, μετά από μια σειρά μεταβολών επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, λέμε ότι έκανε μια κυκλική μεταβολή ή κύκλο. Κυκλικές μεταβολές υφίσταται το εργαζόμενο μέσο στις θερμικές και ψυκτικές μηχανές.

Ένας χαρακτηριστικός κύκλος είναι ο κύκλος του Καρνό. Ο βαθμός απόδοσης αυτού του κύκλου είναι ο υψηλότερος από οποιοδήποτε άλλο κύκλο που λειτουργεί ανάμεσα σε δύο δεδομένες θερμοκρασίες.

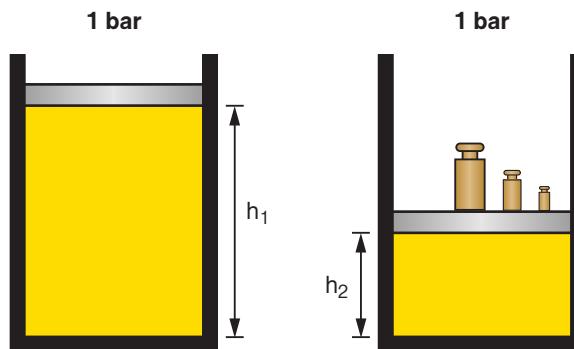


ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Ταυριάζετε τα ονόματα των χαρακτηριστικών μεταβολών των αερίων της πρώτης στήλης με τις φράσεις της δεύτερης στήλης.

Ισοθερμοκρασιακή	Η πίεση παραμένει σταθερή
Ισόθλιπτη	Το αέριο δε συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον
Ισόογκη	Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή
Αδιαβατική	Ο όγκος παραμένει σταθερός

2. Αέριο βρίσκεται σε κύλινδρο σταθερού όγκου. Η αρχική θερμοκρασία του είναι $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η αρχική απόλυτη πίεση είναι 8 kPa . Αν το αέριο θερμανθεί έως ότου η θερμοκρασία του γίνει $303\text{ }^{\circ}\text{C}$, να υπολογιστεί η πίεση που θα αναπτυχθεί στον κύλινδρο και να απεικονισθεί η μεταβολή σε διάγραμμα P-V.
3. Αέριο βρίσκεται σε κύλινδρο, με έμβολο που μπορεί να κινείται ελεύθερα. Η αρχική απόλυτη πίεση του αερίου είναι 4 bar και ο αρχικός του όγκος είναι $0,05\text{ m}^3$. Αν το αέριο συμπιεστεί υπό σταθερή θερμοκρασία μέχρι η πίεσή του να γίνει 12 bar , να υπολογιστεί ο τελικός όγκος του και να απεικονισθεί η μεταβολή σε διάγραμμα P-V.
4. Η αρχική κατάσταση (1) ενός τέλει αερίου περιγράφεται με τις τιμές $P_1 = 1\text{ bar}$, $V_1 = 20\text{ lt}$ και $T_1 = 300\text{ K}$. Αρχικά, υφίσταται μια οσόογκη θέρμανση μέχρι η θερμοκρασία του να γίνει $T_2 = 400\text{ K}$ (κατάσταση 2). Στη συνέχεια, υφίσταται μια ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση μέχρι η πίεσή του να επανέλθει στην αρχική της τιμή (κατάσταση 3) και τέλος μια ισόθλιπτη ψύξη, οπότε επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Απεικονίστε αυτή την κυκλική μεταβολή σε διάγραμμα P-V και υπολογίστε τα μεγέθη P, V, T για κάθε μια από τις καταστάσεις 2 και 3.
5. Στο Σχήμα 3.6 βλέπουμε έναν κύλινδρο με ένα έμβολο αμελητέου βάρους. Περιέχει ένα αέριο, που μπορούμε να το θεωρήσουμε σαν τέλει αέριο. Το έμβολο βρίσκεται σε ισορροπία. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 bar . Η αρχική απόσταση του εμβόλου από τη βάση του κυλίνδρου είναι h_1 .



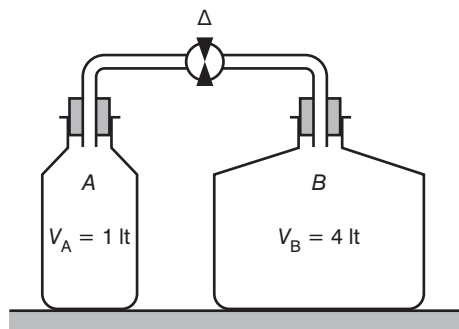
Σχήμα 3.6

- α) Πόση είναι η πίεση του αερίου μέσα στον κύλινδρο ;
- β) Τοποθετούμε βαρίδια πάνω στο έμβολο και αυτό κατεβαίνει και ισορροπεί σε απόσταση $h_2 = h_1/2$ από τη βάση. Θεωρούμε ότι η μεταβολή αυτή έγινε αργά ώστε στο τέλος η θερμοκρασία του αερίου να είναι ίση και πάλι με τη θερμοκρασία του δωματίου. Ποια θα είναι η τελική πίεση του αερίου στον κύλινδρο ;
- γ) Αν το έμβολο έχει εμβαδόν 100 cm^2 , υπολογίστε το συνολικό βάρος των βαριδιών που τοποθετήσαμε πάνω στο έμβολο.
6. Ένα παιδί κρατάει ένα λαστιχένιο μπαλόνι που έχει όγκο 4 lt . Το μπαλόνι περιέχει αέριο ήλιο. Η θερμοκρασία εδάφους είναι 25°C . Το μπαλόνι ξεφεύγει από το παιδί και ανεβαίνει μέχρι ένα σημείο της ατμόσφαιρας, όπου η θερμοκρασία είναι 8°C . Πόσος θα είναι τότε ο όγκος του μπαλονιού ; ^{π1}



Σχήμα 3.7

7. Μια αίθουσα εργαστηρίου έχει διαστάσεις $5 \times 8 \times 4 \text{ m}$. Στην αίθουσα υπάρχουν ένα βαρόμετρο και ένα θερμομέτρο που δείχνουν 1 bar και 27°C αντίστοιχα. Υπολογίστε τη μάζα του αέρα της αίθουσας.
8. Στον αεροθάλαμο ενός αεροσυμπιεστή (κομπρεσέρ) βρίσκονται 20 Kg αέρα υπό πίεση (μανομετρική) 20 bar και θερμοκρασία 20°C . Μετά από λίγο, μια ποσότητα 5 Kg αέρα φεύγει από τον αεροθάλαμο και διοχετεύεται για χρήση. Στο τέλος της διεργασίας το μανόμετρο δείχνει $19,5 \text{ bar}$, ενώ η τελική θερμοκρασία του αέρα στον αεροθάλαμο είναι 18°C . Τι λάθος υπάρχει σ' αυτή τη μικρή ιστορία ; ^{Π1}
9. Δύο φιάλες, όγκου ενός λίτρου (lt) και 4 lt αντίστοιχα, συνδέονται όπως δείχνει το Σχήμα 3.8. Ο όγκος του σωλήνα που συνδέει τις φιάλες είναι πολύ μικρός και μπορείτε στους υπολογισμούς σας να τον αγνοήσετε.



Σχήμα 3.8

Οι αρχικές συνθήκες είναι οι εξής : ο διακόπτης Δ είναι κλειστός. Η φιάλη A περιέχει άζωτο σε θερμοκρασία 0°C και πίεση 2 bar . Στη φιάλη B επικρατεί απόλυτο κενό.

Ανοίγουμε το διακόπτη. Θεωρήστε ότι η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή. Υπολογίστε στην τελική κατάσταση :

- α.** την πίεση που επικρατεί σε κάθε φιάλη
- β.** τη μάζα του αζώτου που βρίσκεται σε κάθε μια φιάλη.

κεφάλαιο 4

ΑΤΜΟΙ

- 4.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΦΑΣΗΣ
- 4.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΑΕΡΙΟ
- 4.3 ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ
- 4.4 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ
- 4.5 ΣΤΡΑΠΤΑΛΙΣΜΟΣ ΥΓΡΟΥ
- 4.6 ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ
- ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
- ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να αντιλαμβάνονται ότι μια ουσία μπορεί να βρεθεί σε τρεις διαφορετικές φυσικές καταστάσεις (φάσεις).
- ✓ Να αναφέρουν σε ποια φυσική κατάσταση (φάση) βρίσκονται διάφορες ουσίες υπό συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.
- ✓ Να ορίζουν τις έννοιες ατμοποίηση, συμπύκνωση, στερεοποίηση, τήξη.
- ✓ Να ορίζουν επακριβώς τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, συμπύκνωσης, πήξης, τήξης και να αναφέρουν τις μονάδες μέτρησής τους.
- ✓ Να αντλούν στοιχεία (ζευγάρια θερμοκρασιών-πιέσεων ατμοποίησης, λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης) από πίνακες ιδιοτήτων των διαφόρων ρευστών.
- ✓ Να δίνουν παραδείγματα εφαρμογής των εννοιών αυτών στα συστήματα ψύξης-κλιματισμού.

4.1 Μετατροπές φάσης

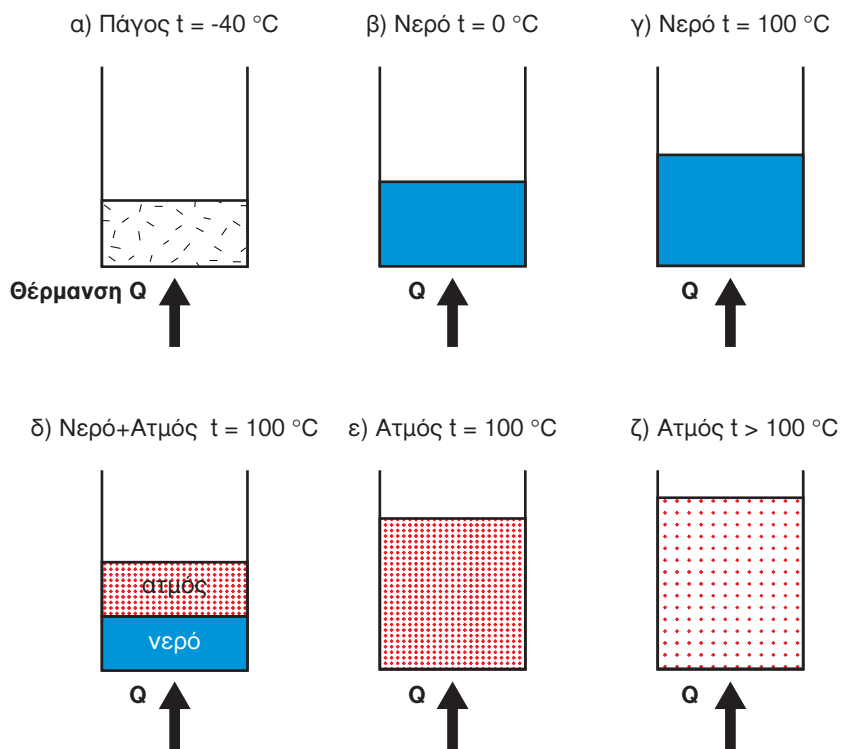
Με τον όρο “φάσεις” (ή **φυσικές καταστάσεις** ή **καταστάσεις της ύλης**) εννοούμε τις τρεις διαφορετικές μορφές υπό τις οποίες μπορεί να βρεθεί μια ουσία στη φύση, δηλαδή τη στερεή, την υγρή και την αέρια. Η χημική ένωση H_2O , για παράδειγμα, παρουσιάζεται στη στερεή φάση ως πάγος, στην υγρή φάση ως νερό και στην αέρια φάση ως υδρατμός.

Όταν μεταβάλλονται οι συνθήκες θερμοκρασίας ή πίεσης (ή και οι δύο), υπό τις οποίες βρίσκεται μια ουσία, είναι δυνατό μια φάση της να μετατρέπεται σε άλλη. Έτσι, εάν π.χ. δώσουμε ένα ποσό θερμότητας σε ένα κομμάτι πάγου θερμοκρασίας $0^{\circ}C$, μετατρέπεται σε νερό της ίδιας θερμοκρασίας. Επίσης, αν ψύξουμε αέριο άζωτο το οποίο βρίσκεται σε συνηθισμένη θερμοκρασία και στη συνέχεια το συμπίεσουμε, μπορούμε να το μετατρέψουμε σε υγρό.

Στο Σχήμα 4.1α έχουμε, μέσα σε ένα κύλινδρο, ένα κομμάτι πάγου θερμοκρασίας $-40^{\circ}C$. Ο κύλινδρος έχει κινητό έμβολο που δεν επιτρέπει την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα στο χώρο που βρίσκεται ο πάγος. Από την πάνω πλευρά του εμβόλου επικρατεί πίεση $1atm$. Αρχίζουμε να θερμαίνουμε τον κύλινδρο και συνεχίζουμε να θερμαίνουμε χωρίς διακοπή καθ’ όλη τη διάρκεια του πειράματος. Παρακολουθούμε συνεχώς με ένα θερμόμετρο τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του κυλίνδρου.

Παρατηρούμε διαδοχικά τα εξής :

Η θερμοκρασία συνεχώς ανεβαίνει μέχρι να φθάσει στους $0^{\circ}C$. Τότε, ο πάγος αρχίζει να τήκεται (να λιώνει). **Όσο διαρκεί η τήξη του πάγου, η θερμοκρασία, στο εσωτερικό του κυλίνδρου, παραμένει σταθερά στους $0^{\circ}C$.** Σ’ όλη τη διάρκεια της τήξης συνυπάρχουν στον κύλινδρο νερό και πάγος στους $0^{\circ}C$.



Σχήμα 4.1. Μετατροπές φάσης του νερού υπό πίεση 1atm

Από τη στιγμή που ολοκληρώνεται το λιώσιμο του πάγου (Σχ. 4.1., κατάσταση β), η θερμοκρασία αρχίζει και πάλι να ανεβαίνει. Η άνοδος συνεχίζεται έως τους 100°C (κατάσταση γ). Από τη στιγμή αυτή και μετά, παρατηρούμε ότι εμφανίζονται φυσαλίδες ατμού μέσα στη μάζα του νερού, οι οποίες κινούνται προς τα πάνω. Πρόκειται για την ίδια ουσία (τη χημική ένωση H_2O) σε αέρια φάση. Το αέριο H_2O , που το ονομάζουμε **υδρατμό**, συγκεντρώνεται πάνω από το υγρό. Καθώς συμβαίνει αυτό, το θερμόμετρο δείχνει σταθερά 100 °C. **Όσο συνυπάρχουν νερό και υδρατμός, η θερμοκρασία παραμένει στους 100 °C** (κατάσταση δ). Όταν όλο το νερό μετατραπεί σε ατμό, η ουσία μας βρίσκεται πλήρως σε αέρια φάση θερμοκρασίας 100 °C (κατάσταση ε). Από τη στιγμή αυτή και μετά παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία αρχίζει πάλι να ανεβαίνει. Έχουμε πλέον ατμό θερμοκρασίας υψηλότερης από 100 °C (κατάσταση ζ).

Σημειώστε ότι το πείραμά μας έγινε υπό πίεση 1atm. Αν επικρατούσε διαφορετική πίεση, όπως θα δούμε πιο κάτω, θα καταγράφαμε διαφορετι-

κές τιμές θερμοκρασίας κατά τις μετατροπές φάσης.

Το σε ποια φάση (φυσική κατάσταση) βρίσκεται ένα σώμα εξαρτάται όχι μόνο από τη θερμοκρασία αλλά και από την πίεση στην οποία βρίσκεται.

Ο συνδυασμός πίεσης και θερμοκρασίας καθορίζει σε ποια φάση βρίσκεται ένα σώμα. Επίσης, ένα σώμα μπορεί να βρίσκεται μερικώς σε μια φάση και μερικώς σε μια άλλη. Έτσι λοιπόν, η χημική ένωση H_2O , σε θερμοκρασία $0^\circ C$ και πίεση 1 Atm, μπορεί να υπάρχει είτε ως πάγος, είτε ως νερό, είτε ως μίγμα των δύο (νερό και πάγος). Το ψυκτικό ρευστό R22¹ μετατρέπεται σε υγρό, υπό πίεση 11,9 bar, στους $30^\circ C$. Σ' αυτόν ακριβώς το συνδυασμό θερμοκρασίας και πίεσης μπορούμε να βρούμε ατμό R22, υγρό R22 ή και μίγμα ατμού και υγρού σε διάφορες αναλογίες.

Ενεργειακές συναλλαγές υπό μορφή θερμότητας κατά τις μετατροπές φάσης

Κατά τις μετατροπές από μια φάση σε μια άλλη είτε απορροφάται είτε αποβάλλεται θερμότητα προς το περιβάλλον. Έτσι, κατά την τήξη και κατά τη μετατροπή του υγρού σε ατμό, απορροφάται θερμότητα από το περιβάλλον. Αντιθέτως, κατά την πήξη των σωμάτων και κατά τη μετατροπή των ατμών σε υγρό, αποβάλλεται θερμότητα προς το περιβάλλον.

Η θερμότητα, η οποία απορροφάται ή αποβάλλεται κατά τις μετατροπές φάσης των σωμάτων, ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα**, διότι δε γίνεται αντιληπτή από μεταβολή θερμοκρασίας, δεν έχει δηλαδή ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος, αλλά μόνο την αλλαγή φάσης.

Η λανθάνουσα θερμότητα εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη μετατροπή φάσης αλλά και από το είδος της ουσίας. Ειδικά για το νερό, η λανθάνουσα θερμότητα είναι πολύ μεγάλη (βλ. και τη δραστηριότητα 12 στο τέλος αυτού του κεφαλαίου).

Στο πείραμα του Σχ. 4.1, το οποίο έγινε υπό πίεση 1atm, χρειάζονται για κάθε kg της ουσίας H_2O , 80 kcal για να μετατραπεί από πάγο $0^\circ C$ σε νερό $0^\circ C$, 100 kcal για να μετατραπεί από νερό $0^\circ C$ σε νερό $100^\circ C$ και 540 kcal για να μετατραπεί από νερό $100^\circ C$ σε ατμό $100^\circ C$.

1. Το γράμμα R υποδηλώνει ψυκτικό μέσο. Θα μιλήσουμε αναλυτικά για τα διάφορα ψυκτικά μέσα στο κεφάλαιο 6.

4.2 Μετατροπή υγρού σε αέριο

Μετατροπή ενός υγρού σε αέριο μπορούμε να έχουμε κατά πολλούς τρόπους.

Ατμοποίηση

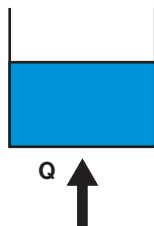
Όταν κατά τη μετατροπή δεν έχουμε παρουσία άλλων αερίων παρά μόνο ατμών από την ίδια ουσία, τότε μιλάμε για **ατμοποίηση**. Στο πείραμα που περιγράψαμε (Σχ. 4.1.δ) είχαμε ατμοποίηση, διότι πάνω από την επιφάνεια του υγρού είχαμε μόνο υδρατμούς και κανένα άλλο αέριο.

Όπως τονίστηκε καθώς περιγράφαμε το πείραμα του Σχ. 4.1, κατά τη διάρκεια της ατμοποίησης παρέμεινε σταθερή και η πίεση και η θερμοκρασία. Επομένως η ατμοποίηση είναι μια μεταβολή **ισόθλιπτη** και **ισοθερμοκρασιακή**.

Μετατροπή υγρού σε αέριο με παρουσία άλλων αερίων

Μετατροπή υγρού σε ατμό μπορεί να γίνει, όπως γνωρίζουμε από την εμπειρία μας, και με παρουσία άλλων αερίων.

Στο ανοιχτό δοχείο του διπλανού σχήματος έχουμε νερό. Θερμαίνουμε το δοχείο και παρατηρούμε πως το νερό σιγά-σιγά μετατρέπεται σε ατμό. Η μετατροπή σε ατμό, στο παράδειγμα αυτό, γίνεται με παρουσία και άλλων αερίων (αυτών που συνθέτουν τον ατμοσφαιρικό αέρα).



Σχήμα 4.2. Μετατροπή του νερού σε ατμό σε ανοιχτό δοχείο

Εξάτμιση και βρασμός

Η μετατροπή σε ατμό, στο Σχήμα 4.2, γίνεται με δύο διαδικασίες :

- την **εξάτμιση**, που γίνεται με δημιουργία φυσαλίδων στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού και μπορεί να συμβεί σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και
- το **βρασμό**, που γίνεται με δημιουργία φυσαλίδων ατμού μέσα στη μάζα του νερού που κινούνται προς τα πάνω, φθάνουν στην ελεύθερη επιφάνεια και σπάζουν.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο της εξάτμισης διαφέρει από το βρασμό ο οποίος, για δεδομένη πίεση, συμβαίνει πάντοτε σε συγκεκριμένη θερμοκρασία που ονομάζεται **σημείο ζέσης**.

Όλοι οι τρόποι μετατροπής από υγρό σε αέριο μας ενδιαφέρουν στις τεχνικές εφαρμογές της ψύξης και του κλιματισμού. Ειδικότερα, στις ψυκτικές διατάξεις χρησιμοποιείται μόνο η ατμοποίηση.

Η ατμοποίηση γίνεται μέσα σε ειδική συσκευή της ψυκτικής διάταξης που ονομάζεται στοιχείο ατμοποίησης ή ψυκτικό στοιχείο (θα το ακούσουμε και με τα ονόματα ατμοποιητής, ψύκτης, εξατμιστής)².



Εικόνα 4.1

Στοιχείο ατμοποίησης κλιματιστικής μονάδας διαιρούμενου τύπου (split unit)

2. Βλέπε σχετικά το κεφάλαιο 5, καθώς και το κεφάλαιο 6, όπου παρουσιάζονται διάφορες κατηγορίες στοιχείων ατμοποίησης που χρησιμοποιούνται.

4.3 Πίεση και Θερμοκρασία Ατμοποίησης

Η θερμοκρασία κατά την οποία συμβαίνει η ατμοποίηση, όταν η επικρατούσα πίεση είναι 1atm, είναι σταθερή και **χαρακτηριστική για κάθε ουσία**. Μερικές τέτοιες χαρακτηριστικές θερμοκρασίες βλέπουμε στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4.1 Θερμοκρασίες ατμοποίησης διαφόρων ουσιών υπό πίεση 1atm

Ήλιο	-269 °C	Αιθέρας	35 °C
Οξυγόνο	-183 °C	Οινόπνευμα	78 °C
R 22	-41 °C	Νερό	100 °C
Αμμωνία	-33,5 °C	Υδράργυρος	357 °C
R 12	-29 °C	Σίδηρος	3000 °C

Στις ίδιες θερμοκρασίες με τις παραπάνω, σε πίεση 1atm, έχουμε και το φαινόμενο του βρασμού. Για το λόγο αυτό, οι αναγραφόμενες θερμοκρασίες ονομάζονται και **σημεία θρασμού ή σημεία ζέσης**.

Όταν αναφερόμαστε στη θερμοκρασία ατμοποίησης, θα πρέπει πάντοτε να καθορίζουμε ποια είναι η πίεση που επικρατεί, διότι **η θερμοκρασία ατμοποίησης εξαρτάται άμεσα από την επικρατούσα πίεση**. Όσο μεγαλύτερη είναι η επικρατούσα πίεση, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία ατμοποίησης. Το νερό, για παράδειγμα, μπορεί να ατμοποιηθεί σε θερμοκρασία κάτω από 100 °C όταν βρισκόμαστε σε υψόμετρο, ενώ ατμοποιείται στους 120 °C όταν επικρατεί απόλυτη πίεση 2 atm. Διάφορες τιμές για τη θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού, ανάλογα με την πίεση, μας δίνει ο πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας 4.2 Θερμοκρασίες-πιέσεις ατμοποίησης του νερού

Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)
0,312	70	1,433	110
0,474	80	1,985	120
0,701	90	2,701	130
1,013	100	3,614	140

Βλέπουμε ότι **πιέσεις και θερμοκρασίες ατμοποίησης αποτελούν ζευγάρια τιμών**. Μπορούμε δηλαδή, για τη συγκεκριμένη ουσία, όταν γνωρίζουμε την πίεση ατμοποίησης να βρίσκουμε, από σχετικούς πίνακες, τη θερμοκρασία ατμοποίησης και αντιστρόφως. Τέτοιους πίνακες, για τα διάφορα ψυκτικά μέσα, μπορείτε να βρείτε στο Παράρτημα 2.

♦ Σε μια ψυκτική εγκατάσταση με ψυκτικό μέσο R22 η ατμοποίηση γίνεται στη θερμοκρασία των -14°C . Ποια είναι η πίεση ατμοποίησης ;

Ανατρέχουμε στον πίνακα ιδιοτήτων του ψυκτικού μέσου R22. Στην πρώτη στήλη έχουμε τη θερμοκρασία ατμοποίησης και στη δεύτερη βρίσκουμε την απόλυτη πίεση ατμοποίησης δηλαδή, στο παράδειγμά μας, 3,14 at.

♦ Η πίεση που βρήκαμε στο προηγούμενο παράδειγμα θα ήταν και η ένδειξη ενός μανόμετρου που μετρούσε την πίεση μέσα στο στοιχείο ατμοποίησης ;

Ασφαλώς όχι. Ο πίνακας μας δίνει την απόλυτη πίεση. Σύμφωνα με όσα γνωρίζουμε (Κεφάλαιο 2, Σχέση 2.10), για να βρούμε τη μανομετρική πίεση θα πρέπει να αφαιρέσουμε από την απόλυτη πίεση, την ατμοσφαιρική που επικρατεί στο σημείο εκείνο. Αν, στο παράδειγμά μας, η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 at, το μανόμετρο θα δείχνει 2,14 at.

♦ Ατμός ψυκτικού μέσου R22 έχει θερμοκρασία 28°C . Ποια είναι η πίεση του ατμού ;

Στην ερώτηση αυτή δεν μπορούμε να απαντήσουμε. Ζευγάρια τιμών αποτελούν οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες ατμοποίησης. Όταν, δηλαδή, βρισκόμαστε σε μετατροπή φάσης και γνωρίζουμε το ένα από τα δύο μεγέθη, τότε μπορούμε να βρούμε το άλλο. Στο ερώτημά μας όμως, δε δηλώνεται πουθενά πως βρισκόμαστε σε μετατροπή φάσης.

Ας σταθούμε λίγο ακόμη στο τελευταίο ερώτημα. Στις ψυκτικές διατάξεις χρησιμοποιούμε τα γνωστά μανόμετρα, τα οποία είναι βαθμονομημένα και σε μονάδες πίεσης και σε μονάδες θερμοκρασίας. Μπορούμε, δηλαδή, να βρούμε και από εκεί τα ζευγάρια πίεσης-θερμοκρασίας. **Το ζευγάρι αυτό, όμως, ισχύει μόνο στις περιπτώσεις που μετράμε σε σημεία της ψυκτικής διάταξης, όπου γνωρίζουμε πως συνυπάρχουν ατμός και υγρό ψυκτικό μέσο.** Σε όλα τα άλλα σημεία της ψυκτικής εγκατάστασης το ζευγάρι αυτό δεν ισχύει και το όργανο **μετρά την πίεση και μόνο.**

Από όσα εκτέθηκαν παραπάνω, φαίνεται ότι χρειαζόμαστε περισσότερους όρους για να εκφράσουμε τις διάφορες καταστάσεις του υγρού και του ατμού. Ας τους δούμε αναλυτικά :

Υπόψυκτο υγρό ονομάζουμε το υγρό που βρίσκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης που αντιστοιχεί στην πίεσή του. (π.χ στο Σχήμα 4.1, οι καταστάσεις που έχουμε νερό στον κύλινδρο, από την κατάσταση β έως πριν φθάσουμε στην κατάσταση γ)

Κορεσμένο υγρό ονομάζεται το υγρό που βρίσκεται σε πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης. (π.χ. Κατάσταση γ στο σχήμα 4.1)

Κορεσμένος ατμός ονομάζεται ο ατμός που βρίσκεται σε πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης και συνυπάρχει με κορεσμένο υγρό. (Ο ατμός της κατάστασης δ στο σχ.4.1)

Ξηρός κορεσμένος ατμός ονομάζεται ο ατμός που βρίσκεται σε πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης και είναι απαλλαγμένος από σταγονίδια υγρού. (Κατάσταση ε στο σχ.4.1)

Υπέρθερμος ατμός ονομάζεται ο ατμός που βρίσκεται σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης. (Κατάσταση ζ στο σχ.4.1)

Όταν χαρακτηρίζουμε τον ατμό κορεσμένο, δε γνωρίζουμε επακριβώς σε ποιο σημείο της διαδικασίας ατμοποίησης (ή συμπύκνωσης) βρισκόμαστε. Γι' αυτό, υπάρχει ένα συμπληρωματικό μέγεθος που ονομάζεται **βαθμός ξηρότητας** και μας δείχνει τι μέρος από τη μάζα του μίγματος υγρού-ατμού είναι ατμός. Ο **βαθμός ξηρότητας ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας του ατμού προς το σύνολο της μάζας ατμού και υγρού**.

Βαθμός ξηρότητας 0,7 σημαίνει ότι το 70% από τη μάζα του μίγματος είναι ατμός και το 30% υγρό. Από όσα είπαμε, συνάγεται ότι ο βαθμός ξηρότητας του κορεσμένου υγρού είναι 0, ενώ ο βαθμός ξηρότητας του ξηρού κορεσμένου ατμού είναι 1.

Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται να απορροφήσει ένα kg κορεσμένου υγρού ενός σώματος για να μετατραπεί σε ξηρό κορεσμένο ατμό της ίδιας θερμοκρασίας. Η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης ορισμένων ουσιών είναι μεγάλη. Το νερό είναι μια από τις ουσίες αυτές. Μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης είναι ένα από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των ψυκτικών μέσων, όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 6.

Η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης δεν είναι σταθερή αλλά εξαρ-

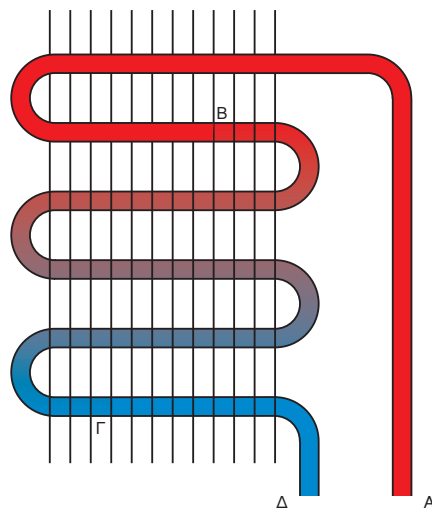
τάται από την πίεση και τη θερμοκρασία : **όσο μεγαλύτερη είναι η επικρατούσα πίεση, τόσο μικρότερη είναι η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης**. Ανατρέχοντας στους πίνακες ιδιοτήτων των ψυκτικών μέσων (Παράρτημα 2) βλέπουμε σε ειδική στήλη τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης που αντιστοιχεί σε κάθε ζευγάρι θερμοκρασίας-πίεσης ατμοποίησης.

4.4 Συμπύκνωση

Συμπύκνωση είναι το αντίστροφο φαινόμενο της ατμοποίησης. Σ' αυτή έχουμε μετατροπή ατμού σε υγρό. Τα ζευγάρια πίεσης-θερμοκρασίας που ισχύουν για την ατμοποίηση ενός σώματος ισχύουν και για τη συμπύκνωση.

Κατά τη συμπύκνωση έχουμε αποβολή θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον. **Λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης** είναι το ποσό θερμότητας που αποβάλλει ένα Kg ξηρού κορεσμένου ατμού μιας ουσίας για να μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό της ίδιας θερμοκρασίας. Μετριέται σε kJ ανά kg (kJ / kg) καθώς και σε kcal/kg.

Στις συνήθεις ψυκτικές εγκαταστάσεις η συμπύκνωση γίνεται σε ειδική συσκευή που ονομάζεται συμπυκνωτής. Στο σχήμα που ακολουθεί, παριστάνεται ο συμπυκνωτής ενός οικιακού ψυγείου. Αποτελείται από ένα μεγάλο σωλήνα και πτερύγια ώστε να μεγαλώνει η επιφάνεια για να πετυχαίνεται πιο εύκολα η αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον.



Σχήμα 4.3 Συμπυκνωτής οικιακού ψυγείου

Στην είσοδο του συμπυκνωτή (σημείο Α) εισέρχεται ατμός του ψυκτικού μέσου. Ο ατμός αυτός είναι υπέρθερμος. Στο πρώτο τμήμα (ΑΒ) του συμπυκνωτή ο υπέρθερμος ατμός αποβάλλει θερμότητα προς το περιβάλλον και μετατρέπεται (στο σημείο Β) σε ξηρό κορεσμένο ατμό.

Από το σημείο Β (Σχ. 4.3) αρχίζει η συμπύκνωση, η οποία ολοκληρώνεται στο σημείο Γ με τη μετατροπή του ψυκτικού ρευστού σε κορεσμένο υγρό. Μετά το σημείο Γ, το ρευστό συνεχίζει να αποβάλλει θερμότητα και μετατρέπεται σε υπόψυκτο υγρό (τμήμα ΓΔ). Στο τμήμα ΒΓ της σωλήνωσης του συμπυκνωτή συνυπάρχουν κορεσμένος ατμός και υγρό ψυκτικό. Σ' όλη τη διάρκεια της διεργασίας στο συμπυκνωτή, η πίεση παραμένει σταθερή (αν παραλείψουμε την πολύ μικρή πτώση πίεσης λόγω απωλειών τριβών του ρευστού μέσα στο σωλήνα). Πρόκειται, δηλαδή, για **ισόθλιπτη αλλαγή**. Θυμηθείτε το αυτό όταν θα σχεδιάζουμε τον ψυκτικό κύκλο σε διάγραμμα **p-h**. Ειδικότερα, από το Β έως το Γ παραμένουν σταθερές και η πίεση και η θερμοκρασία. Η αλλαγή ΒΓ είναι και ισόθλιπτη και ισοθερμοκρασιακή.

Πιο κάτω βλέπουμε πίνακα με ζευγάρια θερμοκρασιών-πιέσεων συμπύκνωσης (τα οποία είναι και ζευγάρια θερμοκρασιών-πιέσεων ατμοποίησης) για ένα ψυκτικό μέσο που ήταν ευρύτατα διαδεδομένο σε παλαιότερες εγκαταστάσεις, το R12. Το ψυκτικό αυτό μέσο τείνει να αντικατασταθεί, με βάση τους διεθνείς κανονισμούς (υπάρχει ακόμη μόνο σε παλιές εγκαταστάσεις) για σοβαρούς λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, τους οποίους θα αναπτύξουμε στο κεφάλαιο 6.

Πίνακας 4.3 Θερμοκρασία, πίεση και λανθάνουσα θερμότητα συμπίκνωσης του ψυκτικού ρευστού R12

Θερμοκρασία (°C)	Πίεση (bar)	Λανθάνουσα θερμότητα συμπίκνωσης (kJ/kg)
-35	0,808	169,1
-30	1,005	167,4
-20	1,510	163,7
-10	2,193	159,5
-5	2,609	157
0	3,086	154,9
5	3,625	152,4
10	4,230	149,9
15	4,911	147,3
20	5,667	144,4
25	6,508	141,5
30	7,435	138,6

Μελετώντας τον πίνακα μπορούμε να κατανοήσουμε το βασικό λόγο για τον οποίο χρειάζεται ο συμπιεστής στην ψυκτική μονάδα : το R12 υπό κανονική πίεση (1atm απόλυτη πίεση) ατμοποιείται περίπου στους -29 °C. Μπορεί δηλαδή να ατμοποιηθεί, σε πιέσεις κοντά στην ατμοσφαιρική, μέσα σ' ένα ψυχόμενο χώρο θερμοκρασίας π.χ. -15 °C καθώς περνά τις σωληνώσεις του ψυκτικού στοιχείου. Όταν όμως εξέρχεται από τον ψυχόμενο χώρο στο περιβάλλον, όπου επικρατεί π.χ. θερμοκρασία 28 °C, πώς είναι δυνατό να συμπυκνωθεί ; Είναι αδύνατο να συμπυκνωθεί, αν παραμείνει σε απόλυτη πίεση κοντά στη 1atm. Με την παρεμβολή όμως του συμπιεστή, το ψυκτικό μέσο (οι ατμοί του ψυκτικού) αποκτούν υψηλή πίεση οπότε, όπως δείχνει ο Πίνακας 4.3, ανεβαίνει και η θερμοκρασία συμπίκνωσης. Σύμφωνα με τον πίνακα, αν η απόλυτη πίεση του ρευστού ανεβεί περίπου στα 7,5 bar, η αντίστοιχη θερμοκρασία συμπίκνωσης γίνεται 30 °C. Είναι επομένως δυνατό να γίνει συμπίκνωση σε περιβάλλον θερμοκρασίας 28 °C.³

Όπως καταλαβαίνουμε, στις τεχνικές εφαρμογές, η ατμοποίηση και η συμπύκνωση είναι ένα “παιχνίδι” συνδυασμών θερμοκρασίας και πίεσης. Μπορεί κανείς να ατμοποιήσει ένα υγρό προσδίδοντάς του θερμότητα, ώστε να φτάσει στη θερμοκρασία ατμοποίησης που αντιστοιχεί στην πίεση του ψυκτικού μέσου. Μπορεί επίσης να συμπυκνώσει ένα αέριο ψύχοντάς το, ώστε να φτάσει στη θερμοκρασία συμπύκνωσης για τη δεδομένη πίεση. Μπορεί όμως να κάνει και το εξής : να επιτύχει ατμοποίηση ενός υγρού χωρίς να το θερμάνει αλλά μειώνοντάς του την πίεση (βλ. δραστηριότητες 6,8,9 στο τέλος αυτού του κεφαλαίου). Ακόμη, μπορεί να συμπυκνώσει ένα αέριο χωρίς κατευθείαν να μειώσει τη θερμοκρασία του, αλλά οδηγώντας το με συμπίεση πρώτα και μετά με ψύξη σε ένα άλλο συνδυασμό πίεσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης. Σ’ αυτό βοηθά ο **συμπιεστής** της ψυκτικής εγκατάστασης.⁴

Στο σημείο αυτό θα πρέπει όμως να προσέξουμε το εξής : **η συμπύκνωση με συμπίεση δεν μπορεί να επιτευχθεί πάντοτε**. Υπάρχει για το κάθε σώμα μια θερμοκρασία χαρακτηριστική **πάνω από την οποία δεν μπορούμε να πετύχουμε συμπύκνωση με συμπίεση, αλλά θα πρέπει πρώτα να ελαττώσουμε τη θερμοκρασία του σώματος**. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται **κρίσιμη θερμοκρασία** και είναι διαφορετική και χαρακτηριστική για κάθε ουσία. Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε τις κρίσιμες θερμοκρασίες διαφόρων ουσιών.

3. Συνήθως, όπως θα δούμε στο Β΄ μέρος του βιβλίου, η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία συμπύκνωσης και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ακόμη μεγαλύτερη από τους 2 °C που είχαμε στο παράδειγμά μας.

4. Εκτός από αυτή τη βασική αποστολή, ο συμπιεστής έχει και το ρόλο του κυκλοφορητή του ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα.

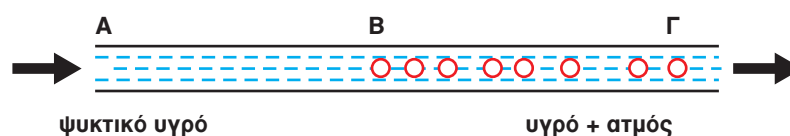
Πίνακας 4.4 Κρίσιμες θερμοκρασίες και κρίσιμες πιέσεις διαφόρων ουσιών

Ουσία	Κρίσιμη θερμοκρασία (°C)	Κρίσιμη πίεση (bar)	Ουσία	Κρίσιμη θερμοκρασία (°C)	Κρίσιμη πίεση (bar)
Νερό	374	221,6	Οξυγόνο	-119	49
Αιθέρας	194	34,8	Αέρας	-141	36,3
Αμμωνία	132	109,3	Άζωτο	-147	34,3
R12	111,5	38,7	Υδρογόνο	-240	12,7

Τι σημαίνει ότι το νερό έχει κρίσιμη πίεση 374 °C ; Σημαίνει ότι αν έχουμε ατμούς νερού πάνω από αυτή τη θερμοκρασία, δεν μπορούμε να τους συμπυκνώσουμε στη θερμοκρασία που βρίσκονται ή πάνω από αυτή. Μόνο με ελάττωση της θερμοκρασίας των ατμών μπορούμε να οδηγηθούμε σε ζευγάρι πίεσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης. Προσέξτε ότι δίπλα από τη στήλη κρίσιμη θερμοκρασία υπάρχει η στήλη κρίσιμη πίεση. Είναι η πίεση, η οποία αντιστοιχεί στην κρίσιμη θερμοκρασία, το “ταίρι” της κρίσιμης πίεσης στον πίνακα ζευγαριών πιέσεων-θερμοκρασιών ατμοποίησης. Προσέξτε ακόμα την κρίσιμη θερμοκρασία του αέρα : είναι -141 °C. Αυτό σημαίνει ότι ο αέρας δεν μπορεί να υγροποιηθεί με συμπίεση σε συνηθισμένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Πρέπει πρώτα να ψυχθεί μέχρι να κατεβεί η θερμοκρασία του στους -141 °C και πιο χαμηλά για να είναι δυνατή η υγροποίησή του. Με άλλα λόγια, **πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία, όποια κι αν είναι η πίεση, δεν είναι δυνατό να συνυπάρχουν η υγρή και η αέρια φάση.** Υπάρχει **μόνο η αέρια φάση.**

4.5 Στραγγαλισμός Υγρού

Στο προηγούμενο κεφάλαιο (§ 3.3) μελετήσαμε το στραγγαλισμό αερίου. Πολλές φορές επιθυμούμε να πετύχουμε **πτώση πίεσης** ενός υγρού και προχωράμε με αντίστοιχο τρόπο σε “καταστροφή” της πίεσης. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντική στις ψυκτικές διατάξεις και λαμβάνει χώρα μέσα σε ειδικές συσκευές, που ονομάζονται **εκτονωτικά μέσα**. Θα μιλήσουμε για τα μέσα αυτά στο κεφάλαιο 6. Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται ένας συνηθισμένος τρόπος στραγγαλισμού του υγρού ψυκτικού μέσου.



Σχήμα 4.4 Στραγγαλισμός υγρού

Βλέπουμε το τμήμα ενός σωλήνα με πολύ μικρή διάμετρο, μέσα στον οποίο ρέει ψυκτικό υγρό. Στην είσοδο A του σωλήνα το ρευστό είναι υπό-ψυκτο υγρό. Καθώς κινείται μέσα στο σωλήνα έχουμε πτώση πίεσης λόγω τριβών. Η πίεση λοιπόν συνεχώς πέφτει. Κάποια στιγμή η πίεση θα φτάσει την πίεση ατμοποίησης που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του υγρού. Από το σημείο εκείνο και έπειτα (σημείο B) εμφανίζονται φυσαλίδες ατμού, συνεχίζει να πέφτει η πίεση, πέφτει όμως και η θερμοκρασία του υγρού, διότι από αυτό αφαιρείται συνεχώς θερμότητα. Πρόκειται για τη θερμότητα ατμοποίησης, την οποία απορροφά η μάζα του ρευστού που μετατρέπεται σε ατμό.

4.6 Στερεοποίηση

Στερεοποίηση ή **πήξη** είναι η μετατροπή μιας υγρής ουσίας στη στερεή κατάσταση. Το αντίστροφο φαινόμενο, η μετάβαση δηλαδή ενός στερεού σώματος στην υγρή κατάσταση ονομάζεται **τήξη**.



Θερμοκρασία τήξης είναι η θερμοκρασία κατά την οποία γίνεται η τήξη ενός σώματος. Η **θερμοκρασία πήξης** είναι αυτή στην οποία γίνεται το αντίστροφο φαινόμενο από την τήξη, δηλαδή η πήξη ενός σώματος. Η θερμοκρασία πήξης είναι ίση με τη θερμοκρασία τήξης, υπό την προϋπόθεση ότι τα δύο φαινόμενα γίνεται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Οι θερμοκρασίες τήξης και πήξης παραμένουν σταθερές σ' όλη τη διάρκεια της μετατροπής φάσης.

Οι θερμοκρασίες τήξης και πήξης εξαρτώνται από την πίεση που επικρατεί. Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται τα κανονικά (δηλ. σε πίεση 1 atm) σημεία τήξης και πήξης (θερμοκρασίες τήξης και πήξης) διαφόρων σωμάτων:

Πίνακας 4.5 Θερμοκρασίες τήξης (σημεία τήξης)
διαφόρων σωμάτων σε πίεση 1 atm

Αιθυλική αλκοόλη	-114,6 °C	Κασσίτερος	231,9 °C
Υδράργυρος	-38,9 °C	Μόλυβδος	327,4 °C
Θαλασσινό νερό	-2,5 °C	Σίδηρος	1535 °C
Καθαρό νερό	0 °C	Λευκόχρυσος	1774 °C
Θείο	115 °C	Βολφράμιο	3370 °C

Στις θερμοκρασίες αυτές τα παραπάνω σώματα μετατρέπονται από **υγρό σε στερεά** ή αντιστρόφως από **στερεά σε υγρά**. Ο υδράργυρος για παράδειγμα στερεοποιείται, υπό πίεση 1 atm, στους -38,9 °C. Στον Πίνακα 4.5 αξίζει να προσέξουμε και τα εξής :

- Τα σημεία πήξης του καθαρού (απεσταγμένου) νερού και του θαλασσινού νερού διαφέρουν. Όταν το νερό περιέχει αλάτι, το σημείο πήξης είναι πιο χαμηλό.
- Ο κασσίτερος έχει χαμηλό σημείο τήξης (≈ 232 °C). Γι' αυτό το λόγο είναι βασικό στοιχείο των μαλακών κολλήσεων.
- Το βολφράμιο έχει το υψηλότερο σημείο τήξης απ' όλα τα μέταλλα. Από βολφράμιο φτιάχνονται τα νήματα των λαμπτήρων πυράκτωσης, γιατί εκεί αναπτύσσονται θερμοκρασίες περίπου 2500 °C, όπου κανένα άλλο μέταλλο δε θα παρέμενε σε στερεή κατάσταση.

Λανθάνουσα θερμότητα τήξης ενός σώματος είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται να απορροφήσει 1 kg ενός στερεού σώματος, που βρίσκεται σε θερμοκρασία τήξης, για να μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε υγρό της ίδιας θερμοκρασίας.

Λανθάνουσα θερμότητα πήξης ενός σώματος είναι το ποσό θερμότητας που αποβάλλει 1 kg ενός υγρού σώματος, που βρίσκεται σε θερμοκρασία πήξης, για να γίνει εξ ολοκλήρου στερεό της ίδιας θερμοκρασίας. Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα πήξης υπό την προϋπόθεση ότι τα δύο φαινόμενα γίνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Μετρώνται και οι δύο σε **kJ/kg** ή **kcal/kg** ($1 \text{ kcal/kg} = 4,186 \text{ kJ/kg}$).



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στερεοποίηση ή πήξη είναι η μετάβαση ενός υγρού από την υγρή στη στερεή κατάσταση. Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται **τήξη**. Και τα δύο φαινόμενα συμβαίνουν υπό την ίδια σταθερή θερμοκρασία, που είναι χαρακτηριστική για κάθε σώμα όταν η πίεση είναι 1atm . Η θερμοκρασία τήξης και πήξης μεταβάλλεται με την πίεση που επικρατεί.

Λανθάνουσα θερμότητα τήξης ενός σώματος είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται να απορροφήσει 1Kg ενός στερεού σώματος, που βρίσκεται σε θερμοκρασία τήξης, για να μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε υγρό της ίδιας θερμοκρασίας.

Λανθάνουσα θερμότητα πήξης ενός σώματος είναι το ποσό θερμότητας που αποβάλλει 1Kg ενός υγρού σώματος, που βρίσκεται σε θερμοκρασία πήξης, για να μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε στερεό της ίδιας θερμοκρασίας.

Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα πήξης υπό την προϋπόθεση ότι τα δύο φαινόμενα γίνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

Ατμοποίηση ενός υγρού είναι η μετατροπή του σε αέριο σε χώρο όπου δεν υπάρχουν, εκτός των ατμών του υγρού, άλλα αέρια. **Συμπύκνωση** είναι το αντίστροφο φαινόμενο. Και τα δύο φαινόμενα λαμβάνουν χώρα σε συγκεκριμένη χαρακτηριστική θερμοκρασία για κάθε σώμα, όταν η πίεση είναι 1atm . Σε διαφορετικές πιέσεις έχουμε και διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποίησης. Γενικά, οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις ατμοποίησης αποτελούν ζευγάρια τιμών και μπορούμε, γνωρίζοντας τη μια τιμή, να βρούμε την άλλη από πίνακες και διαγράμματα.

Οι καταστάσεις υγρού και ατμού χαρακτηρίζονται από διάφορα ονόματα. Το καθένα από αυτά (**υπόψυκτο υγρό, κορεσμένο υγρό, κορεσμένος ατμός, ξηρός κορεσμένος ατμός, υπέρθερμος ατμός**) μας πληροφορεί για την κατάσταση που βρίσκεται το ρευστό σε σχέση με τις συνθήκες ατμοποίησης.

Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται να απορροφήσει ένα Kg κορεσμένου υγρού ενός σώματος για να μετατραπεί σε ξηρό κορεσμένο ατμό της ίδιας θερμοκρασίας.

Λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης είναι το ποσό θερμότητας που αποβάλλει ένα kg ξηρού κορεσμένου ατμού ενός σώματος για να μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό της ίδιας θερμοκρασίας.

Η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης υπό την προϋπόθεση ότι τα δύο φαινόμενα γίνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Σε μια ψυκτική εγκατάσταση που λειτουργεί με ψυκτικό μέσο R12 η συμπύκνωση γίνεται στους 35 °C. Ποια είναι η πίεση συμπύκνωσης ;
2. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ εξάτμισης και βρασμού ;
3. Τι είναι θερμοκρασία ατμοποίησης και από ποιους παράγοντες εξαρτάται ;
4. Πολλές φορές η νοικοκυρά δυναμώνει τη φλόγα κάτω από τη χύτρα που βράζει, για να γίνει το φαγητό γρηγορότερα. Είναι σωστή αυτή η ενέργεια ;
5. Ποιος είναι ο ρόλος του συμπιεστή σε μια ψυκτική εγκατάσταση ;
6. Είναι δυνατό να βράσει το νερό χωρίς να το θερμάνουμε ;
7. Τι ποσό θερμότητας πρέπει να δοθεί σε 2,5 kg κορεσμένου υγρού ψυκτικού μέσου R12 για να ατμοποιηθεί υπό πίεση 4bar ;

8. Στα ψυγεία των ατμομηχανών (βλ. Κεφάλαιο 2, § 2.11) γίνεται συμπύκνωση των υδρατμών. Εκεί οδηγούνται οι ατμοί μετά το πέρασμά τους από τη μηχανή. Μέσα στα ψυγεία συχνά επικρατεί πίεση χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Φανταστείτε ένα τέτοιο ψυγείο, στο οποίο έχουμε πίεση 0,7 atm. Σε ποια θερμοκρασία γίνεται η συμπύκνωση των ατμών ;
9. Η φιάλη του διπλανού σχήματος ήταν ανοιχτή και βράσαμε σ' αυτή νερό για αρκετή ώρα, έτσι ώστε να εκδιωχθεί όλος ο αέρας που υπήρχε πάνω από το νερό μέσα στη φιάλη. Στη συνέχεια σταματήσαμε να θερμαίνουμε, της βάλουμε πώμα και την αναστρέψαμε. Ρίχνοντας νερό πάνω στη φιάλη παρατηρούμε ότι το νερό, μέσα στη φιάλη, αρχίζει πάλι να βράζει. Πώς εξηγείται το φαινόμενο αυτό ;

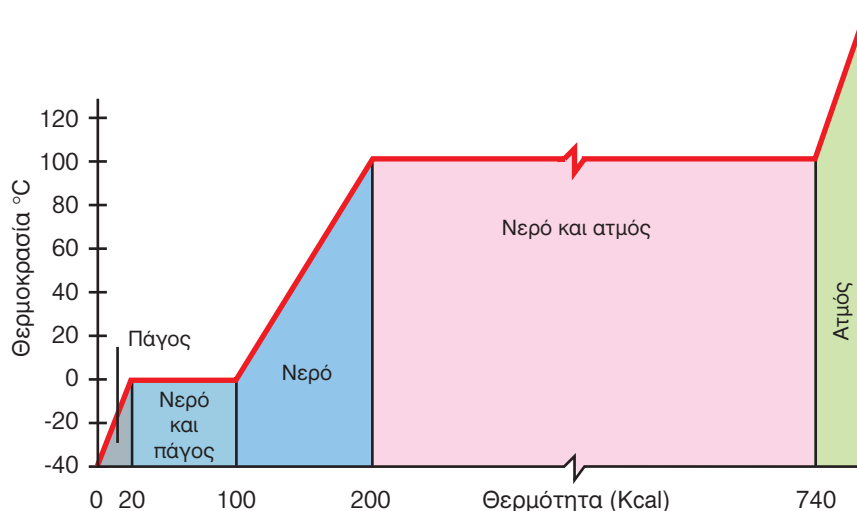


Σχήμα 4.5

10. Στο σημείο Α του τριχοειδούς σωλήνα του Σχήματος 4.5 εισέρχεται υγρό ψυκτικό μέσο R134a, θερμοκρασίας 25 °C. Υπολογίστε την πίεση του ρευστού τη στιγμή κατά την οποία εμφανίζονται οι πρώτες φυσαλίδες (σημείο Β) ^{Π1}.
11. Ένα από τα ονόματα που χρησιμοποιούνται στην πράξη για το ψυκτικό στοιχείο μιας ψυκτικής εγκατάστασης είναι *εξατμιστής*. Γιατί αυτός ο όρος δεν εκφράζει σωστά αυτό που συμβαίνει στη συγκεκριμένη συσκευή ;
12. Θυμηθείτε το χυμό πορτοκαλιού της ερώτησης 2.12. Σε ποια περίπτωση θεωρείτε ότι ο χυμός θα φθάσει σε χαμηλότερη θερμοκρασία : αν

επιλέξουμε τη λύση “παγάκι” ή αν επιλέξουμε τη λύση “νερό ίσης μάζας και θερμοκρασίας με το παγάκι” ;

13. Στο Διάγραμμα 4.1 παριστάνεται η θερμοκρασία της ουσίας H_2O ως συνάρτηση της προσδιδόμενης θερμότητας, στο πείραμα που παρακολουθήσαμε στην αρχή αυτού του κεφαλαίου (Σχήμα 4.1). Τα ποσά θερμότητας του οριζόντιου άξονα αντιστοιχούν σε 1 kg της ουσίας H_2O .



Διάγραμμα 4.1

- α.** Σε ποιες περιοχές του παραπάνω διαγράμματος έχουμε μετατροπές φάσης ; Ποια είναι η μορφή της καμπύλης σ' αυτές τις περιοχές ;
- β.** Προσδιορίστε πάνω στο διάγραμμα τα σημεία που απεικονίζουν τις καταστάσεις α, β, γ, δ, ε και ζ αντίστοιχα. Υπάρχουν κάποια σημεία που δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια ;
- γ.** Τι ποσό θερμότητας χρειάστηκε για να μετατραπεί η ποσότητα 1kg πάγου θερμοκρασίας -40°C σε ξηρό κορεσμένο ατμό θερμοκρασίας 100°C ;
- δ.** Υπολογίστε τι ποσό από τη θερμότητα του ερωτήματος γ ήταν αισθητή και τι ποσό λανθάνουσα. Τι παρατηρείτε κάνοντας τη σύγκριση ανάμεσα στα δύο ποσά ;

κεφάλαιο 5

ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

- 
- 5.1 ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ
 - 5.2 ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ
 - 5.3 ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ
 - 5.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ
 - 5.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ
 - 5.6 ΥΠΟΨΥΞΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ
- ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
- ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να περιγράφουν τις διάφορες διεργασίες του ψυκτικού κύκλου.
- ✓ Να αναγνωρίζουν τις ενεργειακές συναλλαγές που γίνονται σε κάθε διεργασία.
- ✓ Να ορίζουν τις έννοιες ψυκτική ισχύς και απορριπτόμενη θερμική ισχύς.
- ✓ Να κάνουν ενεργειακό ισολογισμό σε έναν ψυκτικό κύκλο.
- ✓ Να εξηγούν γιατί η απορριπτόμενη θερμική ισχύς σε ένα ψυκτικό κύκλο είναι μεγαλύτερη από την ψυκτική ισχύ.
- ✓ Να ορίζουν το συντελεστή συμπεριφοράς ψυκτικού κύκλου και να τον υπολογίζουν σε συγκεκριμένα παραδείγματα.
- ✓ Να εξηγούν γιατί είναι απαραίτητη η υπόψυξη συμπυκνώματος στον ψυκτικό κύκλο.
- ✓ Να εξηγούν τον ψυκτικό κύκλο σ' ένα τυπικό σύστημα ψύξης-κλιματισμού.

5.1 Ψυκτική Ισχύς

Στις διάφορες εφαρμογές της ψύξης αφαιρούμε θερμότητα από ένα χώρο (ή απευθείας από ένα προϊόν) που θέλουμε να διατηρήσουμε σε χαμηλή θερμοκρασία. Ψυκτική ισχύς μιας εγκατάστασης ονομάζεται το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από το χώρο στη μονάδα του χρόνου. Μια και πρόκειται για ισχύ, οι μονάδες της θα είναι αυτές που έχουμε συζητήσει στο Κεφάλαιο 2, δηλαδή Watt στο S.I., αλλά επίσης στις διάφορες εφαρμογές kcal/h, Btu/h και RT (ψυκτικός τόνος).

Ο πιο απλός τρόπος για να γίνει αφαίρεση θερμότητας από ένα χώρο που επιθυμούμε να ψύξουμε, είναι να εκμεταλλευτούμε το γεγονός ότι κατά τη μετατροπή φάσης ενός υγρού σε αέριο απορροφάται από τον περιβάλλοντα χώρο θερμότητα. Για να είναι όμως η ψύξη συνεχής και να μην τελειώνει, όταν μετατρέπεται σε αέριο ένα υγρό, θα πρέπει **το ρευστό μας να βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα και να μετατρέπεται συνεχώς, σε κάθε κύκλο, από την υγρή στην αέρια φάση και αντιστρόφως**. Η μετατροπή στην αέρια φάση θα πρέπει να γίνεται στον ψυχόμενο χώρο¹, ώστε να αφαιρείται συνεχώς από το χώρο θερμότητα. Όπως έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μετατροπή αυτή γίνεται μέσα σε ειδικές συσκευές (στοιχεία ατμοποίησης).

5.2 Απορριπτόμενη Θερμότητα

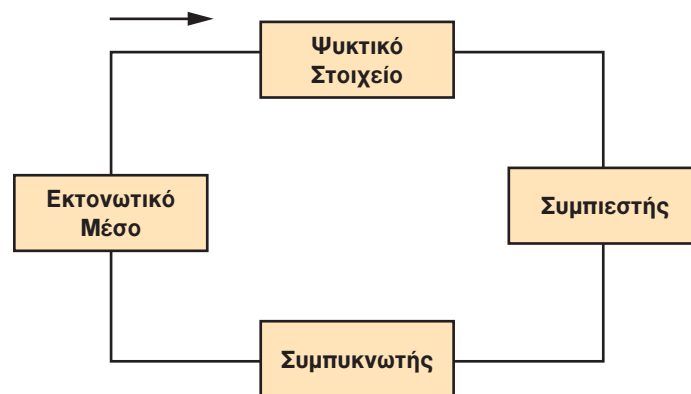
Με την ψυκτική μηχανή πετυχαίνουμε να μεταφερθεί θερμότητα από έναν ψυχρό σε ένα θερμό χώρο. Στα οικιακά ψυγεία, για παράδειγμα, έχουμε αποβολή θερμότητας προς τον περιβάλλοντα χώρο μέσω του συμπυκνωτή, που συνήθως είναι τοποθετημένος στη ράχη του ψυγείου. Απόρριψη θερμότητας προς το περιβάλλον συμβαίνει και σε κάθε ψυκτική μηχανή. Το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στη μονάδα του χρόνου το ονομάζουμε απορριπτόμενη θερμική ισχύ και το μετράμε, στο S.I., σε Watt.

¹ Εκτός των περιπτώσεων που χρησιμοποιούνται δευτερεύοντα ψυκτικά (άλμες). Θα τις συναντήσουμε στο Κεφάλαιο 6

5.3 Ψυκτικός Κύκλος

Ας θυμηθούμε για λίγο το Β' θερμοδυναμικό αξίωμα για ψυκτική μηχανή, το οποίο αναπτύξαμε στο Κεφάλαιο 2. Λέγαμε τότε πως η μετάδοση θερμότητας από ψυχρό σε θερμό σώμα δε συμβαίνει από μόνη της στη φύση. Για να επιτύχουμε κάτι τέτοιο, **για να “αντλήσουμε” δηλαδή θερμότητα από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας προς ένα χώρο υψηλής θερμοκρασίας, πρέπει να δώσουμε μηχανικό έργο**. Έχοντας αυτό υπόψη μας, είμαστε έτοιμοι πλέον να παρακολουθήσουμε τις διεργασίες που γίνονται στον ψυκτικό κύκλο με μηχανική συμπίεση ατμών που είναι και η συνηθέστερη μέθοδος παραγωγής ψύξης στην πράξη.

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί μέσα σε κλειστό κύκλωμα, όπως δείχνει το Σχήμα 5.1.



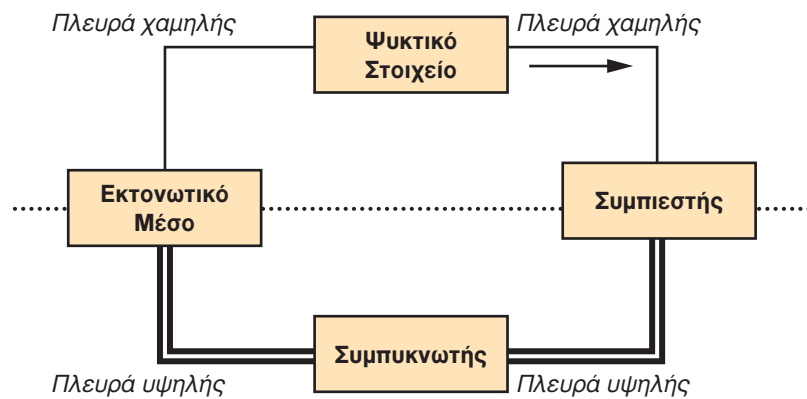
Σχήμα 5.1 Τα κύρια μέρη του ψυκτικού κύκλου

Το ψυκτικό υγρό ατμοποιείται μέσα στο ψυκτικό στοιχείο απορροφώντας έτσι θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο. Ο συμπιεστής απάγει τον παραγόμενο ατμό του ψυκτικού και τον συμπιέζει **ώστε να μπορέσει να υγροποιηθεί** στη συνέχεια σε θερμοκρασία υψηλότερη όχι μόνο από αυτή που επικρατεί στον ψυχόμενο χώρο αλλά και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος². Η υγροποίηση γίνεται στο συμπυκνωτή, όπου έχουμε πάλι συναλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ψυκτικό μέσο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, στο συμπυκνωτή γίνεται αποβολή θερμότητας προς το περι-

2 Βλ. επίσης την § 4.4, καθώς και την § 5.4 λίγο πιο κάτω σ' αυτό το κεφάλαιο.

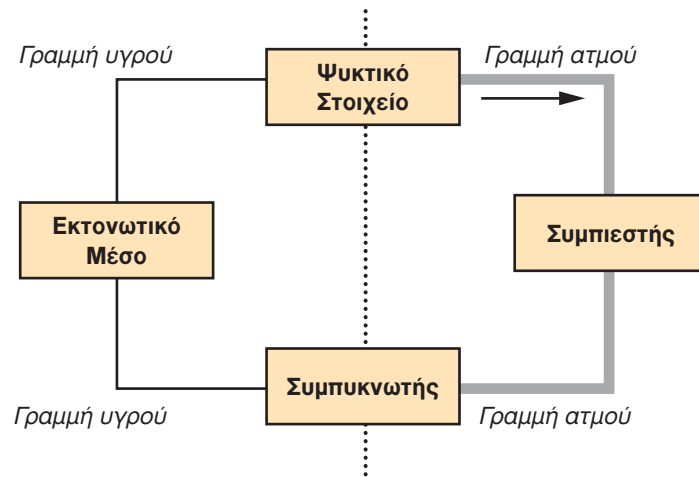
βάλλον. Το υγρό ψυκτικό κατευθύνεται προς την εκτονωτική βαλβίδα, όπου η πίεσή του πέφτει και τότε μόνο επιστρέφει στο ψυκτικό στοιχείο για να επαναληφθεί ο κύκλος.

Ας θεωρήσουμε τώρα ότι χαράσσουμε μια νοητή οριζόντια γραμμή που χωρίζει τον κύκλο σε πάνω και κάτω μέρος. Τότε, στο πάνω μέρος επικρατεί χαμηλή πίεση και γι' αυτό ονομάζεται **πλευρά χαμηλής πίεσης** ή απλά πλευρά χαμηλής, ενώ στο κάτω μέρος επικρατεί υψηλή πίεση και γι' αυτό ονομάζεται **πλευρά υψηλής πίεσης** ή απλά πλευρά υψηλής. Αυτό φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 5.2), στο οποίο οι σωληνώσεις της πλευράς υψηλής πίεσης παριστάνονται με διπλή γραμμή.



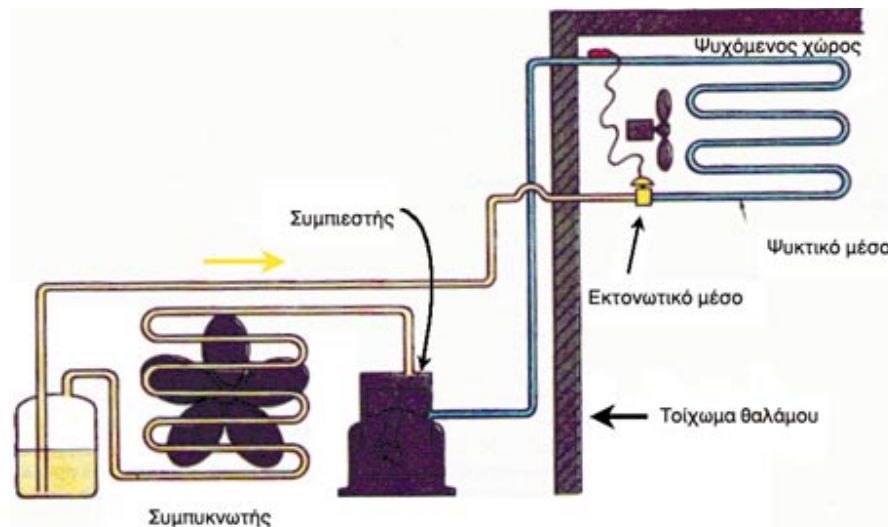
Σχήμα 5.2 Πλευρά υψηλής πίεσης και πλευρά χαμηλής πίεσης στον ψυκτικό κύκλο

Ας χαράξουμε τώρα μια νοητή κατακόρυφη γραμμή που χωρίζει τον κύκλο λειτουργίας σε δύο μέρη. Δεξιά από την κατακόρυφη γραμμή θα έχουμε ατμό ψυκτικού και αριστερά θα έχουμε υγρό ψυκτικό. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Οι παχιές γραμμές είναι γραμμές ατμού, ενώ οι λεπτές είναι γραμμές υγρού.



Σχήμα 5.3 Γραμμές υγρού και γραμμές ατμού στον ψυκτικό κύκλο³

Ας δούμε, στο Σχήμα 5.4, τα τέσσερα κύρια μέρη του ψυκτικού κύκλου σε μια εγκατάσταση ψυκτικού θαλάμου :



Σχήμα 5.4 Τα κύρια μέρη της ψυκτικής εγκατάστασης ενός ψυκτικού θαλάμου

³ Αυτό το απλουστευτικό σχήμα δεν είναι απόλυτα σωστό καθώς, όπως ήδη γνωρίζουμε (κεφάλαιο 4), μπορεί να έχουμε φουσαλίδες ατμού μεταξύ εκτονωτικής βαλβίδας και ατμοποιητή. Ακόμα, μπορεί να παρασυσρθούν σταγόνες υγρού στη γραμμή μεταξύ ατμοποιητή και συμπιεστή, οι οποίες, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 6, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να φθάσουν στο συμπιεστή.

Στο Σχήμα 5.4 οι σωληνώσεις της πλευράς υψηλής πίεσης είναι με κίτρινο χρώμα, ενώ με γαλάζιο χρώμα είναι οι γραμμές της πλευράς χαμηλής πίεσης.

Αυτή είναι σε γενικές γραμμές η αρχή λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου με μηχανική συμπίεση ατμών. Τονίζουμε για μια ακόμα φορά το ρόλο του συμπιεστή στην ψυκτική μονάδα. **Χωρίς τη συμπίεση δεν μπορεί να συμπυκνωθεί ο ατμός του ψυκτικού στο χώρο υψηλής θερμοκρασίας** ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος. Ανάλογο ρόλο έχει η εκτονωτική βαλβίδα. Αν δεν εκτονωθεί το ψυκτικό υγρό και οδηγηθεί ως υγρό υψηλής πίεσης στο ψυκτικό στοιχείο, δε θα πετύχουμε την ατμοποίηση.

Η ψυκτική ισχύς απορροφάται από την ψυκτική διάταξη στην πλευρά χαμηλής πίεσης. Η θερμότητα αυτή “αντλείται” από τον ψυχόμενο χώρο και απορρίπτεται προς το περιβάλλον, όπου επικρατεί υψηλότερη θερμοκρασία.

♦ *Η απορριπτόμενη θερμική ισχύς είναι ίση ή όχι με την ψυκτική ισχύ ;*

Την απάντηση μας τη δίνει ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος για ψυκτική μηχανή τον οποίο υπενθυμίζουμε εδώ : “Είναι αδύνατο να μεταβιβαστεί θερμότητα από σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας προς σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας, χωρίς να καταναλωθεί κάποιο έργο”.

$$Q_1 = Q_2 + W \quad (5.1)$$

Μπορούμε λοιπόν για μια ψυκτική διάταξη να γράψουμε :

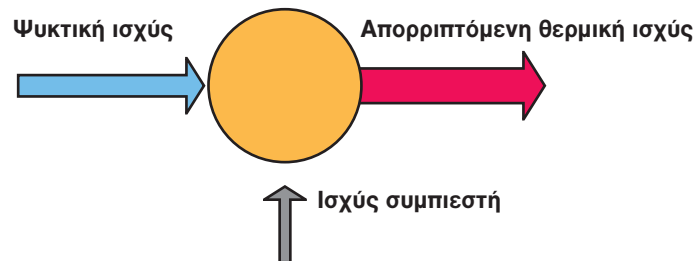
$$\text{Απορριπτόμενη Θερμική Ισχύς} = \text{Ψυκτική Ισχύς} + \text{Ισχύς Συμπιεστή}$$

Η θερμότητα που αποβάλλεται προς το περιβάλλον μέσω του συμπυκνωτή ισούται με το άθροισμα των δύο ποσοτήτων που προαναφέρθηκαν. Βλέπουμε ότι στην ψυκτική διάταξη ούτε δημιουργείται ούτε χάνεται ενέργεια.

Ανάγοντας τα μεγέθη της παραπάνω ισότητας στη μονάδα του χρόνου παίρνουμε μια νέα ισότητα, η οποία αντί για θερμότητα και έργο περιλαμβάνει ισχύ. Είναι η εξής :

$$\text{Απορριπτόμενη θερμική ισχύς} = \text{Ψυκτική ισχύς} + \text{Ισχύς Συμπιεστή}$$

Ας δούμε την παραπάνω ισότητα να απεικονίζεται σε ένα σχήμα :



Σχήμα 5.5 Ενεργειακός ισολογισμός σε ψυκτικό κύκλο

Από όσα αναπτύχθηκαν γίνεται φανερό πως σ' έναν ψυκτικό κύκλο η απορριπτόμενη θερμική ισχύς είναι μεγαλύτερη από την ψυκτική ισχύ. Ωστόσο, το προηγούμενο ερώτημα επιμένει και επανέρχεται :

▶ Μέσα στις σωληνώσεις της ψυκτικής εγκατάστασης κυκλοφορεί μια συγκεκριμένη ποσότητα ψυκτικού. Αυτή η ποσότητα ατμοποιείται στο ψυκτικό στοιχείο απορροφώντας θερμότητα, αυτή η ίδια ποσότητα υγροποιείται στο συμπυκνωτή αποβάλλοντας θερμότητα. Γιατί λοιπόν δεν είναι ίση η ψυκτική ισχύς με την απορριπτόμενη θερμική ισχύ ;¹¹

5.4 Θερμοκρασίες Ψυκτικού Κύκλου

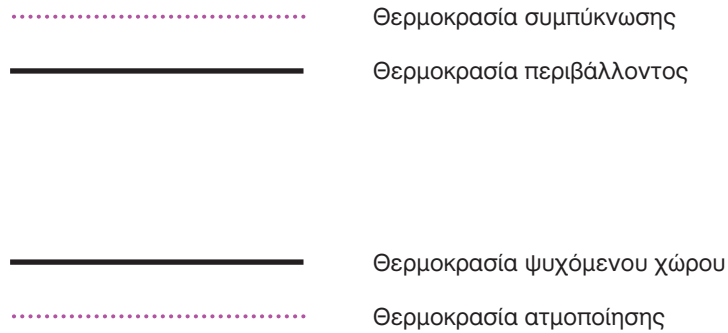
Κατά τις διάφορες διεργασίες που συμβαίνουν στον ψυκτικό κύκλο, η θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού παίρνει διάφορες τιμές. Αυτές κυμαίνονται ανάμεσα σε δύο ακραίες τιμές. Τη χαμηλότερη θερμοκρασία έχει το ψυκτικό ρευστό στο στοιχείο ατμοποίησης, ενώ την υψηλότερη κατά την είσοδο στο συμπυκνωτή.

Για να γίνει απόρριψη θερμότητας προς το περιβάλλον θα πρέπει η **θερμοκρασία συμπύκνωσης** να είναι **υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος** (θερμή δεξαμενή). Ποιο είναι όμως αυτό το περιβάλλον; Αυτό εξαρτάται από το είδος του συμπυκνωτή. Αν πρόκειται για *αερόψυκτο* συμπυκνωτή, θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η θερμοκρασία του αέρα του χώρου, στον οποίο βρίσκεται ο συμπυκνωτής. Αν πρόκειται για *υδρόψυκτο* συμπυκνωτή, θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η θερμοκρασία

του νερού ψύξης⁴.

Για να γίνει απορρόφηση θερμότητας από τον ψυχόμενο χώρο, θα πρέπει και πάλι να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο ψυκτικό μέσο και τον ψυχόμενο χώρο (ψυχρή δεξαμενή). Συγκεκριμένα, θα πρέπει η θερμοκρασία ατμοποίησης να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο που ψύχουμε.

Το σχήμα που ακολουθεί μας βοηθά να κατανοήσουμε τη σχέση ανάμεσα στις θερμοκρασίες συμπύκνωσης, ατμοποίησης, θερμής δεξαμενής και ψυχρής δεξαμενής.



Σχήμα 5.6 Θερμοκρασίες ψυκτικού κύκλου σε σχέση με τις θερμοκρασίες της θερμής και της ψυχρής δεξαμενής.

⁴ Πιο αναλυτικά για τους συμπυκνωτές θα μιλήσουμε στο κεφάλαιο 6.

5.5 Συντελεστής Συμπεριφοράς Ψυκτικού Κύκλου

Για να προσδιοριστεί το πόσο αποδοτικός είναι ένας ψυκτικός κύκλος, έχει καθοριστεί ένα μέτρο αντίστοιχο με το βαθμό απόδοσης των θερμικών μηχανών. Ονομάζεται συντελεστής συμπεριφοράς και συμβολίζεται με COP. Ορίζεται ως το πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος της μηχανής (στην περίπτωση της ψυκτικής μηχανής, της ψυκτικής ισχύος) προς την καταναλισκόμενη ισχύ (για τις ψυκτικές μηχανές, την ισχύ του συμπιεστή)

$$\text{COP} = \frac{\text{Ψυκτική Ισχύς}}{\text{Ισχύς Συμπιεστή}} \quad (5.2)$$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι ένα αδιάστατο μέγεθος (χωρίς μονάδες δηλαδή). Είναι θετικός αριθμός και οι τιμές του ποικίλουν από τη μια εγκατάσταση στην άλλη. Σε αντίθεση με το βαθμό απόδοσης θερμικής μηχανής ο οποίος, όπως έχουμε τονίσει (§ 2.11, Σχέση 2.14), παίρνει τιμές από 0 έως 1, **ο συντελεστής συμπεριφοράς μπορεί να παίρνει και τιμές μεγαλύτερες από 1.**

Όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης δεν απέχει πολύ από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, προκύπτουν τιμές για το COP αρκετά μεγαλύτερες από τη μονάδα. Όσο απομακρύνονται οι θερμοκρασίες, τόσο ο συντελεστής συμπεριφοράς μικραίνει, διότι τότε με την ίδια μηχανική (ηλεκτρική) ισχύ η εγκατάσταση καλείται να “υπερνικήσει” μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά.

► *Ας πάρουμε δύο παραδείγματα ψυκτικών εγκαταστάσεων :*

- *Την ψυκτική μηχανή μιας αυτόνομης κλιματιστικής μονάδας*
- *Ένα οικιακό ψυγείο με κατάψυξη*

Ποια από τις δύο πιστεύετε ότι θα έχει υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς ;

Σύμφωνα με όσα είπαμε, θα πρέπει να αναμένουμε να έχει υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς η ψυκτική μηχανή του κλιματιστικού. Αυτή καλείται, αν θεωρήσουμε εξωτερική θερμοκρασία +35°C, να “καλύψει” θερμοκρασιακή διαφορά περίπου 10 έως 15°C ανάμεσα στη θερμή και την ψυ-

χρή δεξαμενή (η διαφορά ανάμεσα στις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και ατμοποίησης θα είναι αρκετά μεγαλύτερη από 15°C , σύμφωνα με το σχήμα 5.6). Το ψυγείο με κατάψυξη καλείται να καλύψει θερμοκρασιακή διαφορά, ανάμεσα στη θερμή και την ψυχρή δεξαμενή, πάνω από 50°C (και εδώ η διαφορά ανάμεσα στις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και ατμοποίησης θα είναι αρκετά μεγαλύτερη από 50°C , σύμφωνα με το Σχήμα 5.6).

Ωστόσο γράψαμε, στην προηγούμενη παράγραφο, το ρήμα *αναμένουμε* γιατί ο συντελεστής συμπεριφοράς δεν εξαρτάται μόνο από τη διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία συμπύκνωσης και τη θερμοκρασία ατμοποίησης. **Εξαρτάται επίσης** από το **είδος του ψυκτικού μέσου** που χρησιμοποιείται αλλά και από την **ακριβή μορφή που έχει ο ψυκτικός κύκλος** κάθε εγκατάστασης. Η μορφή αυτή δεν καθορίζεται μόνο από τις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και ατμοποίησης και από το είδος του ψυκτικού, αλλά και από άλλα μεγέθη, όπως είναι η υπόψυξη συμπυκνώματος και η υπερθέρμανση του ατμού που εξέρχεται από το στοιχείο ατμοποίησης. Θα μιλήσουμε γι' αυτά στα επόμενα.

5.6 Υπόψυξη Συμπυκνώματος

Περιγράφοντας στο προηγούμενο κεφάλαιο (§ 4.4) τις διεργασίες που επιτελούνται μέσα στο συμπυκνωτή, είδαμε ότι μετά την ολοκλήρωση της συμπύκνωσης (σημείο Γ, Σχήμα 4.3) όπου έχουμε κορεσμένο υγρό, ακολουθεί μια φάση (τμήμα ΓΔ) κατά την οποία το υγρό πλέον ψυκτικό μέσο συνεχίζει να αποβάλλει θερμότητα. Μετατρέπεται, δηλαδή, σε υπόψυκτο υγρό. Η φάση αυτή ονομάζεται **υπόψυξη συμπυκνώματος**. Αυτή η υπόψυξη του συμπυκνώματος είναι, όπως θα αναλύσουμε στη συνέχεια, **επιθυμητή**, διότι επιδρά θετικά στο συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό πολλές φορές, πέρα από τη “φυσιολογική” υπόψυξη που γίνεται στο συμπυκνωτή, επιδιώκουμε ακόμα περισσότερη υπόψυξη με τρόπους που θα περιγράψουμε στο δεύτερο μέρος του βιβλίου (βλ. και την ερώτηση 8 στο τέλος αυτού του κεφαλαίου).

Γνωρίζουμε ότι το ψυκτικό μέσο οδηγείται μετά το συμπυκνωτή στη διάταξη εκτόνωσης ή στραγγαλισμού. Θυμηθείτε τα όσα είπαμε για το στραγγαλισμό υγρού στο προηγούμενο κεφάλαιο. Είδαμε εκεί ότι κατά τη

διεργασία του στραγγαλισμού εμφανίζονται και φυσαλίδες ατμού, έχουμε δηλαδή μερική ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου. Η ατμοποίηση αυτή είναι πρόωρη. Εμείς επιθυμούμε το ψυκτικό μέσο να ατμοποιείται σχεδόν όλο στο στοιχείο ατμοποίησης γιατί από την ατμοποίηση αυτή, ως γνωστόν, προέρχεται και το ωφέλιμο αποτέλεσμα της ψυκτικής εγκατάστασης, δηλαδή η ψυκτική ισχύς. Είναι, επομένως, προς όφελος της αποδοτικότητας της ψυκτικής εγκατάστασης να έχουμε στο τέλος του στραγγαλισμού, στο μίγμα υγρού-ατμού, **μεγάλο ποσοστό υγρού ψυκτικού μέσου**.

► *Γιατί η υπόψυξη συμπυκνώματος βοηθά στη μείωση του ποσοστού ατμού στο μίγμα υγρού-ατμού που προκύπτει μετά το στραγγαλισμό ;*

Την απάντηση μπορούμε να τη βρούμε ανατρέχοντας στα όσα αναφέρθηκαν σχετικά με το στραγγαλισμό υγρού. Είδαμε ότι εμφανίζονται φυσαλίδες όταν η πίεση του υγρού πέσει τόσο πολύ ώστε να φτάσει την πίεση ατμοποίησης που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του υγρού. Αν η **θερμοκρασιακή αφετηρία μας**, η θερμοκρασία δηλαδή με την οποία εισέρχεται το υγρό στη διάταξη στραγγαλισμού, είναι χαμηλότερη, τότε χαμηλότερη θα είναι και η πίεση ατμοποίησης που αντιστοιχεί σ' αυτή. Έτσι λοιπόν καθώς έχουμε πτώση πίεσης στη διάταξη στραγγαλισμού, θα φτάσουμε πιο αργά στη χαμηλή πίεση που απαιτείται πλέον για να εμφανιστούν οι φυσαλίδες (θυμηθείτε και τη δραστηριότητα 10 στο τέλος του κεφαλαίου 4).



Επίσης θα βοηθήσει την απάντηση στο τελευταίο ερώτημα και η μελέτη της απεικόνισης του ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα p-h.



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ψυκτική ισχύς μιας εγκατάστασης ονομάζεται το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από το χώρο που επιθυμούμε να διατηρούμε σε χαμηλή θερμοκρασία, στη μονάδα του χρόνου. Μετριέται σε Watt (στο S.I.), kcal/h, Btu/h και RT.

Απορριπτόμενη θερμική ισχύς ονομάζεται το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στη μονάδα του χρόνου από το ψυκτικό μέσο προς το περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας.

Τα βασικά μέρη του ψυκτικού κύκλου είναι ο ατμοποιητής, ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής και το εκτονωτικό μέσο.

Το ψυκτικό ρευστό σε κάθε κύκλο λειτουργίας συναλλάσσει ενέργεια με το περιβάλλον. Απορροφά θερμότητα στον ατμοποιητή και μηχανικό έργο στο συμπιεστή και απορρίπτει θερμότητα στο συμπυκνωτή. Το άθροισμα των δύο πρώτων ποσοτήτων ισούται με το τελευταίο. Ανάγοντας τα μεγέθη αυτά στη μονάδα του χρόνου μπορούμε να γράφουμε :

$$\text{Απορριπτόμενη Θερμική Ισχύς} = \text{Ψυκτική Ισχύς} + \text{Ισχύς Συμπιεστή}$$

Η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, στη διάρκεια ενός ψυκτικού κύκλου, παίρνει διάφορες τιμές ανάμεσα σε δύο ακραίες : θερμοκρασία εισόδου στο συμπυκνωτή (άνω άκρο) και θερμοκρασία εισόδου στον ατμοποιητή (κάτω άκρο). Οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης και ατμοποίησης “περικυκλώνουν” τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ψυχόμενου χώρου. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής, ενώ η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία της ψυχρής δεξαμενής του ψυκτικού κύκλου.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) είναι ένας αριθμός που χαρακτηρίζει

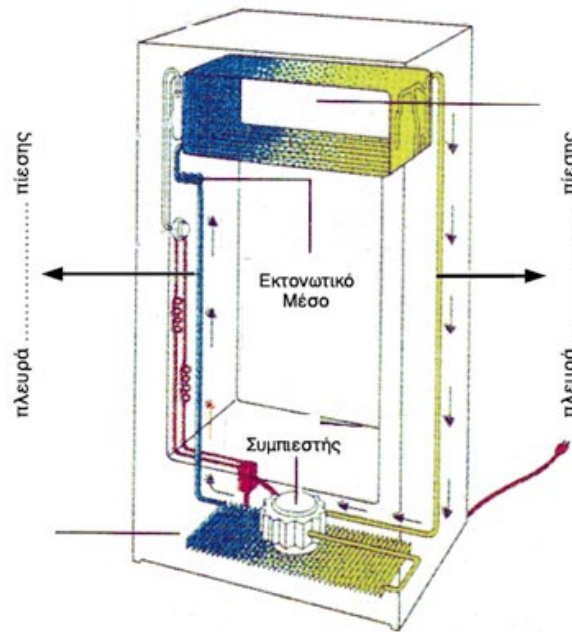
την ποιότητα της ψυκτικής εγκατάστασης από ενεργειακή άποψη. Η τιμή του επηρεάζεται από τη διαφορά ανάμεσα στις θερμοκρασίες συμπύκνωσης και ατμοποίησης (για **μεγάλες διαφορές** αναμένουμε **μικρό COP** και αντιστρόφως), από το είδος του ψυκτικού μέσου και από την ακριβή μορφή που έχει ο ψυκτικός κύκλος.

Υπόψυξη του συμπυκνώματος είναι η μετατροπή του κορεσμένου ψυκτικού υγρού, που προκύπτει μετά την ολοκλήρωση της συμπύκνωσης, σε υπόψυκτο υγρό. Η διεργασία αυτή είναι **επιθυμητή**, διότι επιδρά θετικά στο συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης. Συμβαίνει στο τελευταίο τμήμα του συμπυκνωτή. Συχνά όμως επιδιώκουμε και παραπέρα υπόψυξη μετά το συμπυκνωτή με τη βοήθεια άλλων μέσων.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

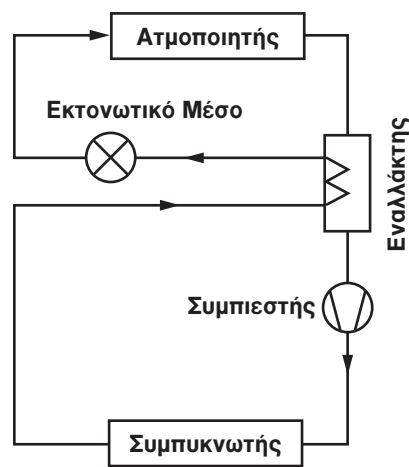
1. Σε ποια συσκευή μιας ψυκτικής εγκατάστασης με μηχανική συμπίεση ατμών, γίνεται μετατροπή του ψυκτικού μέσου από ατμό σε υγρό ;
2. Αναφέρατε μια συσκευή που ανήκει στην πλευρά χαμηλής πίεσης μιας ψυκτικής εγκατάστασης.
3. Ποιες συσκευές μιας ψυκτικής εγκατάστασης με μηχανική συμπίεση ατμών, διαχωρίζουν την πλευρά υψηλής από την πλευρά χαμηλής πίεσης ;
4. Σε ποια συσκευή μιας ψυκτικής εγκατάστασης το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα ;
5. Στο Σχήμα 5.7 βλέπουμε τα μέρη της ψυκτικής εγκατάστασης ενός οικιακού ψυγείου. Οι κόκκινες γραμμές παριστάνουν τα ηλεκτρικά κυκλώματα του συστήματος. Το εκτονωτικό μέσο είναι τριχοειδής σωλήνας :



Σχήμα 5.7

- α. Συμπληρώστε τα ονόματα των κύριων μερών της ψυκτικής εγκατάστασης που δεν είναι σημειωμένα.
 - β. Σημειώστε ποια είναι η πλευρά χαμηλής και ποια η πλευρά υψηλής πίεσης.
 - γ. Ποιο χρώμα αντιστοιχεί στις σωληνώσεις υγρού ψυκτικού μέσου και ποιο στις σωληνώσεις ατμού ;
6. Ο ψύκτης μιας κλιματιστικής εγκατάστασης έχει κινητήρα ισχύος 35 PS και ψυκτική ισχύ 28 RT. Υπολογίστε το συντελεστή συμπεριφοράς και την απορριπτόμενη θερμική ισχύ.
 7. Ένα οικιακό ψυγείο βρίσκεται σε ένα δωμάτιο θερμικώς μονωμένο. Αφήνουμε ανοιχτή την πόρτα του ψυγείου, το ψυγείο συνεχίζει να λειτουργεί και εμείς φεύγουμε και κλείνουμε το δωμάτιο. Όταν επιστρέψουμε μετά από αρκετές ώρες, η θερμοκρασία του δωματίου θα είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με τη θερμοκρασία που είχε το δωμάτιο πριν φύγουμε ;

8. Προκειμένου να γίνει υπόψυξη συμπυκνώματος σε έναν κύκλο ψύξης με μηχανική συμπίεση ατμών, έχει προταθεί να γίνεται εναλλαγή θερμότητας ανάμεσα στον υπέρθερμο ατμό της εξόδου του στοιχείου ατμοποίησης και το συμπύκνωμα ψυκτικού μέσου. Να ψύχεται δηλαδή κι' άλλο, το υγρό που εξέρχεται από το συμπυκνωτή από τον υπέρθερμο ατμό εξόδου του ατμοποιητή (στον εναλλάκτη, Σχήμα 5.8). Πώς κρίνετε αυτή τη μέθοδο υπόψυξης ; ^{π1}



Σχήμα 5.8

ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

- 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ
- 6.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ
- 6.3 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ
- 6.4 ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να αναφέρουν εφαρμογές της ψύξης για υψηλή, μέση και χαμηλή θερμοκρασία.
- ✓ Να αναφέρουν και να αναγνωρίζουν τους κυριότερους τύπους μηχανημάτων και συσκευών του εξοπλισμού των ψυκτικών εγκαταστάσεων.
- ✓ Να προσδιορίζουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διάφορων συσκευών καθώς και το πεδίο εφαρμογών τους.
- ✓ Να περιγράφουν τις αρχές λειτουργίας των συνηθισμένων εξαρτημάτων ενός ψυκτικού κυκλώματος.
- ✓ Να αναφέρουν τις ιδιότητες, τις χρήσεις, τους κωδικούς αριθμούς και τα κωδικά χρώματα των κυριότερων ψυκτικών μέσων.
- ✓ Να εξηγούν τους λόγους που οδήγησαν στην αντικατάσταση ορισμένων παλιών ψυκτικών μέσων και να ορίζουν τις διαδικασίες που έχουν θεσπιστεί πρόσφατα (συλλογή, ανακύκλωση, αναγέννηση) για τη διαχείριση των ψυκτικών μέσων κατά τη συντήρηση και τις επιδιορθώσεις των ψυκτικών εγκαταστάσεων.
- ✓ Να προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά των ψυκτικών μέσων με τη βοήθεια διαγραμμάτων πίεσης-ενθαλπίας.
- ✓ Να εξηγούν το ρόλο του λαδιού λίπανσης και τους κινδύνους από την παρουσία υγρασίας σε ένα ψυκτικό κύκλωμα.

6.1 Εισαγωγή στην ψύξη

Μπορούμε να ορίσουμε την ψύξη ως τη δημιουργία και διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών σε ένα χώρο με στόχο τη συντήρηση τροφίμων ή την επίτευξη συνθηκών άνεσης.

Ο τεχνικός εγκαταστάσεων ψύξης (ή ψυκτικός) είναι ο εξειδικευμένος επαγγελματίας που κάνει μελέτες, εγκαταστάσεις, συντηρήσεις και επισκευές ψυκτικών και κλιματιστικών μηχανημάτων. Οι χώροι όπου ο ψυκτικός εφαρμόζει τις γνώσεις και τις δεξιότητές του, καλύπτουν σχεδόν όλους τους τομείς της οικονομίας και της καθημερινής ζωής :

- Η συντήρηση τροφίμων είναι ο κατ' εξοχήν χώρος εφαρμογής της ψύξης. Εκατομμύρια τόνοι τροφίμων διατηρούνται σε ψυκτικούς θαλάμους, σε οικιακά ψυγεία ή μεταφέρονται με φορτηγά-ψυγεία, πλοία-ψυγεία κ.τ.λ. Στη συντήρηση τροφίμων θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 8.
- Για την παρασκευή αλλά και τη συντήρηση φαρμάκων απαιτούνται συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Οι τράπεζες αίματος των νοσοκομείων χρειάζονται ψύξη.
- Ηλεκτρονικά μηχανήματα και όργανα ακριβείας πρέπει να βρίσκονται σε χώρους με συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Ακόμα, στην υφαντουργία, στη χαρτοβιομηχανία, στην παραγωγή καπνού είναι απαραίτητο να επικρατούν ειδικές κλιματολογικές συνθήκες.
- Οι επαγγελματικοί χώροι, όπως αίθουσες γραφείων, ξενοδοχείων, καταστημάτων αλλά και ιδιωτικοί χώροι, όπως δωμάτια κατοικιών, κλιματίζονται με βάση τις αρχές της ψύξης.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αλλά και από την εκτενή ανάπτυξη των εφαρμογών της ψύξης που έγινε στο Κεφάλαιο 1 (παράγραφος 1.4), ο ρόλος του ψυκτικού στην οικονομική και κοινωνική ζωή είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Όπως αναφέρθηκε σε ένα διεθνές συνέδριο για την ψύξη *«Χειρουργούμε όλο το χρόνο, χάρη στην ψύξη. Έχουμε γεωργικά προϊόντα όλο το χρόνο, χάρη στην ψύξη. Αυτή τη στιγμή, οι ψυκτικοί θάλαμοι είναι γεμάτοι από εκατομμύρια τόνους τροφίμων. Σκεφτείτε τι έχει να γίνει, αν σταματήσει η ψύξη !»*

Ανάλογα με τη θερμοκρασία που έχουμε στον ψυχόμενο χώρο, οι εφαρμογές της ψύξης κατατάσσονται στην πράξη σε **τρεις κατηγορίες**, τις

εφαρμογές **υψηλών, μέσων και χαμηλών θερμοκρασιών.**

Δεν υπάρχει πλήρης συμφωνία για τα όρια ανάμεσα στις κατηγορίες που προαναφέραμε. Συνήθως όμως χαρακτηρίζουμε ως ψυκτικές εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών εκείνες, στις οποίες η θερμοκρασία του χώρου που ψύχουμε είναι πάνω από 4 °C. Εφαρμογές μέσων θερμοκρασιών χαρακτηρίζονται εκείνες, στις οποίες η θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου είναι κάτω από 4 °C αλλά πάνω από τη θερμοκρασία όπου το νερό των περισσότερων τροφίμων γίνεται πάγος (ως όριο συνήθως θεωρείται το -2 °C). Εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών χαρακτηρίζονται εκείνες, στις οποίες η θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου είναι κάτω από -2 °C. Μια εγκατάσταση διατήρησης κατεψυγμένων, για παράδειγμα, είναι εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών, ενώ μια ψυκτική εγκατάσταση για τη συντήρηση λουλουδιών είναι εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών. Τέλος, μια εγκατάσταση διατήρησης τροφίμων για λίγες μέρες (στην «ψύξη») είναι εφαρμογή μέσων θερμοκρασιών.

6.1 Εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην ψύξη

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην ψύξη περιλαμβάνει :

- A. μηχανήματα και συσκευές των ψυκτικών εγκαταστάσεων (συμπιεστές, ατμοποιητές, συμπυκνωτές, εκτονωτικά μέσα, συσκευές και εξαρτήματα αυτοματισμού και ελέγχου της ψυκτικής εγκατάστασης).
- B. εργαλεία και συσκευές που χρησιμοποιεί ο τεχνικός ψύξης για να εγκαταστήσει, να συντηρήσει ή να παρακολουθήσει τη λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης.

Με τα μηχανήματα και τις συσκευές της κατηγορίας A θα ασχοληθούμε στην επόμενη παράγραφο. Τα εργαλεία και οι συσκευές της κατηγορίας B περιλαμβάνουν :

- Εργαλεία γενικής χρήσης (κλειδιά διαφόρων κατηγοριών, ψαλίδια, πένσες, κατσαβίδια, συσκευή οξυγόνου-ασετιλίνης κ.τ.λ.).
- Ειδικά εργαλεία και συσκευές για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις, όπως τα μανόμετρα που γνωρίσαμε στην § 2.7 (Εικόνες 2.1, 2.2 και 2.3), συσκευές και εργαλεία για τη διαμόρφωση (Εικ. 6.1) και κοπή χαλκοσωλήνων (Εικ. 6.2), αντλίες κενού (Εικ. 6.3) για τη δημιουργία

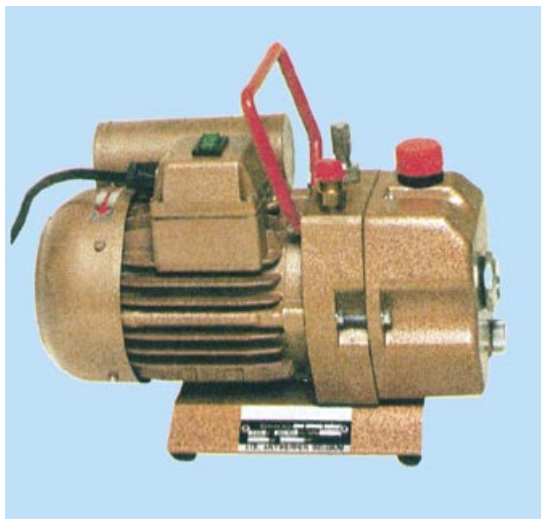
κενού στο ψυκτικό κύκλωμα, συσκευές για τη συλλογή και ανακύκλωση των ψυκτικών μέσων, μετρητικά όργανα (Εικ. 6.4) κ.τ.λ. Θα γνωρίσετε με κάθε λεπτομέρεια τη χρήση και λειτουργία αυτών των εργαλείων και συσκευών στο εργαστήριο του μαθήματος *Εγκαταστάσεις Ψύξης*.



Εικόνα 6.1 Εργαλείο εκχειλωσης



Εικόνα 6.2 Εργαλείο κοπής σωλήνων (σοληνοκόπτης).
Στην εικόνα δεξιά, σοληνοκόπτης σε χρήση



Εικόνα 6.3 Αντλία κενού



Εικόνα 6.4 Αμπερόμετρο
τύπου «τσιμπίδα»

6.3 Μηχανήματα, συσκευές και εξαρτήματα ψύξης

Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε τα μηχανήματα και τις συσκευές που χρησιμοποιούνται στα τέσσερα βασικά μέρη του ψυκτικού κύκλου, καθώς και τις ρυθμιστικές διατάξεις και τα βοηθητικά εξαρτήματα των ψυκτικών εγκαταστάσεων. Γνωρίζουμε ήδη από την ενασχόλησή μας με τον ψυκτικό κύκλο (Κεφάλαιο 5) το ρόλο καθενός από τα κύρια μέρη μιας ψυκτικής εγκατάστασης (ατμοποιητής, συμπιεστής, συμπυκνωτής, εκτονωτικό μέσο). Εδώ θα γνωρίσουμε τους κύριους τύπους των μηχανημάτων και των συσκευών που χρησιμοποιούνται στις διάφορες ψυκτικές εγκαταστάσεις. Δεν μπορούμε βέβαια να καλύψουμε όλο το φάσμα των μηχανημάτων και των συσκευών που κυκλοφορούν. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο αλλά και πέρα από τους στόχους αυτού του εγχειριδίου. Ο νέος τεχνικός που θα βγει στην αγορά εργασίας πρέπει **να μπορεί να μαθαίνει** για τα διάφορα μηχανήματα και τις συσκευές που κυκλοφορούν, **μελετώντας ενημερωτικά φυλλάδια** (prospectus) διαφόρων εταιρειών. Πρόκειται για μια διαδικασία που δε σταματά ποτέ στη διάρκεια της επαγγελματικής σταδιοδρομίας ενός τεχνικού, διότι αφενός η αγορά παρέχει πληθώρα τέτοιων προϊόντων αφετέρου διότι παράγονται συνεχώς νέα που αντικαθιστούν σε πολλές περιπτώσεις τα παλαιότερα.

6.3.1 Ατμοποιητής

Ο ατμοποιητής (που τον συναντάμε, όπως έχουμε αναφέρει και στο Α' Μέρος του βιβλίου, και με τα ονόματα **στοιχείο ατμοποίησης, ψυκτικό στοιχείο, εξατμιστής**) είναι η συσκευή με την οποία αφαιρείται θερμότητα από το ψυχόμενο περιβάλλον. Η θερμότητα αυτή μεταδίδεται στη συνέχεια στο ψυκτικό μέσο, το οποίο αλλάζει φάση και γίνεται ατμός. Η αλλαγή φάσης στον ατμοποιητή γίνεται γενικά σε χαμηλή θερμοκρασία. Η πίεση του ψυκτικού μέσου είναι επίσης χαμηλή (ο ατμοποιητής βρίσκεται **στην πλευρά χαμηλής πίεσης** της εγκατάστασης).

Με την όρο «περιβάλλον», που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως, εννοούμε συνήθως τον αέρα κάποιου χώρου, ο οποίος κλιματίζεται ή ψύχεται. Μπορεί όμως να είναι και υγρό αυτό που ψύχεται. Αυτό το συναντούμε σε πολλές εγκαταστάσεις, όπως :

- όταν ψύχουμε γάλα, χυμούς, αναψυκτικά στη βιομηχανία τροφίμων.

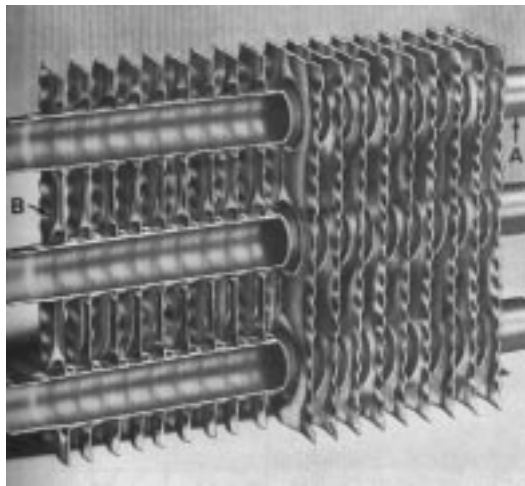
- όταν χρησιμοποιούμε **ενδιάμεσο ρευστό** στην ψύξη π.χ. το νερό που ψύχεται στην κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού για να «μεταφέρει» στη συνέχεια την ψύξη στους κλιματιζόμενους χώρους. Σ' αυτή την κατηγορία έχουμε και την **άλμη** (αλατισμένο νερό), η οποία «μεταφέρει» την ψύξη σε διάφορες εγκαταστάσεις, όπως στα παγοποιεία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ρευστό που ψύχεται χαρακτηρίζει τις δύο μεγάλες κατηγορίες των στοιχείων ατμοποίησης, δηλαδή :

- τα στοιχεία ψύξης αέρα και
- τα στοιχεία ψύξης υγρών.

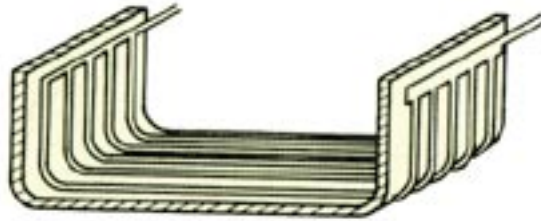
Στοιχεία ατμοποίησης για ψύξη αέρα

Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται ένα στοιχείο ατμοποίησης για ψύξη αέρα. Όπως βλέπουμε, έχει σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο και φέρει πτερύγια ώστε να είναι πιο μεγάλη η επιφάνεια συναλλαγής με τον αέρα που το περιβάλλει.



Σχήμα 6.1 Ατμοποιητής ψύξης αέρα. A : σωληνώσεις B : πτερύγια

Στο Σχήμα 6.2 φαίνεται ένας άλλος τύπος ψυκτικού στοιχείου. Ονομάζεται τύπου πλάκας. Αποτελείται από δύο ελάσματα (πλάκες) που πρεσάζονται κατά τρόπο ώστε να δημιουργούνται μεταξύ τους αυλάκια για τη δίοδο του ψυκτικού μέσου. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται πολύ συχνά στα οικιακά ψυγεία.



Σχήμα 6.2 Ατμοποιητής από πρεσαρισμένα ελάσματα (πλάκες)

Όταν τα στοιχεία ατμοποίησης για ψύξη αέρα δεν έχουν ανεμιστήρα ονομάζονται **φυσικής κυκλοφορίας** αέρα. Τα στοιχεία φυσικής κυκλοφορίας αέρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρές εγκαταστάσεις, ιδίως όταν μας ενδιαφέρει να έχουμε υψηλή σχετική υγρασία στον ψυκτικό θάλαμο, για να μην αφυγραίνονται τα προϊόντα. Τοποθετούνται πάντοτε στο επάνω μέρος των ψυγείων ή των ψυκτικών θαλάμων για τους λόγους που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2 (βλ. § 2.6 και Σχ.2.6).

Υπάρχουν όμως και στοιχεία ατμοποίησης **θεβιασμένης** (ή **εξαναγκασμένης**) **κυκλοφορίας** αέρα (με ανεμιστήρα). Ένα τέτοιο στοιχείο ατμοποίησης βλέπουμε στην Εικόνα 6.5:



Εικόνα 6.5 Στοιχείο ατμοποίησης βεβιασμένης κυκλοφορίας αέρα

Είδαμε πως υπάρχουν δύο κατηγορίες ατμοποιητών ψύξης αέρα : οι ατμοποιητές φυσικής κυκλοφορίας και οι ατμοποιητές βεβιασμένης (ή εξαναγκασμένης) κυκλοφορίας αέρα.

► Προσπαθήστε να κάνετε μια σύγκριση ανάμεσα στους δύο αυτούς τύπους ατμοποιητών, καταγράφοντας τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα του κάθε τύπου.^{π1}

Στην Εικόνα 4.1 (Κεφάλαιο 4) είδαμε ένα διπλό κεκλιμένο στοιχείο ατμοποίησης μιας αυτόνομης κλιματιστικής μονάδας. Το στοιχείο αυτό συνοδεύεται από μια λεκάνη στο κάτω μέρος, η οποία ονομάζεται **λεκάνη συμπυκνώματος**. Γνωρίζουμε ότι τα στοιχεία ατμοποίησης υγραίνονται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Αυτό οφείλεται στην παρουσία υδρατμών στον αέρα του θαλάμου, ένα μέρος από τους οποίους συμπυκνώνεται καθώς έρχεται σε επαφή με την κρύα επιφάνεια του στοιχείου ατμοποίησης. Έτσι λοιπόν, τουλάχιστον οι μεσαίες και μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις, συνοδεύονται από σύστημα αποστράγγισης ώστε να απομακρύνονται τα συμπυκνώματα νερού.

Στοιχεία ατμοποίησης για ψύξη υγρών

Στην Εικόνα 6.6 φαίνεται ένα στοιχείο ατμοποίησης για ψύξη νερού. Πρόκειται για ένα **στοιχείο ξηρής εκτόνωσης**. Στα στοιχεία ξηρής εκτόνωσης το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνες. Από το σημείο του στοιχείου όπου ολοκληρώνεται η ατμοποίηση και πέρα, το στοιχείο είναι στεγνό (ξηρό).



Εικόνα 6.6 Ατμοποιητής ξηρής εκτόνωσης

Στα στοιχεία αυτά, το ψυχόμενο νερό κυκλοφορεί έξω από τους σωλήνες του ψυκτικού. Στην πάνω πλευρά του ατμοποιητή της Εικόνας 6.6 διακρίνουμε την είσοδο (αριστερά) και την έξοδο (δεξιά) του νερού.

Υπάρχουν και στοιχεία ατμοποίησης για ψύξη υγρών που έχουν διαφορετική αρχή λειτουργίας. Στα **στοιχεία υπερχείλισης** (flooded) το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται στην εξωτερική επιφάνεια σωλήνων, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το νερό.

Μελετώντας έντυπα για ατμοποιητές ψύξης υγρών θα συναντήσουμε

τον όρο **στοιχείο** ατμοποίησης **απευθείας εκτόνωσης**. Ο όρος αυτός σημαίνει ότι το στοιχείο ψύχει απευθείας το χώρο ή το προϊόν που επιθυμούμε να ψύξουμε, χωρίς την παρεμβολή ενδιάμεσου ψυκτικού μέσου. Αντίστοιχα, όταν το στοιχείο ατμοποίησης ψύχει ενδιάμεσο ψυκτικό μέσο, το οποίο στη συνέχεια ψύχει το χώρο ή το προϊόν, τότε μιλάμε για **στοιχείο έμμεσης εκτόνωσης**. Ένα στοιχείο απευθείας εκτόνωσης μπορεί να είναι είτε ξηρό είτε υπερχειλίσσης.

Αποπάγωση των ατμοποιητών

Κατά τη λειτουργία των ψυκτικών εγκαταστάσεων παρουσιάζεται συχνά το πρόβλημα του σχηματισμού πάγου πάνω στο στοιχείο ατμοποίησης αλλά, ορισμένες φορές, και σε επιφάνειες του ψυκτικού θαλάμου. Ο πάγος αυτός προέρχεται από τους υδρατμούς του αέρα του θαλάμου. Αυτοί, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στην επιφάνεια του στοιχείου ατμοποίησης, υγροποιούνται. Όταν μάλιστα η θερμοκρασία του ατμοποιητή είναι κάτω από 0 °C, η υγρασία που βρίσκεται πάνω του μετατρέπεται σε πάγο.

► *Τι πρόβλημα δημιουργεί η παρουσία πάγου στην επιφάνεια του ατμοποιητή ;*

Η παρουσία πάγου στην επιφάνεια του ατμοποιητή δημιουργεί τα εξής προβλήματα :

- Ο πάγος δημιουργεί θερμική μόνωση και εμποδίζει τη μετάδοση θερμότητας από τον αέρα προς την κρύα μεταλλική επιφάνεια. Όσο αυξάνεται το στρώμα του πάγου, τόσο χειροτερεύει η κατάσταση. Με άλλα λόγια, πέφτει η ψυκτική απόδοση της εγκατάστασης.
- Από το σχηματισμό μεγάλων ποσοτήτων πάγου προκαλούνται μηχανικές βλάβες και παραμορφώσεις των σωλήνων ή των πτερυγίων.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, είναι απαραίτητο να γίνεται τακτικά **αποπάγωση (απόψυξη)** των στοιχείων ατμοποίησης.

Μέθοδοι αποπάγωσης

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι αποπάγωσης είναι οι εξής :

- με ηλεκτρικές αντιστάσεις

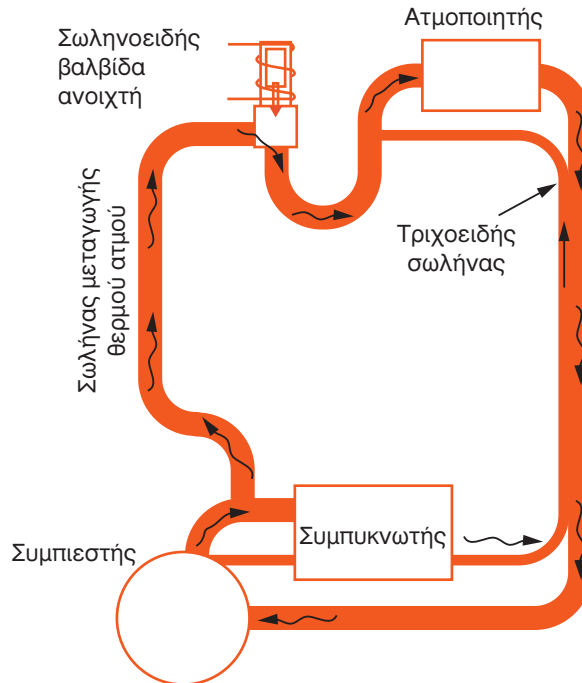
- με αναμονή
- με καταιονισμό νερού
- με μεταγωγή θερμού ατμού

Στο σύστημα αποπάγωσης **με ηλεκτρικές αντιστάσεις**, πάνω στον εξατμιστή στερεώνονται θερμαντικά στοιχεία (ηλεκτρικές αντιστάσεις που τροφοδοτούνται με ρεύμα). Το κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα όταν δοθεί εντολή για αποπάγωση. Ο πάγος ζεσταίνεται και ξεκολλά από τον εξατμιστή. Τα κομμάτια πάγου και το νερό που προέρχεται από το λιώσιμο του πάγου απομακρύνονται συνήθως μέσω ενός συστήματος αποστράγγισης.

Αποπάγωση **με αναμονή** σημαίνει ότι παύει η λειτουργία του συμπιεστή και ο εξατμιστής αφήνεται να ζεσταθεί από τον ατμοσφαιρικό αέρα (η πόρτα του θαλάμου παραμένει ανοιχτή). Έχει το μειονέκτημα ότι καθυστερεί και επιπλέον, μαζί με τον εξατμιστή, θερμαίνονται και τα προϊόντα που βρίσκονται μέσα στον ψυκτικό θάλαμο. Για τους λόγους αυτούς, εφαρμόζεται μόνο σε πολύ μικρές μονάδες.

Στο σύστημα **με καταιονισμό νερού**, όταν δοθεί η εντολή για αποπάγωση, ψεκάζεται νερό από το πάνω μέρος του εξατμιστή. Με τον τρόπο αυτό μεταδίδεται θερμότητα στον πάγο ο οποίος, καθώς ζεσταίνεται, αποκολλάται από τον εξατμιστή και απομακρύνεται μέσω συστήματος απορροής (αποστράγγισης) από τον ψυκτικό θάλαμο. Μόλις τελειώσει ο ψεκασμός, το νερό πρέπει να απομακρυνθεί από τις σωληνώσεις του συστήματος αποπάγωσης που βρίσκονται μέσα στον ψυκτικό θάλαμο, διότι όταν επαναλειτουργήσει η μονάδα, υπάρχει κίνδυνος να παγώσει.

Στο σύστημα **με μεταγωγή θερμού ατμού**, υπέρθερμος ατμός από την έξοδο του συμπιεστή μεταγεται (φέρνεται) στην είσοδο του εξατμιστή. Με τον τρόπο αυτό οι σωλήνες του εξατμιστή θερμαίνονται εσωτερικά, το μέρος του πάγου που είναι σε επαφή με το σωλήνα υγροποιείται και έτσι ο πάγος ξεκολλά από τους σωλήνες του εξατμιστή. Το σύστημα αυτό πλεονεκτεί σε σχέση με τα άλλα συστήματα στο ότι κατά τη διάρκειά του δε χρειάζεται να σταματήσει η λειτουργία του ανεμιστήρα του εξατμιστή. Η θέρμανση γίνεται από το εσωτερικό του σωλήνα, οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος να μεταφερθεί, στη διάρκεια της αποπάγωσης, θερμότητα στο θάλαμο. Επίσης η αποπάγωση, με το σύστημα αυτό, είναι πιο σύντομη (συνήθως αρκούν 5 έως 10 min) Στο Σχήμα 6.3 βλέπουμε ένα τέτοιο σύστημα απόψυξης.



Σχήμα 6.3 Απόψυξη με μεταγωγή θερμού ατμού

Ο ατμός οδηγείται στον εξατμιστή μέσω ενός σωλήνα που συνδέει την έξοδο του συμπιεστή με την είσοδο του εξατμιστή. Μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (**σωληνοειδής βαλβίδα**) ελέγχει τη διέλευση του υπέρθερμου ατμού. Η βαλβίδα αυτή ανοίγει μόνο όταν ενεργοποιείται το σύστημα απόψυξης.

Το μειονέκτημα του παραπάνω συστήματος είναι ότι καθώς ο υπέρθερμος ατμός περνά μέσα από τις σωληνώσεις του εξατμιστή ψύχεται και ένα μέρος του υγροποιείται. Έτσι είναι πιθανό να έχουμε επιστροφή υγρού ψυκτικού στο συμπιεστή, πράγμα ανεπιθύμητο. Πρέπει λοιπόν, στο σύστημα αυτό της απόψυξης, να παίρνονται τα απαραίτητα μέτρα (π.χ. θέρμανση του ατμού στην αναρρόφηση) ώστε να μη φτάνει υγρό ψυκτικό στο συμπιεστή.

6.3.2 Συμπιεστής

Όπως έχουμε τονίσει στα Κεφάλαια 4 και 5, ο συμπιεστής παρέχει τη δυνατότητα να συμπυκνωθεί ο ατμός του ψυκτικού μέσου σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι πετυχαίνεται η

χρησιμοποίηση της ίδιας μάζας ψυκτικού πολλές φορές. Αν το υγρό ψυκτικό μέσο μετατρεπόταν σε ατμό μέσα στον ατμοποιητή και στη συνέχεια διασκορπιζόταν στην ατμόσφαιρα, θα είχαμε το ίδιο ψυκτικό αποτέλεσμα αλλά θα χρειαζόμασταν νέα ποσότητα ψυκτικού κάθε φορά για να πετύχουμε ψύξη.

Ο συμπιεστής είναι μια αντλία ατμού. Αποκαλείται συχνά η **καρδιά της ψυκτικής εγκατάστασης**. Καλύπτει τη διαφορά πίεσης ανάμεσα στην υψηλή και τη χαμηλή πλευρά του κύκλου καθώς και τις απώλειες πίεσης στις σωληνώσεις και τα εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου.

Σχέση Συμπίεσης ή Λόγος Συμπίεσης ενός συμπιεστή σε μια ψυκτική εγκατάσταση ονομάζεται το πηλίκο της πίεσης κατάθλιψης προς την πίεση αναρρόφησης.

$$CR = \frac{P_{κατ.}}{P_{αν.}} \quad (6.1)$$

Στη Σχέση (6.1), CR είναι ο Λόγος συμπίεσης και $P_{κατ.}$, $P_{αν.}$ οι **απόλυτες πιέσεις** κατάθλιψης και αναρρόφησης αντίστοιχα.

Ο Λόγος Συμπίεσης σχετίζεται στενά με την απόδοση του συμπιεστή. Όταν ο λόγος συμπίεσης μεγαλώνει, η απόδοση του συμπιεστή μικραίνει και αντιστρόφως.

♦ Υπολογίστε τη σχέση συμπίεσης σε ένα συμπιεστή στον οποίο η πίεση αναρρόφησης μετρήθηκε 0,8 bar και η πίεση κατάθλιψης 9,5 bar.

Μετατρέπουμε τις πιέσεις σε απόλυτες, προσθέτοντας στις μανομετρικές τιμές την ατμοσφαιρική πίεση. Ας θεωρήσουμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 atm (=1,013 bar).

$$P_{κατ} = 8,6 + 1,013 = 9,613 \text{ bar}$$

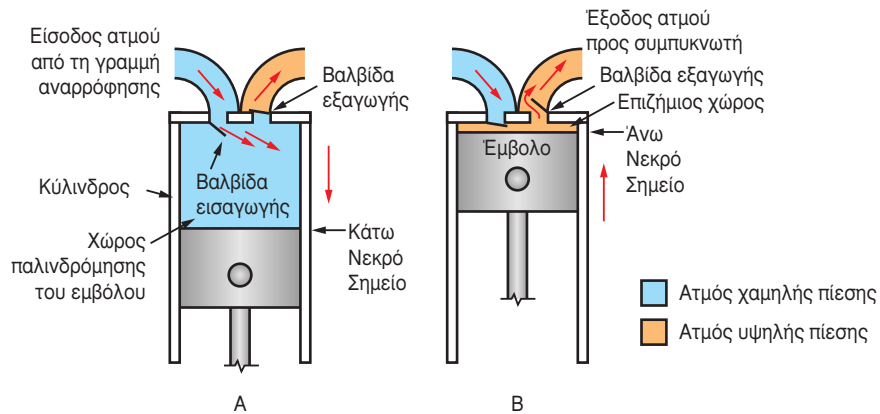
$$P_{αν} = 0,8 + 1,013 = 1,813 \text{ bar}$$

Σύμφωνα με τη σχέση 6.1, θα έχουμε :

$$CR = \frac{P_{κατ.}}{P_{αν.}} = \frac{9,61 \text{ bar}}{1,81 \text{ bar}} = 5,3$$

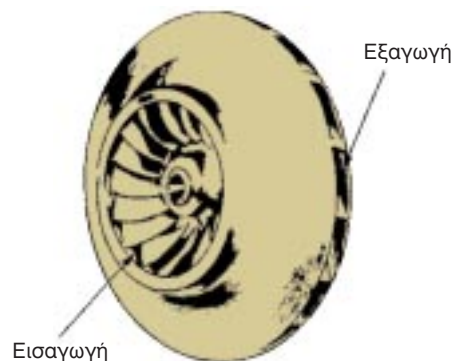
Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, οι συμπιεστές χωρίζονται σε 5 κατηγορίες : τους εμβολοφόρους, τους φυγοκεντρικούς, τους συμπιεστές τύπου τύμπανου, τους κοχλιόμορφους και τους σπειροειδείς (τύπου Scroll).

Οι **εμβολοφόροι** (ή **παλινδρομικοί**) συμπιεστές έχουν σύστημα διωστή-ρα-εμβόλου μέσα σε έναν κύλινδρο (Σχήμα 6.4). Το έμβολο παλινδρομεί έλκοντας αέριο από τη γραμμή αναρρόφησης στον πρώτο χρόνο και καταθλίβοντάς το προς το συμπυκνωτή στο δεύτερο χρόνο.



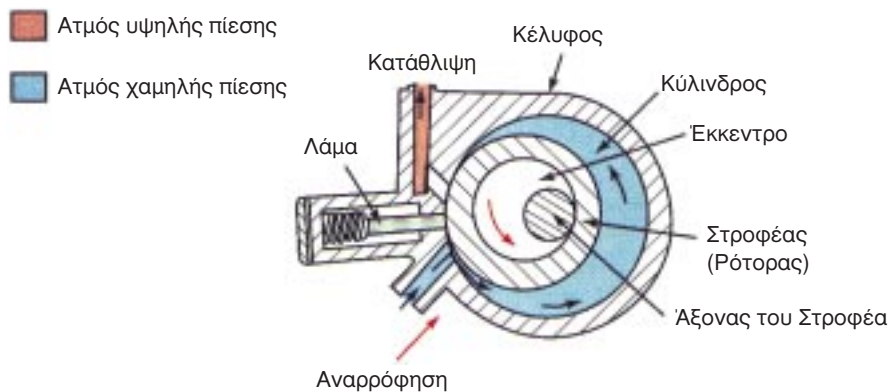
Σχήμα 6.4 Παλινδρομικός συμπιεστής A: φάση εισαγωγής B: φάση εξαγωγής

Οι **φυγοκεντρικοί** συμπιεστές έχουν τροφείο μέσα σ' ένα σταθερό σπειροειδές κέλυφος. Το τροφείο (Σχήμα 6.5) περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και παρασύρει τον ατμό σε περιστροφική κίνηση. Αυτός, στη συνέχεια, οδηγείται στο σπειροειδές κέλυφος και στο σωλήνα κατάθλιψης. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα μεγάλης ισχύος, ιδίως όταν απαιτούνται μεγάλες παροχές. Όταν όμως ο απαιτούμενος λόγος συμπίεσης είναι μεγάλος, προτιμώνται εμβολοφόροι συμπιεστές.



Σχήμα 6.5 Στροφείο φυγοκεντρικού συμπιεστή

Οι συμπιεστές **τύπου τύμπανου (rotary)**, τους οποίους θα συναντήσουμε στο εμπόριο και με το όνομα **περιστροφικοί**, έχουν ολισθαίνουσες βαλβίδες (οι οποίες λέγονται λάμες ή σύρτες) που διαχωρίζουν την αναρρόφηση από την κατάθλιψη. Είναι **θετικού εκτοπίσματος**, δηλαδή παίρνουν μια ποσότητα ατμού, τη συμπιέζουν και την εκτοπίζουν προς το συμπυκνωτή (θετικού εκτοπίσματος είναι και οι παλινδρομικοί συμπιεστές, ενώ οι φυγοκεντρικοί δεν είναι). Οι συμπιεστές τύπου τύμπανου φέρουν συνήθως ένα δρομέα που περιστρέφεται έκκεντρα μέσα σε έναν κύλινδρο (Σχήμα 6.6). Οι ολισθαίνουσες βαλβίδες είναι στερεωμένες στο τοίχωμα του κυλίνδρου. Καθώς ο ρότορας περιστρέφεται, ο διατιθέμενος χώρος για τον ατμό του ψυκτικού γίνεται όλο και μικρότερος. Έτσι ο ατμός συμπιέζεται, φτάνει την πίεση της υψηλής πλευράς του ψυκτικού κύκλου και οδηγείται στη γραμμή κατάθλιψης προς το συμπυκνωτή. Χρησιμοποιούνται σε μονάδες μικρής ισχύος, όπως κλιματιστικά δωματίου, οικιακά ψυγεία και μικρά κεντρικά συστήματα κλιματισμού.

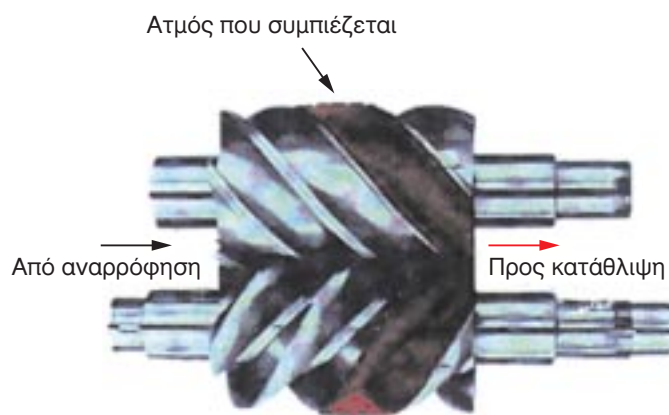


Σχήμα 6.6 Συμπιεστής τύπου τύμπανου (αρχή λειτουργίας)



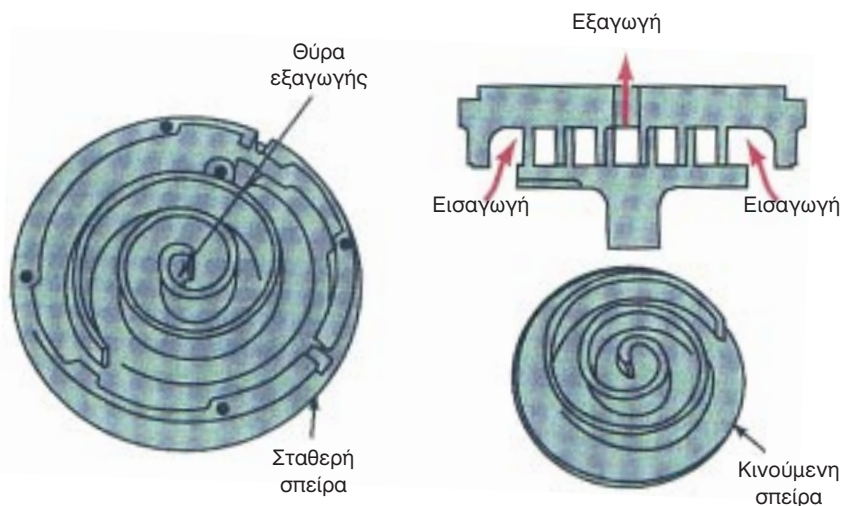
Εικόνα 6.7 Συμπιεστής τύπου τύμπανου (rotary) σε τομή

Οι **κοχλιόμορφοι** συμπιεστές είναι και αυτοί θετικού εκτοπίσματος. Τα βασικά τους μέρη είναι δύο συνεργαζόμενοι ελικοειδείς δρομείς (Σχήμα 6.7) και ένα κέλυφος με θύρες αναρρόφησης και κατάθλιψης. Κατασκευάστηκαν αργότερα από τους άλλους τύπους συμπιεστών, αλλά κερδίζουν συνεχώς έδαφος χάρη στην απλότητα και την ταχύτητά τους. Δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα αν φτάσουν σταγόνες υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή. Είναι κατάλληλοι και για εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών.



Σχήμα 6.7 Αρχή λειτουργίας κοχλιόμορφου συμπιεστή

Οι **σπειροειδείς** συμπιεστές (τύπου **Scroll**) αποτελούνται από δύο σπειροειδή ελατήρια (σπείρες) προσαρμοσμένα το ένα μέσα στο άλλο (Σχήμα 6.8). Η μια από τις σπείρες είναι σταθερή, ενώ η άλλη κινείται έκκεντρα



Σχήμα 6.8 Αρχή λειτουργίας σπειροειδούς συμπιεστή

μέσα στη σταθερή. Έτσι, δημιουργούνται θύλακες μέσα στους οποίους εγκλωβίζεται ο ατμός του ψυκτικού μέσου, συμπιέζεται και οδηγείται προς το κέντρο των δύο σπειρών, όπου είναι η έξοδος προς το συμπυκνωτή. Οι σπειροειδείς συμπιεστές συναντώνται κυρίως σε μονάδες κλιματισμού μικρής και μέσης ισχύος.



Εικόνα 6.8 Σπειροειδής συμπιεστής σε τομή

Μια άλλη διάκριση των συμπιεστών είναι **ανάλογα με τον τρόπο που παίρνουν κίνηση και το πόσο προσιτό είναι το εσωτερικό τους**. Διακρίνουμε λοιπόν τους ερμητικούς συμπιεστές, τους ημιερμητικούς και τους ανοιχτούς.

Στους **ερμητικούς** ή κλειστού τύπου συμπιεστές, ο συμπιεστής και ο ηλεκτροκινητήρας βρίσκονται στο ίδιο στεγανό κέλυφος (Εικ.6.9). Στους συμπιεστές αυτούς η πιθανότητα διαρροής ψυκτικού μέσου προς το περιβάλλον είναι ελάχιστη. Επίσης έχουν, σε σχέση με τους άλλους τύπους, μικρότερο όγκο και βάρος, μικρότερο κόστος και μικρότερο θόρυβο και κραδασμούς κατά τη λειτουργία τους. Το μειονέκτημά τους είναι ότι κάθε εσωτερικός έλεγχος είναι αδύνατος. Για να επιδιορθωθεί κάποια βλάβη, θα πρέπει να κοπεί το μεταλλικό περίβλημα του συμπιεστή. Όμως, το κόστος αυτής της εργασίας συχνά ξεπερνά το κόστος αντικατάστασης.



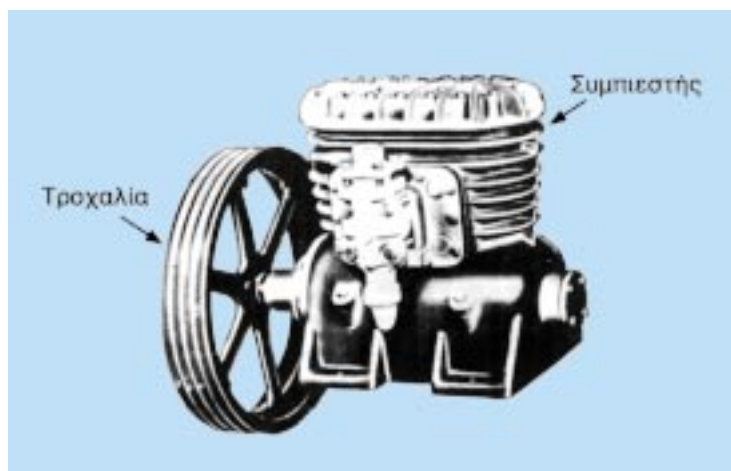
Εικόνα 6.9 Ερμητικός συμπιεστής

Στους **ημιερμητικούς** ή ημίκλειστου τύπου συμπιεστές, ο ηλεκτροκινητήρας είναι τοποθετημένος σε ειδικό χώρο, ο οποίος βρίσκεται μέσα στο χυτό σώμα που περιβάλλει ηλεκτροκινητήρα και συμπιεστή (Εικ. 6.10). Η περιστρεφόμενη άτρακτος του συμπιεστή είναι σταθερά συνδεμένη με τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα και έτσι δεν υπάρχουν προβλήματα ευθυγράμμισης. Τα περισσότερα εξαρτήματα αυτού του τύπου συμπιεστή είναι προσιτά. Μπορεί, δηλαδή, να ανοιχθεί το περίβλημα και να επισκευαστούν ή να αντικατασταθούν διάφορα εξαρτήματα. Οι ημιερμητικοί συμπιεστές βρίσκουν ευρεία χρήση σε μεσαίου μεγέθους ψυκτικές εγκαταστάσεις επαγγελματικού τύπου και σε μικρές εγκαταστάσεις βιομηχανικής ψύξης.



Εικόνα 6.10 Ημιερμητικός συμπιεστής

Οι συμπιεστές **ανοιχτού τύπου** χρησιμοποιήθηκαν παλιότερα σε όλους τους τύπους ψυκτικών εγκαταστάσεων. Σήμερα η χρήση τους έχει περιοριστεί σημαντικά. Στους συμπιεστές ανοιχτού τύπου, ο ηλεκτροκινητήρας που κινεί το συμπιεστή βρίσκεται έξω από το κύριο σώμα του συμπιεστή. Η περιστρεφόμενη άτρακτος του συμπιεστή διαπερνά το στεγανό περίβλημα για να συνδεθεί με τον ηλεκτροκινητήρα. Η θέση, στην οποία η άτρακτος διαπερνά το περίβλημα, παρουσιάζει πρόβλημα στεγανότητας.



Εικόνα 6.11 Συμπιεστής ανοιχτού τύπου στον οποίο η μετάδοση κίνησης γίνεται με ιμάντα

Σχετικά με τους ηλεκτροκινητήρες των συμπιεστών ψύξης, θα μάθετε περισσότερα στο μάθημα *Ηλεκτρολογία-Αυτοματισμοί* της ίδιας τάξης.

6.3.3 Συμπυκνωτής

Ο σκοπός του συμπυκνωτή της ψυκτικής εγκατάστασης είναι να μετατρέψει τον υπέρθερμο ατμό, που παραλαμβάνει από την έξοδο του συμπιεστή, σε υγρό ψυκτικό ώστε να επαναλαμβάνεται ο ψυκτικός κύκλος. Γνωρίζουμε από τα περί μετατροπής φάσης (Κεφάλαιο 4) ότι όταν έχουμε υγροποίηση (συμπύκνωση) ατμού το ψυκτικό μέσο αποβάλλει θερμότητα. Ο συμπυκνωτής λοιπόν απορρίπτει θερμότητα προς το περιβάλλον. Η απορριπτόμενη θερμική ισχύς ισούται με το άθροισμα της ψυκτικής ισχύος και της ισχύος του συμπιεστή (θυμηθείτε το Σχήμα 5.5).

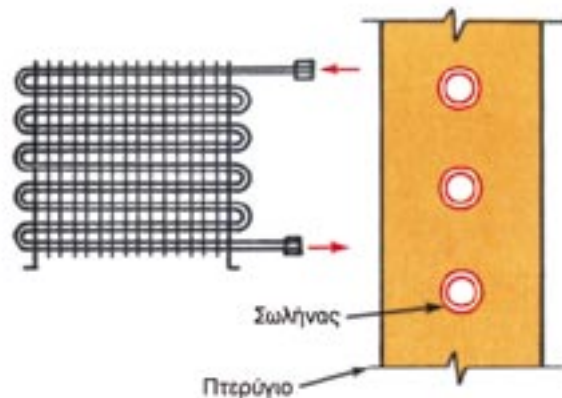
Στο συμπυκνωτή εισέρχεται υπέρθερμος ατμός και εξέρχεται υπόψυ-

κτο υγρό. Η θερμότητα που αποβάλλεται προς το περιβάλλον μέσω του συμπυκνωτή αποτελείται από τρία μέρη, όπως έχουμε αναλύσει στην § 4.4 και το Σχ. 4.3: τη θερμότητα υπερθέρμανσης (για τη μετατροπή του υπέρθερμου ατμού σε κορεσμένο), τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης και τη θερμότητα υπόψυξης (για τη μετατροπή του κορεσμένου υγρού σε υπόψυκτο υγρό).

Το περιβάλλον προς το οποίο απορρίπτεται η θερμότητα είναι είτε ο ατμοσφαιρικός αέρας, είτε κάποιο ρεύμα νερού, είτε συνδυασμός αέρα περιβάλλοντος και νερού που εξατμίζεται. Ανάλογα λοιπόν με το περιβάλλον προς το οποίο απορρίπτεται η θερμότητα των συμπυκνωτών, αυτοί κατατάσσονται σε τρεις γενικές κατηγορίες :

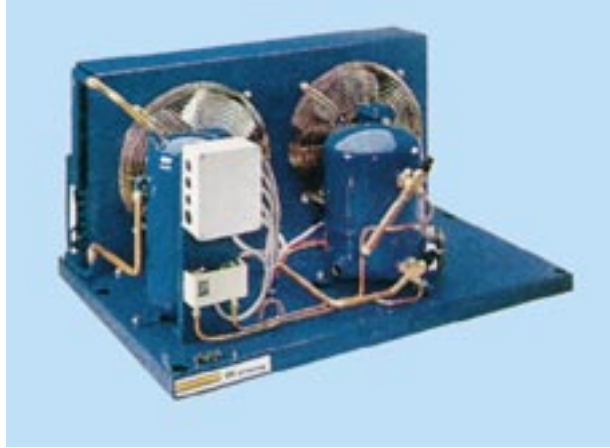
- Αερόψυκτοι συμπυκνωτές
- Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές
- Εξατμιστικοί συμπυκνωτές (ή συμπυκνωτές εξάτμισης νερού).

Στο Σχήμα 6.9 βλέπουμε έναν **αερόψυκτο** συμπυκνωτή. Διακρίνουμε σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο και πτερύγια, τα οποία αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής ψυκτικού μέσου - περιβάλλοντος έτσι ώστε να γίνεται πιο εύκολα η αποβολή θερμότητας.



Σχήμα 6.9 Αερόψυκτος Συμπυκνωτής

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : τους συμπυκνωτές **φυσικής κυκλοφορίας** αέρα και τους συμπυκνωτές **θεδιασμένης ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας** αέρα. Στους συμπυκνωτές της δεύτερης κατηγορίας, η κυκλοφορία του αέρα υποβοηθείται με ανεμιστήρα, όπως στην Εικόνα 6.12.



Εικόνα 6.12 Ψυκτική συσκευή μικρής επαγγελματικής μονάδας με συμπυκνωτή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας και ερμητικό συμπιεστή

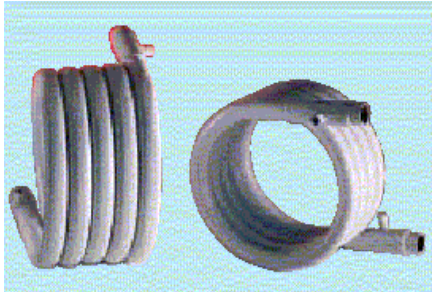
Στην Εικόνα 6.13 βλέπουμε ένα χαρακτηριστικό τύπο **υδρόψυκτου** συμπυκνωτή.



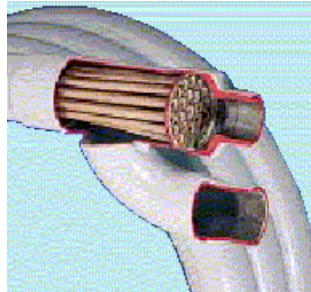
Εικόνα 6.13 Υδρόψυκτος συμπυκνωτής κελύφους-σωλήνων

Ο τύπος αυτός ονομάζεται **κελύφους-σωλήνων**. Μέσα στον κύλινδρο που βλέπουμε υπάρχουν σωληνώσεις, όπου κυκλοφορεί νερό και γύρω από αυτές υπάρχουν ατμοί του ψυκτικού μέσου, οι οποίοι σταδιακά υγροποιούνται.

Ένας άλλος τύπος υδρόψυκτου συμπυκνωτή είναι **με ομοαξονικούς σωλήνες**. Στην πιο απλή του μορφή έχει δύο ομοαξονικούς σωλήνες μέσα στους οποίους ρέουν αντίρροπα (κατ' αντιρροή) το ψυκτικό μέσο και το νερό. Σε μεγαλύτερα μεγέθη συμπυκνωτών γίνεται συνδυασμός περισσότερων παράλληλων σωλήνων. Τέτοιους συμπυκνωτές βλέπουμε στην Εικόνα 6.14 :



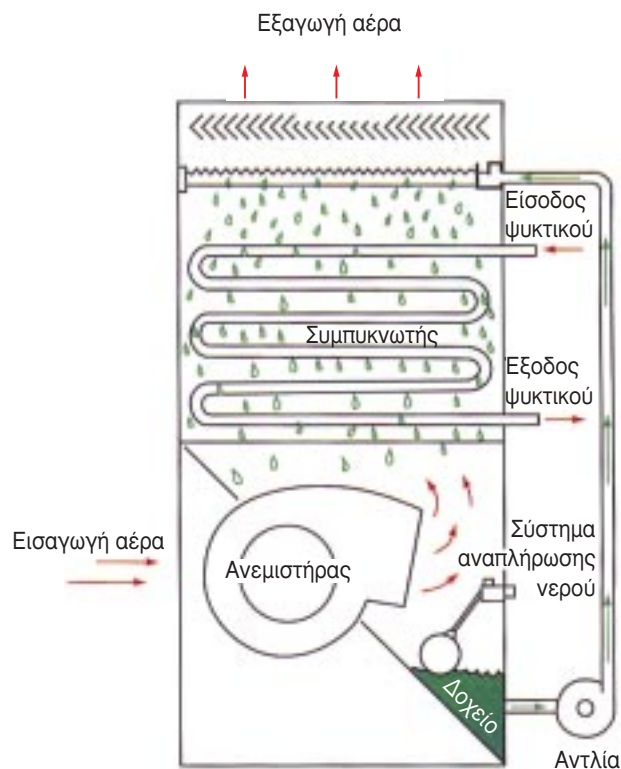
Εικόνα 6.14 Ομοαξονικοί συμπυκνωτές



Εικόνα 6.15

Στην Εικόνα 6.15 βλέπουμε ομοαξονικό συμπυκνωτή σε τομή. Μέσα σε καθένα από τους σωλήνες της δέσμης κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο, ενώ η δέσμη περιρρέεται από το νερό ψύξης.

Ιδιαίτερη κατηγορία συμπυκνωτών αποτελούν οι λεγόμενοι **εξατμιστικοί** συμπυκνωτές ή συμπυκνωτές **εξάτμισης νερού**. Οι συμπυκνωτές αυτοί αποτελούν συνδυασμό αερόψυκτου και υδρόψυκτου συμπυκνωτή. Στο Σχήμα 6.10 βλέπουμε πώς λειτουργεί ένας τέτοιος συμπυκνωτής.

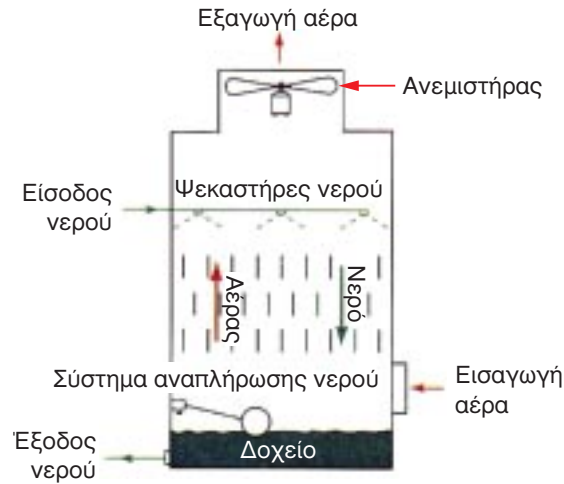


Σχήμα 6.10 Αρχή λειτουργίας εξατμιστικού συμπυκνωτή

Το ψυκτικό κυκλοφορεί σε σωλήνωση μέσα στο συμπυκνωτή. Πάνω από τη σωλήνωση έρχεται το νερό ψύξης το οποίο ψεκάζεται. Παράλληλα, έχουμε ένα ανοδικό ρεύμα αέρα που προκαλείται από ανεμιστήρα. Το ρεύμα αέρα βοηθά ένα μικρό ποσοστό του νερού να εξατμιστεί. Γνωρίζουμε ότι κατά την αλλαγή φάσης του νερού σε υδρατμό απορροφάται ένα μεγάλο ποσό θερμότητας. Σ' αυτό στηρίζεται η λειτουργία του εξατμιστικού συμπυκνωτή. Η απόρριψη θερμότητας από το ψυκτικό μέσο γίνεται κυρίως προς τη μάζα εκείνη του νερού, η οποία εξατμίζεται. Εννοείται ότι στο συμπυκνωτή αυτού του τύπου θα πρέπει να υπάρχει μέριμνα ώστε να συμπληρώνεται η ποσότητα νερού και αυτό ελέγχεται από σύστημα πλωτήρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.10

Πύργοι ψύξης

Το νερό **των υδρόψυκτων συμπυκνωτών** χρειάζεται να ψυχθεί για να μπορέσει να ξαναχρησιμοποιηθεί στο συμπυκνωτή. Αυτό επιτελείται σε ειδική διάταξη που ονομάζεται **πύργος ψύξης**. Το νερό μετά τη διέλευσή του από το συμπυκνωτή οδηγείται στον πύργο ψύξης, όπου ψεκάζεται προς τα κάτω και έρχεται σε επαφή με ανοδικό ρεύμα αέρα (Σχήμα 6.11). Ένα μικρό ποσοστό του νερού εξατμίζεται και εξέρχεται ως υδρατμός μαζί με τον αέρα από το πάνω μέρος του πύργου. Εκεί στηρίζεται η ιδέα του πύργου ψύξης. **Το μικρό ποσό νερού που εξατμίζεται απορροφά θερμότητα ικανή για να ψύξει το υπόλοιπο νερό.** Στο πάνω μέρος υπάρχουν συγκρατητήρες (παγίδες) σταγόνων έτσι ώστε να μην παρασύρει ο αέρας και σταγόνες νερού. Επειδή μέρος του νερού εξατμίζεται, πρέπει στον πύργο ψύξης να γίνεται αναπλήρωση του χαμένου νερού. Αυτό ρυθμίζεται με βάση τη στάθμη του νερού στο κάτω μέρος, η οποία ελέγχεται με πλωτήρα (φλοτέρ).



Σχήμα 6.11 Αρχή λειτουργίας του πύργου ψύξης

Υπάρχουν πύργοι ψύξης φυσικής κυκλοφορίας αέρα (χωρίς ανεμιστήρες) και πύργοι ψύξης εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα, όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 6.11. Οι πύργοι ψύξης τοποθετούνται συνήθως στην ταράτσα του κτιρίου. Στην Εικόνα 6.16 βλέπουμε ένα συγκρότημα πύργων ψύξης εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα.



Εικόνα 6.16 Συγκρότημα πύργων ψύξης

6.3.4 Εκτονωτικές διατάξεις του ψυκτικού μέσου

Όπως έχει αναλυθεί κατά την περιγραφή του κύκλου ψύξης, το ψυκτικό μέσο, που υγροποιείται στο συμπυκνωτή, πρέπει να περάσει από το εκτο-

νωτικό μέσο (ή διάταξη στραγγαλισμού πίεσης), ώστε αφού υποβιβαστεί η πίεσή του, να επιστρέψει στο στοιχείο ατμοποίησης και να ξαναγίνει ατμός. Η διάταξη στραγγαλισμού έχει διπλή αποστολή :

- α) **να υποβιβάζει την πίεση** του ρευστού στα επίπεδα της χαμηλής πλευράς της εγκατάστασης.
- β) **να ρυθμίζει την παροχή μάζας** του ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή προς το στοιχείο ατμοποίησης.

Με τη ρύθμιση της παροχής μάζας αποφεύγεται η συσσώρευση ψυκτικού μέσου στη χαμηλή ή στην υψηλή πλευρά της εγκατάστασης. Αν η διάταξη στραγγαλισμού έχει παροχή μάζας μικρότερη από εκείνη του συμπιεστή, τότε το ψυκτικό μέσο συγκεντρώνεται στην περιοχή υψηλής πίεσης. Αντιθέτως, αν η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου στη διάταξη στραγγαλισμού είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο συμπιεστή, τότε το ψυκτικό μέσο συγκεντρώνεται στην περιοχή χαμηλής πίεσης.

Επειδή οι πιέσεις λειτουργίας της εγκατάστασης μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή του έτους και με το ψυκτικό φορτίο που υπάρχει κάθε φορά, η παροχή της διάταξης στραγγαλισμού πρέπει να προσαρμόζεται στις ανάγκες της εγκατάστασης που είναι μεταβλητές.

Τα πιο συνηθισμένα εκτονωτικά μέσα είναι τα εξής :

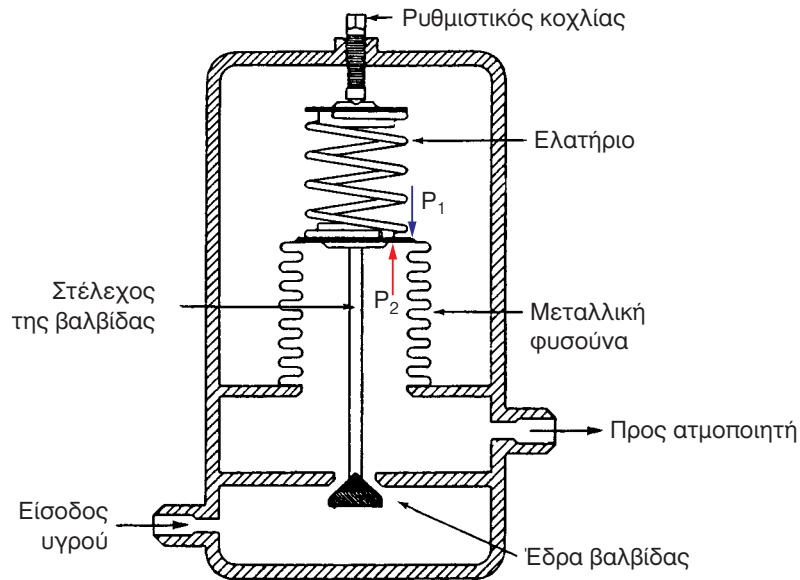
- Η πιεζοστατική βαλβίδα
- Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (Θ.Ε.Β.)
- Η θερμοηλεκτρική ή θερμοηλεκτρονική βαλβίδα
- Η εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στη χαμηλή πλευρά
- Η εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στην υψηλή πλευρά
- Ο τριχοειδής σωλήνας.

Θα δούμε στη συνέχεια την αρχή λειτουργίας καθεμιάς από αυτές τις στραγγαλιστικές διατάξεις.

Η πιεζοστατική βαλβίδα

Σκοπός της πιεζοστατικής ή **πρεσοστατικής** ή **αυτόματης** εκτονωτικής βαλβίδας είναι να κρατά σταθερή την πίεση στον εξατμιστή. Σήμερα, η ρύθμιση αυτή θεωρείται κατώτερη από άλλους τρόπους ρύθμισης της ποσότητας ροής του ψυκτικού, γι' αυτό η πιεζοστατική βαλβίδα τείνει να αντικατασταθεί και στις μικρές ακόμα εγκαταστάσεις από θερμοστατικές βαλβίδες.

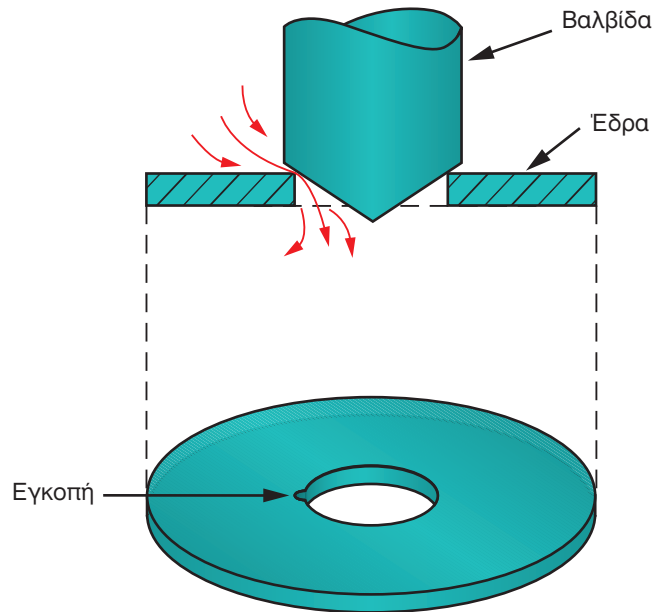
Στο Σχήμα 6.12 φαίνονται τα κύρια μέρη αλλά και η αρχή λειτουργίας της πιεζοστατικής βαλβίδας.



Σχήμα 6.12 Αρχή λειτουργίας πιεζοστατικής βαλβίδας

Όταν η πίεση μέσα στον εξατμιστή μεγαλώνει, ασκείται στη μεμβράνη δύναμη μεγαλύτερη από αυτή που ασκεί το ελατήριο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μετακινείται προς τα πάνω το στέλεχος της βαλβίδας και η βαλβίδα να κλείνει περισσότερο, μειώνοντας έτσι την παροχή του ψυκτικού μέσου. Το αντίστροφο γίνεται στην περίπτωση που η πίεση μέσα στον εξατμιστή είναι χαμηλή. Η προένταση του ελατηρίου μπορεί να ρυθμιστεί με τον κοχλία που βρίσκεται στο επάνω μέρος. Αυτό σημαίνει ότι, όταν το απαιτούν οι συνθήκες, μπορούμε να αυξήσουμε την πίεση λειτουργίας του εξατμιστή (στρέφοντας τον κοχλία δεξιόστροφα) ή αντίστροφα να ελαττώσουμε την πίεση λειτουργίας του εξατμιστή.

Ένα μειονέκτημα που έχουν οι πιεζοστατικές βαλβίδες είναι ότι, όταν σταματήσει ο συμπιεστής, καθώς η πίεση στον εξατμιστή είναι μεγάλη, η βαλβίδα παραμένει κλειστή. Έτσι, όταν ξαναρχίσει ο συμπιεστής, η πίεση στην υψηλή πλευρά της ψυκτικής εγκατάστασης είναι μεγάλη και ο συμπιεστής ξεκινά, όπως λέμε, με **δυσμενείς συνθήκες αντίθλιψης**. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται σε πολλές βαλβίδες με τον εξής τρόπο : στην έδρα της βαλβίδας υπάρχει μια εγκοπή, όπως δείχνει το Σχήμα 6.13 :

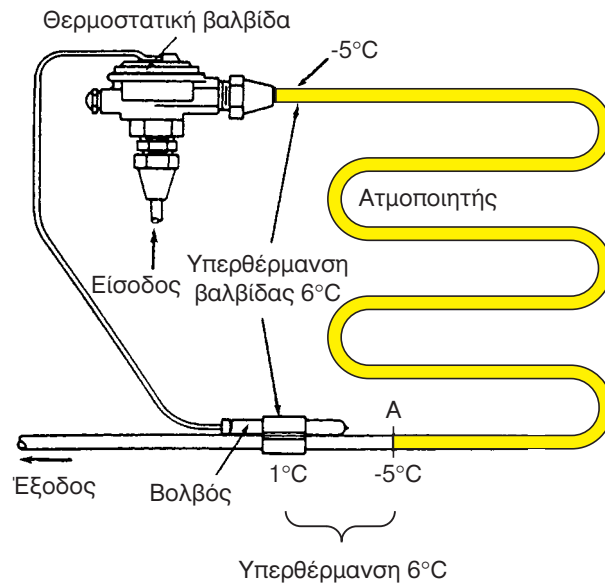


Σχήμα 6.13 Εγκοπή για το «ξεθύμασμα» της πίεσης σε πιεζοστατική βαλβίδα

Η εγκοπή αυτή εξασφαλίζει το «ξεθύμασμα» της υψηλής πίεσης όταν η βαλβίδα είναι κλειστή, ενώ είναι τόσο μικρή που δεν επηρεάζει τη βαλβίδα στην κανονική λειτουργία της.

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (Θ.Ε.Β.)

Η βαλβίδα αυτή τοποθετείται πριν από την είσοδο του ατμοποιητή και ρυθμίζει την παροχή μάζας, επιδιώκοντας να κρατά σταθερή υπερθέρμανση στον ατμοποιητή. Ας δούμε όμως πρώτα τι ονομάζουμε **υπερθέρμανση** του ατμοποιητή : είναι η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία που επικρατεί στην έξοδο του ατμοποιητή και τη θερμοκρασία κάτω από την οποία έγινε η ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου. Γιατί αυτές οι θερμοκρασίες διαφέρουν ; Διότι πολύ συχνά η ατμοποίηση του ψυκτικού έχει ολοκληρωθεί πριν από την έξοδο του στοιχείου ατμοποίησης. Από το σημείο αυτό έως την έξοδο του στοιχείου ατμοποίησης, ο ατμός υπερθερμαίνεται. Αυτό μας δείχνει και το Σχήμα 6.14.



Σχήμα 6.14 Υπερθέρμανση στον ατμοποιητή

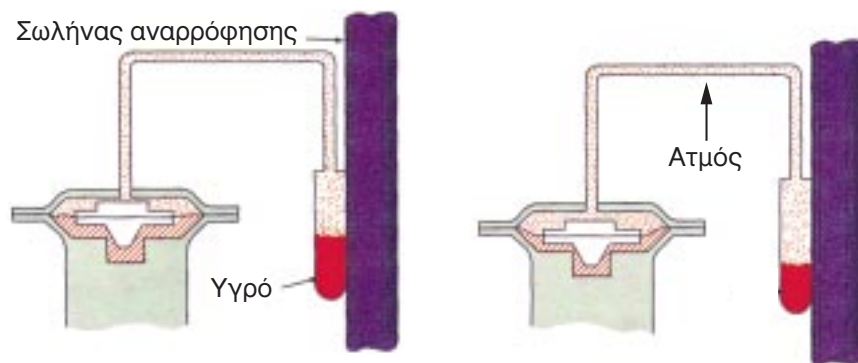
Η ατμοποίηση γίνεται σε θερμοκρασία -5°C . Αυτή είναι και η θερμοκρασία σε όλη τη διάρκεια της ατμοποίησης, η οποία ολοκληρώνεται στο σημείο A. Από το σημείο A έως την έξοδο του ατμοποιητή, ο ατμός υπερθερμαίνεται και η θερμοκρασία του γίνεται 1°C . Η υπερθέρμανση λοιπόν είναι : $1^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C}) = 6^{\circ}\text{C}$.

Για να κρατιέται σταθερή η υπερθέρμανση, η Θ.Ε.Β. θα πρέπει, με κατάλληλο σύστημα αυτομάτου ελέγχου, να ανοίγει περισσότερο όταν η υπερθέρμανση μεγαλώνει και να κλείνει περισσότερο όταν η υπερθέρμανση μικραίνει. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνει το εξής :

- μεγάλη υπερθέρμανση σημαίνει ότι η ατμοποίηση τελειώνει νωρίς μέσα στο στοιχείο ατμοποίησης και το υπόλοιπο στοιχείο ατμοποίησης μένει «στεγνό». Τότε η Θ.Ε.Β. πρέπει να ανοίξει περισσότερο για να περάσει μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού, οπότε η ατμοποίηση θα τελειώνει πιο πέρα (πιο κοντά στην έξοδο του εξατμιστή). Έτσι, η υπερθέρμανση τείνει να επιστρέψει στην προκαθορισμένη τιμή της.
- μικρή υπερθέρμανση σημαίνει ότι η ατμοποίηση τελειώνει πολύ κοντά στην έξοδο του στοιχείου ατμοποίησης. Η Θ.Ε.Β. πρέπει να κλείσει λίγο για να μειωθεί η παροχή ψυκτικού προς τον ατμοποιητή.

τή. Τότε η ατμοποίηση θα τελειώσει ενωρίτερα και η υπερθέρμανση θα τείνει να ανεβεί στην προκαθορισμένη τιμή της.

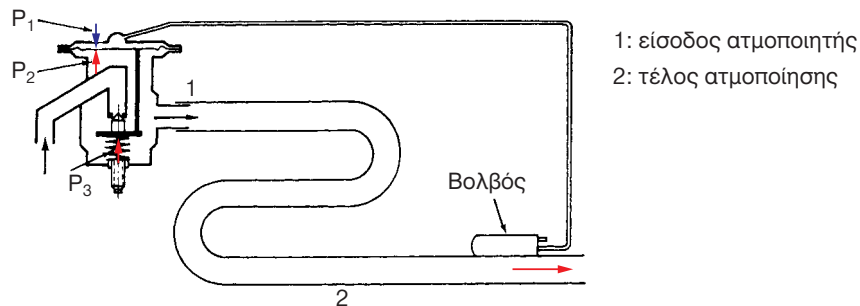
Για να πετύχει όλα τα παραπάνω, η Θ.Ε.Β. θα πρέπει πρώτα απ' όλα να «ενημερώνεται» από κάποιο αισθητήριο για τη θερμοκρασία που επικρατεί στην έξοδο του εξατμιστή. Αυτό γίνεται με το **βολβό** (πούρο). Ο βολβός (Σχήμα 6.15) στερεώνεται στο σωλήνα εξόδου από τον εξατμιστή. Έχει μέσα του ένα ψυκτικό ρευστό (που μπορεί να είναι και διαφορετικό από αυτό της μονάδας). Ο βολβός επικοινωνεί με ένα σωληνάκι με το πάνω μέρος της Θ.Ε.Β. Αυτή έχει μια μεμβράνη που στο πάνω μέρος της επιδρά η πίεση του ψυκτικού ρευστού του βολβού (Σχήμα 6.15). Όταν η θερμοκρασία στη θέση του βολβού ανεβαίνει (Σχήμα 6.15, δεξιά), η πίεση που ασκείται στη μεμβράνη είναι μεγαλύτερη.



Σχήμα 6.15 Βολβός Θ.Ε.Β. και επικοινωνία του με τη βαλβίδα.

Αριστερά ο βολβός είναι ψυχρότερος και δεξιά θερμότερος

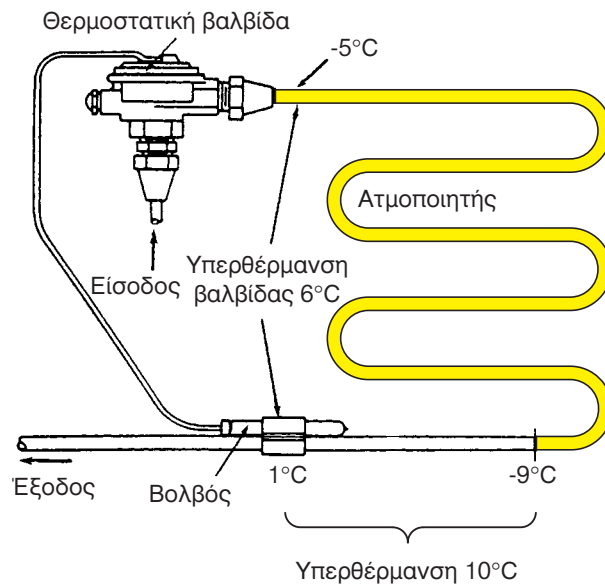
Κάτω από τη μεμβράνη επιδρούν η πίεση που επικρατεί στην είσοδο του στοιχείου ατμοποίησης (η p_2 , όπως δείχνει το Σχήμα 6.16) και η πίεση ενός ελατηρίου (η p_3). Το ελατήριο αυτό είναι σε τέτοια θέση ώστε να έχουμε την επιδιωκόμενη υπερθέρμανση. Περιστρέφοντας δεξιόστροφα τον κοχλία, αλλάζουμε την προένταση στο ελατήριο, οπότε μεγαλώνουμε την υπερθέρμανση. Αντίστροφα (αριστερόστροφα), μειώνουμε την υπερθέρμανση.



Σχήμα 6.16 Αρχή λειτουργίας της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας

Εξωτερική εξίσωση πίεσης

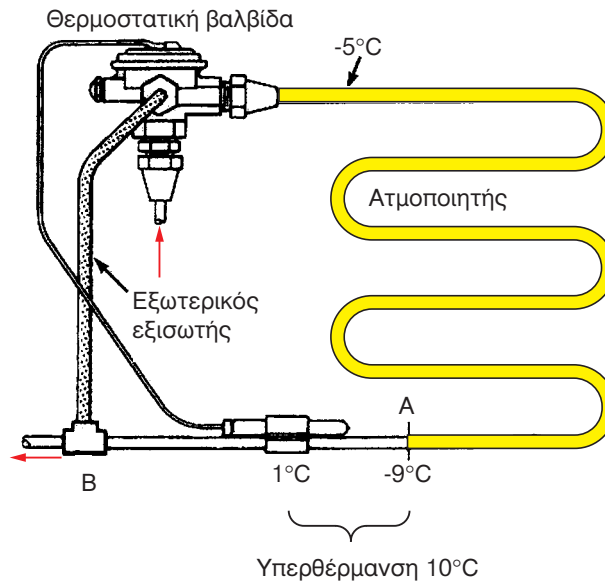
Συχνά, όταν ως στραγγαλιστική διάταξη χρησιμοποιείται Θ.Ε.Β., πρέπει να πάρουμε υπόψη μας το πρόβλημα της πτώσης πίεσης μέσα στον εξατμιστή. Τι σημαίνει αυτό ; Το ψυκτικό ρευστό, καθώς ρέει μέσα στους σωλήνες του εξατμιστή, έχει απώλειες πίεσης. Βρισκόμαστε όμως σε αλλαγή φάσης και η πτώση πίεσης συνοδεύεται με πτώση της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Η ατμοποίηση, δηλαδή, συνεχίζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτό μας δείχνει και το Σχήμα 6.17.



Σχήμα 6.17 Πτώση πίεσης και θερμοκρασίας ατμοποίησης στον ατμοποιητή

Η ατμοποίηση, στην είσοδο του στοιχείου ατμοποίησης, γίνεται στους $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Καθώς όμως έχουμε πτώση πίεσης, αλλάζει και η θερμοκρασία ατμοποίησης. Έτσι, η θερμοκρασία στο τέλος της ατμοποίησης είναι ήδη $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ακολουθεί υπερθέρμανση του ατμού έως τη θέση που είναι ο βολβός, όπου η θερμοκρασία γίνεται $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στην περίπτωση αυτή, η υπερθέρμανση είναι $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\{= 1 - (-9)\}$. Η Θ.Ε.Β. όμως θα δράσει σαν να είχαμε υπερθέρμανση $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\{= 1 - (-5)\}$. Για να κατανοήσουμε γιατί συμβαίνει αυτό, ας θυμηθούμε ποιες πιέσεις επενεργούν στη μεμβράνη της Θ.Ε.Β. (Σχ.6.16): έχουμε στο επάνω μέρος την πίεση του ψυκτικού που είναι μέσα στο βολβό και από το κάτω μέρος την πίεση λόγω της προέντασης του ελατηρίου και την πίεση του στοιχείου ατμοποίησης. Αυτή η τελευταία όμως είναι η πίεση που επικρατεί στην είσοδο του στοιχείου ατμοποίησης. Στο παράδειγμά μας, θα είναι η πίεση κορεσμού που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για το συγκεκριμένο ψυκτικό ρευστό. Άρα, η Θ.Ε.Β. δεν «αντιλαμβάνεται» αν μετά ακολουθεί πτώση πίεσης και δρα σαν να έχουμε υπερθέρμανση $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται εάν στο κάτω μέρος της μεμβράνης, αντί της πίεσης που επικρατεί στην είσοδο του εξατμιστή, επενεργεί η πίεση που επικρατεί στην έξοδο του εξατμιστή. Αυτό κάνει ο λεγόμενος **εξωτερικός εξισωτής πίεσης**. Πρόκειται για ένα σωλήνα, οποίος συνδέει την έξοδο του εξατμιστή με ειδική υποδοχή της θερμοστατικής βαλβίδας. Έτσι, ο υπέρθερμος ατμός της εξόδου του εξατμιστή επικοινωνεί με το κάτω μέρος της μεμβράνης. Ο σωλήνας αυτός ξεκινά περί τα 15 cm μετά το βολβό της Θ.Ε.Β. Το Σχήμα 6.18 μας δείχνει πλήρως τη συνδεσμολογία.



Σχήμα 6.18 Θερμοστατική Εκτονωτική Βαλβίδα με εξωτερικό εξισωτή πίεσης

Θερμοηλεκτρική ή θερμοηλεκτρονική βαλβίδα

Η βαλβίδα αυτή έχει παρόμοια αρχή λειτουργίας με τη Θ.Ε.Β. Στη θερμοηλεκτρική βαλβίδα όμως, η μέτρηση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού στην έξοδο του εξατμιστή δε γίνεται με τη χρήση βολβού αλλά με ηλεκτρικό τρόπο, η δε εντολή για το άνοιγμα ή το κλείσιμο της βαλβίδας δίνεται με ηλεκτρικό σήμα.

Το αισθητήριο θερμοκρασίας είναι ένα **θερμίστορ** (δηλαδή ένας ημιαγωγός στον οποίο, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στα περισσότερα υλικά, η αντίσταση μικραίνει όταν μεγαλώνει η θερμοκρασία). Η θερμοηλεκτρική βαλβίδα έχει στο επάνω μέρος της ένα διμεταλλικό έλασμα, το οποίο φέρει ένα ηλεκτρικό τύλιγμα που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος, τόσο πιο ζεστό διατηρείται το διμεταλλικό έλασμα και ανοίγει η βαλβίδα ώστε να περάσει περισσότερο ψυκτικό μέσο.

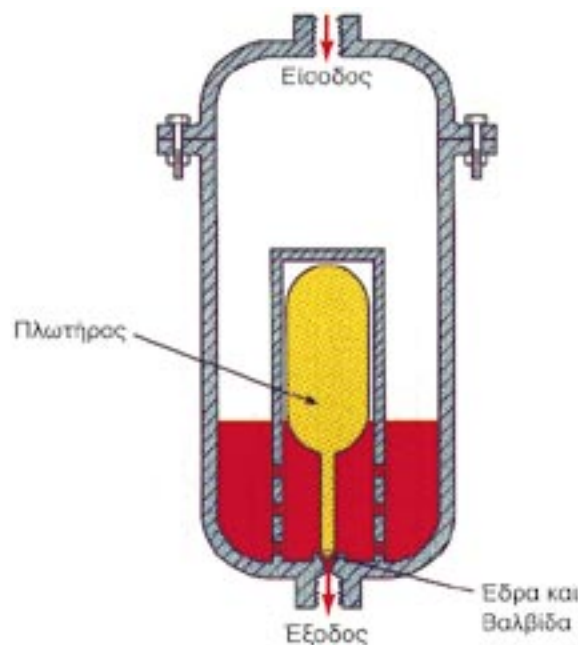
Εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στη χαμηλή πλευρά

Η βαλβίδα αυτή επιδιώκει να κρατά σταθερή την ποσότητα του υγρού ψυκτικού μέσου στον εξατμιστή. Ανοίγει περισσότερο όταν η στάθμη του υγρού ψυκτικού κατεβαίνει, ενώ κλείνει περισσότερο όταν ανεβαίνει η στάθμη του υγρού ψυκτικού. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας γίνεται με τη βοήθεια συστήματος πλωτήρα.

Εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στην υψηλή πλευρά

Η βαλβίδα αυτή τοποθετείται στο συγκρότημα συμπυκνωτή-συλλέκτη και έχει σκοπό να κρατά σταθερή την ποσότητα του υγρού ψυκτικού στο συμπυκνωτή.

Όταν έχει συμπυκνωθεί μεγάλη ποσότητα ψυκτικού, η στάθμη ανεβαίνει και η βαλβίδα, με τη βοήθεια ενός συστήματος με πλωτήρα, ανοίγει περισσότερο επιτρέποντας στο ψυκτικό να πάει στο στοιχείο ατμοποίησης (Σχήμα 6.19). Αντίθετα, η βαλβίδα κλείνει περισσότερο, όταν η στάθμη του ψυκτικού στο συμπυκνωτή χαμηλώνει.



Σχήμα 6.19 Εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στην υψηλή πλευρά

Ο τριχοειδής σωλήνας

Είναι το πιο απλό εκτονωτικό μέσο και χρησιμοποιείται πάρα πολύ στα οικιακά ψυγεία και τις μικρές κλιματιστικές μονάδες. Γνωρίζουμε ότι η πίεση ενός ρευστού πέφτει λόγω τριβών, καθώς αυτό ρέει μέσα σε ένα σωλήνα. Δύο από τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την πτώση πίεσης είναι η διάμετρος του σωλήνα και το μήκος του.

Ο τριχοειδής είναι ένας σωλήνας **μεγάλου μήκους** και **μικρής διαμέτρου** (Εικόνα 6.17) . Έτσι εξασφαλίζει την απαιτούμενη πτώση πίεσης.



Εικόνα 6.17 Τριχοειδής σωλήνας

Ο τριχοειδής σωλήνας δε διαθέτει αυτόματο μηχανισμό ρύθμισης της παροχής ψυκτικού μέσου. Γι' αυτό, ο σωλήνας πρέπει να έχει επιλεγεί με προσοχή για συγκεκριμένη εγκατάσταση.

6.3.5 Ασφαλιστικές και ρυθμιστικές διατάξεις

Εκτός από τις συσκευές που χρησιμοποιούνται στα τέσσερα κύρια μέρη του ψυκτικού κυκλώματος, υπάρχουν και άλλες συσκευές και μηχανισμοί στα ψυκτικά κυκλώματα. Κάποιες από τις συσκευές αυτές έχουν ως αποστολή την καλύτερη ρύθμιση της λειτουργίας της ψυκτικής εγκατάστασης, ενώ άλλες έχουν ασφαλιστικό ρόλο. Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε τις κυριότερες από αυτές τις συσκευές.

Ο **συλλέκτης υγρού** είναι συσκευή που τοποθετείται μετά από το συμπυκνωτή για να αποθηκεύει το ψυκτικό υγρό. Πρόκειται για ένα δοχείο οριζόντιο ή κατακόρυφο (Εικόνα 6.18), ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης. Συνήθως, ο συλλέκτης είναι αρκετά μεγάλος ώστε να χωρά ολό-

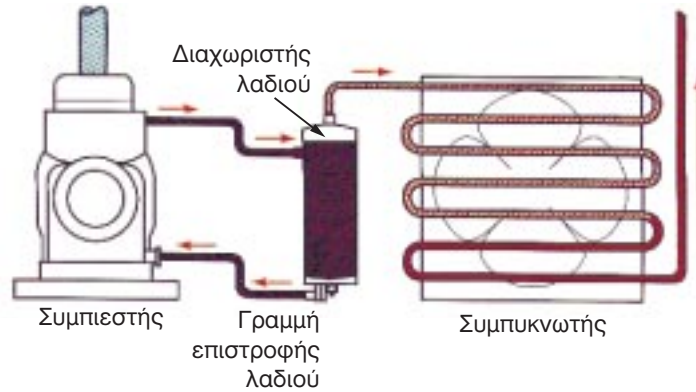
κληρη την ποσότητα του ψυκτικού ρευστού που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση. Αυτό επιτρέπει στον τεχνίτη ψυκτικό να κάνει εργασίες επιδιόρθωσης στη χαμηλή πλευρά της εγκατάστασης χωρίς να χρειάζεται να αφαιρεί το ψυκτικό ρευστό από τη μονάδα.



Εικόνα 6.18 Οριζόντιος και κατακόρυφος συλλέκτης υγρού ψυκτικού

Ο συλλέκτης υγρού μπορεί και να μην υπάρχει σε μια ψυκτική μονάδα, όταν η ποσότητα ψυκτικού ρευστού που κυκλοφορεί είναι γνωστή και επακριβώς καθορισμένη, όπως για παράδειγμα στα οικιακά ψυγεία.

Ο **διαχωριστής λαδιού** είναι συσκευή που τοποθετείται στη γραμμή κατάθλιψης με σκοπό να διαχωρίσει το λάδι από τον υπέρθερμο ατμό εξόδου από το συμπιεστή. Το λάδι αυτό επιστρέφει στην ελαιολεκάνη του συμπιεστή (Σχήμα 6.20).



Σχήμα 6.20 Θέση του διαχωριστή λαδιού στην ψυκτική εγκατάσταση

Ο διαχωρισμός του λαδιού από τον υπέρθερμο ατμό πετυχαίνεται, στους περισσότερους διαχωριστές, με τη βαρύτητα, δηλαδή με ελεύθερη πτώση των σταγόνων λαδιού. Για να γίνει αυτό, απαιτείται χαμηλή ταχύτητα κίνησης του ατμού στη συσκευή.

Τα **φίλτρα-ξηραντήρες** είναι εξαρτήματα απαραίτητα σε κάθε ψυκτικό κύκλωμα. Αποτελούνται από το φίλτρο και τον ξηραντήρα (αφυγραντήρα) που καθένα τους επιτελεί διαφορετικό ρόλο.



Εικόνα 6.19 Φίλτρο-ξηραντήρας σε τομή

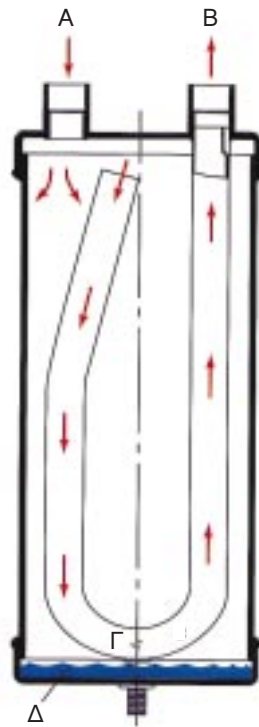
Το **φίλτρο** συγκρατεί τα στερεά σωματίδια που κυκλοφορούν με το ψυκτικό ρευστό. Ο **ξηραντήρας** συγκρατεί ίχνη υδρατμού ή νερού που υπάρχουν στο ψυκτικό μέσο. Η συγκράτηση της υγρασίας επιτυγχάνεται με ένα πορώδες υλικό μέσα από το οποίο διέρχεται το ψυκτικό ρευστό (Εικόνα 6.19). Το υλικό αυτό είναι συνήθως ενεργή αλουμίνα ή σίλικά-τζελ (ο-ξείδιο του πυριτίου).

Οι **δείκτες ροής** είναι εξαρτήματα που δείχνουν αν υπάρχει ικανοποιητική φόρτιση στη μονάδα, αν δηλαδή η ποσότητα του ψυκτικού που κυκλοφορεί είναι αρκετή (Εικ. 6.20). Συνήθως, οι δείκτες ροής συνδυάζονται σε μια συσκευή με τα **ενδεικτικά υγρασίας**. Η ενιαία συσκευή ελέγχει τότε και το αν η υγρασία του κυκλώματος βρίσκεται πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Τοποθετούνται στην αναρρόφηση, μετά το φίλτρο - ξηραντήρα.



Εικόνα 6.20 Δείκτης ροής και ενδεικτικό υγρασίας

Οι **συγκρατητήρες ή παγίδες σταγόνων** ψυκτικού μέσου είναι συσκευές που τοποθετούνται στην αναρρόφηση του συμπιεστή και έχουν ως αποστολή να αποτρέπουν την είσοδο σταγόνων ψυκτικού μέσου σ' αυτόν. Στην αναρρόφηση του συμπιεστή, ο ατμός είναι υπέρθερμος και κανονικά δε θα έπρεπε να συνυπάρχει με υγρό ψυκτικό. Οι σταγόνες αυτές όμως έχουν παρασυρθεί με μηχανικό τρόπο, λόγω της μεγάλης ταχύτητας του ατμού. Η μέθοδος διαχωρισμού βασίζεται πάλι στη βαρύτητα, καθώς ο ατμός εισέρχεται στη συσκευή. Οι σταγόνες που συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος της συσκευής (Σχήμα 6.21), παραμένουν εκεί έως ότου ατμοποιηθούν και οδηγηθούν ως ατμός στο συμπιεστή.



- A. Είσοδος ατμού και σταγόνων
- B. Έξοδος ατμού
- Γ. Οπή αναρρόφησης επιστροφής λαδιού
- Δ. Υγρό ψυκτικό μέσο που παραμένει εκεί μέχρι να ατμοποιηθεί

Σχήμα 6.21 Αρχή λειτουργίας παγίδας σταγόνων ψυκτικού μέσου

Οι **βαλβίδες αντεπιστροφής** είναι βαλβίδες που επιτρέπουν τη ροή του ψυκτικού μόνο προς τη μια πλευρά. Χρησιμοποιούνται στις εξής περιπτώσεις :

- Στον αγωγό υψηλής πίεσης μεταξύ εξόδου του συμπιεστή και εισόδου του συμπυκνωτή, ώστε να αποφεύγεται η επιστροφή ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή όταν αυτός βρίσκεται εκτός λειτουργίας.
- Στην έξοδο του στοιχείου ατμοποίησης, όταν υπάρχουν πολλά παράλληλα στοιχεία που καταλήγουν σε κοινό σωλήνα αναρρόφησης του συμπιεστή.
- Στις κλιματιστικές μονάδες θέρμανσης-ψύξης, όπου κατευθύνουν το ψυκτικό προς το σωστό δρόμο, όταν γίνεται αντιστροφή του κυκλώματος.
- Στο σωλήνα εισόδου του εξατμιστή, όταν έχουμε σύστημα αποπάγωσης με μεταγωγή θερμού ατμού (βλ. § 6.3.1).

Ο **πιεζοστάτης υψηλής** έχει ρόλο **ασφαλιστικό**. Διακόπτει τον κινητή-

ρα όταν η πίεση της κατάθλιψης (υψηλή) ξεπερνάει κάποιο όριο. Ο πιεζοστάτης αυτός επιτρέπει και πάλι τη λειτουργία του κινητήρα όταν η πίεση υψηλής πέσει κάτω από κάποιο προκαθορισμένο όριο.

Ο **πιεζοστάτης χαμηλής** έχει ρόλο **ρυθμιστικό**. Διατηρεί τη θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου μέσα σε κάποια προκαθορισμένα όρια. Όταν η πίεση χαμηλής πέσει κάτω από κάποιο όριο (STOP), δίνει εντολή να σταματήσει ο κινητήρας. Όταν η πίεση χαμηλής ανεβεί πάνω από κάποιο όριο (START), δίνει εντολή να ξεκινήσει ο κινητήρας. Η δουλειά αυτή μπορεί να γίνει και με μια άλλη συσκευή αντί του πιεζοστάτη χαμηλής. Πρόκειται για το **θερμοστάτη ρύθμισης**, ο οποίος ελέγχει τη θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου σταματώντας και εκκινώντας το συμπιεστή της μονάδας.

Σίγουρα, στην παράγραφο αυτή δεν εξαντλήσαμε το σύνολο των μηχανισμών και των συσκευών που συναντώνται στα ψυκτικά κυκλώματα. Αναφερθήκαμε στις πλέον συνηθισμένες. Στο μάθημα *Εγκαταστάσεις Ψύξης* θα γνωρίσετε περισσότερα για τις ασφαλιστικές και ρυθμιστικές διατάξεις και θα ασκηθείτε σε ρυθμίσεις και επεμβάσεις σ' αυτές τις διατάξεις.

6.4 Ψυκτικά ρευστά

6.4.1 Ιδιότητες των ψυκτικών ρευστών

Το ψυκτικό ρευστό είναι η «εργαζόμενη ουσία» στην ψυκτική μηχανή. Η παραγωγή ψύξης βασίζεται στην ατμοποίηση του ψυκτικού υγρού, η οποία γίνεται στο στοιχείο ατμοποίησης. Ο όρος «ρευστό» περικλείει και τον όρο υγρό και τον όρο αέριο. Είναι λοιπόν ο καταλληλότερος για να περιγράψει την εργαζόμενη ουσία στις ψυκτικές μηχανές, η οποία βρίσκεται άλλοτε σε μορφή υγρού και άλλοτε σε μορφή ατμού.

♦ *Ποιες ιδιότητες πρέπει να έχει μια ουσία προκειμένου να επιλεγεί ως ψυκτικό ρευστό ;*

Προκειμένου μια ουσία να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό ρευστό, πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες, τις οποίες θα αναφέρουμε παρακάτω. Εννοείται ότι **καμιά ουσία δε συγκεντρώνει όλες τις ιδιότητες** που αναφέρουμε. Ανάλογα με την εφαρμογή, το είδος δηλαδή της ψυκτικής εγκατάστασης, κάποιες από αυτές τις ιδιότητες είναι απαραίτητες και κάποιες άλλες λιγότερο σημαντικές. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι επιθυμούμε ένα ψυ-

κτικό μέσο να έχει τις κατάλληλες φυσικές, χημικές και φυσιολογικές ιδιότητες. Εκτός όμως από αυτές τις ιδιότητες, έχουμε και οικονομικές απαιτήσεις (π.χ. τιμή, διαθεσιμότητα στην αγορά κ.τ.λ.).

Ένα καλό ψυκτικό, λοιπόν, πρέπει :

- Να μην είναι δηλητηριώδες ή τοξικό
- Να μην εκρήγνυται
- Να μην είναι διαβρωτικό
- Να μην αναφλέγεται εύκολα
- Να ανιχνεύεται εύκολα ώστε να εντοπίζονται οι τυχόν διαρροές
- Να έχει χαμηλή θερμοκρασία βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση
- Να είναι σταθερής χημικής σύστασης
- Να μην καταστρέφει τις λιπαντικές ικανότητες του λαδιού λίπανσης
- Να έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης
- Να έχει μικρό ειδικό όγκο¹.

6.4.2 Κωδικοί και χρώματα κυλίνδρων αποθήκευσης των ψυκτικών μέσων

Έχει καθιερωθεί ένα σύστημα κωδικοποίησης που δίνει ένα χαρακτηριστικό αριθμό σε κάθε ψυκτικό. Είναι εντελώς απαραίτητο να υπάρχει ένα τέτοιο σύστημα, γιατί υπάρχουν πάρα πολλά ψυκτικά ρευστά (και παράγονται συνεχώς και νέα) με διάφορες ιδιότητες. Για να αποφεύγεται η σύγχυση, θα πρέπει τα ψυκτικά να αναγνωρίζονται με όνομα και αριθμό. Πριν από τον αριθμό υπάρχει το γράμμα R (από την αγγλική λέξη refrigerant = ψυκτικό). Έτσι λοιπόν έχουμε το R12, το R13, το R22, το R500, το R502, το R717, το R134a κ.τ.λ. Στην επόμενη παράγραφο θα γνωρίσουμε τη χημική ονομασία και τις ιδιότητες ορισμένων από αυτά τα ψυκτικά μέσα.

Οι κύλινδροι αποθήκευσης των ψυκτικών ρευστών έχουν ένα χαρακτηριστικό χρώμα, για να αναγνωρίζεται το ψυκτικό μέσο που περιέχουν. Έτσι π.χ. οι κύλινδροι του ψυκτικού R22 έχουν πράσινο χρώμα, του R134a γαλάζιο χρώμα κ.τ.λ. Στην Εικόνα 6.21 βλέπουμε κυλίνδρους αποθήκευσης

¹ **Ειδικός όγκος** ονομάζεται ο όγκος που καταλαμβάνει η μονάδα μάζας του ψυκτικού και μετριέται σε m³/kg (μονάδα S.I.) ή σε ft³/lb.

ψυκτικών μέσων με τα χαρακτηριστικά χρώματα των ψυκτικών ρευστών που περιέχουν.



Εικόνα 6.21 Κύλινδροι αποθήκευσης ψυκτικών μέσων

6.4.3 Είδη ψυκτικών ρευστών, χαρακτηριστικά και χημικός τύπος

Έχουν γίνει διάφορες κατηγοριοποιήσεις για τα ψυκτικά μέσα. **Με κριτήριο την τοξικότητα**, χωρίζονται στις κατηγορίες A και B. Στην κατηγορία A ανήκουν τα μη τοξικά. Στην κατηγορία B ανήκουν τα ψυκτικά μέσα που μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στην υγεία σε περίπτωση εισπνοής, κατάποσης ή επαφής με το δέρμα. **Με κριτήριο την αναφλεξιμότητα**, δηλαδή την ευκολία ανάφλεξης, χωρίζονται στις κατηγορίες 1 (μη αναφλέξιμο), 2 (χαμηλή αναφλεξιμότητα) και 3 (υψηλή αναφλεξιμότητα). Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο βέλτιστος χαρακτηρισμός, από πλευράς ασφάλειας, για ένα ψυκτικό μέσο είναι **A1** (μη τοξικό, μη αναφλέξιμο).

Αν εξαιρέσουμε την Αμμωνία (R717), για την οποία θα μιλήσουμε αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο, τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα, που χρησιμοποιούνται ευρέως, προέρχονται από υδρογονάνθρακες (ενώσεις του άνθρακα με υδρογόνο), στους οποίους κάποια άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί με άτομα χλωρίου (Cl) ή φθορίου (F). Οι ενώσεις αυτές λέγονται αλλιώς **αλογονομένοι υδρογονάνθρακες** (αλογόνα ονομάζονται τα στοιχεία φθόριο, χλώριο, βρώμιο και ιώδιο). Διακρίνουμε μεταξύ των αλο-

γονομένων υδρογονανθράκων, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, τους χλωροφθοράνθρακες (CFC), τους υδρογονο-χλωροφθοράνθρακες (HCFC), τους υδρογονο-φθοράνθρακες (HFC) κ.τ.λ.. Όπως θα δούμε και στην παράγραφο 6.4.5, θεωρείται ότι οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) έχουν συντελέσει περισσότερο από κάθε άλλο ψυκτικό μέσο στην καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα.

Θα δούμε τώρα, συνοπτικά, τις ιδιότητες ορισμένων ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές.

Το ψυκτικό μέσο R-12

Η χημική ονομασία του R12 είναι διχλωρο-διφθορο-μεθάνιο (χημικός τύπος : CCl_2F_2). Το κωδικό του χρώμα είναι το **λευκό**. Είναι ψυκτικό μέσο CFC (χλωροφθοράνθρακας). Το R12, υπό πίεση 1atm, βράζει περίπου στους - 30°C. Είναι ψυκτικό με σπουδαίες θερμοδυναμικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε σε όλες σχεδόν τις εφαρμογές ψύξης, όπως τα οικιακά ψυγεία, τα εμπορικά ψυγεία συντήρησης και κατάψυξης καθώς και σε πολλά συγκροτήματα εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή του R12 σταμάτησε και η χρήση του περιορίζεται, στα πλαίσια υλοποίησης διεθνών συμφωνιών, διότι το R12 συντελεί πάρα πολύ στη δημιουργία τρύπας όζοντος στην ατμόσφαιρα.

Το ψυκτικό μέσο R-22

Η χημική ονομασία του R22 είναι μονοχλωρο-διφθορο-μεθάνιο (CHClF_2). Το κωδικό του χρώμα είναι το **πράσινο**. Το R22, υπό πίεση 1atm, βράζει περίπου στους - 41 °C. Έχει λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη από αυτή του R12. Δεν αναφλέγεται, δεν εκρήγνυται, δεν είναι διαβρωτικό και δεν είναι τοξικό. Πρόκειται δηλαδή για ένα ασφαλές ψυκτικό. Επίσης, η συνεισφορά του R22 στη δημιουργία της τρύπας του όζοντος είναι περίπου 20 φορές μικρότερη από αυτή του R12. Επειδή όμως υπάρχει επιτακτική ανάγκη προστασίας του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα, **έχει δρομολογηθεί διαδικασία σταδιακής αντικατάστασης** και του R22 (βλ. επίσης την § 1.1).

Το R22 διαλύεται εύκολα στο νερό, γι' αυτό οι εγκαταστάσεις με R22 πρέπει να έχουν ισχυρά φίλτρα υγρασίας.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του R22 έναντι του R12 είναι ότι απαιτεί μικρότερη εκτόπιση συμπιεστή. Για δεδομένη εκτόπιση συμπιεστή, το ψυκτικό αποτέλεσμα που πετυχαίνεται με το R22 είναι κατά 60% μεγαλύτερο απ' αυτό που πετυχαίνεται με το R12. Αυτό σημαίνει ότι για δεδομένη ισχύ, ο συμπιεστής του R22 είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο του R12. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το R22 χρησιμοποιήθηκε πολύ στις μικρές κλιματιστικές συσκευές παραθύρου, όπου η οικονομία χώρου είναι σημαντικός παράγοντας.

Το ψυκτικό μέσο R-134a

Η χημική ονομασία του R134a είναι τετραφθορο-αιθάνιο ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$). Το κωδικό του χρώμα είναι το **θαλασσί**. Το R134a είναι νέο ψυκτικό, το οποίο υποκαθιστά το R12. Βράζει, υπό πίεση 1atm, στους -26°C , έχει λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης λίγο μεγαλύτερη από του R12 και ειδικό όγκο περίπου τον ίδιο με το R12. Γενικά, έχει ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές του R12 και γι' αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιείται το R12, με την προϋπόθεση να ακολουθηθούν προσεκτικά τα βήματα αντικατάστασης που ορίζει ο κατασκευαστής.

Το R134a έχει **μηδενική επίδραση στην καταστροφή του στρώματος του όζοντος** και ελάχιστη συμβολή στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτά είναι τα μεγάλα του πλεονεκτήματα σε σχέση με το R12.

Το R134a δεν ανιχνεύεται με τη λυχνία Halide.

Το απαιτούμενο βάρος του R134a για πλήρη φόρτιση μονάδας με R12 είναι κατά 10 έως 15% λιγότερο από το βάρος του R12.

Στις εγκαταστάσεις με **R134a** χρησιμοποιείται πάντοτε **εστερικό ψυκτέλαιο**, σε αντίθεση με τις εγκαταστάσεις R12, όπου χρησιμοποιείται ορυκτέλαιο.

Το ψυκτικό μέσο R-407C

Το R407C είναι ένα από τα νέα εναλλακτικά ψυκτικά μέσα που αναπτύχθηκαν για την αντικατάσταση του R22. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό L244/2037/2000, ο οποίος εφαρμόζεται και στην πατρίδα μας, προβλέπεται σταδιακή κατάργηση του R22. Το R407C σχεδιάστηκε ειδικά για να έχει παρόμοιες επιδόσεις, καθώς και κοντινές τιμές πιέσεων και θερμοκρασιών αλλαγών φάσης, με το R22. Έτσι, το R407C έχει τη δυνα-

τότητα να αντικαθιστά το R22 τόσο σε νέες όσο και σε παλιές εγκαταστάσεις. Το R407C μπορεί να αντικαθιστά το R22 σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις, αρκεί να ακολουθούνται προσεκτικά οι οδηγίες αντικατάστασης του κατασκευαστή. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στο γεγονός ότι το R407C απαιτεί τη χρήση καλής ποιότητας **εστερικού λαδιού λίπανσης**.

Το **R407C** είναι **μίγμα ψυκτικών μέσων**. Η σύνθεσή του είναι η ακόλουθη: 52% R-134a, 25% R-125 και 23% R-32. Το κωδικό του χρώμα είναι το **καφέ**. Δεν είναι τοξικό ούτε εύφλεκτο. Τα τρία ψυκτικά από τα οποία αποτελείται το R407C είναι υδρογονο-φθοράνθρακες (HFC), οι οποίοι δε συμβάλλουν στη δημιουργία της τρύπας του όζοντος. Έτσι, το R407C έχει **μη-δενική επίδραση** στη **δημιουργία τρύπας όζοντος** στην ατμόσφαιρα.

Η αμμωνία (R-717)

Το κωδικό χρώμα του R717 είναι το **ασημί**. Η αμμωνία (χημικός τύπος NH_3) βράζει, υπό πίεση 1atm, στους -28°C . Η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης της αμμωνίας είναι από τις πιο υψηλές μεταξύ των ψυκτικών ρευστών. Αυτό σημαίνει ότι, για δεδομένη ισχύ της εγκατάστασης, απαιτείται μικρότερος μηχανικός εξοπλισμός από αντίστοιχες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν άλλα ψυκτικά υγρά.

Η αμμωνία, όταν υπάρχει υγρασία, γίνεται διαβρωτική με το χαλκό. Αντίθετα, δεν είναι διαβρωτική με το σίδηρο και το χάλυβα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται χαλκός στις εγκαταστάσεις αμμωνίας.

Η αμμωνία είναι τοξική. Για την επισκευή, σε περίπτωση διαρροών, θα πρέπει ο τεχνικός να φορά ειδική μάσκα ή να προηγηθεί καλός εξαερισμός του χώρου. Οι **διαρροές** αμμωνίας **ανιχνεύονται** με τη χρήση φλόγας θείου. Η φλόγα θείου, όταν υπάρχουν ατμοί αμμωνίας, δημιουργεί λευκούς ατμούς. Επίσης ανιχνεύεται με ειδικό δοκιμαστικό χάρτη.

Η αμμωνία είναι από τα πρώτα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιήθηκαν. Μετά την ανάπτυξη των αλογονομένων υδρογονανθράκων αντικαταστάθηκε στις εγκαταστάσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους. Σήμερα χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις παγοποιείων καθώς και στις **μεγάλες εγκαταστάσεις** συντήρησης ή κατάψυξης. Υπάρχει πάντως ενδιαφέρον στην εποχή μας, όπου παρουσιάζεται επιτακτική ανάγκη για απομάκρυνση των αλογονομένων υδρογονανθράκων, για χρήση της αμμωνίας και σε εγκαταστάσεις μικρότερου μεγέθους.



Εικόνα 6.22 Άποψη ενός τμήματος εξατμιστή αμμωνίας.

Οι σωλήνες είναι από ανοξείδωτο ατσάλι και τα πτερύγια από αλουμίνιο

6.4.4 Απεικόνιση των χαρακτηριστικών των ψυκτικών μέσων σε διάγραμμα p-h

Οι ιδιότητες (τα χαρακτηριστικά) των διάφορων ψυκτικών μέσων μπορούν να παρασταθούν στο διάγραμμα p-h.

Τα εργαστήρια ψύξης των ερευνητικών κέντρων των μεγάλων εταιρειών και των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων έχουν συγκεντρώσει πειραματικά στοιχεία για κάθε ψυκτικό ρευστό και έχουν κατασκευάσει διαγράμματα πίεσης-ενθαλπίας για καθένα από αυτά, τα οποία μας επιτρέπουν να διαβάσουμε χρήσιμα στοιχεία για κάθε ψυκτικό μέσο. Επίσης, πάνω στα διαγράμματα αυτά μπορούμε να σχεδιάσουμε τον ψυκτικό κύκλο μιας ψυκτικής εγκατάστασης και να κάνουμε ενεργειακούς υπολογισμούς, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 7.

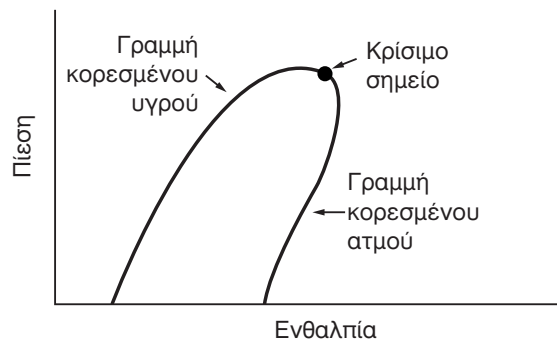


Ας γνωρίσουμε όμως αναλυτικά το διάγραμμα p-h.

Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος p-h μετρείται η πίεση. Οι μονάδες που θα συναντήσουμε στα διάφορα διαγράμματα (βλ. Παράρτημα 3) είναι πολλαπλάσια του Pa (kPa, MPa, bar). Συναντάμε όμως ακόμα το psi ή το at. Στον οριζόντιο άξονα μετρείται η ειδική ενθαλπία (kJ/kg), αλλά

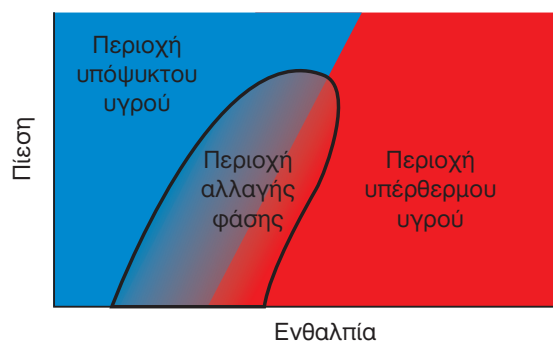
θα τη βρούμε και σε Btu/lb ή σε kcal/kg.

Πάνω στα διαγράμματα p - h του Παραρτήματος 3, θα διακρίνετε μια καμπάνα που έχει τη μορφή του Σχήματος 6.22. Το σημείο που βρίσκεται στην κορυφή της καμπάνας είναι το κρίσιμο σημείο και σ' αυτό αντιστοιχεί (στον κατακόρυφο άξονα) η κρίσιμη πίεση.



Σχήμα 6.22

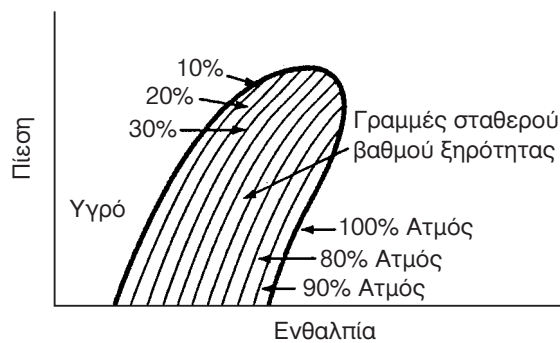
Η καμπάνα αυτή αποτελείται από δύο σκέλη, τις καμπύλες κορεσμού. Το αριστερό σκέλος είναι η καμπύλη κορεσμένου υγρού. Το κάθε σημείο της παριστάνει μια κατάσταση κορεσμένου υγρού. Το δεξιό σκέλος της καμπάνας είναι η καμπύλη κορεσμένου ατμού. Η επιφάνεια του διαγράμματος που βρίσκεται εκτός καμπάνας χωρίζεται σε δύο περιοχές: την περιοχή υπέρθερμου ατμού και την περιοχή υπόψυκτου υγρού (Σχήμα 6.23).



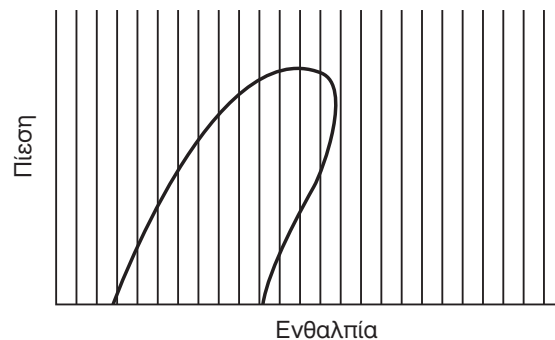
Σχήμα 6.23 Περιοχές του διαγράμματος p - h

Τα σημεία που βρίσκονται στο εσωτερικό της καμπάνας παριστάνουν καταστάσεις, όπου συνυπάρχουν υγρό και ατμός του ψυκτικού μέσου.

Όσο πιο κοντά στο δεξιό σκέλος της καμπάνας βρισκόμαστε, τόσο το ποσοστό ατμού στο μίγμα υγρού-ατμού είναι μεγαλύτερο. Αντίθετα, τα σημεία που βρίσκονται κοντά στο αριστερό σκέλος παριστάνουν καταστάσεις όπου, στο μίγμα υγρού-ατμού, υπερτερεί το υγρό ψυκτικό μέσο. Θυμηθείτε ότι είχαμε χρησιμοποιήσει ένα μέγεθος που εξέφραζε το ποσοστό ατμού στο μίγμα υγρού-ατμού. Πρόκειται για το βαθμό ξηρότητας (βλ. και την παράγραφο 4.3). Το διάγραμμα μας πληροφορεί για το βαθμό ξηρότητας οποιουδήποτε σημείου μέσα στην καμπάνα. Αυτό μας το δείχνουν οι γραμμές σταθερής ξηρότητας που έχουν τη μορφή, που φαίνεται στο Σχήμα 6.24. Αναζητήστε τις και στα διαγράμματα $p-h$ του Παραρτήματος 3.

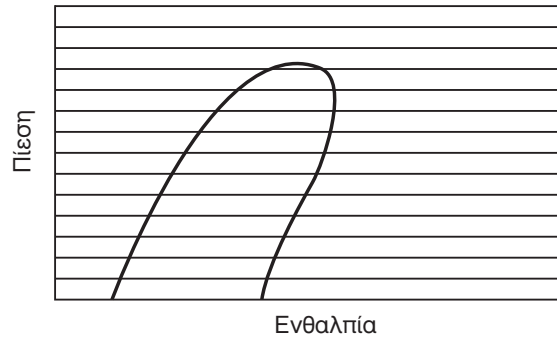


Σχήμα 6.24 Γραμμές σταθερής ξηρότητας στο διάγραμμα $p-h$



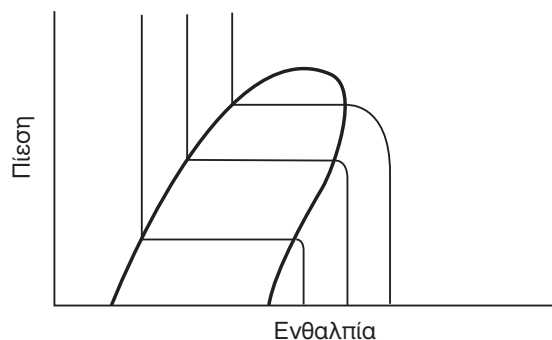
Σχήμα 6.25 Γραμμές σταθερής ειδικής ενθαλπίας

Οι κατακόρυφες γραμμές του Σχήματος 6.25 παριστάνουν γραμμές σταθερής ειδικής ενθαλπίας (εφόσον στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος $p-h$ μετρίεται η ειδική ενθαλπία). Αντίστοιχα, οι οριζόντιες γραμμές είναι γραμμές σταθερής πίεσης, (Σχήμα 6.26).



Σχήμα 6.26 Γραμμές σταθερής πίεσης

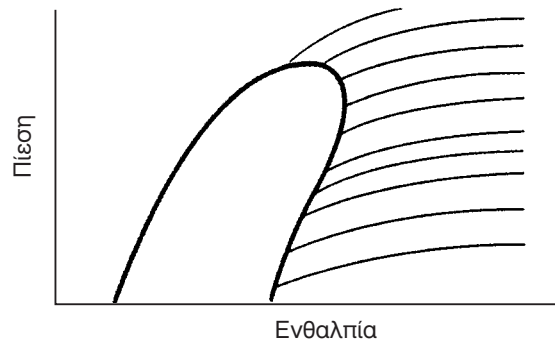
Προσέξτε τώρα το τμήμα μιας οριζόντιας γραμμής που βρίσκεται ανάμεσα στα δύο σκέλη της καμπάνας (Σχήμα 6.26). Όλα τα σημεία αυτού του ευθύγραμμου τμήματος έχουν την ίδια πίεση. Πρόκειται για διαδοχικές καταστάσεις του μίγματος υγρού-ατμού, καθώς το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται. Η πίεση, σ' όλη τη διάρκεια της ατμοποίησης, παραμένει σταθερή. Το ίδιο όμως συμβαίνει, όπως γνωρίζουμε από το Κεφάλαιο 4, και για τη θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν τα τμήματα των οριζόντιων γραμμών **που βρίσκονται μέσα στην καμπάνα** είναι και γραμμές σταθερής θερμοκρασίας. Τι γίνεται όμως στην περιοχή του διαγράμματος εκτός καμπάνας; Το Σχήμα 6.27 μας δείχνει τη μορφή που έχουν οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας σ' όλη την περιοχή του διαγράμματος.



Σχήμα 6.27 Γραμμές σταθερής θερμοκρασίας

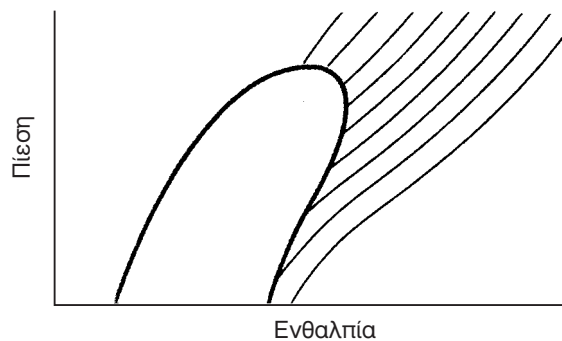
Το διάγραμμα $p-h$ μας πληροφορεί ακόμα για τον **ειδικό όγκο** που έχει το ψυκτικό μέσο σε οποιοδήποτε σημείο του διαγράμματος. Όπως είπαμε ενωρίτερα στο κεφάλαιο αυτό, ειδικός όγκος ονομάζεται ο όγκος που κα-

ταλαμβάνει η μονάδα μάζας του ψυκτικού (m^3/kg ή ft^3/lb), τον οποίο βρίσκουμε διαβάζοντας τις καμπύλες σταθερού ειδικού όγκου (Σχήμα 6.28).



Σχήμα 6.28 Γραμμές σταθερού ειδικού όγκου

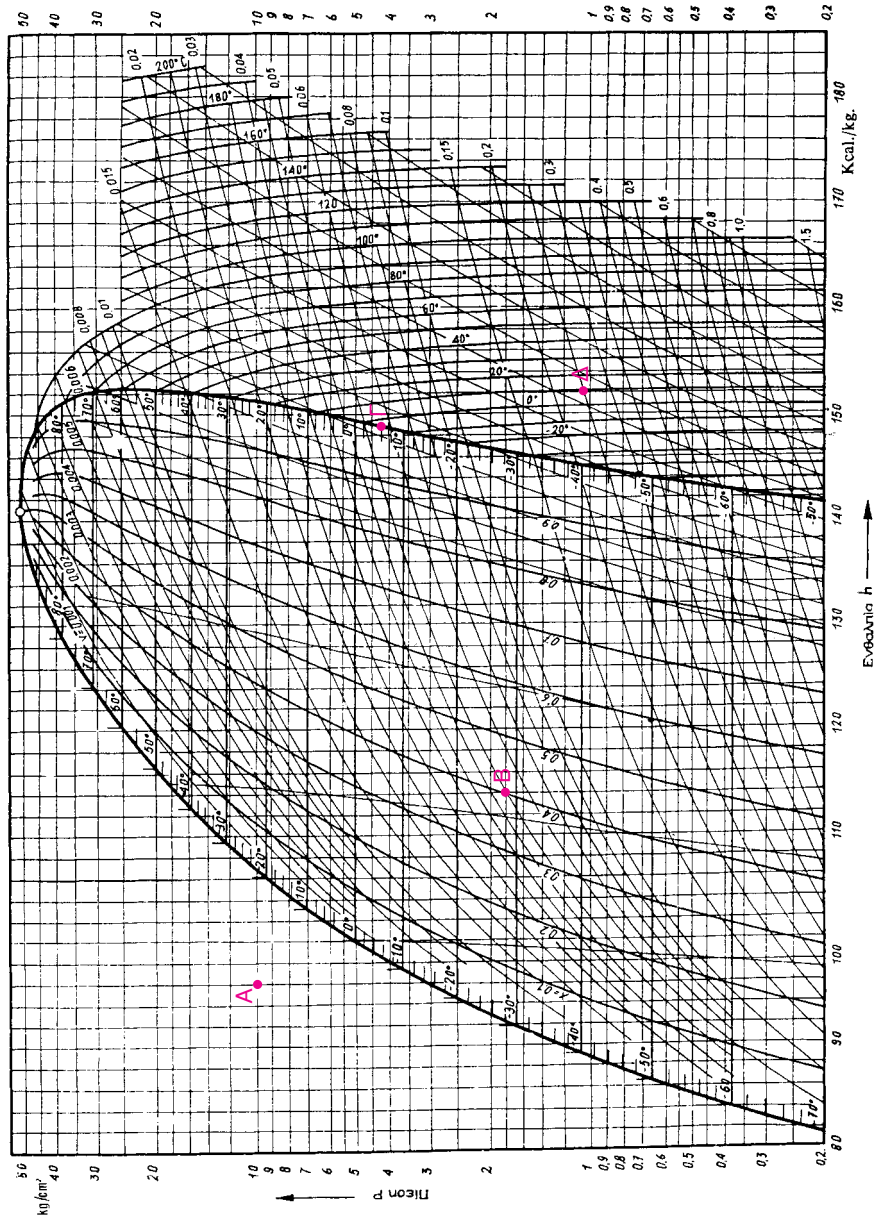
Τέλος, το διάγραμμα μας δίνει και την **ειδική εντροπία** (βλ. την § 2.14) σε (μονάδα S.I.) kJ/kgK . Οι γραμμές σταθερής ειδικής εντροπίας φαίνονται στο Σχήμα 6.29. Μια τέτοια γραμμή ακολουθεί η διεργασία της ψυκτικής μονάδας στο συμπιεστή, όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 6.29 Γραμμές σταθερής ειδικής εντροπίας

Ας αξιοποιήσουμε τώρα τα στοιχεία που μας παρέχουν τα διαγράμματα $p-h$ για να απαντήσουμε σε ορισμένα ερωτήματα.

- ▶ Στο διάγραμμα ($P-H$) του ψυκτικού μέσου $R22$ (Διάγραμμα 6.1) έχουν σημειωθεί τέσσερα σημεία (A, B, Γ, Δ). Δώστε τη θερμοδυναμική κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ψυκτικό ρευστό σε κάθε σημείο, καθώς και την πίεση και τη θερμοκρασία στα σημεία B και Γ και Δ .



Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα p-h του ψυκτικού μέσου R22

Παρατηρούμε ότι στο διάγραμμα που μας δόθηκε, οι μονάδες είναι Kp/cm^2 για την πίεση και $^{\circ}\text{C}$ για τη θερμοκρασία.

- Στο σημείο Α το ψυκτικό ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση υπόψυκτου υγρού.
- Στο σημείο Β έχουμε μίγμα υγρού και ατμού. Ο βαθμός ξηρότητας είναι 0,4, δηλαδή έχουμε αναλογία 40% ατμό και 60% υγρό.
- Στο σημείο Γ το ψυκτικό ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση ξηρού κορεσμένου ατμού.
- Στο σημείο Δ το ψυκτικό ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού.
- Η πίεση στο σημείο Β είναι $1,8 \text{ Kp/cm}^2$ και η θερμοκρασία -28°C .
- Η πίεση στο σημείο Γ είναι $4,2 \text{ Kp/cm}^2$ και η θερμοκρασία -6°C .
- Η πίεση στο σημείο Δ είναι $1,05 \text{ Kp/cm}^2$ και η θερμοκρασία 10°C .

► Μπορούμε, χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 5 (Παράρτημα 2) με τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του R22, να επαληθεύσουμε αν διαβάσαμε τις ακριβείς τιμές για την πίεση και τη θερμοκρασία των σημείων Β και Γ και Δ του προηγούμενου ερωτήματος ;

Μπορούμε να κάνουμε επαλήθευση με βάση τον Πίνακα αλλά μόνο για τα σημεία Β και Γ, διότι ο Πίνακας αναγράφει ζευγάρια τιμών πίεσης και θερμοκρασίας ατμοποίησης. Δε μας βοηθά όμως σχετικά με το σημείο Δ, γιατί το ρευστό μας είναι σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού.

► Προσδιορίστε για κάθε ένα από τα σημεία Β, Γ, Δ του Διαγράμματος 6.1 την ειδική ενθαλπία και τον ειδικό όγκο.

Φέρνοντας κάθετες γραμμές από τα σημεία Β,Γ,Δ προς τον άξονα της ενθαλπίας, διαβάζουμε $h_B=114 \text{ kcal/kg}$, $h_r=149 \text{ kcal/kg}$, $h_{\Delta}=152 \text{ kcal/kg}$. Επίσης, προσδιορίζοντας τις πλησιέστερες προς τα σημεία Β,Γ,Δ γραμμές σταθερού ειδικού όγκου, διαβάζουμε : $v_B=0,05 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_r=0,057 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_{\Delta}=0,25 \text{ m}^3/\text{kg}$.

6.4.5 Συλλογή, ανακύκλωση και αναγέννηση των ψυκτικών μέσων

Η εποχή κατά την οποία οι τεχνίτες ψυκτικοί απλά άφηναν να διαφύγει στην ατμόσφαιρα κάποια ποσότητα ψυκτικού που δεν ήθελαν, κατά τις εργασίες συντήρησης, έχει περάσει. Οι νέες προδιαγραφές για τις εργασίες συντήρησης καθορίζουν ότι μόνο άτομα που έχουν τη σχετική άδεια μπορούν να κάνουν τέτοιες επεμβάσεις στα ψυκτικά συστήματα. Με τον τρόπο αυτό, επιδιώκεται να διασφαλιστεί ότι οι τεχνίτες συντήρησης θα έχουν και τη **γνώση** αλλά και την απαιτούμενη **ευαισθησία** απέναντι στα προβλήματα του περιβάλλοντος. Σε κάποια από αυτά τα προβλήματα έχουν συμβάλει ως ένα βαθμό και τα παλαιά ψυκτικά μέσα. Ποια όμως ακριβώς είναι αυτά τα προβλήματα; Πρόκειται για την καταστροφή του όζοντος της ατμόσφαιρας και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που αναλύονται στο Κεφάλαιο 1 του βιβλίου (Παράγραφος 1.1, Σχήμα 1.4, Εικόνες 1.4 και 1.5). Θεωρείται ότι ανάμεσα στα ψυκτικά μέσα, στο πρόβλημα έχουν συμβάλει κυρίως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) – το ψυκτικό μέσο R12 είναι ένας από αυτούς. Δευτερευόντως έχουν συμβάλει και οι υδρογονο-χλωροφθοράνθρακες (HCFC), όπως το R22.

Η απαγόρευση της εκπομπής χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα οδήγησε σε νέες διαδικασίες. Αναπτύχθηκαν μέθοδοι για τη **συλλογή**, την **ανακύκλωση** και την **αναγέννηση** των ψυκτικών μέσων.

Συλλογή (recovery) είναι η διαδικασία αφαίρεσης του ψυκτικού μέσου από μια μονάδα και συγκέντρωσής του σε ένα ειδικό δοχείο. Για να γίνει αυτό, δε χρειάζεται να περάσει το ψυκτικό ρευστό από κάποιον έλεγχο ή επεξεργασία. Οι φιάλες αποθήκευσης των χρησιμοποιημένων ψυκτικών μέσων δεν έχουν τα κωδικά χρώματα των ψυκτικών μέσων για τα οποία μιλήσαμε προηγουμένως, αλλά ένα δικό τους κωδικό χρώμα. Έχουν όλοι γκρι χρώμα με κίτρινο στο επάνω μέρος. Οι φιάλες αυτές γεμίζονται, έως το 80% της χωρητικότητάς τους κατά μέγιστο, για λόγους ασφάλειας.

Ανακύκλωση (recycling) ενός ψυκτικού μέσου είναι η διαδικασία με την οποία το ψυκτικό μέσο που συλλέγεται από ένα ψυκτικό σύστημα γίνεται, με τη βοήθεια ειδικής συσκευής (Εικόνα 6.23), καθαρό και έτοιμο να χρησιμοποιηθεί και πάλι. Η διαδικασία γίνεται στο χώρο της ψυκτικής εγκατάστασης ή στο ψυκτικό εργαστήριο. Περιλαμβάνει τη διέλευση του ψυκτικού μέσου μέσα από ένα διαχωριστή λαδιού και την απλή ή πολλαπλή διέλευσή του μέσω φίλτρων-ξηραντήρων, με σκοπό να μειωθεί η υγρασία, τα οξέα και τα στερεά σωματίδια που περιέχονται στο ψυκτικό ρευστό.



Εικόνα 6.23 Συσκευή ανακύκλωσης ψυκτικού μέσου

Αναγέννηση (reclaiming) ενός ψυκτικού μέσου είναι η διαδικασία καθαρισμού του ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο προϊόν. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει χημική ανάλυση και είναι πιθανό να απαιτήσει τη χρησιμοποίηση μέσων διύλισης ή απόσταξης. Η αναγέννηση μπορεί να ολοκληρωθεί **μόνο σε ειδικά εργαστήρια**.

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες το χρησιμοποιημένο ψυκτικό μέσο είναι αλλοιωμένο σε τέτοιο βαθμό που δεν μπορεί να καθαριστεί ή να προκύψει ένα νέο προϊόν. Το μόνο που απομένει τότε είναι η καταστροφή του χρησιμοποιημένου ψυκτικού ρευστού που γίνεται με την αποτέφρωσή του στους 650 °C περίπου.

6.4.6 Επιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας στα ψυκτικά ρευστά και συνεργασία τους με το λιπαντικό

Αν υπάρχει υγρασία στο ψυκτικό σύστημα, είναι πολύ πιθανό να έχουμε **δημιουργία πάγου στο εκτονωτικό μέσο**. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία ή και το «μπλοκάρισμα» του εκτονωτικού μέσου. Επιπλέον, η υγρασία, σε ορισμένα ψυκτικά μέσα, είναι δυνατό να προκαλέσει, στις υψηλές θερμοκρασίες του συμπιεστή, διάσπαση του ψυκτικού ρευστού και δημιουργία ζημιολόγων οξέων. Μπορεί επίσης να προκαλέσει διάβρωση ή σκούριασμα στα μέταλλα του κυκλώματος ή καταστροφή του λαδιού που είναι πιθανό να οδηγήσει, στις ερμητικές μονάδες, στο κάψιμο του κινητήρα.

Στην ερώτηση 14, στο τέλος αυτού του κεφαλαίου, μπορείτε να αναζητήσετε τους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορεί να περάσει υγρασία στο ψυκτικό σύστημα. Ας δούμε τώρα πώς αυτή ανιχνεύεται. Αυτό γίνεται με τους λεγόμενους δείκτες υγρασίας που τοποθετούνται στη γραμμή υγρού (αναφερθήκαμε σ' αυτούς στην § 6.3.5). Οι δείκτες αυτοί περιέχουν μια χημική ουσία που αλλάζει χρώμα, ανάλογα με την περιεκτικότητα του ψυκτικού σε υγρασία. Από το «παραθυράκι» του δείκτη μπορεί κανείς να παρατηρήσει την αλλαγή στο χρώμα του δείκτη.

Τα ψυκτικά μέσα πρέπει να αποθηκεύονται σε στεγανά δοχεία και να διατηρούνται σε ξηρό περιβάλλον. Οι περισσότεροι κατασκευαστές προμηθεύουν ψυκτικά μέσα απαλλαγμένα από υγρασία. Ωστόσο, είναι ίσως αδύνατο να απομακρύνει κανείς πλήρως την υγρασία από ένα ψυκτικό ρευστό. Αυτό που μπορεί να γίνει είναι να κρατηθεί το ποσοστό της υγρασίας σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Υπάρχουν λοιπόν προδιαγραφές για την **επιτρεπόμενη υγρασία** σε κάθε είδος ψυκτικού. Η υγρασία σε ένα ψυκτικό μέσο μετριέται σε ppm (parts per million = μέρη στο εκατομμύριο) ή αλλιώς σε mg (μιλιγκράμ) ανά kg ψυκτικού μέσου.

Το **λάδι λίπανσης** κυκλοφορεί στο ψυκτικό σύστημα μαζί με το ψυκτικό ρευστό. Λιπαίνει και ψύχει τα κινούμενα μέρη του συμπιεστή. Επειδή συνεργάζεται με το ψυκτικό ρευστό, θα πρέπει να έχει τις κατάλληλες ιδιότητες. Στους ερμητικούς συμπιεστές, το λιπαντικό έρχεται κατευθείαν σε επαφή με το τύλιγμα του κινητήρα. Πρέπει λοιπόν να μπορεί να αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, θα πρέπει να μην προκαλεί ζημιά στο ψυκτικό μέσο και στον εξοπλισμό της εγκατάστασης.

Το λάδι, μέσα σε ένα ψυκτικό κύκλωμα, ψύχεται σε χαμηλή θερμοκρα-

σία, αλλά φτάνει και σε υψηλή θερμοκρασία μέσα στο συμπιεστή. Πρέπει να αντέχει και στις δύο αυτές συνθήκες και φυσικά **να παραμένει σε υγρή κατάσταση σε όλα τα μέρη του συστήματος.**

Ένα καλό λιπαντικό πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες :

- Θερμική σταθερότητα. Να μη δημιουργεί αποθέματα άνθρακα σε ευαίσθητα σημεία στο συμπιεστή, όπως οι βαλβίδες του ή οι θυρίδες κατάθλιψης.
- Χημική σταθερότητα. Να μην αντιδρά χημικά με το ψυκτικό μέσο και με τα υλικά των διάφορων μερών του ψυκτικού συστήματος.
- Χαμηλό σημείο πήξης. Για να μπορεί να παραμένει υγρό στη χαμηλή πλευρά του συστήματος.
- Χαμηλό ιξώδες. Αυτό του επιτρέπει να διατηρεί καλές λιπαντικές ικανότητες στις υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή ρευστότητα στις χαμηλές.

Το λάδι πρέπει να είναι καθαρό όταν αποσύρεται από ένα ψυκτικό σύστημα. Αν το χρώμα του έχει αλλάξει, σημαίνει ότι δεν είναι καθαρό. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να τοποθετηθούν νέα φίλτρα και αφυγραντές στο σύστημα για να διατηρήσουν καθαρό το νέο λάδι.

Τα δοχεία λαδιού πρέπει να παραμένουν κλειστά. Αν εκτεθεί το λάδι στον ατμοσφαιρικό αέρα, θα απορροφήσει υγρασία.

Στο ψυκτικό σύστημα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται **μόνο λιπαντικά που προβλέπει ο κατασκευαστής.** Τα ορυκτέλαια είναι ακατάλληλα για τα περισσότερα από τα νέα ψυκτικά ρευστά. Έχουν φτιαχτεί ειδικά λάδια λίπανσης για αυτά τα εναλλακτικά ψυκτικά.



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ψύξη ονομάζεται η δημιουργία και διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών σε ένα χώρο με στόχο τη συντήρηση τροφίμων ή την επίτευξη συνθηκών άνεσης. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου, οι εφαρμογές της ψύξης μπορούν να χωριστούν σε εφαρμογές χαμηλών, μέσων και υψηλών θερμοκρασιών.

Ο τεχνικός της ψύξης χρησιμοποιεί στη δουλειά του ένα μεγάλο αριθμό εργαλείων και συσκευών. Πρόκειται για εργαλεία και συσκευές του μηχανολογικού εργαστηρίου, αλλά κυρίως ειδικές συσκευές και εργαλεία για την παρακολούθηση, την επισκευή και τη συντήρηση ενός ψυκτικού κυκλώματος.

Τα τέσσερα βασικά μηχανήματα ή συσκευές του ψυκτικού κυκλώματος είναι ο ατμοποιητής, ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής και το εκτονωτικό μέσο. Υπάρχουν όμως και πολλές άλλες συσκευές που ρυθμίζουν τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος ή έχουν ασφαλιστικό ρόλο (συλλέκτης υγρού, διαχωριστής λαδιού, φίλτρο-ξηραντήρας, δείκτης ροής, δείκτης υγρασίας, παγίδα σταγόνων υγρού ψυκτικού στην αναρρόφηση, πρεσοστάτες, θερμοστάτες κ.τ.λ.).

Το ψυκτικό ρευστό είναι η «εργαζόμενη ουσία» στην ψυκτική μηχανή. Ένα καλό ψυκτικό μέσο πρέπει να έχει μια σειρά από ιδιότητες (χημικές, φυσικές, φυσιολογικές, οικονομικές-ενεργειακές). Στην πράξη, κανένα ψυκτικό μέσο δεν πληροί όλες τις απαιτήσεις, για όλες τις περιπτώσεις. Έτσι, η επιλογή γίνεται ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Τα ψυκτικά ρευστά χωρίζονται σε διάφορες **κατηγορίες**. Με κριτήριο την **τοξικότητα**, χωρίζονται στις κατηγορίες Α και Β. Στην κατηγορία Α ανήκουν τα μη τοξικά. Στην κατηγορία Β ανήκουν τα ψυκτικά μέσα που μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στην υγεία σε περίπτωση εισπνοής, κατάποσης ή επαφής με το δέρμα. Με κριτήριο την **αναφλεξιμότητα**, δηλαδή την ευκολία ανάφλεξης, χωρίζονται στις κατηγορίες 1 (μη αναφλέξιμο), 2

(χαμηλή αναφλεξιμότητα) και 3 (υψηλή αναφλεξιμότητα). Ο βέλτιστος χαρακτηρισμός από πλευράς ασφάλειας για ένα ψυκτικό μέσο είναι A1 (μη τοξικό, μη αναφλέξιμο).

Τα περισσότερα ψυκτικά μέσα, που χρησιμοποιούνται ευρέως, προέρχονται από υδρογονάνθρακες (ενώσεις του άνθρακα με υδρογόνο), στους οποίους κάποια άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί με άτομα χλωρίου (Cl) ή φθορίου (F). Διακρίνουμε εδώ, ανάλογα με τη χημική σύσταση, τους χλωροφθοράνθρακες (CFC), τους υδρογονο-χλωροφθοράνθρακες (HCFC), τους υδρογονο-φθοράνθρακες (HFC) κ.τ.λ.

Θεωρείται ότι οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) έχουν συντελέσει, περισσότερο από κάθε άλλο ψυκτικό μέσο, στην **καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα**. Για το λόγο αυτό, εδώ και αρκετά χρόνια έχει ξεκινήσει διαδικασία αντικατάστασης του R12 και των άλλων CFC. Τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε αντίστοιχη διαδικασία και για τους υδρογονο-χλωροφθοράνθρακες (HCFC), ένας από τους οποίους είναι το πολύ διαδεδομένο ψυκτικό μέσο R22.

Η διαπίστωση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση ορισμένων ψυκτικών μέσων, οδήγησε σε απαγόρευση της εκπομπής τους στην ατμόσφαιρα. Αναπτύχθηκαν μέθοδοι για τη **συλλογή, ανακύκλωση και αναγέννηση** των ψυκτικών μέσων.

Συλλογή (recovery) είναι η διαδικασία αφαίρεσης του ψυκτικού μέσου από μια μονάδα και συγκέντρωσής του σε ένα ειδικό δοχείο. **Ανακύκλωση** (recycling) ενός ψυκτικού μέσου είναι η διαδικασία με την οποία το ψυκτικό μέσο που συλλέγεται από ένα ψυκτικό σύστημα γίνεται, με τη βοήθεια ειδικής συσκευής, καθαρό και έτοιμο να χρησιμοποιηθεί και πάλι. Η διαδικασία γίνεται στο χώρο της ψυκτικής εγκατάστασης ή στο ψυκτικό εργαστήριο. **Αναγέννηση** (reclaiming) ενός ψυκτικού μέσου είναι η διαδικασία καθαρισμού του ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο προϊόν. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει χημική ανάλυση και είναι πιθανό να απαιτήσει τη χρησιμοποίηση μέσων διύλισης ή απόσταξης. Η αναγέννηση μπορεί να ολοκληρωθεί μόνο σε ειδικά εργαστήρια.

Για όλα τα ψυκτικά μέσα υπάρχουν όρια για τα **επιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας**. Η παρουσία υγρασίας στο ψυκτικό κύκλωμα είναι ανεπιθύμητη, γιατί

μπορεί να προκαλέσει προβλήματα δυσλειτουργίας ή και «μπλοκάρισμα» του εκτονωτικού μέσου. Υπάρχουν λοιπόν όρια για τα επιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας σε κάθε ψυκτικό μέσο. Τέλος, ο κατασκευαστής κάθε ψυκτικού μέσου ορίζει με ποιο **είδος λαδιού λίπανσης** μπορεί να συνεργαστεί το συγκεκριμένο ψυκτικό. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο σημείο αυτό κατά την αντικατάσταση παλιών ψυκτικών μέσων (R12, R22) από νέα οικολογικά σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

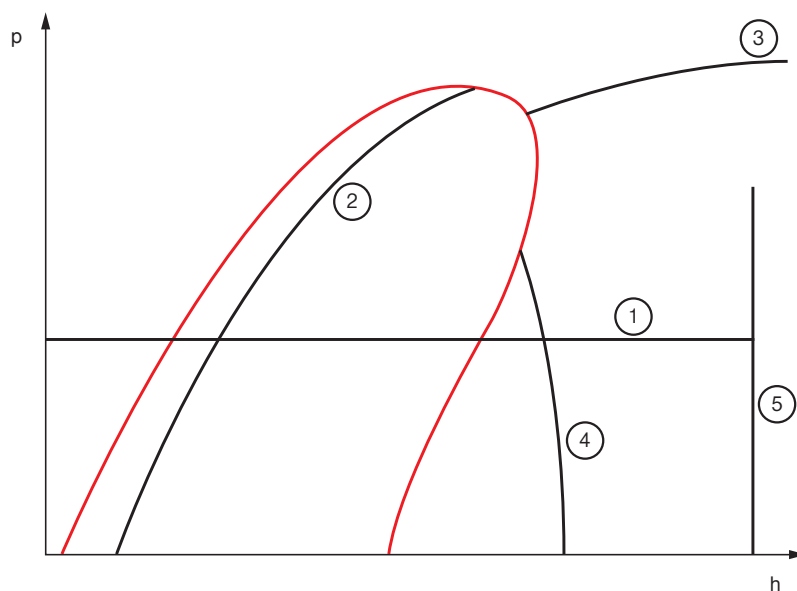


ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Τι θα συμβεί αν ένα ψυκτικό κύκλωμα, που έχει τριχοειδή σωλήνα ως εκτονωτικό μέσο, υπερφορτωθεί με ψυκτικό ρευστό ;
Α) Θα έχουμε παγοφραγμό στο εκτονωτικό μέσο
Β) Τίποτα
Γ) Η πίεση κατάθλιψης θα γίνει ψηλότερη
Δ) Το ψυκτικό αποτέλεσμα θα είναι μεγαλύτερο.
2. Γιατί στα ψυκτικά κυκλώματα τοποθετείται φίλτρο πριν από τον τριχοειδή σωλήνα ;
Α) Για να συγκρατεί την υγρασία του συστήματος
Β) Για να συγκρατεί τα ξένα σωματίδια του συστήματος
Γ) Για να φιλτράρει το λιπαντικό του συστήματος
Δ) Για να απομακρύνει τον αέρα από το σύστημα.
3. Τι συμβαίνει με τις πιέσεις ενός ψυκτικού συστήματος με τριχοειδή σωλήνα κατά τις παύσεις λειτουργίας ;
Α) Η πίεση της χαμηλής πλευράς ανεβαίνει, ενώ η πίεση της υψηλής πλευράς παραμένει σταθερή
Β) Αυξάνονται λίγο οι πιέσεις και των δύο πλευρών
Γ) Οι πιέσεις μένουν όπως ήταν πριν από την παύση
Δ) Οι πιέσεις τείνουν να εξισωθούν.
4. Τι συμβαίνει αν ο τριχοειδής σωλήνας ενός συστήματος έχει μεγαλύτερο μήκος από αυτό που πρέπει ;

- A) Η πίεση κατάθλιψης θα είναι πολύ χαμηλή
 B) Η πίεση αναρρόφησης θα είναι πολύ υψηλή
 Γ) Το στοιχείο ατμοποίησης θα έχει μεγάλο μέρος «ξηρό»
 Δ) Θα μειωθούν και η πίεση της χαμηλής και η πίεση της υψηλής πλευράς.
5. Μικρός (σύντομος) κύκλος λειτουργίας σε μια ψυκτική μονάδα μπορεί να σημαίνει :
- A) Κακή ρύθμιση του θερμοστάτη
 B) Ελαττωματικός συμπιεστής
 Γ) Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
 Δ) Εξατμιστής γεμάτος από λάδι λίπανσης.
6. Η χρησιμοποίηση ψυκτικού μέσου με χαμηλή πίεση συμπύκνωσης σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχει το εξής πλεονέκτημα :
- A) Το σύστημα φορτώνεται με μικρότερη ποσότητα ψυκτικού μέσου
 B) Οι διαρροές ψυκτικού ρευστού ανιχνεύονται ευκολότερα
 Γ) Μικρότερο κόστος εξοπλισμού
 Δ) Η υγρασία δεν μπορεί να βλάψει την εγκατάσταση.
7. Χαρακτηρίστε τις ακόλουθες ψυκτικές εφαρμογές ως υψηλών, μέσων ή χαμηλών θερμοκρασιών : **α.** Οικιακός καταψύκτης **β.** Διατήρηση χώρου ειδικών ηλεκτρονικών οργάνων στους 12 °C **γ.** Ψυκτικός θάλαμος διατήρησης μήλων (συμβουλευτείτε και τον Πίνακα 8.2).
8. Η απόδοση των ατμοποιητών μετριέται σε W (ή kcal/h ή Btu/h). Πιστεύετε ότι θα μπορούσαν οι κατασκευαστές να γράφουν μία και μόνο τιμή σε W ή σε RT που να αντιπροσωπεύει την απόδοση του ατμοποιητή ;^{π1}
9. Συγκρίνετε τον ειδικό όγκο κορεσμένου ατμού -5 °C, για τα ψυκτικά ρευστά R12, R22, R134a. Ο μικρός ειδικός όγκος είναι πλεονέκτημα ή μειονέκτημα για ένα ψυκτικό μέσο ;
10. Γιατί η μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης είναι επιθυμητό χαρακτηριστικό για ένα ψυκτικό και πώς επιδρά στην ψυκτική εγκατάσταση ;
11. Γιατί είναι μειονέκτημα για ένα ψυκτικό να είναι εντελώς άοσμο ;

12. Στο παρακάτω διάγραμμα p-h, εξηγήστε τι παριστάνει καθεμιά από τις γραμμές 1,2,3,4 και 5.



Διάγραμμα 6.2

13. Το ψυκτικό μέσο R134a ατμοποιείται, υπό πίεση 1 atm, στους -26°C . Είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω ψυκτικό μέσο σε μια εγκατάσταση, όπου επιθυμούμε διατήρηση προϊόντων στους -30°C ;
14. Με ποιους τρόπους μπορεί να εισδύσει υγρασία σε ένα ψυκτικό κύκλωμα ; π^1
15. Ποια προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν από την παρουσία υγρασίας σε ένα ψυκτικό κύκλωμα ;

ΤΡΟΠΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΨΥΞΗΣ

- 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 7.2 ΨΥΞΗ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ
- 7.3 ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
- 7.4 ΨΥΞΗ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ. ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ
ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ P-H
- 7.5 ΑΛΛΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΨΥΞΗΣ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



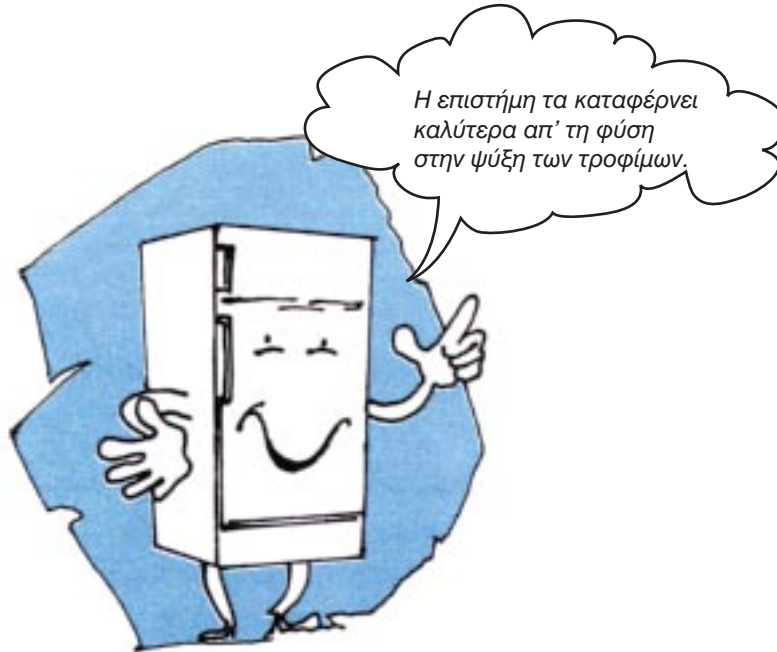
ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να αναφέρουν διάφορους τρόπους παραγωγής ψύξης που χρησιμοποιούνται ή που χρησιμοποιήθηκαν κατά το παρελθόν.
- ✓ Να αναφέρουν και να εξηγούν τα φυσικά φαινόμενα πάνω στα οποία βασίζονται οι διάφοροι τρόποι παραγωγής ψύξης.
- ✓ Να αναφέρουν το πεδίο εφαρμογών των βασικότερων συστημάτων παραγωγής ψύξης.
- ✓ Να αναφέρουν τα μέρη και να περιγράφουν τη διαδικασία παραγωγής ψύξης στα πλέον διαδεδομένα συστήματα παραγωγής ψύξης.
- ✓ Να σχεδιάζουν τον κύκλο με μηχανική συμπίεση ατμών πάνω σε διάγραμμα p-h.
- ✓ Να κάνουν απλούς ενεργειακούς υπολογισμούς αξιοποιώντας τη σχεδίαση του κύκλου, με μηχανική συμπίεση ατμών, σε διάγραμμα p-h.

7.1 Εισαγωγή

«Η επιστήμη τα καταφέρνει καλύτερα από τη φύση στην ψύξη των τροφίμων», μας λέει το ψυγείακι του Σχήματος 7.1. Γνωρίζουμε (Κεφάλαια 1 και 2) ότι η θερμότητα ρέει κατά φυσικό τρόπο από το ζεστό προς το κρύο και ποτέ αντιστρόφως. Αυτό δυσκόλεψε τον άνθρωπο στην προσπάθειά του για ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ψύξης (βλ. και την ερώτηση 3 του Κεφ.1)

**Σχήμα 7.1**

- ♦ Τα παραπάνω σημαίνουν πως ο άνθρωπος δεν κατάφερνε να δημιουργήσει ψύξη πριν εμφανιστούν τα μηχανικά συστήματα παραγωγής ψύξης ;

Ο άνθρωπος πάντοτε κατάφερνε, με τα μέσα και τις δυνατότητες που είχε, να πετυχαίνει ψύξη, βασιζόμενος στην αρχή που αναφέραμε προηγουμένως : ότι η θερμότητα μεταδίδεται κατά φυσικό τρόπο από το ζεστό στο κρύο. Έτσι, φρόντιζε να υπάρχει πάντοτε ένα «κρύο σώμα» ώστε να μεταδοθεί προς αυτό θερμότητα από το σώμα ή από το χώρο που ήθελε να ψύξει. Οι χιονοαποθήκες των Ρωμαίων (§1.1) είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Τα ψυγεία πάγου αποτελούν νεότερη εφαρμογή της ίδιας ιδέας και γνώρισαν μεγάλη εξάπλωση την εποχή του μεσοπολέμου.



Εικόνα 7.1 Διανομή πάγου για χρήση σε οικιακά ψυγεία

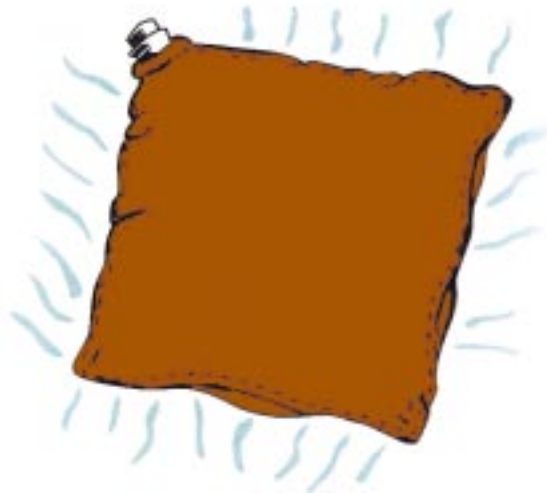
7.2 Ψύξη με εξάτμιση

Γνωρίζουμε ήδη ότι, κατά τη μετατροπή μιας ουσίας από την υγρή στην αέρια φυσική κατάσταση, απορροφάται θερμότητα από το περιβάλλον. Αυτό ο άνθρωπος το εκμεταλλευόταν από παλιά, προκειμένου να επιτύχει ψύξη. Για παράδειγμα, κατέβρεχε ένα χώρο ή ένα σώμα έτσι ώστε με την εξάτμιση του νερού ο χώρος αυτός να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία. Αναφέρεται ότι πολλούς αιώνες πριν, στην Ινδία, τις πολύ ζεστές ημέρες, κρεμούσαν βρεγμένες ψάθες από ανοίγματα των κατοικιών προς την πλευρά του ανέμου, πετυχαίνοντας έτσι ψύξη του χώρου με την εξάτμιση του νερού.

Εφαρμογή της ψύξης με εξάτμιση αποτελεί και **το δοχείο νερού του ταξιδιώτη**. Σήμερα, με τόσους διαφορετικούς τύπους δοχείων (θερμός) διατήρησης υγρών σε χαμηλή (ή υψηλή) θερμοκρασία, μπορεί κανείς να διατηρήσει ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες (π.χ. στην έρημο) δροσερό νερό. Σε παλιότερες όμως εποχές, ο άνθρωπος έπρεπε να επινοήσει διάφορες τεχνικές για να μπορεί να έχει μαζί του, σε δύσκολες συνθήκες, δροσερό νερό.

Το δοχείο του Σχήματος 7.2 είναι ένας από αυτούς τους τρόπους. Το

δοχείο είναι φτιαγμένο από σφιχτοπλεγμένο ύφασμα. Μια μικρή ποσότητα νερού διαποτίζει το ύφασμα και εξατμίζεται σιγά-σιγά στο ξηρό και θερμό περιβάλλον, όπως αυτό της ερήμου. Μέρος από τη θερμότητα που απαιτείται για την αλλαγή φάσης, το εξατμιζόμενο νερό την απορροφά από το σάκο και από το νερό που είναι μέσα σ' αυτόν. Έτσι, το νερό μέσα στο σάκο διατηρείται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος.



Σχήμα 7.2 Δοχείο νερού της ερήμου

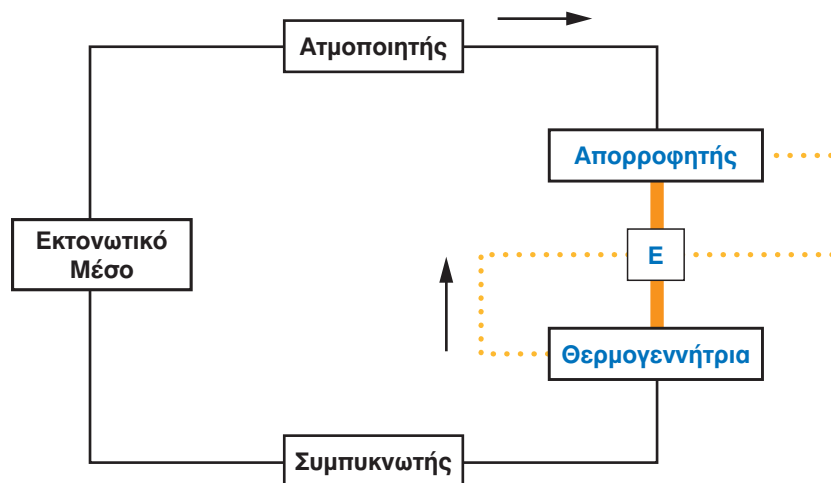
Το πιο ζωντανό όμως παράδειγμα της ψύξης με εξάτμιση, αποτελεί **το σύστημα εφίδρωσης του ανθρώπινου οργανισμού**. Ο αυτόματος μηχανισμός παραγωγής του ιδρώτα ενεργοποιείται στον άνθρωπο, όταν αυτός δυσκολεύεται να αποβάλει θερμότητα προς το περιβάλλον. Τα σταγονίδια του ιδρώτα εξατμίζονται και ένα μέρος της θερμότητας που απορροφούν προέρχεται από το ανθρώπινο σώμα.

Η ψύξη με εξάτμιση βρίσκει εφαρμογή σε αρκετές συσκευές, όπως οι **εξατμιστικοί συμπυκνωτές** και οι **πύργοι ψύξης** που μελετήσαμε στο Κεφάλαιο 6. Υπάρχουν εφαρμογές της ψύξης με εξάτμιση στην **τεχνητή παραγωγή χιονιού**. Θυμηθείτε, τέλος, την ψύξη με εξάτμιση όταν θα εξηγείτε τη διαφορά ανάμεσα στις ενδείξεις των θερμομέτρων ξηρού και υγρού βολβού στο Γ' Μέρος του βιβλίου.

7.3 Ψύξη με απορρόφηση

Τα συστήματα ψύξης με απορρόφηση εκμεταλλεύονται την **ιδιότητα μιας ουσίας** (ο απορροφητής) **να απορροφά μεγάλες ποσότητες ατμού μιας άλλης ουσίας** (το ψυκτικό μέσο). Η απορροφητική ουσία έχει την ιδιότητα να απορροφά τους ατμούς όταν είναι κρύα, ενώ όταν θερμαίνεται τους αποβάλλει.

Ένα από τα πρώτα συστήματα απορρόφησης που βρίσκει ευρεία χρήση ακόμα και σήμερα, είναι αυτό που χρησιμοποιεί νερό ως απορροφητή και αμμωνία ως ψυκτικό μέσο. Υπάρχουν όμως και άλλα συστήματα, όπως αυτό που χρησιμοποιεί νερό-υδρατμό ως ψυκτικό μέσο και βρωμιούχο λίθιο ως απορροφητή.



Σχήμα 7.3 Κύκλος ψύξης με απορρόφηση ατμών

Συγκρίνοντας τον κύκλο αυτό με το γνωστό μας ψυκτικό κύκλο με μηχανική συμπίεση ατμών βλέπουμε, αντί του συμπιεστή, δύο νέα μέρη : τον απορροφητή και τη θερμογεννήτρια. Ενώ ο κύκλος με μηχανική συμπίεση ατμών ακολουθεί μηχανικές διαδικασίες, ο κύκλος με απορρόφηση ακολουθεί **φυσικοχημικές διαδικασίες**. Το ζευγάρι απορροφητής-θερμογεννήτρια παίζει το ρόλο του συμπιεστή. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι στον απορροφητή έχουμε τη φάση της αναρρόφησης και στη θερμογεννήτρια τη φάση της συμπίεσης. Εδώ όμως δεν έχουμε μηχανική συμπίεση. Ο ατμός του ψυκτικού απελευθερώνεται από την απορροφητική ουσία στη θερμογεννήτρια και αποκτά μεγάλη πίεση. Η **υψηλή πίεση** δηλαδή, σ' αυ-

τόν τον κύκλο, δεν αποκτάται με μηχανική συμπίεση αλλά **με θέρμανση**. Και στον κύκλο του Σχήματος 7.3 έχουμε υψηλή και χαμηλή πλευρά. Η πλευρά υψηλής πίεσης είναι ανάμεσα στη θερμογεννήτρια και το εκτονωτικό μέσο.

Η γραμμή από τον απορροφητή έως τη θερμογεννήτρια (Σχήμα 7.3, παχιά γραμμή) δε μεταφέρει μόνο το ψυκτικό μέσο, αλλά πυκνό διάλυμα του ψυκτικού μέσου στην απορροφητική ουσία. Μετά τη θέρμανση στη θερμογεννήτρια, ο ατμός του ψυκτικού μέσου ελευθερώνεται, ενώ ένα μικρό ποσό ψυκτικού μέσου παραμένει διαλυμένο στην απορροφητική ουσία. Έχουμε λοιπόν ένα αραιό διάλυμα που επιστρέφει (διακοπτόμενη γραμμή) στον απορροφητή. Εκεί όμως πρέπει να είναι κρύο για να πετύχει, εκ νέου, την απορρόφηση των ατμών του ψυκτικού μέσου που έρχονται στον απορροφητή. Για το σκοπό αυτό, περνά από τον εναλλάκτη Ε όπου αποβάλλει θερμότητα προς το πυκνό διάλυμα, προθερμαίνοντάς το. Οι άλλες λειτουργικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες των ψυκτικών συστημάτων με απορρόφηση ξεφεύγουν από τους σκοπούς αυτού του εγχειριδίου.

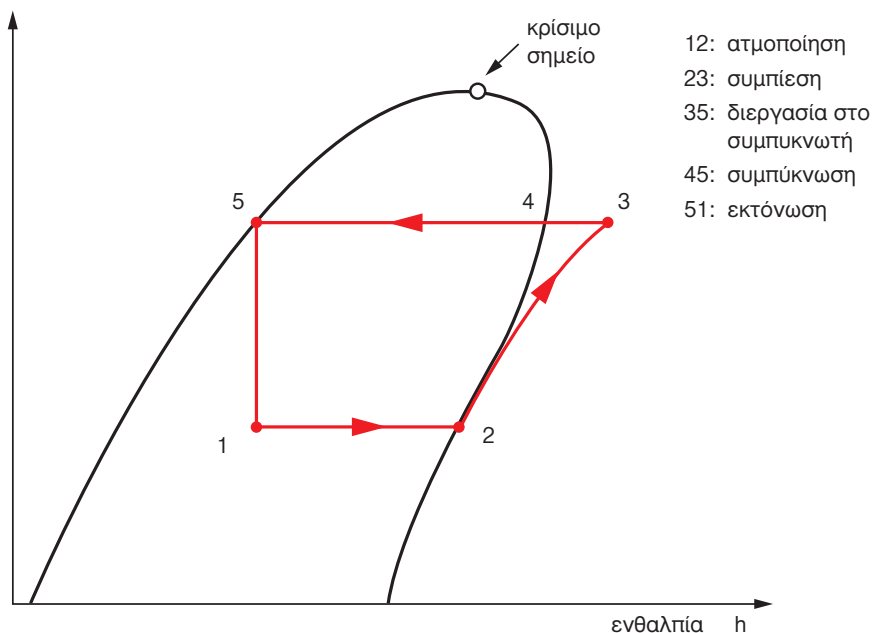
Το σύστημα απορρόφησης με απορροφητή το νερό και ψυκτικό μέσο την αμμωνία χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε εφαρμογές χαμηλών και μέσων θερμοκρασιών. Αναπτύχθηκε και μια παραλλαγή του συστήματος απορρόφησης αμμωνίας για χρήση σε οικιακά ψυγεία, η οποία σε παλιότερες εποχές γνώρισε μεγάλη εφαρμογή σε περιοχές όπου υπήρχε διαθέσιμη θερμική ενέργεια, ενώ δεν ήταν εύκολα διαθέσιμη η ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα απορρόφησης με απορροφητή το βρωμιούχο λίθιο και ψυκτικό μέσο το νερό, γνώρισε μεγάλη εφαρμογή στον κλιματισμό. Μια τέτοια μονάδα δεν μπορεί να παράγει θερμοκρασίες κατώτερες από το σημείο πήξης του νερού (0 °C), έχει όμως πολύ καλή απόδοση στην περιοχή θερμοκρασιών 3°C έως 14°C που απαιτούνται για εφαρμογές του κλιματισμού.

7.4 Ψύξη με συμπίεση ατμών. Παράσταση του ψυκτικού κύκλου στο διάγραμμα $p-h$

Η μέθοδος παραγωγής ψύξης που χρησιμοποιείται περισσότερο στις εφαρμογές και ενδιαφέρει πιο άμεσα τον τεχνικό της ψύξης, είναι η ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών. Τον κύκλο με συμπίεση ατμών τον έχουμε ήδη γνωρίσει πολύ καλά στα Κεφάλαια 5 και 6. Θα τον θυμηθούμε εδώ,

παριστάνοντάς τον πάνω στο διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας.

Ο κύκλος ψύξης με συμπίεση ατμών έχει πάνω στο διάγραμμα P-H τη μορφή που δείχνει το Διάγραμμα 7.1 :



Διάγραμμα 7.1 Κύκλος ψύξης με μηχανική συμπίεση ατμών σε διάγραμμα p-h

Στο διάγραμμα αυτό, η μεταβολή 12 παριστάνει την ατμοποίηση μέσα στο ψυκτικό στοιχείο. Πρόκειται για ισόθλιπτη μεταβολή. Η γραμμή 23 παριστάνει τη συμπίεση και ακολουθεί ισεντροπική καμπύλη του διαγράμματος. Στο σημείο 3 (κατάθλιψη του συμπιεστή) έχουμε υπέρθερμο ατμό. Η μεταβολή 34 είναι η ισόθλιπτη ψύξη του υπέρθερμου ατμού στο πρώτο τμήμα του συμπυκνωτή, έως ότου γίνει ξηρός κορεσμένος ατμός (σημείο 4). Από το 4 έως το 5 έχουμε συμπύκνωση του ατμού. Πρόκειται για αλλαγή φάσης, οπότε η μεταβολή μας είναι και εδώ ισόθλιπτη. Τέλος, η μεταβολή 51 είναι η εκτόνωση, κατά την οποία έχουμε απότομη πτώση της πίεσης και παριστάνεται με κατακόρυφη γραμμή.

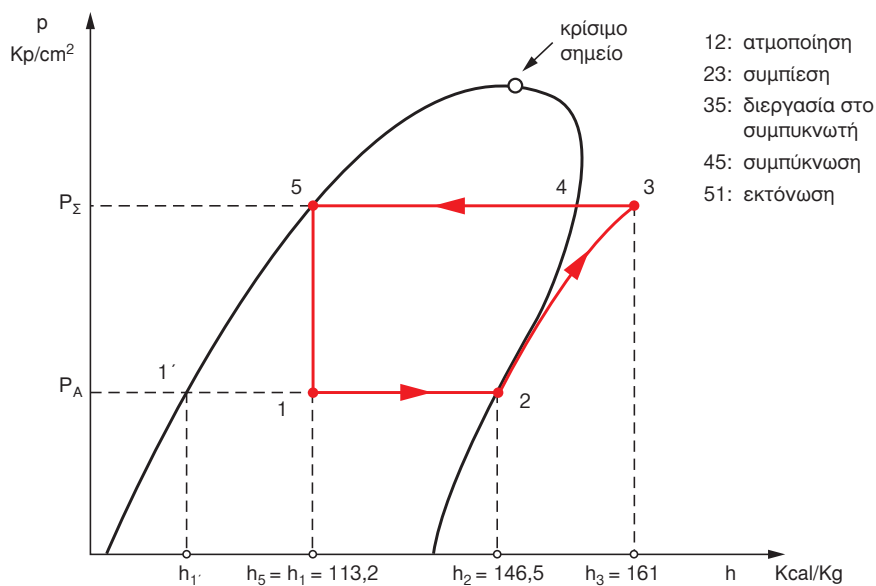
Είμαστε ήδη έτοιμοι να ασχοληθούμε με ενεργειακούς υπολογισμούς πάνω στο διάγραμμα p-h.

► *Ψυκτική διάταξη μηχανικής συμπίεσης ατμού, χωρίς υπόψυξη συμπυκνώματος και υπερθέρμανση ατμού, λειτουργεί με ψυκτικό μέσο*

R22. Τα μανόμετρα μας δείχνουν, κατά τη λειτουργία, πίεση ατμοποίησης $0,8 \text{ bar}$ και πίεση συμπίκνωσης 15 bar , ενώ ένα βαρόμετρο δίπλα στην εγκατάσταση έχει ένδειξη $1,013 \text{ bar}$ ($=1 \text{ atm}$). Αν η ψυκτική ισχύς της εγκατάστασης είναι 2 RT , ζητούνται τα εξής :

- 1) Η χάραξη του ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα $p-h$.
- 2) Η παροχή μάζας του ψυκτικού υγρού που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση.
- 3) Η απορριπτόμενη θερμική ισχύς.
- 4) Η προσφερόμενη μηχανική ισχύς κατά τη συμπίεση.
- 5) Ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP).

1) Στο Διάγραμμα 7.2 φαίνεται πώς θα είναι ο ψυκτικός κύκλος πάνω στο διάγραμμα $p-h$ και περιγράφεται στη συνέχεια πώς έγινε η σχεδίαση.



Διάγραμμα 7.2

Οι πιέσεις που μας δίνει η εκφώνηση είναι μανομετρικές. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος $p-h$ αναγράφονται οι απόλυτες πιέσεις. Υπολογίζουμε λοιπόν τις απόλυτες πιέσεις, προσθέτοντας στις μανομετρικές πιέσεις την ατμοσφαιρική πίεση. Στη συνέχεια, μετατρέπουμε την τιμή που βρίσκουμε σε at (Kp/cm^2), γιατί σε αυτή τη μονάδα μετρείται η πίεση

στο διάγραμμα p-h, το οποίο έχουμε στη διάθεσή μας για το R22 (Διάγραμμα 1, Παράρτημα 3) :

Απόλυτη πίεση ατμοποίησης $P_A = 0,8 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} = 1,813 \text{ bar} = 1,85 \text{ Kp/cm}^2$

Απόλυτη πίεση συμπίκνωσης $P_\Sigma = 15 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} = 16,013 \text{ bar} = 16,33 \text{ Kp/cm}^2$

Σημ.: Για τη μετατροπή από bar σε Kp/cm², αξιοποιήσαμε τον Πίνακα 2.2.

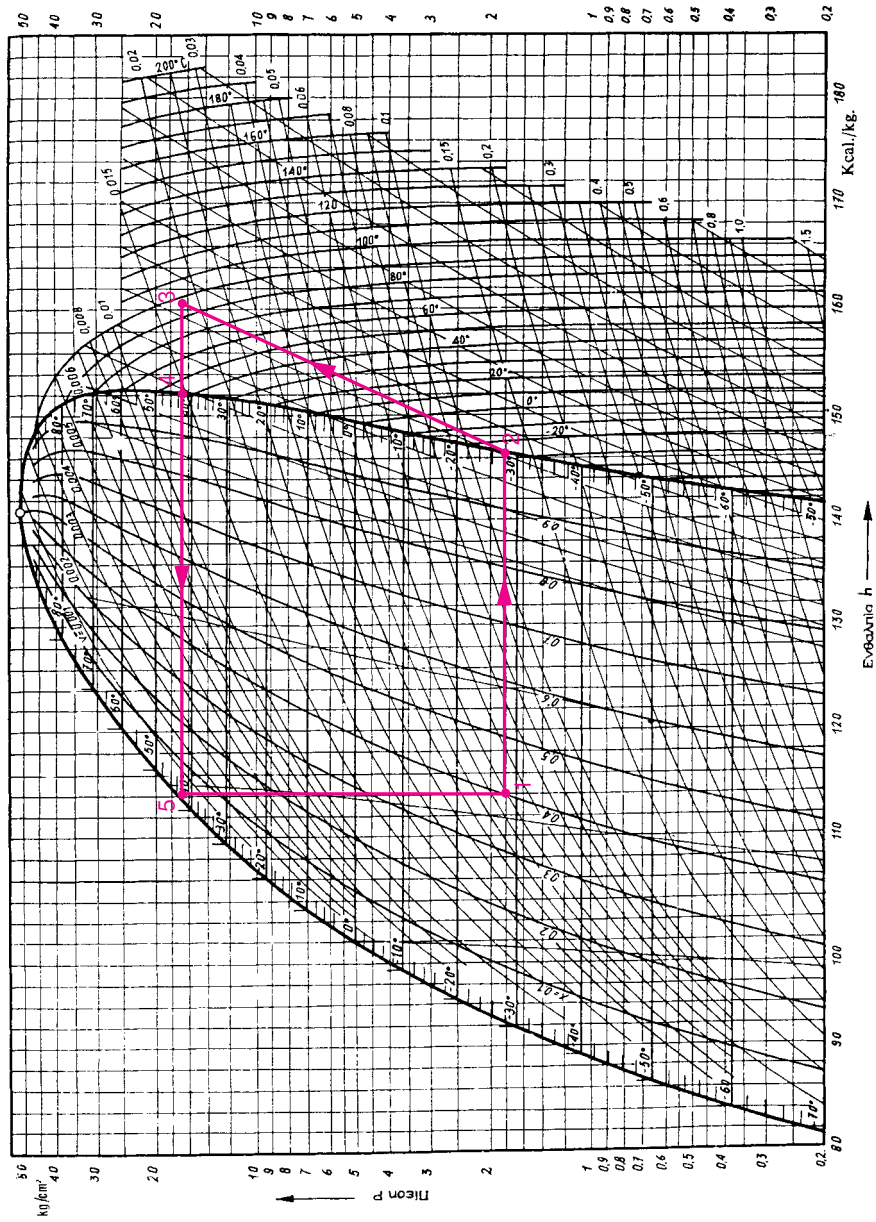
Ξεκινάμε τη σχεδίαση από το σημείο 2. Αυτό βρίσκεται πάνω στη γραμμή ξηρού κορεσμένου ατμού αλλά και πάνω στην ισόθλιπτη 1,85 Kp/cm². Από το σημείο 2, ακολουθούμε την ισεντροπική γραμμή (αν δεν υπάρχει καμία, πηγαίνουμε ανάμεσα στις δύο πλησιέστερες) και ανεβαίνουμε έως την υψηλή πίεση, δηλαδή έως την ισόθλιπτη 16,33 at. Ερχόμαστε οριζόντια έως το σημείο 5, το οποίο βρίσκεται πάνω στη γραμμή κορεσμένου υγρού. Από το 5 κατεβαίνουμε κατακόρυφα¹ (εκτόνωση) μέχρι να συναντήσουμε την ισόθλιπτη 2,85 at στο σημείο 1. Το σημείο 1 είναι η είσοδος στον ατμοποιητή. Στο Διάγραμμα 7.3 έχει σχεδιαστεί ο κύκλος πάνω σε διάγραμμα p-h του ψυκτικού ρευστού R22, σύμφωνα με την πορεία που περιγράφηκε παραπάνω. Από το διάγραμμα αυτό παίρνουμε και τις τιμές των ενθαλπιών των διάφορων σημείων που αναγράφονται στο Διάγραμμα 7.2.

2) Η ψυκτική ισχύς είναι $2RT = 24000 \text{ Btu/h} = 6000 \text{ kcal/h}$. Η ψυκτική ικανότητα (δηλαδή πόση θερμότητα απορροφάται στον ατμοποιητή ανά kg ψυκτικού μέσου) βρίσκεται από το διάγραμμα ως διαφορά ενθαλπιών : $h_2 - h_1 = 146,5 - 113,2 = 33,3 \text{ kcal/kg}$. Διαιρώντας την ψυκτική ισχύ δια την ψυκτική ικανότητα, βρίσκουμε ότι η παροχή μάζας είναι :

$$\text{Παροχή μάζας} = 6000 / 33,3 = 180,18 \text{ kg/h.}$$

3) Το ολικό ποσό θερμότητας που αποβάλλεται στο συμπυκνωτή, παριστάνεται από το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος 35. Αν η άσκηση μας

¹ Σε πολλά διαγράμματα, που αναπαριστούν τον ψυκτικό κύκλο σε διάγραμμα p-h, θα δείτε τη μεταβολή 51 σχεδιασμένη με διακοπτόμενη γραμμή. Αυτό γίνεται γιατί δε γνωρίζουμε ακριβώς τις ενδιάμεσες καταστάσεις αυτής της μεταβολής. Εκείνο που γνωρίζουμε είναι ότι η ενθαλπία είναι ίδια στην αρχική και την τελική κατάσταση.



Διάγραμμα 7.3 Ψυκτικός κύκλος πάνω στο διάγραμμα p-h του ψυκτικού μέσου R22

ζητούσε τη θερμότητα συμπίκνωσης, τότε θα παίρναμε το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος 45 (μέσα στην καμπάνα).

Η αποβαλλόμενη θερμότητα ανά kg ψυκτικού βρίσκεται ως διαφορά ενθαλπών : $h_3 - h_5 = 161 - 113,2 = 47,8 \text{ kcal/kg}$. Για να βρούμε πόσα kcal αποβάλλονται ανά ώρα θα πολλαπλασιάσουμε το ποσό αυτό επί την παροχή μάζας. Δηλαδή, η απορριπτόμενη θερμική ισχύς θα είναι : $47,8 \times 180,18 = 8613 \text{ kcal/h}$.

4) Το έργο που προσφέρεται στο ψυκτικό μέσο κατά τη συμπίεση, ανά kg ψυκτικού μέσου, υπολογίζεται από το διάγραμμα ως διαφορά ενθαλπών. Έχουμε $W = h_3 - h_2 = 161 - 146,5 = 14,5 \text{ kcal/kg}$. Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό αυτό επί την παροχή μάζας, βρίσκουμε την προσφερόμενη μηχανική ισχύ :

$$P = 14,5 \times 180,18 = 2613 \text{ kcal/h.}$$

Πολλαπλασιάζοντας την παραπάνω τιμή επί 1,161 βρίσκουμε την ισχύ σε W :

$$P = 2613 \times 1,161 \text{ W} = 3033 \text{ W} \approx 3 \text{ kW.}$$

Η ισχύς που υπολογίσαμε είναι η θεωρητική ισχύς του συμπιεστή.

5) Για να υπολογίσουμε το συντελεστή συμπεριφοράς, θα διαιρέσουμε την ψυκτική ισχύ δια την ισχύ του συμπιεστή. Έχουμε :

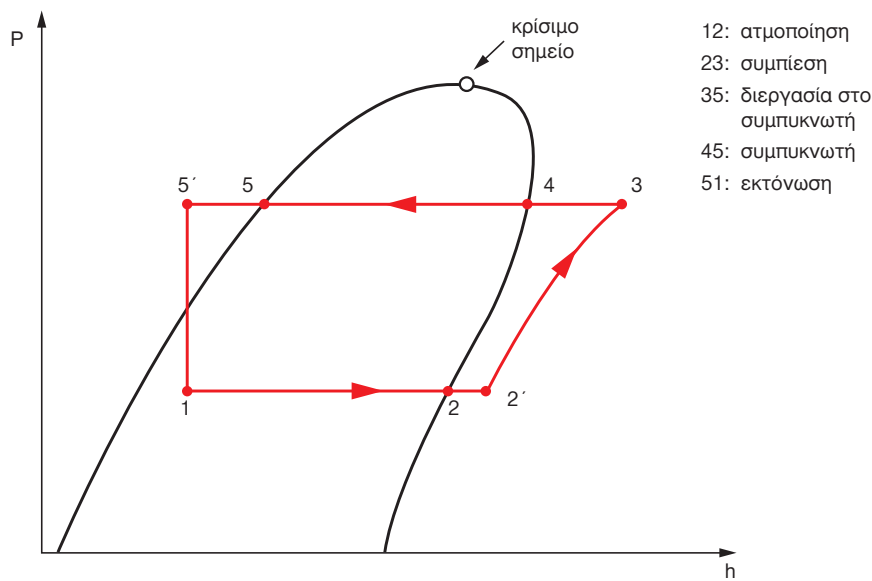
$$\text{COP} = 6000/2613 \Rightarrow \text{COP} = 2,3^2$$

Στον κύκλο της ψυκτικής διάταξης που σχεδιάσαμε στην άσκηση αυτή, φαίνεται ότι, κατά την είσοδο στον ατμοποιητή (σημείο 1), ήδη πάνω από το 40% της μάζας του ψυκτικού ρευστού βρίσκεται σε αέρια κατάσταση. Η διεργασία μέσα στον ατμοποιητή παριστάνεται με το ευθύγραμμο τμήμα 12. Η αφαιρούμενη θερμότητα, ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου, από τον ψυχόμενο χώρο ισούται με $h_2 - h_1$. Είναι μικρότερη από τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου, η οποία ισούται με $h_2 - h_1$ (διάγραμμα 7.2). Η διαφορά αυτή υπάρχει, διότι στο τέλος της εκτόνωσης έχουμε ήδη κάποιες φυσαλίδες ατμού. Δεν ατμοποιείται δηλαδή στον ατμοποιητή ολόκληρη η ποσότητα του ψυκτικού που μπαίνει σ' αυτόν. Αυτό μειώνει την ψυκτική ισχύ, γιατί η θερμότητα που απορροφάται, ανά μο-

2 Ο συντελεστής που υπολογίσαμε είναι ο *θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς*. Ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκατάστασης είναι μικρότερος από την τιμή αυτή.

νάδα μάζας του ψυκτικού, είναι αρκετά μικρότερη από τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης.

Αν είχαμε υπόψυξη συμπυκνώματος, η γραμμή που παριστάνει την εκτόνωση στο διάγραμμα $p-h$ θα μετατοπιζόταν προς τα αριστερά (Διάγραμμα 7.4), με αποτέλεσμα να είχαμε μικρότερο ποσοστό ατμού, στο μίγμα υγρού-ατμού, στο τέλος της εκτόνωσης.



Διάγραμμα 7.4 Κύκλος με υπόψυξη συμπυκνώματος και υπερθέρμανση ατμού

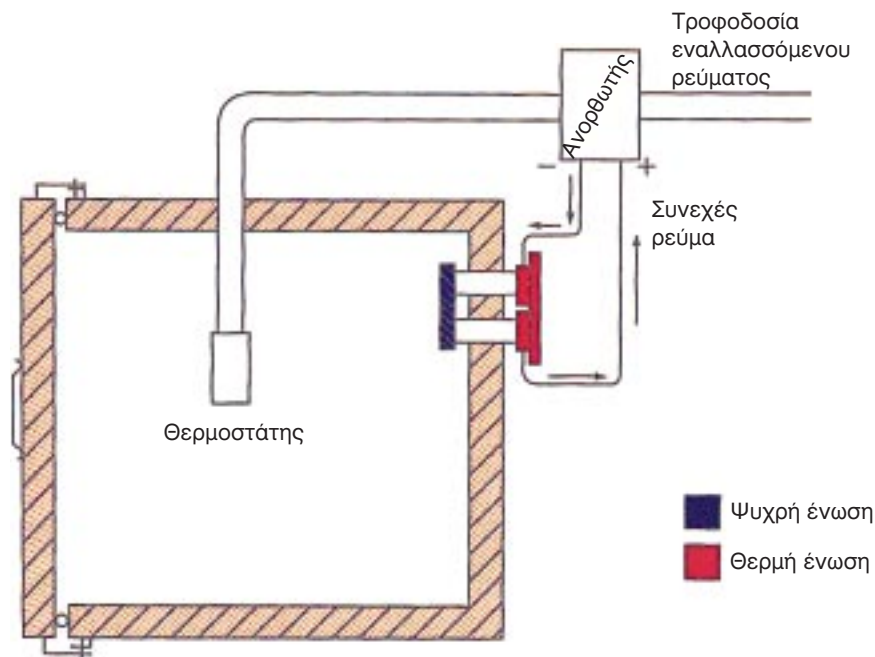
Συνήθως η **υπόψυξη συμπυκνώματος**, σε έναν κύκλο ψύξης με μηχανική συμπίεση ατμών, γίνεται παράλληλα με την **υπερθέρμανση του ατμού** εξόδου από τον ατμοποιητή. Η διεργασία αυτή γίνεται **στο θερμικό εναλλάκτη** (θυμηθείτε την ερώτηση 8 του Κεφαλαίου 5. Θερμικό εναλλάκτη έχουμε επίσης και στην ψυκτική διάταξη του Σχήματος 6.3. Μπορείτε να τον εντοπίσετε;). Στη δραστηριότητα 8, στο τέλος αυτού του κεφαλαίου, θα έχετε την ευκαιρία να κάνετε αντίστοιχους υπολογισμούς σε ψυκτική διάταξη με υπόψυξη συμπυκνώματος και υπερθέρμανση ατμού.

► Γιατί βρέθηκε μικρός ο συντελεστής συμπεριφοράς του ψυκτικού κύκλου στη διάταξη του προηγούμενου ερωτήματος ;^{π1}

7.5 Άλλοι τρόποι παραγωγής ψύξης

Εκτός από αυτούς που ήδη αναφέραμε, υπάρχουν πολλοί άλλοι τρόποι παραγωγής ψύξης, κάποιοι από τους οποίους εφαρμόζονται και σήμερα, σε περιορισμένη κλίμακα ενώ άλλοι βρίσκονται σε στάδιο πειραματικής εφαρμογής.

Η **θερμοηλεκτρική ψύξη** βασίζεται σε ένα φυσικό φαινόμενο γνωστό από το 1834, το φαινόμενο Peltier (Πελτιέ). Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ενώσεις δύο διαφορετικών μετάλλων, η μια ένωση ψύχεται. Με άλλα λόγια, αν δύο τέτοιες ενώσεις μετάλλων περιλαμβάνονται σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, η μια ψύχεται και η άλλη θερμαίνεται. Παρότι το φαινόμενο ήταν γνωστό από παλιά, η θερμοηλεκτρική ψύξη ήρθε στο προσκήνιο μόλις κατά τη δεκαετία του 1960. Στο Σχήμα 7.4 παριστάνεται ένα απλό θερμοηλεκτρικό ζευγάρι. Η ένωση που βρίσκεται μέσα στον ψυκτικό θάλαμο ψύχεται, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ η εξωτερική ένωση θερμαίνεται. Το Σχήμα 7.4 μας δείχνει την αρχή λειτουργίας. Στην πραγματικότητα, στις εγκαταστάσεις θερμοηλεκτρικής ψύξης έχουμε πολλά τέτοια ζευγάρια συνδεδεμένα σε σειρά.



Σχήμα 7.4 Θερμοηλεκτρική ψύξη

Η **ψύξη ανοιχτού κυκλώματος** ή χημική ψύξη έχει αρχίσει να διαδίδεται όλο και περισσότερο. Χρησιμοποιείται σε φορτηγά-ψυγεία αλλά και στην αποθήκευση υπό ψύξη ή στην αποθήκευση κατεψυγμένων στη βιομηχανία τροφίμων. Στο σύστημα αυτό έχουμε έναν πολύ καλά μονωμένο χώρο (ψυκτικός θάλαμος), μέσα στον οποίο ψεκάζεται **υγρό άζωτο** (σε ορισμένα συστήματα το υγρό άζωτο διοχετεύεται σε σωλήνες μέσα στον ψυκτικό θάλαμο, όπου ατμοποιείται και μετά φεύγει, ως αέριο, στην ατμόσφαιρα). Το άζωτο ατμοποιείται ταχύτατα (σημειώστε ότι το σημείο βρασμού του αζώτου, υπό πίεση 1atm, είναι $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) αφαιρώντας θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο. Εννοείται ότι, στα συστήματα αυτά, πρέπει να γίνεται ανατροφοδοσία σε ψυκτικό υγρό. Αυτό υποδηλώνει και ο όρος *ανοιχτού κυκλώματος*.

Η **ψύξη με κύκλο αέρα** εφαρμόστηκε ευρέως πριν χρησιμοποιηθούν, ως ψυκτικά μέσα, οι αλογονομένοι υδρογονάνθρακες. Πρόκειται είτε για κλειστό σύστημα με κύκλο αέρα είτε για ανοιχτό σύστημα, όπου στέλνεται απευθείας στον ψυκτικό θάλαμο αέρας, του οποίου έχει προηγουμένως υποβιβαστεί η θερμοκρασία. Η ψύξη του αέρα στα συστήματα αυτά γίνεται κυρίως κατά την εκτόνωσή του σε μηχανή εκτόνωσης. Το δεύτερο από τα συστήματα, που αναφέραμε, χρησιμοποιείται σε πολλά σύγχρονα αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας για τον κλιματισμό του θαλάμου.

Η **ψύξη με ξηρό πάγο** (*ξηρός πάγος ονομάζεται το στερεό διοξείδιο του άνθρακα*) αξιοποιεί το γεγονός ότι το στερεό CO_2 μετατρέπεται, υπό πίεση 1 atm, απευθείας στην αέρια φάση, χωρίς να περάσει από την υγρή φάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **εξάχνωση** και συνοδεύεται από απορρόφηση θερμότητας από τον περιβάλλοντα χώρο (λανθάνουσα θερμότητα εξάχνωσης). Χρησιμοποιείται συνήθως σε αποθήκες κατεψυγμένων, όπου ο ξηρός πάγος τοποθετείται σε πλάκες δίπλα στα πακέτα κατεψυγμένων προϊόντων.

Τέλος, εκτός από τους τρόπους που αναφέρθηκαν, ο άνθρωπος αναζητά συνεχώς, μέσω της έρευνας, νέους τρόπους παραγωγής ψύξης, όπως ψύξη με λέιζερ (βομβαρδισμός των δομικών στοιχείων ενός σώματος, ώστε να αποκτήσουν μικρότερη κινητική ενέργεια, με τελικό αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία του σώματος – θυμηθείτε τα περί απόλυτης θερμοκρασίας στο Κεφάλαιο 2, § 2.3).



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η ψύξη με εξάτμιση, η ψύξη με απορρόφηση, η ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών, η ψύξη με κύκλο αέρα, η θερμοηλεκτρική ψύξη, η ψύξη ανοιχτού κυκλώματος και η ψύξη με ξηρό πάγο είναι οι πιο γνωστοί τρόποι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ψύξης στις διάφορες εφαρμογές.

Στους περισσότερους από τους παραπάνω τρόπους αξιοποιείται το φαινόμενο της απορρόφησης θερμότητας από το περιβάλλον, όταν μια ουσία μετατρέπεται από την υγρή στην αέρια φυσική κατάσταση (ή από τη στερεή στην αέρια για την περίπτωση του ξηρού πάγου). Υπάρχουν όμως και άλλοι τρόποι, όπως η θερμοηλεκτρική ψύξη που αξιοποιεί το φαινόμενο Peltier. Τέλος, στην ψύξη με κύκλο αέρα, δεν έχουμε αλλαγή φάσης του αέρα. Αυτός ψύχεται, καθώς εκτονώνεται σε μηχανή εκτόνωσης.

Η μέθοδος παραγωγής ψύξης, που χρησιμοποιείται περισσότερο στις εφαρμογές και ενδιαφέρει πιο άμεσα τον τεχνικό της ψύξης και του κλιματισμού, είναι η ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμών. Η χάραξη του κύκλου με μηχανική συμπίεση ατμών πάνω σε διάγραμμα $p-h$, μπορεί να γίνει εύκολα, όταν γνωρίζουμε τα εξής :

- Η ατμοποίηση και η συμπύκνωση είναι μεταβολές ισόθλιπτες και ισοθερμοκρασιακές και παριστάνονται με ευθύγραμμα τμήματα παράλληλα στον άξονα των ενθαλπιών, στο εσωτερικό της καμπάνας του διαγράμματος.
- Η συμπίεση είναι μεταβολή ισεντροπική.
- Η εκτόνωση είναι μεταβολή ισενθαλπική.

Επιπλέον, γνωρίζοντας το είδος του ψυκτικού μέσου και ορισμένα μεγέθη της ψυκτικής εγκατάστασης, μπορούμε να χαράξουμε τον κύκλο πάνω στο διάγραμμα $p-h$ του αντίστοιχου ψυκτικού μέσου. Η παράσταση του κύκλου με συμπίεση ατμών, πάνω στο διάγραμμα $p-h$, μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε διάφορους ενεργειακούς υπολογισμούς. Σε αυτό μας βοηθά το ότι η αφαιρούμενη θερμότητα, η απορριπτόμενη θερμότητα καθώς και το μηχανικό έργο που δίνεται στο ψυκτικό μέσο, ανά μονάδα μάζας, υπολογίζονται ως διαφορές ενθαλπιών.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

1. Το βρωμιούχο λίθιο στα ψυκτικά συστήματα με απορρόφηση ατμών είναι :
 - (α) Το ψυκτικό μέσο
 - (β) Το υλικό του ξηραντήρα
 - (γ) Η απορροφητική ουσία
 - (δ) Πρόσθετο υλικό για να χαμηλώνει τη θερμοκρασία ατμοποίησης.
2. Γιατί τοποθετείται εναλλάκτης θερμότητας σε ένα ψυκτικό κύκλωμα με μηχανική συμπίεση ατμών;
 - (α) Για να χαμηλώνει την πίεση αναρρόφησης
 - (β) Για να χαμηλώνει την πίεση κατάθλιψης
 - (γ) Για να μεγαλώνει το ψυκτικό αποτέλεσμα
 - (δ) Για να υποψύχει το υγρό ψυκτικό που εξέρχεται από το συμπυκνωτή.
3. Ποιος είναι ο ρόλος της θερμογεννήτριας σε ένα σύστημα ψύξης με απορρόφηση ατμών ;
4. Συγκρίνετε το σύστημα ψύξης με συμπίεση ατμών και το σύστημα ψύξης με απορρόφηση ατμών. Ποιες αντιστοιχίες μπορούν να γίνουν ανάμεσα στα μέρη των δύο συστημάτων;
5. Τι είναι ο ξηρός πάγος και με ποιο τρόπο αξιοποιείται για την παραγωγή ψύξης;
6. Στην ψύξη ανοιχτού κυκλώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν χλωροφθοράνθρακες (CFC) ως ψυκτικά μέσα ;
7. Οι συνηθισμένες αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες που γνωρίζουμε αποτελούν εφαρμογή του ψυκτικού κύκλου με μηχανική συμπίεση ατμών. Οι περισσότερες από αυτές παρέχουν ψύξη-θέρμανση (το χειμώνα, βγάζουν στο χώρο ζεστό αέρα). Αυτό πετυχαίνεται με αναστροφή του ψυκτικού κύκλου (το μηχάνημα λειτουργεί, όπως λέμε, ως αντλία θερμότητας).
 - α.** Φανταστείτε πώς θα μπορούσε να γίνει αυτή η αναστροφή του ψυκτικού κύκλου και αναζητήστε στη συνέχεια περισσότερες πληρο-

φορίες για το πώς γίνεται αυτό στην πράξη.

6. Η ικανότητα του μηχανήματος περιγράφεται με δύο τιμές, συνήθως σε Btu/h (π.χ. Εικόνα 7.2). Η μια τιμή αναφέρεται σε χειμερινή λειτουργία (θέρμανση) και η άλλη σε θερινή λειτουργία (ψύξη). Γιατί η τιμή που αναφέρεται σε θέρμανση είναι πάντοτε μεγαλύτερη από αυτή που αναφέρεται σε ψύξη ;

ΨΥΚΤΙΚΗ/ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ: 7,600/8,600 Btu/h



ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ: 850 (Μ) x 191 (Π) x 278 (Υ) mm

Εικόνα 7.2 Κλιματιστική μονάδα ψύξης-θέρμανσης διαιρούμενου τύπου

8. Ψυκτική διάταξη μηχανικής συμπίεσης ατμού ψυκτικού μέσου R134a εργάζεται με αναρρόφηση υπέρθερμου ατμού και υπόψυξη συμπυκνώματος. Η θερμοκρασία και η πίεση στην είσοδο του συμπιεστή είναι 10 °C και 0,5 bar (μανομετρική) αντίστοιχα. Ο βαθμός ξηρότητας του ατμού μετά την εκτόνωση είναι 0.2 , η ψυκτική ισχύς 3 RT και η πίεση συμπύκνωσης 10 bar (μανομετρική). Η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 bar. Ζητούνται :
- 1) Η χάραξη του κύκλου σε διάγραμμα p-h
 - 2) Η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου
 - 3) Η παρεχόμενη μηχανική ισχύς προς το ψυκτικό μέσο
 - 4) Ο συντελεστής συμπεριφοράς.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

- 8.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΥΓΡΑΣΙΑ
- 8.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΥΓΡΑΣΙΑ
- 8.3 ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να αναφέρουν τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διατήρηση τροφίμων υπό ψύξη και να αναλύουν το ρόλο κάθε παράγοντα.
- ✓ Να αναφέρουν τις βέλτιστες συνθήκες διατήρησης υπό ψύξη διάφορων τροφίμων.
- ✓ Να εξηγούν γιατί υπάρχουν συγκεκριμένα κάτω όρια θερμοκρασίας για τη διατήρηση τροφίμων υπό ψύξη.
- ✓ Να ορίζουν τον όρο κατάψυξη και να αναφέρουν τις διαφορές ως προς την επίπτωση στα προϊόντα ανάμεσα στην ταχεία κατάψυξη και τη βραδεία κατάψυξη.
- ✓ Να μπορούν να χρησιμοποιούν πίνακες με τις συνθήκες διατήρησης υπό ψύξη, που προδιαγράφονται για διάφορα τρόφιμα.

8.1 Συνθήκες συντήρησης τροφίμων. Θερμοκρασία, υγρασία

Η συντήρηση τροφίμων είναι χωρίς αμφιβολία η μεγαλύτερη εφαρμογή της ψύξης. Από αυτή την ανάγκη εξάλλου, προέκυψε η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα της ψύξης. Έχουμε φρέσκα φρούτα και λαχανικά όλο το χρόνο χάρη στην ψύξη. Πουλερικά, κρέατα, ψάρια διατηρούνται σε ψυγεία μέχρι να καταναλωθούν. Ορισμένα λαχανικά, όπως τα μανιτάρια, καλλιεργούνται μόνο κάτω από ειδικές κλιματολογικές συνθήκες, που επιτυγχάνονται χάρη στην ψύξη. Τα παγωτά, τέλος, αποτελούν προϊόντα της ψύξης.



Εικόνα 8.1 Τεράστιες ποσότητες τροφίμων διατηρούνται υπό ψύξη σε εμπορικά καταστήματα

Η αποθήκευση των τροφίμων σε χαμηλή θερμοκρασία είναι η λύση που χρησιμοποιείται, όταν επιβάλλεται π.χ. να καταναλωθούν σε περιόδους που έχει σταματήσει η παραγωγή τους ή όταν υπάρχει υπερπαραγωγή ή όταν χρειάζεται να μεταφερθούν μακριά.

Η ψύξη συντελεί στη διατήρηση των προϊόντων για τους εξής λόγους :

- **Επιβραδύνει τη δράση των μικροοργανισμών**, οι οποίοι προσβάλλουν και αλλοιώνουν τα τρόφιμα.
- **Επιβραδύνει το μεταβολισμό** των φυτικών ιστών των φρούτων και των λαχανικών.
- **Επιβραδύνει τις χημικές και ενζυματικές αντιδράσεις**, που υποβαθμίζουν τα τρόφιμα.

Η χαμηλή θερμοκρασία συντελεί σημαντικά στο χρόνο διατήρησης των τροφίμων. Ο Πίνακας 8.1 μας δείχνει πόσες φορές αυξάνεται ο χρόνος διατήρησης διάφορων τροφίμων σε εμπορεύσιμη κατάσταση. Στον πίνακα αυτό γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε μια κατάσταση αποθήκευσης των προϊόντων σε περιβάλλον 21 °C (θερμοκρασία δωματίου) και σε μια κατάσταση συντήρησης υπό ψύξη στους 0 °C.

Πίνακας 8.1 Επιμήκυνση του χρόνου διατήρησης των τροφίμων, όταν αποθηκεύονται υπό ψύξη

Είδη τροφίμων	Αύξηση χρόνου
Ψάρια	10 φορές
Πουλερικά	9 »
Κρέας	»
Φρούτα	5 – 10 φορές
Φυλλώδη λαχανικά	4 φορές
Ριζώδη λαχανικά	4 φορές
Ξηροί καρποί	3 φορές

Οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν κάνουν πάντοτε καλό στα τρόφιμα, καθένα από τα οποία έχει **τη δική του κατάλληλη θερμοκρασία αποθήκευσης**. Χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που ανέχονται τα τρόφιμα είναι δυνατό να προκαλέσουν βλάβες στη δομή τους, που ονομάζονται ασθένειες ψύχους. Είναι γνωστό ότι οι μπανάνες, κάτω από τους 13 °C, μαυρίζουν. Επίσης, οι πράσινες τομάτες δεν κοκκινίζουν κανονικά, αν αποθηκευτούν σε θάλαμο θερμοκρασίας κάτω από 13 °C. Τα λεμόνια, κάτω από 14 °C, σχηματίζουν μαύρες κηλίδες, ενώ μελιτζάνες, μπάμιες και αγγούρια υποφέρουν από πληγές του φλοιού τους όταν αποθηκεύονται σε θερμοκρασίες κάτω από 7 °C.

Τιμές χρόνου διατήρησης διάφορων τροφίμων υπό ψύξη, κάτω από τις ιδιαίτερες συνθήκες που απαιτεί το καθένα, μπορείτε να βρείτε στον Πίνακα 8.2 στο τέλος της παραγράφου.

Σχεδόν όλα τα τρόφιμα αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από νερό. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 80%. Είναι γνωστό ότι το νερό, υπό πίεση 1atm, στερεοποιείται στους 0 °C. Αυτό αφορά το καθαρό νερό. Όταν όμως το νερό περιέχει προσμίξεις, η πήξη (στερεοποίηση) δε γίνεται ακριβώς στους 0 °C. Για παράδειγμα, όταν περιέχει αλάτι σε μεγάλο ποσοστό, η θερμοκρασία πήξης χαμηλώνει. Έτσι λοιπόν, σε κάποια θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από τους 0 °C, διαφορετική για κάθε είδος, το νερό των τροφίμων στερεοποιείται. Είναι γνωστό ότι η μετατροπή αυτή προκαλεί αύξηση του όγκου, με αποτέλεσμα τη ρήξη των μεμβρανών των κυττάρων που συνιστούν το προϊόν. Όταν λοιπόν το προϊόν αναθερμανθεί, θα αποβάλει ένα μέρος από τα υγρά, τους χυμούς που περιείχε, γεγονός που ε-

πιφέρει απώλεια βάρους, αλλά κυρίως αλλοίωση της γεύσης. **Συντήρηση υπό ψύξη** έχουμε όταν τα τρόφιμα βρίσκονται σε θερμοκρασία ελάχιστα υψηλότερη από τη θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να παγώνει το νερό που αυτά περιέχουν. Κατά συνέπεια, τα τρόφιμα που προορίζονται να καταναλωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα πρέπει να συντηρούνται σε θερμοκρασίες λίγο κάτω από τους 0°C, κατ' ελάχιστο. Συνήθως, για τα νωπά προϊόντα, ο κύριος θάλαμος των οικιακών ψυγείων πρέπει να διατηρείται στη θερμοκρασία των +4°C ώστε να αποφεύγεται η κατάψυξη τροφίμων, τα οποία προορίζονται για τις τρέχουσες ανάγκες και καταναλώνονται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Τονίζουμε όμως και πάλι ότι δεν έχουν όλα τα τρόφιμα τις ίδιες ανάγκες σε θερμοκρασία συντήρησης.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, που επιδρά στη διατήρηση των τροφίμων υπό ψύξη, είναι η **σχετική υγρασία του αέρα**¹. Η σχετική υγρασία για τα περισσότερα φρούτα πρέπει να κυμαίνεται από 80 έως 90% και για τα φυλλώδη λαχανικά από 90 έως 95%. Αν στο θάλαμο επικρατεί μικρή σχετική υγρασία, προκαλείται αφυδάτωση και συρρίκνωση των προϊόντων. Αντιθέτως, υπερβολικά μεγάλη σχετική υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Στον Πίνακα 8.2 βλέπουμε τον προβλεπόμενο χρόνο διατήρησης υπό ψύξη διάφορων τροφίμων για συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, οι οποίες συνιστώνται για τα συγκεκριμένα τρόφιμα.

1 Σχετική υγρασία μιας ποσότητας αέρα είναι το πηλίκο της μάζας των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα προς τη μάζα των υδρατμών που θα περιείχε ο ίδιος αέρας, αν ήταν κορεσμένος, υπό την ίδια θερμοκρασία και πίεση (βλ. και το Κεφάλαιο 10).

Πίνακας 8.2 Συνιστώμενη θερμοκρασία, σχετική υγρασία και διάρκεια αποθήκευσης διάφορων τροφίμων

Είδη τροφίμων	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία	Διάρκεια αποθήκευσης
Αγγούρια	7 έως 9	90-95	10-14 ημέρες
Αυγά	-1 έως 0	85-90	6-7 μήνες
Αχλάδια	-1 έως 0	90-95	2-7 μήνες
Βερίκοκα	0	85-90	1-2 εβδομάδες
Βούτυρο	0 έως 2	80-85	2 μήνες
Γκρέιπ Φρουτ	0 έως 9	85-90	4-6 εβδομάδες
Καρότα	0	90-95	4-5 μήνες
Καρπούζια	2 έως 4	85-90	2-3 εβδομάδες
Καρύδια	0 έως 8	65-75	8-12 μήνες
Κρέας Βοδινό	0 έως 1	88-92	1-6 εβδομάδες
Κρέας χοιρινό	0 έως 1	85-90	3-7 ημέρες
Λάχανο	0	90-95	3-4 εβδομάδες
Μαρούλι	0	90-95	2-3 εβδομάδες
Μελιτζάνες	7 έως 9	85-90	9-11 ημέρες
Μήλα	-1 έως 0	85-90	3-8 μήνες
Πεπόνια	7 έως 9	85-90	1-2 εβδομάδες
Πορτοκάλια	0 έως 9	85-90	6-12 εβδομάδες
Ροδάκινα	-1 έως 0	85-90	2-4 εβδομάδες
Σταφύλια	-1 έως 0	85-90	3-6 μήνες
Φασολάκια	6 έως 8	85-90	8-10 ημέρες
Ψάρια	0 έως 2	90-95	5-15 ημέρες

8.2 Συνθήκες κατάψυξης τροφίμων. Θερμοκρασία, υγρασία

Κατάψυξη είναι η διαδικασία παγώματος των τροφίμων, που επιτυγχάνεται με ταχεία αφαίρεση θερμότητας. Ένα προϊόν θεωρείται κατεψυγμένο, όταν το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που περιέχει, έχει στερεοποιηθεί. Το κατεψυγμένο προϊόν πρέπει να φθάσει σε θερμοκρασία χαμηλότερη από -18°C . Στη συνέχεια, οδηγείται στο θάλαμο διατήρησης κατεψυγμένων. Η τιμή των -18°C είναι η χαρακτηριστική θερμοκρασία αποθήκευσης κατεψυγμένων προϊόντων, η οποία προδιαγράφεται ακόμη και για το θάλαμο κατεψυγμένων (κατάψυξη) των οικιακών ψυγείων.

Παρά τη διαδεδομένη αντίληψη ότι τα κατεψυγμένα τρόφιμα είναι κατώτερης ποιότητας, οι θρεπτικές ιδιότητες των τροφίμων διατηρούνται με τη μέθοδο αυτή καλύτερα από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο συντήρησης. Στους -18°C **τα περισσότερα μικρόβια πεθαίνουν** και όσα επιβιώνουν αδρανοποιούνται τελείως. Μερικά ένζυμα συνεχίζουν ακόμη τη δράση τους. Για το λόγο αυτό συνιστάται, για ορισμένα τρόφιμα (όπως ο χυμός πορτοκαλιού και ορισμένα οπωροκηπευτικά), πριν από την κατάψυξή τους, το **ζεμάτισμα** (για τα λαχανικά αυτό γίνεται με εμβάπτιση σε νερό που βράζει για 2 έως 4 λεπτά, ανάλογα με το είδος του λαχανικού).

Στον Πίνακα 8.3 βλέπουμε τους αναμενόμενους χρόνους διατήρησης κατεψυγμένων τροφίμων για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης.

Πίνακας 8.3 Αναμενόμενη διάρκεια διατήρησης κατεψυγμένων σε μήνες

Είδος τροφίμων	-18°C	-12°C
Χυμός πορτοκαλιού	27	10
Ροδάκινα	12	λιγότερο από 2
Φράουλες	12	2,4
Κουνουπίδι	12	2,4
Πράσινα φασολάκια	11-12	3
Ωμό βοδινό κρέας	13-14	5
Ωμό χοιρινό κρέας	10	λιγότερο από 4

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 8.3, ύψωση της θερμοκρασίας διατήρησης κατεψυγμένων κατά 6°C (από τους -18 στους -12°C) ελαττώνει σημαντικά την περίοδο διατήρησης των τροφίμων. Η θερμοκρασία των -18°C που συνιστάται για τη διατήρηση κατεψυγμένων, εξασφαλίζει διατήρηση τροφίμων σε εξαιρετική ποιότητα, χωρίς υπερβολικό κόστος.

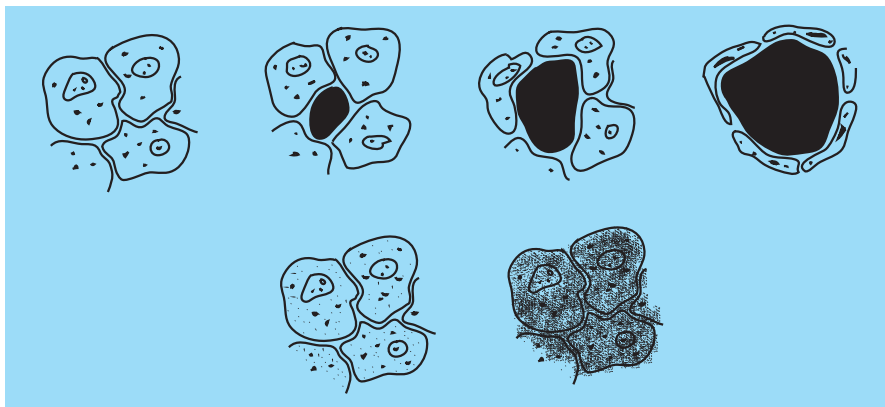
Τα κατεψυγμένα προϊόντα δε διατηρούνται απεριόριστα σε υψηλή ποιότητα. Κατά τη διάρκεια της διατήρησής τους στην κατάψυξη υποβαθμίζονται σταδιακά για τους εξής λόγους :

- Η δράση ορισμένων ενζύμων συνεχίζεται, όπως είδαμε, και σε θερμοκρασία -18°C .
- Συμβαίνουν αυξομειώσεις στη θερμοκρασία του χώρου με αποτέλεσμα, όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει, κάποιοι μικροοργανισμοί να δραστηριοποιούνται εκ νέου αλλά και να επέρχεται επιφανειακή ξήρανση στο προϊόν.

Στις καθημερινές οικιακές εφαρμογές ψύξης συχνά καταψύχουμε νωπά προϊόντα τοποθετώντας τα σε ειδικό χώρο (κατάψυξη). Η κατάψυξη εκεί γίνεται συνήθως με βραδύ ρυθμό² (βραδεία κατάψυξη). Ο τρόπος αυτός έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Ας τα προσδιορίσουμε, απαντώντας στο ερώτημα που ακολουθεί:

♦ Θα έχετε παρατηρήσει ότι πολλές φορές, όταν βγάζουμε κρέας από την κατάψυξη και το αφήνουμε μερικές ώρες, εμφανίζονται μικρές εστίες αίματος και νερού. Κάτι τέτοιο συμβαίνει συνήθως όταν το κρέας έχει καταψυχθεί στο χώρο κατεψυγμένων του οικιακού ψυγείου. Δε συμβαίνει όμως όταν το κρέας έχει αγοραστεί από το εμπόριο ως κατεψυγμένο (έχει δηλαδή υποστεί βιομηχανική κατάψυξη). Πού πιστεύετε ότι οφείλεται αυτή η διαφορά;

Κατά την κατάψυξη σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι, οι οποίοι προέρχονται από την πήξη του νερού που βρίσκεται μέσα στα τρόφιμα. Όταν η κατάψυξη γίνεται με βραδύ ρυθμό σχηματίζονται, ανάμεσα στα κύτταρα του τροφίμου, παγοκρύσταλλοι μεγάλου μεγέθους και με αιχμές (Σχήμα 8.1 πάνω). Οι παγοκρύσταλλοι αυτοί μπορεί να τραυματίσουν τα κύτταρα του προϊόντος προκαλώντας αλλοίωση. Αντίθετα, με την ταχεία κατάψυξη σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι μικρού μεγέθους (Σχήμα 8.1 κάτω).



Σχήμα 8.1 Σχηματισμός παγοκρυστάλλων κατά τη βραδεία (πάνω) και την ταχεία (κάτω) κατάψυξη

Για να αποφευχθεί η δημιουργία παγοκρυστάλλων μεγάλου μεγέθους, επιβάλλεται να τοποθετούνται στο χώρο κατάψυξης των συνηθισμένων

² Εκτός αν τοποθετήσουμε μικρή ποσότητα τροφίμων κατευθείαν πάνω στο ψυκτικό στοιχείο ή διαθέτουμε ειδικό καταψύκτη ταχείας κατάψυξης.

οικιακών ψυγείων μικρές, κάθε φορά, ποσότητες τροφίμων. Τα τρόφιμα αυτά πρέπει, αν είναι δυνατό, να τοποθετούνται απευθείας επάνω στο ψυκτικό στοιχείο.

Ας δούμε τώρα πώς γίνεται η ταχεία κατάψυξη. Ένας τρόπος είναι με τη διοχέτευση **ρεύματος πολύ ψυχρού αέρα** (-35°C έως -40°C) πάνω από τα προϊόντα. Αυτό πραγματοποιείται βιομηχανικά στις λεγόμενες **ψυκτικές σήραγγες**. Σ' αυτές, τα τρόφιμα μεταφέρονται με ιμάντες, ενώ διοχετεύεται ψυχρός αέρας με φορά αντίθετη από τη φορά της κίνησης του ιμάντα. Βασική απαίτηση κατά την κατάψυξη είναι επίτευξη ομοιόμορφης κατά το δυνατόν θερμοκρασίας στα καταψυχόμενα προϊόντα για να αποφεύγονται τοπικές χαμηλές θερμοκρασίες σε ορισμένο μόνο τμήμα των προϊόντων. Όταν απαιτείται τα τεμάχια των τροφίμων να παγώσουν ξεχωριστά, χωρίς να κολλούν το ένα στο άλλο (π.χ. μπιζέλια, γαρίδες), μεταφέρονται πάνω σε διάτρητο ιμάντα, από το κάτω μέρος του οποίου εμφυσάται ψυχρός αέρας.

Άλλος τρόπος κατάψυξης είναι **με έμμεση επαφή**. Κατά τη μέθοδο αυτή, στερεά τρόφιμα συσκευάζονται σε λεπτά κιβώτια, τα οποία τοποθετούνται ανάμεσα σε μεταλλικές πλάκες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας.

Τέλος, κατάψυξη μπορεί να γίνει και **με εμβάπτιση** των προϊόντων μέσα σ' ένα ψυχρό διάλυμα (συνήθως σε ένα δευτερεύον ψυκτικό). Αλιευτικοί στόλοι καταψύχουν ψάρια εν πλω, με τη μέθοδο αυτή, μέσα σε άλμη.

Ο **παράγοντας υγρασία** παίζει το ρόλο του και στην κατάψυξη των τροφίμων αλλά και στη διατήρηση των κατεψυγμένων. Εάν κατά την κατάψυξη των προϊόντων παρατηρείται υπερβολική αφύγρανση στα τρόφιμα, τότε θα πρέπει αυτά πρώτα να προψυχθούν έως τους -4°C με ρεύμα αέρα υψηλής σχετικής υγρασίας και στη συνέχεια να καταψυχθούν στους -18°C . Τα κατεψυγμένα τρόφιμα είναι δυνατό, με την πάροδο του χρόνου, να χάσουν μεγάλο μέρος από την υγρασία τους και να παρουσιάσουν κηλίδες που μοιάζουν με εγκαύματα. Για να αποφεύγεται αυτό, όταν τα τρόφιμα προορίζονται για μακροπρόθεσμη διατήρηση στην κατάψυξη, πρέπει να συσκευάζονται με υλικά αδιαπέραστα από την υγρασία.

8.3 Διάφοροι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συντήρηση και την κατάψυξη των τροφίμων

Μια σημαντική αιτία αλλοίωσης των φρούτων και των λαχανικών είναι ότι πολλά από αυτά **συνεχίζουν το μεταβολισμό τους** και μετά τη συγκομιδή τους. Έτσι στο χώρο που είναι αποθηκευμένα, καταναλώνουν οξυγόνο και με την καύση παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης, τόσο πιο έντονος είναι ο μεταβολισμός, επομένως τόσο πιο γρήγορα καταστρέφονται τα τρόφιμα. Στις χαμηλές θερμοκρασίες ο μεταβολισμός επιβραδύνεται σημαντικά (βλ. και την § 8.1), γεγονός που έχει θετική επίδραση στη διάρκεια ζωής των τροφίμων. Στον πίνακα που ακολουθεί, βλέπουμε το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα από διάφορα φρούτα και λαχανικά, για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης.

Πίνακας 8.4 Παραγωγή CO₂ κατά την αποθήκευση λαχανικών

Λαχανικά	Παραγωγή CO ₂ σε mg / Kgr τροφίμου		
	0 °C	+4 °C	+21°C
Σπαράγγια	27	82	222
Φασόλια	12	28	156
Μπρόκολα	12	97	310
Κρεμμύδια πράσινα	12	25	117
Κρεμμύδια ξερά	11-12	4	17
Πατάτες	13-14	6	13
Σπανάκι	10	46	230

Πολλές φορές, για να επιμηκυνθεί ακόμη περισσότερο η διάρκεια ζωής των συντηρούμενων τροφίμων, η χαμηλή θερμοκρασία του θαλάμου πρέπει να συνοδευτεί και από άλλα επιπρόσθετα μέτρα. Ένα τέτοιο μέτρο είναι και η διατήρηση των προϊόντων μέσα σε **ελεγχόμενη ατμόσφαιρα**, δηλαδή μέσα σε περιβάλλον με αυξημένη περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ή σε κάποιο άλλο αέριο. Στο χώρο αποθήκευσης διοχετεύεται πρόσθετο CO₂, το οποίο, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης, **εμποδίζει την παραγωγή επιπλέον ποσότητας CO₂ από τα αποθηκευμένα προϊόντα**. Το αποτέλεσμα είναι να διατηρούνται τα προϊόντα σε καλή κατάσταση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Σε εξελιγμένες ψυκτικές εγκαταστάσεις υπάρχει μηχανολογικός εξοπλισμός με τον οποίο ελέγχεται και ρυθμίζεται η ατμόσφαιρα του θαλάμου. Ρυθμίζεται δηλαδή το ποσοστό οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα και απομακρύνεται το **αιθυλένιο**. Το αέριο αιθυλένιο συντελεί στην επίσπευση της ωρίμανσης των φρούτων. Συνήθως, η παρουσία του σε ένα θάλαμο συντήρησης δεν είναι επιθυμητή. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις που επιδιώκεται η ωρίμανση αποθηκευμένων φρούτων (όπως οι πράσινες μπανάνες) εισάγεται στο θάλαμο μια πολύ μικρή ποσότητα αιθυλενίου.

Στον πίνακα που ακολουθεί, βλέπουμε συνθήκες για την αποθήκευση μήλων μέσα σε **ελεγχόμενη ατμόσφαιρα**. Η πραγματοποίηση της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας μπορεί να γίνει κατά πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η τοποθέτηση τελάρων με μήλα μέσα σε μεγάλους πλαστικούς σάκους, οι οποίοι γεμίζονται με αδρανές αέριο, συνήθως άζωτο και με τις περιεκτικότητες CO₂ και O₂ (οξυγόνου) που δείχνει ο πίνακας.

Πίνακας 8.5 Απαιτούμενες συνθήκες ατμόσφαιρας για διατήρηση μήλων

Ποικιλία μήλων	% CO ₂	% O ₂	Θερμοκρασία (°C)
Μακ' Ήντος	2 έως 5	3	+ 3,3
Ντελίσσιους	1,5 έως 3	2,5 έως 3	-1,1 έως 0
Γκόλντεν Ντελίσσιους	1 έως 2	2 έως 3	-1,1 έως 0
Τζόναθαν	3 έως 5	3	0

Τονίζεται ότι οι τιμές που αναγράφονται μεταβάλλονται ανάλογα με τον τόπο παραγωγής, την εποχή και τη διαδικασία συγκομιδής, συσκευασίας και μεταφοράς. Απαιτείται κάθε φορά ειδική έρευνα για να προσδιοριστούν οι καταλληλότερες συνθήκες που αφορούν τα συγκεκριμένα προϊόντα.

Όπως έχουμε αναφέρει, μια άλλη αιτία που μπορεί να προκαλέσει την πρόωρη καταστροφή των προϊόντων είναι **η δράση των μικροοργανισμών**. Για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών εφαρμόζεται είτε εμβάπτιση των τροφίμων σε κατάλληλα διαλύματα με υγρά που καταστρέφουν τους μικροοργανισμούς, πριν την αποθήκευσή τους, είτε τοποθέτηση προστατευτικών καλυμμάτων από πλαστικό, παραφίνη, κερί κ.τ.λ. Τα τρόφιμα απαιτούν **ιδιαίτερη κατά είδος** διατήρηση ώστε να μην υποστούν αλλοιώσεις.

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Ψύξη των τροφίμων είναι η μέθοδος συντήρησής τους κατά την οποία αποθηκεύονται σε θαλάμους θερμοκρασίας γύρω στους 0 °C και συνήθως ελάχιστα υψηλότερη από τη θερμοκρασία κατά την οποία παγώνει το νερό που περιέχουν. Εκτός από τη θερμοκρασία, στη διάρκεια διατήρησης των προϊόντων επιδρούν η σχετική υγρασία και η σύνθεση του αέρα του ψυκτικού θαλάμου (κυρίως η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα). Η εμπορεύσιμη διάρκεια ζωής για ορισμένα είδη νωπών τροφίμων γίνεται έως και 10 φορές μεγαλύτερη, όταν διατηρούνται υπό ψύξη. Η εμπορεύσιμη διάρκεια ζωής νωπών και επεξεργασμένων τροφίμων υπό ψύξη κυμαίνεται, ανάλογα με το είδος τους, από λίγες ημέρες έως και αρκετούς μήνες.

Κατάψυξη είναι η διαδικασία παγώματος των τροφίμων που επιτυγχάνεται με ταχεία αφαίρεση θερμότητας. Ένα προϊόν θεωρείται κατεψυγμένο, όταν το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που περιέχει έχει στερεοποιηθεί. Το κατεψυγμένο προϊόν πρέπει να φθάσει σε θερμοκρασία χαμηλότερη από -18°C. Στη συνέχεια, οδηγείται στο θάλαμο διατήρησης κατεψυγμένων. Οι κυριότερες μέθοδοι κατάψυξης των τροφίμων είναι α) με ρεύμα αέρα χαμηλής θερμοκρασίας β) με έμμεση επαφή τροφίμων και ψυκτικού μέσου γ) με εμβάπτιση σε δευτερεύον ψυκτικό μέσο. Στους -18°C, που είναι η συνηθισμένη θερμοκρασία διατήρησης κατεψυγμένων, τα περισσότερα μικρόβια πεθαίνουν και όσα επιβιώνουν αδρανοποιούνται τελείως. Μερικά ένζυμα συνεχίζουν ακόμη τη δράση τους.

Τα τρόφιμα που διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα στην κατάψυξη πρέπει να είναι αεροστεγώς συσκευασμένα, ώστε να μην ξηραίνεται το εξωτερικό τους μέρος, γεγονός που μπορεί να αλλοιώσει τη γεύση τους.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Ποιοι άλλοι παράγοντες, εκτός από τη θερμοκρασία, επηρεάζουν τη διατήρηση των τροφίμων ;
2. Με ποιους τρόπους πετυχαίνεται η κατάψυξη των διάφορων τροφίμων ;
3. Πώς αντιμετωπίζεται ο κίνδυνος αφύγρανσης των προϊόντων που διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα στην κατάψυξη ;
4. Στο κάτω μέρος του χώρου συντήρησης των οικιακών ψυγείων υπάρχει μια λεκάνη (Εικόνα 1.6). Ποιο σκοπό εξυπηρετεί αυτός ο κλειστός χώρος που δημιουργείται και τι είδους προϊόντα τοποθετούνται σ' αυτόν ;
5. Με ποιο τρόπο θα τακτοποιούσατε τα εξής προϊόντα : τομάτες, μήλα, μαρούλια, καρπούζι, πεπόνι, μελιτζάνες, λάχανο, στους χώρους ψύξης ενός οικιακού ψυγείου ώστε να έχουμε τις καταλληλότερες συνθήκες συντήρησης ;
6. Τι σημαίνει ο όρος ελεγχόμενη ατμόσφαιρα ψύξης όταν μιλάμε για συντήρηση τροφίμων ;
8. Ένας έμπορος, προκειμένου να επιμηκυνθεί η εμπορεύσιμη διάρκεια ζωής μιας μεγάλης ποσότητας μήλων και πορτοκαλιών, ζήτησε να αποθηκευτούν σε ψυκτικό θάλαμο θερμοκρασίας -4°C . Είναι σωστή η σκέψη του ;
9. Η μέση θερμοκρασία θαλάμου ψύξης ενός οικιακού ψυγείου είναι:
(α) -4°C (γ) 4°C
(β) 0°C (δ) 15°C
10. Η βραδεία κατάψυξη των τροφίμων μειονεκτεί σε σχέση με την ταχεία κατάψυξη στο ότι :
(α) δεν πετυχαίνει αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες
(β) δημιουργεί ογκώδεις παγοκρυστάλλους που τραυματίζουν τα κύτταρα των τροφίμων
(γ) κοστίζει περισσότερο
(δ) δεν επηρεάζει τη δράση των μικροοργανισμών.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ

- 9.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΟΥ “ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ”
- 9.2 ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΕΡΑ
- 9.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ-ΥΓΡΑΣΙΑ-ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ
- 9.4 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ
- 9.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΑΕΡΙΣΜΟΥ. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ
- 9.6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΥΠΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να περιγράφουν τον ορισμό της έννοιας “συνθήκες άνεσης” σε σχέση με τον άνθρωπο.
- ✓ Να γνωρίζουν τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του κλιματιζόμενου αέρα ώστε να υπάρχουν συνθήκες άνεσης στον κλιματιζόμενο χώρο.
- ✓ Να εξηγούν τη θερμοκρασιακή στρωμάτωση του αέρα στο χώρο καθώς και τη συμπεριφορά του ανθρώπινου σώματος στη δημιουργία “συνθηκών άνεσης”.
- ✓ Να περιγράφουν τη λειτουργία ενός τυπικού συστήματος κλιματισμού-αερισμού, ως προς την κυκλοφορία και τα χαρακτηριστικά του αέρα (θέρμανση, ψύξη, ανάμειξη με νωπό αέρα κ.τ.λ.)

9.1 Προσδιορισμός του όρου “συνθήκες άνεσης”

Στο εισαγωγικό Κεφάλαιο 1 αναφερθήκαμε στον όρο **άνεση**, ως έναν από τους στόχους της προσπάθειας του ανθρώπου για τον έλεγχο των κλιματικών μεταβολών. Εδώ, θα προσδιορίσουμε αυτόν τον όρο που αποτελεί το βασικότερο σκοπό για την εφαρμογή των συστημάτων κλιματισμού.

Στον κλιματισμό, αναφερόμαστε στον όρο **θερμική άνεση** για να εκφράσουμε την **αίσθηση ικανοποίησης** ενός ατόμου, που βρίσκεται σε έναν εσωτερικό χώρο κτιρίου, για το θερμικό περιβάλλον του χώρου αυτού. Με άλλα λόγια, ένα άτομο νιώθει άνετα σ' ένα χώρο εάν δεν επιθυμεί ούτε περισσότερη ζέστη ούτε περισσότερη δροσιά. Η αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος μπορεί να **διαφέρει** από άτομο σε άτομο και εξαρτάται από

έναν αριθμό **παραμέτρων** που σχετίζονται με το ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον του κτιριακού χώρου. Οι παράμετροι αυτές καθορίζουν τις **συνθήκες άνεσης** ενός ατόμου σε κάποιο εσωτερικό χώρο και είναι:

α. Φυσικές

- Η **θερμοκρασία**, η **υγρασία** και η **ταχύτητα** του **αέρα** του χώρου
- Οι **θερμοκρασίες** των **εσωτερικών επιφανειών** του χώρου (τοι-
χων, οροφής, δαπέδου, παραθύρων κ.τ.λ.)

β. Εξωτερικές

- Το **είδος** και το **επίπεδο δραστηριότητας** του ατόμου που σχετί-
ζεται με την παραγωγή μηχανικού έργου από το ανθρώπινο σώ-
μα
- Το **είδος** και η **θερμική αντίσταση** του **ρουχισμού** του ατόμου

γ. Βιολογικές

- Η **ηλικία** του ατόμου
- Το **φύλο** του ατόμου
- Οι **συνήθειες** του ατόμου



Σχήμα 9.1 Παράμετροι που καθορίζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης

Από τις παραπάνω παραμέτρους θερμικής άνεσης οι πιο σημαντικές θεωρούνται η **θερμοκρασία**, η **υγρασία** και η **ταχύτητα** του αέρα καθώς και ο **ρουχισμός** και το **είδος της δραστηριότητας** του ατόμου στον εσωτερικό χώρο.

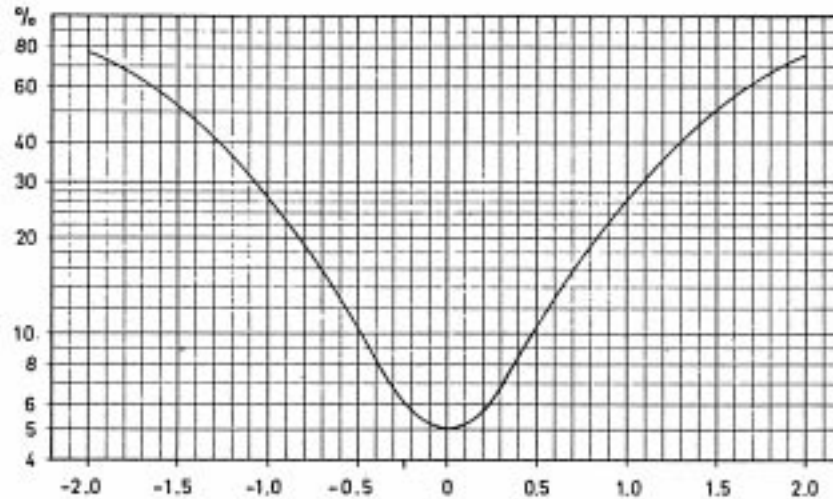
Αν και η αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος είναι υποκειμενική, παρόλα αυτά έχουν αναπτυχθεί **εμπειρικές** μέθοδοι **υπολογισμού** της **κατάστασης θερμικής άνεσης**. Ο καθηγητής **P.O. Fanger** στη δεκαετία του '70 ανέπτυξε τη μέθοδο υπολογισμού των **δεικτών άνεσης**, **PMV** (Predicted Mean Vote – Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος Ανθρώπων) και **δυσaréσκειας**, **PPD** (Predicted Percent of Dissatisfied People – Προβλεπόμενο Ποσοστό Δυσανεστημένων Ανθρώπων) για την αποτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος ενός κλειστού χώρου. Η μέθοδος Fanger αποτελεί σήμερα το Διεθνές Πρότυπο **ISO – 7730** για χώρους με μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Ο δείκτης άνεσης PMV είναι μια περίπλοκη **μαθηματική συνάρτηση** όλων των **φυσικών** και **εξωτερικών** παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω (θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα αέρα χώρου, μέση θερμοκρασία επιφανειών χώρου, είδος ρουχισμού και δραστηριότητας ατόμου). Ο προσδιορισμός της **συνάρτησης άνεσης** βασίστηκε στη στατιστική ανάλυση της συμπεριφοράς ενός μεγάλου δείγματος ανθρώπων διαφορετικής ηλικίας και φύλου. Η κατάσταση του θερμικού περιβάλλοντος σε ένα χώρο προσδιορίζεται με βάση την κλιμάκωση του Πίνακα 9.1.

Πίνακας 9.1. Κλίμακα δείκτη άνεσης PMV (ISO – 7730)

Αίσθηση θερμικού περιβάλλοντος	Κρύο	Δροσιά	Λίγη Δροσιά	ΑΝΕΣΗ	Λίγη Ζέστη	Ζέστη	Πολύ ζέστη
Δείκτης PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Ο δείκτης δυσaréσκειας PPD υπολογίζεται, αφού προσδιορισθεί ο δείκτης PMV, από το Διάγραμμα 9.1. Αν παρατηρήσετε το διάγραμμα, θα αντιληφθείτε ότι όταν υπάρχει **κατάσταση αίσθησης άνεσης** σε κάποιο υπό μελέτη εσωτερικό χώρο (PMV=0) μόλις το 5% των ατόμων που θα βρίσκονται στο χώρο αυτό προβλέπεται ότι **δεν** θα νιώθουν άνετα (PPD=5), ή αλλιώς ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ατόμων (95%) θα είναι απόλυτα ικανοποιημένη με το θερμικό περιβάλλον του χώρου.



Διάγραμμα 9.1. Η σχέση των δεικτών PMV και PPD της θερμικής άνεσης

9.2 Επίτευξη συνθηκών άνεσης με κλιματισμό του αέρα

Ο κλιματισμός του αέρα αφορά τη **διατήρηση** της κατάστασης του αέρα ενός εσωτερικού χώρου σε **ορισμένα πλαίσια** ώστε εκεί ο άνθρωπος να ζει και να εργάζεται **άνετα**, σε **κάθε εποχή** του χρόνου και **ώρα** της ημέρας. Με άλλα λόγια, ο κλιματισμός **διασφαλίζει** την επίτευξη συνθηκών **άνεσης** με τη **διαμόρφωση** και τον **έλεγχο** των **φυσικών παραμέτρων** που καθορίζουν την έννοια της άνεσης σε ένα συγκεκριμένο χώρο όπου ζούν ή εργάζονται άτομα, σύμφωνα με τα όσα αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Οι φυσικές παράμετροι άνεσης που μπορούν να διαμορφωθούν και να ελεγχθούν από ένα **ολοκληρωμένο** σύστημα κλιματισμού, είναι η **θερμοκρασία**, η **υγρασία** και η **ταχύτητα** του αέρα στο χώρο.

Ο **σχεδιασμός** και η **λειτουργία** ενός συστήματος ή απλά μιας μονάδας κλιματισμού για τη ρύθμιση όλων ή ορισμένων από αυτές τις φυσικές παραμέτρους βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τις **ιδιαιτερότητες** της **εφαρμογής** κλιματισμού και με τις **κλιματικές συνθήκες** ενός τόπου σε μια εποχή του έτους. Για παράδειγμα, με άλλα κριτήρια αναφερόμαστε στον κλιματισμό σε ένα μεγάλο κτίριο γραφείων στην Αθήνα ή για ένα χώρο μεταποίησης ή αποθήκευσης προϊόντων σε εργοστάσιο στη Θεσσαλονίκη

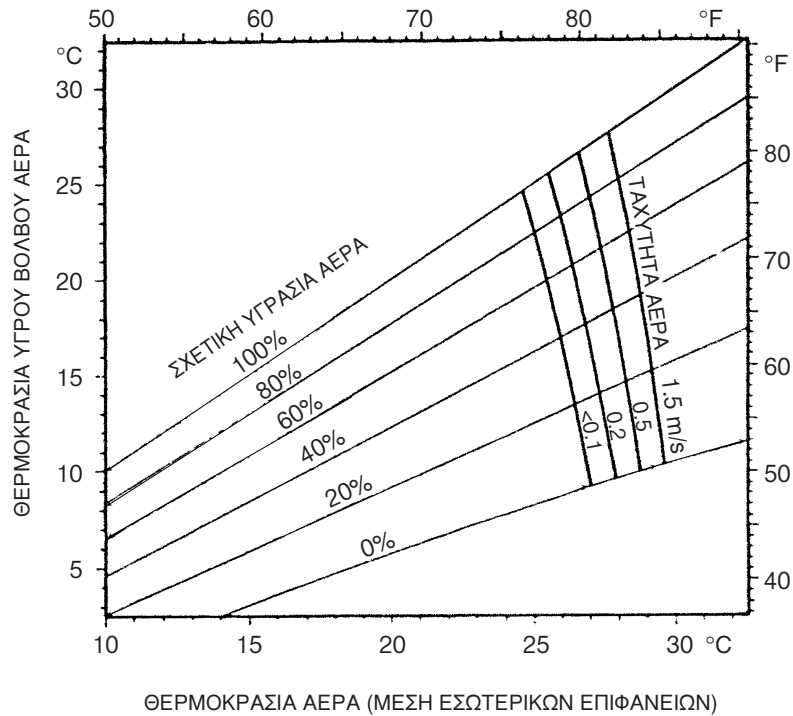
και με άλλα στον κλιματισμό σε μια κατοικία π.χ. στην Κρήτη. Σε κάθε εφαρμογή, το σύστημα κλιματισμού σχετίζεται άμεσα με τη θέση, τη μορφολογία και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, το πλήθος, τις δραστηριότητες και το ρουχισμό των ατόμων σε αυτό και τέλος με τη διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων και τον προβλεπόμενο εξοπλισμό.

Στην πράξη, λοιπόν, η επιλογή ενός συστήματος ή μονάδας κλιματισμού αέρα γίνεται με κριτήριο την **καλύτερη δυνατή προσέγγιση στις ιδανικές** συνθήκες άνεσης, για μια εφαρμογή σε κάποιο τόπο, λαμβάνοντας υπόψη λογικούς **περιορισμούς αρχικού και λειτουργικού κόστους και τεχνολογικών δυνατοτήτων**.

9.3 Θερμοκρασία-υγρασία-ταχύτητα κλιματιζόμενου αέρα

Οι **συνιστώμενες** τιμές των φυσικών παραμέτρων θερμικής άνεσης αναφέρονται σε **μέσες** τιμές που πρέπει να επιτυγχάνουν διαρκώς η **θερμοκρασία**, η **υγρασία** και η **ταχύτητα** του αέρα σε έναν κλιματιζόμενο χώρο, ώστε να νιώθουμε μέσα σε αυτόν **άνετα**. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από **μετρήσεις και στατιστική ανάλυση** με βάση την απόκριση πολλών ατόμων διαφορετικού **φύλου** και **ηλικίας**, στο ερώτημα πότε νιώθουν άνετα σε σχέση με τις θερμικές συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος συγκεκριμένου **κτιριακού χώρου**, μέσα στον οποίο εγκαταστάθηκαν με συγκεκριμένο **ρουχισμό** για συγκεκριμένη **δραστηριότητα**.

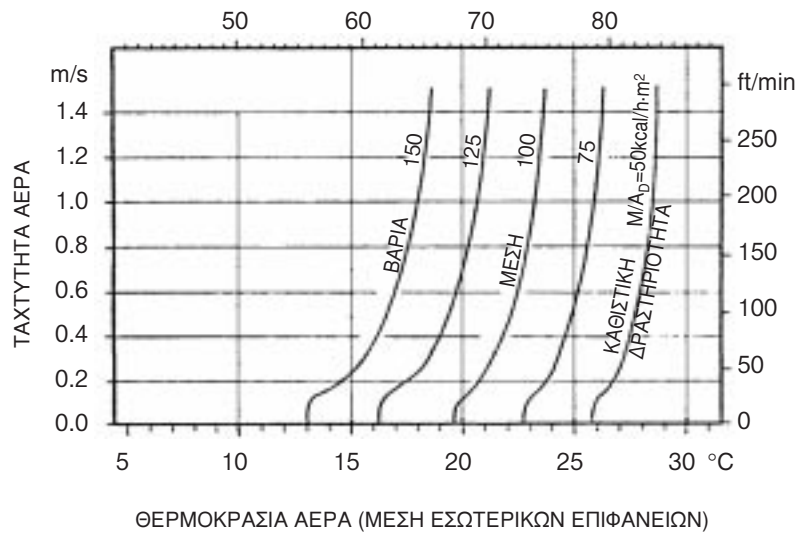
Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί διαγράμματα **συσχέτισης** της **θερμοκρασίας**, της **υγρασίας** και της **ταχύτητας** του αέρα σε έναν εσωτερικό χώρο για να υφίστανται **συνθήκες άνεσης**, για συγκεκριμένα επίπεδα **δραστηριότητας** και **ρουχισμού** και για συγκεκριμένη **μέση θερμοκρασία** των **εσωτερικών επιφανειών** του χώρου. Τα Διαγράμματα 9.2, 9.3 και 9.4 αποτελούν παραδείγματα των λεγόμενων **γραμμών άνεσης (comfort lines)**.



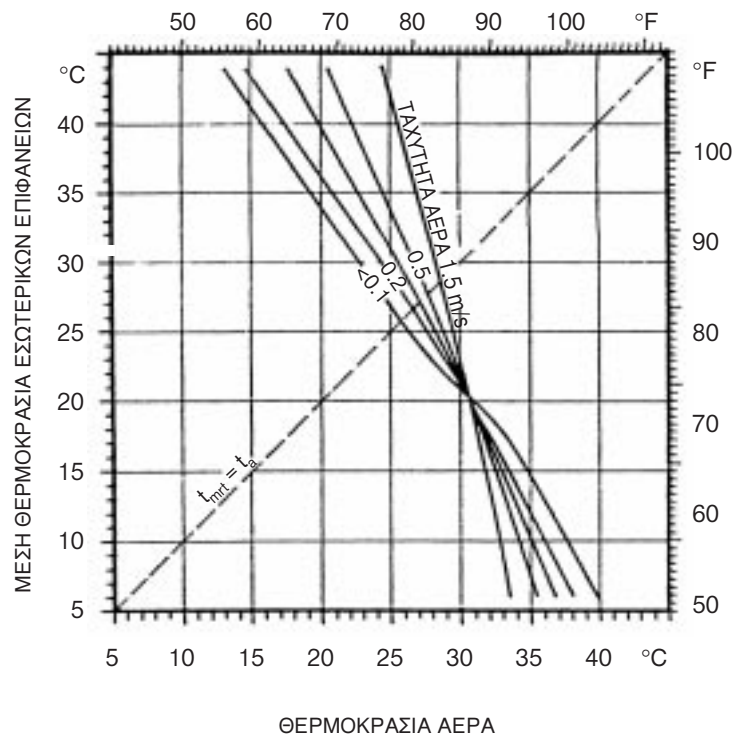
Διάγραμμα 9.2

Γραμμές άνεσης ατόμου με ελαφρύ ρουχισμό και καθιστική δραστηριότητα για τη συσχέτιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας* αέρα του χώρου ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα και για μέση θερμοκρασία εσωτερικών επιφανειών χώρου (θερμικής ακτινοβολίας) ίση με τη θερμοκρασία αέρα

*η υγρασία εκφράζεται από τη θερμοκρασία υγρού βολβού ή τη σχετική υγρασία όπως αυτές ορίζονται στο Κεφάλαιο 10 "Ψυχομετρία"

**Διάγραμμα 9.3**

Γραμμές άνεσης ατόμου με ελαφρύ ρουχισμό για τη συσχέτιση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα χώρου ανάλογα με το επίπεδο δραστηριότητας του ατόμου (καθιστική, μέση, βαριά) και για μέση θερμοκρασία εσωτερικών επιφανειών χώρου (θερμικής ακτινοβολίας) ίση με τη θερμοκρασία αέρα

**Διάγραμμα 9.4**

Γραμμές άνεσης ατόμου με ελαφρύ ρουχισμό και καθιστική δραστηριότητα για τη συσχέτιση της θερμοκρασίας αέρα του χώρου και της μέσης θερμοκρασίας εσωτερικών επιφανειών χώρου (θερμικής ακτινοβολίας) ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα

Πίνακας 9.2. Τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα κλιματιζόμενων χώρων για ιδανικές συνθήκες θερμικής άνεσης

Είδος Εφαρμογής	ΧΕΙΜΩΝΑΣ		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	
	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία* (%)	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία* (%)
Κατοικίες (κύριοι χώροι)	21-23	30-50	24-26	40-50
Κτίρια Γραφείων και Εκπαίδευσης	20-22	30-35	25-26	45-50
Κτίρια Νοσοκομείων	23-24	40-50	25-26	45-55
Κτίρια Ξενοδοχείων	21-23	30-35	24-25	30-50
Κτίρια Καταστημάτων και Τραπεζών	22-23	30-35	25-27	45-50
Εστιατόρια, χώροι αναψυχής	20-23	30-40	23-27	50-60
Βιβλιοθήκες, Μουσεία	20-22	40-50	22-23	40-55
Βιομηχανικοί χώροι εργασίας	20-23	30-35	25-29	45-55

* Η τιμή αναφέρεται στο μέγεθος της σχετικής υγρασίας του αέρα (ποσοστό %), όπως αυτή ορίζεται στο Κεφάλαιο 10 "Ψυχομετρία"

Ο Πίνακας 9.2 παρουσιάζει το συνιστώμενο εύρος των τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα για να νιώθει άνετα ο μέσος άνθρωπος χειμώνα ή καλοκαίρι σε έναν κλιματιζόμενο χώρο με σχεδόν ακίνητο αέρα (ταχύτητα ρεύματος αέρα $v < 0,1$ m/sec).

Οι τιμές που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 9.2 αναφέρονται σε εφαρμογές **κλιματισμού άνεσης**. Για εφαρμογές **βιομηχανικού κλιματισμού** (π.χ. σε χώρους επεξεργασίας ή αποθήκευσης τροφίμων, φαρμάκων, υλικού εκτυπώσεων κ.τ.λ.) υπάρχουν ειδικές αναφορές υπό τη μορφή εξειδικευμένων πινάκων.

Για όλα όσα διαπραγματευθήκαμε σε αυτή την παράγραφο, αξίζει να σημειώσουμε τα εξής :

- Οι συνθήκες άνεσης το καλοκαίρι επιυγχάνονται σε **υψηλότερες θερμοκρασίες** από ό,τι το χειμώνα, λόγω του ελαφρύτερου ρουχισμού που φορούμε και της συνήθειας του οργανισμού μας σε υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
- Η επίδραση των **μεταβολών υγρασίας** για ένα άτομο με καθιστική δραστηριότητα και τυπική ενδυμασία είναι μικρή. Όμως το συνιστώμενο εύρος υγρασίας σχετίζεται άμεσα με την **εξασφάλιση της υγείας** των ατόμων. Έτσι, η υγρασία του αέρα χώρων κατά τη διάρκεια του χειμώνα πρέπει να κυμαίνεται σε χαμηλότερα από ό,τι του καλοκαιριού επίπεδα, για να αποφεύγονται συμπυκνώσεις υδρατμών σε κρύες επιφάνειες (π.χ. σε εξωτερικούς υαλοπίνακες). Αύξηση της (σχετικής) υγρασίας πάνω από 50% το χειμώνα μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα του ατόμου.
- Η **μέση ταχύτητα** του αέρα σε ένα συνήθη κατοικημένο εσωτερικό χώρο με άτομα που κάθονται **δεν** πρέπει να **ξεπερνά** τα 0,15 m/sec το χειμώνα και τα 0,25 m/sec το καλοκαίρι, ώστε να αποφεύγονται συνθήκες τοπικής δυσφορίας λόγω ανεπιθύμητων ρευμάτων. Βέβαια, μια μικρή αύξηση της ταχύτητας μπορεί να ανεβάσει 1-2 °C το θερμοκρασιακό όριο άνεσης πάνω από τους 26 °C κατά τη θερινή περίοδο. Για κινούμενα άτομα σε μεγάλους χώρους, η **μέγιστη** επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα μπορεί να κυμανθεί από 0,35 έως 1,5 m/sec (η τελευταία τιμή ειδικά για βιομηχανικές εφαρμογές).
- Η **μέση θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών** του χώρου πρέπει να **πλησιάζει** όσο το δυνατό τη θερμοκρασία του αέρα του χώρου (μετρούμενη στο ύψος του κεφαλιού ενός ατόμου), ώστε να αποφεύγονται μεγάλες θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας προς ψυχρές επιφάνειες το χειμώνα ή αντίστοιχα μεγάλα θερμικά φορτία με ακτινοβολία το καλοκαίρι.
- Η **κατακόρυφη διαφορά της θερμοκρασίας αέρα** σε ένα χώρο, μεταξύ περίπου του επιπέδου των ποδιών και του κεφαλιού ενός ατόμου, δεν πρέπει να ξεπερνά τους 3 °C, ώστε να αποφεύγεται τοπική δυσφορία.

9.4 Μετάδοση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα και παράγοντες που την επηρεάζουν

Το σώμα μας διαθέτει ένα ιδιαίτερο θερμικό σύστημα, που μας επιτρέπει να προσαρμοζόμαστε σε μεγάλες μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών χάρη σε μηχανισμούς ελέγχου εκπληκτικής ευαισθησίας. Στο δέρμα μας υπάρχουν ξεχωριστά αισθητήρια που “μετρούν” την αποβαλλόμενη από το σώμα και την εισαγόμενη προς αυτό **θερμότητα** και τα οποία συνδέονται στο κέντρο ελέγχου της θερμοκρασίας του ανθρωπίνου σώματος, που βρίσκεται στον **υποθάλαμο**, στη βάση του εγκεφάλου μας. Κάθε φορά που το **κέντρο ελέγχου** της **θερμοκρασίας** μας - η οποία πρέπει να παραμένει, για να είμαστε **υγιείς**, πάντα **σταθερή** περί τους **37 °C** - καταγράφει μια διαφορετική θερμοκρασία, ενεργοποιεί μια αλυσίδα φυσιολογικών **αντιδράσεων** για να **αντισταθμίσει** την ανεπιθύμητη αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτές οι αντιδράσεις γίνονται έως ένα οριακό σημείο όπου ακόμα νιώθουμε άνετα και μετά από το οποίο δεν υπάρχει αντιστάθμιση των ανεπιθύμητων θερμικών μεταβολών. Τότε αρχίζουμε να νιώθουμε πολύ ζέστη ή πολύ κρύο, δηλαδή να **μη** νιώθουμε **άνετα**.

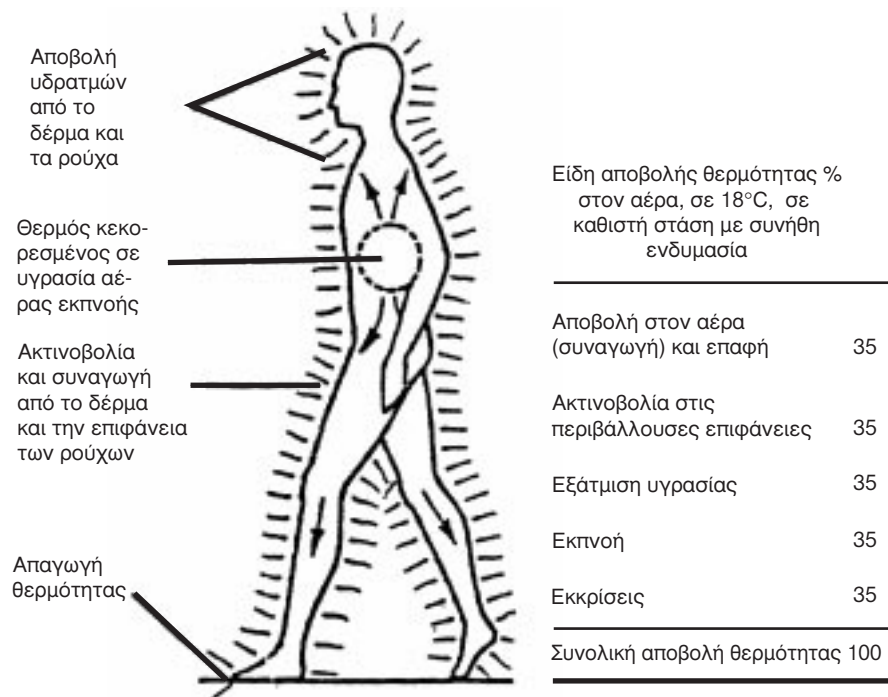
Οι αντιδράσεις του οργανισμού ενός υγιούς ατόμου για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματός του σε σταθερό επίπεδο (γύρω στους 37 °C) στοχεύουν στο να **αποβάλλεται**, από την **επιφάνεια** του σώματος, **θερμότητα** με τον **ίδιο ρυθμό** με τον οποίο αυτή **παράγεται εσωτερικά**. Η παραγωγή θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα γίνεται με τις αντιδράσεις **μεταβολισμού της τροφής**. Τρώμε και “καίμε” την τροφή μας με τη βοήθεια του οξυγόνου του αέρα που αναπνέουμε. Έτσι, το μεγαλύτερο μέρος της χημικής ενέργειας της τροφής μετατρέπεται σε **θερμότητα** και σε **μηχανικό έργο**, όπως π.χ. για την ανύψωση ενός βάρους με τα χέρια, το τρέξιμο, την κίνηση ποδηλάτου και γενικά κάθε είδους ανθρώπινη δραστηριότητα. Ένα μέρος της ενέργειας της τροφής που δεν “καίγεται” αποθηκεύεται στο σώμα υπό μορφή λίπους.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η επιφάνεια του σώματός μας είναι θερμότερη από το περιβάλλον της και το σώμα **αποβάλλει** την αναγκαία **θερμότητα** με τους ακόλουθους **τρόπους**, σύμφωνα και με όσα διαπραγματευτήκαμε στην παράγραφο 2.6 :

- Με **μεταφορά** (συναγωγή) από την επιφάνεια του **δέρματος** (ή την επιφάνεια του **ρούχου** που φοράμε) προς τον περιβάλλοντα αέρα

- Με **ακτινοβολία** από την επιφάνεια του δέρματος (ή την επιφάνεια του ρούχου που φοράμε) προς τις περιβάλλουσες επιφάνειες
- Με **εξάτμιση** της **εσωτερικής και επιφανειακής υγρασίας** (από τους πνεύμονες με την **εκπνοή** και από τους πόρους του δέρματος με τον **ιδρώτα** και τη **διάχυση** υδρατμών)
- Με **αγωγή** μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και της εξωτερικής επιφάνειας του ρούχου που φοράμε ή των ψυχρότερων επιφανειών που ακουμπάμε

Το Σχήμα 9.2 αποτυπώνει παραστατικά τη θερμική αλληλεπίδραση του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον του.



Σχήμα 9.2. Μετάδοση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον

Η **εξάτμιση** της εσωτερικής και επιφανειακής υγρασίας επιτρέπει στο σώμα μας να αποβάλλει θερμότητα ακόμα και όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι **μεγαλύτερη** από τη θερμοκρασία του σώματος (για παράδειγμα σε πολύ θερμές καλοκαιρινές ημέρες όταν ιδρώνουμε πολύ). Τότε μιλάμε για **εξατμιστικό δροσισμό** του σώματός μας. Υπάρχει επίσης

και μια πολύ μικρή ποσότητα θερμότητας που αποβάλλεται είτε με αγωγή όταν ακουμπάμε ένα ψυχρότερο σώμα είτε μέσω των φυσικών **εκκρίσεων** του οργανισμού.

Σύμφωνα με όσα ήδη αναφέραμε, η **θερμική ισορροπία** ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και στο περιβάλλον του, σε κάθε **χρονική στιγμή**, εκφράζεται από την ακόλουθη διπλή εξίσωση :

$$q_M = M - W - S = C + R + E \quad (9.1)$$

Όπου :

- q_M : η **θερμότητα** που **απελευθερώνεται** στο **εσωτερικό** του σώματος λόγω του **μεταβολισμού** της τροφής
- M : η **συνολική ενέργεια** που **παράγεται** από τον οργανισμό με το **μεταβολισμό** μιας ποσότητας τροφής που εισάγεται στο σώμα (ή αλλιώς **ρυθμός μεταβολισμού**)
- W : το **μηχανικό έργο** που **απαιτείται** για τις διάφορες **δραστηριότητες** του σώματος (κίνηση, μεταφορά βάρους)
- S : η **ενέργεια** που **αποθηκεύεται** στο ανθρώπινο σώμα υπό μορφή **λίπους**
- C : η **θερμότητα** που **αποβάλλεται** προς το **περιβάλλον** με **μεταφορά** (συναγωγή)
- R : η **θερμότητα** που **αποβάλλεται** προς το **περιβάλλον** με **ακτινοβολία**
- E : η **θερμότητα** που **αποβάλλεται** προς το **περιβάλλον** με **εξάτμιση υγρασίας** του σώματος (εκπνοή, ιδρώτας, διάχυση από πόρους).

Όλα τα μεγέθη της Σχέσης 9.1 εκφράζονται σε μονάδες **θερμότητας στη μονάδα του χρόνου** (ή ροής θερμότητας ή θερμικής ισχύος), δηλαδή σε Watt ανά m² επιφανείας σώματος (W/m²).

Ο ρυθμός μεταβολισμού, δηλαδή η ενεργειακή απαίτηση για τις βασικότερες καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου, που έχουν σχέση με τον κλιματισμό, παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.3.

Πίνακας 9.3. Ενεργειακές απαιτήσεις δραστηριοτήτων ανθρώπου

Δραστηριότητα	Ρυθμός Μεταβολισμού M (W/m ²)
1. Ανάπαυση	
- Ύπνος	40
- Στάση επικλινής	45
- Στάση καθιστική	60
- Στάση όρθια	70
2. Βάδισμα	110-220
3. Οδήγηση	60-180
4. Καθιστική εργασία	
- Γραφείου (διάβασμα, γράψιμο)	60-80
- Εργαστηρίου (πακετάρισμα, αρχείο)	80-100
5. Δραστηριότητα μέτριας έντασης	
- Μαγείρεμα	90-120
- Καθάρισμα	115-200
- Ελαφριά βιομηχανική (π.χ. κοπή/ραφή, ηλεκτρολογικά/ηλεκτρονικά)	105-140
5. Δραστηριότητα μεγάλης έντασης	
- Βαριά βιομηχανική (π.χ. χειρισμός κιβωτίων, άρση βάρους)	235-280
- Χορός	140-255
- Γυμναστική	175-235
- Τένις/ατομικά αθλήματα	210-270
- Μπάσκετ/ομαδικά αθλήματα	290-440
- Βαριά αθλήματα/στίβος	410-505

Για **συγκεκριμένη περίπτωση** ανθρώπινης **δραστηριότητας**, η μετάδοση θερμότητας με **ακτινοβολία** από το ανθρώπινο σώμα προς τις **περιβάλλουσες επιφάνειες** επηρεάζεται άμεσα από τις **θερμοκρασίες** αυτών των **επιφανειών** (π.χ. τοίχων, οροφής, δαπέδου και παραθύρων-πορτών ενός εσωτερικού κτιριακού χώρου). Αντίστοιχα, η **δυνατότητα** για αποβολή θερμότητας από το σώμα μας με **μεταφορά** και **εξάτμιση** είναι συνάρτηση της **θερμοκρασίας**, της **ταχύτητας** και της **υγρασίας** του αέρα του περιβάλλοντος χώρου και στην περίπτωση που είμαστε ντυμένοι από τη **θερμική αντίσταση** του **ρούχου** που φοράμε.

9.5 Συστήματα κλιματισμού-αερισμού. Συνοπτική παρουσίαση

Ένα **ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού-αερισμού** έχει δύο βασικούς σκοπούς. Να **ελέγχει** και να **ρυθμίζει**, πρώτο, τις **θερμοδυναμικές ιδιότητες** (θερμοκρασία, υγρασία) του αέρα και, δεύτερο, την **ποιότητα** (ποσό φρέσκου αέρα, καθαρότητα) του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο, ώστε να επιτυγχάνονται συνθήκες άνεσης.

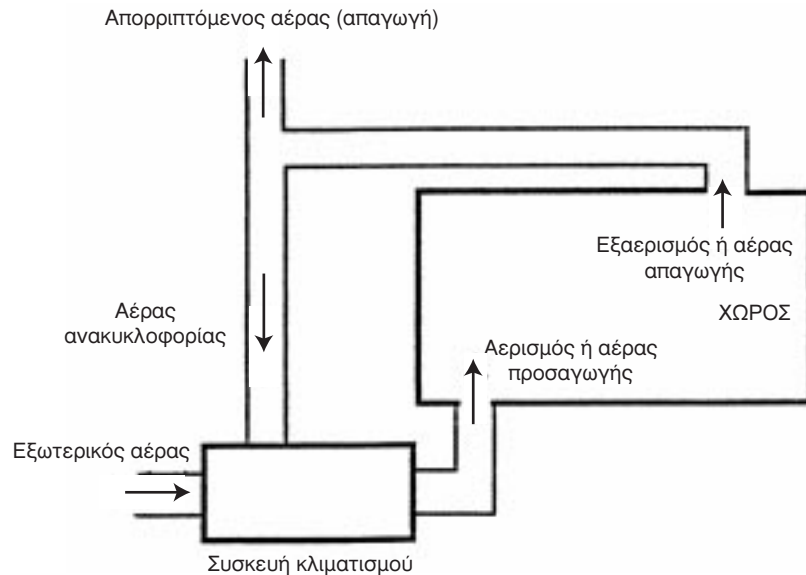
Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο ρυθμίζονται με διαδικασίες **ψύξης** (μείωση θερμοκρασίας) και **αφύγρανσης** (αφαίρεσης-μείωσης υγρασίας) ή **θέρμανσης** (αύξηση θερμοκρασίας) και **ύγρανσης** (πρόσδοσης-αύξησης υγρασίας) του αέρα που **προσάγεται** στον χώρο. Στα απλούστερα συστήματα κλιματισμού άνεσης, ελέγχονται **μόνο** οι μεταβολές της **θερμοκρασίας**, ενώ οι μεταβολές της υγρασίας προκύπτουν έμμεσα και δεν ελέγχονται.

Η ποιότητα του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο ρυθμίζεται με διαδικασίες μηχανικού **αερισμού** και **φιλτραρίσματος**. Με το σύστημα αερισμού **αποβάλλονται** οι **ουσίες που ρυπαίνουν** τον αέρα του εσωτερικού χώρου μέσω της **αντικατάστασης** μιας ποσότητας εσωτερικού αέρα με αντίστοιχη ποσότητα **φρέσκου (νωπού)** αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, που έχει προηγουμένα οδηγηθεί μέσα από ειδικά **φίλτρα** του συστήματος για να γίνει **καθαρότερος**. Η ποσότητα του απαιτούμενου νωπού αέρα εξαρτάται από κάθε εφαρμογή και είναι συνάρτηση των **ρύπων** και των **αναγκών υγιούς διαμονής** ατόμων σε έναν κλειστό χώρο, σύμφωνα με εθνικά και διεθνή πρότυπα και κανονισμούς (Πίνακας 9.4). Σε συνήθη συστήματα μηχανικού αερισμού, κάποια ποσότητα νωπού αέρα **αναμιγνύεται** με μια ποσότητα κλιματισμένου αέρα που **απάγεται** από το χώρο και δημιουργεί ένα μίγμα αέρα που **ανακυκλοφορεί** στο σύστημα. Η λογική της ανακυκλοφορίας οφείλεται σε σημαντικούς περιορισμούς για το **αρχικό και λειτουργικό κόστος** ενός κεντρικού συστήματος κλιματισμού και δεν ισχύει πάντα, όπως σε εφαρμογές αερισμού όπου το βασικό κριτήριο είναι η απόλυτη ποιότητα του αέρα (π.χ. αίθουσες χειρουργείων με απαιτήσεις **πλήρους** ανανέωσης του αέρα του χώρου με **100% καθαρό νωπό αέρα, 20 φορές** την ώρα).

Πίνακας 9.4 Ενδεικνυόμενες ποσότητες νωπού αέρα για αερισμό χώρων

Είδος χώρου	Καπνίζοντες	Νωπός Αέρας ανά Άτομο (m ³ /h)
Διαμερίσματα συνήθη	Μερικοί	8,5
Διαμερίσματα πολυτελή	Μερικοί	8,5
Κουρέια	Σημαντικός αριθμός	17
Μπαρ	Πάρα πολλοί	25,5
Καταστήματα	Κανένας	8,5
Γραφεία Διευθυντών	Έκτακτα πολλοί	25,5
Εργοστάσια	Κανένας	8,5
Νοσοκομεία, Χειρουργεία	Κανένας	Ειδικός Κλιματισμός
Νοσοκομεία, Θάλαμοι ασθενών	Κανένας	25,5
Νοσοκομεία, Χώροι προσωπικού	Κανένας	17
Δωμάτια Ξενοδοχείων	Πάρα πολλοί	25,5
Εργαστήρια	Μερικοί	8,5
Χώροι Συγκεντρώσεων	Έκτακτα πολλοί	25,5
Γραφεία συλλογικά	Μερικοί	8,5
Γραφεία προσωπικά	Κανένας	8,5
Γραφεία προσωπικά	Σημαντικός αριθμός	25,5
Καφέ-Μπαρ	Σημαντικός αριθμός	17
Εστιατόρια	Σημαντικός αριθμός	17
Σχολεία, Αίθουσες Διδασκαλίας	Κανένας	17
Θέατρα	Κανένας	8,5

Στο Σχήμα 9.3 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας ενός ολοκληρωμένου συστήματος κλιματισμού-αερισμού σε σχέση με την κυκλοφορία του αέρα.

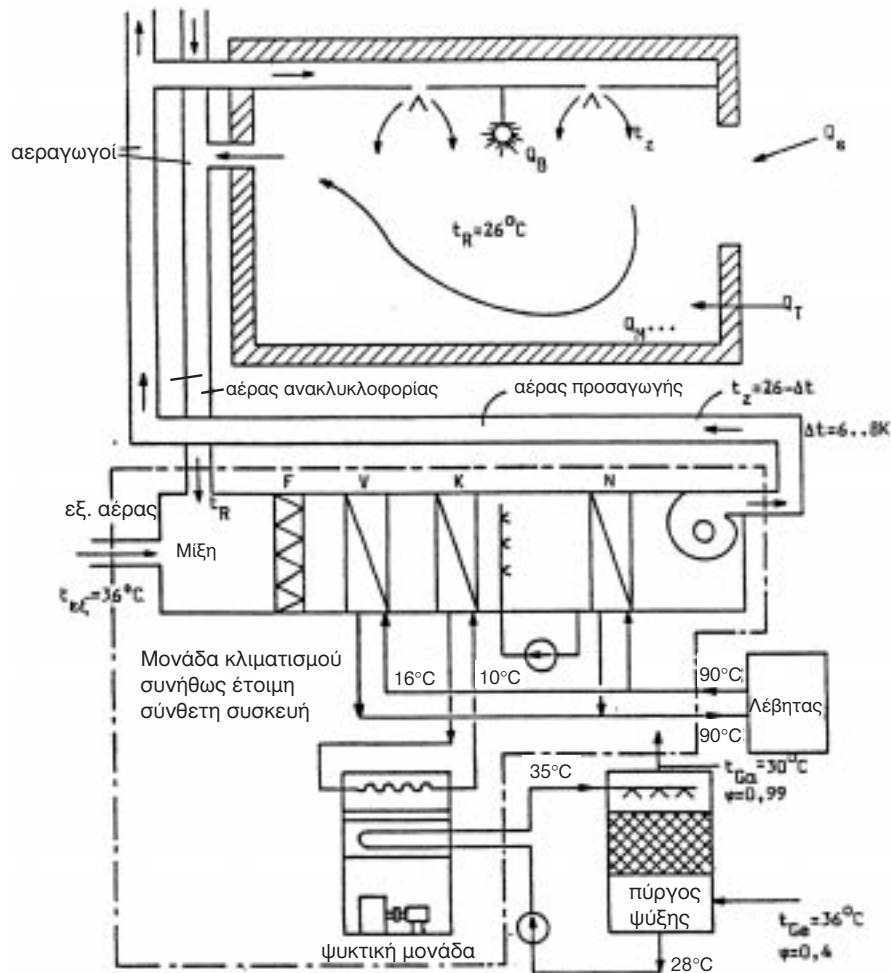


Σχήμα 9.3. Αρχή λειτουργίας συστήματος κλιματισμού-αερισμού χώρων

Σε κάθε ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού-αερισμού, σε κάθε χρονική στιγμή, απαιτείται η διάθεση θερμικής (ψυκτικής) **ισχύος** για την **ψύξη** ή **θέρμανση** μιας συγκεκριμένης **ποσότητας** αέρα, ώστε να επιτυγχάνονται συνθήκες άνεσης στον κλιματιζόμενο χώρο. Υπάρχουν διαφορετικοί **τρόποι** και **ρευστά μέσα** που εφαρμόζονται για τη διάθεση της ισχύος ενός συστήματος σε **συνάρτηση** με τις ανάγκες κλιματισμού του αέρα ή αλλιώς για την παραλαβή των ψυκτικών ή θερμικών **φορτίων** του κλιματιζόμενου χώρου. Οι διάφοροι συνδυασμοί τρόπων και μέσων κλιματισμού έχουν οριοθετήσει τις βασικές τεχνολογικές κατηγορίες των συστημάτων κλιματισμού στις εξής :

A. Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα (all-air systems)

Ένα σύστημα κλιματισμού μόνο με αέρα έχει ικανότητα **πλήρους ψύξης** (με αφαίρεση αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας-αφύγρανσης), **προθέρμανσης** και **ύγρυνσης** του αέρα που προσάγεται από το σύστημα στους κλιματιζόμενους χώρους. Η παρασκευή του **αέρα προσαγωγής** γίνεται σε **κεντρική μονάδα κλιματισμού εκτός** των κλιματιζόμενων χώρων και ο αέρας μεταφέρεται μέσω **δικτύου αεραγωγών** στους χώρους (Σχήμα 9.4). Ανάλογα με την εποχή, ο αέρας υφίσταται και διαφορετική επεξερ-



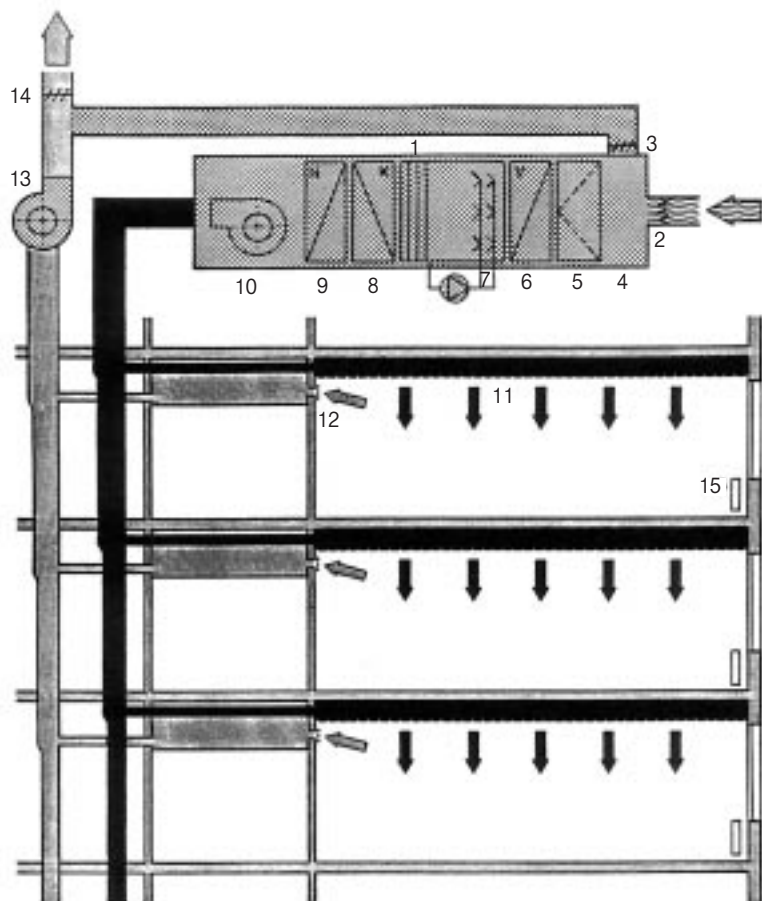
Σχήμα 9.4. Σύστημα κλιματισμού μόνο με αέρα

γασία. Το καλοκαίρι συνήθως υφίσταται ψύξη και αφύγρανση και αν χρειαστεί μεταθέρμανση. Το χειμώνα υφίσταται αντίστοιχα προθέρμανση, ύγρανση και μεταθέρμανση. Η επεξεργασία του αέρα γίνεται με τη βοήθεια ενός ρευστού **μέσου**, συνήθως **νερού**, το οποίο έχει προηγουμένως αποκτήσει την απαιτούμενη, για τη μετάδοση θερμότητας στον αέρα, χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία του σε μια ψυκτική μηχανή (**ψύκτη**) ή ένα **λέβητα**. Η θερμότητα που απάγεται το καλοκαίρι με τον αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο, μεταφέρεται στο νερό ψύξης και στη συνέχεια μέσω της ψυκτικής μηχανής στο περιβάλλον. Εάν ο ψύκτης είναι υδρόψυκτος, τότε είναι απαραίτητος και ένας **πύργος ψύξης**.

Γενικά, στο χώρο δεν απαιτείται επιπλέον ψύξη ή ύγρανση όταν εφαρμόζονται τέτοια συστήματα. Η θέρμανση επιτυγχάνεται στο ίδιο ρεύμα αέρα είτε κεντρικά στη μονάδα κλιματισμού είτε τοπικά σε **ελεγχόμενη θερμική ζώνη** του χώρου.

Τα συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα διαιρούνται σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες :

- **Συστήματα μονής διανομής ή μονού αεραγωγού (single duct)**, τα οποία έχουν τα στοιχεία (εναλλάκτες) ψύξης και θέρμανσης του προσαγόμενου αέρα **σε σειρά** ως προς τη ροή του και χρησιμοποιούν ένα και μόνο δίκτυο αεραγωγών για τη διανομή του κλιματισμένου αέρα στους χώρους (Σχήμα 9.5).
- **Συστήματα διπλής διανομής ή διπλού ρεύματος αέρα (dual stream)**, τα οποία έχουν τα στοιχεία (εναλλάκτες) ψύξης και θέρμανσης του προσαγόμενου αέρα **σε παράλληλη διάταξη** ως προς τη ροή του και χρησιμοποιούν είτε 1) ένα διπλό δίκτυο αεραγωγών (ένα για το ψυχρό και ένα για το θερμό ρεύμα αέρα) (Σχήμα 9.6) είτε 2) ένα ξεχωριστό δίκτυο αεραγωγών προσαγωγής για κάθε θερμική ζώνη χώρου (πολυζωνικό), όπου ο αέρας προσάγεται παρασκευασμένος στην απαιτούμενη θερμοκρασία με ανάμειξη (λειτουργία διαφραγμάτων) στη μικρή κλιματιστική μονάδα κάθε αεραγωγού ζώνης (Σχήμα 9.7).



Εξωτερικός Αέρας

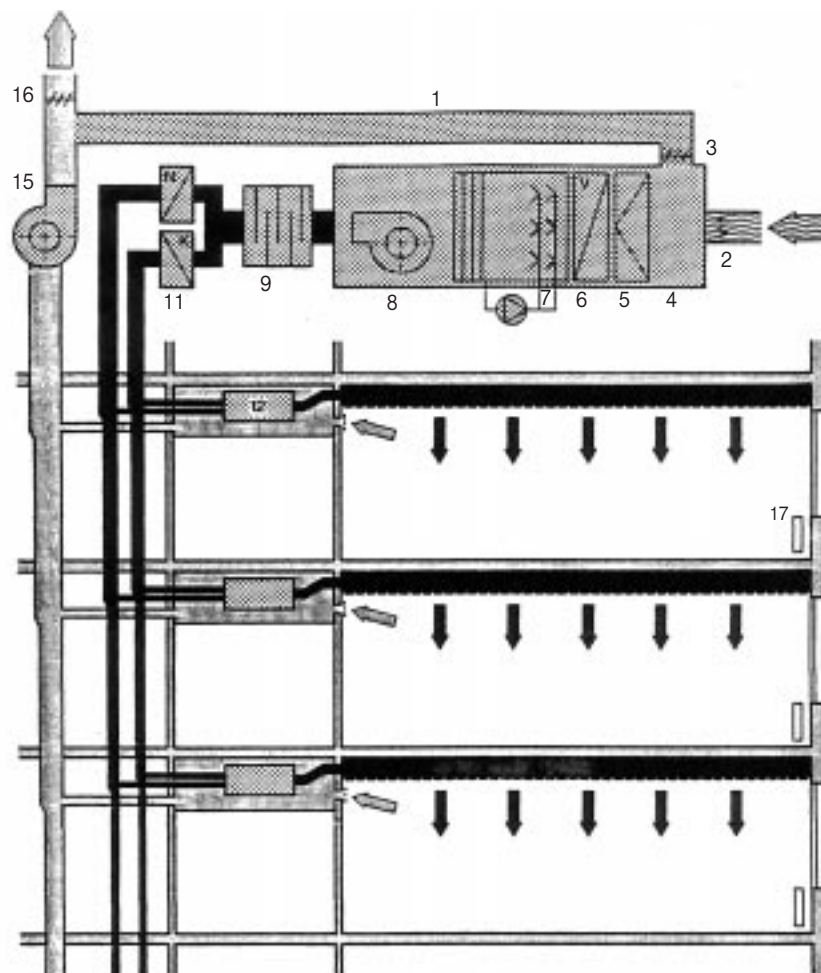
Αέρας προσαγωγής

Αέρας ανακυκλοφορίας

Αέρας απαγωγής

- | | |
|---|--|
| 1. Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα | 9. Μεταθερμαντήρας |
| 2. Ρυθμιστική σχάρα εξωτερικού αέρα | 10. Ανεμιστήρας προσαγωγής |
| 3. Ρυθμιστική σχάρα αέρα ανακυκλοφορίας | 11. Διανομείς ή δίοδοι αέρα προσαγωγής |
| 4. Θάλαμος ανάμειξης | 12. Στόμια αέρα απαγωγής |
| 5. Φίλτρα | 13. Ανεμιστήρας απαγωγής |
| 6. Προθερμαντήρας | 14. Ρύθμιστική σχάρα αέρα απαγωγής |
| 7. Υγραντήρας | 15. Τοπικά θερμαντικά σώματα |
| 8. Ψύκτης | |

Σχήμα 9.5. Σύστημα κλιματισμού μονού αγωγού σταθερής παροχής



Εξωτερικός Αέρας

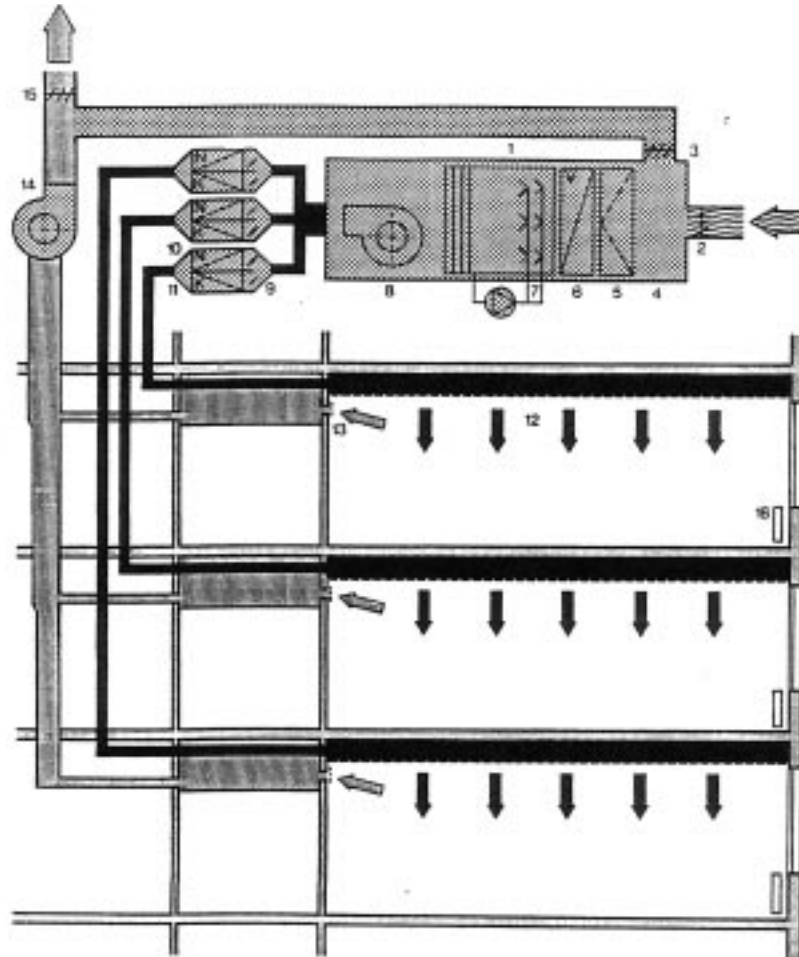
Αέρας προσαγωγής

Αέρας ανακυκλοφορίας

Αέρας απαγωγής

- | | |
|---|--|
| 1. Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα | 11. Ψύκτης |
| 2. Ρυθμιστική σχάρα εξωτερικού αέρα | 12. Κιβώτια ανάμειξης |
| 3. Ρυθμιστική σχάρα αέρα ανακυκλοφορίας | 13. Διανομείς ή δίοδοι αέρα προσαγωγής |
| 4. Θάλαμος ανάμειξης | 14. Στόμια αέρα απαγωγής |
| 5. Φίλτρα | 15. Ανεμιστήρας απαγωγής |
| 6. Προθερμαντήρας | 16. Ρύθμιστική σχάρα αέρα απαγωγής |
| 7. Υγραντήρας | 17. Τοπικά θερμαντικά σώματα |
| 8. Ανεμιστήρας προσαγωγής | |
| 9. Αποσβεστήρας ήχου | |
| 10. Μεταθερμαντήρας | |

Σχήμα 9.6. Σύστημα κλιματισμού διπλού αγωγού σταθερής παροχής



Εξωτερικός Αέρας

Αέρας προσαγωγής

Αέρας ανακυκλοφορίας

Αέρας απαγωγής

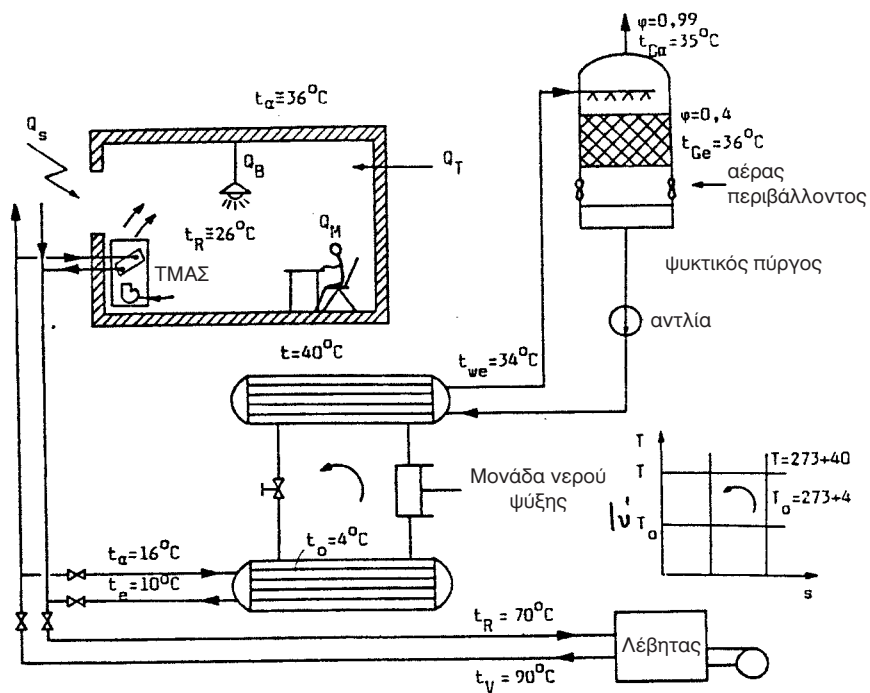
1. Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα
2. Ρυθμιστική σχάρα εξωτερικού αέρα
3. Ρυθμιστική σχάρα αέρα ανακυκλοφορίας
4. Θάλαμος ανάμειξης
5. Φίλτρα
6. Προθερμαντήρας
7. Υγραντήρας
8. Ανεμιστήρας προσαγωγής
9. Ρυθμιστικά διαφράγματα

10. Μεταθερμαντήρας
11. Ψύκτης
12. Διανομείς ή δίοδοι αέρα προσαγωγής
13. Στόμια αέρα απαγωγής
14. Ανεμιστήρας απαγωγής
15. Ρυθμιστική σχάρα αέρα απαγωγής
16. Τοπικά θερμαντικά σώματα

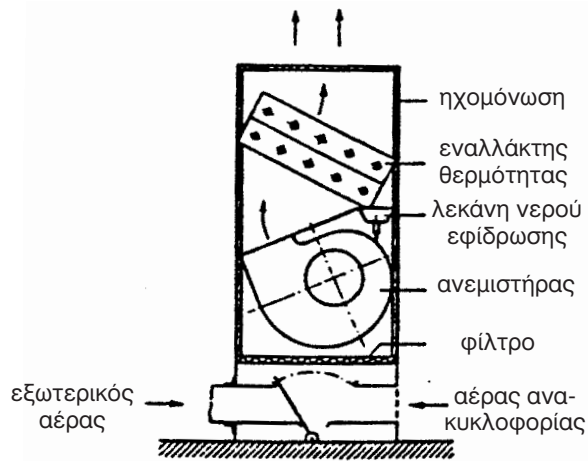
Σχήμα 9.7. Πολυζωνικό σύστημα κλιματισμού με αέρα

Β. Συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό (all-water systems)

Στα συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό ο **αέρας του κλιματιζόμενου χώρου** ψύχεται ή θερμαίνεται με αγωγή, συναγωγή ή ακτινοβολία **απευθείας** σε κατάλληλες **τερματικές μονάδες**, ή από δομικά στοιχεία (δάπεδα, οροφές) με **σωληνώσεις**, που είναι εγκατεστημένες **μέσα στο χώρο** και στις οποίες κυκλοφορεί ψυχρό ή θερμό **νερό** (από κεντρικό ψύκτη ή λέβητα) (Σχήμα 9.8). Οι συνηθέστερες τερματικές μονάδες περιλαμβάνουν **ψυκτικό/ θερμαντικό στοιχείο** εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (μέσω της λειτουργίας εσωτερικού **ανεμιστήρα**), **φίλτρα** και πιθανόν είσοδο νωπού αέρα. Οι τερματικές αυτές μονάδες ονομάζονται **Τοπικές Μονάδες Ανεμιστήρα-Στοιχείου (TMAΣ)** ή **Fan Coil Units** (Σχήμα 9.9).



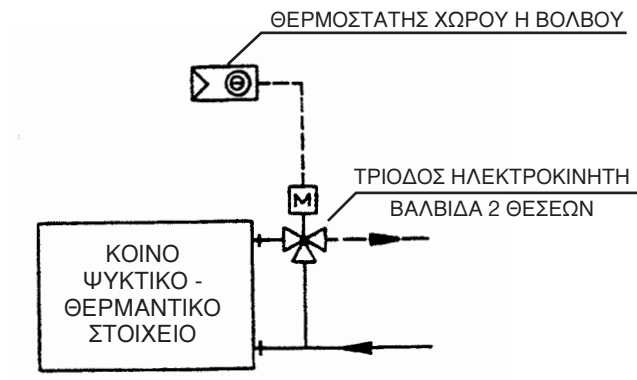
Σχήμα 9.8 Σύστημα κλιματισμού μόνο με νερό (με TMAΣ)



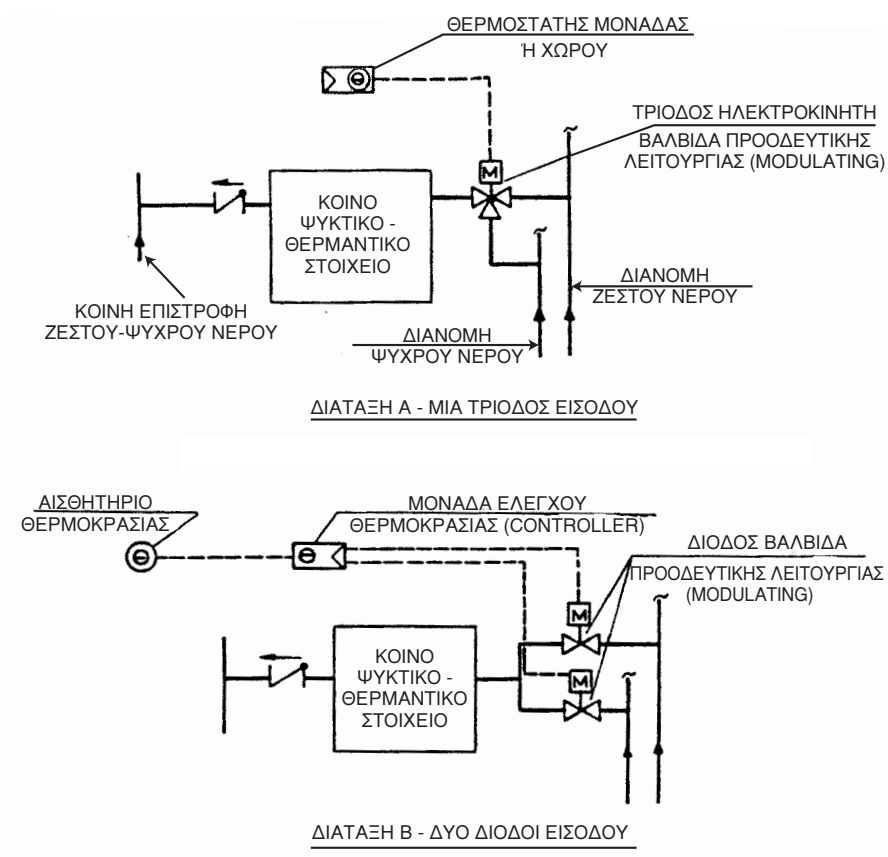
Σχήμα 9.9. Τομή TMAΣ-Fan Coil Unit

Τα συστήματα με TMAΣ-fan coils διακρίνονται σε :

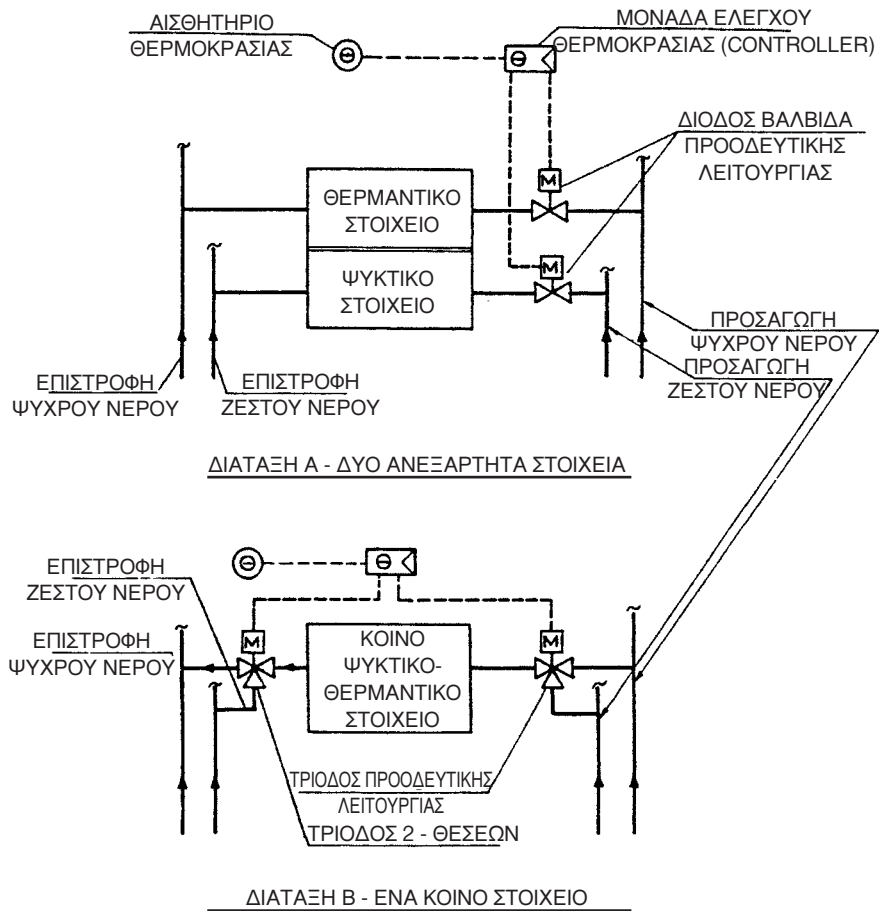
- **Συστήματα 2 σωλήνων (2-pipe)**, ενός προσαγωγής και ενός επιστροφής ψυχρού ή θερμού νερού ανάλογα με την εποχή, που παρέχουν μόνο ψύξη ή μόνο θέρμανση σε όλους τους κλιματιζόμενους χώρους. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται μέσω μιας **τρίοδης βαλβίδας** και **θερμοστάτη** μονάδας ή χώρου (Σχήμα 9.10).
- **Συστήματα 3 σωλήνων (3-pipe)**, ενός προσαγωγής ψυχρού νερού, ενός προσαγωγής θερμού νερού και ενός κοινής επιστροφής όπου γίνεται **ανάμειξη του νερού** και **ρύθμιση** της **θερμοκρασίας** μέσω μιας **τρίοδης** ή δύο **δίοδων βαλβίδων** και **θερμοστάτη** μονάδας ή χώρου (Σχήμα 9.11).
- **Συστήματα 4 σωλήνων (4-pipe)**, ενός προσαγωγής ψυχρού νερού, ενός προσαγωγής θερμού νερού, ενός επιστροφής ψυχρού νερού και ενός επιστροφής θερμού νερού. Στην TMAΣ γίνεται **ξεχωριστή** παροχή θερμού ή ψυχρού νερού ενώ η ποσότητα και η θερμοκρασία του νερού μέσα στο στοιχείο του ρυθμίζονται από μια τρίοδη βαλβίδα. Στην έξοδο του στοιχείου τοποθετείται επίσης μια τρίοδη βαλβίδα δύο θέσεων, που οδηγεί το νερό στον αντίστοιχο κλάδο επιστροφής (Σχήμα 9.12).



Σχήμα 9.10. Λειτουργία Συστήματος ΤΜΑΣ 2 σωλήνων



Σχήμα 9.11. Λειτουργία Συστήματος ΤΜΑΣ 3 σωλήνων



Σχήμα 9.12. Λειτουργία Συστήματος ΤΜΑΣ 4 σωλήνων

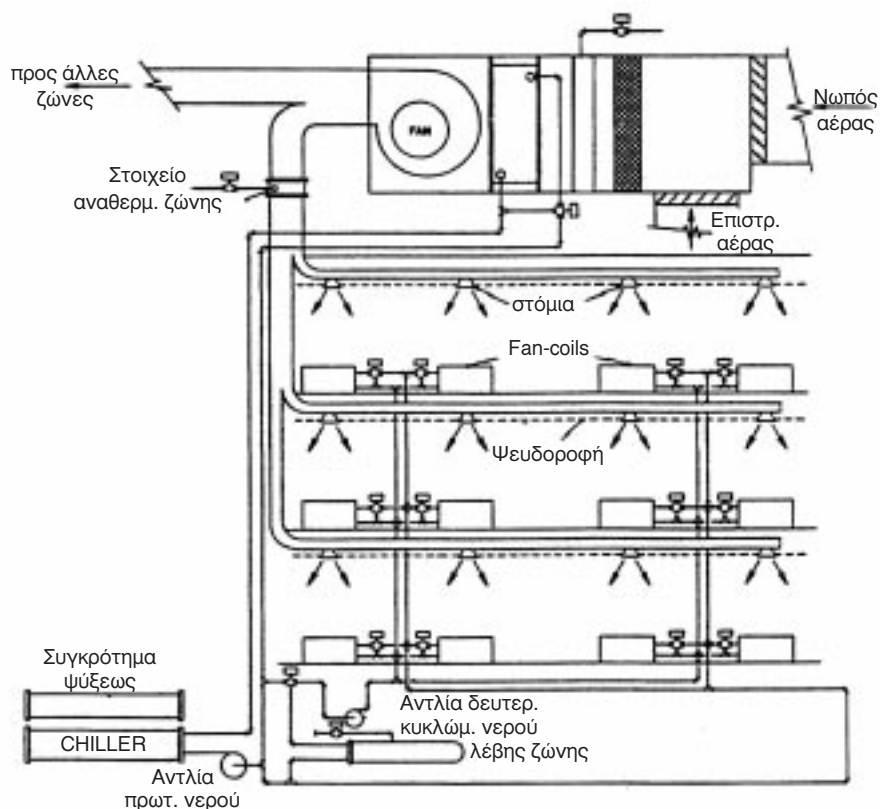
Γ. Συστήματα κλιματισμού αέρα-νερού (air-water systems)

Τα συστήματα κλιματισμού αέρα-νερού, μπορούμε να πούμε, ότι είναι ένας **συνδυασμός** των παραπάνω συστημάτων. Σε αυτά, εκτός από την προσαγωγή ψυχρού ή θερμού **νερού** (που έχει παραχθεί κεντρικά σε ψύκτη ή λέβητα) σε **τερματικές μονάδες** κλιματισμού του αέρα στους χώρους, παρέχεται επιπλέον, μέσω **αεραγωγών**, **αέρας** που έχει προηγουμένως επεξεργαστεί σε μια **κεντρική κλιματιστική μονάδα** εκτός του κλιματιζόμενου χώρου. Επομένως, στα συστήματα αέρα-νερού έχουμε εγκατάσταση τόσο **δικτύων νερού** όσο και **δικτύων αέρα**.

Ο κεντρικά επεξεργασμένος αέρας, που προσάγεται στους χώρους, χαρακτηρίζεται ως “**πρωτεύων**” ενώ ως “**δευτερεύων**” χαρακτηρίζεται ο

αέρας που ανακυκλοφορεί μέσω των τερματικών μονάδων (π.χ. μέσω **TMAΣ-fan coil units**).

Ένα σύννηθες σύστημα αέρα-νερού παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.13.



Σχήμα 9.13. Σύστημα αέρα-νερού με TMAΣ και κεντρική προσαγωγή αέρα

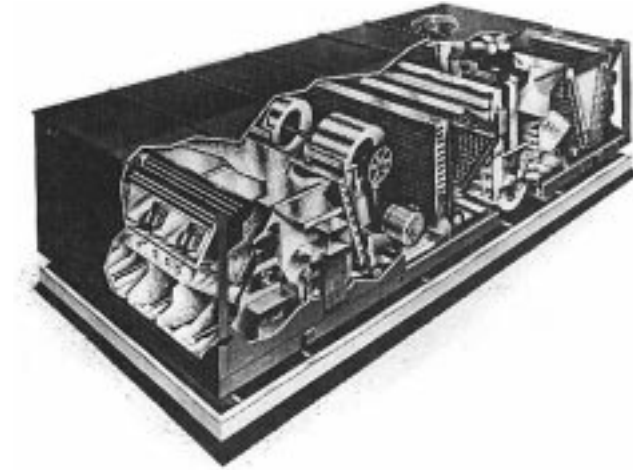
Ένα άλλο, μη θερμοδυναμικό κριτήριο, για τη διάκριση των συστημάτων κλιματισμού είναι η **θέση των συσκευών τους** ως προς τον κλιματιζόμενο χώρο και η **έκταση εφαρμογής** του συστήματος. Μπορούμε, με αυτή την προσέγγιση, να διακρίνουμε τις εξής βασικές κατηγορίες :

- **Κεντρικά συστήματα κλιματισμού**
- **Ημικεντρικά συστήματα κλιματισμού**
- **Τοπικά συστήματα κλιματισμού**

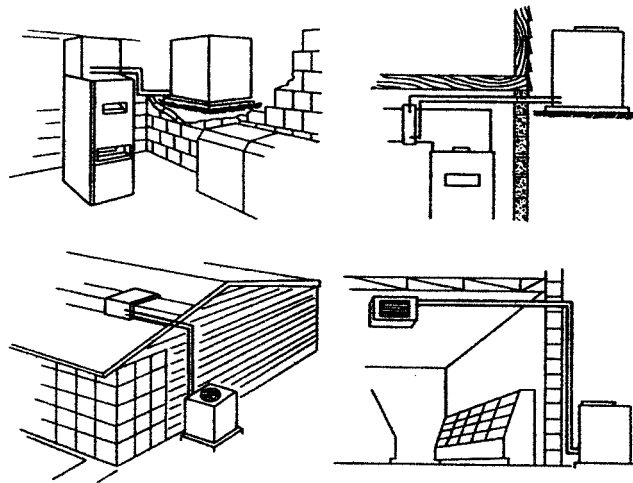
Μια ειδική κατηγορία συστημάτων κλιματισμού είναι τα λεγόμενα **συστήματα απευθείας εκτόνωσης (direct expansion)**. Αυτά τα συστήματα

χρησιμοποιούν απευθείας το **ψυκτικό μέσο** (π.χ. Φρέον R-22) για τη μεταφορά ενέργειας στους κλιματιζόμενους χώρους. Αποτελούνται από βιομηχανικά κατασκευασμένες **αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες (unitary air conditioners, room air conditioners)**, με έτοιμα στοιχεία/συσκευές του ψυκτικού κύκλου (εξατμιστής, συμπυκνωτής, συμπιεστής, βαλβίδα στραγγαλισμού, ανεμιστήρες ψύξης ή συνδέσεις για πύργο ψύξης κ.τ.λ.), οι οποίες ψύχουν τον αέρα με τα στοιχεία απευθείας εκτόνωσης του ψυκτικού μέσου. Οι αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες διακρίνονται σε μονάδες του **ενός τεμαχίου (self-contained, packaged units)** και σε **διμερείς μονάδες (split units)**.

- Οι αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες ενός τεμαχίου μπορεί να λειτουργούν με **υδρόψυκτο ή αερόψυκτο συμπυκνωτή** και να είναι **τοπικές**, για την εξυπηρέτηση ενός χώρου, είτε **ημικεντρικές**, για την εξυπηρέτηση περισσότερων χώρων (σε σύνδεση με δίκτυο αεραγωγών ανάλογα με την εφαρμογή) (Σχήμα 9.14).
- Οι αυτόνομες split κλιματιστικές μονάδες είναι συνήθως **αερόψυκτες** και μπορεί να είναι είτε τοπικές είτε ημικεντρικές. Οι **τοπικές** αποτελούνται από μια **εσωτερική μονάδα ανεμιστήρα-ψυκτικού στοιχείου απευθείας εκτόνωσης** και μια **εξωτερική αερόψυκτη μονάδα συμπύκνωσης**. Μικρές τέτοιες μονάδες θα έχετε σίγουρα παρατηρήσει και λειτουργήσει στα σπίτια σας ή σε καταστήματα – είναι τα γνωστά κλιματιστικά “σπλιτάκια”. Οι **ημικεντρικές** μονάδες έχουν δυνατότητα **πλήρους** κλιματισμού και συνδέονται με **δίκτυο αεραγωγών**. Το **εξωτερικό** τμήμα τους είναι μια **αερόψυκτη μονάδα συμπύκνωσης** και το εσωτερικό μια κλιματιστική μονάδα επεξεργασίας αέρα με δυνατότητα ανανέωσής του (Σχήμα 9.15).



Σχήμα 9.14. Τυπική αυτόνομη αερόψυκτη κλιματιστική μονάδα ενός τεμαχίου, ημικεντρικού τύπου, που εγκαθίσταται σε οροφές κτιρίων (rooftop single package unitary)



Σχήμα 9.15. Διατάξεις αυτόνομης αερόψυκτης κλιματιστικής διμερούς μονάδας, ημικεντρικού τύπου (unitary split)

9.6 Στοιχεία τυπικού κεντρικού συστήματος κλιματισμού

Τα συστήματα κλιματισμού έχουν γενικά κοινά βασικά στοιχεία. Φυσικά, ο σχετικός εξοπλισμός και οι συσκευές ρύθμισης και ελέγχου μπορεί να διαφέρουν στη φυσική εμφάνιση και στη διάταξη των βασικών εξαρτημάτων τους, ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής κλιματισμού (χρήση και κατασκευή κτιρίου, κλίμα, θερμικά-ψυκτικά φορτία).

Το Σχήμα 9.16 δείχνει ένα τυπικό απλό κεντρικό σύστημα κλιματισμού μόνο με αέρα και ο Πίνακας 9.5 επεξηγεί τα βασικά στοιχεία της λειτουργίας του (σημεία αρίθμησης του Σχήματος 9.16). Η βασική εγκατάσταση του συστήματος είναι η **κεντρική κλιματιστική μονάδα**, στην οποία με τις κατάλληλες συσκευές γίνεται η **προπαρασκευή** του αέρα. Στην κεντρική κλιματιστική μονάδα συναντώνται ο **αέρας ανακυκλοφορίας** με το **φρέσκο (νωπό) αέρα** του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η μονάδα περιέχει **θερμαντικά** και **ψυκτικά στοιχεία** εναλλαγής θερμότητας και **συσκευή ύγρανσης (υγραντήρα)** του αέρα. Η θερμική ενέργεια για τη **θέρμανση** και την **ψύξη** παράγεται, εκτός της κλιματιστικής μονάδας, στο **λέβητα** και στον **ψύκτη** και **μεταφέρεται** με το **νερό** στα θερμαντικά και ψυκτικά στοιχεία της κλιματιστικής μονάδας για να μεταδοθεί στη συνέχεια στο διερχόμενο ρεύμα αέρα. Η ενέργεια για την κίνηση του αέρα δίνεται από έναν ή περισσότερους **ηλεκτροκίνητους ανεμιστήρες**. Τέλος, το σύστημα διαθέτει κατάλληλο **σύστημα ελέγχου**, προκειμένου να μπορεί να ανταποκριθεί σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας που καθορίζονται από τις μεταβολές των θερμικών και ψυκτικών αναγκών των κλιματιζόμενων χώρων.

Πίνακας 9.5. Στοιχεία τυπικού κεντρικού συστήματος κλιματισμού αέρα

Αριθμός (Σχ.9.15)	Περιγραφή Στοιχείου	Λειτουργία Στοιχείου
1	Είσοδος νωπού αέρα (στόμιο, αγωγός, ρυθμιστικά διαφράγματα)	Ανανέωση του αέρα του κτιρίου
2	Ρυθμιστικά διαφράγματα αέρα ανακυκλοφορίας	Ρύθμιση ποσότητας αέρα ανακυκλοφορίας
3	Ρυθμιστικά διαφράγματα αέρα απόρριψης	Ρύθμιση ποσότητας αέρα απόρριψης
4	Φίλτρα καθαρισμού αέρα	Απομάκρυνση ρυπογόνων ουσιών αέρα
5	Στοιχείο προθέρμανσης	Προθέρμανση αέρα
6	Ψυκτικό στοιχείο	Ψύξη και αφύγρανση αέρα
7	Θερμαντικό στοιχείο (μεταθέρμανσης)	Θέρμανση (ή ρυθμιστική μεταθέρμανση) αέρα
8	Υγραντήρας	Ύγρανση αέρα
9	Ανεμιστήρες προσαγωγής/επιστροφής αέρα	Κίνηση αέρα
10	Δίκτυο αεραγωγών προς/από κλιματιζόμενους χώρους	Μεταφορά αέρα
11	Στόμια προσαγωγής κλιματισμένου αέρα	Τελική διανομή αέρα στους χώρους
12	Στόμια απαγωγής αέρα χώρου	Απαγωγή αέρα από τους χώρους
13	Θερμοστάτης χώρου	Έλεγχος θερμοκρασίας αέρα
14	Υγροστάτης χώρου	Έλεγχος υγρασίας αέρα
15	Ρυθμιστής διαφραγμάτων στο κιβώτιο μείξης νωπού αέρα με αέρα ανακυκλοφορίας	Ρύθμιση ποσότητας νωπού αέρα
ΚΥΚΛΩΜΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ		
16	Ψυκτική μονάδα (ψύκτης) συμπίεσης (εξατμιστής, συμπυκνωτής, συμπιεστής, βαλβίδα εκτόνωσης)	Παραγωγή ψυχρού νερού
ΚΥΚΛΩΜΑ ΨΥΧΡΟΥ ΝΕΡΟΥ		
17	Αντλία (κυκλοφορητής)	Κίνηση νερού
18	Δίκτυο σωληνώσεων νερού προσαγωγής/επιστροφής ψυκτικών στοιχείων	Μεταφορά νερού
19	Ρυθμιστικές βαλβίδες	Ρύθμιση ποσότητας νερού προς τα ψυκτικά στοιχεία
20	Δίκτυο σωληνώσεων νερού απόρριψης θερμότητας	Μεταφορά νερού από τον ψύκτη στον πύργο ψύξης
21	Πύργος ψύξης	Απόρριψη θερμότητας από το συμπυκνωτή του ψύκτη στο περιβάλλον
ΚΥΚΛΩΜΑ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ		
22	Λέβητας θερμού νερού	Παραγωγή θερμού νερού
23	Αντλία (κυκλοφορητής)	Κίνηση νερού
24	Δίκτυο σωληνώσεων νερού προσαγωγής/επιστροφής ψυκτικών στοιχείων	Μεταφορά νερού
25	Ρυθμιστικές βαλβίδες	Ρύθμιση ποσότητας νερού προς τα θερμαντικά στοιχεία



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Αναφερθήκαμε στον όρο **θερμική άνεση** για να εκφράσουμε την **αίσθηση ικανοποίησης** ενός ατόμου, που βρίσκεται σε έναν εσωτερικό χώρο κτιρίου, για το θερμικό περιβάλλον του χώρου αυτού. Οι παράμετροι που καθορίζουν τις **συνθήκες άνεσης** ενός ατόμου σε κάποιο εσωτερικό χώρο είναι α) η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του αέρα, καθώς και οι θερμοκρασίες εσωτερικών επιφανειών ενός χώρου, β) το είδος και το επίπεδο δραστηριότητας ενός ατόμου και το είδος και η θερμική αντίσταση του ρουχισμού του ατόμου και τέλος γ) η ηλικία, το φύλο και οι συνήθειες ενός ατόμου. Ο βαθμός θερμικής άνεσης σε έναν κλειστό χώρο αποτιμάται με τους **δείκτες PMV** και **PPD**, ο υπολογισμός των οποίων αποτελεί τμήμα σχετικού διεθνούς προτύπου, του ISO 7730.

Οι παράμετροι άνεσης που μπορούν να διαμορφωθούν και να ελεγχθούν από ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού, είναι η **θερμοκρασία**, η **υγρασία** και η **ταχύτητα** του αέρα στο χώρο. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός συστήματος ή μιας μονάδας κλιματισμού για τη ρύθμιση όλων ή ορισμένων από αυτές τις παραμέτρους έχει άμεση συνάρτηση με τις **ιδιαιτερότητες** της **εφαρμογής** κλιματισμού και με τις **κλιματικές συνθήκες** ενός τόπου σε μια εποχή του έτους. Για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος κλιματισμού λαμβάνονται επίσης υπόψη οι **περιορισμοί** αρχικού και λειτουργικού **κόστους** και **τεχνολογικών** δυνατοτήτων. Για τις βασικές παραμέτρους θερμικής άνεσης που ελέγχονται από ένα σύστημα κλιματισμού έχουν προταθεί **συνιστώμενες** τιμές και έχουν αναπτυχθεί **διαγράμματα** για τη συσχέτισή τους ώστε να ικανοποιείται η αίσθηση της άνεσης.

Στο κεφάλαιο αυτό διαπραγματευθήκαμε επίσης το θερμικό σύστημα του σώματός μας και περιγράψαμε τους τρόπους με τους οποίους το σώμα μας αποβάλλει την αναγκαία θερμότητα (με **μεταφορά**, **ακτινοβολία**, **εξάτμιση** και **αγωγή**) για να διατηρούμε σταθερή τη θερμοκρασία μας και να νιώθουμε άνετα σε συνάρτηση με διάφορες καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες.

Τέλος, παρουσιάστηκαν συνοπτικά ο **σκοπός**, η **αρχή λειτουργίας** και οι

βασικές **τεχνολογικές κατηγορίες** των συστημάτων κλιματισμού-αερισμού καθώς και τα **στοιχεία** ενός **τυπικού κεντρικού** συστήματος κλιματισμού. Αναφερθήκαμε στις απαιτήσεις και διαδικασίες μηχανικού αερισμού των χώρων καθώς και στα συστήματα κλιματισμού α) **μόνο με αέρα** (all-air), β) **μόνο με νερό** (all-water) και γ) **αέρα-νερού** (air-water).



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Σ' έναν εσωτερικό χώρο, τον Ιούλιο, τα 3 από τα 10 άτομα που βρίσκονται εκεί καθισμένα παραπονούνται ότι ζεσταίνονται. Τι μπορούμε να συμπεράνουμε για τις μέσες συνθήκες άνεσης ;
2. Ποιες παραμέτρους θερμικής άνεσης μπορεί να ρυθμίσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού ;
3. Με τι σχετίζεται και τι λαμβάνει υπόψη η επιλογή ενός συστήματος κλιματισμού ;
4. Φαντάσου τον εαυτό σου, μήνα Ιούλιο σε ένα κλειστό κλιματιζόμενο δωμάτιο γραφείου με 18 °C θερμοκρασία αέρα και έστω ότι δεν μπορείς να ρυθμίσεις προς τα πάνω τη θερμοκρασία του αέρα που κλιματίζεται (ψύχεται). Είσαι ελαφρά ντυμένος και περιμένεις εκεί ένα φίλο σου. Δίπλα σου υπάρχουν καπνιστές. Τι μπορείς να κάνεις για να νιώσεις πιο άνετα και υγιεινά, χωρίς να εγκαταλείψεις το δωμάτιο και γιατί ;
5. Να εκτιμήσεις την ταχύτητα του ρεύματος αέρα για να νιώθεις άνετα σε ένα κλειστό χώρο με θερμοκρασία 25 °C, όταν είσαι ελαφρά ντυμένος και δουλεύεις καθιστός στο εργαστήριό σου (δραστηριότητα που ισοδυναμεί με ρυθμό μεταβολισμού M περίπου ίσο με $75 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2 = 87,2 \text{ W/ m}^2$ επιφάνειας σώματος)
6. Προσπάθησε να κατατάξεις ένα μηχάνημα ή σύστημα κλιματισμού που έχεις δει ότι εξυπηρετεί ένα χώρο ή ένα κτίριο που γνωρίζεις σε

μια από τις βασικές κατηγορίες συστημάτων κλιματισμού. Μπορείς να περιγράψεις τη λειτουργία των βασικών στοιχείων του ;

7. Ποια είναι η λειτουργία της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας και ποια της τοπικής κλιματιστικής μονάδας ;

ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ

- 10.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΟΥ «ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ»
- 10.2 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ
- 10.3 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΑΕΡΙΣΜΟΥ
- 10.4 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΛΙΜΑΚΩΝ ΣΤΟΝ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΧΑΡΤΗ
- 10.5 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ
- 10.6 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΟΡΩΝ
- 10.7 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΟΡΩΝ
- 10.8 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να γνωρίζουν τον ορισμό και τις βασικές έννοιες της ψυχομετρίας καθώς και τη λειτουργία του ψυχομετρικού χάρτη.
- ✓ Να εξηγούν τις μεταβολές των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του κλιματιζόμενου αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη και να επιλύουν σχετικά προβλήματα.
- ✓ Να επεξεργάζονται πρακτικά παραδείγματα εφαρμογής του ψυχομετρικού χάρτη σε τυπικές εφαρμογές κλιματισμού.
- ✓ Να περιγράφουν και να αναγνωρίζουν τις ψυχομετρικές μεταβολές στον ψυχομετρικό χάρτη σε τυπικούς τρόπους κλιματισμού χώρων.

10.1 Προσδιορισμός του όρου «Ψυχομετρία»

Ψυχομετρία είναι η διαδικασία του ποσοτικού προσδιορισμού θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του αέρα και χρήσης αυτών των ιδιοτήτων για την ανάλυση των συνθηκών και των μεταβολών της κατάστασης του αέρα σε ένα χώρο. Στην ψυχομετρία, ο αέρας, ή **υγρός αέρας**, είναι το μείγμα δύο τελείων αερίων, του **ξηρού αέρα**, δηλαδή **καθαρού ατμοσφαιρικού** αέρα και των **υδρατμών**.

Η **ποσότητα υδρατμών** στον αέρα κυμαίνεται από το **μηδέν (ξηρός αέρας)** έως ένα **μέγιστο** που εξαρτάται από τη **θερμοκρασία** και την **πίεση** του ατμοσφαιρικού αέρα σε διάφορους γεωγραφικούς τόπους, ύψη από το επίπεδο της θάλασσας και κλιματικές συνθήκες. Στο μέγιστο αυτό, μιλάμε για κατάσταση **κορεσμού**, δηλαδή για ισορροπία μεταξύ του υγρού αέρα και των αιωρούμενων συμπυκνωμάτων νερού. Οι συνθήκες αναλύσεις της ψυχομετρίας που αφορούν το επίπεδο της θάλασσας, αναφέρο-

νται σε βαρομετρική πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα ίση με 101,325 kPa.

Για τη συσχέτιση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων και την ανάλυση των μεταβολών του αέρα σε μια εφαρμογή κλιματισμού και αερισμού χρησιμοποιούνται με ασφάλεια οι αναλυτικές μαθηματικές σχέσεις που χαρακτηρίζουν τα **τέλεια αέρια**, σύμφωνα και με τα όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3 και εναλλακτικά οι αντίστοιχες γραφικές απεικονίσεις της συσχέτισης των ιδιοτήτων του αέρα που ονομάζονται **ψυχρομετρικά διαγράμματα** ή **ψυχρομετρικοί χάρτες**. Η χρήση ενός ψυχρομετρικού χάρτη εξασφαλίζει το **συντομότερο καθορισμό** της κατάστασης του αέρα, αφού η αναλυτική προσέγγιση χαρακτηρίζεται από πολύπλοκους υπολογισμούς.

Για την κατανόηση των ψυχρομετρικών μεταβολών της κατάστασης του αέρα σε ένα χώρο θα αναλυθούν παρακάτω οι βασικοί ψυχρομετρικοί όροι της θερμοκρασίας και της υγρασίας καθώς και οι όροι της θερμότητας που παράγεται στις διάφορες καταστάσεις του αέρα.

10.2 Ψυχρομετρικοί όροι θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα

Η υγρασία γενικότερα είναι ένας όρος, ο οποίος δηλώνει την παρουσία **υδρατμών** μέσα στη μάζα του αέρα. Η ποσότητα της υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας μέσα στη μάζα του είναι, όπως είπαμε, ανάλογη της θερμοκρασίας και της πίεσής του.

Επομένως όσο **θερμότερος** είναι ο αέρας, τόσο **μεγαλύτερη** ποσότητα υγρασίας μπορεί να συγκρατήσει στη μάζα του, ενώ αντίθετα όσο **ψυχρότερος** είναι ο αέρας τόσο **λιγότερη** υγρασία μπορεί να συγκρατήσει.

Δίνονται παρακάτω αναλυτικά οι ορισμοί των ψυχρομετρικών όρων της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα.

A. Ψυχρομετρικοί όροι θερμοκρασίας

- **Θερμοκρασία ξηρού βολβού (Dry bulb temperature), T_{DB} (°C)**, ή διαφορετικά **θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου** ονομάζεται η θερμοκρασιακή ένδειξη κοινού υδραργυρικού θερμομέτρου τοποθετημένου σε μάζα-ρεύμα αέρα.
- **Θερμοκρασία υγρού βολβού (Wet Bulb temperature), T_{WB} (°C)**, ή διαφορετικά **θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου** είναι η θερμοκρασία που δείχνει ένα κοινό υδραργυρικό θερμόμετρο, όταν ο θάλαμος-βολβός υδραργύρου του **περιτυλίγεται** από ένα **υγρό** (από απο-

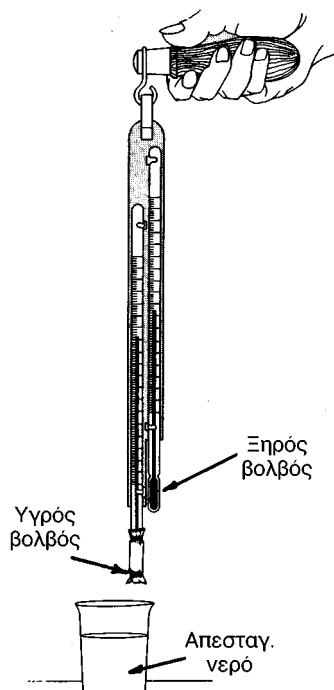
σταγμένο **νερό**) **θαμβακερό κομμάτι ύφασμα**, το οποίο βρίσκεται υπό την επίδραση ρεύματος αέρα. Η ροή του αέρα εξασφαλίζει **εξάτμιση** του νερού στο θαμβακερό ύφασμα, ενώ παράλληλα η ένδειξη που φέρει το περιτυλιγμένο θερμόμετρο είναι χαμηλότερη από εκείνη του κοινού ξηρού θερμομέτρου (χωρίς την περιτύλιξη υγρού υφάσματος) κατά ένα ποσό ανάλογο με το περιεχόμενο του αέρα σε υγρασία.

Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η διαφορά μεταξύ της ένδειξης του υγρού και του κοινού θερμομέτρου, θα αναφερθούμε στο πείραμα που λαμβάνει χώρα κατά την πτώση της θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία ξηρού βολβού ενός χώρου ως τη θερμοκρασία υγρού βολβού.

Παίρνουμε μια διάταξη δύο κοινών θερμομέτρων υδραργύρου (Σχήμα 10.1) και την τοποθετούμε μέσα σε ένα χώρο όπου υπάρχει και σχετικό ρεύμα αέρα. Παρατηρούμε ότι η ένδειξη και στα δύο θερμόμετρα είναι η ίδια. Στη συνέχεια, περιτυλίγουμε με ένα βρεγμένο θαμβακερό ύφασμα το βολβό ενός από τα δύο θερμόμετρα, τοποθετούμε ξανά τα θερμόμετρα στο ρεύμα αέρα του χώρου και παρατηρούμε τις ενδείξεις και των δύο θερμομέτρων. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του περιτυλιγμένου θερμομέτρου κατεβαίνει και μετά από μικρό χρονικό διάστημα σταματά σε κάποιο σημείο. Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό ονομάζεται θερμοκρασία υγρού βολβού.

Το παραπάνω φαινόμενο λαμβάνει χώρα, γιατί ο αέρας που περνάει από το βρεγμένο ύφασμα του βολβού προκαλεί την εξάτμιση μέρους του νερού, οπότε η λανθάνουσα θερμότητα για την εξάτμιση της μάζας του νερού που αφαιρείται από το βρεγμένο περιτυλιγμένο ύφασμα έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη του βολβού και κατά συνέπεια την πτώση της θερμοκρασίας.

Όσο συνεχίζεται η εξάτμιση του νερού γύρω από το βολβό του θερμομέτρου τόσο η ένδειξη του θερμομέτρου θα μειώνε-



Σχήμα 10.1 Η διάταξη θερμομέτρων ξηρού και υγρού βολβού

ται. Η εξάτμιση θα σταματήσει όταν ο αέρας που περνάει από το βρεγμένο ύφασμα περιέχει τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα υγρασίας.

Επομένως, όσο **ξηρότερος** είναι ο αέρας του χώρου τόσο **περισσότερο** και **ταχύτερα** θα **κατεβαίνει** η **θερμοκρασία** του **υγρού θερμομέτρου**.

Στο παραπάνω πείραμα πρέπει να σημειωθεί ότι αν το ρεύμα αέρα δεν είναι ικανό για να ξεκινήσει η εξάτμιση του νερού του περιτυλίγματος, περιστρέφουμε εναλλακτικά το θερμομέτρο μέσα στο χώρο και μετράμε τη θερμοκρασία για χρονικό διάστημα 2 έως 3 min.

- **Θερμοκρασία υγροποίησης** του αέρα ή **σημείο δρόσου** t_d ή T_{DP} (°C) ονομάζεται η θερμοκρασία κατά την οποία αρχίζει η **υγροποίηση** των υδρατμών μέσα στη μάζα του και η αποβολή της υγρασίας υπό μορφή σταγόνων νερού (**συμπύκνωση** υδρατμών).

Όσο **μεγαλύτερη** είναι η ποσότητα υδρατμών που περιέχονται στον αέρα τόσο **μεγαλύτερη** είναι και η θερμοκρασία υγροποίησής τους ή διαφορετικά η θερμοκρασία του σημείου δρόσου.

Γνωρίζοντας τη θερμοκρασία ξηρού βολβού καθώς και τη θερμοκρασία υγρού βολβού μπορεί να βρεθεί και το σημείο δρόσου του αέρα με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη, η περιγραφή του οποίου γίνεται στην παράγραφο 10.3.

B. Ψυχομετρικοί όροι υγρασίας

- **Λόγος υγρασίας (humidity ratio), W (kg υδρατμού/kg ξηρού αέρα)** ονομάζεται το πηλίκο της μάζας-ποσότητας υδρατμού προς την ποσότητα του **ξηρού** αέρα.
- **Ειδική υγρασία (specific humidity), q_w (kg υδρατμού/kg υγρού αέρα)** ονομάζεται το πηλίκο της μάζας-ποσότητας υδρατμού προς τη συνολική ποσότητα του **υγρού** αέρα (δηλαδή του αθροίσματος της ποσότητας ξηρού αέρα και της ποσότητας υδρατμών).
- **Λόγος υγρασίας κορεσμού (saturation humidity ratio), $W_{s(t,p)}$ (kg υδρατμού/kg ξηρού αέρα)** είναι ο λόγος υγρασίας του κορεσμένου αέρα στην ίδια θερμοκρασία και πίεση.
- **Βαθμός κορεσμού (degree of saturation), μ** ονομάζεται το αδιάστατο πηλίκο του λόγου υγρασίας προς το λόγο υγρασίας κορεσμού.
- **Σχετική υγρασία του αέρα, ϕ (%)** ονομάζεται ο λόγος του μοριακού

κλάσματος υδρατμού που περιέχεται στον υγρό αέρα προς το μοριακό κλάσμα υδρατμού που περιέχει ο κορεσμένος αέρας (το οποίο αντιστοιχεί στο μέγιστο ποσό γραμμομορίων υδρατμού) στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Για παράδειγμα ο αέρας με σχετική υγρασία 40 έχει 40% της μέγιστης ποσότητας γραμμομορίων υδρατμού που θα μπορούσε να έχει σε αυτή τη θερμοκρασία και πίεση.

Για τους ψυχομετρικούς όρους της υγρασίας ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις :

$$W = M_w / M_a = 0,62198 \times (x_w/x_a) \quad (10.1)$$

$$q_w = M_w / (M_w + M_a) = W / (1 + W) \quad (10.2)$$

$$\Phi = x_w / x_{ws(t,p)} \quad (10.3)$$

$$\mu = W / W_{s(t,p)} = \Phi / [1 + (1 - \Phi) W_s / 0,62198] \quad (10.4)$$

όπου :

M_w , M_a : η μάζα των υδρατμών και του ξηρού αέρα αντίστοιχα (kg)

x_w , x_{ws} : τα μοριακά κλάσματα των υδρατμών και των υδρατμών σε κατάσταση κορεσμού αντίστοιχα

(όπου $x_w = n_w/n_{αέρα} = n_w/(n_a+n_w) = P_w/(P_a+P_w)$ και

$x_{ws} = n_{ws}/n_{αέρα s} = n_{ws}/(n_a+n_{ws}) = P_{ws}/(P_a+P_{ws})$)

με : n τον αριθμό γραμμομορίων (moles) και P τη μερική πίεση

ξηρού αέρα (a), υδρατμών (w) και υδρατμών κορεσμού (ws)

0,62198 : ο λόγος του μοριακού βάρους του νερού προς το μοριακό βάρος του ξηρού αέρα = (18,01528 / 28,9645).

10.3 Ψυχομετρικός Χάρτης. Εφαρμογή σε συστήματα κλιματισμού-αερισμού

Ο **ψυχομετρικός χάρτης** ή **ψυχομετρικό διάγραμμα** είναι, όπως αναφέρθηκε και εισαγωγικά, μία **γραφική απεικόνιση** των θερμοδυναμικών-ψυχομετρικών ιδιοτήτων του αέρα καθώς και των σχέσεων μεταξύ τους. Στις αναλύσεις των εφαρμογών κλιματισμού έχει εδραιωθεί η χρήση του ψυχομετρικού χάρτη της **American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers**, της γνωστής **ASHRAE** (όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα 10.1 έως 10.7 της επόμενης παραγράφου 10.4).

Η σπουδαιότητα του ψυχομετρικού χάρτη στις διεργασίες του κλιματισμού είναι μεγάλη, γιατί γνωρίζοντας μόλις δύο χαρακτηριστικά ψυχομετρικά στοιχεία του ατμοσφαιρικού αέρα μπορούν να υπολογισθούν όλα τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα, γνωρίζοντας τις θερμοκρασίες ξηρού και υγρού βολβού, μπορούν να προσδιορισθούν, με τη βοήθεια του χάρτη, στοιχεία που έχουν σχέση με την περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία, ενώ παράλληλα μπορεί να υπολογισθεί η θερμοκρασία υγροποίησης (σημείο δρόσου) καθώς και η απαιτούμενη **αισθητή** ή **λανθάνουσα θερμότητα** για μια μεταβολή της κατάστασης του αέρα.

Στην ψυχομετρία, οι έννοιες της **αισθητής** και **λανθάνουσας θερμότητας** όπως αυτές αναπτύχθηκαν γενικά στην παράγραφο 2.5, αναφέρονται στα εξής :

- **Αισθητή θερμότητα (J)** είναι η θερμότητα που μεταβάλλει τη θερμοκρασία του αέρα χωρίς να αλλάζει το περιεχόμενό του σε υγρασία.
- **Λανθάνουσα θερμότητα** ή **θερμότητα ατμοποίησης (J)** είναι η θερμότητα που χρειάζεται για τη μεταβολή μιας ποσότητας του νερού σε υδρατμό, **χωρίς να μεταβληθεί η θερμοκρασία ή η πίεση** του αέρα.

Ως παράδειγμα μπορεί να δοθεί η κατσαρόλα μέσα στην οποία βράζει νερό. Όταν το νερό ατμοποιείται, απορροφά θερμότητα η οποία γίνεται λανθάνουσα θερμότητα. Αντίθετα, όταν ο ατμός συμπυκνώνεται, απελευθερώνεται η λανθάνουσα θερμότητα αποδίδοντας αισθητή θερμότητα. Ο άνθρωπος απελευθερώνει λανθάνουσα θερμότητα, ιδιαίτερα όταν φθάνει σε κατάσταση εφίδρωσης.

Το άθροισμα των δύο παραπάνω μορφών θερμότητας ονομάζεται **ολική θερμότητα**. Η **ολική θερμότητα ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα (J/kg**

ξηρού αέρα) ονομάζεται ολική **ενθαλπία** και η τιμή της υπολογίζεται από τον ψυχομετρικό χάρτη γνωρίζοντας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δύο χαρακτηριστικά στοιχεία του αέρα.

Εκτός από τις παραπάνω μεταβολές, είναι σημαντικό να περιγραφεί και ένα άλλο μέγεθος που δίνεται ή υπολογίζεται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη, ο ειδικός όγκος :

Ειδικός όγκος είναι ο όγκος του **υγρού αέρα** ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα και εκφράζεται σε **m³/kg ξηρού αέρα**.

$$v = V / M_a \quad (10.5)$$

Επιπλέον, ο **λόγος υγρασίας**, που αναπτύχθηκε πιο πάνω, δηλαδή η μάζα του νερού που περιέχεται σε 1 kg ξηρού αέρα υπό μορφή υδρατμών, συναντάται στους ψυχομετρικούς χάρτες σε μονάδες **gr νερού/kg ξηρού αέρα**.

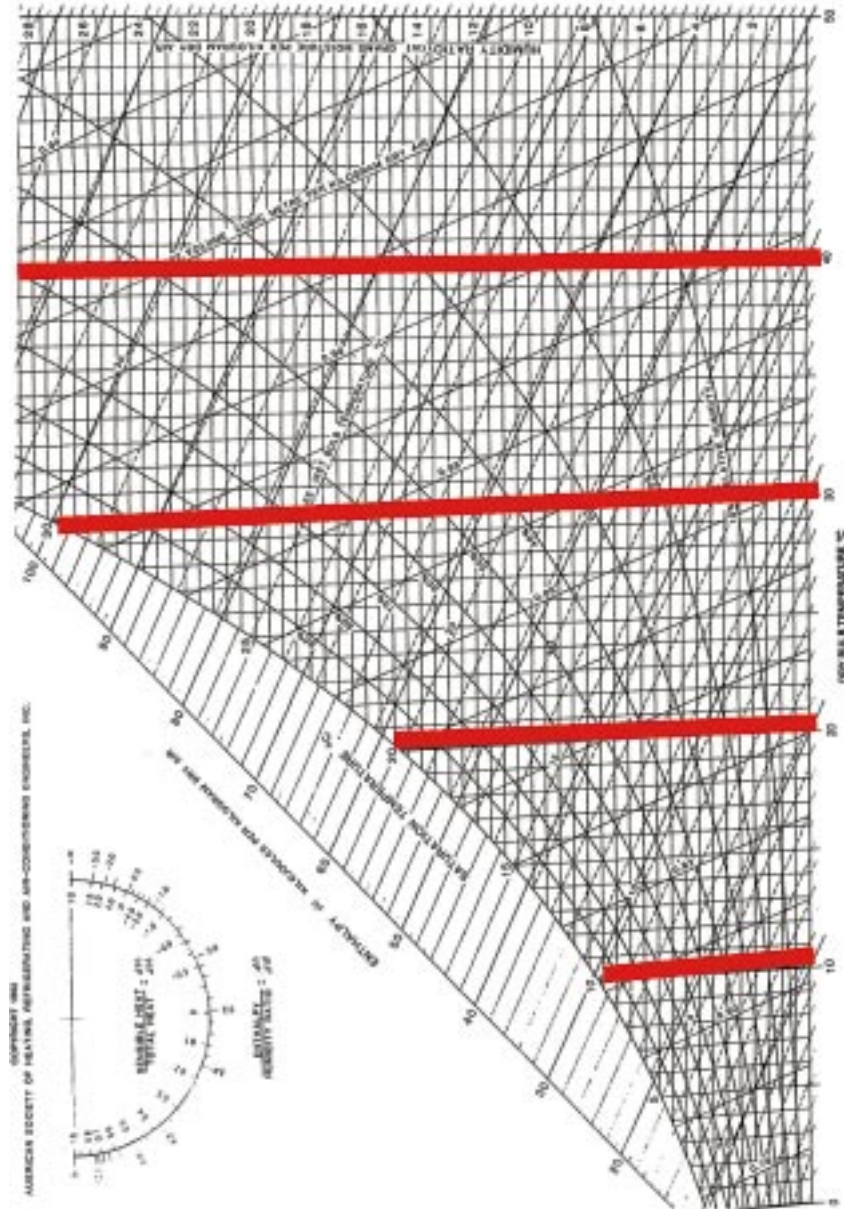
Η χρήση του ψυχομετρικού χάρτη λαμβάνει χώρα για την κατανόηση των διεργασιών μεταβολής της κατάστασης του αέρα σε όλα τα συστήματα κλιματισμού. Η διαδικασία κλιματισμού του αέρα μπορεί να έχει ως στόχο την αύξηση της θερμοκρασίας (**θέρμανση**) ή τη μείωση της θερμοκρασίας (**ψύξη**) του αέρα και κατά συνέπεια του κλιματιζόμενου χώρου. Η διαδικασία της θέρμανσης **προσθέτει αισθητή θερμότητα** στο χώρο, ενώ η διαδικασία της ψύξης **αφαιρεί αισθητή θερμότητα**, μέσω εναλλακτών θερμότητας, των λεγόμενων **θερμαντικών** και **ψυκτικών στοιχείων** αντίστοιχα. Όταν ο αέρας δεν έχει την απαραίτητη ποσότητα υγρασίας, τότε προστίθεται υγρασία μέσω της κλιματιστικής συσκευής στον αέρα. Η διαδικασία **ύγρυνσης** του αέρα λαμβάνει χώρα με **προσθήκη λανθάνουσας θερμότητας** μέσω ενός στοιχείου που λέγεται **υγρυντήρας** και αποτελεί στοιχείο μιας κεντρικής κλιματιστικής μονάδας.

Παράλληλα όμως είναι σημαντική η χρήση του ψυχομετρικού χάρτη για τον καθορισμό των συνθηκών του αέρα που προκύπτει από την **ανάμειξη** του **κλιματιζόμενου** αέρα με τον αέρα του **εξωτερικού περιβάλλοντος**, ή αλλιώς το **νωπό** αέρα. Η διαδικασία ανάμειξης στην πλειοψηφία των κλιματιστικών μονάδων, λαμβάνει χώρα σε ειδικές διατάξεις που ονομάζονται **κιβώτια μείξης**. Στις περισσότερες εφαρμογές του κλιματισμού, η ανανέωση του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου, μέσω της ανάμειξης με ποσότητα νωπού αέρα, είναι επιτακτική κυρίως για λόγους υγιεινής.

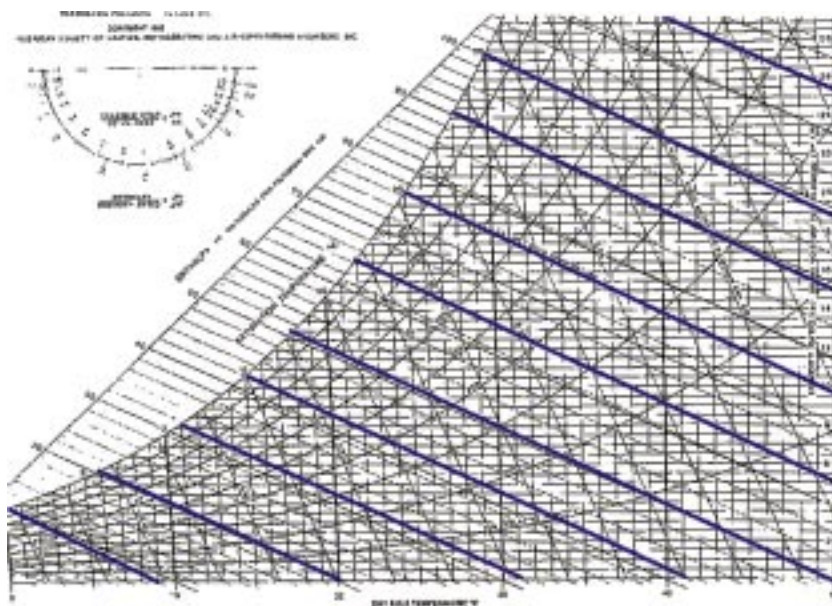
10.4 Αναγνώριση κλιμάκων στον ψυχομετρικό χάρτη

Σε σχέση με τη εφαρμογή του ψυχομετρικού χάρτη στις αναλύσεις μας, πρέπει να είμαστε σε θέση να αναγνωρίζουμε καταρχήν τα βασικά στοιχεία της διάταξής του. Αυτά είναι τα εξής :

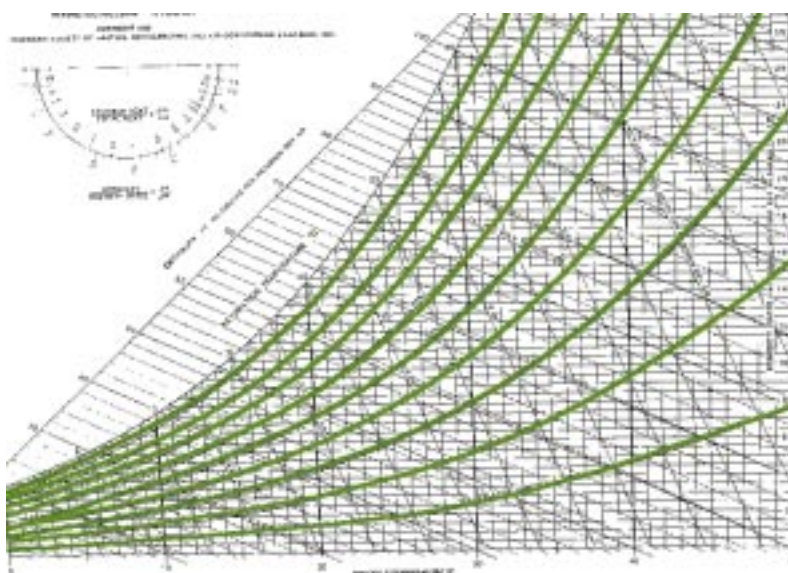
- Οι γραμμές της **θερμοκρασίας ξηρού** βολβού-θερμομέτρου είναι **κατακόρυφες ευθείες** και η κλίμακά τους βρίσκεται στον κάτω οριζόντιο άξονα του ψυχομετρικού χάρτη (Διάγραμμα 10.1).
- Οι γραμμές της **θερμοκρασίας υγρού** βολβού-θερμομέτρου είναι **πλάγιες ευθείες** που σχηματίζουν αμβλεία γωνία με τον κάτω οριζόντιο άξονα των θερμοκρασιών ξηρού θερμομέτρου, που «βλέπει» τον κατακόρυφο άξονα των λόγων υγρασίας (Διάγραμμα 10.2).
- Οι γραμμές της **σχετικής υγρασίας** είναι **καμπύλες**, οι οποίες έχουν γωνία κλίσης μικρότερη από αυτή της καμπύλης κορεσμού (100% σχετική υγρασία) (Διάγραμμα 10.3).
- Οι γραμμές του **ειδικού όγκου** είναι **πλάγιες ευθείες** οι οποίες σχηματίζουν αμβλεία γωνία, μικρότερης κλίσης σε σχέση με αυτή των ευθειών υγρού βολβού, με τον κάτω οριζόντιο άξονα των θερμοκρασιών ξηρού θερμομέτρου, που «βλέπει» τον κατακόρυφο άξονα των λόγων υγρασίας (Διάγραμμα 10.4).
- Οι γραμμές της **ολικής ενθαλπίας** είναι **πλάγιες ευθείες** οι οποίες ξεκινούν από τον αριστερό πλάγιο άξονα των ενθαλπιών, που προσδιορίζει τη σχετική κλίμακα τιμών και καταλήγουν τέμνοντας άλλες το δεξιό κατακόρυφο άξονα και άλλες τον κάτω οριζόντιο άξονα (Διάγραμμα 10.5).
- Οι γραμμές του **λόγου υγρασίας** είναι **οριζόντιες ευθείες**, οι τιμές των οποίων δίνονται από το **δεξιό κατακόρυφο άξονα** του χάρτη (Διάγραμμα 10.6).
- Οι γραμμές της **θερμοκρασίας υγροποίησης-σημείου δρόσου** είναι **κατακόρυφες ευθείες**, οι τιμές των οποίων προσδιορίζονται από την τομή με την καμπύλη κορεσμού.



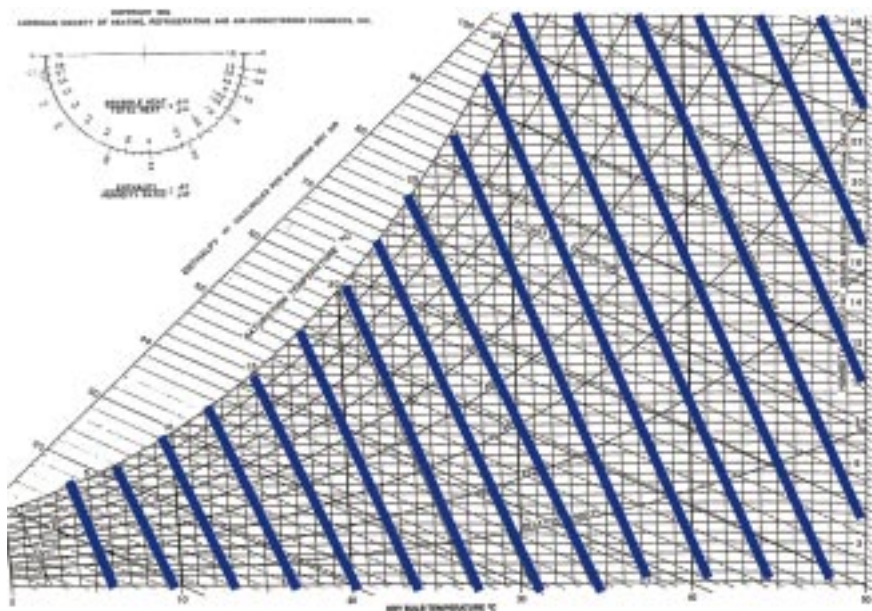
Διάγραμμα 10.1 Ευθείες θερμοκρασίας ξηρού βολβού



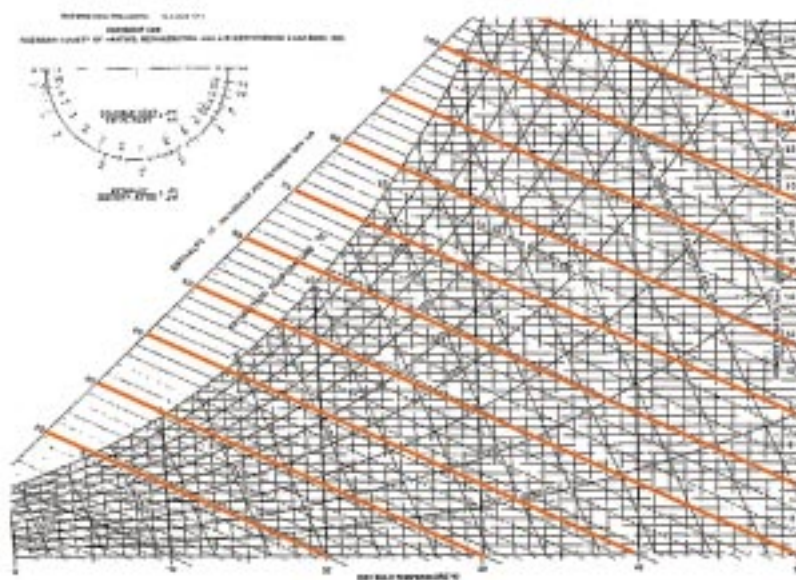
Διάγραμμα 10.2 Ευθείες θερμοκρασίας υγρού βολβού



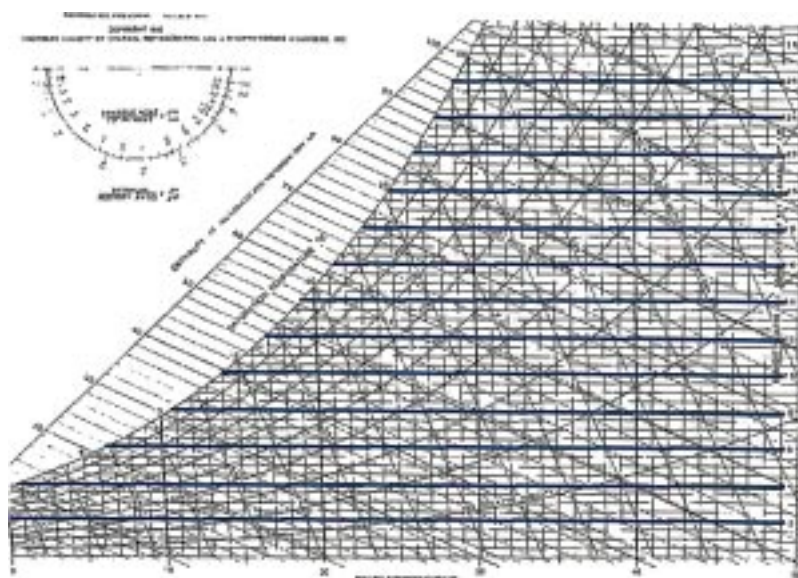
Διάγραμμα 10.3 Καμπύλες σχετικής υγρασίας



Διάγραμμα 10.4 Ευθείες ειδικού όγκου



Διάγραμμα 10.5 Ευθείες ολικής ενθαλπίας



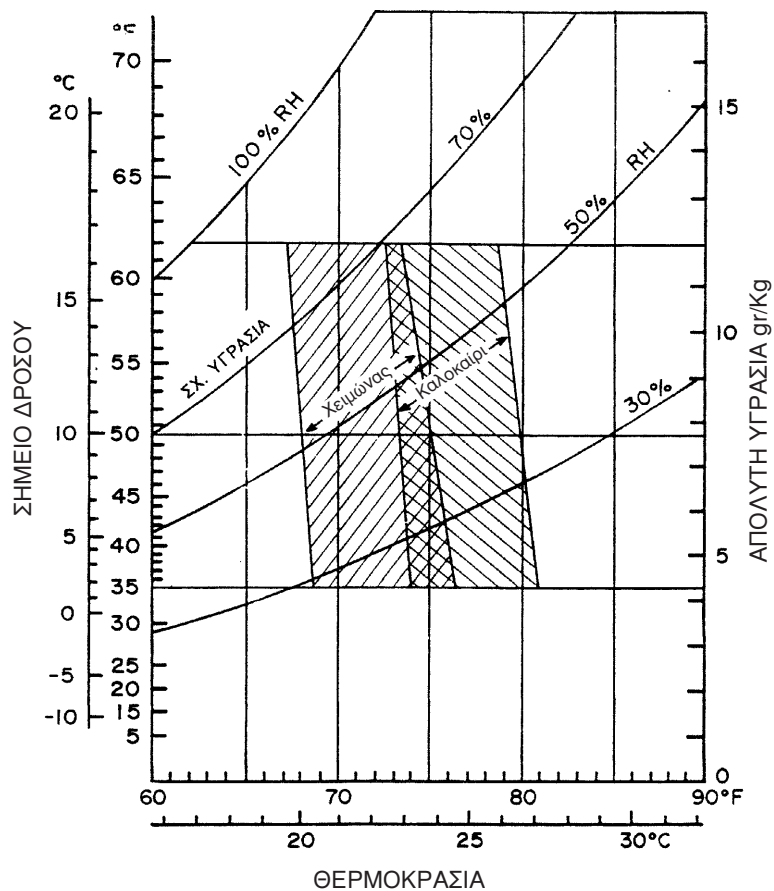
Διάγραμμα 10.6 Ευθείες λόγου υγρασίας

Τα διαγράμματα 10.1 έως και 10.6 αφορούν ψυχομετρικό χάρτη που αναφέρεται σε ψυχομετρικές αναλύσεις στο **επίπεδο της θάλασσας** και για **θερμοκρασίες ξηρού βολβού από 0-50 °C**. Υπάρχουν όμως και ψυχομετρικοί χάρτες που παρέχουν πληροφορίες για τις ιδιότητες του υγρού αέρα σε διάφορα υψόμετρα από το επίπεδο της θάλασσας άρα και σε μικρότερες από τη συνήθη βαρομετρικές πιέσεις και θερμοκρασίες του ατμοσφαιρικού αέρα (π.χ. για 500m με πίεση 95,461 kPa, για 1500m με πίεση 89,875 kPa κ.τ.λ.)

10.5 Επίλυση προβλημάτων με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη

Η χρήση του ψυχομετρικού χάρτη βοηθά στην επίλυση των προβλημάτων που δημιουργούνται στους κλιματιζόμενους χώρους σε σχέση με την επίτευξη συνθηκών **θερμικής άνεσης** και επομένως, στη συνέχεια, την ορθή **διαστασιολόγηση** των κλιματιστικών συσκευών. Ο αέρας πρέπει να προσάγεται κατάλληλα επεξεργασμένος από την εγκατάσταση κλιματισμού στους κλιματιζόμενους χώρους και αναμειγνυόμενος με τον αέρα

του χώρου να διαμορφώνει τις κατάλληλες συνθήκες εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας, οι οποίες θα πρέπει να ανήκουν μέσα στα όρια θερμικής άνεσης, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 9. Στον ψυχομετρικό χάρτη του Διαγράμματος 10.7 αποτυπώνεται **γραμμοσκιασμένη η επιφάνεια μέσα** στην οποία κάθε **σημείο** συνδυασμού ψυχομετρικών όρων αντιπροσωπεύει συνθήκες **θερμικής άνεσης**, σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE.



Διάγραμμα 10.7 Ψυχομετρικός χάρτης με τις ζώνες θερμικής άνεσης

Επομένως, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις συνθήκες του αέρα του χώρου ανά πάσα στιγμή, ώστε σε περίπτωση απόκλισης από τις επιθυμητές συνθήκες να γίνεται στην πράξη ρύθμιση, συνήθως μέσω μιας κλιματιστικής μονάδας, για την αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας αυτού.

Όταν ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος με συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας αναμειγνύεται με τον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος (ή με τον ανακυκλοφορούντα αέρα) συγκεκριμένων συνθηκών, οι οποίες βρίσκονται από τον ψυχομετρικό χάρτη (όταν είναι γνωστές δύο παράμετροι), τότε δημιουργείται αέρας, τα χαρακτηριστικά του οποίου εξαρτώνται από το ποσοστό ανάμειξης του εξωτερικού με το νωπό αέρα. Η εισαγωγή του νωπού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον ρυθμίζεται στην πράξη από ειδικά **διαφράγματα** (ντάμπερς), τα οποία αυξομειώνουν την **ενεργό διατομή του αεραγωγού** όπου τοποθετούνται ανάλογα με τις ανάγκες του κλιματιζόμενου χώρου σε οξυγόνο.

Στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις **μικρών** απαιτήσεων, τα διαφράγματα του νωπού αέρα κινούνται συνήθως με το χέρι, ενώ αντίθετα στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις **ειδικών** απαιτήσεων, τα διαφράγματα κινούνται με **ωθητήρες-κινητήρες**, οι οποίοι ενεργοποιούνται από **αισθητήρια** που μετρούν τις συνθήκες του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου και μεταδίδουν αυτές τις μετρήσεις σε **αυτόματους ελεγκτές**. Έτσι, στην περίπτωση που η θερμοκρασία ή η υγρασία του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου δεν ανήκουν μέσα στα επιτρεπτά όρια, τότε ο αυτόματος ελεγκτής δίνει εντολή είτε να ανοίξουν όλα τα διαφράγματα ώστε να εισέλθει στο χώρο νωπός αέρας είτε να αυξηθεί η θερμοκρασία με παράλληλη **ύγρανση** (μέσω της εγκατάστασης στις κλιματιστικές μονάδες **υγραντήρων ψεκασμού** σταγονιδίων νερού) είτε τέλος να μειωθεί η θερμοκρασία με παράλληλη αφύγρανση. Είναι αυτονόητο ότι, όση ποσότητα νωπού αέρα εισέλθει σε ένα χώρο τόση ποσότητα αέρα του χώρου πρέπει να βγει προς το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, πρέπει να επιδιώκεται ο εξερχόμενος αέρας να είναι λιγότερος από τον εισερχόμενο, ώστε να μη δημιουργείται υπερπίεση.

10.6 Όργανα ψυχομετρικών όρων

A. Μέτρηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού

Η θερμοκρασία ξηρού βολβού λαμβάνεται είτε από **κοινά υδραργυρικά** θερμόμετρα είτε από σύγχρονα **φορητά ηλεκτρονικά** θερμόμετρα (μπαταρίας με ψηφιακή οθόνη, για την ανάγνωση του μεγέθους της θερμοκρασίας). Τα τελευταία αποτελούνται από το κυρίως καταγραφικό και το αι-

σθητήριο, το οποίο είναι ένα θερμοστοιχείο, δηλαδή ένα ζεύγος δύο διαφορετικών μεταλλικών ελασμάτων συγκολλημένων μεταξύ τους σε δύο σημεία. Η μέτρηση λαμβάνεται με τη δημιουργία **θερμοηλεκτρικής τάσης** που είναι **ανάλογη** με τη **διαφορά θερμοκρασίας** στις δύο άκρες των μετάλλων του θερμοστοιχείου. Σημειώνεται ότι τα ηλεκτρονικά θερμόμετρα δέχονται γενικά ποικιλία θερμοζευγών ανάλογα με το απαιτούμενο εύρος θερμοκρασιών.

Εκτός από τα παραπάνω, στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις, όπου προβλέπεται αυτόματος έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας, ελέγχεται η θερμοκρασία προσαγωγής του αέρα στο χώρο καθώς και η θερμοκρασία του χώρου ή/και του περιβάλλοντος με **αισθητήρια** τα οποία μεταδίδουν τα σήματα των μετρήσεων σε ελεγκτές, ωθητήρες και διακόπτες για διορθωτικές εντολές ελέγχου.

B. Μέτρηση της θερμοκρασίας υγρού βολβού

Η θερμοκρασία υγρού βολβού λαμβάνεται αντίστοιχα είτε από κοινό υδραργυρικό θερμόμετρο στο βολβό του οποίου τυλίγεται **υγρό βαμβακερό πανί** είτε από φορητό ηλεκτρονικό θερμόμετρο με θερμοζεύγος-αισθητήρα θερμοκρασίας υγρού βολβού.

Γ. Μέτρηση της υγρασίας

Η μέτρηση της υγρασίας γίνεται :

- Με το **ψυχρόμετρο**, που στην ουσία είναι ένας συνδυασμός **θερμομέτρου ξηρού και υγρού βολβού** με δύο αισθητήρες θερμοκρασίας, έναν ξηρού και έναν υγρού βολβού με βαμβακερή επένδυση που έχει υγρανθεί με αποστειρωμένο νερό. Η μέτρηση της υγρασίας γίνεται έμμεσα με βάση τη μέτρηση των δύο θερμοκρασιών και γνωρίζοντας τη **θαρομετρική πίεση** του τόπου αναφοράς (ψυχομετρικός χάρτης). Τα ψυχρόμετρα δε χρησιμοποιούνται για θερμοκρασίες μικρότερες των 0 °C και η βαμβακερή επένδυση του αισθητήρα υγρού βολβού χρειάζεται συχνή αντικατάσταση.
- Με **υγρόμετρα** αισθητήρα ρητίνης εναλλαγής ιόντων (**pop type**). Ο αισθητήρας αυτός λειτουργεί με ακρίβεια σε θερμοκρασίες από 5

°C, έως 55 °C έχοντας υψηλή ευαισθησία και γρήγορη απόκριση. Συχνά είναι επενδεδυμένος με μεταλλικό φίλτρο προστασίας από τα στερεά σωματίδια του ρεύματος αέρα και είναι ευαίσθητος στη μεγάλη παραμονή του οργάνου σε περιβάλλον υψηλής υγρασίας.

- Με σύγχρονα **φορητά ψηφιακά πολύμετρα** θερμοκρασίας και υγρασίας (Εικόνα 10.1).



Εικόνα 10.1 Σύγχρονο ψηφιακό πολύμετρο θερμοκρασίας-υγρασίας χώρων

10.7 Πρακτική εφαρμογή των ψυχομετρικών όρων

Με στόχο την κατανόηση των ψυχομετρικών όρων αλλά και τη λειτουργία του ψυχομετρικού χάρτη, θα πραγματευτούμε τα ακόλουθα παραδείγματα. Οι ψυχομετρικές μεταβλητές των καταστάσεων του αέρα από τα παραδείγματα αυτά αποτυπώνονται επάνω στον ψυχομετρικό χάρτη του Διαγράμματος 10.8.

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο

(ενδείξεις κόκκινου χρώματος στο ψυχομετρικό χάρτη)

Ζητούνται να βρεθούν όλα τα ψυχομετρικά χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα με θερμοκρασία ξηρού βολβού 30 °C και σχετική υγρασία 30%.

Όπως ξέρουμε, γνωρίζοντας δύο στοιχεία του αέρα από τον ψυχομετρικό χάρτη είναι δυνατό να υπολογισθούν τα υπόλοιπα. Έτσι, θεωρώντας τον ατμοσφαιρικό αέρα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, βρίσκουμε το σημείο τομής της κατακόρυφης ευθείας που αφορά τη θερμοκρασία ξηρού βολβού των $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ και της καμπύλης της σχετικής υγρασίας 30%. Για το σημείο αυτό, που αφορά την κατάσταση που μας ενδιαφέρει, προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές:

- **Θερμοκρασία υγρού βολβού** = $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Τομή με την ευθεία θερμοκρασίας υγρού βολβού $18\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- **Θερμοκρασία υγροποίησης-σημείο δρόσου** = $10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (χαράσσουμε από το σημείο της κατάστασης οριζόντια ευθεία -παράλληλη προς τον άξονα της θερμοκρασίας ξηρού βολβού με φορά προς την καμπύλη κορεσμού $\phi=100\%$ και προσδιορίζουμε για το σημείο τομής αυτής της ευθείας με την καμπύλη κορεσμού την ένδειξη θερμοκρασίας από τον οριζόντιο άξονα θερμοκρασιών ξηρού βολβού, με τη χάραξη κατακόρυφης ευθείας παράλληλης προς τον άξονα του λόγου υγρασίας).
- **Λόγος υγρασίας** = $8\text{ gr νερού/kg ξηρού αέρα}$ (χαράσσουμε οριζόντια ευθεία που περνάει από το σημείο κατάστασης με φορά προς τον άξονα του λόγου υγρασίας).
- **Ειδικός όγκος** = $0,87\text{ m}^3/\text{kg}$ ξηρού αέρα (βρίσκουμε τις ευθείες των ειδικών ειδικών όγκων μεταξύ των οποίων βρίσκεται το σημείο κατάστασης και στη συνέχεια **με γραμμική παρεμβολή** μεταξύ αυτών υπολογίζουμε την τιμή του ειδικού όγκου του σημείου κατάστασης).
- **Ενθαλπία** = 51 KJ/kg ξηρού αέρα (χαράσσουμε την ευθεία που περνάει από το σημείο με διεύθυνση παράλληλη προς αυτή των ευθειών ενθαλπίας).

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο

(ενδείξεις μπλε χρώματος στον ψυχομετρικό χάρτη)

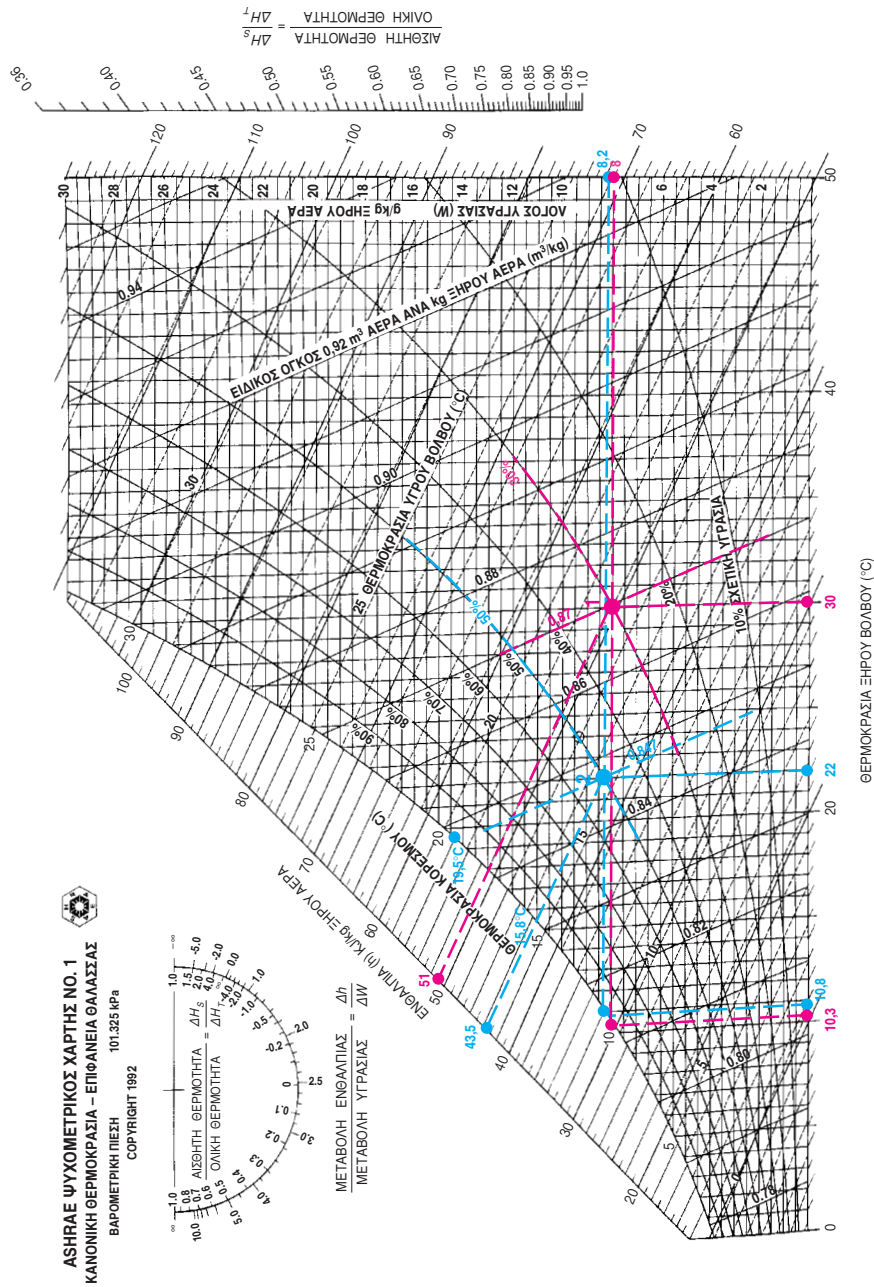
Ζητούνται να βρεθούν όλα τα χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα με θερμοκρασία υγρού βολβού $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία 50%.

Γνωρίζοντας τα δύο παραπάνω στοιχεία του αέρα μπορούν να βρεθούν τα υπόλοιπα με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη. Βρίσκουμε το ση-

μείο τομής της καμπύλης σχετικής υγρασίας 50% με τη (νοητή) ευθεία που παριστάνει τη θερμοκρασία υγρού βολβού και έχει τιμή 15,3 °C. Συγκεκριμένα, βρίσκουμε την ευθεία που παριστάνει τη θερμοκρασία υγρού βολβού των 15 °C καθώς και την ευθεία που παριστάνει τη θερμοκρασία υγρού βολβού των 20 °C και στη συνέχεια πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή, ώστε να βρούμε το σημείο με θερμοκρασία υγρού βολβού 15,3 °C. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές:

- **Θερμοκρασία Ξηρού θολβού** = 22 °C (Τομή με την κατακόρυφη ευθεία θερμοκρασίας Ξηρού βολβού 22 °C).
- **Θερμοκρασία υγροποίησης-σημείο δρόσου** = 10,8 °C (χαράσσουμε οριζόντια ευθεία -παράλληλη προς τον άξονα της θερμοκρασίας Ξηρού βολβού- που περνάει από το σημείο με φορά προς την καμπύλη κορεσμού $\phi=100\%$).
- **Λόγος υγρασίας** = 8,2 gr νερού/kg Ξηρού αέρα (χαράσσουμε την οριζόντια ευθεία που περνάει από το σημείο με φορά προς τον άξονα του λόγου υγρασίας).
- **Ειδικός όγκος** = 0,847 m³/kg Ξηρού αέρα (βρίσκουμε τις ευθείες των ειδικών όγκων μεταξύ των οποίων βρίσκεται το σημείο και στη συνέχεια, με γραμμική παρεμβολή μεταξύ αυτών, υπολογίζουμε την τιμή του ειδικού όγκου του σημείου).
- **Ενθαλπία** = 43,5 KJ/kg Ξηρού αέρα (χαράσσουμε την ευθεία που περνάει από το σημείο με φορά παράλληλη προς τη φορά των ευθειών ενθαλπίας).

Ο ακόλουθος ψυχομετρικός χάρτης αναφέρεται σε εύρη θερμοκρασιών αέρα από 0-50 °C και σε υψόμετρο κοντά στη θάλασσα.



Διάγραμμα 10.9 Παραδείγματα προσδιορισμού μεταβλητών κατάστασης αέρα με τον ψυχομετρικό χάρτη

10.8 Ψυχομετρικές μεταβολές

Ο ψυχομετρικός χάρτης χρησιμοποιείται για την επίλυση πάρα πολλών προβλημάτων που σχετίζονται με τις μεταβολές της κατάστασης του υγρού αέρα, δηλαδή τις διάφορες **ψυχομετρικές μεταβολές**.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διαδικασία κλιματισμού του αέρα έχει ως στόχο τόσο την αύξηση της θερμοκρασίας σε ένα χώρο, δηλαδή τη θέρμανση αυτού, όσο και τη μείωση της θερμοκρασίας του χώρου, δηλαδή την ψύξη αυτού. Η διαδικασία θέρμανσης αφορά την πρόσδοση αισθητής ή/και λανθάνουσας θερμότητας ανάλογα με το αν υπάρχει ή όχι πρόσδοση υγρασίας. Αντίστοιχα, η διαδικασία ψύξης αφορά την αφαίρεση αισθητής θερμότητας ή/και την αφαίρεση υγρασίας. Εκτός από τη θέρμανση και την ψύξη στα συστήματα κλιματισμού, όπως αναφέρθηκε ήδη, υπάρχει και ανάμειξη δύο ή περισσότερων ρευμάτων αέρα διαφορετικών ψυχομετρικών ιδιοτήτων.

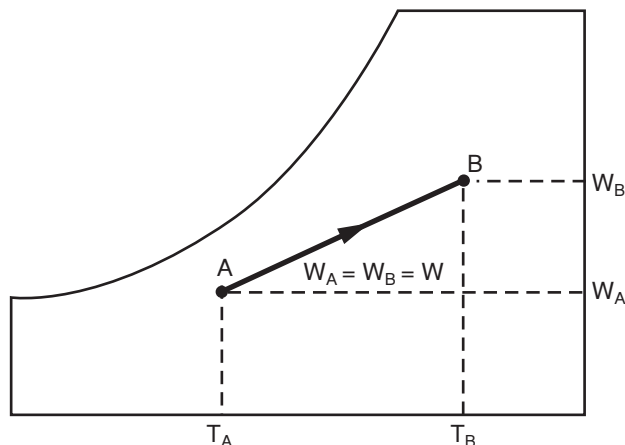
Για την καλύτερη κατανόηση των βασικών ψυχομετρικών μεταβολών ακολουθεί εκτενής περιγραφή τους.

● Θέρμανση του αέρα με ύγρανση

Η **ύγρανση** του αέρα είναι απαραίτητη όταν θέλουμε να εξασφαλίσουμε **άριστες συνθήκες θερμικής άνεσης** στους χώρους διαμονής των ανθρώπων. Αυτό επιτυγχάνεται με την παροχή, μέσω των υγραντήρων μιας κλιματιστικής μονάδας και ενός συστήματος τελικής διανομής, ποσότητας αέρα με **σχετική υγρασία, η οποία να ανήκει στο εύρος 40-55%**, ώστε να υπάρχει **διαρκώς** ατμόσφαιρα ευεξίας στο χώρο. Αν δεν προστεθεί ικανή υγρασία μέσα στη μάζα του αέρα, τότε τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας στο θερμαινόμενο χώρο μπορούν να πέσουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα (<30%) προκαλώντας συνθήκες δυσφορίας, σύμφωνα και με το Διάγραμμα 10.7.

Ο έλεγχος της υγρασίας που προστίθεται στον αέρα πραγματοποιείται από ειδικό υγροστάτη, ο οποίος δίνει εντολή στον υγραντήρα να ξεκινήσει τον ψεκασμό του ψυκτικού στοιχείου. Σημειώνεται ότι ο υγραντήρας βρίσκεται μέσα στην κλιματιστική συσκευή, ενώ αντίστοιχα ο υγροστάτης βρίσκεται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο, ώστε να ελέγχεται η σχετική υγρασία αυτού.

Στο ψυχομετρικό διάγραμμα 10.9 δίνεται η μεταβολή (ευθεία A-B) της θέρμανσης με ταυτόχρονη ύγρανση ενός ρεύματος αέρα από την κατάσταση A στην κατάσταση B, όπου ισχύουν $T_A < T_B$ για τις θερμοκρασίες ξηρού βολβού και $W_A < W_B$ για τους λόγους υγρασίας :



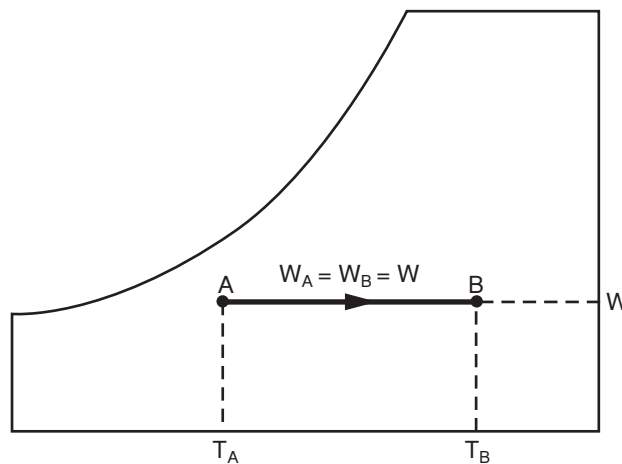
Διάγραμμα 10.9 Θέρμανση και ύγρανση αέρα

• Θέρμανση του αέρα χωρίς ύγρανση

Η θέρμανση χωρίς ύγρανση πραγματοποιείται όταν ο χώρος θερμαίνεται από **ηλεκτρικές αντιστάσεις** ή από άλλες θερμικές πηγές (π.χ. **κοινά θερμαντικά σώματα ακτινοβολίας** ή **τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan coils)**) και όταν ο αέρας έρχεται σε επαφή με θερμότερες-σε σχέση με τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του- επιφάνειες (π.χ. θερμαντικά στοιχεία - εναλλάκτες) χωρίς να προστίθεται υγρασία στον αέρα με κάποιο σύστημα διανομής με υγραντήρα. Αυτό σημαίνει ότι η **μεταβολή του λόγου υγρασίας** του αέρα είναι **μηδενική**, δηλαδή ότι η μεταβολή που εξετάζουμε στον ψυχομετρικό χάρτη κινείται πάνω σε **οριζόντια ευθεία παράλληλη με τον άξονα των θερμοκρασιών ξηρού βολβού**.

Κατά τη μεταβολή αυτή, τα ψυχομετρικά στοιχεία τα οποία διατηρούνται **σταθερά** είναι ο **λόγος υγρασίας του αέρα**, η **λανθάνουσα θερμότητα** αυτού αλλά και η **θερμοκρασία υγροποίησης-σημείο δρόσου**. Αντίθετα, **αυξάνονται** η **ενθαλπία** του αέρα, οι **θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου**, η **αισθητή θερμότητα** (παρατηρείται αύξηση της **ενθαλπίας** κατά τη διάρκεια της μεταβολής) και **ελαττώνεται** η **σχετική υγρασία**. Η πα-

ραπάνω μεταβολή απεικονίζεται στο ψυχομετρικό διάγραμμα 10.10 με την ευθεία A-B από την κατάσταση A στην κατάσταση B, όπου ισχύουν $T_A < T_B$ για τις θερμοκρασίες ξηρού βολβού και $W_A = W_B$ για τους λόγους υγρασίας :

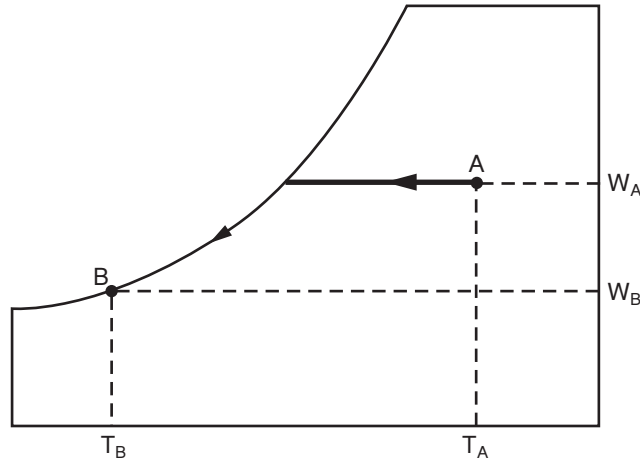


Διάγραμμα 10.10 Θέρμανση χωρίς ύγρανση

● Ψύξη του αέρα με αφύγρανση

Στις κλιματιστικές μονάδες, όταν ένα ρεύμα αέρα ορισμένης κατάστασης περνάει από μια **ψυχρότερη** – σε σχέση με τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του- επιφάνεια ψυκτικού στοιχείου - εναλλάκτη, **ψύχεται διαρκώς** μέχρι το **σημείο δρόσου** του **αυξάνοντας** έτσι τη **σχετική του υγρασία** προοδευτικά μέχρι τον **κορεσμό** (καμπύλη $\phi=100\%$). Στη συνέχεια της μεταβολής, εμφανίζεται **συμπύκνωση** των **υδρατμών** του **κορεσμένου** πλέον αέρα. Τα συμπυκνώματα-σταγονίδια νερού απομακρύνονται –αφού συλλεχθούν- από το ρεύμα και επομένως παρατηρείται **αφύγρανση** του ρεύματος. Κατά την παραπάνω διαδικασία **αποβάλλεται λανθάνουσα θερμότητα** τόση όση απαιτήθηκε για τη συμπύκνωση της υγρασίας του κορεσμένου αέρα.

Η φάση της ψύξης, υγροποίησης και αποβολής της λανθάνουσας θερμότητας από τον αέρα παριστάνεται από τις δύο διαδοχικές γραμμές που συνδέουν τα σημεία A και B στο ψυχομετρικό διάγραμμα 10.11 που δίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



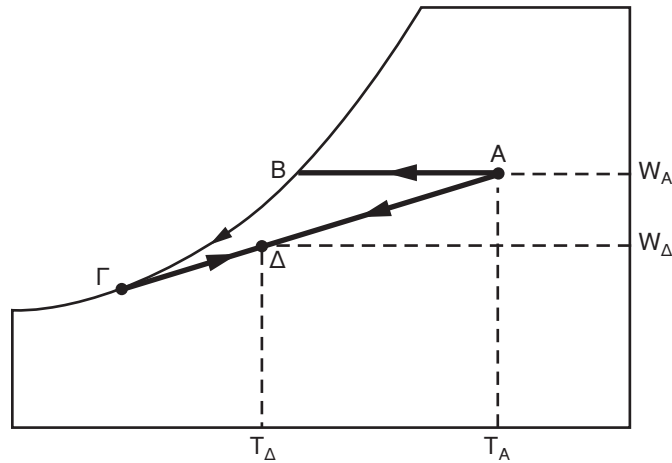
Διάγραμμα 10.11 Ψύξη αέρα με αφύγρανση

Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω μεταβολή είναι **θεωρητική**, δηλαδή δεν λαμβάνει χώρα στην πράξη. Αυτό οφείλεται στο ότι ένα ποσοστό του διερχόμενου από το ψυκτικό στοιχείο αέρα δεν έρχεται σε επαφή με τις σωληνώσεις, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα ανάμειξη του αέρα εισόδου (μέσα στο ψυκτικό στοιχείο) με τον ψυχόμενο αέρα από το ψυκτικό στοιχείο της συσκευής - ο οποίος έχει κορεσθεί από υγρασία - δημιουργώντας νέα ψυχομετρική κατάσταση στον εξερχόμενο αέρα.

Η πραγματική μεταβολή παριστάνεται από τις καμπύλες του ακόλουθου διαγράμματος, στις οποίες:

- A : Παριστάνει την κατάσταση εισόδου του αέρα στο ψυκτικό στοιχείο
- Γ : Παριστάνει το σημείο δρόσου του ψυκτικού στοιχείου (δηλαδή το σημείο από όπου ξεκινάει η υγραποίηση των υδρατμών)
- Δ : Παριστάνει το σημείο εξόδου του αέρα.

Η καμπύλη ΑΔ παριστάνει τη μεταβολή του αέρα που διέρχεται από το ψυκτικό στοιχείο.



Διάγραμμα 10.12 Ψύξη αέρα με αφύγρανση στην πράξη

Εκτός από τις παραπάνω μεταβολές, υπάρχουν και άλλες θεωρητικές μεταβολές, όπως για παράδειγμα η **αδιαβατική ψύξη**, κατά την οποία ο αέρας **διατηρεί την ενθαλπία** του. Η συγκεκριμένη μεταβολή παρατηρείται σε συσκευές που ψύχουν **μικρούς** χώρους και επιτυγχάνεται με την προσθήκη υγρασίας μέσα στη μάζα του αέρα, ο οποίος εξατμίζοντας την υγρασία του, προκαλεί την ψύξη αυτού. Τέλος, μια κοινή ψυχομετρική μεταβολή στον κλιματισμό είναι και η **αδιαβατική ανάμειξη** δύο ρευμάτων αέρα **διαφορετικής ποσότητας-μάζας** και θερμικών ιδιοτήτων (**ενθαλπία, θερμοκρασία, λόγος υγρασίας**). Στο ψυχομετρικό διάγραμμα 10.13 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αυτής της μεταβολής της κατάστασης του αέρα από τα σημεία 1 και 2 στο σημείο 3, το οποίο και **βρίσκεται επί** της ευθείας 1-2 και τη χωρίζει σε δύο τμήματα, τα 1-3 και 2-3 με σχέση μήκους ανάλογη των ακόλουθων λόγων :

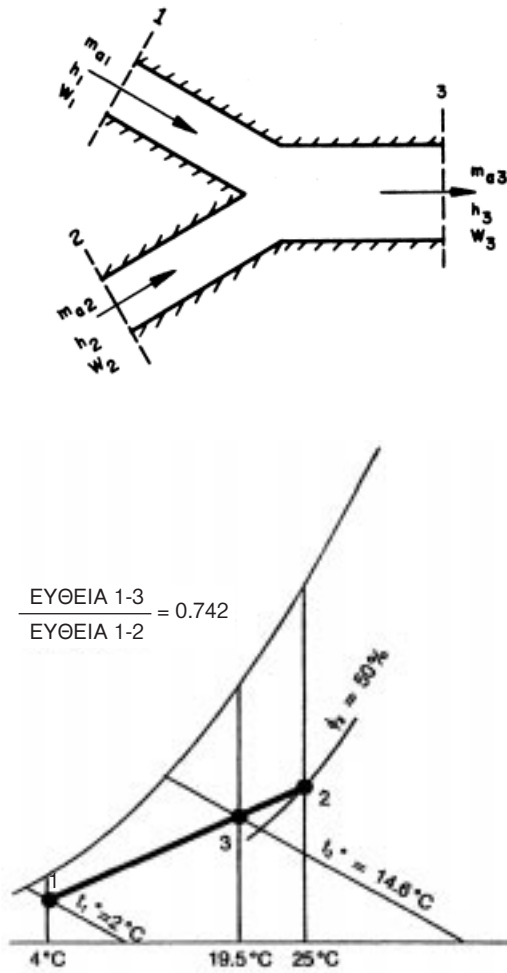
$$(h_2 - h_3) / (h_3 - h_1) = (W_2 - W_3) / (W_3 - W_1) = m_{a1} - m_{a2} \quad (10.5)$$

όπου :

h_i : η ενθαλπία στο σημείο $i = 1, 2, 3$

W_i : ο λόγος υγρασίας στο σημείο $i = 1, 2, 3$

$m_{a1} - m_{a2}$: η μάζα του αέρα στα σημεία 1 και 2.



Διάγραμμα 10.13 Αδιαβατική ανάμειξη δύο ρευμάτων αέρα



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό διαπραγματευθήκαμε τη βασική έννοια της **ψυχρομετρίας** και τους βασικούς **ψυχρομετρικούς όρους** της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα. Επίσης, αναλύσαμε τη χρησιμότητα του **ψυχρομετρικού χάρτη** για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τις θερμοδυναμικές μεταβολές του **υγρού αέρα** σε μια τυπική εφαρμογή κλιματισμού.

Η ψυχρομετρία είναι η διαδικασία του ποσοτικού προσδιορισμού των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του αέρα και της χρήσης αυτών των ιδιοτήτων για την ανάλυση των συνθηκών και των μεταβολών της κατάστασης του αέρα σε ένα χώρο.

Οι βασικοί ψυχρομετρικοί όροι είναι, όσον αφορά τη θερμοκρασία, οι **θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θολθού** και η **θερμοκρασία υγροποίησης** του αέρα (σημείο δρόσου). Όσον αφορά την υγρασία, οι όροι είναι οι **λόγοι υγρασίας** και **υγρασίας κορεσμού**, η **ειδική** και **σχετική υγρασία** και τέλος ο **βαθμός κορεσμού**. Επίσης στην ψυχρομετρία αναφερόμαστε στις έννοιες της **αισθητής** και **λανθάνουσας θερμότητας** (θερμότητας ατμοποίησης) και του **ειδικού όγκου** του υγρού αέρα. Για τη μέτρηση των βασικών ψυχρομετρικών όρων χρησιμοποιούνται κατάλληλα **όργανα**.

Ο ψυχρομετρικός χάρτης ή **ψυχρομετρικό διάγραμμα** είναι μία **γραφική απεικόνιση** των θερμοδυναμικών-ψυχρομετρικών ιδιοτήτων του αέρα καθώς και των σχέσεων μεταξύ τους. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα βασικά στοιχεία της διάταξής του, δηλαδή οι γραμμές των βασικών ψυχρομετρικών όρων. Ο ψυχρομετρικός χάρτης εφαρμόστηκε πρακτικά σε παραδείγματα προσδιορισμού της ψυχρομετρικής κατάστασης του αέρα σε κάποιο σημείο και στα πλαίσια των βασικών **ψυχρομετρικών μεταβολών** (**θέρμανση** και **ύγρανση** αέρα, **ψύξη** και **αφύγρανση** αέρα, **αδιαβατική ανάμειξη** ρευμάτων αέρα).

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

1. Να βρείτε τους ψυχομετρικούς όρους του σημείου με χαρακτηριστικά: Θερμοκρασία ξηρού βολβού $19,5^{\circ}\text{C}$ και Σχετική Υγρασία 60%.
2. Να βρείτε τους ψυχομετρικούς όρους του σημείου με χαρακτηριστικά: Θερμοκρασία υγρού βολβού 14°C και Σημείο υγροποίησης $9,5^{\circ}\text{C}$.
3. Ψύχουμε τον εσωτερικό αέρα ενός χώρου με χαρακτηριστικά: Θερμοκρασία ξηρού βολβού 32°C και σχετική υγρασία 50% χωρίς να προσθέτουμε υγρασία μέχρι τη θερμοκρασία ξηρού βολβού 21°C . Να βρείτε τους υπόλοιπους ψυχομετρικούς όρους του σημείου της αρχικής και τελικής κατάστασης του αέρα, ενώ παράλληλα να γίνει αποτύπωση των δύο σημείων στον ψυχομετρικό χάρτη.
4. Να παραστήσετε στον ψυχομετρικό χάρτη τη θέρμανση χωρίς ύγρανση ενός χώρου με θερμοκρασία ξηρού βολβού 13°C και σχετική υγρασία 40%, ο οποίος θέλει να ανυψώσει τη θερμοκρασία του κατά 7°C .
5. Τι παριστάνει η θερμοκρασία υγρού βολβού ;
6. Πώς μπορείτε να μετρήσετε τη θερμοκρασία υγρού βολβού ενός χώρου;
7. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η χαρτογράφηση των ψυχομετρικών όρων ;

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

- 11.1 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ. ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΑΠΩΛΕΙΩΝ
- 11.2 ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ. ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΕΡΔΩΝ
- 11.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ, ΚΕΡΔΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ
ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ
- 11.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟ ΧΩΡΟ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να εξηγούν τις έννοιες θερμικές απώλειες, θερμικό κέρδος και θερμικό και ψυκτικό φορτίο καθώς και τις σχετικές πηγές και παραμέτρους που τα προκαλούν και που οριοθετούν την ανάγκη για κλιματισμό ενός χώρου.
- ✓ Να εκτιμούν τα θερμικά κέρδη και τα ψυκτικά φορτία ενός χώρου με τη χρήση διαγραμμάτων και πινάκων.
- ✓ Να εφαρμόζουν απλούς κανόνες υπολογισμού του συνολικού φορτίου κλιματισμού και αερισμού σε κατοικίες.

11.1 Θερμικές απώλειες και θερμικό φορτίο κλιματιζόμενου χώρου. Πηγές θερμικών απωλειών

Στις παραγράφους 2.5 και 2.6 αναφερθήκαμε στο μέγεθος της **θερμικής ισχύος** ή αλλιώς της **μεταφερόμενης θερμότητας στη μονάδα του χρόνου**, καθώς και στους **τρόπους μετάδοσης** της θερμότητας. Στις παραγράφους 9.2 και 9.3 αναφερθήκαμε στις **συνθήκες άνεσης** που επιτυγχάνονται με κλιματισμό του αέρα. Κάνοντας αναφορά σε αυτά που ήδη διαπραγματευθήκαμε, μπορούμε να ορίσουμε εδώ τις έννοιες των **θερμικών απωλειών** και του **θερμικού φορτίου** ενός κλιματιζόμενου χώρου.

Θερμική απώλεια είναι η ποσότητα θερμότητας που **αποδίδεται** σε κάθε χρονική στιγμή από ένα χώρο προς το περιβάλλον του με **αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία**, με κάποιο από τους ακόλουθους τρόπους :

- Με μεταβίβαση διαμέσου της επιφάνειας ενός **οικοδομικού στοιχείου** που περικλείει εξωτερικά το χώρο (τοίχοι, παράθυρα, οροφές,

δάπεδα, κολώνες και δοκάρια), λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του χώρου (υψηλότερη) και του αέρα που περιβάλλει το χώρο (χαμηλότερη).

- Με τη **διαφυγή ποσότητας αέρα** από τις **χαραμάδες** των οικοδομικών στοιχείων του χώρου προς/από το περιβάλλον του χώρου.
- Με το **φυσικό ή μηχανικό αερισμό** για την ανανέωση του αέρα του χώρου.

Το μέγεθος των θερμικών απωλειών ενός χώρου, σε συγκεκριμένο κτίριο και για συγκεκριμένη χρήση του χώρου, διαφέρει **από ώρα σε ώρα**, θεωρείται ανάλογο με τη διαφορά θερμοκρασίας χώρου-περιβάλλοντος και εξαρτάται από τη συνεχή διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ταχύτητας του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτίριο σε κάποιο τόπο.

Θερμικό φορτίο ενός κλιματιζόμενου χώρου ονομάζεται το **άθροισμα** των θερμικών απωλειών του χώρου σε κάθε χρονική στιγμή, που καθορίζει το **μέγεθος** της **θερμικής ισχύος** που θα πρέπει να **παρέχει** μια εγκατάσταση ή συσκευή κλιματισμού, ώστε να επιτυγχάνονται **συνθήκες θερμικής άνεσης** στο χώρο και βασικά επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία αέρα.

Η **μέγιστη** τιμή του θερμικού φορτίου ενός χώρου, ή **θερμικό φορτίο σχεδιασμού** απαιτείται να καθοριστεί ως κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης κλιματιστικής συσκευής ή μονάδας ή/και του κατάλληλου συγκροτήματος παραγωγής θερμότητας (λέβητας, αντλία θερμότητας) που θα μπορεί να εξυπηρετεί τις θερμικές ανάγκες του χώρου σε συγκεκριμένες ακραίες **χειμερινές** συνθήκες, τις **συνθήκες σχεδιασμού**. Σε απλές εφαρμογές κλιματισμού, όπου απαιτείται ο καθορισμός του θερμικού φορτίου για τη θέρμανση ενός χώρου, τέτοιες συνθήκες είναι οι θερμοκρασίες του χώρου και του περιβάλλοντος ενός τόπου σε μια τυπική **κρύα** ημέρα του έτους. Παράμετροι για τον προσδιορισμό του θερμικού φορτίου είναι τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των οικοδομικών στοιχείων γύρω από το χώρο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, **πηγές θερμικών απωλειών** ενός κλιματιζόμενου-θερμαινόμενου χώρου είναι τα οικοδομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους, τα ανοίγματα και οι χαραμάδες και τα δίκτυα-συσκευές μηχανικού αερισμού με νωπό εξωτερικό αέρα.

11.2 *Θερμικά κέρδη και ψυκτικό φορτίο κλιματιζόμενου χώρου. Πηγές θερμικών κερδών*

Στον κλιματισμό κατά τη θερινή περίοδο, οπότε και απαιτείται ψύξη του αέρα ενός χώρου για να επιτευχθούν συνθήκες άνεσης, γίνεται **διάκριση** μεταξύ δύο **σχετιζόμενων** αλλά σαφώς **διακεκριμένων** μεγεθών μεταφερόμενης θερμότητας στη μονάδα του χρόνου (θερμικής ισχύος). Αυτά είναι τα **θερμικά κέρδη** και το **ψυκτικό φορτίο** του χώρου αντίστοιχα.

Θερμικό κέρδος είναι γενικά η ποσότητα της θερμότητας που **παράγεται** ή **εισέρχεται** σε ένα χώρο σε κάθε χρονική στιγμή. Τα θερμικά κέρδη ενός χώρου προέρχονται από διάφορες **πηγές**, όπως :

- Πρόσπτωση **ηλιακής ακτινοβολίας** μέσω διαφανών επιφανειών (π.χ. παράθυρα).
- Μεταβίβαση θερμότητας διαμέσου των **εξωτερικών** οικοδομικών στοιχείων (τοιχοί, οροφές, δάπεδα, κολώνες και δοκάρια).
- Μεταβίβαση θερμότητας διαμέσου των **εσωτερικών** οικοδομικών στοιχείων-χωρισμάτων.
- **Παραγωγή θερμότητας** μέσα στο χώρο από ανθρώπους, συσκευές και φωτισμό.
- **Ανανέωση και διείσδυση** του εξωτερικού αέρα.

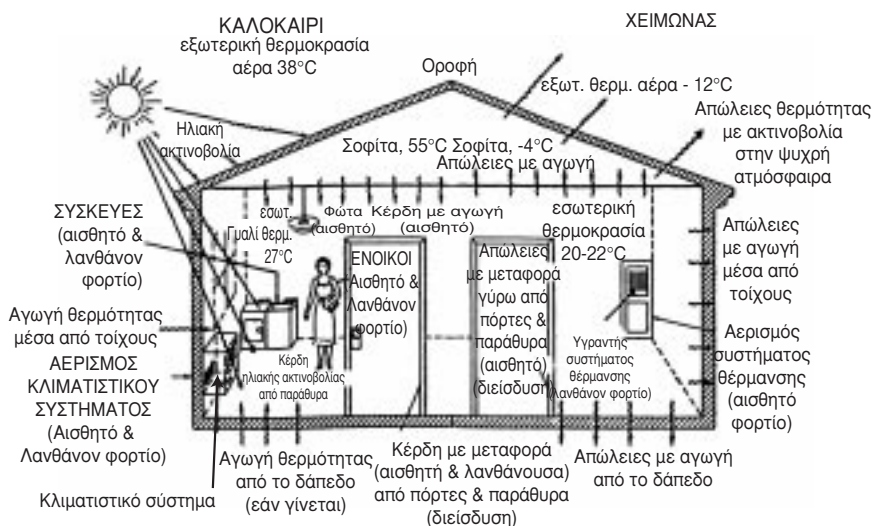
Ένας ακόμα διαχωρισμός που γίνεται στα **θερμικά κέρδη** ενός χώρου είναι σε **λανθάνοντα** και σε **αισθητά**, σύμφωνα και με όσα αναφέρθηκαν στα κεφάλαια 2 και 10. Αισθητό θερμικό κέρδος χώρου λέγεται αυτό που προέρχεται από την προσθήκη στο χώρο θερμότητας χωρίς την παρουσία υγρασίας. Αντίθετα, λανθάνον είναι το θερμικό κέρδος που προέρχεται από την προσθήκη στο χώρο ποσότητας υδρατμών. Ως παραδείγματα **αισθητού** θερμικού κέρδους μπορούμε να αναφέρουμε τη θερμότητα που παράγεται από τα **φωτιστικά** σώματα και από τη λειτουργία **οικιακών συσκευών, συσκευών γραφείου ή κινητήρων** (π.χ. ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τηλεόραση, φωτοτυπικά μηχανήματα, ηλεκτροκινητήρες ψυγείων, εστίες και φούρνοι κουζίνας κ.τ.λ.), καθώς και ένα ποσοστό της θερμότητας που παράγεται από τους ανθρώπους. Οι **άνθρωποι** λόγω της εφίδρωσης, οι **μαγειρικές συσκευές**, λόγω του βρασμού του νερού που περιέχουν και οι **βρύσες**, όπου τρέχει ζεστό νερό για χρήση, είναι πηγές που

παράγουν λανθάνουσα θερμότητα - **λανθάνον** θερμικό κέρδος.

Ψυκτικό φορτίο χώρου ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να **απομακρύνεται** σε κάθε χρονική στιγμή από το χώρο ώστε η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα του χώρου να παραμένουν σταθερές, για να έχουμε συνθήκες θερμικής άνεσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το ψυκτικό φορτίο **διαφέρει** από το συνολικό θερμικό κέρδος του χώρου κατά την **ίδια** χρονική στιγμή. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα οικοδομικά στοιχεία του χώρου-κτιρίου **απορροφούν** την παραγόμενη στο χώρο θερμότητα με αποτέλεσμα την αρχική **αύξηση** της **θερμοκρασίας** τους. Όταν η θερμοκρασία αυτή γίνει μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα στο χώρο, τότε μεταφέρεται θερμότητα από τα οικοδομικά στοιχεία στον εσωτερικό αέρα. Ο παραπάνω μηχανισμός της αποθήκευσης και της αποβολής αυτής παρουσιάζει **χρονική καθυστέρηση** με αποτέλεσμα να υπάρχει **χρονική διαφορά** μεταξύ της ώρας της ημέρας που εμφανίζεται το μέγιστο θερμικό κέρδος και της ώρας που εμφανίζεται το μέγιστο ψυκτικό φορτίο (αργότερα από το μέγιστο θερμικό κέρδος).

Στο σχήμα 11.1 παρουσιάζονται εποπτικά οι διάφορες πηγές θερμικών απωλειών και θερμικών κερδών και οι αντίστοιχες ροές θερμότητας μεταξύ κλιματιζόμενου χώρου και περιβάλλοντος. Οι θερμικές αυτές συναλλαγές προσδιορίζουν το θερμικό και ψυκτικό φορτίο του χώρου σε μια απλή οικιακή εφαρμογή.



Σχήμα 11.1. Πηγές θερμικού και ψυκτικού φορτίου και συναλλαγές θερμότητας σε κλιματιζόμενο χώρο κατοικίας

11.3 Εκτίμηση θερμικών κερδών και ψυκτικού φορτίου τυπικού κλιματιζόμενου χώρου

Για τον υπολογισμό των θερμικών κερδών και του **ψυκτικού φορτίου** ενός κλιματιζόμενου χώρου απαιτούνται:

- Ο καθορισμός των **γεωμετρικών δεδομένων** και των **θερμικών και οπτικών ιδιοτήτων** των **οικοδομικών στοιχείων** (τοίχοι, οροφές, δάπεδα, παράθυρα, πόρτες κ.τ.λ.) του κτιρίου και του συγκεκριμένου χώρου (τοπογραφικό διάγραμμα και αρχιτεκτονικό σχέδιο κτιρίου, επιλεγμένα οικοδομικά υλικά και χρώματα).
- Ο καθορισμός της **θέσης** και του **προσανατολισμού** του κτιρίου και του συγκεκριμένου χώρου (τοπογραφικό διάγραμμα και αρχιτεκτονικό σχέδιο κτιρίου) καθώς και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τυχόν διατάξεων και δομικών στοιχείων **ηλιοπροστασίας** (πρόβολοι, τέντες, κουρτίνες, στόρια, παντζούρια, ειδικά σκιάστρα).
- Η γνώση των **μετεωρολογικών δεδομένων** της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος-διεύθυνση και ταχύτητα).
- Η εκλογή των **εσωτερικών συνθηκών σχεδιασμού** (θερμοκρασία, υγρασία, εναλλαγές αέρα).
- Η γνώση του **καθεστώτος λειτουργίας** του υπό μελέτη χώρου και του κτιρίου γενικά (ώρες λειτουργίας φωτισμού και συσκευών, ώρες εργασίας και πλήθος ατόμων).
- Η εκλογή του **μήνα**, της **ημέρας** και της **ώρας** για την οποία ζητείται να γίνει ο υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου.

Για τον υπολογισμό του συνολικού ψυκτικού φορτίου απαιτείται ο υπολογισμός των παρακάτω συνιστωσών του :

- Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου που προκύπτει από την μετάδοση θερμότητας διαμέσου των εξωτερικών τοίχων, της οροφής-δωμάτων και του εξωτερικού δαπέδου (από **εξωτερικά αδιαφανή** οικοδομικά στοιχεία).
- Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου που προκύπτει από την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από τα παράθυρα-ανοίγματα

(από **εξωτερικά διαφανή** οικοδομικά στοιχεία).

- Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου που προκύπτει από τη μετάδοση θερμότητας διαμέσου των εσωτερικών τοίχων και δαπέδων προς χώρους με διαφορετικές θερμικές συνθήκες (από **εσωτερικά αδιαφανή** οικοδομικά στοιχεία).
- Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου που προκύπτει από τις εσωτερικές πηγές θερμότητας του χώρου δηλαδή από τους ανθρώπους, τις συσκευές και το φωτισμό (από **εσωτερικά** θερμικά **κέρδη**).
- Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου που προκύπτει από την **ανα νέωση και τη διείσδυση** του αέρα.

Θα αναφερθούμε παρακάτω σε μια αντικειμενική μεθοδολογία υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου που έχει προταθεί και καθιερωθεί από τον Αμερικανικό επιστημονικό οργανισμό ASHRAE και υιοθετείται από τους σχετικούς Ελληνικούς κανονισμούς (TOTEΕ 2425/86-Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων).

A. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από αδιαφανή οικοδομικά στοιχεία

Η βασική σχέση για το φορτίο που προκύπτει λόγω των θερμικών συναλλαγών από τις εξωτερικές επιφάνειες των αδιαφανών δομικών στοιχείων (τοίχοι, οροφές κ.τ.λ.) είναι:

$$Q_A = U_A \times A_A \times CLTD \quad [W] \quad (11.1)$$

όπου :

U_A : ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας (ή συντελεστής θερμικών απωλειών της επιφάνειας του αδιαφανούς δομικού στοιχείου (σε $W/m^2.K$)

A_A : το εμβαδόν της επιφάνειας του αδιαφανούς δομικού στοιχείου (σε m^2).

Ο παράγων **CLTD** είναι η **θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου (Cooling Load Temperature Difference)** (σε βαθμούς K), η οποία για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες δίνεται από τους Πίνακες 11.1 και 11.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 11.1. Θερμοκρασιακή Διαφορά Ψυκτικού Φορτίου
για μονοκατοικίες

Τιμές θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου (CLTD) για μονοκατοικίες ¹												
Ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση ²	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος, °C											
	29		32			35			38		41	43
	X	M	X	M	Y	X	M	Y	M	Y	M	Y
Τοιχοποιία και πόρτες												
B	4	2	7	4	2	10	7	4	10	7	10	13
BA και ΒΔ	8	5	11	8	5	13	11	8	13	11	13	16
A και Δ	10	7	13	10	7	16	13	10	16	13	16	18
NA και ΝΔ	9	6	12	9	6	14	12	9	14	12	14	17
N	6	3	9	6	3	12	9	6	12	9	12	14
Οροφές - Σοφίτα ή επίπεδες οροφές-δώματα												
	23	21	26	23	21	28	26	23	28	26	28	31
Δάπεδο κάτω από κλιματιζόμενο χώρο, πάνω από μη κλιματιζόμενο χώρο												
	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Χωρίσματα εσωτερικά ή σκιαζόμενα												
	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11

¹ Θερμοκρασιακή Διαφορά Ψυκτικού Φορτίου (CLTD) (σε βαθμούς K) για τυπικές μονοκατοικίες με εξωτερικούς τοίχους διαφόρων προσανατολισμών (όπου π.χ. B: βόρειος, ΝΔ : νοτιοδυτικός προσανατολισμός)

² Ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση είναι η θερμοκρασιακή διαφορά της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος από την αντίστοιχη μέγιστη, για την ημέρα σχεδιασμού και συγκεκριμένο τόπο. Το X δηλώνει χαμηλή θερμοκρασιακή διακύμανση, μικρότερη από 9 K, το M δηλώνει μέτρια θερμοκρασιακή διακύμανση, μεταξύ 9 και 14 K και το Y δηλώνει υψηλή θερμοκρασιακή διακύμανση, μεγαλύτερη από 14 K.

Πίνακας 11.2. Θερμοκρασιακή Διαφορά Ψυκτικού Φορτίου
για πολυκατοικίες

Τιμές θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου (CLTD) για πολυκατοικίες ¹													
Ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση ²	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος, °C												
	29		32			35			38		41	43	
	X	M	X	M	Y	X	M	Y	M	Y	M	Y	
Τοιχοποιία και πόρτες ³													
B	Ελαφριά	8	6	11	9	7	13	12	9	14	12	15	18
	Μέτρια	7	6	10	8	6	13	11	9	14	12	14	17
	Βαριά	5	3	8	6	4	11	9	7	12	9	12	15
BA	Ελαφριά	13	9	16	12	9	18	15	12	18	14	17	20
	Μέτρια	11	8	14	11	9	17	14	12	16	14	16	19
	Βαριά	9	7	12	9	7	14	12	10	14	12	14	17
A	Ελαφριά	18	15	21	18	15	24	21	18	23	21	23	26
	Μέτρια	17	13	19	16	13	22	19	16	22	18	22	24
	Βαριά	13	10	16	13	10	19	16	13	18	16	18	21
NA	Ελαφριά	17	15	19	17	14	23	21	17	23	21	23	26
	Μέτρια	16	12	18	15	12	21	18	15	21	18	21	24
	Βαριά	12	9	14	12	9	18	15	12	17	15	18	21
N	Ελαφριά	14	12	16	14	12	19	17	14	20	18	21	24
	Μέτρια	12	10	14	12	10	17	14	12	17	15	18	21
	Βαριά	9	6	11	9	7	14	12	9	14	12	15	18
ND	Ελαφριά	22	20	24	22	19	28	26	22	28	26	29	32
	Μέτρια	18	16	21	19	16	24	22	19	25	22	26	29
	Βαριά	13	10	16	13	11	20	17	14	19	17	20	23
Δ	Ελαφριά	24	23	27	25	22	30	28	26	31	29	32	35
	Μέτρια	21	18	23	21	18	26	23	21	27	24	27	31
	Βαριά	14	12	17	15	13	21	18	15	21	18	21	24
ΒΔ	Ελαφριά	18	17	21	19	17	24	22	19	24	22	25	28
	Μέτρια	16	14	18	16	13	21	18	16	22	19	22	25
	Βαριά	11	9	14	11	9	17	14	12	17	14	18	21
Οροφές - Σοφίτα ή επίπεδες οροφές	Ελαφριά	32	29	36	33	31	39	36	33	39	36	40	43
	Μέτρια ή Βαριά	12	10	13	12	10	14	13	12	14	13	14	16
Δάπεδο κάτω από κλιματιζόμενο χώρο, πάνω από μη κλιματιζόμενο χώρο		5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Χωρίσματα εσωτερικά ή σκιαζόμενο		5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11

¹ Θερμοκρασιακή Διαφορά Ψυκτικού Φορτίου (CLTD) (σε βαθμούς K) για πολυκατοικίες ή διπλοκατοικίες.

² Ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση είναι η θερμοκρασιακή διαφορά της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος από την αντίστοιχη μέγιστη, για την ημέρα σχεδιασμού και συγκεκριμένο τόπο. Το X δηλώνει χαμηλή θερμοκρασιακή διακύμανση, μικρότερη από 9 K, το M δηλώνει μέτρια θερμοκρασιακή διακύμανση, μεταξύ 9 και 14 K και το Y δηλώνει υψηλή θερμοκρασιακή διακύμανση, μεγαλύτερη από 14 K.

³ Το «ελαφριά» δηλώνει ελαφριά κατασκευή με μικρή θερμική μάζα (π.χ. ξύλινη), το «μέτρια» δηλώνει μέτρια κατασκευή και το βαριά δηλώνει βαριά κατασκευή με μεγάλη θερμική μάζα (π.χ. οπλισμένο σκυρόδεμα, πέτρα ή/και τούβλα).

Β. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από διαφανή δομικά στοιχεία

Η βασική σχέση για το φορτίο που προκύπτει λόγω των θερμικών συναλλαγών από τις εξωτερικές επιφάνειες των διαφανών δομικών στοιχείων (παράθυρα κ.τ.λ.) είναι:

$$Q_A = A_A \times GLF \quad [W] \quad (11.2)$$

όπου :

A_Δ : το εμβαδόν της επιφάνειας του διαφανούς δομικού στοιχείου (παράθυρου) (σε m^2).

Ο παράγοντας **GLF** είναι ο **παράγοντας φορτίου υαλοπίνακα (Glazing Load Factor)** (σε W/m^2), ο οποίος δίνεται από τους Πίνακες 11.3 και 11.4 για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες αντίστοιχα.

Παράγοντας Φορτίου Υαλοπινάκων (GLF) για μονοκατοικίες																		
Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C	Μονός υαλοπινάκας				Διπλός υαλοπινάκας				Διπλός απορραφητικός υαλοπινάκας				Τριπλός υαλοπινάκας					
	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43
Χωρίς εσωτερική σκίαση																		
B	107	114	129	148	151	158	95	95	107	117	120	129	63	63	73	79	82	88
BA και BA	199	205	221	237	243	262	173	177	186	196	199	208	114	117	123	132	139	139
A και Δ	278	284	300	315	322	337	243	246	255	265	268	278	161	161	170	177	186	186
NA και NA	249	255	271	287	290	309	218	221	230	240	243	252	142	145	155	161	170	170
N	167	173	189	205	211	227	145	148	158	167	170	180	98	98	107	114	123	123
Οριζόντιοι φεγγίτες	492	492	508	524	527	539	432	435	442	451	454	464	284	287	293	300	303	309
Κουρτίνες, ενετικά στόρια, διαφανή σκίαστρα																		
B	57	60	73	85	91	104	50	50	60	69	73	82	41	44	50	57	60	66
BA και BA	101	104	120	132	136	148	91	95	101	110	114	123	76	76	85	91	91	101
A και Δ	142	145	158	170	173	186	126	129	139	145	148	158	104	104	114	120	120	129
NA και NA	126	129	145	155	161	173	114	117	123	132	136	145	91	95	101	107	110	117
N	85	88	104	117	120	132	76	79	88	98	98	107	63	66	73	79	82	88
Οριζόντιοι φεγγίτες	246	249	262	271	274	284	224	224	233	240	243	249	183	186	192	199	199	205
Αδιαφανή σκίαστρα																		
B	44	47	63	73	79	91	41	44	54	60	63	73	38	38	47	54	54	63
BA και BA	79	82	98	107	114	126	73	76	85	95	95	104	66	69	76	82	85	91
A και Δ	107	114	126	139	142	155	101	104	114	120	123	132	91	95	101	107	110	117
NA και NA	98	101	114	126	132	145	91	95	104	110	114	123	82	85	91	98	101	107
N	66	69	85	95	101	114	63	63	73	82	85	95	57	60	66	73	76	82
Οριζόντιοι φεγγίτες	189	192	202	214	218	227	180	180	189	196	199	205	164	164	173	180	180	186

Πίνακας 11.4. Παράγοντας φορτίου Υαλοπινάκων για πολυκατοικίες

Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C	Παράγοντας Φορτίου Υαλοπινάκων (GLF) για πολυκατοικίες																				
	Μονός υαλοπινάκας						Διπλός υαλοπινάκας						Διπλός απορροφητικός υαλοπινάκας						Τριπλός υαλοπινάκας		
	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43			
Χωρίς εσωτερική σκίαση																					
B	126	139	155	170	183	202	107	114	123	132	139	148	73	76	82	91	95	104	95	101	107
BA	278	281	287	300	306	315	246	249	252	262	265	268	164	164	167	173	173	180	224	224	230
A	429	432	438	448	454	464	378	382	385	394	397	401	249	249	255	262	262	265	344	344	350
NA	407	410	423	438	445	454	344	356	366	375	378	385	227	237	243	249	249	255	312	325	331
N	278	287	303	319	331	347	240	246	255	265	271	281	158	164	170	177	183	189	214	221	227
ND	486	501	517	533	549	565	423	432	442	451	457	467	281	287	293	300	306	312	382	388	394
Δ	549	561	577	593	606	621	476	486	495	505	511	520	315	322	328	334	341	347	432	438	445
BA	388	401	416	432	445	464	337	344	353	363	369	382	224	227	237	243	249	255	303	309	315
Οριζόντιοι	785	795	807	823	833	845	688	694	703	713	719	725	454	460	467	473	479	486	624	631	637
Κουρτίνες, ενετικά στόρια, διαφανή σκίαστρα																					
B	66	79	91	104	114	126	57	66	73	82	88	98	47	54	60	66	73	79	54	60	66
BA	136	139	145	158	161	164	123	126	129	139	142	145	104	104	107	114	114	117	123	123	126
A	211	214	221	233	237	240	192	196	199	205	208	211	158	158	161	170	170	173	189	189	192
NA	202	205	218	230	233	243	183	186	192	199	202	208	151	151	158	164	164	170	180	180	186
N	142	151	164	177	186	199	126	132	139	148	155	164	104	107	114	123	126	132	120	126	132
ND	249	262	274	287	296	309	221	227	237	246	252	262	180	186	196	202	208	214	214	218	224
Δ	281	290	303	315	325	337	249	255	265	271	278	287	205	208	218	224	227	237	240	246	252
BA	199	208	221	233	243	255	177	183	192	199	208	214	145	151	158	164	170	177	170	173	180
Οριζόντιοι	397	404	416	426	432	445	356	363	369	378	382	391	293	296	303	309	315	322	347	350	356
Αδιαφανή σκίαστρα																					
B	54	66	79	91	101	114	47	54	63	73	79	88	44	47	57	63	69	76	47	50	57
BA	104	107	110	123	126	132	98	101	104	114	110	117	91	88	95	101	101	107	101	98	104
A	161	164	167	180	192	205	151	155	158	167	164	173	142	142	145	151	151	155	155	155	158
NA	155	158	167	180	183	192	145	148	155	164	164	173	132	136	142	148	148	155	145	145	151
N	110	120	132	145	155	167	101	107	117	126	132	132	91	98	104	110	117	123	101	104	110
ND	192	205	218	230	243	255	180	186	196	205	211	221	164	170	177	183	189	196	177	183	189
Δ	214	224	237	252	262	274	202	208	214	224	230	240	183	189	196	202	208	214	199	202	208
BA	155	164	177	189	199	211	142	148	158	167	173	183	129	136	142	148	155	161	142	145	151
Οριζόντιοι	306	312	322	334	341	350	287	293	300	306	312	322	262	268	274	281	284	290	284	290	293

Γ. Υπολογισμός θερμικών κερδών και ψυκτικού φορτίου από εσωτερικές πηγές

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως:

- Από τις ηλεκτρικές και μη συσκευές
- Από τους λαμπτήρες φωτισμού
- Από τη θερμότητα που αποδίδεται από τους ανθρώπους.

Το μέγεθος των εσωτερικών πηγών θερμότητας σε έναν κλιματιζόμενο χώρο είναι δύσκολο να προσδιορισθεί με ακρίβεια, γιατί υπεισέρχονται πολλές μεταβλητές στη διάρκεια λειτουργίας των παραπάνω πηγών θερμότητας. Για παράδειγμα, ο φωτισμός λειτουργεί διαφορετικές ώρες για κάθε μήνα του χρόνου, λόγω της διαφορετικής τροχιάς του ηλίου, της φωτεινότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος και της διάρκειας της νύκτας. Επίσης, τα άτομα που διαβιούν σε μία κατοικία δεν έχουν σταθερό χρόνο παραμονής, ενώ η λειτουργία των διαφόρων μικροσυσκευών εξαρτάται και από το πλήθος των ατόμων που διαβιούν στην κατοικία.

- **Εσωτερικά θερμικά κέρδη από ανθρώπους**

Ο ρυθμός με τον οποίο το ανθρώπινο σώμα αποδίδει θερμότητα και υγρασία στο περιβάλλον, εξαρτάται από το βαθμό δραστηριότητας, το είδος της εργασίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το αισθητό και το λανθάνον θερμικό κέρδος ανά άτομο για διάφορες συνθήκες περιπτώσεις.

Πίνακας 11.5. Ολικό, αισθητό και λανθάνον θερμικό κέρδος ανά άτομο για διάφορες δραστηριότητες

ΒΑΘΜΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΗΛΙΚΑ ΑΝΤΡΑ [W]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ (ΑΝΑ ΦΥΛΟ) ΕΝΗΛΙΚΩΝ [W]	ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΚΕΡΔΟΣ (HG) _{PL} [W]	ΑΙΣΘΗΤΟ ΚΕΡΔΟΣ (HG) _{PS} [W]
Καθιστός, ξεκούραστος	Κατοικίες, θέατρα, κινηματογράφοι	115	100	60	40
Καθιστός, ελαφριά εργασία, γράψιμο	Κατοικίες, γραφεία	140	120	65	55
Καθιστός (τρώγοντας)	Κατοικίες, εστιατόρια	150	170	75	95
Καθιστός, ελαφριά δουλειά, δακτυλογράφηση	Κατοικίες, γραφεία	185	150	75	75
Στεκούμενος, ελαφριά δουλειά, αργό βάδην	Κατοικίες τράπεζες	235	185	90	95

Το λανθάνον θερμικό κέρδος θεωρείται **ταυτόχρονα** και ως ψυκτικό φορτίο, ενώ αντίθετα το αισθητό θερμικό κέρδος δεν μετατρέπεται αμέσως σε ψυκτικό, γιατί το μεγαλύτερο μέρος αυτού αποδίδεται με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας.

Επομένως, για τη μετατροπή του αισθητού θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο γίνεται χρήση του **Παράγοντα Ψυκτικού Φορτίου (CLF) (Cooling Load Factor)**, που δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 11.6. Παράγοντας ψυκτικού φορτίου για αισθητό φορτίο από ανθρώπους

ΩΡΕΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΕΙΣΟΔΟ ΣΤΟ ΧΩΡΟ																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0,49	0,58	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,49	0,59	0,66	0,71	0,27	0,21	0,16	0,14	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
6	0,50	0,60	0,67	0,72	0,76	0,79	0,34	0,26	0,21	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
8	0,51	0,61	0,67	0,72	0,76	0,80	0,82	0,84	0,38	0,30	0,25	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04
10	0,53	0,62	0,69	0,74	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,42	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
12	0,55	0,64	0,70	0,75	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,45	0,36	0,30	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08
14	0,58	0,66	0,72	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,47	0,38	0,31	0,26	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11
16	0,62	0,70	0,75	0,79	0,82	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24	0,20	0,18	0,16
18	0,66	0,74	0,79	0,82	0,85	0,87	0,89	0,89	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,50	0,40	0,33	0,28	0,24	0,21

Το ψυκτικό φορτίο ενός χώρου σε σχέση με τους ανθρώπους που βρίσκονται σε αυτόν χωρίζεται σε δύο μέρη.

■ Αισθητό ψυκτικό φορτίο από ανθρώπους

$$Q_{PS} = N_P * (HG)_{PS} * CLF \quad [W] \quad (11.3)$$

όπου:

- N_P : είναι ο αριθμός των ανθρώπων που υπάρχουν στο χώρο
 $(HG)_{PS}$: Το αισθητό θερμικό κέρδος το οποίο δίνεται από τον Πίνακα 11.5
 (CLF) : Ο παράγων ψυκτικού φορτίου που δίνεται από τον Πίνακα 11.6.

Αν η θερμοκρασία του χώρου δε διατηρείται σταθερή σε όλο το 24ωρο, π.χ. αν το σύστημα κλιματισμού είναι κλειστό κατά τις νυχτερινές ώρες, (βέβαια το ίδιο ισχύει και κατά την περίοδο θέρμανσης), τότε ο CLF είναι ίσος με τη μονάδα.

■ Λανθάνον ψυκτικό φορτίο από ανθρώπους

$$Q_{PL} = N_P * (HG)_{PL} \quad [W] \quad (11.4)$$

όπου:

- $(HG)_{PL}$: είναι το λανθάνον θερμικό κέρδος από τον Πίνακα 11.5.

● Εσωτερικά θερμικά κέρδη από φωτισμό

Η θερμότητα που αποδίδεται με ακτινοβολία σε έναν κλιματιζόμενο χώρο και προέρχεται από τον ηλεκτροφωτισμό του χώρου απορροφάται από τους εσωτερικούς τοίχους, το δάπεδο και την επίπλωση.

Το στιγμιαίο θερμικό κέρδος λόγω του ηλεκτροφωτισμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$HG_{\Phi} = W * F_{ul} * F_{sa} \quad [W] \quad (11.5)$$

όπου:

W : Ηλεκτρική ισχύς όλων των εγκατεστημένων φωτιστικών σωμάτων που είναι σε λειτουργία στο χώρο κατά τη χρονική στιγμή.

F_{ul} : Συντελεστής χρήσης, δηλαδή το κλάσμα των φωτιστικών σωμάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στο χώρο.

F_{sa} : Ειδικός συντελεστής χρήσης, ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο των φωτιστικών.

Αν τα εγκατεστημένα φωτιστικά είναι λαμπτήρες πυράκτωσης, τότε $F_{sa}=1$, διαφορετικά $F_{sa}=1,2$.

Η τιμή του $(HG)_{\Phi}$ που παίρνουμε από τον παραπάνω τύπο δίνει το (ω-φέλιμο) θερμικό κέρδος για το χειμώνα. Για την περίοδο του καλοκαιριού, η τιμή αυτή πρέπει να διορθωθεί χρησιμοποιώντας τον **παράγοντα ψυκτικού φορτίου CLF**, ώστε να υπολογίσουμε το σχετικό ψυκτικό φορτίο λόγω ηλεκτροφωτισμού.

Αν η κλιματιστική εγκατάσταση λειτουργεί μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου-χώρου, τότε **CLF=1** (και το ίδιο ισχύει όταν ο φωτισμός **λειτουργεί όλο το 24ωρο**). Σε κάθε διαφορετική περίπτωση, οι τιμές του CLF λαμβάνονται από τους Πίνακες 11.8 έως και 11.12 με ενδιάμεση χρήση του Πίνακα 11.7 για την τιμή του συντελεστή α που σχετίζεται με την επίπλωση και την παροχή του αέρα στο χώρο.

Πίνακας 11.7. Τιμές του συντελεστή a για διάφορους τύπους επιπλώσεων και ποσότητες αερισμού στον κλιματιζόμενο χώρο

Συντελεστής a	Επιήλωση	Παροχή αέρα προσαγωγής και επιστροφής
0.45	Βαριά απλή επιήλωση	Μικρή παροχή (κάτω από το ταβάνι) $V \leq 2.5 \text{ [l s}^{-1} \text{ m}^{-2}]$
0.55	Συνηθισμένη επιήλωση χωρίς χαλιά	Μεσαία και μεγάλη παροχή αέρα $V \geq 2.5 \text{ [l s}^{-1} \text{ m}^{-2}]$
0.65	Συνηθισμένη επιήλωση με ή χωρίς χαλιά	Μεσαία και μεγάλη παροχή αέρα Αέρας προσαγωγής και επιστροφής μέσα από το ταβάνι $V \geq 2.5 \text{ [l s}^{-1} \text{ m}^{-2}]$
>0.75	Κάθε τύπος επιήλωσης	Αέρας επιστροφής μέσα από αεραγωγούς

Πίνακας 11.8. Τιμές του παράγοντα ψικτικού φορτίου CLF όταν ο φωτισμός λειτουργεί 8 ώρες

ΑΡΙΘΜΟΣ ΩΡΩΝ ΠΟΥ Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΧΕΙ ΤΕΘΕΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ																									
α	b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.02	0.46	0.57	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.46	0.37	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
	B	0.07	0.51	0.56	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
	C	0.11	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12
	D	0.14	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.22	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15
0.55	A	0.01	0.56	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.90	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.06	0.60	0.64	0.68	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
	C	0.09	0.63	0.66	0.68	0.70	0.71	0.73	0.75	0.76	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10
	D	0.11	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
0.65	A	0.01	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.29	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	0.04	0.69	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.22	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.09	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
0.75	A	0.01	0.76	0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	0.93	0.95	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
	B	0.03	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
	C	0.05	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
	D	0.06	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

Πίνακας 11.9. Τιμές του παράγοντα ψυκτικού φορτίου CLF όταν ο φωτισμός λειτουργεί 10 ώρες

ΑΡΙΘΜΟΣ ΩΡΩΝ ΠΟΥ Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΧΕΙ ΤΕΘΕΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ																									
α	b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.03	0.47	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.49	0.39	0.32	0.26	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.10	0.54	0.59	0.63	0.66	0.70	0.73	0.76	0.78	0.80	0.82	0.39	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11
	C	0.15	0.59	0.61	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
	D	0.18	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19
0.55	A	0.02	0.57	0.65	0.72	0.78	0.82	0.85	0.88	0.91	0.92	0.94	0.40	0.32	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
	B	0.08	0.62	0.66	0.69	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09
	C	0.12	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.15	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15
0.65	A	0.02	0.66	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.31	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
	B	0.06	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
	C	0.09	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10
	D	0.11	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12
0.75	A	0.01	0.76	0.81	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.04	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.08	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09

Πίνακας 11.10 Τιμές του παράγοντα ψυκτικού φορτίου CLF όταν ο φωτισμός λειτουργεί 12 ώρες

ΑΡΙΘΜΟΣ ΩΡΩΝ ΠΟΥ Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΧΕΙ ΤΕΘΕΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ																									
a	b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.05	0.49	0.59	0.67	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.51	0.41	0.33	0.27	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06
	B	0.13	0.57	0.61	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.82	0.83	0.85	0.87	0.43	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.18	0.17	0.15
	C	0.19	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20
	D	0.22	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23
0.55	A	0.04	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.42	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05
	B	0.11	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12
	C	0.15	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.30	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16
	D	0.18	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19
0.65	A	0.03	0.67	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.09	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
	C	0.12	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.14	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15
0.75	A	0.02	0.77	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	B	0.06	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	C	0.09	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
	D	0.10	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11

Πίνακας 11.11. Τιμές του παράγοντα ψυκτικού φορτίου CLF όταν ο φωτισμός λειτουργεί 14 ώρες

ΑΡΙΘΜΟΣ ΩΡΩΝ ΠΟΥ Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΧΕΙ ΤΕΘΕΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ																									
a	b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.05	0.49	0.59	0.67	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.51	0.41	0.33	0.27	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06
	B	0.13	0.57	0.61	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.82	0.83	0.85	0.87	0.43	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.18	0.17	0.15
	C	0.19	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20
	D	0.22	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23
0.55	A	0.04	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.42	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05
	B	0.11	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12
	C	0.15	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.30	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16
	D	0.18	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19
0.65	A	0.03	0.67	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.09	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
	C	0.12	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.14	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15
0.75	A	0.02	0.77	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	B	0.06	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	C	0.09	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
	D	0.10	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11

Πίνακας 11.12. Τιμές του παράγοντα ψικτικού φορτίου CLF όταν ο φωτισμός λειτουργεί 16 ώρες

ΑΡΙΘΜΟΣ ΩΡΩΝ ΠΟΥ Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΧΕΙ ΤΕΘΕΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ																									
α	b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.12	0.54	0.63	0.70	0.76	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.98	0.43	0.35	0.28	0.23	0.18
	B	0.23	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93	0.49	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29
	C	0.29	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.33
	D	0.31	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34
0.55	A	0.10	0.63	0.70	0.76	0.81	0.84	0.87	0.90	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.44	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15
	B	0.19	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.21
	C	0.24	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27
	D	0.26	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
0.65	A	0.07	0.71	0.77	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.12
	B	0.15	0.78	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.31	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18
	C	0.18	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.28	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21
	D	0.20	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22
0.75	A	0.05	0.79	0.83	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08
	B	0.11	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
	C	0.13	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
	D	0.14	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.18	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16

Αφού ληφθούν υπόψη οι ώρες λειτουργίας του ηλεκτροφωτισμού για τον υπολογισμό του CLF, το συνολικό ψυκτικό φορτίο λόγω του ηλεκτροφωτισμού δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\Phi} = (HG)_{\Phi} \times CLF \quad [W] \quad (11.6)$$

● Εσωτερικά θερμικά κέρδη από οικιακές συσκευές

Για να υπολογίσουμε το θερμικό κέρδος και το αντίστοιχο ψυκτικό φορτίο από τη λειτουργία των συσκευών ενός χώρου θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας όλες τις εγκατεστημένες οικιακές συσκευές.

Προκειμένου για **ηλεκτρικές συσκευές**, το μεγαλύτερο μέρος του θερμικού κέρδους αποδίδεται με τη μορφή **ακτινοβολίας** από την επιφάνεια των συσκευών προς τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου. Το θερμικό κέρδος λόγω συναγωγής, καθώς και το λανθάνον κέρδος θεωρούνται **αμελητέα** όταν χρησιμοποιείται **απορροφητήρας**. Τα θερμικά κέρδη (ψυκτικά φορτία) των συσκευών διακρίνονται σε **αισθητά** και σε **λανθάνοντα**.

Το **αισθητό** θερμικό κέρδος κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι η ονομαστική ισχύς της συσκευής πολλαπλασιαζόμενη με ένα συντελεστή χρήσης καθώς και με ένα συντελεστή, ο οποίος εξαρτάται από την ακτινοβολία που αποδίδεται στο χώρο μέσω της συσκευής. Έχει παρατηρηθεί ότι από την εισερχόμενη ενέργεια στη συσκευή το **30%** περίπου αποτελεί κατά μέσο όρο τη θερμότητα που αποδίδεται στο χώρο με ακτινοβολία. Ο Πίνακας 11.13 παρουσιάζει τιμές αισθητού και λανθάνοντος θερμικού κέρδους από συνήθεις οικιακές και εμπορικές συσκευές.

Πίνακας 11.13. Θερμικό κέρδος από ηλεκτρικές συσκευές

Συσκευές	ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΟΙΚΙΑΚΩΝ/ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (HG) _E			
	Χωρίς χρήση απορροφητήρα			Με απορροφητήρα
	Αισθητό Κέρδος (HG) _{ES} [W]	Λανθάνον Κέρδος (HG) _{EL} [W]	Ολικό Κέρδος (HG) _E [W]	Μόνο Αισθητό Κέρδος (HG) _{ES} [W]
Καφετιέρα	1905	585	2490	500
Τοστιέρα	650	580	1230	380
Φούρνος Μικροκυμάτων	1010	250	1260	410
Βραστήρας	335	220	555	175
Φριτέζα	820	1930	2750	880
Ατμομάγειρας	1465	955	2420	760
Ηλεκτρική κουζίνα	1450	1550	3000	600
Γκριλ για κρέας	1200	300	1500	-
Σίδερο σιδερώματος	230	270	500	-
Ηλεκτρική θερμάστρα	1000-2000	-	1000-2000	-
Ηλεκτρική σκούπα	50	-	50	-
Τηλεόραση	25	-	25	-
Ψυγείο	40	-	40	-
Καταψύκτης	70	-	70	-
Πλυντήριο ρούχων	35	-	35	-
Πλυντήριο πιάτων	50	-	50	-
Στεγνωτήριο	20	-	20	-
Προσωπικός Υπολογιστής	50	-	50	-

Το αισθητό θερμικό φορτίο από συσκευές που μεταδίδεται με ακτινοβολίας, καθυστερεί να επιδράσει και να προκαλέσει το αντίστοιχο ψυκτικό φορτίο από συσκευές. Γι' αυτό το λόγο εισάγεται και στις συσκευές ο όρος του Παράγοντα Ψυκτικού Φορτίου (CLF), ο οποίος ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι απορροφητήρα δίνεται από τους Πίνακες 11.14 και 11.15 αντίστοιχα.

Πίνακας 11.14. Παράγοντας ψικτικού φορτίου για το αισθητό θερμικό κέρδος από συσκευές με απορροφητήρα.

ΩΡΕΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΞΕΚΙΝΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑ																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.27	0.40	0.25	0.18	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.28	0.41	0.51	0.59	0.39	0.30	0.24	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
6	0.29	0.42	0.52	0.59	0.65	0.70	0.48	0.37	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
8	0.31	0.44	0.54	0.61	0.66	0.71	0.75	0.78	0.55	0.43	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06
10	0.33	0.46	0.55	0.62	0.68	0.72	0.76	0.79	0.81	0.84	0.60	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
12	0.36	0.49	0.58	0.64	0.69	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.87	0.88	0.64	0.51	0.42	0.36	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12
14	0.40	0.52	0.61	0.67	0.72	0.76	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.67	0.54	0.45	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16
16	0.45	0.57	0.65	0.70	0.75	0.78	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.69	0.56	0.46	0.39	0.34	0.29	0.25	0.22
18	0.52	0.63	0.70	0.75	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.71	0.58	0.48	0.41	0.35	0.30	0.30

Πίνακας 11.15. Παράγοντας ψυκτικού φορτίου για το αισθητό θερμικό κέρδος από συσκευές χωρίς απορροφητήρα.

ΩΡΕΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΞΕΚΙΝΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑ																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.56	0.64	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.57	0.65	0.71	0.75	0.23	0.18	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
6	0.57	0.65	0.71	0.76	0.79	0.82	0.29	0.22	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
8	0.58	0.66	0.72	0.76	0.80	0.82	0.85	0.87	0.33	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
10	0.60	0.68	0.73	0.77	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.36	0.29	0.24	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05
12	0.62	0.69	0.75	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.38	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07
14	0.64	0.71	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.40	0.32	0.27	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10
16	0.67	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.42	0.34	0.28	0.24	0.20	0.18	0.15
18	0.71	0.78	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.43	0.35	0.29	0.24	0.21	0.18

Το **ψυκτικό φορτίο** που προκύπτει από το θερμικό κέρδος μιας ηλεκτρικής συσκευής υπολογίζεται επομένως από τη σχέση:

$$Q_E = (HG)_E \times CLF \quad [W] \quad (11.7)$$

όπου:

$(HG)_E$ είναι το ολικό θερμικό κέρδος της συσκευής.

Δ. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα

Για συνήθεις εφαρμογές κλιματισμού σε κανονικές συνθήκες στο υψόμετρο της θάλασσας, το συνολικό ψυκτικό φορτίο λόγω μηχανικού ή φυσικού αερισμού για την ανανέωση του αέρα του χώρου και λόγω διεισδύσεων νωπού θερμού αέρα από χαραμάδες δίνεται από τη προσεγγιστική σχέση:

$$\dot{Q}_V = \dot{Q}_{VS} + \dot{Q}_{VL} = [1,23 \times \dot{V} \times (T_o - T_i)] + [3010 \times \dot{V} \times (W_o - W_i)] \quad [W] \quad (11.8)$$

όπου :

- $\dot{Q}_{VS}$: το αισθητό ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα (σε W).
- $\dot{Q}_{VL}$: το λανθάνον ψυκτικό φορτίο λόγω πρόσδοσης ικανής ποσότητας υγρασίας στον κλιματιζόμενο χώρο ($\dot{Q}_{VL} = 0$ σε συνήθεις εφαρμογές κλιματισμού όπου δεν έχουμε πρόσδοση ποσότητας υδρατμού με μηχανικό τρόπο και έλεγχο της υγρασίας του χώρου).
- $\dot{V}$: η απαιτούμενη παροχή όγκου του αέρα σε lt/s, για την ανανέωση του αέρα του χώρου, για λόγους υγιεινής (βλ. Κεφ. 9)
- T_o και T_i : η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος και η εσωτερική θερμοκρασία ρύθμισης – σχεδιασμού του αέρα χώρου.
- W_o και W_i : ο λόγος υγρασίας (Kg νερού/Kg ξηρού αέρα) του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος και του αέρα χώρου στη συνθήκη ρύθμισης – σχεδιασμού.

11.4 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κλιματισμού και αερισμού σε τυπικό κλιματιζόμενο χώρο

Ας υποθέσουμε το ακόλουθο παράδειγμα για να υπολογίσουμε το συνολικό φορτίο κλιματισμού και αερισμού σε έναν τυπικό κλιματιζόμενο χώρο, με βάση όσα αναπτύξαμε στην παράγραφο 11.3.

Παράδειγμα

Να υπολογιστούν όλα τα φορτία κλιματισμού και αερισμού για μία μονοκατοικία, στην οποία κατοικούν τέσσερα (4) άτομα. Ο χώρος έχει εμβαδό $10 \times 10 \text{ m}^2$ και ύψος 4m. Δίνονται επίσης τα εξής:

- Η τοιχοποιία είναι μέτριας κατασκευής με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Η επίπεδη οροφή είναι μέτριας κατασκευής με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Τα παράθυρα είναι από πλαίσιο (προφίλ) αλουμινίου με μονό υαλοπίνακα χωρίς σκίαση σε ποσοστό 20% επί της κάθε όψης.
- Οι ένοικοι παραμένουν στην κατοικία για 16 ώρες.
- Τα φωτιστικά σώματα της κατοικίας έχουν λαμπτήρες πυράκτωσης.
- Η επίπλωση της κατοικίας είναι ελαφριά κατηγορίας B.
- Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο παραμένουν ανοικτά ορισμένα φωτιστικά σώματα (ποσοστό 40% επί των εγκατεστημένων φωτιστικών ισχύος 2000W) είναι 14 ώρες, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου θα γίνει για 5 ώρες λειτουργίας αυτών. Τα άτομα παραμένουν στο χώρο για 18 ώρες, ενώ η τελευταία είσοδος έγινε 5 ώρες πριν την έναρξη υπολογισμού των φορτίων.
- Στην κουζίνα γίνεται χρήση απορροφητήρα, ενώ οι συσκευές που λειτουργούν στην κατοικία είναι : 1 ηλεκτρική κουζίνα, 1 φούρνος μικροκυμάτων (τα οποία λειτουργούν συνολικά 4 ώρες, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου γίνεται 5 ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας τους), 1 ψυγείο, 1 τηλεόραση και 1 πλυντήριο ρούχων (τα οποία λειτουργούν για 6 ώρες, ενώ ο υπολογισμός των φορτίων γίνεται 6 ώ-

ρες μετά από την έναρξη λειτουργίας τους).

Επιπλέον, να υπολογισθεί το ψυκτικό φορτίο λόγω αερισμού, αν θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα μία αλλαγή του συνολικού όγκου του κτιρίου ανά ώρα (1 ach) με τυχαίο φυσικό αερισμό και διείσδυση αέρα από χαραμάδες.

- Σημειώνεται, το φορτίο από τα φωτιστικά σώματα πρέπει να υπολογισθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι ο φωτισμός έχει τεθεί σε λειτουργία εδώ και τέσσερις (4) ώρες.
- Η εξωτερική θερμοκρασία είναι 29 °C, η εσωτερική θερμοκρασία θέλουμε να διατηρηθεί στο επίπεδο των 26 °C (θερινή περίοδος), ενώ ο άξονας προσανατολισμού του κτιρίου είναι βορράς-νότος.

Υπολογισμοί :

Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από αδιαφανή δομικά στοιχεία (τοίχους, οροφή)

Από τον Πίνακα 11.1 για χαμηλή θερμοκρασιακή διακύμανση και για 29 °C εξωτερική θερμοκρασία, για βόρειο τοίχο λαμβάνουμε ότι $CLTD_B=4$.

Από τον Πίνακα 11.1 για χαμηλή θερμοκρασιακή διακύμανση και για 29 °C εξωτερική θερμοκρασία, για νότιο τοίχο λαμβάνουμε ότι $CLTD_N=6$.

Από τον Πίνακα 11.1 για χαμηλή θερμοκρασιακή διακύμανση και για 29 °C εξωτερική θερμοκρασία, για ανατολικό και δυτικό τοίχο λαμβάνουμε ότι $CLTD_{\Delta/A}=10$.

Από τον Πίνακα 11.1 για χαμηλή θερμοκρασιακή διακύμανση και για 29 °C εξωτερική θερμοκρασία, για επίπεδη οροφή λαμβάνουμε ότι $CLTD_{\Delta/A}=23$.

Εφαρμόζοντας τη σχέση 11.1 λαμβάνουμε:

— Για βόρειο τοίχο

$$\dot{Q}_{TB} = U_T \cdot A_T \cdot CLTD_{TB} = 0,7 \times [(1 - 0,2) \times (10 \times 4)] \times 4 = 90 \text{ W.}$$

— Για νότιο τοίχο

$$\dot{Q}_{TN} = U_T \cdot A_T \cdot CLTD_{TN} = 0,7 \times [(1 - 0,2) \times (10 \times 4)] \times 6 = 134 \text{ W.}$$

— Για ανατολικό και δυτικό τοίχο

$$\dot{Q}_{T\Delta/A} = U_T * A_T * CLTD_{T\Delta/A} = 0,8 \times [(1 - 0,2) \times (10 \times 4)] \times 10 = 256 \text{ W.}$$

— Για επίπεδη οροφή

$$\dot{Q}_O = U_O * A_O * CLTD_O = 0,8 \times (10 \times 10) \times 23 = 1840 \text{ W.}$$

Αθροίζοντας τα παραπάνω λαμβάνουμε το ψυκτικό φορτίο από όλους τους τοίχους.

$$\dot{Q}_{\text{Αολ}} = 90 + 134 + (2 \times 256) + 1840 = 2576 \text{ W.}$$

Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από διαφανή δομικά στοιχεία (παράθυρα)

Από τον Πίνακα 11.3 λαμβάνουμε για μονούς υαλοπίνακες (χωρίς σκίαση) μονοκατοικιών τις εξής τιμές και για τους τέσσερις προσανατολισμούς:

- Για βόρειο προσανατολισμό

$$Q_{\Pi B} = A_{\Pi} * GLF_{\Pi B} = 0,2 \times 4 \times 10 \times 107 = 856 \text{ W.}$$

- Για νότιο προσανατολισμό

$$Q_{\Pi N} = A_{\Pi} * GLF_{\Pi N} = 0,2 \times 4 \times 10 \times 167 = 1336 \text{ W.}$$

- Για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

$$\dot{Q}_{\Pi A/\Delta} = A_{\Pi} * GLF_{\Pi A/\Delta} = 0,2 \times 4 \times 10 \times 287 = 2224 \text{ W.}$$

Αθροίζοντας τα παραπάνω καταλήγουμε ότι το συνολικό ψυκτικό φορτίο λόγω των διαφανών δομικών στοιχείων-παραθύρων είναι :

$$\dot{Q}_{\Delta\text{ολ}} = 856 + 1336 + (2 \times 2224) = 6640 \text{ W.}$$

Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων από εσωτερικές πηγές θερμότητας

● Φορτία από ανθρώπους

Το αισθητό ψυκτικό φορτίο λόγω της παρουσίας των ανθρώπων (ελαφριά δουλειά) για 18 ώρες με 5 ώρες μετά την τελευταία είσοδο στο χώρο υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{Q}_{PS} = 4 \times 75 \times 0,85 = 255 \text{ W.}$$

Ενώ το λανθάνον ψυκτικό φορτίο είναι:

$$\dot{Q}_{PL} = 4 \times 75 = 300 \text{ W.}$$

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο λόγω της παρουσίας των ανθρώπων είναι επομένως :

$$\dot{Q}_P = \dot{Q}_{PS} + \dot{Q}_{PL} = 255 + 300 = 555 \text{ W.}$$

● Φορτία από το φωτισμό

Το στιγμιαίο θερμικό κέρδος για λάμπες πυράκτωσης είναι:

$$HG_{\phi} = 2000 \times 0,4 \times 1 = 800 \text{ W.}$$

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο θεωρώντας μέτρια επίπλωση ($a=0.55$ και $b=B$) είναι:

$$\dot{Q}_{\phi} = 800 \times 0,79 = 632 \text{ W.}$$

● Φορτία από οικιακές συσκευές

Θεωρώντας ότι γίνεται χρήση απορροφητήρα και ότι οι συσκευές που λειτουργούν στην κατοικία είναι ηλεκτρική κουζίνα, φούρνος μικροκυμάτων (τα οποία λειτουργούν συνολικά 4 ώρες, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου γίνεται 5 ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας τους) , ψυγείο, τηλεόραση και πλυντήριο ρούχων (τα οποία λειτουργούν για 6 ώρες, ενώ ο υπολογισμός των φορτίων γίνεται 6 ώρες μετά από την έναρξη λειτουργίας τους) τότε:

$$\dot{Q}_E = (600 + 410) \times 0.39 + (25 + 40 + 35) \times 0,82 = 476 \text{ W.}$$

Υπολογισμός του φορτίου λόγω της ανανέωσης του αέρα

Το ψυκτικό φορτίο λόγω ελεγχόμενου ή μη αερισμού του κλιματιζόμενου χώρου, στον οποίο δεν υπάρχει πρόσδοση ικανής ποσότητας ή έλεγχος υγρασίας, δίνονται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_V = 1,23 \times [(10 \times 10 \times 4) \times 1000/3600] \times (T_o - T_i) = (29 - 26) = 410 \text{ W.}$$

Ο λόγος (1000/3600) αφορά τη μετατροπή σε lt/sec των 400 m³/h νωπού αέρα, που απαιτούνται για την ανανέωση 1 όγκου αέρα του χώρου (400 m³) σε 1 ώρα.

Αθροίζοντας όλα τα επιμέρους ψυκτικά φορτία λαμβάνουμε το συνολικό ψυκτικό φορτίο του κλιματιζόμενου χώρου για μία ώρα της υπόψη ημέρας :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{ΟΛΙΚΟ}} &= \dot{Q}_{\text{Αολ}} + \dot{Q}_{\text{Δολ}} + \dot{Q}_P + \dot{Q}_\Phi + \dot{Q}_E + \dot{Q}_V = \\ &= 2576 + 6640 + 555 + 632 + 476 + 410 = 11289 \text{ W.}\end{aligned}$$

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Θερμική απώλεια είναι η ποσότητα θερμότητας που **αποδίδεται** σε κάθε χρονική στιγμή από ένα χώρο προς το περιβάλλον του με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία. Οι πηγές θερμικών απωλειών είναι τα **αδιαφανή και διαφανή οικοδομικά στοιχεία** του κτιριακού κελύφους (τοιχοί, παράθυρα, οροφές, δάπεδα, κολώνες και δοκάρια κ.τ.λ.), οι **χαραμάδες, τα ανοίγματα και τα δίκτυα** μέσω των οποίων **διαφεύγει και διανέμεται** ποσότητα **αέρα** .

Θερμικό φορτίο ενός κλιματιζόμενου χώρου ονομάζεται το **άθροισμα** των θερμικών απωλειών του χώρου σε κάθε χρονική στιγμή, που καθορίζει το **μέγεθος** της **θερμικής ισχύος** που θα πρέπει να **παρέχει** μια εγκατάσταση ή συσκευή κλιματισμού, ώστε να επιτυγχάνονται **συνθήκες θερμικής άνεσης** στο χώρο και βασικά επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία αέρα.

Θερμικό κέρδος είναι γενικά η ποσότητα της θερμότητας που **παράγεται** ή **εισέρχεται** σε ένα χώρο, σε κάθε χρονική στιγμή, από διάφορες **πηγές**, όπως η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε άνοιγμα, η θερμότητα που μεταβιβάζεται από ένα αδιαφανές οικοδομικό στοιχείο προς το χώρο, οι άνθρωποι, τα φώτα και οι συσκευές που υπάρχουν μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τέλος τα ανοίγματα και τα δίκτυα μέσω των οποίων διαφεύγει και διανέμεται ποσότητα αέρα.

Ψυκτικό φορτίο χώρου ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να απομακρύνεται σε κάθε χρονική στιγμή από το χώρο, ώστε η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα του χώρου να παραμένουν σταθερές, για να έχουμε συνθήκες θερμικής άνεσης. Το ψυκτικό φορτίο διαφέρει από το συνολικό θερμικό κέρδος του χώρου κατά την ίδια χρονική στιγμή.

Απλές και δόκιμες μέθοδοι γρήγορης εκτίμησης των θερμικών κερδών και των διαφόρων ψυκτικών φορτίων έχουν αναπτυχθεί από την ASHRAE με τη χρήση πινάκων και των βασικών παραγόντων **θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου (CLTD)**, **παράγοντα φορτίου υαλοπινάκων (GLF)** και **παράγοντα ψυκτικού φορτίου (CLF)**.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

1. Να υπολογισθούν όλα τα φορτία κλιματισμού και αερισμού για μία τετραόροφη πολυκατοικία τεσσάρων ατόμων ανά επίπεδο εμβαδού $10 \times 15 \times 4 \text{ m}^2$ και ύψους 4m ανά όροφο. Δίνονται επίσης τα εξής:
 - Η τοιχοποιία είναι μέτριας κατασκευής με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
 - Τα παράθυρα είναι αλουμινίου και διπλά με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας $3.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (με σκίαση) σε ποσοστό 20% επί της κάθε όψης.
 - Οι ένοικοι παραμένουν στην κατοικία για 14 ώρες.
 - Οι λαμπτήρες των φωτιστικών τους είναι λαμπτήρες πυράκτωσης.
 - Η επίπλωση της κατοικίας είναι ελαφριά κατηγορίας Α.
 - Ο αριθμός των ωρών που παραμένουν ανοιχτά τα φωτιστικά (ποσοστού 40% επί των εγκατεστημένων φωτιστικών ισχύος 9000W) είναι 12, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου θα γίνει για 5 ώρες λειτουργίας αυτών. Σημειώνεται ότι τα άτομα παραμένουν στο χώρο για 18 ώρες, ενώ η τελευταία είσοδος έγινε 5 ώρες πριν την έναρξη υπολογισμού των φορτίων.
 - Γίνεται χρήση απορροφητήρα, ενώ οι συσκευές που λειτουργούν σε κάθε κατοικία είναι ηλεκτρική κουζίνα, φούρνος μικροκυμάτων (τα οποία λειτουργούν συνολικά 6 ώρες, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου γίνεται 7 ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας τους), ψυγείο, τηλεόραση και πλυντήριο ρούχων (τα οποία λειτουργούν για 8 ώρες, ενώ ο υπολογισμός των φορτίων γίνεται 7 ώρες μετά από την έναρξη λειτουργίας τους).

Επιπλέον, να υπολογισθεί το φορτίο αερισμού, αν θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα μία αλλαγή του συνολικού όγκου του κτιρίου ανά ώρα. Σημειώνεται ότι το φορτίο από τα φωτιστικά σώματα πρέπει να υπολογισθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι ο φωτισμός έχει τεθεί σε λειτουργία εδώ και τέσσερις ώρες.

Η εξωτερική θερμοκρασία είναι 29°C , η εσωτερική θερμοκρασία θέλουμε να διατηρηθεί στο επίπεδο των 27°C ενώ ο άξονας προσανατολισμού του κτιρίου είναι ανατολή-δύση.

2. Να υπολογισθούν όλα τα φορτία κλιματισμού και αερισμού για μία εξα-όροφη πολυκατοικία τεσσάρων ατόμων ανά επίπεδο εμβαδού $20 \times 15 \times 4 \text{ m}^2$ και ύψους 3.6m ανά όροφο. Δίνονται επίσης τα εξής:
- Η τοιχοποιία είναι μέτριας κατασκευής με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0.65 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
 - Τα παράθυρα είναι αλουμινίου και μονά με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας $5.8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (με σκίαση) σε ποσοστό 30% επί της κάθε όψης.
 - Οι ένοικοι παραμένουν στην κατοικία για 12 ώρες.
 - Οι λαμπτήρες των φωτιστικών τους είναι λαμπτήρες πυράκτωσης.
 - Η επίπλωση της κατοικίας είναι ελαφριά κατηγορίας B.
 - Ο αριθμός των ωρών που παραμένουν ανοιχτά τα φωτιστικά (ποσοστό 40% επί των εγκατεστημένων φωτιστικών συν. ισχύος 9000W) είναι 12, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου θα γίνει για 5 ώρες λειτουργίας αυτών. Σημειώνεται ότι τα άτομα παραμένουν στο χώρο για 18 ώρες, ενώ η τελευταία είσοδος έγινε 5 ώρες πριν την έναρξη υπολογισμού των φορτίων.
 - Γίνεται χρήση απορροφητήρα, ενώ οι συσκευές που λειτουργούν σε κάθε κατοικία είναι ηλεκτρική κουζίνα, φούρνος μικροκυμάτων (τα οποία λειτουργούν συνολικά 5 ώρες, ενώ ο υπολογισμός του φορτίου γίνεται 5 ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας τους) , ψυγείο, τηλεόραση και πλυντήριο ρούχων (τα οποία λειτουργούν για 5 ώρες ενώ ο υπολογισμός των φορτίων γίνεται 6 ώρες μετά από την έναρξη λειτουργίας τους)
- Επιπλέον να υπολογισθεί το φορτίο αερισμού, αν θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα μία αλλαγή του συνολικού όγκου του κτιρίου. Σημειώνεται ότι το φορτίο από τα φωτιστικά σώματα πρέπει να υπολογισθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι ο φωτισμός έχει τεθεί σε λειτουργία εδώ και τέσσερις ώρες.
- Η εξωτερική θερμοκρασία είναι $29 \text{ }^\circ\text{C}$, η εσωτερική θερμοκρασία θέλουμε να διατηρηθεί στο επίπεδο των $26 \text{ }^\circ\text{C}$, ενώ ο άξονας προσανατολισμού του κτιρίου είναι ανατολή-δύση.

ΔΙΑΝΟΜΗ ΑΕΡΑ - ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ

- 12.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ
- 12.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ-
ΑΕΡΙΣΜΟ ΤΥΠΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ
- 12.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΕΡΑ
- 12.4 ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ. ΕΙΔΗ-ΥΛΙΚΑ-ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ
- 12.5 ΤΡΙΒΕΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



Μετά τη διαπραγμάτευση των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση :

- ✓ Να γνωρίζουν τυπικές διατάξεις διανομής και απαγωγής του αέρα σε κλιματιζόμενο χώρο καθώς και τον τρόπο προσδιορισμού της ποσότητας και κατάστασης του αέρα σε κάθε σημείο ενός δικτύου κλιματισμού.
- ✓ Να γνωρίζουν τα βασικά εξαρτήματα ενός δικτύου διανομής αέρα και να κατανοούν τη συνεισφορά καθενός από αυτά στην εγκατάσταση κλιματισμού.
- ✓ Να εξηγούν τον τρόπο μεταβολής της πίεσης του αέρα σε ένα δίκτυο αεραγωγών και το ρόλο που αυτό το μέγεθος παίζει ως προς τις συνθήκες του χώρου και το σύστημα κλιματισμού.

12.1 Προσδιορισμός εξοπλισμού

Στην παράγραφο 9.5 έγινε μια συνοπτική παρουσίαση των διαφόρων συστημάτων κλιματισμού. Μεταξύ άλλων αναφερθήκαμε στα συστήματα **μόνο με αέρα** και **αέρα-νερού** τα οποία χρησιμοποιούν **δίκτυα αεραγωγών**. Ένα τυπικό κεντρικό σύστημα κλιματισμού μόνο με αέρα, όπως αυτό που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 9.6, χρησιμοποιεί **αεραγωγούς** για την **προσαγωγή** κλιματισμένου ή νωπού αέρα (αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος στους χώρους, για την **απαγωγή** ισοδύναμης ποσότητας «βρώμικου» αέρα από τους χώρους και τέλος για την **ανάμειξη, ανακυκλοφορία και απόρριψη** (προς το περιβάλλον) ρευμάτων αέρα, σε **κατάλληλες** ποσότητες.

Θα αναφερθούμε τώρα στα **στοιχεία του δικτύου διανομής** του τυπικού συστήματος κλιματισμού με αέρα του Σχήματος 9.15, που αναφέρονται και στον Πίνακα 9.5. Για την **ομαλή** τελική διανομή αλλά και για την αρχι-

κή απαγωγή του αέρα από τους χώρους, απαιτούνται, επίσης, ειδικά εξαρτήματα με διαμορφωμένες θυρίδες, που ονομάζονται **στόμια**. Τα στόμια βρίσκονται σε κατάλληλα **τελικά σημεία** του δικτύου αεραγωγών προς την οροφή, ψηλά στους τοίχους ή χαμηλά στα δάπεδα των κλιματιζόμενων χώρων. Επιπλέον, στα δίκτυα αεραγωγών, τοποθετούνται απαραίτητα κατάλληλοι **ανεμιστήρες** και **διαφράγματα ρύθμισης** ώστε, σε συνδυασμό με τη γεωμετρική μορφή των αεραγωγών και κατάλληλες **διατάξεις αυτόματου ελέγχου**, να δημιουργούνται κατάλληλες **εσωτερικές πιέσεις** και να ρυθμίζονται οι ποσότητες των ρευμάτων που διακινούνται. Έτσι, ρυθμίζεται και η **τελική κατάσταση** του αέρα που προσάγεται στους κλιματιζόμενους χώρους για τη διατήρηση επιθυμητών συνθηκών θερμικής άνεσης (θερμοκρασία, ταχύτητα, υγρασία αέρα χώρου) και της ποιότητας του αέρα στο χώρο (απουσία ρυπαντών αέρα).

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου αεραγωγών βασίζεται:

- Στην επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης και ψύξης.
- Στο λεπτομερειακό υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων κάθε χώρου, τα οποία θα πρέπει να καλυφθούν από τη μονάδα θέρμανσης και ψύξης που έχει επιλεγεί.
- Στον υπολογισμό των ποσοτήτων αέρα, οι οποίες απαιτούνται για κάθε κλιματιζόμενο χώρο.

12.2 Εκτίμηση ποσότητας αέρα για κλιματισμό-αερισμό τυπικού χώρου

Η **ποσότητα** του **νωπού** (φρέσκου) αέρα που απαιτείται για την **ανανέωση** του «βρώμικου» αέρα ενός κλιματιζόμενου χώρου καταρχήν προσδιορίζεται από πίνακες, όπως ο Πίνακας 9.4 για μια συγκεκριμένη εφαρμογή αερισμού. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από το αναμενόμενο **πλήθος των ατόμων** και μάλιστα όσων καπνίζουν σε ένα χώρο, από την **επιφάνεια του χώρου** καθώς και από **ειδικές απαιτήσεις υγιεινής** (π.χ. σε τουαλέτες, κουζίνες, χειρουργεία κ.τ.λ.). Πρέπει να σημειωθεί ότι διάφοροι εθνικοί κανονισμοί και διεθνή ή εθνικά πρότυπα επιβάλλουν συχνά διαφορετικές σχετικές απαιτήσεις, προς την ίδια όμως κατεύθυνση της εξασφάλισης της ποιότητας στο εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου.

π.χ. Παράδειγμα

Ας πάρουμε το παράδειγμα ενός χώρου γραφείων, όπου εργάζονται 20 άτομα. Από αυτούς μερικοί καπνίζουν. Σύμφωνα με τον Πίνακα 9.4 του κεφαλαίου 9, η ποσότητα νωπού αέρα που ενδείκνυται για έναν τέτοιο χώρο είναι 8,5 m³/h ανά άτομο.

Επομένως, η συνολικά απαιτούμενη ποσότητα νωπού αέρα για τον εξεταζόμενο χώρο είναι ίση με $20 \times 8,5 = 170 \text{ m}^3/\text{h} = 170 \times 1000 / 3600 = 47,2 \text{ lt/sec}$.

Στην περίπτωση κλιματιζόμενου χώρου, ο αέρας που **προσάγεται** σε αυτόν πρέπει να είναι **κατάλληλα δροσερός** (κατά τη θερινή περίοδο) ή **θερμός** (κατά τη χειμερινή περίοδο) για να **καλύπτει** το **ψυκτικό** ή **θερμικό**, αντίστοιχα, **φορτίο** του χώρου και να ικανοποιεί, σε κάθε χρονική στιγμή, τις σχετικές απαιτήσεις θερμικής άνεσης, σύμφωνα με όσα διαπραγματευθήκαμε στα κεφάλαια 9, 10 και 11. Στις περισσότερες περιπτώσεις κλιματισμού, όπου δεν απαιτούνται ειδικές προδιαγραφές ποιότητας αέρα (π.χ. χειρουργεία), ο κλιματισμένος αέρας **προσαγωγής** είναι **μείγμα** ποσότητας νωπού αέρα και ποσότητας αέρα που **ανακυκλοφορεί** για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και κάνοντας αναφορά στην ψυχομετρική μεταβολή της κατάστασης του αέρα κατά τη θερινή περίοδο με **ψύξη και αφύγρανση** (βλ. Διάγραμμα 10.12 παραγράφου 10.8), μπορούμε να συνάγουμε ότι η **ποσότητα του κλιματισμένου αέρα**, που πρέπει να προσάγεται σε έναν τυπικό χώρο, σε κάθε χρονική στιγμή, δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{m}_s = \frac{\dot{Q}_{\text{ΟΛΙΚΟ}}}{h_r - h_r} \quad (\text{σε m}^3/\text{sec}) \quad 12.1)$$

όπου :

$\dot{Q}_{\text{ΟΛΙΚΟ}}$ το ολικό ψυκτικό φορτίο του κλιματιζόμενου χώρου (σε W) (σύμφωνα με τους υπολογισμούς του κεφαλαίου 11).

h_r, h_s : η ενθαλπία του αέρα (σε J/kg) στην **κατάσταση απαγωγής από το χώρο, r** (πριν την είσοδο του ρεύματος στον ανεμιστήρα απαγωγής) και στην **κατάσταση προσαγωγής στο χώρο, s** (μετά την επεξεργασία-ψύξη του αέρα στο **στοιχείο** της κλιματιστικής μονάδας και την έξοδο του ρεύματος από τον ανεμιστήρα προσαγωγής), αντίστοιχα.

Ο μετασχηματισμός της παραπάνω γενικής σχέσης για συνήθεις εφαρμογές, όπου έχουμε **ψύξη και αφύγρανση**, μας δίνει τις ακόλουθες δύο πρακτικές προσεγγιστικές σχέσεις, για την **παροχή όγκου του αέρα, $\dot{V}$ (lt/sec)**. Η παροχή του αέρα συνδέεται με τις διαφορές θερμοκρασίας (T) και υγρασίας (λόγου υγρασίας W) μεταξύ των καταστάσεων **προσαγωγής (s) και απαγωγής (r)** του αέρα στο χώρο και το αντίστοιχο ολικό **αισθητό ($\dot{Q}_{OLS}$) και λανθάνον ($\dot{Q}_{OLL}$)** θερμικό φορτίο του χώρου (σε W), ως εξής:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{OLS}}{1,23 \times (T_r - T_s)} \quad (12.2)$$

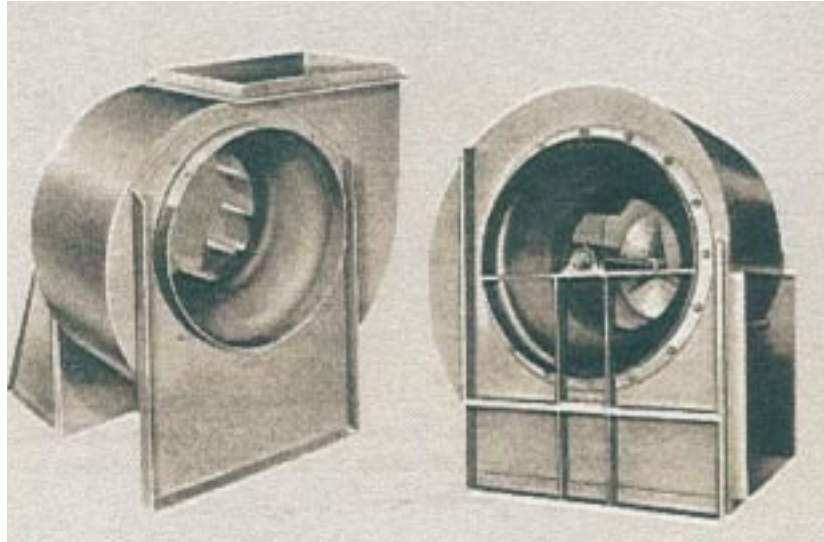
$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{OLL}}{3010 \times (W_r - W_s)} \quad (12.3)$$

12.3 Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα

Ο **ελεγχόμενος αερισμός** των κλιματιζόμενων χώρων, είτε κατά την περίοδο ψύξης είτε κατά την περίοδο θέρμανσης, βασίζεται αναγκαστικά σε **μηχανικά υποβοηθούμενη κίνηση** του αέρα προς τις απαιτούμενες κατευθύνσεις.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για τη ροή του αέρα από την κλιματιστική συσκευή-μονάδα στον κλιματιζόμενο χώρο (βλέπε το τυπικό σύστημα αέρα της παραγράφου 5.6) χρησιμοποιούνται **δίκτυα αεραγωγών**, ενώ για τη δημιουργία κατάλληλων πιέσεων του αέρα μέσα σε αυτούς, χρησιμοποιούνται οι **ανεμιστήρες**. Οι ανεμιστήρες είναι ουσιαστικά «αντλίες αέρα» και αποτελούνται από το **περίβλημα**, ένα **στρεφόμενο άξονα**, μια **κινητήρια** διάταξη, την **πτερωτή** και από το σύστημα **εισαγωγής και απόρριψης** του αέρα. Ανάλογα με τα κατασκευαστικά τους στοιχεία, διακρίνονται σε **φυγοκεντρικούς** και σε **αξονικούς** ανεμιστήρες.

Στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται οι **φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες**, οι οποίοι τοποθετούνται στην **έξοδο** του αέρα από την **κλιματιστική συσκευή-μονάδα**, ώστε να ωθούν τον αέρα προς τους κλιματιζόμενους χώρους δημιουργώντας **υπερπίεση**. Αντίστοιχα, τοποθετούνται στην έξοδο του αέρα από τους **κλιματιζόμενους χώρους**, ώστε να δημιουργούν **υποπίεση** και να απάγουν το «μολυσμένο» χρησιμοποιημένο αέρα του χώρου.



Εικόνα 12.1. Κελύφη φυγοκεντρικών ανεμιστήρων

12.4 Αεραγωγοί. Είδη-Υλικά-Εξαρτήματα

Οι αεραγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από **γαλβανισμένη λαμαρίνα** ή **φύλλα αλουμινίου** αλλά και από ειδικές κατασκευές **υαλοβάμβακα**, ειδικά **πλαστικά** ή **υφάσματα** με άκαμπτα ή εύκαμπτα τμήματα. Σημειώνεται ότι όταν υπάρχει αυξημένος κίνδυνος διαβρώσεων από τη σύνθεση του κυκλοφορούντος αέρα, προτιμώνται αεραγωγοί κατασκευασμένοι από ελάσματα αλουμινίου ή πλαστικό.

Ως προς τη μορφή της διατομής τους, οι αεραγωγοί διακρίνονται σε:

- **Αεραγωγούς κυκλικής διατομής**

Οι αεραγωγοί αυτοί παρουσιάζουν τις λιγότερες θερμικές απώλειες, ενώ παράλληλα έχουν και τη μεγαλύτερη απόδοση λόγω της εκμετάλλευσης όλης της επιφάνειας του αεραγωγού. Παρόλα αυτά όμως δε χρησιμοποιούνται εύκολα, γιατί υπάρχει δυσκολία στην τοποθέτησή τους λόγω της μεγάλης τους διατομής, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα αισθητικής.

- **Αεραγωγούς τετραγωνικής διατομής**

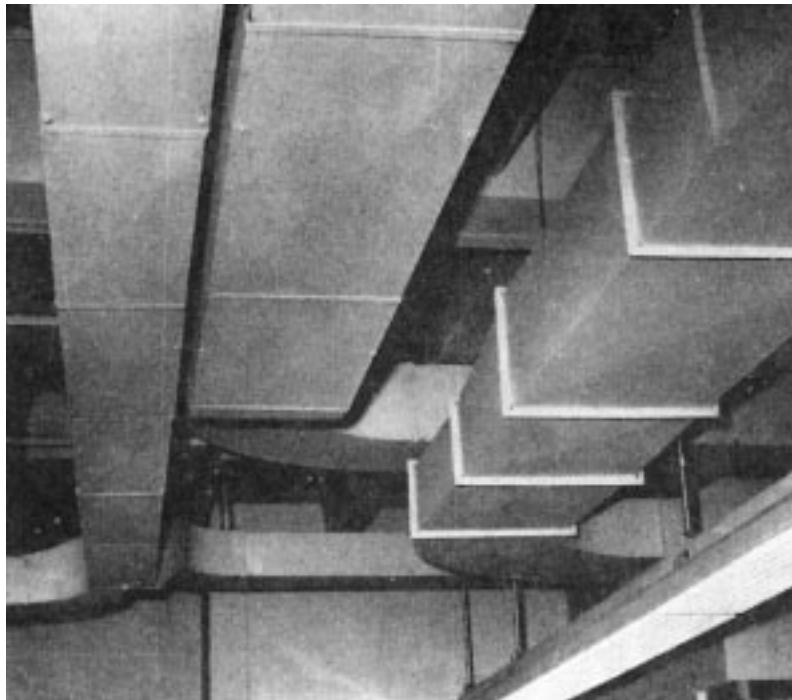
Οι αεραγωγοί αυτοί παρουσιάζουν μεγαλύτερες τριβές και μικρότερη από-

δοση από τους αεραγωγούς κυκλικής διατομής, αλλά θεωρούνται οι πλέον οικονομικοί σε κόστος κατασκευής.

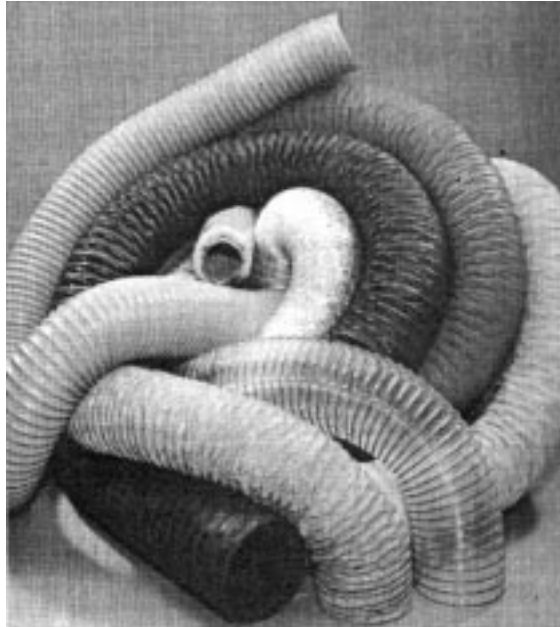
● **Αεραγωγούς ορθογωνικής διατομής**

Οι αεραγωγοί ορθογωνικής διατομής, παρόλο που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τριβές και τη μικρότερη απόδοση σε σχέση με τους παραπάνω δύο τύπους, χρησιμοποιούνται ευρύτατα λόγω της ευκολίας τοποθέτησης και σύνδεσής τους σε συνάρτηση με τη μορφολογία του κλιματιζόμενου χώρου. Εφαρμόζονται σε δίκτυα χαμηλής και μέσης ταχύτητας του αέρα, ενώ όπως έχει διαπιστωθεί, την καλύτερη απόδοση και λογικό κόστος παρουσιάζουν οι ορθογωνικοί αεραγωγοί που η σχέση των πλευρών τους είναι **2:1**.

Οι Εικόνες 12.2 , 12.3 και 12.4 παρουσιάζουν παραδείγματα αεραγωγών διαφόρων υλικών, μορφών και διατομών.



Εικόνα 12.2. Αεραγωγοί ορθογωνικής διατομής από γαλβανισμένη λαμαρίνα



Εικόνα 12.3. Εύκαμπτοι αεραγωγοί κυκλικής διατομής από πλαστικό



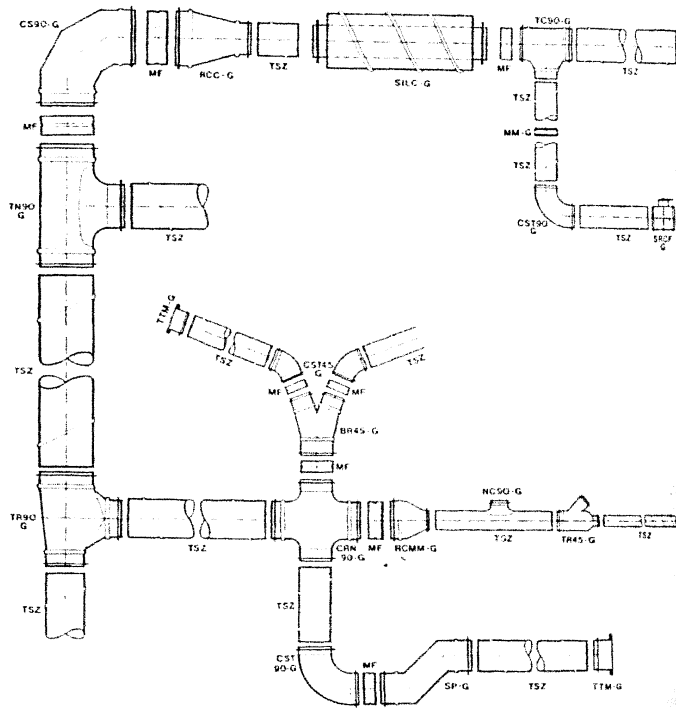
Ορθογώνιος αεραγωγός
από υαλοβάμβακα

Κυκλικός αεραγωγός από
υαλοβάμβακα

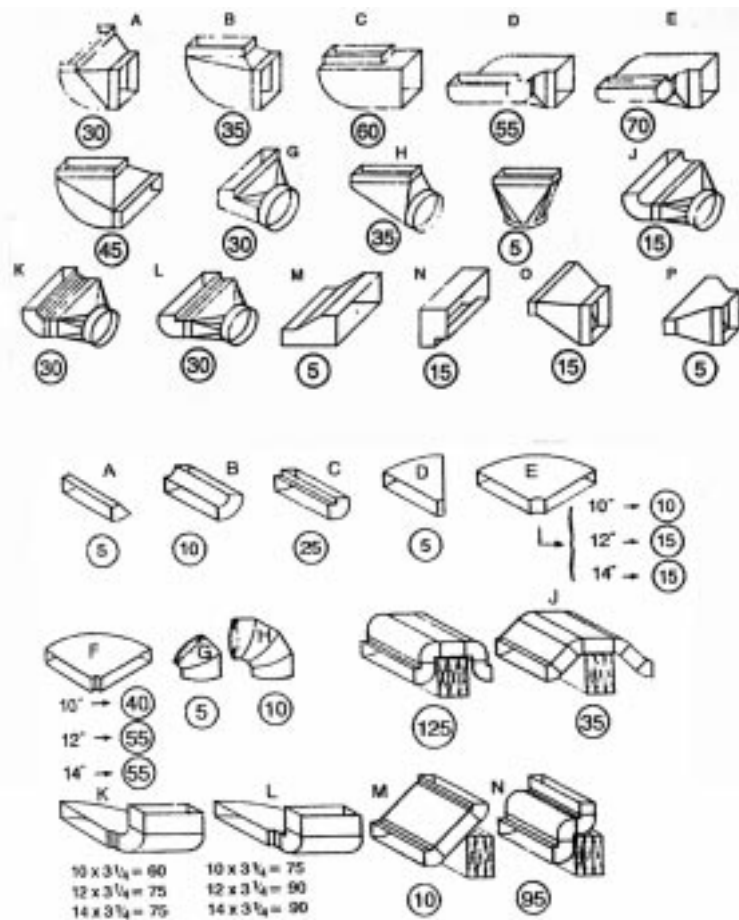
Εύκαμπτος αεραγωγός (Flexibile
με μόνωση

Εικόνα 12.4. Διατομές αεραγωγών από υαλοβάμβακα

Η σύνδεση των αεραγωγών, τόσο μεταξύ τους, όσο και με συσκευές και διατάξεις του συστήματος κλιματισμού (ανεμιστήρες, στοιχεία, φίλτρα κτ.λ.) πραγματοποιείται με διάφορα **τεμάχια-εξαρτήματα**, τα οποία σε συνδυασμό με τους αεραγωγούς αποτελούν το **δίκτυο των αεραγωγών**. Τα εξαρτήματα αυτά είναι **γωνίες διαφόρων κλίσεων, διακλαδώσεις-συμβολές, καμπύλες αλλαγής διεύθυνσης και στενώσεις-διευρύνσεις** (κώνοι) με διαφόρων μορφών και μεγεθών διατομές (κυκλικές, ορθογωνικές κ.τ.λ.) όπως φαίνονται στα Σχήματα 12.1 και 12.2.

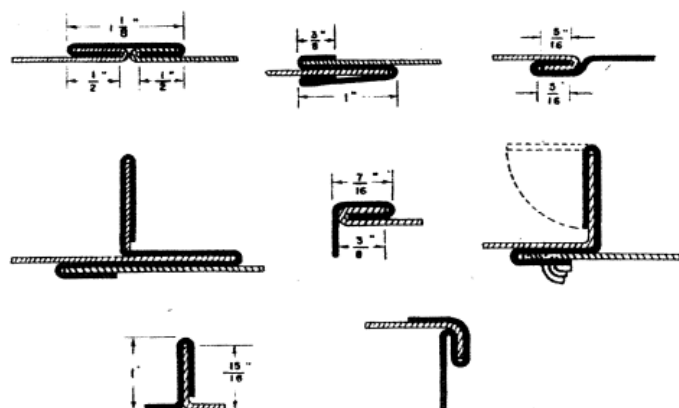


Σχήμα 12.1. Ευθύγραμμα τμήματα αεραγωγών κυκλικής διατομής και εξαρτήματα σύνδεσής τους (Σελλ.σελ 10.48σχ.10.1.121)

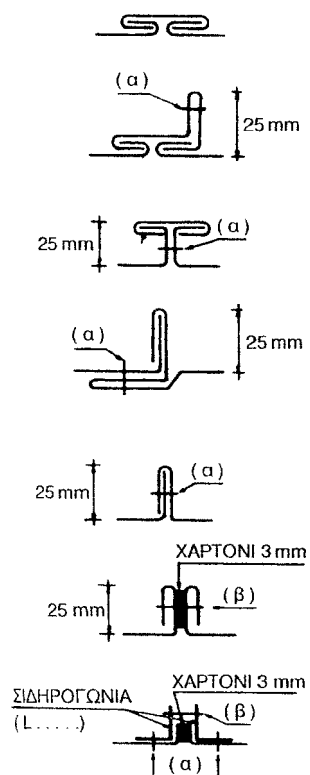


Σχήμα 12.2. Ειδικά τεμάχια σύνδεσης αεραγωγών

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους ενώνονται («**ράβονται**») τα διάφορα τμήματα και εξαρτήματα του δικτύου των αεραγωγών, συνήθως όμως προτιμάται είτε η χρήση **σιδηρογωνιών** και **βιδών** είτε η χρήση **πρόσθετου ελάσματος λαμαρίνας**, το οποίο ενώνει δύο κομμάτια αεραγωγού ή εξαρτήματος σύνδεσης (Σχήματα 12.3, 12.4).



Σχήμα 12.3. Τρόποι σύνδεσης τμημάτων αεραγωγών από γαλβανισμένη λαμαρίνα



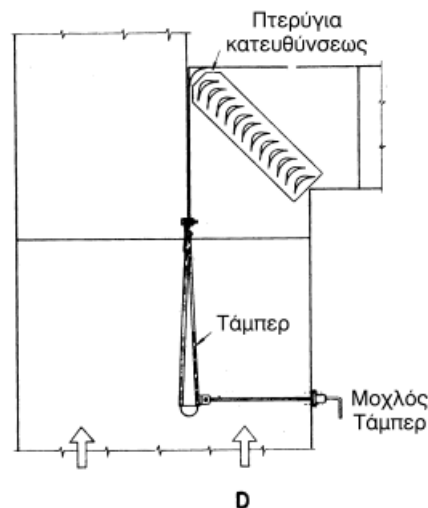
(α) ΛΑΜΑΡΙΝΟΒΙΔΑ ή ΠΡΙΤΣΙΝΙ ΑΝΑ 150 mm

(β) ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΕΝΗ ΒΙΔΑ ΜΕ ΠΑΞΙΜΑΔΙ $\phi 1/4$ ΑΝΑ 150 mm

Σχήμα 12.4. Τρόποι εγκάρσιας σύνδεσης (ραφής) ορθογωνικών αεραγωγών

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις συνδέσεις των **ανεμιστήρων** με τους **αεραγωγούς** τοποθετείται **υφασμάτινη σύνδεση**, ώστε να διακόπτεται η μετάδοση των κραδασμών του ανεμιστήρα και προς το υπόλοιπο δίκτυο των αεραγωγών. Επιπρόσθετα, τοποθετούνται κώνοι διευρυνόμενοι ώστε να αυξάνεται η διατομή του αεραγωγού.

Στα σημεία του δικτύου των αεραγωγών, όπου αλλάζει πορεία ο αέρας, τοποθετούνται **καθοδηγητικά πτερύγια** (πτερύγια κατεύθυνσης) ώστε να μειώνονται οι απώλειες λόγω της απότομης αλλαγής κατεύθυνσης του αέρα. Στις **διακλαδώσεις** των αεραγωγών τοποθετούνται **ρυθμιστικά διαφράγματα** (dampers), τα οποία μετακινούμενα αλλάζουν την παροχή του αέρα σύμφωνα με τις ανάγκες των κλιματιζόμενων χώρων (Σχήμα 12.5).

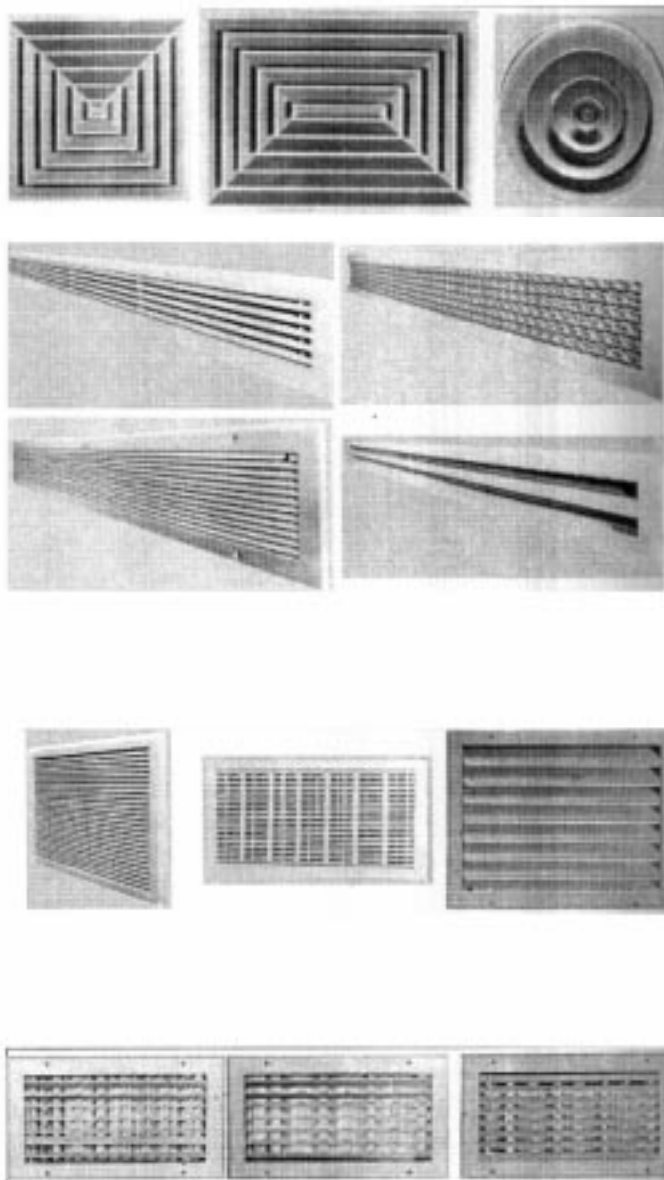


Σχήμα 12.5. Διάταξη ρυθμιστικού διαφράγματος και πτερύγιο αλλαγής κατεύθυνσης σε αεραγωγό

Η τελική διαδικασία **διανομής** αλλά και απόρριψης του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους πραγματοποιείται από ειδικά στοιχεία, τα οποία ονομάζονται **στόμια προσαγωγής και απαγωγής του αέρα**. Τα στόμια προσαγωγής, ανάλογα με τη θέση που τοποθετούνται στο χώρο, με στόχο να καλύψουν συγκεκριμένες κάθε φορά ανάγκες, διακρίνονται σε **στόμια οροφής**, **στόμια κατακόρυφων επιφανειών** (τοιχών) και **στόμια δαπέδων**.

Τα στόμια προσαρμόζονται στο άκρο των αεραγωγών, ενώ παράλληλα διαθέτουν και πτερύγια για τη **διαμόρφωση** της δέσμης του εξερχόμενου αέρα. Για τη ρύθμιση της παροχής φέρουν **ειδικό διάφραγμα**, το οποίο

μπορεί να κινείται είτε με το χέρι είτε με ηλεκτρικό μηχανισμό. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ορθή εκλογή των στομών προσαγωγής του αέρα αποτελεί βασικό παράγοντα για την **αθόρυβη** λειτουργία της εγκατάστασης.



Εικόνα 12.5 Διάφοροι τύποι στομών προσαγωγής και απαγωγής του αέρα
(στόμια οροφής, γραμμικά, θυρών, δαπέδου, νωπού αέρα,
ρυθμιζόμενων πτερυγίων κ.τ.λ.)

12.5 Τριβές ροής αέρα. Κίνηση σε αεραγωγούς

Η βασική σχέση που δίνει σε κάθε χρονική στιγμή την ποσότητα μάζας (παροχή), $\dot{m}_a$ του αέρα που διακινείται μέσα σε ένα τμήμα αεραγωγού είναι :

$$\dot{m}_a = S \times v \quad (\text{σε m}^3/\text{sec}) \quad (12.4)$$

όπου :

S : Η διατομή του τμήματος του αεραγωγού (m^2)

v : Η ταχύτητα του αέρα στο συγκεκριμένο τμήμα (m/sec).

Ο αέρας κινείται μέσα στους αεραγωγούς λόγω κάποιας **διαφοράς πίεσης** που δημιουργείται από τη λειτουργία ενός ανεμιστήρα. Η πίεση που αναπτύσσει ο ανεμιστήρας θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το ρεύμα αέρα να **υπερνικά τις αντιστάσεις τριβής** που δημιουργούνται από τα τοιχώματα των αεραγωγών και να αποκτά σε κάθε σημείο την **απαιτούμενη ταχύτητα**. Είναι, λοιπόν, βασικό να γνωρίζουμε την απαιτούμενη ταχύτητα του αέρα καθώς και τη μορφή και τα εξαρτήματα του δικτύου αεραγωγών, για να μπορούμε να προσδιορίσουμε τις τοπικές αντιστάσεις τριβής στα διάφορα τμήματα του δικτύου και επομένως τη δυναμικότητα του ανεμιστήρα που θα επιλεγεί για να υπερνικήσει τις αντιστάσεις αυτές.

Τα δίκτυα των αεραγωγών, ανάλογα με το μέγεθος της ταχύτητας του αέρα που ρέει μέσα σε αυτά καθώς και της πίεσης που έχει, διακρίνονται:

- Σε δίκτυα υψηλών στατικών πιέσεων¹ και υψηλών ταχυτήτων του αέρα
- Σε δίκτυα μέσων στατικών πιέσεων και μέσων ταχυτήτων του αέρα
- Σε δίκτυα χαμηλών στατικών πιέσεων και χαμηλών ταχυτήτων του αέρα.

Κατά τη ροή του αέρα μέσα στους αεραγωγούς, δημιουργούνται δύο πιέσεις:

- Η **στατική** πίεση, η οποία δεν εξαρτάται από την ταχύτητα κίνησης του αέρα
- Η **δυναμική**² πίεση, η οποία δημιουργείται από την ταχύτητα κίνησης του αέρα

¹ Στατική πίεση είναι η πίεση που εξασκείται από τον αέρα στα τοιχώματα των αεραγωγών και είναι κάθετη προς τη ροή του αέρα.

² Δυναμική πίεση είναι η πίεση που οφείλεται στην κίνηση του αέρα μέσα στους αεραγωγούς και εξασφαλίζει την επιτάχυνση του αέρα από ένα σημείο του αεραγωγού σε ένα άλλο.

Το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής πίεσης μας δίνει την **ολική πίεση** του αέρα.

Επειδή στον κλιματισμό οι διατομές των αεραγωγών μεταβάλλονται, παρατηρούνται διακυμάνσεις τόσο της δυναμικής όσο και της στατικής πίεσης. Έτσι, όταν έχουμε αύξηση της διατομής, ελαττώνεται η δυναμική πίεση και αυξάνεται η στατική, ενώ η ολική πίεση διατηρείται σταθερή. Το αντίθετο παρατηρείται κατά τη μείωση της διατομής του αεραγωγού.

Μέθοδοι υπολογισμού των αεραγωγών

Οι υπολογισμοί του μεγέθους των αεραγωγών γίνονται με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

1. Μέθοδος σταθερής ταχύτητας

Η μέθοδος σταθερής ταχύτητας χρησιμοποιείται κυρίως:

- Σε **απλά** δίκτυα ή ακόμα και σε τμήματα εκτεταμένων δικτύων σε συνδυασμό με μία από τις άλλες μεθόδους.
- Σε δίκτυα **απαγωγής** στα οποία απαιτείται σταθερή ταχύτητα ροής.

Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο εύκολος προσδιορισμός των μεγεθών των αεραγωγών ενώ αντίστοιχα το κυριότερο μειονέκτημα είναι η δυσκολία εκλογής των ταχυτήτων αλλά και της δυσμενέστερης διαδρομής του δικτύου.

2. Μέθοδος μείωσης ταχύτητας

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε **όλα** τα δίκτυα προσαγωγής και επιστροφής του αέρα με **διακλαδώσεις**, αλλά προϋποθέτει την εμπειρία του μελετητή.

3. Μέθοδος σταθερής πτώσης πίεσης

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε **όλα** τα δίκτυα προσαγωγής και επιστροφής του αέρα. Κατά την παραπάνω μέθοδο, το σύστημα των αεραγωγών υπολογίζεται κατά τρόπο ώστε η **απώλεια πίεσης ανά μονάδα μήκους να είναι ενιαία** για όλο το δίκτυο των αεραγωγών. Η μέθοδος αυτή

προσφέρεται σε περιπτώσεις **συμμετρικών** διατάξεων, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι σε δίκτυα με μικρές ή μεγάλες διαδρομές τίθενται κατά διαστήματα ρυθμιστικά διαφράγματα (dampers).

4. Μέθοδος ανάκτησης της στατικής πίεσης

Η μέθοδος ανάκτησης της στατικής πίεσης χρησιμοποιείται σε **μεγάλα και ασύμμετρα** δίκτυα καθώς και σε δίκτυα **υψηλών ταχυτήτων**. Είναι πληρέστερη, πιο αξιόπιστη αλλά δυσκολότερη και εφαρμόζεται στην περίπτωση δικτύων **μεγάλου μήκους** και δικτύων αεραγωγών **υψηλών πιέσεων**.

Πτώση πίεσης σε ευθύγραμμους αεραγωγούς ορθογωνικής διατομής

Σε αεραγωγούς ορθογωνικής διατομής, που είναι και οι συνηθέστεροι στη διανομή του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους, η πτώση πίεσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta p = f \frac{L}{D_{\text{ισ}} \frac{v^2}{2} \rho \quad (12.5)$$

όπου:

f : ένας αδιάστατος συντελεστής τριβής

L : το μήκος του αεραγωγού (m)

$D_{\text{ισ}}$: η ισοδύναμη (ως προς την κυκλική) διάμετρος του αεραγωγού η οποία δίνεται από τη σχέση: $D_{\text{ισ}} = 2 \frac{ab}{a+b}$ όπου a, b είναι τα μήκη των πλευρών του αεραγωγού.

v : η ταχύτητα ροής του αέρα (m/sec)

ρ : η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3).

Πτώση πίεσης σε στενώσεις, διευρύνσεις, διακλαδώσεις

Κατά τη ροή του αέρα μέσα στους αεραγωγούς δημιουργούνται απώλειες πίεσης. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην ύπαρξη τοπικών αντιστάσεων (διακλαδώσεων των αεραγωγών για αλλαγή της ροής του αέρα, ελασμάτων οδήγησης του αέρα στην επιθυμητή κατεύθυνση) και δίνονται από τη σχέση:

$$Z = \zeta \left(\frac{\rho}{2} \right) v^2 \quad (12.6)$$

όπου ζ είναι η τιμή του αντίστοιχου συντελεστή τοπικής αντίστασης, η οποία έχει προσδιορισθεί με πειραματικές διαδικασίες.

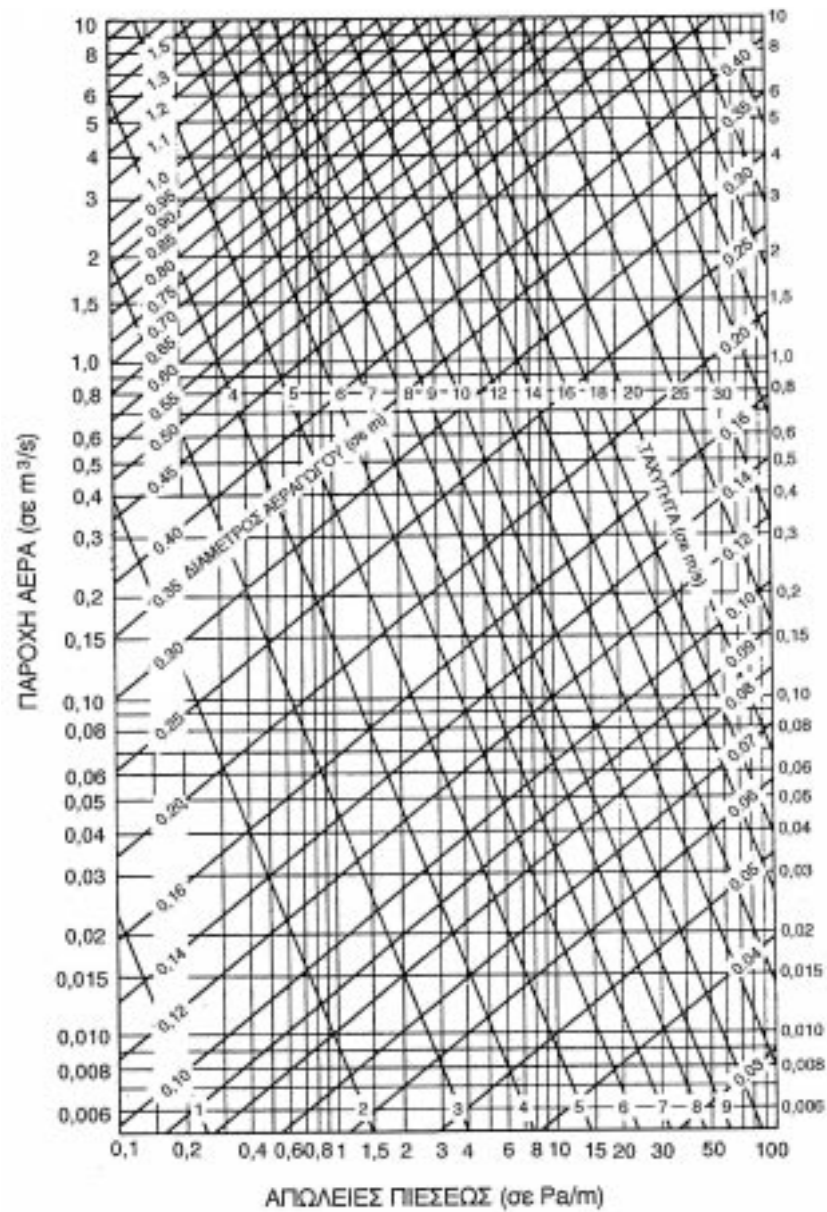
Στην περίπτωση που υπάρχουν διακλαδώσεις, όπου μεταβάλλεται η ταχύτητα, τότε η τιμή του τοπικού συντελεστή αντίστασης πρέπει να λαμβάνει αντίστοιχες τιμές. Δηλαδή, στις ταχύτητες ροής του αέρα v_1, v_2, v_3 πρέπει να υπάρχουν αντίστοιχες τιμές $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$.

Στο Σχήμα 12.6 δίνονται οι συντελεστές αντίστασης (ζ) διαφόρων εξαρτημάτων κατά τη ροή του αέρα.

τόξο <table><tr><td>$R/D = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>$1,0$</td><td>$1,5$</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 0,9$</td><td>$0,43$</td><td>$0,33$</td><td>$0,24$</td><td>$0,19$</td><td>$0,17$</td><td>$0,15$</td><td></td><td></td></tr></table>	$R/D = 0,5$	$0,75$	$1,0$	$1,5$	2					$\zeta = 0,9$	$0,43$	$0,33$	$0,24$	$0,19$	$0,17$	$0,15$			3 <table><tr><td>$R/D = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>$1,0$</td><td>$1,5$</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3 Segm. $\zeta = 1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,3$</td><td>$0,25$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>5 Segm. $\zeta = 1,1$</td><td>$0,6$</td><td>$0,4$</td><td>$0,25$</td><td>$0,2$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	$R/D = 0,5$	$0,75$	$1,0$	$1,5$	2					3 Segm. $\zeta = 1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,3$	$0,25$					5 Segm. $\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$					2 <table><tr><td>$R/W = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$W_1/W \quad 0,25$</td><td>$\zeta = 0,4$</td><td>$0,25$</td><td>$0,2$</td><td>$0,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$W_1/W \quad 0,5$</td><td>$\zeta = 0,5$</td><td>$0,3$</td><td>$0,2$</td><td>$0,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> δδηγδ ξλασμα	$R/W = 0,5$	$0,75$	1	2						$W_1/W \quad 0,25$	$\zeta = 0,4$	$0,25$	$0,2$	$0,1$					$W_1/W \quad 0,5$	$\zeta = 0,5$	$0,3$	$0,2$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$R/D = 0,5$	$0,75$	$1,0$	$1,5$	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 0,9$	$0,43$	$0,33$	$0,24$	$0,19$	$0,17$	$0,15$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$R/D = 0,5$	$0,75$	$1,0$	$1,5$	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3 Segm. $\zeta = 1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,3$	$0,25$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
5 Segm. $\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$R/W = 0,5$	$0,75$	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$W_1/W \quad 0,25$	$\zeta = 0,4$	$0,25$	$0,2$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$W_1/W \quad 0,5$	$\zeta = 0,5$	$0,3$	$0,2$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
4 <table><tr><td>$h/b = 0,25$</td><td>$0,5$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 2,1$</td><td>$1,7$</td><td>$1,2$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	$h/b = 0,25$	$0,5$	$1,0$	$2,0$						$\zeta = 2,1$	$1,7$	$1,2$	$0,6$						5 <table><tr><td>$R/W = 0$</td><td>$0,2$</td><td>$0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,4$</td><td>$0,7$</td><td>$0,6$</td><td>$0,7$</td><td>$1,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	$R/W = 0$	$0,2$	$0,4$	$0,6$	$0,8$					$\zeta = 1,4$	$0,7$	$0,6$	$0,7$	$1,1$					6 <table><tr><td>$R/W = 0$</td><td>$0,2$</td><td>$0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,4$</td><td>$0,7$</td><td>$0,6$</td><td>$0,7$</td><td>$1,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> δδηγδ ξλασμα λετα με προφλ $\zeta = 0,35$ $0,1$	$R/W = 0$	$0,2$	$0,4$	$0,6$	$0,8$					$\zeta = 1,4$	$0,7$	$0,6$	$0,7$	$1,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$h/b = 0,25$	$0,5$	$1,0$	$2,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$\zeta = 2,1$	$1,7$	$1,2$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$R/W = 0$	$0,2$	$0,4$	$0,6$	$0,8$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,4$	$0,7$	$0,6$	$0,7$	$1,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$R/W = 0$	$0,2$	$0,4$	$0,6$	$0,8$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,4$	$0,7$	$0,6$	$0,7$	$1,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
7 <table><tr><td>$R/W = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>1</td><td>$1,5$</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,1$</td><td>$0,6$</td><td>$0,4$</td><td>$0,25$</td><td>$0,2$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,0$</td><td>$0,5$</td><td>$0,25$</td><td>$0,15$</td><td>$0,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> διακλάδωση $\zeta = 1,4$	$R/W = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2					$\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$					$\zeta = 1,0$	$0,5$	$0,25$	$0,15$	$0,1$					8 <table><tr><td>$R/W = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>1</td><td>$1,5$</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,1$</td><td>$0,6$</td><td>$0,4$</td><td>$0,25$</td><td>$0,2$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,0$</td><td>$0,5$</td><td>$0,25$</td><td>$0,15$</td><td>$0,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> α = 10 30 45 60 90° $\zeta = 0,1$ 0,3 0,7 1,0 1,4	$R/W = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2					$\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$					$\zeta = 1,0$	$0,5$	$0,25$	$0,15$	$0,1$					9 <table><tr><td>$R/W = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>1</td><td>$1,5$</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,1$</td><td>$0,6$</td><td>$0,4$</td><td>$0,25$</td><td>$0,2$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,0$</td><td>$0,5$</td><td>$0,25$</td><td>$0,15$</td><td>$0,1$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> α = 10 30 45 60 90° $\zeta = 0,1$ 0,3 0,7 1,0 1,4	$R/W = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2					$\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$					$\zeta = 1,0$	$0,5$	$0,25$	$0,15$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
$R/W = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,0$	$0,5$	$0,25$	$0,15$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$R/W = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,0$	$0,5$	$0,25$	$0,15$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$R/W = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,1$	$0,6$	$0,4$	$0,25$	$0,2$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,0$	$0,5$	$0,25$	$0,15$	$0,1$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
10 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> διακλάδωση	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			11 <table><tr><td>$R/D = 0,5$</td><td>$0,75$</td><td>1</td><td>$1,5$</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 1,3$</td><td>$0,9$</td><td>$0,8$</td><td>$0,6$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	$R/D = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2					$\zeta = 1,3$	$0,9$	$0,8$	$0,6$	$0,5$					12 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> α = 60° 5,0 2,2 1,3 0,8 0,5 0,6 α = 45° 3,5 1,3 0,7 0,4 0,4 0,5 ζ = 1,4	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$R/D = 0,5$	$0,75$	1	$1,5$	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\zeta = 1,3$	$0,9$	$0,8$	$0,6$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
13 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			14 <table><tr><td>$R/D = 0,25$</td><td>$0,5$</td><td>$0,75$</td><td>$1,0$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\zeta = 0,2$</td><td>$0,1$</td><td>$0,05$</td><td>$0,05$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	$R/D = 0,25$	$0,5$	$0,75$	$1,0$						$\zeta = 0,2$	$0,1$	$0,05$	$0,05$						15 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> α = 15 30 45 60 90° $\zeta = 0,5$ 0,3 0,3 0,4 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$R/D = 0,25$	$0,5$	$0,75$	$1,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$\zeta = 0,2$	$0,1$	$0,05$	$0,05$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
16 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			17 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			18 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			19 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			20 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			21 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			22 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			23 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			24 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			25 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			26 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			27 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			28 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			29 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			30 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			31 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			32 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			33 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			34 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td><td>$0,7$</td><td>$0,4$</td><td>$0,4$</td><td>$0,5$</td><td></td><td></td></tr></table> δνοιγμα εισόδου $\zeta = 0,9$ 0,6 $\zeta = 1,25$ 0,7	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$			35 <table><tr><td>$w_2/w_1 = 0,4$</td><td>$0,6$</td><td>$0,8$</td><td>$1,0$</td><td>$2,0$</td><td>$3,0$</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 60^\circ$</td><td>$5,0$</td><td>$2,2$</td><td>$1,3$</td><td>$0,8$</td><td>$0,5$</td><td>$0,6$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\alpha = 45^\circ$</td><td>$3,5$</td><td>$1,3$</td></tr></table>	$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$				$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$			$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$	$0,7$	$0,4$	$0,4$	$0,5$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$w_2/w_1 = 0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$2,0$	$3,0$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$\alpha = 60^\circ$	$5,0$	$2,2$	$1,3$	$0,8$	$0,5$	$0,6$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha = 45^\circ$	$3,5$	$1,3$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

Σχήμα 12.6. Συντελεστές αντίστασης ζ , εξαρτημάτων σύνδεσης

Γνωρίζοντας το συντελεστή αντίστασης των εξαρτημάτων, είναι δυνατός ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης που οφείλεται στη συνδεσμολογία αυτού με το δίκτυο των αεραγωγών.



Διάγραμμα 12.1 Διάγραμμα υπολογισμού της πτώσης πίεσης ευθύγραμμου αγωγού κυκλικής διατομής (όταν είναι κατασκευασμένος από λαμαρίνα $\varepsilon=0.00015\text{ m}$), ο οποίος διαρρέεται από αέρα $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης σε **ευθύγραμμο** αεραγωγό **κυκλικής διατομής** (ή ακόμα και ορθογωνικής διατομής, αρκεί να θεωρηθεί ως διάμετρος του αγωγού η **ισοδύναμη διάμετρος** αυτού χρησιμοποιείται το ακόλουθο διάγραμμα:

Εκτός από το παραπάνω διάγραμμα, είναι απαραίτητος και ο προσδιορισμός του **συντελεστή τριβής** στους αεραγωγούς. Αυτός δίνεται από το **διάγραμμα Moody**, αν είναι γνωστός ο **αριθμός Reynolds**.

Ο αριθμός Reynolds δίνεται από τον τύπο:

$$Re = \frac{\rho Dv}{\mu} \quad (12.3)$$

όπου: ρ : η πυκνότητα του ρευστού σε (kg/m³)

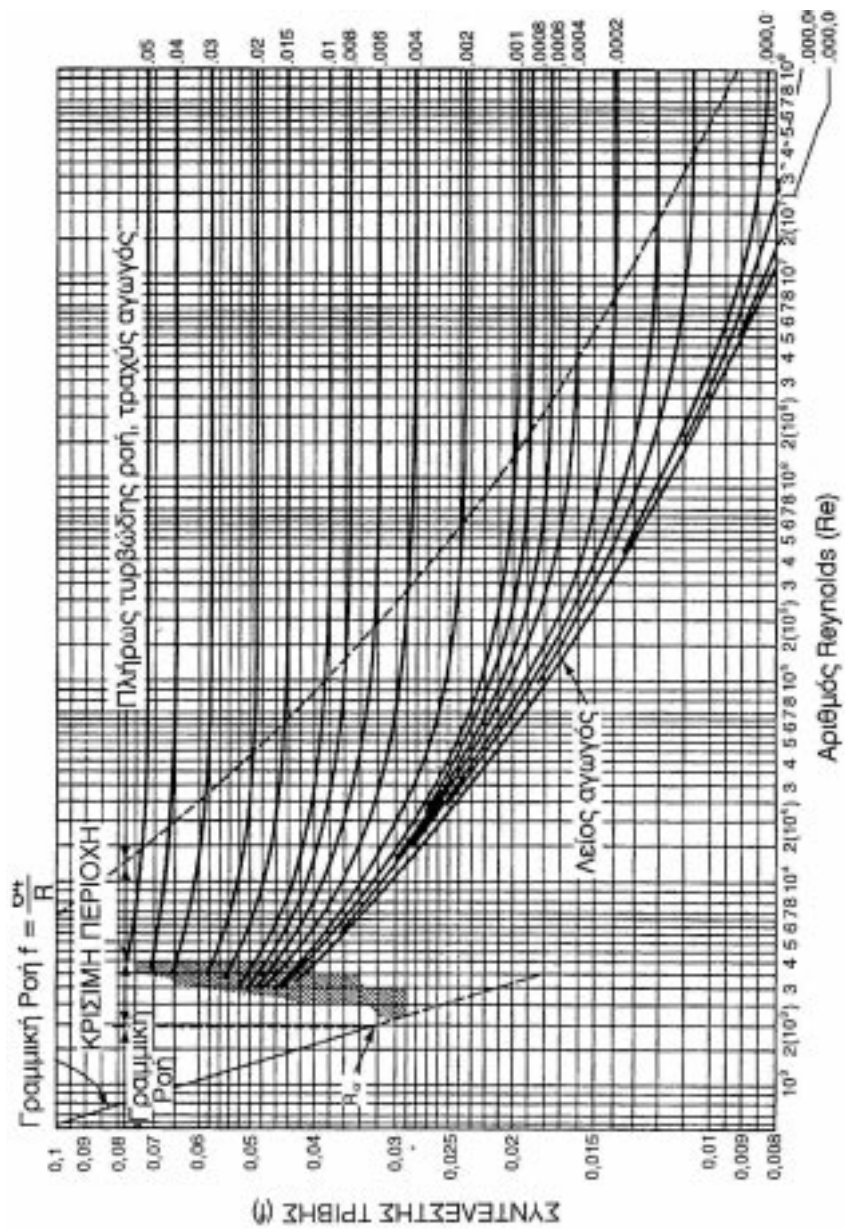
D : η διάμετρος του αγωγού (σε ορθογωνικής διατομής αγωγό χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη διάμετρο)

v : η ταχύτητα του ρευστού μέσα στον αγωγό σε (m/s)

μ : ο συντελεστής συνεκτικότητας του ρευστού σε (μPa s)
(Δίνεται από τον Πίνακα 12.1).

Πίνακας 12.1 Συνεκτικότητα και πυκνότητα του αέρα
σε ατμοσφαιρική πίεση

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ μ (μPa s)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ρ (Kg/m ³)
-10	16.768	1.3414
0	17.238	1.2922
10	17.708	1.2467
20	18.178	1.2041
30	18.648	1.1644
40	19.118	1.1272



Διάγραμμα 12.2 Διάγραμμα Moody για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής f σε αεραγωγό.

● **Παράδειγμα υπολογισμού**

Να υπολογιστεί η πτώση πίεσης και ο συντελεστής τριβής σε ευθύγραμμο αγωγό (τραχύτητας $\varepsilon=0.00015$) κυκλικής διατομής 400 mm και μήκους 20 m, όταν μέσα σε αυτόν ρέει αέρας θερμοκρασίας 20 °C και ταχύτητας 7 m/s.

Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του Πίνακα 12.1 έχουμε ότι για τον αέρα θερμοκρασίας 20 °C $\mu=18,178 \text{ mPa s}$ και $\rho=1,2041 \text{ kg/m}^3$. Οπότε, ο αριθμός Reynolds είναι:

$$Re = \frac{1,204 \times 0,4 \times 7}{18,178} = 185450$$

Η σχετική τραχύτητα του αγωγού θα είναι $\varepsilon/D=0,00015/0,4= 0,000375$

Επομένως, από το διάγραμμα Moody παίρνουμε ότι: $f=0,0187$

Δηλαδή, η πτώση πίεσης στον αεραγωγό μήκους 20 m είναι:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \rho = 0,0187 \times \frac{20}{0,4} \times \frac{49}{2} \times 1,2041 = 27,58 \text{ Pa}$$

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράψαμε τυπικές διατάξεις διανομής και απαγωγής του αέρα σε κλιματιζόμενο χώρο καθώς και τον τρόπο προσδιορισμού της ποσότητας και κατάστασης του αέρα σε κάθε σημείο ενός δικτύου κλιματισμού. Γνωρίσαμε τα βασικά εξαρτήματα ενός δικτύου διανομής αέρα και διαπιστώσαμε τη συνεισφορά καθενός από αυτά στην εγκατάσταση κλιματισμού. Τέλος, περιγράφηκε η μεθοδολογία προσδιορισμού της μεταβολής της πίεσης του αέρα σε ένα δίκτυο αεραγωγών και ο ρόλος που αυτό το μέγεθος παίζει ως προς τις συνθήκες του χώρου και το σύστημα κλιματισμού.

Αναφερθήκαμε σε τυπικά υλικά και διατομές αεραγωγών και στα σχετικά εξαρτήματα σύνδεσης των ευθύγραμμων τμημάτων τους, διαφόρων διαμέτρων καθώς και σε εξαρτήματα και διατάξεις ρύθμισης της ροής του αέρα. Επίσης, παρουσιάστηκαν τύποι στομίων και ανεμιστήρων διανομής αέρα.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

1. Να υπολογισθεί η πτώση πίεσης σε έναν ευθύγραμμο αγωγό ορθογωνικής διατομής $300 \times 400 \text{ m}^2$ και μήκους 10 m από λαμαρίνα, στον οποίο ρέει αέρας θερμοκρασίας 30°C με ταχύτητα 6 m/s .
2. Να υπολογισθεί η πτώση πίεσης σε έναν ευθύγραμμο αγωγό ορθογωνικής διατομής $400 \times 600 \text{ m}^2$ και μήκους 20 m από λαμαρίνα, στον οποίο ρέει αέρας θερμοκρασίας 20°C με ταχύτητα 7 m/s .
3. Να υπολογισθεί η πτώση πίεσης σε τρεις ευθύγραμμους αγωγούς ορθογωνικής διατομής $300 \times 400 \text{ m}^2$ και μήκους 10 m ο καθένας, από λαμαρίνα, στους οποίους ρέει αέρας θερμοκρασίας 20°C με ταχύτητα 6 m/s .

4. Πόσες μέθοδοι υπολογισμού αεραγωγών υπάρχουν;
5. Ποια είναι η ακριβέστερη μέθοδος υπολογισμού των αεραγωγών;
6. Πόσα είδη ανεμιστήρων υπάρχουν και ποιο από αυτά χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον υπολογισμό των αεραγωγών;
7. Περιγράψτε μερικά βασικά είδη αεραγωγών, εξαρτημάτων σύνδεσης και στομίων διανομής αέρα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Κεφάλαιο 2

(Παράγραφος 2.6)

Για να επιτύχουμε ψύξη αφαιρούμε θερμότητα από το χώρο που επιθυμούμε να ψύξουμε. Αυτό γίνεται, στις συνήθεις εφαρμογές, με τη βοήθεια του στοιχείου ατμοποίησης (εξατμιστή). Θέλουμε η ροή θερμότητας από τον ψυχόμενο χώρο προς το ψυκτικό ρευστό, το οποίο περνά μέσα από τις σωληνώσεις του στοιχείου ατμοποίησης, να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη. Η μετάδοση δε θα πρέπει να δυσκολεύεται από το υλικό του εξατμιστή, για παράδειγμα. Επίσης, επιθυμούμε μεγάλη ροή θερμότητας από το συμπυκνωτή προς το περιβάλλον. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι σωληνώσεις του στοιχείου ατμοποίησης και του συμπυκνωτή έχουν μεγάλο μήκος και συνήθως έχουν πάνω τους στερεωμένα πτερύγια (μελέτησε και τη συνέχεια της παραγράφου 2.6 για το θέμα αυτό). Αντίθετα, ο ψυχόμενος χώρος θέλουμε να διατηρεί τη χαμηλή θερμοκρασία που πετυχαίνουμε με την ψυκτική εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό, τα τοιχώματα ψυγείων, ψυκτικών θαλάμων κ.λπ. έχουν μόνωση έτσι ώστε να είναι η ροή θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον προς τον ψυχόμενο χώρο όσο το δυνατό μικρότερη.

Απαντήστε μετά από αυτό και στο παρακάτω ερώτημα : *το πλαστικό είναι κατάλληλο υλικό για τις σωληνώσεις ενός στοιχείου ατμοποίησης ;*

(Παράγραφος 2.6, Σχήμα 2.7)

Στο πείραμα που περιγράψαμε δεν είχαμε μεταφορά θερμότητας. Δεν δημιουργήθηκαν δηλαδή ρεύματα μέσα στη μάζα του υγρού. Ο λόγος είναι ότι θερμάναμε τα υψηλότερα στρώματα του νερού που έγιναν ακόμη “ελαφρύτερα” και συνέχισαν να παραμένουν ψηλά. Έτσι, ο μόνος τρόπος με τον οποίο μεταδόθηκε η θερμότητα μέσα στο νερό του σωλήνα ήταν με αγωγή, η οποία όμως είναι πολύ μικρή για το νερό. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η ειδική θερμική αγωγιμότητα του νερού στους 20°C είναι περίπου 0,8 W/ m K, ενώ του αέρα στους 20°C και σε πίεση 1atm είναι περίπου 0,12 W/ m K. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με τις τιμές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων σωμάτων που δίνονται στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος 2, διαπιστώνει κανείς ότι **η μετάδοση θερμότητας με αγωγή αφορά στην πράξη μόνο τα στερεά σώματα.**

(Ερώτηση 1)

Προφανώς τα ερεθίσματα διαφέρουν : αισθανόμαστε “πιο ζεστή” την ξύλινη μολυβοθήκη από το μάρμαρο. Σημαίνει αυτό πως η ξύλινη μολυβοθήκη έχει ψηλότερη θερμοκρασία ; Τα δύο σώματα βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Καθένα από αυτά βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με τον περιβάλλοντα χώρο. Θα έχουν δηλαδή την ίδια θερμοκρασία με το χώρο, άρα και μεταξύ τους (βλέπε την παράγραφο 2.5 και το σχήμα 2.3 στο ίδιο κεφάλαιο). *Αν όμως έχουν την ίδια θερμοκρασία τι είναι αυτό που αισθανόμαστε εμείς ; Γιατί διαφέρουν τα ερεθίσματα ;* Είναι φανερό ότι αυτό που αισθανθήκαμε δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία των δύο σωμάτων. Από ποιους άλλους παράγοντες εξαρτάται ; Στο ερώτημα που περιγράψαμε, έχουμε μετάδοση θερμότητας από το χέρι μας προς το μάρμαρο και την ξύλινη μολυβοθήκη αντίστοιχα. **Αυτό που αισθανόμαστε είναι το πόσο γρήγορα γίνεται αυτή η μετάδοση θερμότητας.** Αυτό εξαρτάται και από τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο σώμα μας και τα αντικείμενα (που στην περίπτωσή μας είναι ίδια) αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως το πόσο εύκολα μεταδίδεται η θερμότητα στα δύο σώματα που ακουμπάμε, δηλαδή στη θερμική τους αγωγιμότητα. Σ’ αυτό το τελευταίο διαφέρουν τα δύο αντικείμενα και όχι στη θερμοκρασία.

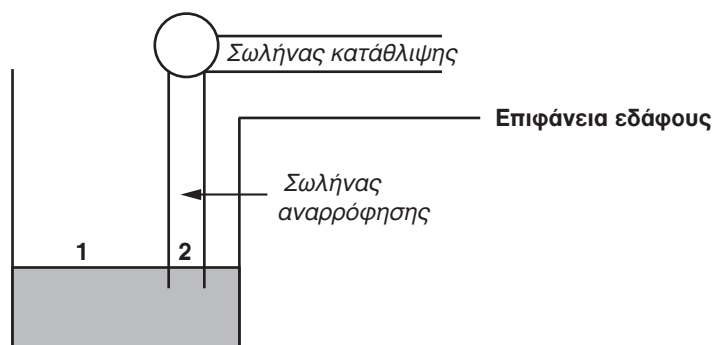
(Ερώτηση 2)

Ο υδράργυρος επιλέγεται για πολλούς λόγους. Οι επόμενοι είναι ίσως μερικοί από αυτούς που σκεφθήκατε :

- είναι καλός αγωγός της θερμότητας, οπότε φθάνει γρήγορα στη θερμοκρασία του σώματος με το οποίο έρχεται σε επαφή.
- έχει πολύ μεγάλο συντελεστή κυβικής διαστολής. Αυτό σημαίνει ότι και για μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας είναι εμφανής η διαστολή του.
- η ελεύθερη επιφάνειά του διακρίνεται σαφώς.
- δε διαβρέχει το γυαλί.
- βρίσκεται σε υγρή μορφή σε μεγάλο φάσμα θερμοκρασιών που καλύπτουν τις συνηθισμένες εφαρμογές (στερεοποιείται στους $-38,9^{\circ}\text{C}$ και βράζει στους $356,9^{\circ}\text{C}$).

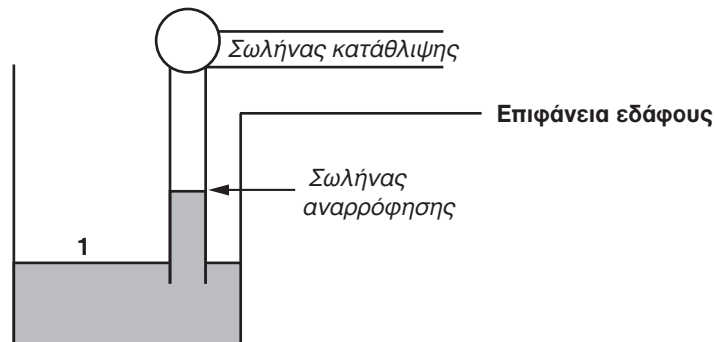
(Ερώτηση 4)

Όλος ο μηχανισμός μιας τέτοιας αντλίας είναι στην επιφάνεια του εδάφους (δηλ. δεν υπάρχουν πτερύγια σε χαμηλότερο σημείο από την επιφάνεια του εδάφους). Σ' ένα τέτοιο σύστημα, η αντλία αφαιρεί τον αέρα από το σωλήνα αναρρόφησης δημιουργώντας κενό. Ας δούμε το σχήμα που ακολουθεί :



Στο σημείο 1, πάνω στην επιφάνεια του νερού, ασκείται ατμοσφαιρική πίεση. Στο σημείο 2, λόγω της δημιουργίας κενού στο σωλήνα αναρρόφη-

σης, η πίεση είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ των σημείων 1 και 2 έχουμε ροή νερού μέσα στο σωλήνα. Καθώς όμως το νερό ανεβαίνει μέσα στο σωλήνα αναρρόφησης, η πίεση στο σημείο 2 μεγαλώνει, γιατί ασκείται εκεί και η υδροστατική πίεση (λόγω της στήλης του νερού).



Αν ο σωλήνας είναι αρκετά μεγάλος και το νερό ανεβεί αρκετά μέσα στο σωλήνα αναρρόφησης, τότε σε ένα ορισμένο σημείο, που θα το προσδιορίσετε σε λίγο, το νερό σταματά. Πάνω από τη στήλη νερού έχει αφαιρεθεί ο αέρας, επικρατεί δηλαδή απόλυτο κενό. **Στο σημείο εκείνο η υδροστατική πίεση στο σημείο 2 ισούται με την ατμοσφαιρική στο σημείο 1.**

Ας θεωρήσουμε την ατμοσφαιρική πίεση στο σημείο 1 ίση με 1atm . Το πρόβλημά μας έχει ήδη μετασχηματιστεί στο εξής : να υπολογίσουμε ποιο ύψος στήλης νερού ασκεί πίεση ίση με μια φυσική ατμόσφαιρα (βλ. σχετική εφαρμογή στην Παράγραφο 2.7). Αυτό θα είναι και το μέγιστο βάθος από το οποίο μπορεί να αντλήσει νερό μια τέτοια αντλία. Μια αντλία, σαν αυτή που περιγράψαμε, **δε μπορεί να αντλήσει νερό από μεγαλύτερο βάθος, όσο μεγάλη και να είναι η ισχύς της.**

Κεφάλαιο 3

(Παράγραφος 3.2.1) Ας γράψουμε δύο φορές, για την κατάσταση 1 και για την κατάσταση 2, τη Σχέση (3.1). Έχουμε :

$$\text{Κατάσταση 1 : } P_1 \times V_1 = m \times R \times T_1$$

$$\text{Κατάσταση 2 : } P_2 \times V_2 = m \times R \times T_2$$

Διαιρώντας κατά μέλη τις δύο παραπάνω σχέσεις και λαμβάνοντας υπόψη ότι $V_1 = V_2$, παίρνουμε τη σχέση που ζητάμε.

(Παράγραφος 3.2.2) Ας ξεκινήσουμε γράφοντας τη γνωστή μας Σχέση (2.16) για την ενθαλπία, στην κατάσταση 2 και την κατάσταση 1 :

$$H_2 = U_2 + PV_2$$

$$H_1 = U_1 + PV_1$$

Αφαιρώντας τις παραπάνω σχέσεις, κατά μέλη, βρίσκουμε :

$$H_2 - H_1 = (U_2 - U_1) + P(V_2 - V_1) \Rightarrow \Delta H = \Delta U + P(V_2 - V_1).$$

Βρείτε από το Διάγραμμα 3.3 τι αντιπροσωπεύει το γινόμενο $P(V_2 - V_1)$ και συνεχίστε μέχρι να καταλήξετε στη ζητούμενη σχέση, δηλ. $Q = \Delta H$.

(Ερώτηση 6)

Αν ξεκινήσατε εφαρμόζοντας τη σχέση

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

ξεχάσατε ίσως πως αυτή ισχύει για ισόθλιπτη μεταβολή. Είναι όμως ισόθλιπτη η μεταβολή στο παράδειγμά μας ; Όσο πιο ψηλά πάει το μπαλόνι, τόσο πιο μικρή γίνεται η ατμοσφαιρική πίεση και ας μην ξεχνάμε πως το μπαλόνι μας είναι λαστιχένιο.

Θεωρήστε ότι το ύψος που έφτασε το μπαλόνι είναι 120m και συνεχίστε αξιοποιώντας την ακόλουθη πληροφορία : *Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται κατά 1mm Hg περίπου, κάθε 10 m που ανεβαίνουμε.* Την πίεση στην επιφάνεια του εδάφους θεωρήστε τη 1 atm.

(Ερώτηση 8)

Σκεφθείτε ότι ο αέρας συμπεριφέρεται σαν τέλειο αέριο. Για τα τέλεια αέρια όμως, τα μεγέθη πίεση, όγκος, μάζα, θερμοκρασία, συνδέονται μεταξύ τους με τη Σχέση (3.1). Γράψτε τη για την αρχική και την τελική κατάσταση, διαιρέστε κατά μέλη και εξετάστε αν οι αριθμητικές τιμές που δόθηκαν επαληθεύουν τη σχέση που προκύπτει.

Κεφάλαιο 4**(Ερώτηση 10)**

Από το σημείο Α έως το σημείο Β έχουμε πτώση πίεσης του ρευστού ενώ η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή. Στο σημείο Β εμφανίζονται οι πρώτες φυσαλίδες ατμού. Αυτό σημαίνει πως το ρευστό βρίσκεται σε ζευγάρι τιμών πίεσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης. Η πίεσή του θα είναι η πίεση ατμοποίησης που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία των 25 °C για το ψυκτικό μέσο R134a. Από το σχετικό πίνακα του Παραρτήματος 2 βρίσκουμε ότι η πίεση αυτή είναι 666 kPa.

Κεφάλαιο 5**(Παράγραφος 5.4)**

Συμπεριλάβετε στον προβληματισμό σας και τις εξής παραμέτρους :

- Είναι λάθος να θεωρούμε ίσες τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης και τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης, όταν τα φαινόμενα αυτά συμβαίνουν κάτω από διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.
- Απόρριψη θερμότητας προς το περιβάλλον δε γίνεται μόνο κατά τη συμπύκνωση του ατμού αλλά και κατά την ψύξη του υπέρθερμου ατμού στο συμπυκνωτή (τμήμα AB, Σχήμα 4.3) μέχρι να γίνει ξηρός κορεσμένος. Επίσης, απόρριψη θερμότητας γίνεται και κατά την υπόψυξη συμπυκνώματος μέσα στο συμπυκνωτή (τμήμα ΓΔ, Σχήμα 4.3).

- Η αφαιρούμενη θερμότητα, ανά kg ψυκτικού μέσου, από τον ψυχόμενο χώρο, κατά την ατμοποίηση, δεν είναι ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης. Θυμηθείτε ότι ένα μέρος του ρευστού έχει ατμοποιηθεί ήδη, πριν μπει στο στοιχείο ατμοποίησης, αφαιρώντας θερμότητα όχι από τον ψυχόμενο χώρο, αλλά από τη μάζα του υγρού ψυκτικού μέσου.

Όλες αυτές τις σκέψεις θα τις δούμε “ζωγραφισμένες” κατά την απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα p-h (στο Β΄ Μέρος του βιβλίου). Εκεί η απορροφόμενη θερμότητα, σε κάθε κύκλο, παριστάνεται, όπως θα δούμε, με ένα ευθύγραμμο τμήμα και η απορριπτόμενη θερμότητα με ένα άλλο ευθύγραμμο τμήμα μεγαλύτερου μήκους.

(Ερώτηση 8)

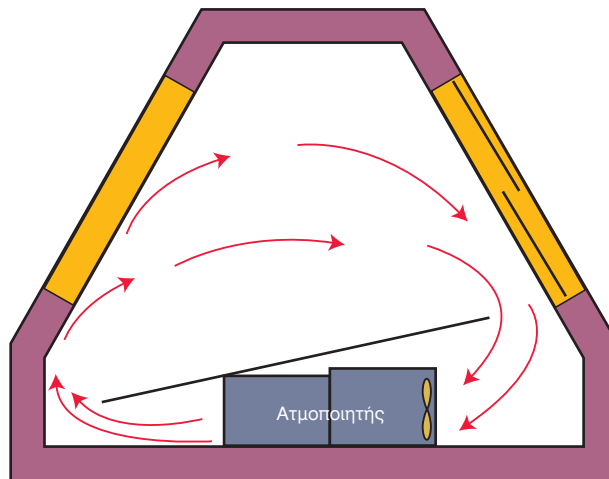
Η μέθοδος αυτή θεωρείται καλή, πετυχαίνει εξοικονόμηση ενέργειας και χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην πράξη. Αν σας προβληματίζει το γεγονός ότι το ρευστό ψύχεται από τον υπέρθερμο ατμό (ίσως εδώ οι λέξεις “εξαπατούν”), σκεφθείτε σε ποια θερμοκρασία βρίσκεται το υπόψυκτο υγρό εξόδου από το συμπυκνωτή και σε ποια θερμοκρασία βρίσκεται ο υπέρθερμος ατμός εξόδου από τον ατμοποιητή. Μελετήστε, για παράδειγμα, τον πίνακα με τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου R22. Μπορούμε να έχουμε υπέρθερμο ατμό του R22 θερμοκρασίας π.χ. -15°C και υπόψυκτο υγρό του R22 θερμοκρασίας 20°C . Βέβαια, στην περίπτωση που έχουμε την ίδια πίεση, ασφαλώς ο υπέρθερμος ατμός μιας ουσίας έχει υψηλότερη θερμοκρασία από το υπόψυκτο υγρό. Στην ψυκτική εγκατάσταση όμως, το υπόψυκτο ρευστό εξόδου από το συμπυκνωτή βρίσκεται στην πλευρά υψηλής πίεσης, ενώ ο υπέρθερμος ατμός εξόδου από τον ατμοποιητή στην πλευρά χαμηλής πίεσης.

Κεφάλαιο 6

(§ 6.3.1)

Τα πλεονεκτήματα των ατμοποιητών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα είναι τα εξής :

- Μπορούμε να τοποθετήσουμε ατμοποιητή μικρότερης επιφάνειας αυξάνοντας αντίστοιχα το ποσό του διερχόμενου αέρα. Με τον τρόπο αυτό κερδίζουμε χώρο που είναι σημαντικός παράγοντας σε πολλές περιπτώσεις.
- Μπορούμε να αυξομειώνουμε το ποσό του διερχόμενου αέρα (ρυθμίζοντας αντίστοιχα και την απόδοση του ατμοποιητή) με τη ρύθμιση των στροφών του ανεμιστήρα.
- Μας δίνεται η δυνατότητα να τοποθετήσουμε τον ατμοποιητή και σε άλλα σημεία, εκτός της οροφής, όπως στο ψυγείο-βιτρίνα του σχήματος που ακολουθεί.



Τα μειονεκτήματα των ατμοποιητών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας έναντι των ατμοποιητών φυσικής κυκλοφορίας είναι τα εξής :

- Έχουν μεγαλύτερο κόστος παραγωγής.
- Έχουν μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανάται για τη λειτουργία του ανεμιστήρα.
- Δημιουργούν θόρυβο.
- Αφυγραίνουν (ξηραίνουν) πιο εύκολα την ατμόσφαιρα σε σχέση με τους ατμοποιητές φυσικής κυκλοφορίας, πράγμα που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν τα προς ψύξη προϊόντα απαιτούν υψηλή σχετική υγρασία για τη συντήρησή τους.

Ερώτηση 8

Δεν θα μπορούσε να αναγράφεται μία και μόνο τιμή. Η απόδοση του ατμοποιητή εξαρτάται από το υλικό κατασκευής, την επιφάνεια συναλλαγής με το περιβάλλον και άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, αλλά υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που καθορίζουν την απόδοσή του. Η **διαφορά θερμοκρασίας ατμοποίησης από τη θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου** είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει σημαντικά στην απόδοση δεν είναι γνωστός με ακρίβεια εκ των προτέρων. Τέλος η απόδοση είναι διαφορετική ανάλογα με το αν πρόκειται για ατμοποιητή φυσικής ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας. Στη δεύτερη περίπτωση την απόδοση επηρεάζουν και τα **λειτουργικά χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα** (π.χ. αριθμός στροφών) τα οποία δεν γνωρίζουμε από πριν.

Ερώτηση 14

Οι πιο σημαντικοί τρόποι είναι οι παρακάτω :

- Εισαγωγή υγρασίας στην εγκατάσταση κατά την κατασκευή της.
- Ελλιπής αφύγρανση του εσωτερικού των συσκευών.
- Διαρροή στο τμήμα της χαμηλής πλευράς, όταν η πίεση ατμοποίησης είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Τότε έχουμε εισαγωγή αέρα στο κύκλωμα, ο οποίος περιέχει και υγρασία.
- Παραγωγή ατμού από χημική διάσπαση του ψυκτικού ρευστού και του λαδιού.
- Διάσπαση της κυτταρίνης, η οποία χρησιμοποιείται ως μονωτικό στον ηλεκτροκινητήρα.
- Ύπαρξη υγρασίας στο ψυκτικό ρευστό ή στο λάδι λίπανσης πριν από την τοποθέτησή τους στο κύκλωμα.

Βλέπουμε ότι είναι αρκετές οι αιτίες που μπορούν να οδηγήσουν στην εισαγωγή υγρασίας σε ένα ψυκτικό κύκλωμα. Γι' αυτό σε κάθε εργασία επέμβασης στο κύκλωμα προβλέπεται πάντοτε, όταν δίνεται η δυνατότητα, η εξαέρωση του συστήματος, η απομάκρυνση δηλαδή του αέρα από το κύκλωμα. Είναι ένα από τα συνηθισμένα βήματα στις εργαστηριακές ασκήσεις που θα κάνετε στο μάθημα *Εγκαταστάσεις Ψύξης*.

Κεφάλαιο 7

(§ 7.4)

Ένας λόγος είναι ότι ο ψυκτικός κύκλος της διάταξης που εξετάσαμε δεν περιλαμβάνει υπόψυξη συμπυκνώματος. Αυτό, όπως αναλύθηκε στο κείμενο λίγο πριν τεθεί το ερώτημα, έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην εγκατάσταση από ενεργειακή άποψη. **Ο κυριότερος όμως λόγος** είναι ότι η διάταξη αυτή καλείται να καλύψει **μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά** ανάμεσα στη θερμοκρασία συμπύκνωσης και τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Μελετώντας τον κύκλο πάνω στο διάγραμμα p - h , βλέπουμε ότι η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η θερμοκρασία συμπύκνωσης $41,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η θερμοκρασιακή διαφορά είναι $69,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Σε μια τέτοια ψυκτική διάταξη δεν μπορούμε να περιμένουμε μεγάλο COP. (Θυμηθείτε τα περί συντελεστή συμπεριφοράς ψυκτικού κύκλου που αναπτύξαμε στο Κεφάλαιο 5 (§ 5.5).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
Τιμές του R της Σχέσης (3.1)

Αέριο	Αέρας	Άζωτο	Αργό	Οξυγόνο	Υδρογόνο
$R \text{ (J / kg K)}$	287	297	208	260	4125

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
Τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k διαφόρων υλικών

Υλικό	Ειδική Θερμική Αγωγιμότητα $k \text{ (W / m K)}$
Χαλκός εμπορίου	348
Αλουμίνιο	228
Σίδηρος καθαρός	73
Μάρμαρο	2,9
Γυαλί	1,16
Ξύλο	0,17
Φελλός	0,06
Μονωτικά (Πολυουραιθάνιο, Πολυστερίνη)	Από 0,029 έως 0,035

Στους δύο πίνακες με σχέσεις μετατροπής μονάδων που ακολουθούν, η μονάδα του S.I. βρίσκεται σε έγχρωμο φόντο. Οι πίνακες χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο, όπως ο πίνακας με μονάδες πίεσης της παραγράφου 2.7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3
Μονάδες ενέργειας, θερμότητας και έργου

	J	kpm	kcal	Btu	kWh
J	1	0,102	$2,39 \times 10^{-4}$	$9,46 \times 10^{-4}$	$2,77 \times 10^{-7}$
kpm	9,81	1	$2,34 \times 10^{-3}$	$9,3 \times 10^{-3}$	$2,72 \times 10^{-6}$
kcal	$4,186 \times 10^3$	427	1	3,968	$1,16 \times 10^{-3}$
Btu	1055	108	0,252	1	$2,93 \times 10^{-4}$
kwh	$3,6 \times 10^6$	$3,67 \times 10^5$	860	3412	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 4
Μονάδες ισχύος

	W	PS	kcal/h	Btu/h	RT
W	1	$1,36 \times 10^{-3}$	0,860	3,41	$2,85 \times 10^{-4}$
PS	735,5	1	633	2513	0,209
kcal/h	1.161	$1,58 \times 10^{-3}$	1	3,968	$3,3 \times 10^{-4}$
Btu/h	0.293	$3,98 \times 10^{-4}$	0,252	1	$8,33 \times 10^{-5}$
RT	3510	4,78	3024	12000	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου R22

Θερμοκ. °C	Πίεση	όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία kcal/kg			Εντροπία kcal/(kg)(K)	
	kg/cm ²	Υγρού l/kg v _f	Ατμού m ³ /kg v _g	Υγρού kg/m ³ l/v _f	Ατμού kg/l l/v _g	Υγρού h _f	Λανθάν. h _{fg}	Ατμού h _g	Υγρού s _f	Ατμού s _g
-30	1.6669	0.7245	0.1359	1.3803	7.3611	91.907	54.254	146.161	0.96887	1.19199
-29	1.7386	0.7261	0.1306	1.3773	7.6578	92.167	54.100	146.267	0.96993	1.19151
-28	1.8126	0.7277	0.1256	1.3742	7.9638	92.428	53.944	146.372	0.97099	1.19103
-27	1.8890	0.7293	0.1208	1.3712	8.2793	92.689	53.788	146.477	0.97205	1.19056
-26	1.9679	0.7309	0.1162	1.3682	8.6044	92.951	53.630	146.581	0.97311	1.19009
-25	2.0493	0.7325	0.1118	1.3651	8.9394	93.214	53.471	146.685	0.97416	1.18963
-24	2.1333	0.7342	0.1077	1.3621	9.2846	93.477	53.311	146.788	0.97522	1.18918
-23	2.2200	0.7358	0.1037	1.3590	9.6400	93.741	53.150	146.891	0.97627	1.18873
-22	2.3094	0.7375	0.0999	1.3559	10.0060	94.006	52.987	146.993	0.97732	1.18829
-21	2.4015	0.7392	0.0963	1.3528	10.3827	94.271	52.824	147.095	0.97836	1.18785
-20	2.4964	0.7409	0.0928	1.3497	10.7704	94.537	52.659	147.196	0.97941	1.18742
-19	2.5942	0.7426	0.0895	1.3466	11.1693	94.804	52.493	147.296	0.98046	1.18699
-18	2.6949	0.7443	0.0864	1.3435	11.5797	95.071	52.325	147.396	0.98150	1.18657
-17	2.7986	0.7461	0.0833	1.3403	12.0018	95.339	52.157	147.495	0.98254	1.18615
-16	2.9053	0.7478	0.0804	1.3372	12.4357	95.608	51.987	147.594	0.98358	1.18574
-15	3.0152	0.7496	0.0776	1.3340	12.8819	95.877	51.815	147.692	0.98462	1.18533
-14	3.1281	0.7514	0.0750	1.3308	13.3404	96.147	51.643	147.790	0.98565	1.18492
-13	3.2443	0.7532	0.0724	1.3276	13.8117	96.418	51.469	147.886	0.98669	1.18452
-12	3.3638	0.7550	0.0700	1.3244	14.2958	96.689	51.294	147.983	0.98772	1.18413
-11	3.4865	0.7569	0.0676	1.3212	14.7932	96.961	51.117	148.078	0.98875	1.18374
-10	3.6127	0.7587	0.0653	1.3180	15.3040	97.234	50.939	148.173	0.98978	1.18335
-9	3.7423	0.7606	0.0632	1.3147	15.8286	97.507	50.760	148.267	0.99081	1.18297
-8	3.8754	0.7625	0.0611	1.3115	16.3671	97.781	50.579	148.361	0.99184	1.18259
-7	4.0121	0.7644	0.0591	1.3082	16.9200	98.056	50.397	148.453	0.99286	1.18221
-6	4.1524	0.7663	0.0572	1.3049	17.4874	98.332	50.214	148.546	0.99389	1.18184
-5	4.2964	0.7683	0.0553	1.3016	18.0697	98.608	50.029	148.637	0.99491	1.18147
-4	4.4441	0.7703	0.0536	1.2983	18.6671	98.885	49.842	148.728	0.99593	1.18111
-3	4.5957	0.7722	0.0519	1.2949	19.2800	99.163	49.655	148.817	0.99695	1.18075
-2	4.7511	0.7742	0.0502	1.2916	19.9087	99.441	49.465	148.907	0.99797	1.18039
-1	4.9104	0.7763	0.0487	1.2882	20.5535	99.720	49.275	148.995	0.99898	1.18004
0	5.0738	0.7783	0.0471	1.2848	21.2147	100.000	49.083	149.083	1.00000	1.17968
1	5.2412	0.7804	0.0457	1.2814	21.8927	100.281	48.889	149.169	1.00101	1.17934
2	5.4127	0.7825	0.0443	1.2780	22.5877	100.562	48.694	149.255	1.00203	1.17899
3	5.5884	0.7846	0.0429	1.2746	23.3002	100.844	48.497	149.341	1.00304	1.17865
4	5.7684	0.7867	0.0416	1.2711	24.0305	101.126	48.298	149.425	1.00405	1.17831
5	5.9527	0.7889	0.0404	1.2676	24.7788	101.410	48.098	149.508	1.00506	1.17797
6	6.1413	0.7910	0.0391	1.2642	25.5457	101.694	47.897	149.591	1.00606	1.17764
7	6.3344	0.7932	0.0380	1.2606	26.3315	101.979	47.694	149.673	1.00707	1.17731
8	6.5320	0.7955	0.0369	1.2571	27.1366	102.265	47.489	149.754	1.00807	1.17698
9	6.7342	0.7977	0.0358	1.2536	27.9613	102.551	47.282	149.834	1.00908	1.17665
10	6.9410	0.8000	0.0347	1.2500	28.8061	102.839	47.074	149.913	1.01008	1.17633
11	7.1521	0.8023	0.0337	1.2464	29.6714	103.127	46.864	149.991	1.01108	1.17601
12	7.3681	0.8046	0.0327	1.2428	30.5576	103.416	46.653	150.068	1.01208	1.17569
13	7.5898	0.8070	0.0318	1.2392	31.4651	103.705	46.439	150.145	1.01308	1.17537
14	7.8158	0.8094	0.0309	1.2355	32.3945	103.996	46.224	150.220	1.01408	1.17505
15	8.0468	0.8118	0.0300	1.2319	33.3461	104.287	46.007	150.294	1.01508	1.17474
16	8.2828	0.8142	0.0291	1.2282	34.3204	104.579	45.788	150.367	1.01607	1.17442
17	8.5239	0.8167	0.0283	1.2245	35.3186	104.872	45.568	150.440	1.01707	1.17411
18	8.7701	0.8192	0.0275	1.2207	36.3392	105.166	45.345	150.511	1.01806	1.17380
19	9.0216	0.8217	0.0267	1.2170	37.3848	105.460	45.120	150.581	1.01906	1.17350
20	9.2784	0.8243	0.0260	1.2132	38.4552	105.756	44.894	150.650	1.02005	1.17319
21	9.5406	0.8269	0.0253	1.2094	39.5508	106.052	44.665	150.718	1.02104	1.17288
22	9.8082	0.8295	0.0246	1.2055	40.6724	106.350	44.435	150.785	1.02203	1.17258
23	10.081	0.8322	0.0239	1.2017	41.8204	106.648	44.202	150.850	1.02302	1.17228
24	10.360	0.8349	0.0233	1.1978	42.9955	106.947	43.968	150.915	1.02401	1.17197
25	10.644	0.8376	0.0226	1.1939	44.1983	107.247	43.731	150.978	1.02500	1.17167
26	10.935	0.8404	0.0220	1.1899	45.4295	107.548	43.492	151.040	1.02599	1.17137
27	11.230	0.8432	0.0214	1.1859	46.6896	107.850	43.250	151.100	1.02698	1.17107
28	11.532	0.8461	0.0208	1.1819	47.9795	108.153	43.007	151.160	1.02797	1.17077
29	11.840	0.8490	0.0203	1.1779	49.2998	108.457	42.761	151.218	1.02896	1.17047
30	12.153	0.8519	0.0197	1.1738	50.6513	108.762	42.513	151.275	1.02994	1.17018
31	12.473	0.8549	0.0192	1.1698	52.0347	109.068	42.262	151.330	1.03093	1.16988
32	12.799	0.8579	0.0187	1.1656	53.4508	109.375	42.009	151.384	1.03192	1.16958
33	13.131	0.8610	0.0182	1.1615	54.9005	109.683	41.753	151.436	1.03290	1.16928
34	13.470	0.8641	0.0177	1.1573	56.3846	109.993	41.495	151.487	1.03389	1.16898
35	13.815	0.8673	0.0173	1.1531	57.9039	110.303	41.234	151.537	1.03488	1.16868
36	14.166	0.8705	0.0168	1.1488	59.4596	110.615	40.970	151.585	1.03586	1.16838
37	14.524	0.8738	0.0164	1.1445	61.0524	110.927	40.704	151.631	1.03685	1.16808
38	14.888	0.8771	0.0160	1.1402	62.6834	111.241	40.435	151.676	1.03783	1.16778
39	15.259	0.8805	0.0155	1.1358	64.3537	111.556	40.163	151.719	1.03882	1.16748

ΠΙΝΑΚΑΣ 6
Θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου R134a

Θερμο- κρασία °C	Απόλυτη πίεση kPa(abs)	Ειδικός όγκος m ³ /kg		Ειδική πυκνότητα kg/m ³		Ενθαλπία kJ/kg			Εντροπία kJ (kg)(K)	
		Υγρού V _f	Ατμού V _g	Υγρού 1/V _f	Ατμού 1/V _g	Υγρού h _f	Λαθάνουσα h _{fg}	Ατμού h _g	Υγρού s _f	Ατμού s _g
-40	51.14	0.0007	0.3614	1414.6	2.757	148.4	225.9	374.3	0.7967	1.7655
-39	53.88	0.0007	0.3441	1411.8	2.906	149.6	225.3	374.9	0.8020	1.7641
-38	56.74	0.0007	0.3279	1408.9	3.050	150.9	224.7	375.5	0.8073	1.7627
-37	59.72	0.0007	0.3125	1406.0	3.200	152.1	224.0	376.2	0.8126	1.7613
-36	62.83	0.0007	0.2980	1403.1	3.356	153.4	223.4	376.8	0.8178	1.7599
-35	66.07	0.0007	0.2843	1400.2	3.518	154.6	222.8	377.4	0.8231	1.7586
-34	69.43	0.0007	0.2713	1397.4	3.686	155.9	222.2	378.1	0.8283	1.7573
-33	72.93	0.0007	0.2590	1394.5	3.861	157.1	221.5	378.7	0.8335	1.7561
-32	76.58	0.0007	0.2474	1391.5	4.042	158.4	220.9	379.3	0.8388	1.7548
-31	80.36	0.0007	0.2365	1388.6	4.229	159.7	220.3	379.9	0.8440	1.7536
-30	84.29	0.0007	0.2260	1385.7	4.424	160.9	219.6	380.6	0.8492	1.7525
-29	88.37	0.0007	0.2162	1382.8	4.625	162.2	219.0	381.2	0.8544	1.7513
-28	92.61	0.0007	0.2069	1379.8	4.833	163.5	218.3	381.8	0.8595	1.7502
-27	97.02	0.0007	0.1981	1376.9	5.049	164.7	217.7	382.4	0.8647	1.7491
-26	101.58	0.0007	0.1896	1373.9	5.273	166.0	217.1	383.1	0.8698	1.7481
-25	106.32	0.0007	0.1817	1371.0	5.504	167.3	216.4	383.7	0.8750	1.747
-24	111.22	0.0007	0.1741	1368.0	5.743	168.6	215.7	384.3	0.8801	1.746
-23	116.31	0.0007	0.1669	1365.0	5.991	169.8	215.1	384.9	0.8852	1.745
-22	121.57	0.0007	0.1601	1362.0	6.247	171.1	214.4	385.5	0.8903	1.744
-21	127.02	0.0007	0.1536	1359.0	6.511	172.4	213.7	386.2	0.8954	1.7431
-20	132.67	0.0007	0.1474	1356.0	6.784	173.7	213.1	386.8	0.9005	1.7422
-19	138.50	0.0007	0.1415	1353.0	7.066	175.0	212.4	387.4	0.9055	1.7413
-18	144.54	0.0007	0.1359	1349.9	7.357	176.3	211.7	388.0	0.9106	1.7404
-17	150.78	0.0007	0.1306	1346.9	7.658	177.6	211.0	388.6	0.9157	1.7395
-16	157.23	0.0007	0.1255	1343.8	7.968	178.9	210.4	389.2	0.9207	1.7387
-15	163.90	0.0007	0.1207	1340.8	8.288	180.2	209.7	389.8	0.9257	1.7379
-14	170.78	0.0007	0.1160	1337.7	8.618	181.5	209.0	390.4	0.9307	1.7371
-13	177.89	0.0007	0.1116	1334.6	8.958	182.8	208.3	391.1	0.9357	1.7363
-12	185.22	0.0008	0.1074	1331.5	9.309	184.1	207.6	391.7	0.9407	1.7356
-11	192.79	0.0008	0.1034	1328.4	9.671	185.4	206.9	392.3	0.9457	1.7348
-10	200.60	0.0008	0.0996	1325.3	10.044	186.7	206.2	392.9	0.9507	1.7341
-9	208.65	0.0008	0.0959	1322.1	10.428	188.0	205.4	393.5	0.9557	1.7334
-8	216.95	0.0008	0.0924	1319.0	10.823	189.3	204.7	394.1	0.9606	1.7327
-7	225.50	0.0008	0.0890	1315.8	11.231	190.7	204.0	394.7	0.9656	1.7321
-6	234.32	0.0008	0.0858	1312.6	11.650	192.0	203.3	395.3	0.9705	1.7314
-5	243.39	0.0008	0.0828	1309.4	12.082	193.3	202.5	395.9	0.9755	1.7308
-4	252.74	0.0008	0.0798	1306.2	12.526	194.6	201.8	396.4	0.9804	1.7302
-3	262.36	0.0008	0.0770	1303.0	12.983	196.0	201.1	397.0	0.9853	1.7295
-2	272.26	0.0008	0.0743	1299.8	13.454	197.3	200.3	397.6	0.9902	1.729
-1	282.45	0.0008	0.0718	1296.5	13.937	198.7	199.6	398.2	0.9951	1.7284
0	292.93	0.0008	0.0693	1293.3	14.435	200.0	198.8	398.8	1.0000	1.7278
1	303.70	0.0008	0.0669	1290.0	14.946	201.3	198.0	399.4	1.0049	1.7273
2	314.77	0.0008	0.0646	1286.7	15.472	202.7	197.3	400.0	1.0098	1.7267
3	326.16	0.0008	0.0624	1283.4	16.013	204.0	196.5	400.5	1.0146	1.7262
4	337.85	0.0008	0.0604	1280.1	16.569	205.4	195.7	401.1	1.0195	1.7257
5	349.87	0.0008	0.0583	1276.7	17.140	206.8	194.9	401.7	1.0244	1.7252
6	362.21	0.0008	0.0564	1273.4	17.726	208.1	194.2	402.3	1.0292	1.7247
7	374.88	0.0008	0.0546	1270.0	18.329	209.5	193.4	402.8	1.0340	1.7242
8	387.88	0.0008	0.0528	1266.6	18.948	210.8	192.6	403.4	1.0389	1.7238
9	401.23	0.0008	0.0511	1263.2	19.583	212.2	191.8	404.0	1.0437	1.7233
10	414.92	0.0008	0.0494	1259.8	20.236	213.6	190.9	404.5	1.0485	1.7229
11	428.97	0.0008	0.0478	1256.3	20.906	215.0	190.1	405.1	1.0533	1.7224
12	443.37	0.0008	0.0463	1252.9	21.594	216.4	189.3	405.6	1.0582	1.722
13	458.11	0.0008	0.0448	1249.4	22.301	217.7	188.5	406.2	1.0630	1.7216
14	473.25	0.0008	0.0434	1245.9	23.026	219.1	187.6	406.8	1.0678	1.7212
15	488.78	0.0008	0.0421	1242.3	23.770	220.5	186.8	407.3	1.0726	1.7208
16	504.68	0.0008	0.0408	1238.8	24.533	221.9	185.9	407.8	1.0773	1.7204
17	520.98	0.0008	0.0395	1235.2	25.317	223.3	185.1	408.4	1.0821	1.72
18	537.67	0.0008	0.0383	1231.6	26.121	224.7	184.2	408.9	1.0869	1.7195
19	554.76	0.0008	0.0371	1228.0	26.945	226.1	183.3	409.5	1.0917	1.7192

συνεχίζεται

συνέχεια πίνακα 6

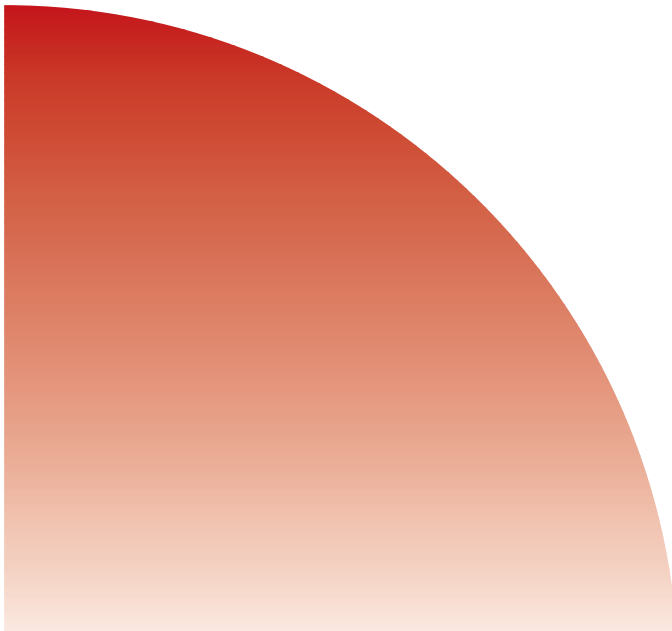
20	572.25	0.0008	0.0360	1224.4	27.791	227.5	182.5	410.0	1.0964	1.7189
21	590.16	0.0008	0.0349	1220.7	28.659	226.9	181.6	410.5	1.1012	1.7185
22	608.49	0.0008	0.0338	1217.0	29.549	230.4	180.7	411.0	1.1060	1.7182
23	627.25	0.0008	0.0328	1213.3	30.462	231.8	179.8	411.6	1.1107	1.7178
24	646.44	0.0008	0.0318	1209.6	31.399	233.2	178.9	412.1	1.1155	1.7175
25	666.06	0.0008	0.0309	1205.9	32.359	234.6	178.0	412.6	1.1202	1.7171
26	686.13	0.0008	0.0300	1202.1	33.344	236.1	177.0	413.1	1.1250	1.7168
27	706.66	0.0008	0.0291	1198.3	34.354	237.5	176.1	413.6	1.1297	1.7165
28	727.64	0.0008	0.0283	1194.4	35.389	238.9	175.2	414.1	1.1345	1.7161
29	749.04	0.0008	0.0274	1190.6	36.451	240.4	174.2	414.6	1.1392	1.7158
30	771.02	0.0008	0.0265	1186.7	37.540	241.8	173.3	415.1	1.1439	1.7155
31	793.43	0.0008	0.0259	1182.8	38.657	243.3	172.3	415.6	1.1487	1.7151
32	816.28	0.0008	0.0251	1178.8	39.802	244.8	171.3	415.1	1.1534	1.7148
33	839.66	0.0009	0.0244	1174.9	40.975	246.2	170.3	415.6	1.1581	1.7145
34	863.53	0.0009	0.0237	1170.8	42.179	247.7	169.3	417.0	1.1628	1.7142
35	887.91	0.0009	0.0230	1166.8	43.413	249.2	168.3	417.5	1.1676	1.7138
36	912.80	0.0009	0.0224	1162.7	44.679	250.6	167.3	418.0	1.1723	1.7135
37	938.20	0.0009	0.0218	1158.6	45.977	252.1	166.3	418.4	1.1770	1.7132
38	964.14	0.0009	0.0211	1154.5	47.308	253.6	165.3	418.9	1.1817	1.7129
39	990.60	0.0009	0.0205	1150.3	48.672	255.1	164.2	419.3	1.1864	1.7125
40	1017.61	0.0009	0.0200	1146.1	50.072	256.6	163.2	419.8	1.1912	1.7122
41	1045.16	0.0009	0.0194	1141.9	51.506	258.1	162.1	420.2	1.1959	1.7119
42	1073.26	0.0009	0.0189	1137.6	52.980	259.6	161.0	420.6	1.2006	1.7115
43	1101.93	0.0009	0.0184	1133.3	54.490	261.1	159.9	421.1	1.2053	1.7112
44	1131.16	0.0009	0.0178	1128.9	56.040	262.7	158.8	421.5	1.2101	1.7108
45	1161.01	0.0009	0.0174	1124.5	57.630	264.2	157.7	421.9	1.2148	1.7105
46	1191.41	0.0009	0.0169	1120.0	59.261	265.7	156.6	422.3	1.2195	1.7101
47	1222.41	0.0009	0.0164	1115.6	60.934	267.3	155.4	422.7	1.2242	1.7097
48	1253.95	0.0009	0.0160	1111.0	62.652	268.8	154.3	423.1	1.2290	1.7093
49	1286.17	0.0009	0.0155	1106.4	64.415	270.4	153.1	423.5	1.2337	1.709
50	1319.00	0.0009	0.0151	1101.8	66.225	271.9	151.9	423.8	1.2384	1.7086
51	1352.44	0.0009	0.0147	1097.1	68.084	273.5	150.7	424.2	1.2432	1.7082
52	1386.52	0.0009	0.0143	1092.4	69.992	275.1	149.5	424.6	1.2479	1.7077
53	1421.23	0.0009	0.0139	1087.6	71.952	276.6	148.3	424.9	1.2527	1.7073
54	1456.58	0.0009	0.0135	1082.8	73.966	278.2	147.0	425.3	1.2574	1.7069
55	1492.59	0.0009	0.0132	1077.9	76.035	279.8	145.8	425.6	1.2622	1.7064
56	1529.26	0.0009	0.0128	1072.9	78.162	281.4	144.5	425.9	1.2670	1.7059
57	1566.61	0.0009	0.0124	1067.9	80.348	283.0	143.2	426.2	1.2717	1.7055
58	1604.63	0.0009	0.0121	1062.8	82.586	284.6	141.9	426.5	1.2765	1.705
59	1643.35	0.0009	0.0118	1057.7	84.908	286.3	140.5	426.8	1.2813	1.7044

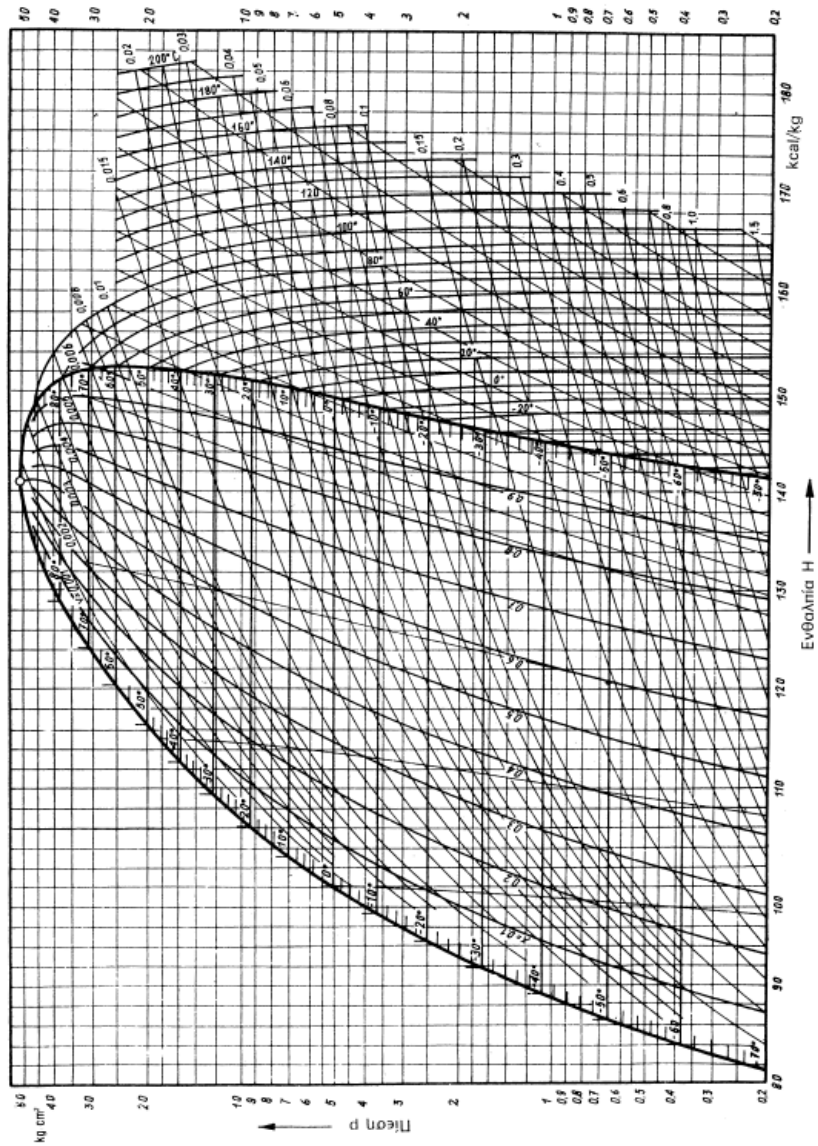
ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου R12

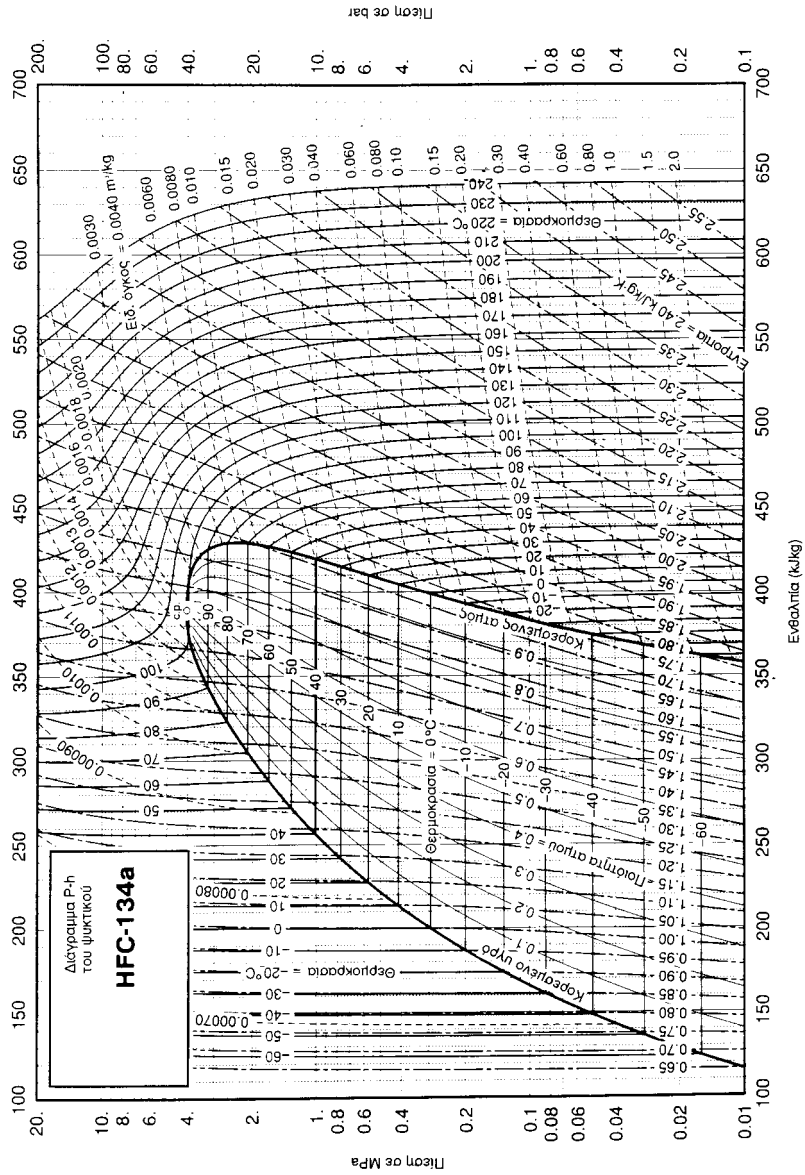
Θερμοκ. °C	Πίεση		Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ενθαλπία kcal/kg			Εντροπία kcal/(kg)(K)	
	kg/cm ²	ATM	Υγρού l/kg v _f	Ατμού m ³ /kg v _g	Υγρού kg/m ³ l/v _f	Ατμού kg/l l/v _g	Υγρού h _f	Λανθάν. h _{fg}	Ατμού h _g	Υγρού s _f	Ατμού s _g
-30	1.0239	0.9910	0.671979	0.159375	1.4881	6.27453	93.506	39.490	132.995	0.97496	1.13736
-29	1.0683	1.0340	0.673281	0.153178	1.4853	6.52834	93.718	39.386	133.104	0.97583	1.13714
-28	1.1142	1.0784	0.674592	0.147275	1.4824	6.79001	93.931	39.282	133.213	0.97670	1.13692
-27	1.1617	1.1243	0.675913	0.141649	1.4795	7.05973	94.145	39.178	133.322	0.97756	1.13671
-26	1.2107	1.1717	0.677244	0.136284	1.4766	7.33764	94.358	39.073	133.431	0.97842	1.13651
-25	1.2612	1.2207	0.678586	0.131166	1.4737	7.62394	94.572	38.967	133.539	0.97928	1.13631
-24	1.3134	1.2712	0.679937	0.126282	1.4707	7.91878	94.786	38.862	133.648	0.98014	1.13611
-23	1.3673	1.3233	0.681299	0.121620	1.4678	8.22234	95.000	38.756	133.756	0.98100	1.13592
-22	1.4228	1.3770	0.682671	0.117167	1.4648	8.53481	95.215	38.649	133.864	0.98185	1.13573
-21	1.4801	1.4325	0.684054	0.112913	1.4619	8.85636	95.429	38.542	133.972	0.98270	1.13554
-20	1.5391	1.4896	0.685448	0.108847	1.4589	9.18718	95.644	38.435	134.079	0.98354	1.13536
-19	1.5999	1.5485	0.686853	0.104960	1.4559	9.52745	95.859	38.327	134.187	0.98439	1.13518
-18	1.6626	1.6091	0.688269	0.101242	1.4529	9.87735	96.075	38.219	134.294	0.98523	1.13501
-17	1.7271	1.6716	0.689697	0.097684	1.4499	10.23709	96.290	38.110	134.401	0.98607	1.13484
-16	1.7936	1.7359	0.691136	0.094279	1.4469	10.60684	96.506	38.001	134.507	0.98691	1.13468
-15	1.8620	1.8021	0.692586	0.091018	1.4439	10.98681	96.723	37.891	134.614	0.98774	1.13451
-14	1.9323	1.8702	0.694049	0.087895	1.4408	11.37720	96.939	37.781	134.720	0.98857	1.13435
-13	2.0047	1.9402	0.695523	0.084903	1.4378	11.77820	97.156	37.670	134.826	0.98940	1.13420
-12	2.0792	2.0123	0.697010	0.082034	1.4347	12.19002	97.373	37.559	134.932	0.99023	1.13405
-11	2.1557	2.0864	0.698509	0.079284	1.4316	12.61286	97.590	37.447	135.037	0.99106	1.13390
-10	2.2344	2.1625	0.700021	0.076646	1.4285	13.04694	97.808	37.335	135.143	0.99188	1.13375
-9	2.3152	2.2408	0.701545	0.074115	1.4254	13.49246	98.025	37.222	135.248	0.99270	1.13361
-8	2.3983	2.3211	0.703083	0.071686	1.4223	13.94965	98.244	37.109	135.352	0.99352	1.13347
-7	2.4836	2.4037	0.704634	0.069354	1.4192	14.41872	98.462	36.995	135.457	0.99434	1.13333
-6	2.5712	2.4885	0.706198	0.067115	1.4160	14.89989	98.681	36.880	135.561	0.99515	1.13320
-5	2.6611	2.5755	0.707776	0.064963	1.4129	15.39340	98.900	36.765	135.665	0.99597	1.13306
-4	2.7534	2.6648	0.709368	0.062895	1.4097	15.89947	99.119	36.649	135.769	0.99678	1.13294
-3	2.8480	2.7564	0.710974	0.060908	1.4065	16.41832	99.339	36.533	135.872	0.99759	1.13281
-2	2.9452	2.8505	0.712594	0.058996	1.4033	16.95022	99.559	36.416	135.975	0.99839	1.13269
-1	3.0448	2.9469	0.714229	0.057158	1.4001	17.49538	99.779	36.298	136.078	0.99920	1.13257
0	3.1469	3.0457	0.715878	0.055389	1.3969	18.05406	100.000	36.180	136.180	1.00000	1.13245
1	3.2517	3.1471	0.717543	0.053687	1.3936	18.62552	100.221	36.061	136.282	1.00080	1.13233
2	3.3590	3.2510	0.719223	0.052046	1.3904	19.20999	100.442	35.942	136.384	1.00160	1.13221
3	3.4690	3.3574	0.720919	0.050470	1.3871	19.81375	100.664	35.821	136.485	1.00240	1.13211
4	3.5816	3.4664	0.722631	0.048950	1.3838	20.42905	100.886	35.700	136.586	1.00319	1.13200
5	3.6970	3.5781	0.724359	0.047485	1.3805	21.05916	101.108	35.579	136.687	1.00399	1.13188
6	3.8152	3.6925	0.726103	0.046074	1.3772	21.70436	101.331	35.456	136.787	1.00478	1.13178
7	3.9362	3.8096	0.727864	0.044713	1.3739	22.36493	101.554	35.333	136.887	1.00557	1.13169
8	4.0600	3.9294	0.729643	0.043401	1.3705	23.04114	101.778	35.209	136.987	1.00636	1.13159
9	4.1868	4.0521	0.731438	0.042135	1.3672	23.73330	102.002	35.084	137.086	1.00715	1.13149
10	4.3164	4.1776	0.733252	0.040914	1.3638	24.44169	102.226	34.959	137.185	1.00793	1.13139
11	4.4491	4.3060	0.735083	0.039735	1.3604	25.16662	102.451	34.832	137.284	1.00872	1.13130
12	4.5848	4.4374	0.736933	0.038598	1.3570	25.90839	102.677	34.705	137.382	1.00950	1.13120
13	4.7236	4.5717	0.738802	0.037499	1.3535	26.66734	102.902	34.577	137.479	1.01028	1.13111
14	4.8655	4.7090	0.740690	0.036438	1.3501	27.44375	103.128	34.448	137.577	1.01106	1.13102
15	5.0106	4.8494	0.742597	0.035413	1.3466	28.23799	103.355	34.318	137.673	1.01184	1.13094
16	5.1588	4.9929	0.744524	0.034423	1.3431	29.05037	103.582	34.188	137.770	1.01262	1.13085
17	5.3103	5.1395	0.746472	0.033466	1.3396	29.88124	103.810	34.056	137.866	1.01340	1.13076
18	5.4651	5.2894	0.748440	0.032540	1.3361	30.73097	104.038	33.924	137.961	1.01417	1.13068
19	5.6232	5.4424	0.750429	0.031646	1.3326	31.59989	104.266	33.790	138.056	1.01495	1.13060
20	5.7848	5.5987	0.752440	0.030780	1.3290	32.48840	104.495	33.656	138.151	1.01572	1.13052
21	5.9497	5.7584	0.754473	0.029943	1.3254	33.39685	104.725	33.520	138.245	1.01649	1.13044
22	6.1181	5.9214	0.756528	0.029133	1.3218	34.32565	104.955	33.383	138.338	1.01726	1.13036
23	6.2900	6.0878	0.758606	0.028349	1.3182	35.27519	105.186	33.246	138.431	1.01803	1.13029
24	6.4655	6.2576	0.760708	0.027589	1.3146	36.24587	105.417	33.107	138.524	1.01880	1.13021
25	6.6446	6.4309	0.762834	0.026854	1.3109	37.23812	105.649	32.967	138.616	1.01957	1.13014
26	6.8274	6.6078	0.764984	0.026142	1.3072	38.25237	105.881	32.826	138.707	1.02034	1.13006
27	7.0138	6.7883	0.767159	0.025452	1.3035	39.28905	106.114	32.684	138.798	1.02110	1.12999
28	7.2040	6.9724	0.769360	0.024784	1.2998	40.34864	106.347	32.541	138.889	1.02187	1.12992
29	7.3980	7.1601	0.771587	0.024136	1.2960	41.43158	106.582	32.397	138.978	1.02263	1.12985
30	7.5959	7.3516	0.773841	0.023508	1.2923	42.53836	106.816	32.251	139.067	1.02340	1.12978
31	7.7976	7.5468	0.776122	0.022899	1.2885	43.66946	107.052	32.104	139.156	1.02416	1.12971
32	8.0032	7.7459	0.778431	0.022309	1.2846	44.82543	107.288	31.956	139.244	1.02492	1.12964
33	8.2129	7.9488	0.780769	0.021736	1.2808	46.00676	107.525	31.806	139.331	1.02568	1.12957
34	8.4266	8.1556	0.783137	0.021180	1.2769	47.21394	107.763	31.655	139.418	1.02645	1.12950
35	8.6443	8.3663	0.785534	0.020641	1.2730	48.44770	108.001	31.503	139.504	1.02721	1.12943
36	8.8662	8.5811	0.787963	0.020117	1.2691	49.70843	108.240	31.349	139.589	1.02797	1.12937
37	9.0922	8.7999	0.790423	0.019609	1.2651	50.99681	108.480	31.194	139.673	1.02873	1.12930
38	9.3225	9.0227	0.792916	0.019116	1.2612	52.31345	108.720	31.037	139.757	1.02949	1.12923
39	9.5571	9.2497	0.795442	0.018636	1.2572	53.65895	108.962	30.879	139.840	1.03025	1.12917

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3





ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Διάγραμμα p-h (πίεσης-ενθαλπίας) του ψυκτικού μέσου R22



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ & ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ASHRAE

ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ & ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΤΑΙΡΕΙΩΝ
& ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ & ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ

1. Αναστασιάδης Σ. «Υπολογισμός ψυκτικών μονάδων-Εφαρμογές και συμπιεστές ψύξης», Αθήνα, 2001
2. Ανδρεαδάκη – Χρονάκη Ε. «Φυσικός δροσισμός στα ξενοδοχεία», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) -Πρόγραμμα SAVE Ε.Ε., Αθήνα, 1994
3. Αντωνόπουλος Κ. «Κλιματισμός», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Αθήνα, 1988
4. Ασημακόπουλος Α. «Συμπιεστές ψυκτικών μονάδων», Εκδ. Συγγραφέα, Αθήνα
5. Ασημακόπουλος Α. «Εργαστήριο θερμάνσεως-ψύξεως-κλιματισμού», Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1997
6. Ασημακόπουλος Α. «Τεχνολογία Ψυκτικών Εγκαταστάσεων», Αθήνα
7. Ασημακόπουλος Α. «Κλιματισμός», Αθήνα
8. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers Inc. «1997 ASHRAE Handbook of Fundamentals», Atlanta, Georgia, 1997
9. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers Inc. «1998 ASHRAE Handbook of HVAC Applications», Atlanta, Georgia, 1998
10. Athouse A., Turnquist C., Bracciano A. «Modern Refrigeration and Air Conditioning», The Goodheart-Willcox Company Inc., Tinley Park, Illinois, 1996
11. Azevedo E, Silva JFM. «The thermodynamics of a refrigeration system», in Physics Education N. 26, 1991
12. Batty W. «Human interaction with the built environment-Thermal Comfort» (Σημειώσεις), Cranfield Institute of Technology–School of Mechanical Engineering-Dept. of Applied Energy, Cranfield, 1990.
13. Cengel Y., Boles M. «Thermodynamics-An engineering approach», Mc Graw-Hill, Singapore, 1989
14. Colombo R., Landabaso A., Sevilla A. «Manuel de conception – Architecture solaire passive pour la region Mediterraneenne», Centre Commun de Recherche, E.C.-Institut d'Ingenierie des Systemes et de l'Informatique, Bruxelles, 1995
15. Δαπόντες Ν., Κασσέτας Α., Μουρίκης Σ., Σκιαθίτης Μ. «Φυσική Α' Λυκείου» (ΕΠΛ, ΓΕΛ, ΤΕΛ), ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1997

16. Elonka S., Minich Q. «*Standard Refrigeration and Air Conditioning. Questions and Answers*» Tata Mc Graw-Hill, 1990
17. Έμκε Ε. «Θέλεις να γίνεις ψυκτικός ;» Καραμπερόπουλος, Πειραιάς, 1982
18. Goulding J., Owen Lewis J., Steemers T., (μετάφραση Τσίγκα Ε.) «*Ενεργειακός Σχεδιασμός-Εισαγωγή για Αρχιτέκτονες*», Μάλλιαρης-Παιδεία, Θεσσαλονίκη, 1994
19. Fathy H. «*Natural Energy and Vernacular Architecture-Principles and examples with reference to hot arid climates*», University of Chicago Press, Chicago, 1986
20. Howell H., Sauer H Jr., Coad W. «*Principles of Heating, Ventilating and Air Conditioning*», American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. (ASHRAE), Atlanta, Georgia, 1998
21. Καραπαναγιώτης Β., Παπασταματίου Ν., Φέρτης Α., Χαλέτσος Χ. «*Φυσική Β' Γυμνασίου*», ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1998
22. Κουγιουμτζέλης Θ., Περιστεράκης Σ. «*Στοιχεία Φυσικής - Τόμος 1ος*», Εκδ. Συγγραφέα, Αθήνα, 1965
23. Κουρεμένος Δ. «*Ψυκτικές μηχανές και εγκαταστάσεις*», Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1985
24. Μαρκάκης Π. «*Στοιχεία Τεχνολογίας Τροφίμων*», Τρίαινα Εκδοτική, Αθήνα, 1996
25. Ορφανίδης Π., Ασημακόπουλος Α., Μαυρίδου Α., Σαλαμούρη Τ., Σουβλάκη Α., Σπυροπούλου Μ. «*Heating, Refregeration, Air-conditioning*», Γ' ΤΕΛ, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1997
26. Παγωνάρης Κ. «*Τεχνική Θερμοδυναμική*», Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1990
27. Παπακώστας Κ. «*Κλιματισμός Κτιρίων*», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)-Πρόγραμμα Εκπαίδευσης ΕΚΤ, Αθήνα, 1996
28. Σανταμούρης Μ., Τσαντίλης Δ., Μοδινός Μ. και άλλ. «*Οικολογική Δόμηση*», Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΔΙΠΕ), Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα, 2001
29. Σελλούντος Β. «*Θέρμανση – Κλιματισμός*», Φοίβος, Αθήνα, 1995
30. Sprenger E., (μετάφραση Δημάκου Ν.-Παπαθανασίου Μ.) «*Recknagel-Sprenger Θέρμανση και Κλιματισμός – 2. Κλιματισμός*», 2^η Έκδοση, Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 1992
31. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος ΤΟΤΕΕ 2425/86 «*Εγκαταστάσεις σε κτήρια : Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού*

κτιριακών χώρων», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ), Αθήνα, 1987

32. Whitman W., Johnson W., Tomczyk J. (μετάφραση Χαρακλιά Κ.) «Εγκαταστάσεις Ψύξης II», 4η έκδοση, ΙΩΝ, Αθήνα, 2000.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

1. ASHRAE Journal
2. ΚΤΙΡΙΟ – Εφαρμογές 2001
3. Μηνιαία ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ASHRAE (S.I.)

© 1992 by the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. www.ashrae.org Used by permission

ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ & ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΤΑΙΡΙΩΝ & ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

(Κατά αλφαβητική σειρά)

ΑΓΗΝΩΡ Α.Ε.
Α. ΗΛΙΟΥ Α.Β.Ε.Τ.Ε.
ALFA LAVAL Α.Ε.Β.Ε.
DAIKIN (KLIMATAIR Α.Ε.)
FROSTLINE Α.Ε.
GREENPEACE International
ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΝΙΚΟΣ ΜΠΙΡΗΣ & ΥΙΟΙ Α.Ε.Τ.Ε.
TESTO (ΣΙΓΜΑ ΕΛΛΑΣ Ε.Π.Ε.)
YORK (YORK HELLAS Α.Ε.)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ	11
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	13
1.2 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ	22
1.3 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	23
1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΥΞΗΣ	25
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	29
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	32
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ - ΕΡΓΟ	35
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	37
2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	38
2.3 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ	38
2.4 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΡΓΟ - ΙΣΧΥΣ	44
2.5 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ - ΑΙΣΘΗΤΗ ΚΑΙ ΛΑΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	46
2.6 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	50
2.7 ΠΙΕΣΗ - ΠΙΕΣΣΟΜΕΤΡΑ - ΜΟΝΑΔΕΣ - ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ	56
2.8 ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	64
2.9 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	65
2.10 ΠΡΩΤΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ	66
2.11 ΔΕΥΤΕΡΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ	68
2.12 ΕΝΘΑΛΠΙΑ - ΕΝΤΡΟΠΙΑ	71
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	72
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΛΕΙΟ ΑΕΡΙΟ	77
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΕΛΕΙΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	80
3.2 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΑΕΡΙΩΝ	
ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΕΣΗΣ-ΟΓΚΟΥ (P-V)	81
3.3 ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΟΥ	87
3.4 ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ	89
3.5 ΚΥΚΛΟΣ CARNOT	91
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	93
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ-ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	94
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΤΜΟΙ	 97
4.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΦΑΣΗΣ	100
4.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΑΕΡΙΟ	103
4.3 ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ	105
4.4 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	108
4.5 ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΣ ΥΓΡΟΥ	113
4.6 ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ	114
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	116
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	117
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	 121
5.1 ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	124
5.2 ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	124
5.3 ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	125
5.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	129
5.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	131
5.6 ΥΠΟΨΥΞΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ	132
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	134
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	135
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ	 139
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ	142
6.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ	143
6.3 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ	145
6.4 ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ	178
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	195

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	197
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΡΟΠΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΨΥΞΗΣ	201
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	203
7.2 ΨΥΞΗ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ	205
7.3 ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	207
7.4 ΨΥΞΗ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ. ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ P-H	208
7.5 ΑΛΛΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΨΥΞΗΣ	215
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	217
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	218
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	221
8.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΥΓΡΑΣΙΑ	223
8.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΥΓΡΑΣΙΑ	227
8.3 ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	231
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	233
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	234
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ	235
9.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΟΥ “ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ”	237
9.2 ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	240
9.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ-ΥΓΡΑΣΙΑ-ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ	241
9.4 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ	247
9.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΑΕΡΙΣΜΟΥ. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ	251
9.6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΥΠΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	266
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	269
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	270

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ	273
10.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΟΥ «ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ»	275
10.2 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ	276
10.3 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΑΕΡΙΣΜΟΥ	280
10.4 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΛΙΜΑΚΩΝ ΣΤΟΝ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΧΑΡΤΗ	282
10.5 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ	286
10.6 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΟΡΩΝ	288
10.7 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΟΡΩΝ	290
10.8 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ	294
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	300
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	301
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ	303
11.1 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ. ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	305
11.2 ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ. ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΕΡΔΩΝ	307
11.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ, ΚΕΡΔΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ	309
11.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟ ΧΩΡΟ	331
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	335
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	337
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 ΔΙΑΝΟΜΗ ΑΕΡΑ - ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ	339
12.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	341
12.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ-ΑΕΡΙΣΜΟ ΤΥΠΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	342
12.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΕΡΑ	344
12.4 ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ. ΕΙΔΗ-ΥΛΙΚΑ-ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	345
12.5 ΤΡΙΒΕΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥΣ	353
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	362
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	362

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	365
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	375
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3	381
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4	385
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	391