



Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός II

Ψύξη

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

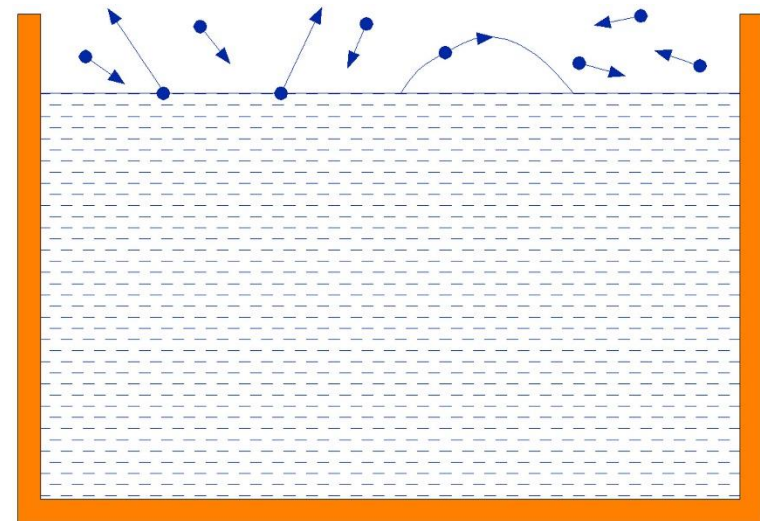
Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης



Βασικές έννοιες

Μερική πίεση ατμών υγρού

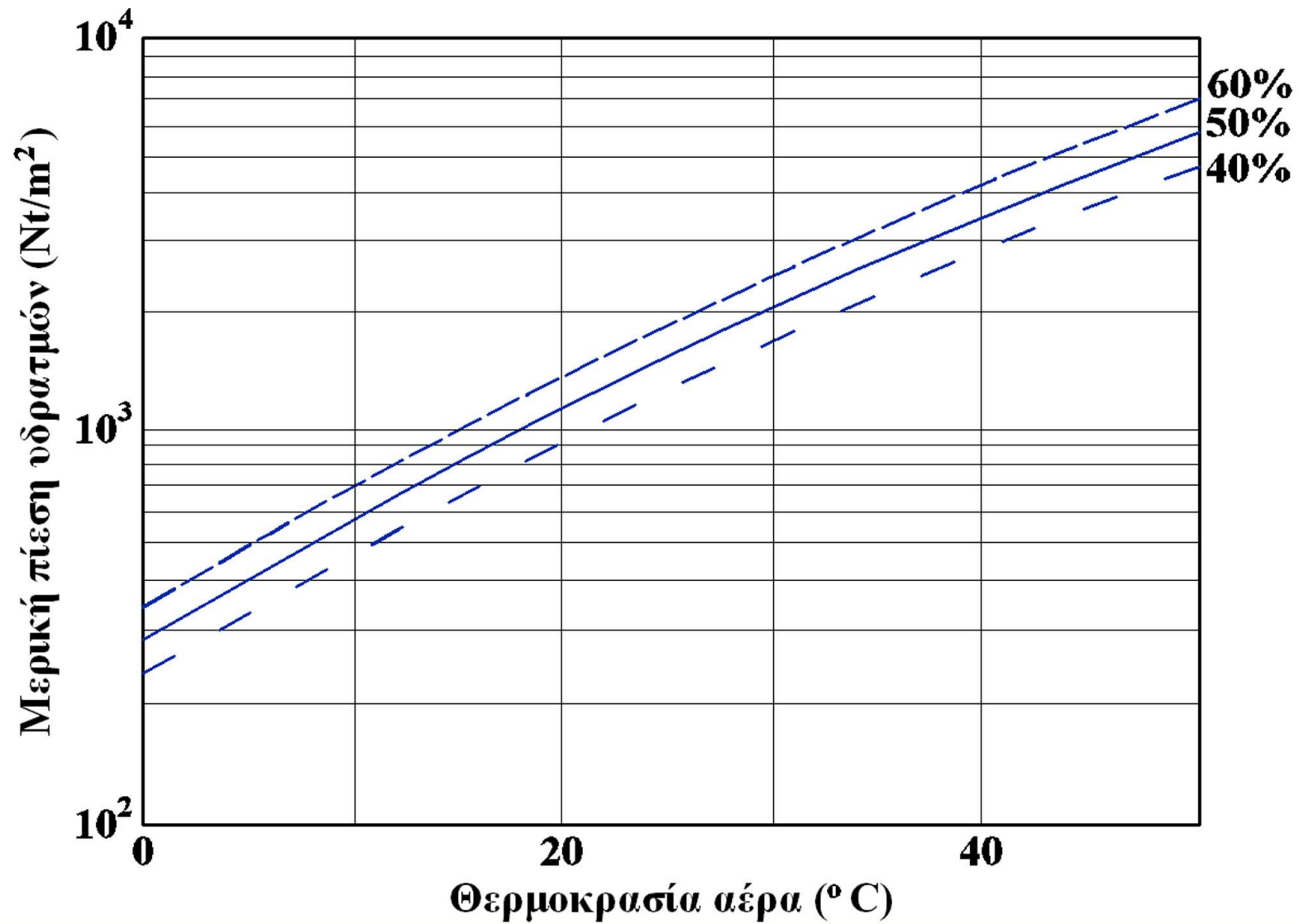
- Έστω ποσότητα υγρού που περιέχεται σε ανοιχτό δοχείο, υπό ορισμένη θερμοκρασία.
- Τα μόρια του υγρού, που βρίσκονται κοντά στην ελεύθερη επιφάνειά του, έχουν την τάση να την εγκαταλείπουν και να σχηματίζουν ένα νέφος ατμών το οποίο την καλύπτει.
- Ταυτόχρονα, ένας αριθμός μορίων τείνει να επιστρέψει στην επιφάνεια του υγρού.
- Έτσι, το νέφος αυτό αυξάνεται ή ελαττώνεται ανάλογα με τη διεύθυνση του καθαρού αριθμού των μορίων που διασχίζουν τη διαχωριστική επιφάνεια.
- Όταν το νέφος ατμού βρίσκεται σε ισορροπία με το υγρό, η πίεση του νέφους αυτού καλείται πίεση ατμών υγρού ή τάση ατμών.



Μερική πίεση ατμών υγρού

- Η πίεση ατμών υγρού δεν είναι σταθερή, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.
- Η τιμή της πίεσης ατμών υγρού αυξάνεται ή ελαττώνεται, αντίστοιχα, με αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας.
- Όταν αυξάνεται η πίεση ατμών ενός υγρού με την αύξηση της θερμοκρασίας έως το σημείο στο οποίο ισούται π.χ. με την ατμοσφαιρική πίεση, το υγρό έχει φθάσει το σημείο βρασμού του.
- Η θερμοκρασία αυτή συνήθως αναφέρεται ως «κανονικό σημείο βρασμού (ή εξάτμισης)» του υγρού.
- Παρόμοια, σε μια δεδομένη θερμοκρασία, αν η πίεση υπεράνω του υγρού μειωθεί έως την τιμή της πίεσης των ατμών του υγρού που αντιστοιχεί σ' αυτή τη θερμοκρασία, τότε το υγρό αρχίζει να βράζει.
- Για το νερό, ο βρασμός μπορεί να επέλθει ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου, αρκεί η πίεση του αέρα του δωματίου να ελαττωθεί τόσο, ώστε να γίνει μικρότερη από την πίεση των ατμών του υγρού στην επικρατούσα θερμοκρασία (περίπου 0,04 atm στους 28 °C).

Μερική πίεση ατμών νερού



Παραγωγή ψύξης μέσω εξάτμισης

- Ο απλούστερος τρόπος παραγωγής ψύξης είναι η εξάτμιση ή ατμοποίηση ενός πτητικού μέσου.
- Τα πτητικά μέσα έχουν την ιδιότητα να εμφανίζουν γρήγορη (έντονη) αύξηση της πίεσης ατμών με τη θερμοκρασία και επομένως μπορεί να έχουν υψηλή πίεση ατμών ακόμα και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
- Με βάση τα αναφερόμενα στην προηγούμενη ενότητα, αποτέλεσμα τούτου είναι η εξάτμισή τους σε συνθήκες περιβάλλοντος.
- Με την εξάτμισή τους απορροφάται θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο, με τελικό αποτέλεσμα την ψύξη του.
- Τα πτητικά μέσα, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ψύξης, ονομάζονται *ψυκτικά μέσα*.



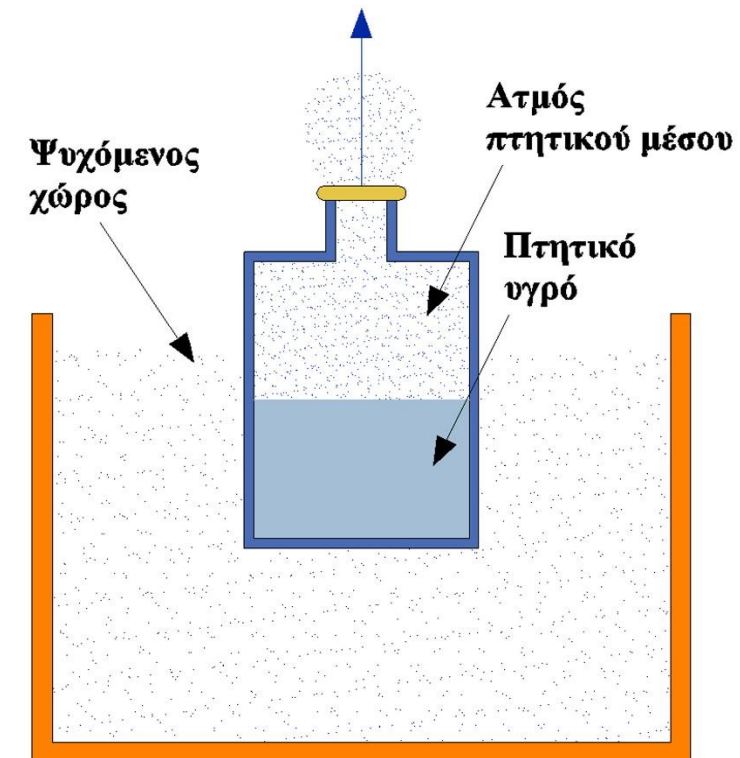
Πιέσεις & θερμοκρασίες ατμοποίησης του ψυκτικού R-134a

Θερμοκρασία εξάτμισης ψυκτικού μέσου R-134a συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος.

Πίεση περιβάλλοντος (bar) – απόλυτη	0,10	0,20	0,40	0,60	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00
Θερμοκρασία εξάτμισης (°C)	-66,85	-56,39	-44,57	-36,91	-26,34	-17,12	-10,08	+0,66	+8,91

Παραγωγή ψύξης μέσω εξάτμισης

- Στη στοιχειώδη συσκευή παραγωγή ψύχους του σχήματος, το πτητικό υγρό εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα αρχικά από την ίδια τη μάζα του, έως ότου η θερμοκρασία του μειωθεί και γίνει ίση με τη θερμοκρασία ατμοποίησής του.
- Στη συνέχεια απορροφά θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο, ο οποίος ψύχεται.
- Αν υποθέσουμε ότι η επικρατούσα πίεση στον περιβάλλοντα χώρο είναι η ατμοσφαιρική, η θερμοκρασία του πτητικού υγρού θα μειωθεί έως τη θερμοκρασία ατμοποίησής του που αντιστοιχεί στην ατμοσφαιρική πίεση.
- Αυτή η θερμοκρασία θα είναι και η θεωρητική ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία η συγκεκριμένη συσκευή μπορεί να ψύξει τον ψυχόμενο χώρο.





Ψυκτικές διατάξεις και διαδικασίες

Συσκευές ψύξης

- Η ψυκτική συσκευή του σχήματος 8.3 είναι απλή και φτηνή στην κατασκευή της, όμως πολύ δαπανηρή στη λειτουργία της, αφού απαιτούνται τεράστιες ποσότητες ψυκτικού μέσου για την επαρκή ψύξη ενός κλιματιζόμενου χώρου.
- Οι ποσότητες αυτές, όπως γίνεται κατανοητό, θα πρέπει να αναπληρώνονται συνέχεια, καθώς με τη συγκεκριμένη ψυκτική συσκευή το ψυκτικό μέσο που εξατμίζεται χάνεται και δεν είναι δυνατόν να επανακτηθεί.
- Για το λόγο αυτό έχουν επινοηθεί συσκευές συνθετότερες, στις οποίες το δοχείο του ψυκτικού υγρού δεν επικοινωνεί με το περιβάλλον και, επομένως, το ψυκτικό μέσο δε χάνεται.
- Η όλη κατασκευή και διάταξη των συσκευών ψύξης αποσκοπεί στη συλλογή των ατμών του ψυκτικού μέσου μετά την ατμοποίησή τους και στην επαναφορά τους στο δοχείο εξάτμισης στην αρχική υγρή κατάστασή τους, ώστε να είναι δυνατή η εκ νέου ατμοποίησή τους και η συνεχής παραγωγή ψύξης.

Διαδικασία ψύξης και συμπύκνωσης ψυκτικού μέσου

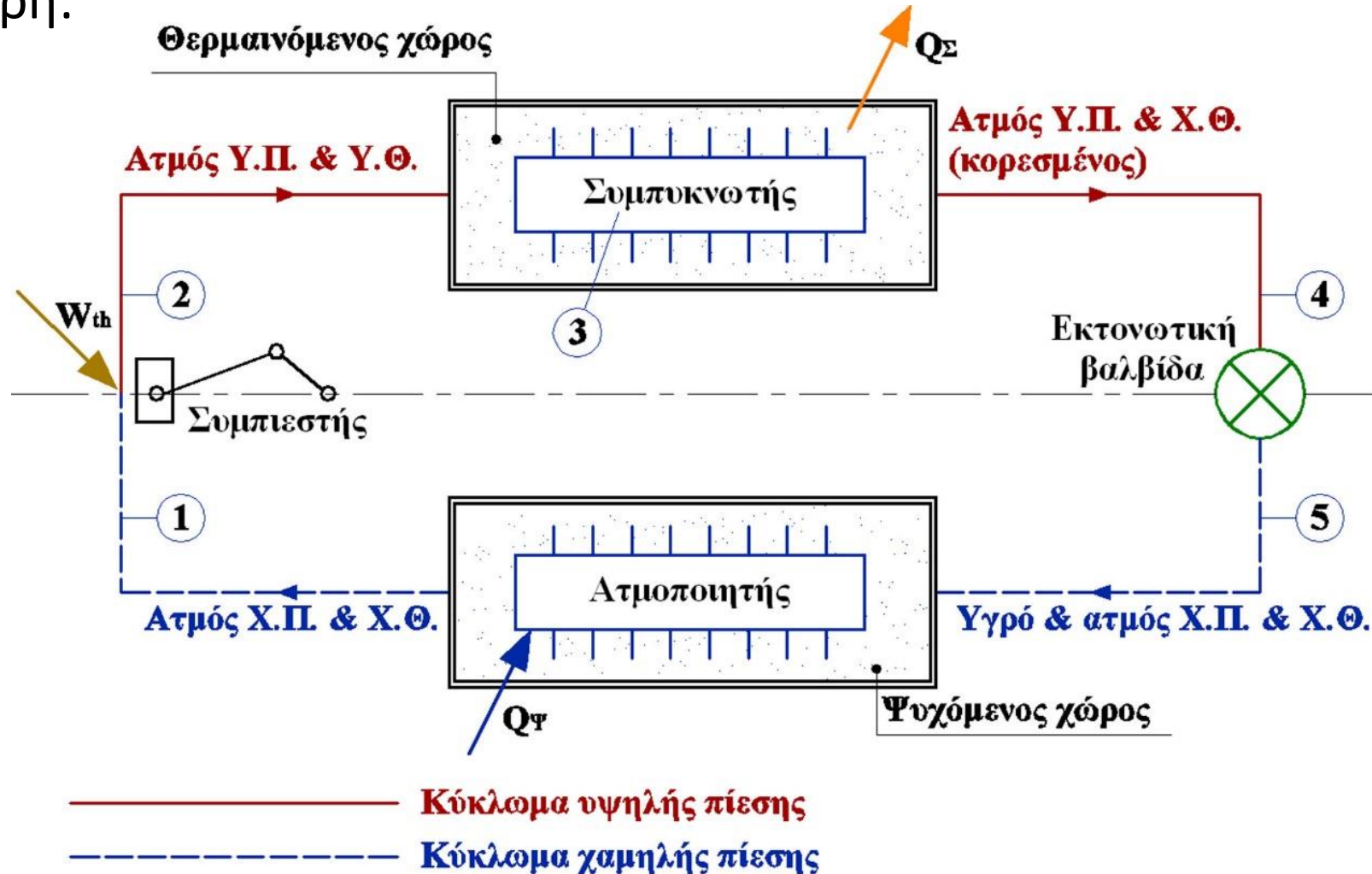
- Για την ψύξη και τη συμπύκνωση των ατμών του ψυκτικού μέσου πρέπει να υπάρχει ένα άλλο σώμα ή ρεύμα χαμηλότερης θερμοκρασίας, που ερχόμενο σε επαφή με αυτούς να τους ψύχει.
- Καθώς επιδιώκεται ως ψυχρό μέσο να χρησιμοποιείται το περιβάλλον, πρέπει η θερμοκρασία συμπύκνωσης των ατμών να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- Για να είναι δυνατή η ψύξη, οι ατμοί οδηγούνται αρχικά σε συμπιεστή, όπου συμπιέζονται ώστε να ανεβεί η θερμοκρασία τους πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- Οι ατμοί, μετά τη συμπίεσή τους, οδηγούνται σε εναλλάκτη θερμότητας που ονομάζεται «στοιχείο συμπύκνωσης» ή «συμπυκνωτής». Εκεί ψύχονται από τον αέρα του περιβάλλοντος (ή από νερό κλπ) και συμπυκνώνονται σε υγρό.

Διαδικασία ψύξης και συμπύκνωσης ψυκτικού μέσου

- Η υγρή φάση που προκύπτει μετά τη συμπύκνωση βρίσκεται σε πολύ ψηλότερη πίεση από την πίεση του δοχείου ατμοποίησης. Γι' αυτό το υγρό οδηγείται σε εκτονωτική συσκευή όπου εκτονώνεται (στραγγαλίζεται) και μειώνεται η πίεσή του ώστε να μπορεί να ατμοποιηθεί.
- Τέλος, οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας που ονομάζεται «στοιχείο ατμοποίησης» ή «ατμοποιητής», όπου ατμοποιείται.
- Ο κύκλος ψύξης επαναλαμβάνεται συνεχώς.

Περιγραφή βασικής ψυκτικής διάταξης

- Με βάση τα προαναφερόμενα, μια ψυκτική διάταξη πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:



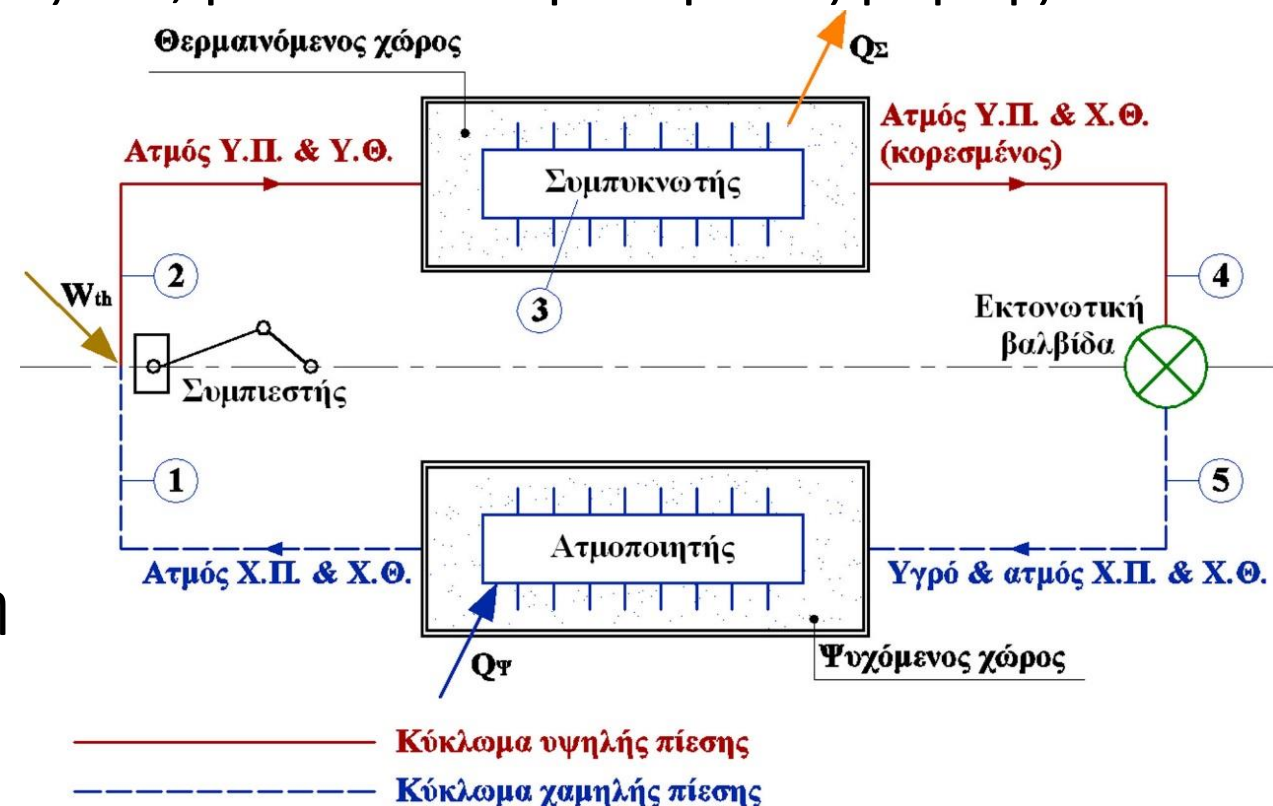
Περιγραφή βασικής ψυκτικής διάταξης

- Με βάση τα προαναφερόμενα, μια ψυκτική διάταξη πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:
 - μηχανικό συμπιεστή (εμβολοφόρο ή περιστροφικό)
 - συμπυκνωτή (εναλλάκτη θερμότητας αερόψυκτο ή υδρόψυκτο)
 - διάταξη εκτόνωσης ή στραγγαλισμού (τριχοειδή σωλήνα ή βαλβίδα)
 - ατμοποιητή (εναλλάκτη θερμότητας)
 - διατάξεις αυτόματης λειτουργίας και ασφάλειας και άλλα λειτουργικά όργανα.

Ροή ψυκτικού μέσου σε ψυκτική συσκευή

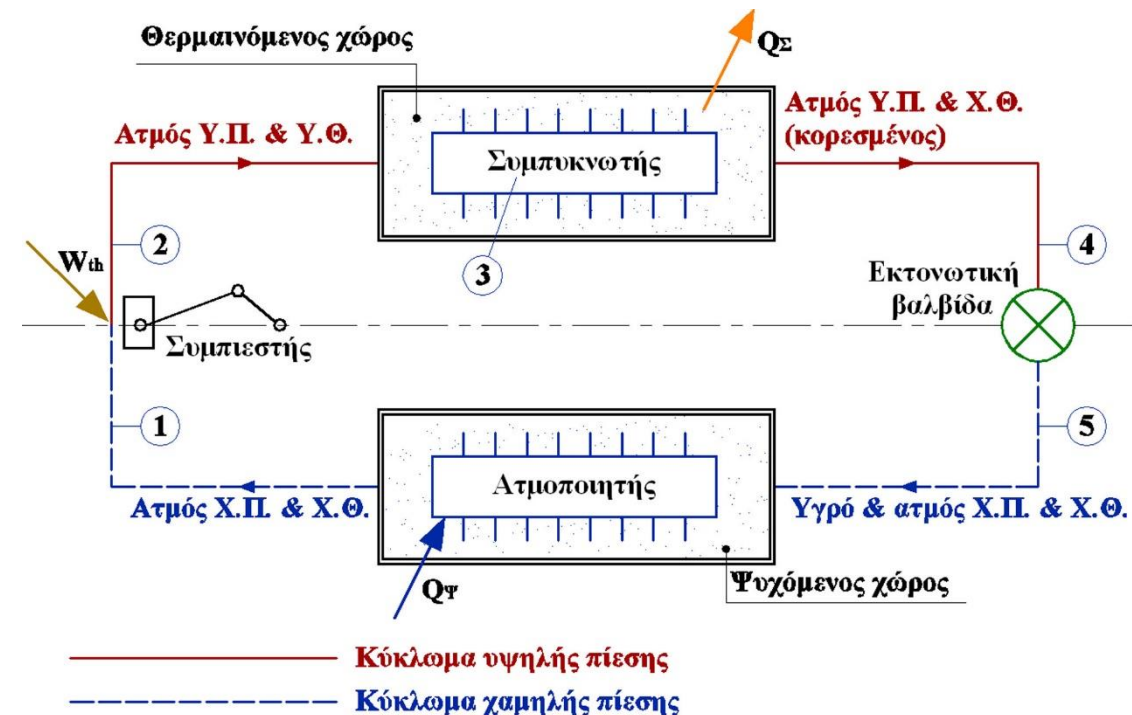
- Συμπύεση:

- Μετά την έξοδό του από τον ατμοποιητή, το ψυκτικό μέσο σε κατάσταση ξηρού κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης εισέρχεται στο μηχανικό συμπιεστή (σημείο 1).
- Στο μηχανικό συμπιεστή ο ατμός συμπιέζεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του.
- Μετά τη συμπύεση ο ατμός εξέρχεται από το συμπιεστή ως υπέρθερμος, σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία (σημείο 2).
- Κατά τη συμπύεση του ατμού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή, προσδίδεται σε αυτό μηχανικό έργο W_{th} από εξωτερική πηγή.



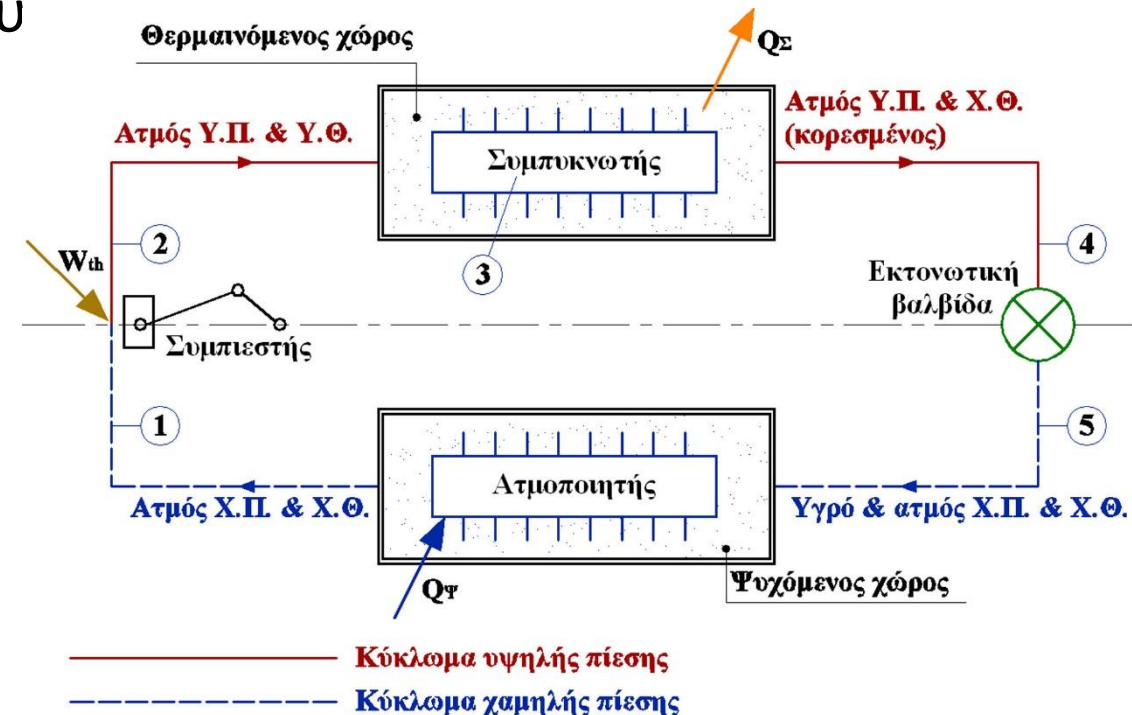
Ροή ψυκτικού μέσου σε ψυκτική συσκευή

- Συμπύκνωση:
 - Πρακτικά ο συμπυκνωτής είναι εναλλάκτης θερμότητας, αερόψυκτος ή υδρόψυκτος.
 - Κατά τη συμπύκνωση του αερίου ψυκτικού μέσου στο συμπυκνωτή, αποβάλλεται θερμότητα προς το περιβάλλον Q_{Σ} .
 - Θεωρητικά η ψύξη (συμπύκνωση) $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ είναι ισοβαρής μεταβολή, με σταθερή πίεση συμπύκνωσης p_{Σ} , την πίεση εξόδου του ψυκτικού μέσου από το συμπιεστή.
 - Το ψυκτικό υγρό εξέρχεται από το συμπυκνωτή σε κατάσταση υψηλής πίεσης και μειωμένης θερμοκρασίας.



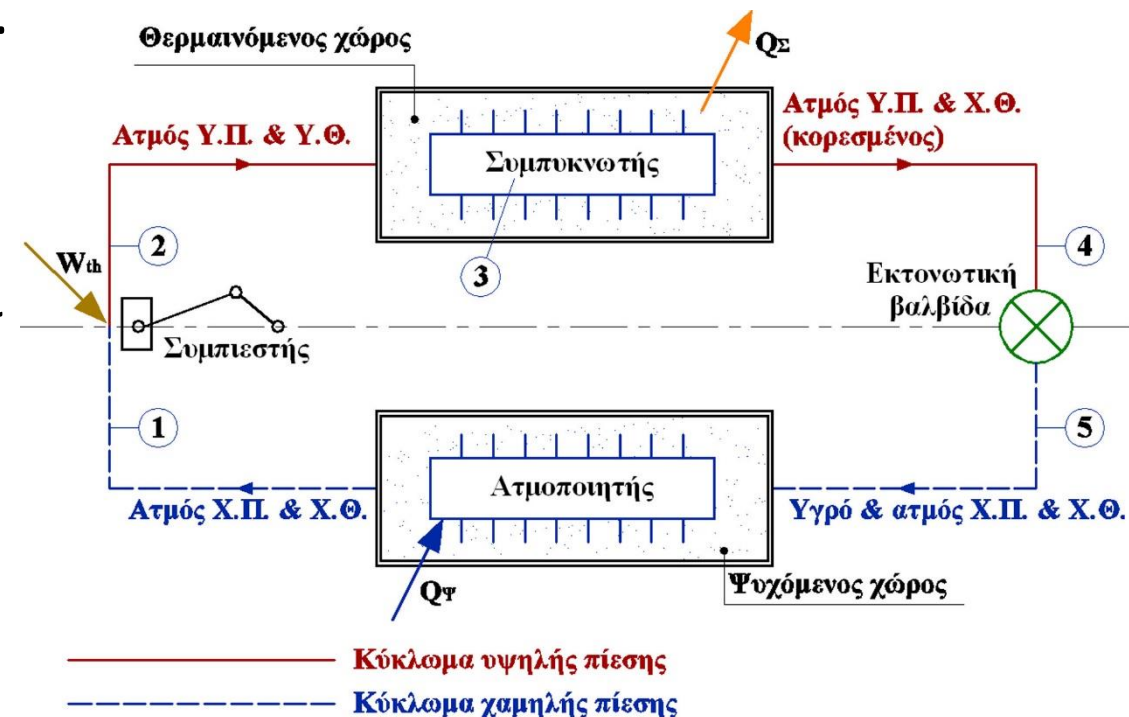
Ροή ψυκτικού μέσου σε ψυκτική συσκευή

- Εκτόνωση:
- Προκειμένου να μπορέσει να ατμοποιηθεί το ψυκτικό μέσο μετά την έξοδό του από τη συμπυκνωτή, θα πρέπει η πίεσή του να μειωθεί, μέχρι να φθάσει την πίεση που επικρατεί μέσα στον εξατμιστή.
- Για το σκοπό αυτό εισάγεται στη διάταξη εκτονώσεως ή στραγγαλισμού στο σημείο 4, από την οποία εξάγεται μετά την εκτόνωσή του (σημείο 5), σε κατάσταση διμερούς φάσης (υπερτερεί η υγρή φάση), χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας.
- Κατά την εκτόνωση του ψυκτικού μέσου δεν επιτελείται καμία συναλλαγή ενέργειας από ή προς το περιβάλλον.



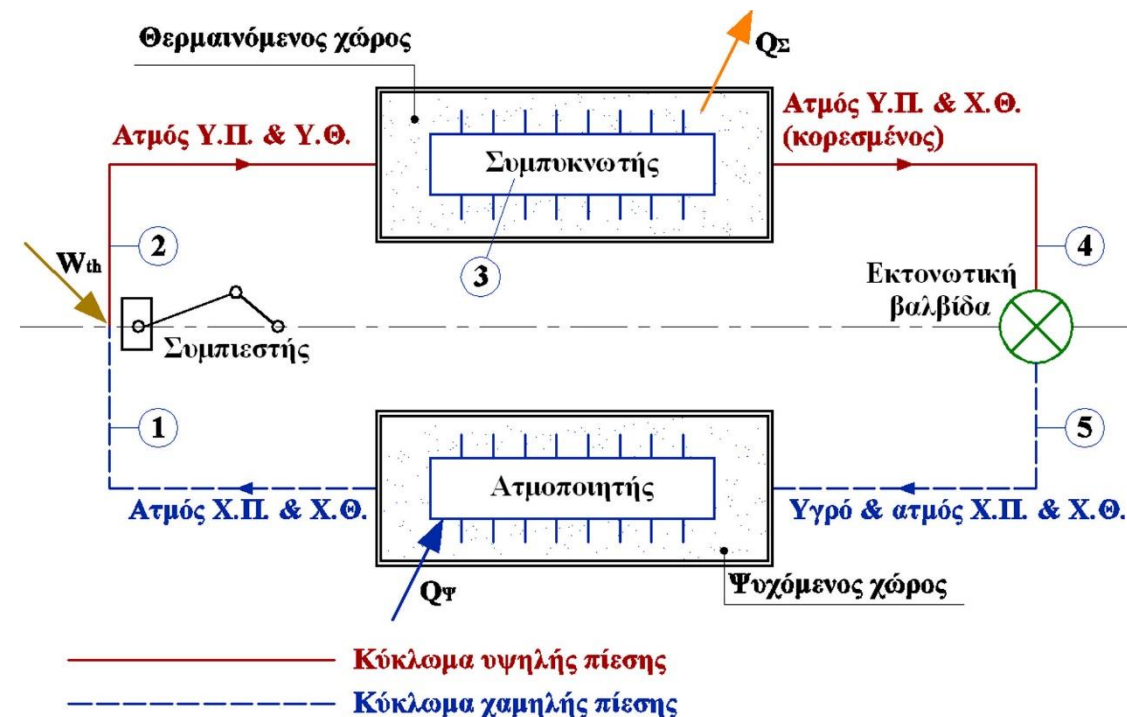
Ροή ψυκτικού μέσου σε ψυκτική συσκευή

- Ατμοποίηση:
 - Το ψυκτικό μέσο εισάγεται στον ατμοποιητή σε κατάσταση χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας (σημείο 5).
 - Εκεί το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον του ατμοποιητή, παράγοντας ψύξη, ατμοποιείται και εξέρχεται από αυτόν σε κατάσταση ψυχρού κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης (σημείο 1).
 - Η θερμότητα που αναρροφάται από το ψυκτικό μέσο στον ατμοποιητή είναι η θερμότητα ατμοποίησης Q_{ψ} . Η θερμότητα αυτή είναι η ωφέλιμη θερμότητα ψύξης.



Ροή ψυκτικού μέσου σε ψυκτική συσκευή

- Ατμοποίηση:
 - Θεωρητικά η θέρμανση του ψυκτικού μέσου $5 \rightarrow 1$ είναι ισοβαρής μεταβολή με πίεση p_ψ , η οποία είναι η πίεση με την οποία εξέρχεται το ψυκτικό μέσο από τη διάταξη στραγγαλισμού, που εξαρτάται από τη σταθερή θερμοκρασία, υπό την οποία γίνεται η ατμοποίηση.
 - Το ψυκτικό μέσο κατάστασης 1 είναι έτοιμο, για να εισέλθει και πάλι στο συμπιεστή για την επανάληψη της διαδικασίας.



Έργο και θερμότητα στον ψυκτικό κύκλο

Ανακεφαλαιώνοντας τα ανωτέρω σχετικά με τις συναλλαγές ενέργειας από και προς το ψυκτικό μέσο σε ένα βασικό κύκλο ψύξης, έχουμε:

- Κατά την ατμοποίηση γίνεται απορρόφηση θερμότητας \dot{Q}_ψ από το χώρο που περιβάλλει τον ατμοποιητή, ο οποίος και ψύχεται. Η θερμική αυτή ισχύς αποτελεί την ωφέλιμη ψυκτική ισχύ του ψυκτικού κύκλου.
- Κατά τη συμπύκνωση αποβάλλεται θερμότητα \dot{Q}_χ στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα ο χώρος που περιβάλλει το συμπυκνωτή να θερμαίνεται. Συνεπώς, η ψυκτική διάταξη λειτουργεί ως αντλία θερμότητας που αφαιρεί θερμότητα από ένα χώρο που είναι επιθυμητή η ψύξη (γύρω από τον ατμοποιητή) και την αποβάλλει σε ένα άλλο χώρο όπου είναι αδιάφορο το ότι θερμαίνεται (περιβάλλον συμπυκνωτή).
- Επομένως η ροή θερμότητας σε μία ψυκτική διάταξη είναι αντίστροφη της φυσικής διαδρομής, δηλαδή από ένα ζεστό μέσο προς ένα κρύο. Για να επιτευχθεί αυτή η αντίστροφη ροή θερμότητας απαιτείται η προσφορά μηχανικής ισχύος $\dot{W}_{\tau h}$ στο συμπιεστή της ψυκτικής διάταξης.

Έργο και θερμότητα στον ψυκτικό κύκλο

- Σε ένα ψυκτικό κύκλο, η μηχανική ισχύς \dot{W}_{th} και η ωφέλιμη ψυκτική ισχύς \dot{Q}_ψ προσδίδονται από το περιβάλλον προς το ψυκτικό μέσο.
- Αντίθετα, η αποβαλλόμενη θερμική ισχύς στο συμπυκνωτή \dot{Q}_Σ αποδίδεται από το ψυκτικό μέσο προς το περιβάλλον.
- Συνεπώς ο ενεργειακός ισολογισμός σε ένα βασικό κύκλο ψύξης έχει ως εξής:
$$\dot{Q}_{\Sigma th} = \dot{Q}_{\psi th} + \dot{W}_{th}$$
όπου W_{th} η ενέργεια που καταναλώνει ο συμπιεστής.
- Από τις ανωτέρω ροές ισχύος, που εμφανίζονται σε ένα βασικό ψυκτικό κύκλο, η μόνη κατανάλωση ισχύος είναι η μηχανική ισχύς, που δαπανάται στο συμπιεστή, ενώ η ωφέλιμη ισχύς είναι η ψυκτική ισχύς, που απορροφάται στον ατμοποιητή. Είναι λοιπόν εύλογο να ορίσουμε τη θεωρητική απόδοση μιας ψυκτικής συσκευής ως εξής:

$$COP_{th} = \frac{\dot{Q}_{\psi th}}{\dot{W}_{th}}$$

Θεωρητικός και πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς

- Με την προηγούμενη σχέση εισάγεται ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς (Coefficient of Performance – COP_{th}) της ψυκτικής διάταξης, ο οποίος εκφράζει τη θεωρητική αποδοτικότητα – αποτελεσματικότητά της.
- Αντίστοιχα με το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς ορίζεται και ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς COP ως το πηλίκο της πραγματικής αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος προς την πραγματική κατανάλωση μηχανικής ισχύος.
- Ο πραγματικός COP είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με το θεωρητικό COP_{th} .

Αντλία Θερμότητας

- Όταν η ψυκτική διάταξη χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος, τότε η αποβαλλόμενη θερμότητα στο συμπυκνωτή αποβάλλεται ως άχρηστο παραπροϊόν.
- Είναι δυνατόν όμως μια ψυκτική διάταξη να χρησιμοποιηθεί κυρίως όχι για ψύξη, αλλά για θέρμανση ενός χώρου με την αξιοποίηση της θερμότητας συμπύκνωσης.
- Οι εγκαταστάσεις του είδους αυτού ονομάζονται αντλίες θερμότητας.
- Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά δύο τρόπους, δηλαδή για ψύξη ενός χώρου το καλοκαίρι και για τη θέρμανσή του το χειμώνα.



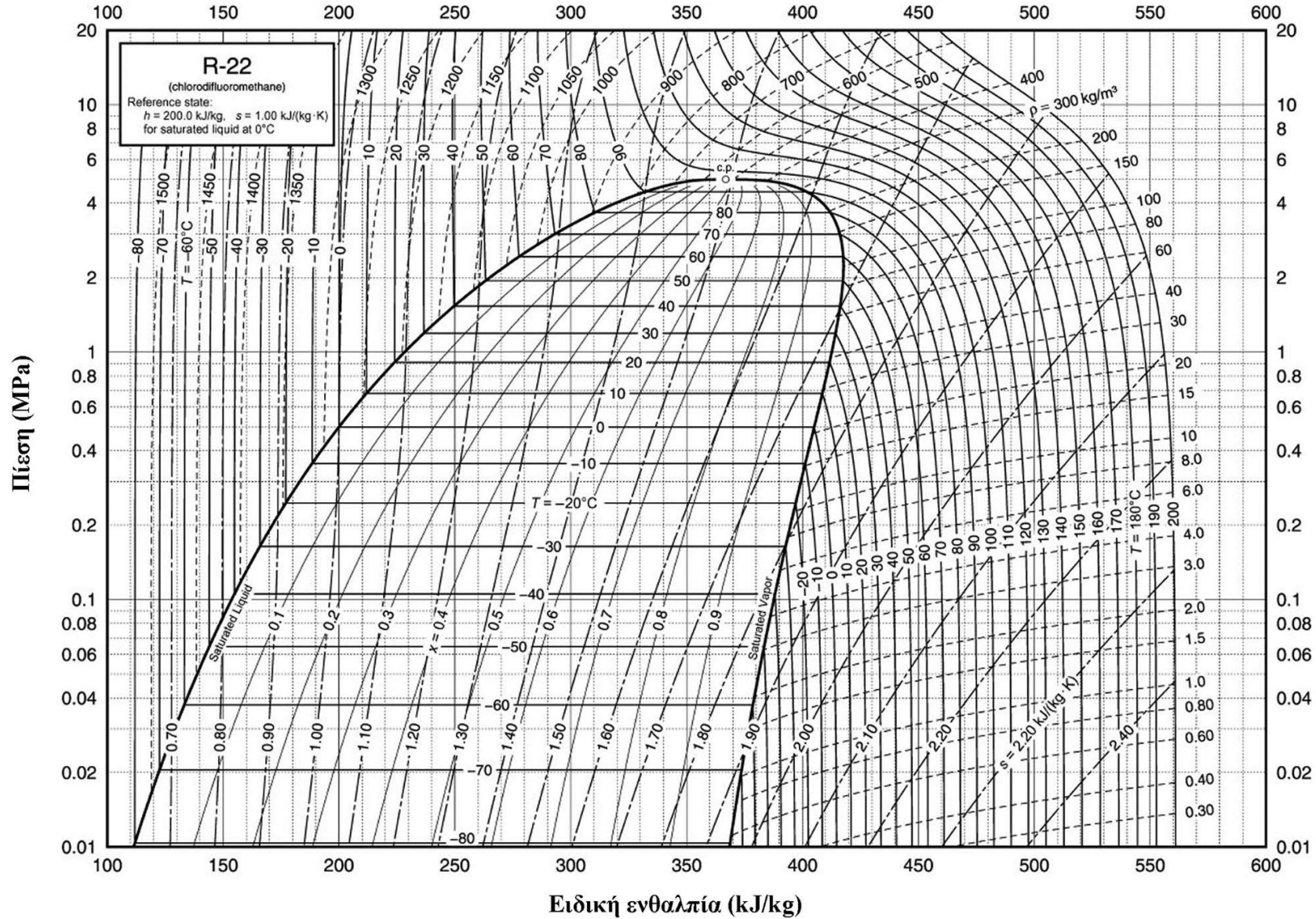
Θερμοδυναμική προσέγγιση βασικού κύκλου ψύξης



Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Ο θεωρητικός ψυκτικός κύκλος με μηχανική συμπίεση ατμού αναπαρίσταται γραφικά σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου που χρησιμοποιείται.
- Για τη σχεδίαση του διαγράμματος αυτού θεωρείται ότι ο ατμός του ψυκτικού μέσου στην είσοδο του συμπιεστή (σημείο 1) είναι σε κατάσταση κορεσμού και ότι η υγρή φάση στην είσοδο της εκτονωτικής βαλβίδας (σημείο 4) βρίσκεται επίσης σε κατάσταση κορεσμού.

Διάγραμμα πίεσης - ενθαλπίας ψυκτικού μέσου



Διάγραμμα πίεσης - ενθαλπίας ψυκτικού μέσου

- Συνολικά στο διάγραμμα ψυκτικού μέσου πίεσης – ειδικής ενθαλπίας αναπαρίστανται τα εξής μεγέθη:
 - ειδική ενθαλπία (οριζόντιος άξονας σε kJ/kg),
 - πίεση (κατακόρυφος άξονας σε MPa),
 - ειδική εντροπία (κεκλιμμένες καμπύλες με αξονικές γραμμές),
 - θερμοκρασία (συνεχείς καμπύλες),
 - εντός της καμπύλης κορεσμού οι καμπύλες που ακολουθούν τις κλίσεις της καμπύλης κορεσμού δίνουν την περιεκτικότητα κατά μάζα του διφασικού μίγματος σε αέρια φάση (βαθμός ξηρότητας)
 - πυκνότητα (διακεκομμένες καμπύλες),
 - βαθμός ξηρότητας (συνεχείς καμπύλες εντός της καμπύλης κορεσμού).
- Όπως και στον ψυχομετρικό χάρτη, ο εντοπισμός της κατάστασης του ψυκτικού μέσου επί του διαγράμματος είναι εφικτός, αν είναι γνωστά δύο από τα ανωτέρω μεγέθη.

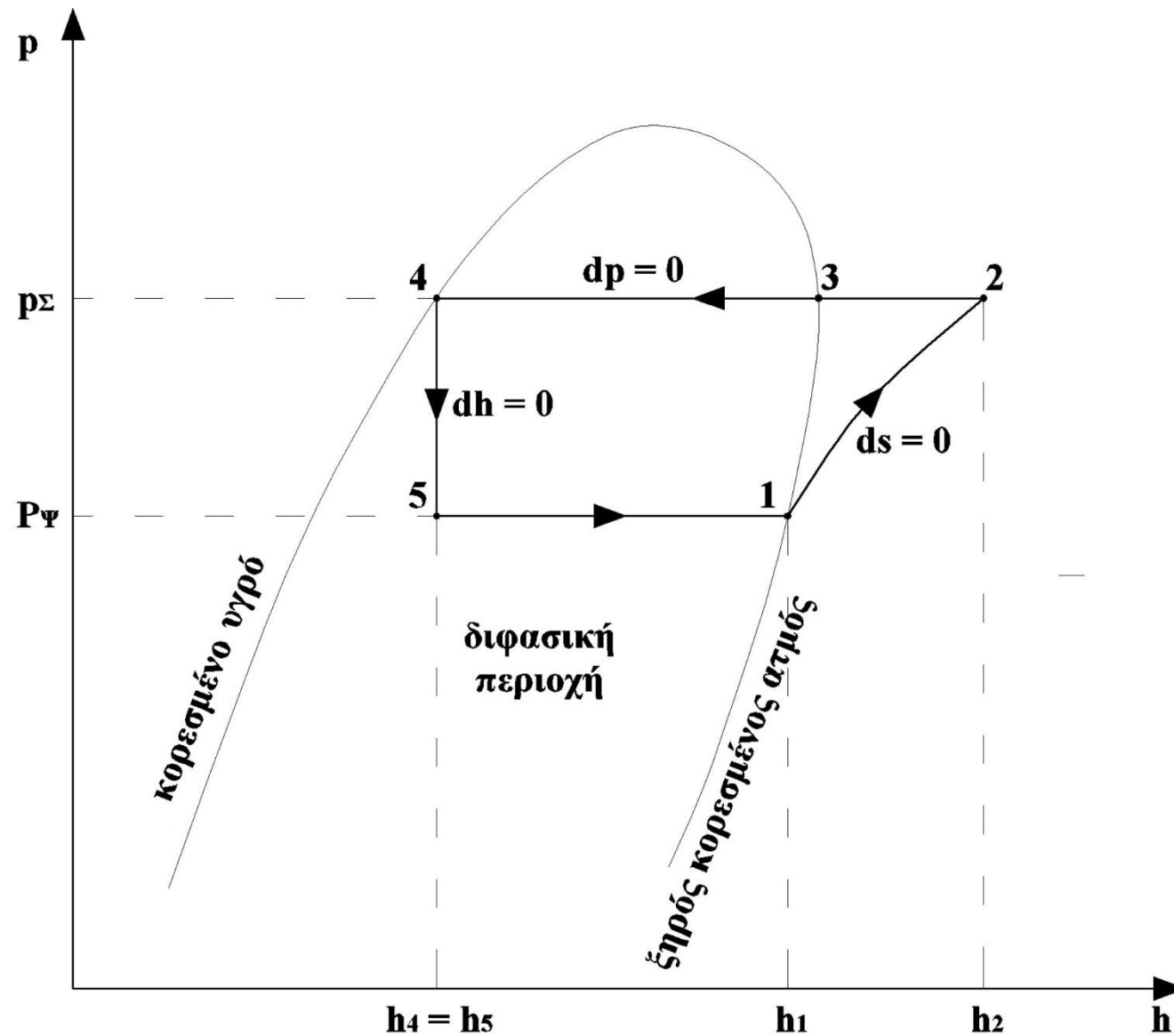
Διάγραμμα πίεσης - ενθαλπίας ψυκτικού μέσου

- Εντός του διαγράμματος δεσπόζει η καμπύλη κορεσμού (η καμπύλη με τη μορφή καμπάνας). Τα σημεία της καμπύλης αναπαριστούν καταστάσεις κορεσμού του ψυκτικού μέσου.
- Στην κορυφή της καμπύλης κορεσμού βρίσκεται το κρίσιμο σημείο (critical point). Τα σημεία επί της καμπύλης κορεσμού και αριστερά από το κρίσιμο σημείο αντιστοιχούν σε καταστάσεις κορεσμένου υγρού. Τα σημεία επί της καμπύλης κορεσμού και δεξιά από το κρίσιμο σημείο αντιστοιχούν σε καταστάσεις κορεσμένου ατμού.
- Τα σημεία του διαγράμματος εκτός της καμπύλης κορεσμού και αριστερά από αυτήν αντιστοιχούν σε καταστάσεις υπόψυκτου υγρού.
- Τα σημεία του διαγράμματος εκτός της καμπύλης κορεσμού και δεξιά από αυτήν αντιστοιχούν σε καταστάσεις υπέρθερμου ατμού.
- Τα σημεία του διαγράμματος που εσωκλείονται εντός της καμπύλης κορεσμού αντιστοιχούν σε διφασικές καταστάσεις υγρού – ατμού.

Διάγραμμα πίεσης - ενθαλπίας ψυκτικού μέσου

- Στο διάγραμμα παρουσιάζονται ισοθερμοκρασιακές καμπύλες σε $^{\circ}\text{C}$, οι οποίες έχουν σχεδόν κατακόρυφη διεύθυνση εκτός της καμπύλης κορεσμού, ενώ εντός αυτής αποκτούν οριζόντια κλίση.
- Τούτο προκύπτει, αν ληφθεί υπόψη ότι, όσο αυξάνει η ειδική ενθαλπία σε καταστάσεις εκτός της καμπύλης κορεσμού, η προσδιδόμενη θερμότητα αντιστοιχεί σε αισθητή θερμότητα, συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας, είτε του υπόψυκτου υγρού είτε του υπέρθερμου ατμού.
- Όμως, όσο αυξάνει η ειδική ενθαλπία καταστάσεων του μέσου εντός της καμπύλης κορεσμού, η προσδιδόμενη θερμότητα αξιοποιείται αποκλειστικά για την αλλαγή της φάσης του μέσου από υγρή σε αέρια, ουσιαστικά δηλαδή πρόκειται για λανθάνουσα θερμότητα.
- Για το λόγο αυτό η αύξηση της ειδικής ενθαλπίας για καταστάσεις εντός της καμπύλης κορεσμού δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία του διφασικού μίγματος.

Βασικός ψυκτικός κύκλος



Βασικός ψυκτικός κύκλος

Οι μεταβολές που απαρτίζουν τον αντίστροφο κύκλο Rankine, και οι οποίες προσεγγίζουν τις διεργασίες του ψυκτικού μέσου στο βασικό ψυκτικό κύκλο, είναι οι εξής:

- 1 – 2: ισεντροπική συμπίεση. Η μεταβολή αυτή παριστάνει τη συμπίεση του μέσου στο συμπιεστή. Το ψυκτικό μέσο σε κατάσταση ξηρού κορεσμένου ατμού (σημείο 1) χαμηλής πίεσης απορροφάται από το συμπιεστή.

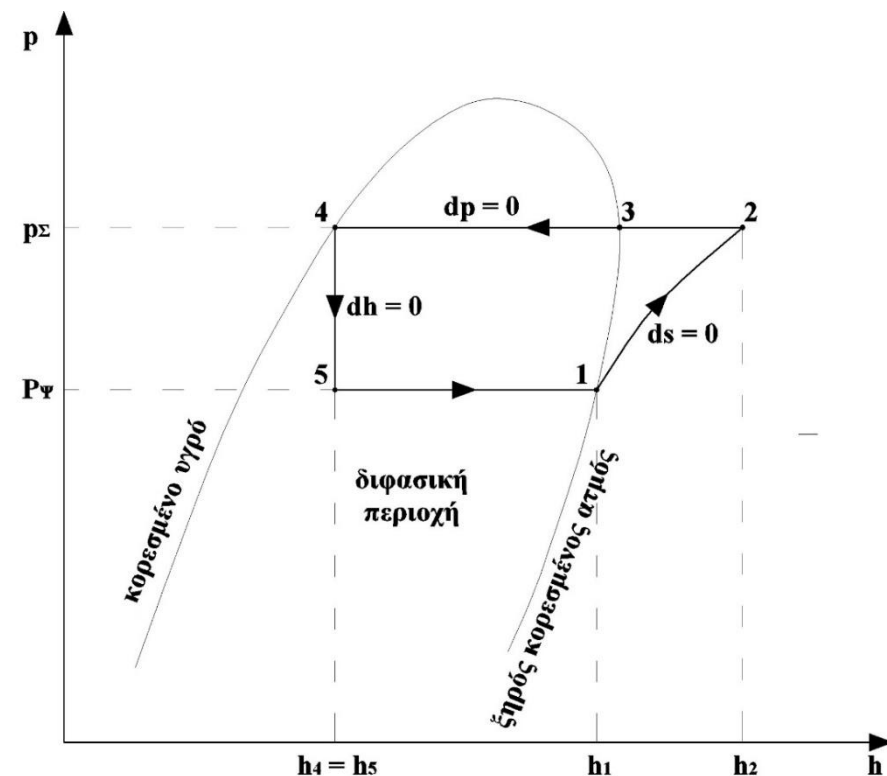
Μετά τη συμπίεσή του ο ατμός εξέρχεται από το συμπιεστή ως υπέρθερμος υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (σημείο 2).

Η μεταβολή της ειδικής εντροπίας είναι μηδέν: $ds = 0$.

Η μηχανική ισχύς, που θεωρητικά απορροφάται από το συμπιεστή, είναι ίση με:

$$\dot{W}_{th} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

όπου \dot{m} η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στην ψυκτική διάταξη και h_1 , h_2 η ειδική ενθαλπία του ψυκτικού μέσου σε kJ/kg στην είσοδο και στην έξοδό του από το συμπιεστή.



Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Μεταβολή 2→3→4: ισοβαρής συμπίκνωση.

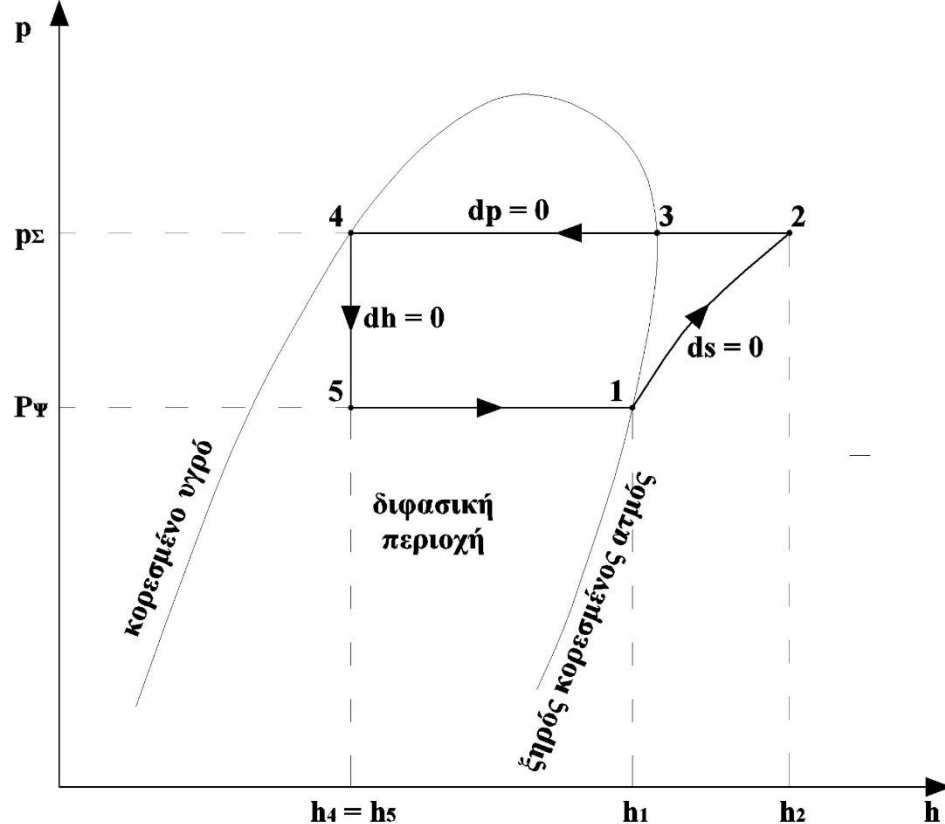
Παριστάνει την ψύξη του ψυκτικού μέσου στο συμπυκνωτή μέχρι την πλήρη υγροποίησή του. Ο ατμός κατάστασης 2 εισάγεται στο συμπυκνωτή. Στο σημείο 3 (σημείο κορεσμού), εντός του συμπυκνωτή, αρχίζει η συμπίκνωση που τελειώνει στο σημείο 4, οπότε όλο το ψυκτικό μέσο έχει μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό.

Η μεταβολή γίνεται με σταθερή πίεση ($dp_s = 0$) συμπίκνωσης (ισοβαρής μεταβολή). Η διεργασία της συμπίκνωσης 3 – 4 είναι καθερμοκρασιακή.

Η αποβαλλόμενη θερμική ισχύς στο περιβάλλον θεωρητικά είναι ίση με:

$$\dot{Q}_s = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4)$$

όπου h_4 η ειδική ενθαλπία στην κατάσταση εξόδου του ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή.

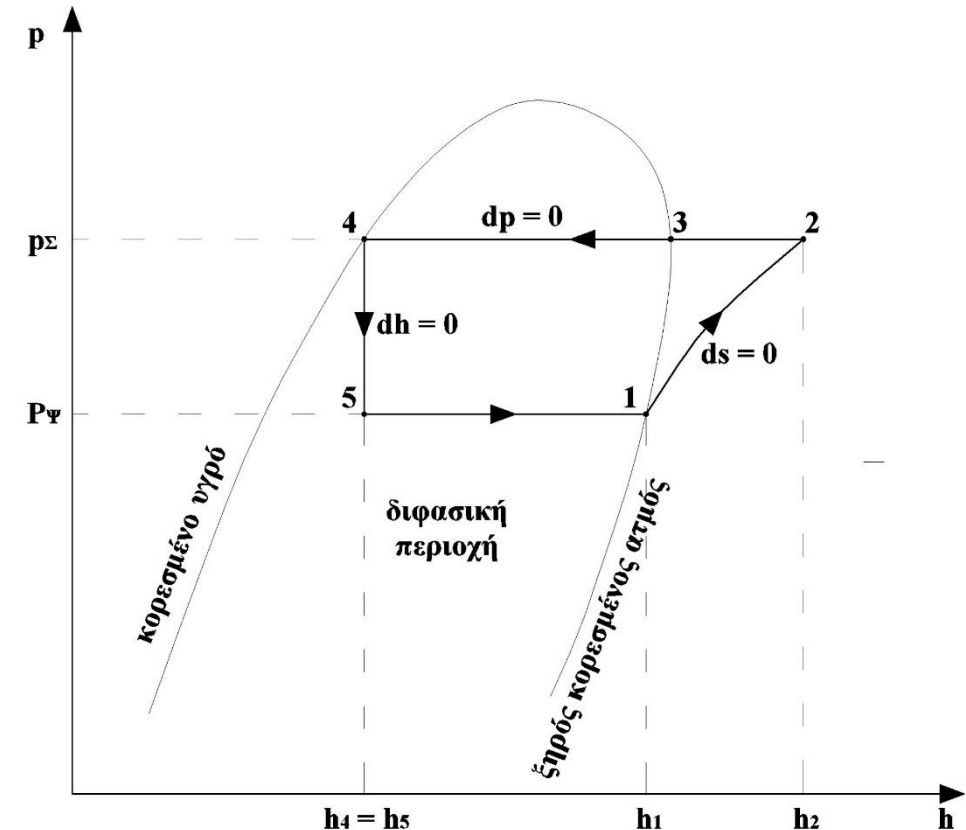


Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Μεταβολή 4→5: ισενθαλπική εκτόνωση.

Παριστάνει τον ισενθαλπικό στραγγαλισμό του ψυκτικού μέσου στην εκτονωτική διάταξη ($dh=0$). Το ψυκτικό υγρό εισάγεται στη διάταξη εκτονώσεως ή στραγγαλισμού στο σημείο 4 και εξάγεται από αυτή, μετά την εκτόνωση (σημείο 5), σε κατάσταση διμερούς φάσης (υπερτερεί η υγρή φάση) και χαμηλής πίεσης.

Η εκτονωτική διαδικασία γίνεται υπό σταθερή ενθαλπία, οπότε στο διάγραμμα $p - h$ παριστάνεται με μία κατακόρυφη ευθεία (μεταβολή 4-5).



Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Μεταβολή 5→1: ισοβαρής ατμοποίηση.

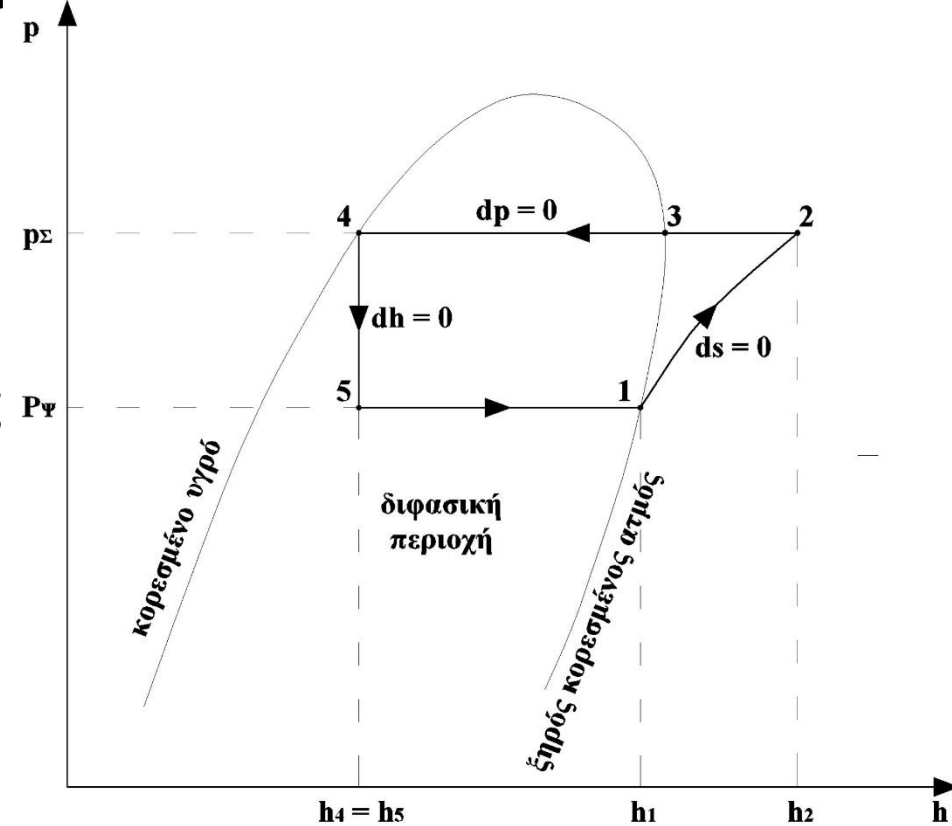
Παριστάνει την πλήρη ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου. Το ψυκτικό μέσο εισάγεται στον ατμοποιητή – εξατμιστή (σημείο 5). Απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον του ατμοποιητή, ατμοποιείται και εξέρχεται από αυτόν σε κατάσταση ιλιγγιώδους κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης (σημείο 1).

Θεωρητικά η μεταβολή γίνεται υπό σταθερή πίεση ($dp_{\psi} = 0$) και υπό σταθερή θερμοκρασία.

Η απορροφούμενη θερμική ισχύς από το περιβάλλον του ατμοποιητή, δηλαδή η ωφέλιμη ψυκτική ισχύς της εγκατάστασης, είναι ίση με:

$$\dot{Q}_{\psi} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5)$$

όπου $h_5 = h_4$ η ειδική ενθαλπία του ψυκτικού μέσου στην είσοδό του στον ατμοποιητή.



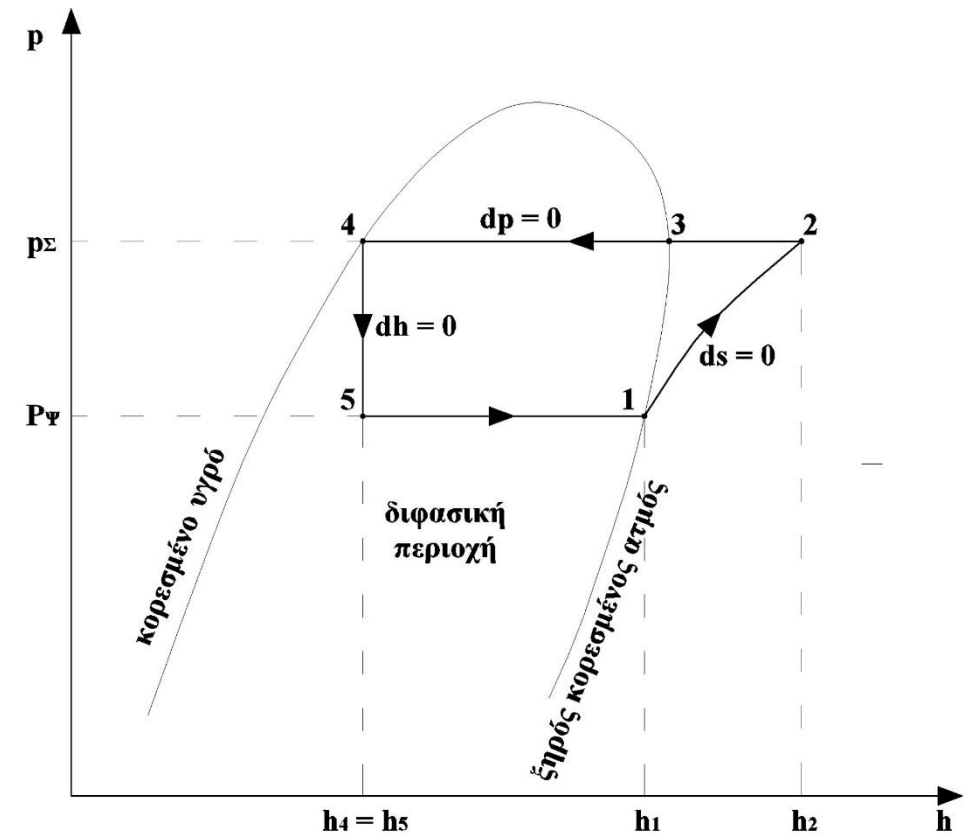
Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Μεταβολή $5 \rightarrow 1$:

Η διαφορά των ενθαλπιών $q = h_1 - h_5 = h_1 - h_4$

ονομάζεται «ψυκτικό αποτέλεσμα» και είναι ίση με την

ψυκτική ισχύ της εγκατάστασης ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου.



Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Στο θεωρητικό κύκλο ψύξης η συμπίεση λαμβάνεται ισεντροπική. Στην πραγματικότητα όμως τούτο δεν ισχύει.
- Η εντροπία του ψυκτικού μέσου μετά τη συμπίεση είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προβλέπεται βάσει της ισεντροπικής συμπίεσης, δηλαδή το σημείο 2 είναι μετατοπισμένο προς τα δεξιά στο διάγραμμα $p - h$.
- Το πόσο θα διαφέρει η πραγματική εντροπία μετά τη συμπίεση από τη θεωρητική έχει να κάνει με το βαθμό απόδοσης του συμπιεστή.
- Πράγματι, η απόδοση του συμπιεστή ορίζεται ως ο λόγος της θεωρητικής αύξησης της εντροπίας μεταξύ των σημείων 1 και 2 προς την πραγματική.

Βασικός ψυκτικός κύκλος

- Με βάση την προηγηθείσα ανάλυση, εκφράστηκαν αναλυτικά όλες οι συναλλασσόμενες ροές ισχύος ως συνάρτηση των ειδικών ενθαλπιών των διαφορετικών καταστάσεων από τις οποίες διέρχεται το ψυκτικό μέσο κατά την εκτέλεση ενός κύκλου ψύξης.
- Συνεπώς είναι δυνατός ο υπολογισμός των ενεργειακών μεγεθών που υπεισέρχονται στο βασικό κύκλο ψύξης μέσω της απεικόνισής του σε διάγραμμα πίεσης – ειδικής ενθαλπίας και της εκτίμησης μέσω του διαγράμματος των ειδικών ενθαλπιών των θερμοδυναμικών καταστάσεων 1, 2 και 4.
$$\dot{W}_{th} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$
$$\dot{Q}_\Sigma = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4)$$
$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5)$$
- Η απεικόνιση του βασικού κύκλου ψύξης θα πρέπει να γίνεται στο διάγραμμα πίεσης – ειδικής ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου το οποίο χρησιμοποιείται στην εκάστοτε ψυκτική διάταξη.

Συντελεστής συμπεριφοράς

- Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς μπορεί πλέον να γραφεί συναρτήσει των ειδικών ενθαλιπών του ψυκτικού μέσου στις καταστάσεις 1, 2 και 4:

$$\text{COP}_{\text{th}} = \frac{\dot{Q}_{\psi\text{th}}}{\dot{W}_{\text{th}}} = \frac{\dot{m} \cdot (h_1 - h_5)}{\dot{m} \cdot (h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$



Συντελεστής συμπεριφοράς

- Αντίστοιχα με το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς ορίζεται και ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς C.O.P. ως το πηλίκο της πραγματικής αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος προς την πραγματική κατανάλωση μηχανικής ισχύος.
- Ο πραγματικός C.O.P. είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με το θεωρητικό C.O.P._{th}.



Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο

Σε ψυκτική διάταξη μηχανικής συμπίεσης ατμού ψυκτικού μέσου R134a δίνονται:

- α. χαμηλή πίεση 1 bar (μανομετρική),
- β. υψηλή πίεση 9,5 bar (μανομετρική),
- γ. ψυκτική ισχύς εγκατάστασης 2 ψυκτικοί τόνοι (RT),
- δ. ατμοσφαιρική πίεση 1 bar,
- ε. το ψυκτικό μέσο πριν τη συμπίεση στο συμπιεστή και πριν την εκτόνωσή του στην εκτονωτική βαλβίδα βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού.

Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο

Να βρεθούν:

- α. η παροχή μάζας του ψυκτικού υγρού που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση,
- β. η θερμική ισχύς που αποβάλλεται στο συμπυκνωτή ($Q_{\Sigma th}$),
- γ. η ισχύς του συμπιεστή σε PS
- δ. ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς (COP_{th}).

Δίνονται:

- α. $1 RT = 3,517 kW = 12.000 Btu/h = 3.024 kcal/h$
- β. $1 kW = 1,3596 PS$ ή $1 PS = 0,736 kW$.

Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο

Οι μανομετρικές πιέσεις λειτουργίας του κύκλου είναι οι σχετικές πιέσεις ως προς την ατμοσφαιρική. Συνεπώς, οι απόλυτες πιέσεις λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου προκύπτουν ως εξής:

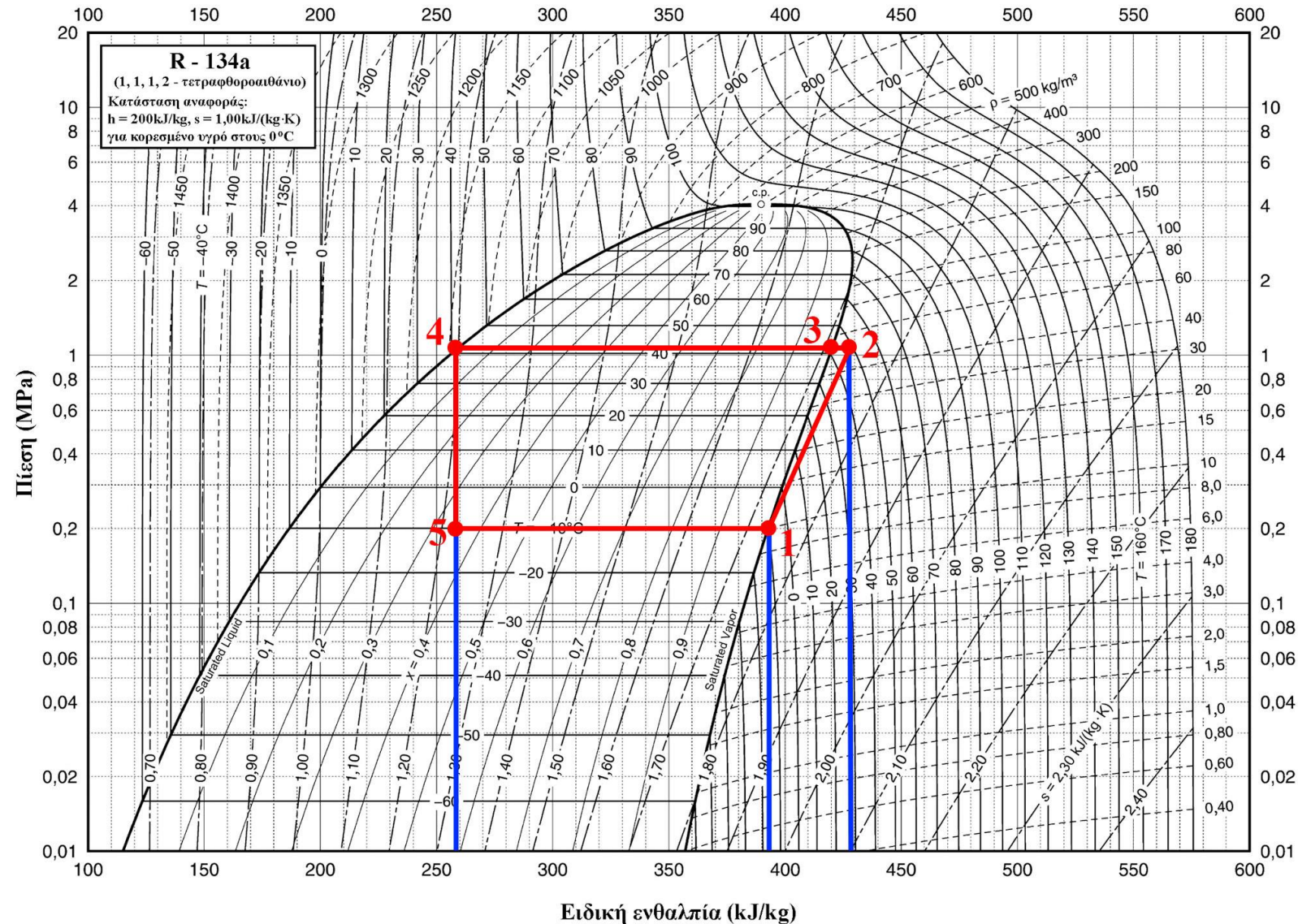
- Πίεση ατμοποίησης: $P_{\psi} = P_{\psi\mu\alpha\nu.} + P_{atm} = 1 + 1 = 2 \text{ bar} = 0,2 \text{ MPa}$.
- Πίεση συμπύκνωσης: $P_{\Sigma} = P_{\Sigma\mu\alpha\nu.} + P_{atm} = 1 + 9,5 = 10,5 \text{ bar} = 1,05 \text{ MPa}$.

Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο

Στη συνέχεια σχεδιάζεται ο κύκλος του ψυκτικού μέσου πάνω στο διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου R-134a λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- τις πιέσεις λειτουργίας
- το ότι η μεταβολή $1 \rightarrow 2$ είναι ισεντροπική
- το ότι τα σημεία 1 και 4 βρίσκονται πάνω στην καμπύλη κορεσμού, αφού δίνεται ότι το ψυκτικό μέσο πριν τη συμπίεση στο συμπιεστή και πριν την εκτόνωσή του στην εκτονωτική βαλβίδα βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού
- το ότι οι μεταβολές $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ και $5 \rightarrow 1$ είναι ισοβαρείς
- το ότι η μεταβολή $4 \rightarrow 5$ είναι ισενθαλπική.

Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο



Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο

Από τον ψυκτικό κύκλο στο διάγραμμα πίεσης – ειδικής ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου R-134a βρίσκουμε:

- $h_1 = 393 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 428 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = h_5 = 258 \text{ kJ/kg}$.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις γνωστές σχέσεις, υπολογίζουμε:

α. Παροχή μάζας ψυκτικού μέσου:

$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5) \Leftrightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_\psi}{h_1 - h_5} \Rightarrow \dot{m} = \frac{2 \text{ RT} \cdot 3,517 \text{ kW/RT}}{(393 - 258) \text{ kJ/kg}} \Leftrightarrow \dot{m} = 0,0521 \text{ kg/s}$$

Παράδειγμα υπολογισμού στο βασικό ψυκτικό κύκλο

β. Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς στο συμπυκνωτή:

$$\dot{Q}_\Sigma = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4) \Rightarrow \dot{Q}_\Sigma = 0,0521 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (428 - 258) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{Q}_\Sigma = 8,857 \text{ kW}$$

γ. Μηχανική ισχύς στο συμπιεστή:

$$\dot{W}_{\text{th}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow \dot{W}_{\text{th}} = 0,0521 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (428 - 393) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{W}_{\text{th}} = 1,823 \text{ kW} = 2,478 \text{ PS}$$

δ. Θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς:

$$\text{COP}_{\text{th}} = \frac{\dot{Q}_{\psi\text{th}}}{\dot{W}_{\text{th}}} = \frac{7,034 \text{ kW}}{1,823 \text{ kW}} = 3,86$$



Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και
υπερθέρμανση

Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και υπερθέρμανση

- Στο βασικό ψυκτικό κύκλο θεωρείται ότι το σημείο 1 βρίσκεται στην καμπύλη ξηρού κορεσμένου ατμού και το σημείο 4 βρίσκεται στην καμπύλη υγρού κορεσμένου ατμού.
- Συνήθως στην πράξη, το υγρό συμπύκνωμα μετά την έξοδό του από το συμπυκνωτή ψύχεται ακόμα, πριν φθάσει στην εκτονωτική βαλβίδα.
- Η ψύξη αυτή έχει συνέπεια τη μετατροπή του ψυκτικού υγρού σε από την κατάσταση κορεσμένου υγρού στην κατάσταση του υπόψυκτου υγρού.
- Η ψύξη αυτή χαρακτηρίζεται ως υπόψυξη και έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά του σημείου 4' από την καμπύλη κορεσμού στη θέση 4, εντός της υγρής φάσης.

Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και υπερθέρμανση

- Επίσης, εκτός της υπόψυξης, ο ατμός του ψυκτικού μέσου κατά την έξοδό του από τον ατμοποιητή, συνήθως θερμαίνεται επιπλέον στους συνδετικούς αγωγούς μεταξύ ατμοποιητή και το συμπιεστή.
- Συνεπώς, ο ατμός στην είσοδό του στο συμπιεστή δεν βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού αλλά σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού.
- Η θέρμανση αυτή χαρακτηρίζεται ως υπερθέρμανση και έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά του σημείου 1' από την καμπύλη κορεσμού στη θέση 1, εντός της φάσης υπέρθερμου ατμού.
- Ωστόσο, προκειμένου η επιπρόσθετη απορρόφηση ψυκτικής ισχύος να προσμετρηθεί ως ωφέλιμη, θα πρέπει η υπερθέρμανση να εκτελείται εντός του ατμοποιητή και όχι, για παράδειγμα, στις συνδετήριες σωληνώσεις μεταξύ ατμοποιητή και συμπιεστή, ώστε η επιπρόσθετη ψυκτική ισχύς να απορροφάται από τον ψυχόμενο χώρο και όχι από χώρους για τους οποίους δεν ενδιαφέρει η ψύξη τους.

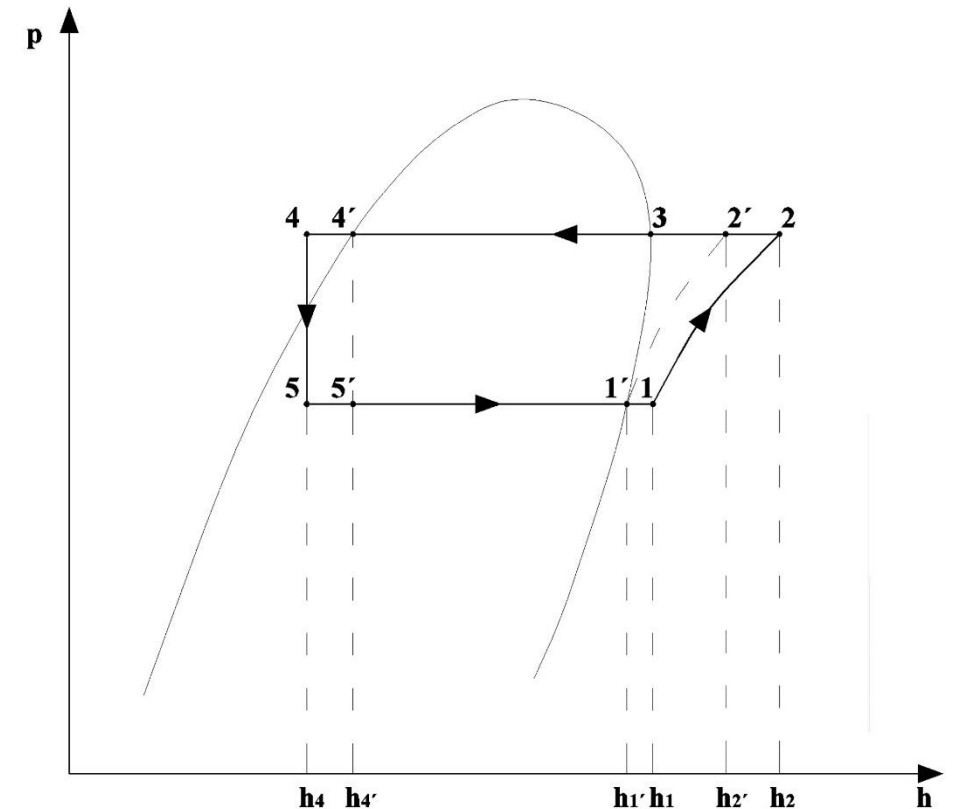
Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και υπερθέρμανση

- Είναι φανερό ότι με την υπόψυξη και την υπερθέρμανση αυξάνει η θεωρητική ψυκτική ισχύς της ψυκτικής διάταξης αφού πλέον είναι:

$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5) > \dot{m} \cdot (h_{1'} - h_{5'})$$

- Αν η υπερθέρμανση λαμβάνει χώρα εκτός του ατμοποιητή, δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της ψυκτικής ισχύος, η οποία θα ισούται με:

$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_{1'} - h_5)$$



Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και υπερθέρμανση

Γενικές παρατηρήσεις για την υπόψυξη και υπερθέρμανση:

- Είναι προφανές ότι η υπόψυξη είναι πολύ σημαντική για την απόδοση της ψυκτικής διάταξης, γιατί οδηγεί σε αύξηση της αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος, χωρίς την επιπρόσθετη κατανάλωση έργου.
- Η υπόψυξη επιτυγχάνεται με την αύξηση της αποβαλλόμενης θερμικής ισχύος στο συμπυκνωτή, κάτι που γίνεται με αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας του συμπυκνωτή, εφόσον το περιβάλλον αποβολής της θερμότητας είναι δεδομένο, ή με τη χρήση διαφορετικού μέσου απόρριψης θερμότητας χαμηλότερης θερμοκρασίας, π.χ. γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας.
- Η υπερθέρμανση επιδιώκεται, ανεξάρτητα από το αν οδηγεί σε αύξηση της ωφέλιμης ψυκτικής ισχύος, για λόγους ασφαλείας του συμπιεστή, διότι λόγω της υπέρθερμης κατάστασης του ατμού κατά την είσοδό του στο συμπιεστή, αποφεύγεται η εμφάνιση υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή, που ως ασυμπίεστο, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές καταστροφικές πιέσεις για την εγκατάσταση.

Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και υπερθέρμανση

Γενικές παρατηρήσεις για την υπόψυξη και υπερθέρμανση:

- Για να δημιουργηθούν η υπερθέρμανση και η υπόψυξη του ψυκτικού μέσου ένας απλός τρόπος είναι να τεθούν σε επαφή ο σωλήνας εισόδου του ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή (ψυχρό αέριο) με το σωλήνα εισόδου του ψυκτικού μέσου στην εκτονωτική βαλβίδα (θερμό υγρό).
- Λόγω της επαφής των σωλήνων δημιουργείται θερμική συναλλαγή με συνέπεια η ψυχρή φάση (ατμός) να θερμαίνεται (υπερθέρμανση) και η θερμή φάση (υγρό) να ψύχεται (υπόψυξη).
- Σε εγκαταστάσεις με ιδιαίτερες απαιτήσεις υπάρχει για το σκοπό αυτό εναλλάκτης θερμότητας από τον οποίο περνούν σε αντιρροή η ψυχρή και η θερμή φάση του ψυκτικού μέσου.



Παράδειγμα ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη και υπερθέρμανση

Σε ψυκτική διάταξη συμπίεσης ατμού μέσου R-134a δίνονται:

- α. θερμοκρασία και πίεση στην είσοδο του συμπιεστή $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $1,70\text{ bar}$ (απόλυτη),
- β. ξηρότητα ατμού μετά την εκτόνωση 20% ,
- γ. υψηλή πίεση $13,6\text{ bar}$ (απόλυτη),
- δ. ψυκτική ισχύς 3 ψυκτικοί τόνοι.

Να βρεθούν:

- α. αν ο κύκλος έχει υπερθέρμανση και υπόψυξη,
- β. η παροχή μάζας του ψυκτικού υγρού (σε kg/h),
- γ. η ισχύς του συμπιεστή (σε PS),
- δ. ο συντελεστής συμπεριφοράς COP_{th} ,
- ε. η ογκομετρική παροχή στην έξοδο του συμπιεστή σε m^3/h .



Παράδειγμα ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη και υπερθέρμανση

Αν υπάρχει υπερθέρμανση, να θεωρηθεί ότι αυτή υφίσταται εντός του ατμοποιητή.

Δίνονται:

α. $1 \text{ RT} = 3,517 \text{ kW} = 12.000 \text{ Btu/h} = 3.024 \text{ kcal/h}$

β. $1 \text{ kW} = 1,3596 \text{ PS}$ ή $1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW}$.

Παράδειγμα ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη και υπερθέρμανση

Με βάση τα δεδομένα της άσκησης σχεδιάζουμε τον ψυκτικό κύκλο στο διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας του R134-a. Συγκεκριμένα:

- Το σημείο εισόδου του ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή προκύπτει, καθώς δίνονται για αυτό δύο μεγέθη, η θερμοκρασία και η πίεσή του (σημείο 1).
- Δίνεται η ξηρότητα του ατμού μετά την εκτόνωση 20%. Τούτο συνεπάγεται ότι η περιεκτικότητα του διφασικού μίγματος μετά την εκτόνωση (σημείο 5) ισούται με 20%. Το σημείο 5 εντοπίζεται από την τομή της καμπύλης περιεκτικότητας ατμού κατά μάζα 20% και της ισοβαρούς που διέρχεται από το σημείο 1.
- Το σημείο 4 προκύπτει από την τομή της ισοβαρούς της πίεσης συμπύκνωσης (13,6 bar – 1,36 MPa) και της κατακόρυφης ευθείας που διέρχεται από το σημείο 5.
- Τέλος το σημείο 2 προκύπτει από την τομή της ισοβαρούς που διέρχεται από το σημείο 4 (1,361 MPa) και της ισεντροπικής καμπύλης που διέρχεται από το σημείο 1.

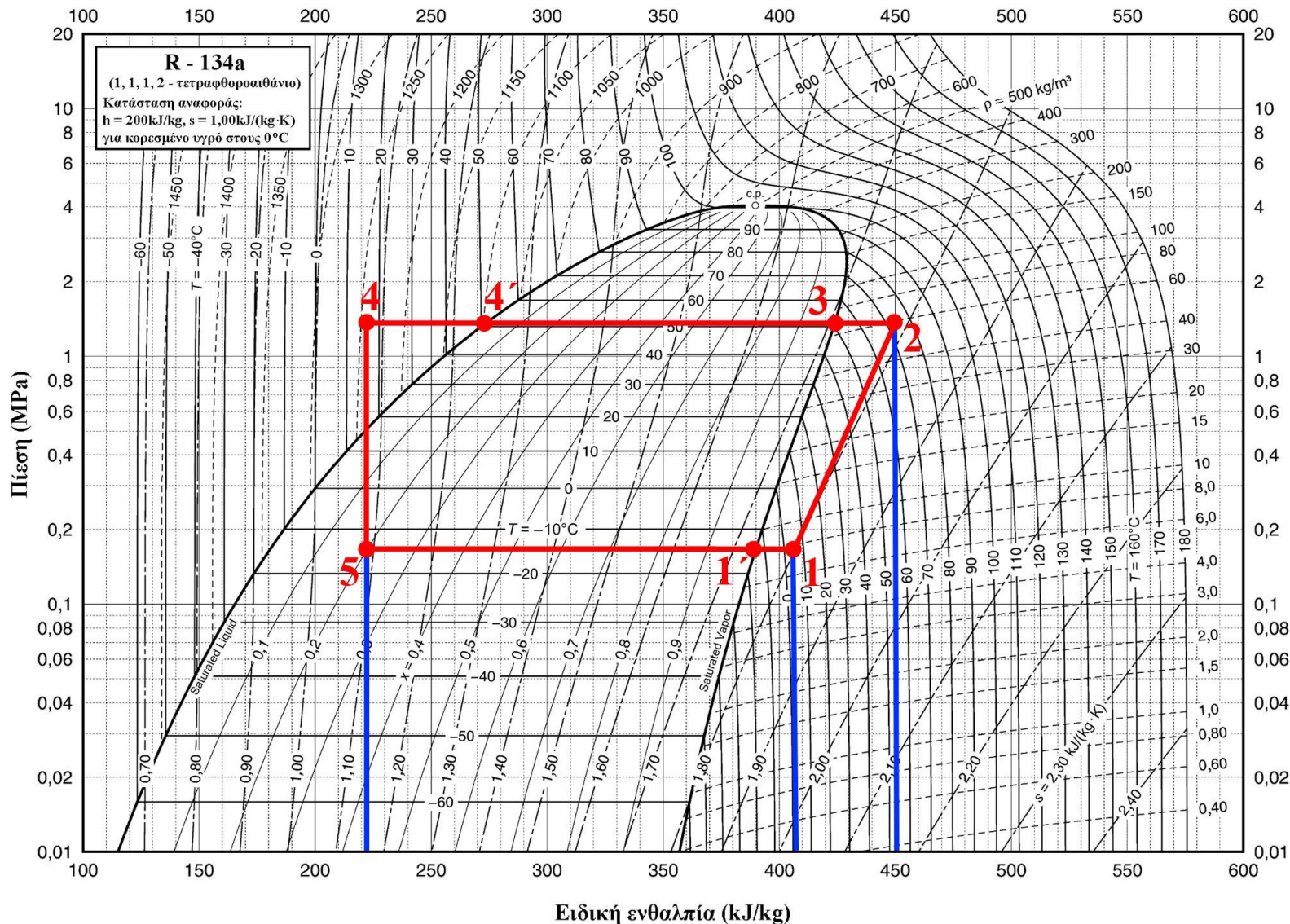
Παράδειγμα ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη και υπερθέρμανση

Από το διάγραμμα διαβάζουμε:

- $h_1 = 406 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 450 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = h_5 = 222 \text{ kJ/kg}$

α. Υπόψυξη ή υπερθέρμανση:

Είναι προφανές, με βάση τον ψυκτικό κύκλο, ότι υπάρχει υπερθέρμανση και υπόψυξη του ψυκτικού μέσου.



Παράδειγμα ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη και υπερθέρμανση

β. Παροχή μάζας ψυκτικού μέσου:

$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5) \Leftrightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_\psi}{h_1 - h_5} \Rightarrow \dot{m} = \frac{3 \text{ RT} \cdot 3,517 \text{ kW/RT}}{(406 - 222) \text{ kJ/kg}} \Leftrightarrow \dot{m} = 0,0573 \text{ kg/s} = 206,4 \text{ kg/h}$$

γ. Μηχανική ισχύς στο συμπιεστή:

$$\dot{W}_{th} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow \dot{W}_{th} = 0,0573 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (450 - 406) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{W}_{th} = 2,521 \text{ kW} = 3,43 \text{ PS}$$

δ. Θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς:

$$\text{COP}_{th} = \frac{\dot{Q}_{\psi th}}{\dot{W}_{th}} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} = \frac{406 - 222}{450 - 406} = 4,18$$

Παράδειγμα ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη και υπερθέρμανση

ε. Ογκομετρική παροχή στην έξοδο του συμπιεστή:

Στην έξοδο του συμπιεστή (σημείο 2) η πυκνότητα του ψυκτικού μέσου διαβάζεται από το διάγραμμα 60 kg/m^3 . Συνεπώς, η ογκομετρική παροχή θα ισούται με:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \Rightarrow \dot{V} = \frac{0,0573 \text{ kg/s}}{60 \text{ kg/m}^3} \Leftrightarrow \dot{V} = 0,955 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3,438 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

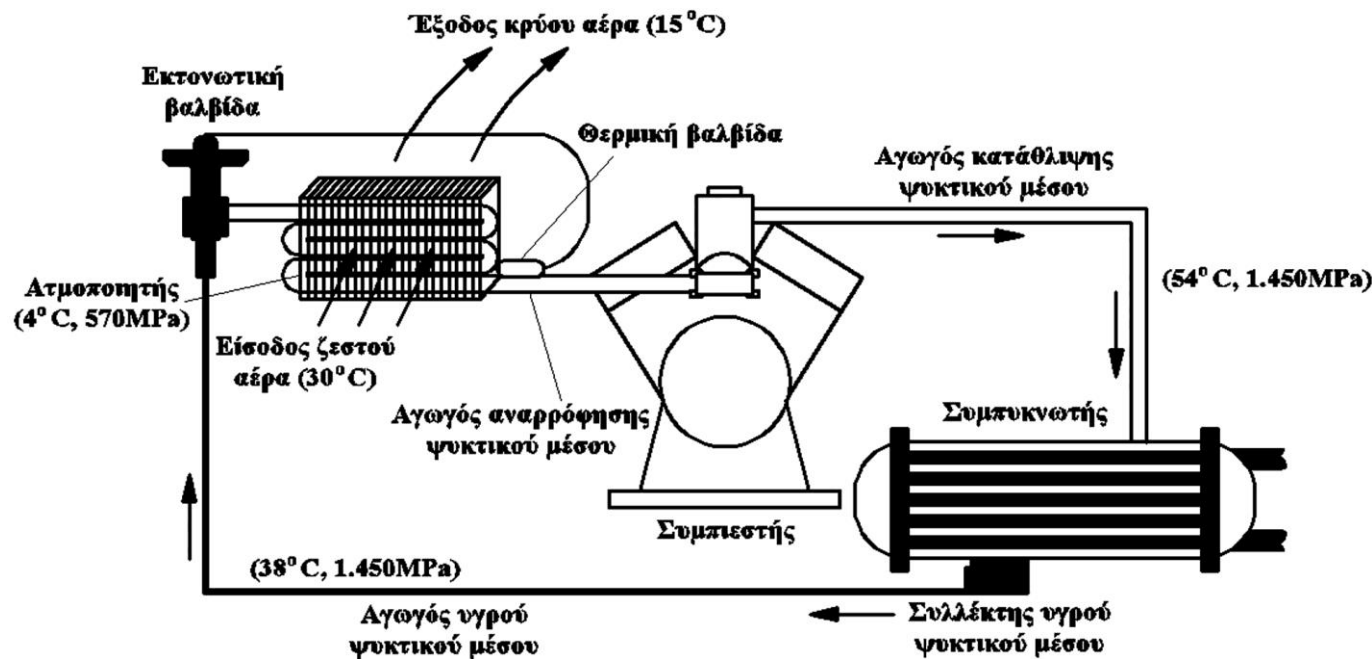


Πραγματικός κύκλος ψύξης

Πραγματικός κύκλος ψύξης

Σε κάθε τμήμα – συσκευή μιας πραγματικής ψυκτικής διάταξης, παρουσιάζονται μη αναστρέψιμες θερμοδυναμικές μεταβολές, όπως παρακάτω:

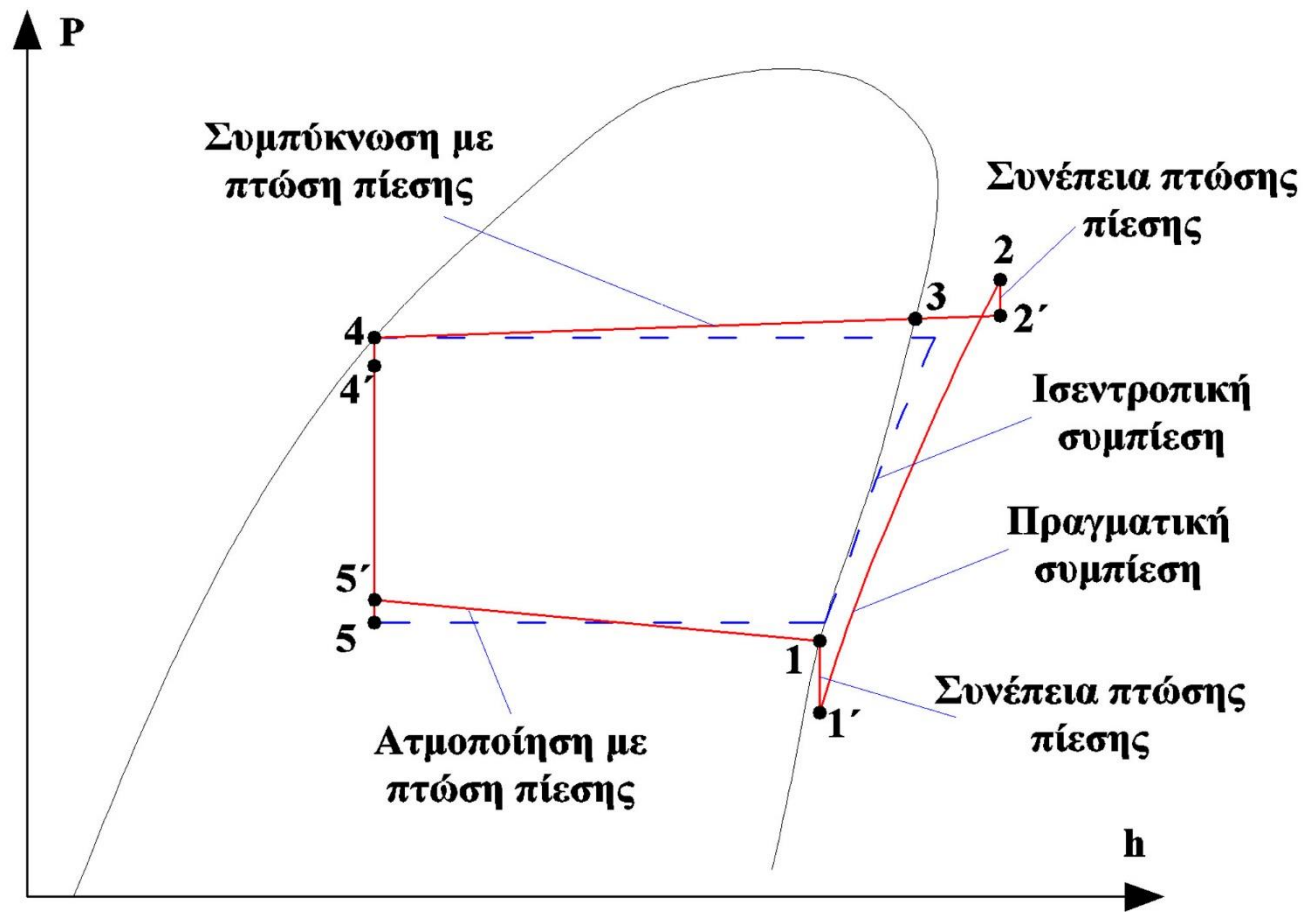
- στο συμπιεστή: απώλειες τριβής λόγω συνεκτικότητας, πτώσεις πίεσης στις βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης του ψυκτικού μέσου, απώλειες προς ή κέρδη θερμότητας από το περιβάλλον, μηχανικές απώλειες τριβής στον άξονα και στα λοιπά μηχανικά μέρη,
- στο συμπυκνωτή: απώλειες τριβής λόγω συνεκτικότητας, οπότε η συμπύκνωση στην πραγματικότητα είναι μη ισοβαρής,
- στον ατμοποιητή: απώλειες τριβής λόγω συνεκτικότητας, οπότε η ατμοποίηση στην πραγματικότητα είναι μη ισοβαρής,
- στην εκτονωτική διάταξη: πιθανή απόκλιση από ισενθαλπική μεταβολή.



Πραγματικός κύκλος ψύξης

- Οι ανωτέρω απώλειες αλλοιώνουν τον ιδεατό θερμοδυναμικό βασικό κύκλο ψύξης, οδηγώντας στον πραγματικό θερμοδυναμικό κύκλο ψύξης.
- Όλες οι ανωτέρω μη αναστρέψιμες θερμοδυναμικές διεργασίες, εκτός από μία, προκαλούν πτώση της απόδοσης της ψυκτικής διάταξης.
- Τη μόνη εξαίρεση αποτελεί η πιθανή ψύξη του ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή από το ψυχρότερο περιβάλλον (μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου εντός του συμπιεστή οδηγεί σε μείωση του ειδικού όγκου, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη μηχανική ισχύς για τη συμπίεσή του να μειώνεται και αυτή. Για το λόγο αυτό συχνά οι συμπιεστές συνοδεύονται από ανεμιστήρες ψύξης.
- Επίσης οποιεσδήποτε απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, που συμβαίνουν στην πλευρά της υψηλής πίεσης, βελτιώνουν την αποδοτικότητα της ψυκτικής διάταξης.

Πραγματικός κύκλος ψύξης



Πτώσεις πίεσης

- 1-1': Σωλήνωση και βαλβίδες αναρρόφησης συμπιεστή
- 2-2': Βαλβίδες εκτόνωσης συμπιεστή
- 2'-4: Συμπυκνωτής
- 4-4': Σωληνώσεις μεταφοράς υγρού ψυκτικού
- 5'-1: Ατμοποιητής

Πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς

- Σε ένα πραγματικό κύκλο έχει καθιερωθεί ο ορισμός του συντελεστή συμπεριφοράς, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο την κατανάλωση ισχύος στο συμπιεστή, αλλά και κάθε άλλη κατανάλωση ισχύος στους ανεμιστήρες του συμπυκνωτή, σε μηχανικές απώλειες κλπ.
- Ορίζεται λοιπόν έτσι ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς, σε αντιδιαστολή με το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς, που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες, ως εξής:

$$\text{COP}_{\text{real}} = \frac{\dot{Q}_{\psi\text{th}}}{\dot{W}_C + \dot{W}_F + \dot{W}_{ML}}$$

όπου \dot{W}_C , \dot{W}_F και \dot{W}_{ML} είναι αντίστοιχα η κατανάλωση ισχύος στο συμπιεστή, στους ανεμιστήρες και λοιπές ηλεκτρικές καταναλώσεις και στις κάθε είδους μηχανικές απώλειες του ψυκτικού συγκροτήματος.

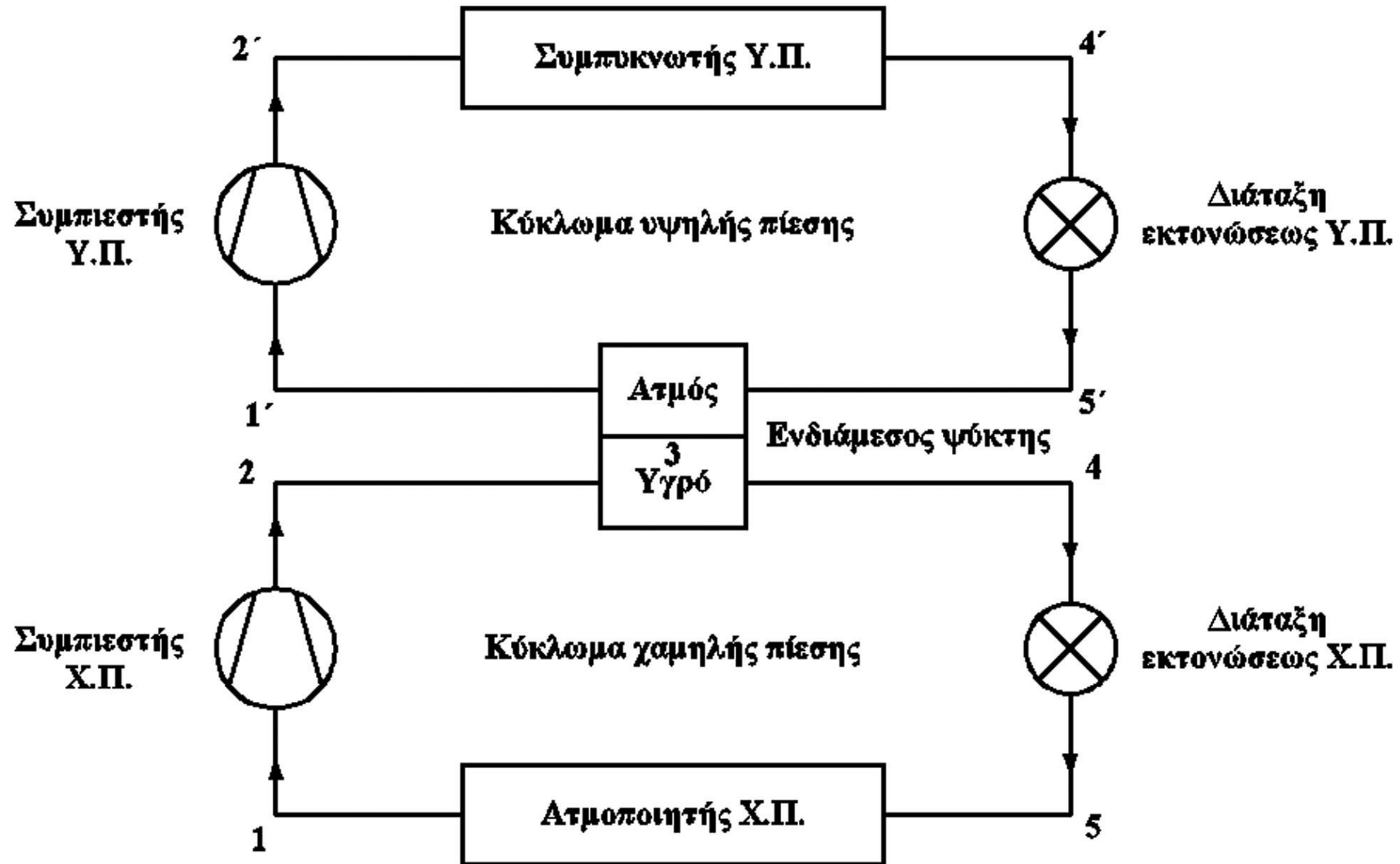


Πολυβάθμια συμπίεση

Πολυβάθμια συμπίεση

- Σε περιπτώσεις στις οποίες απαιτούνται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ο λόγος συμπίεσης, δηλαδή ο λόγος υψηλή πίεση / χαμηλή πίεση του ψυκτικού μέσου μετά και πριν το συμπιεστή, θα πρέπει να είναι της τάξης του 8 ή 9.
- Τέτοιοι λόγοι συμπίεσης δεν είναι εύκολο να επιτευχθούν με μονοβάθμιους συμπιεστές, καθώς συνεπάγονται σημαντική μείωση της απόδοσής τους και μηχανικές καταπονήσεις στα κινούμενα μέρη τους.
- Στις περιπτώσεις αυτές το πρόβλημα επιλύεται, εισάγοντας διβάθμια ψυκτική διάταξη.
- Για πολύ μεγαλύτερες τιμές του λόγου συμπίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πολυβάθμια ψυκτική διάταξη.
- Η διβάθμια ψυκτική διάταξη μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο ψυκτικές διατάξεις, μία χαμηλής και μία υψηλής πίεσης, συνδεδεμένες με ενδιάμεσο ψύκτη.
- Ο ενδιάμεσος ψύκτης είναι εναλλάκτης θερμότητας και αποτελεί για τη διάταξη υψηλής πίεσης (Υ.Π.) το στοιχείο ατμοποίησης και για τη διάταξη χαμηλής πίεσης (Χ.Π.) το στοιχείο συμπύκνωσης.

Διάταξη πολυβάθμιας συμπίεσης

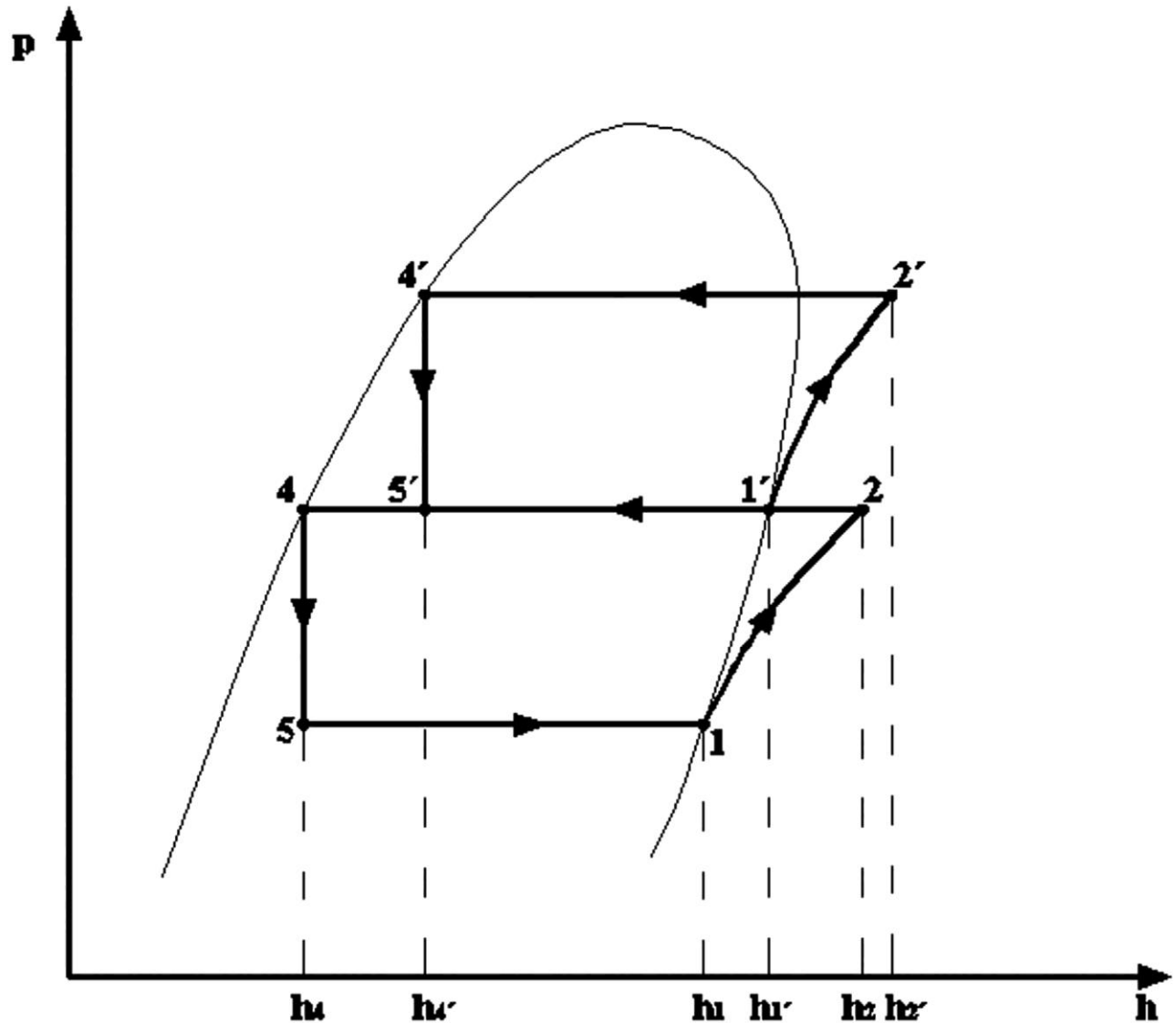


Θερμοδυναμικός κύκλος πολυβάθμιας συμπίεσης

- Στη διβάθμια συμπίεση η ωφέλιμη ψυκτική ισχύς δεν αλλάζει, δηλαδή συνεχίζει να καθορίζεται από τις ειδικές ενθαλπίες των σημείων 1 και 4 (ή 5), που αφορούν στην είσοδο στο συμπιεστή και στην είσοδο στον ατμοποιητή του κυκλώματος χαμηλής πίεσης.

- Η ωφέλιμη ψυκτική ισχύς θα δίνεται και πάλι από τη σχέση:

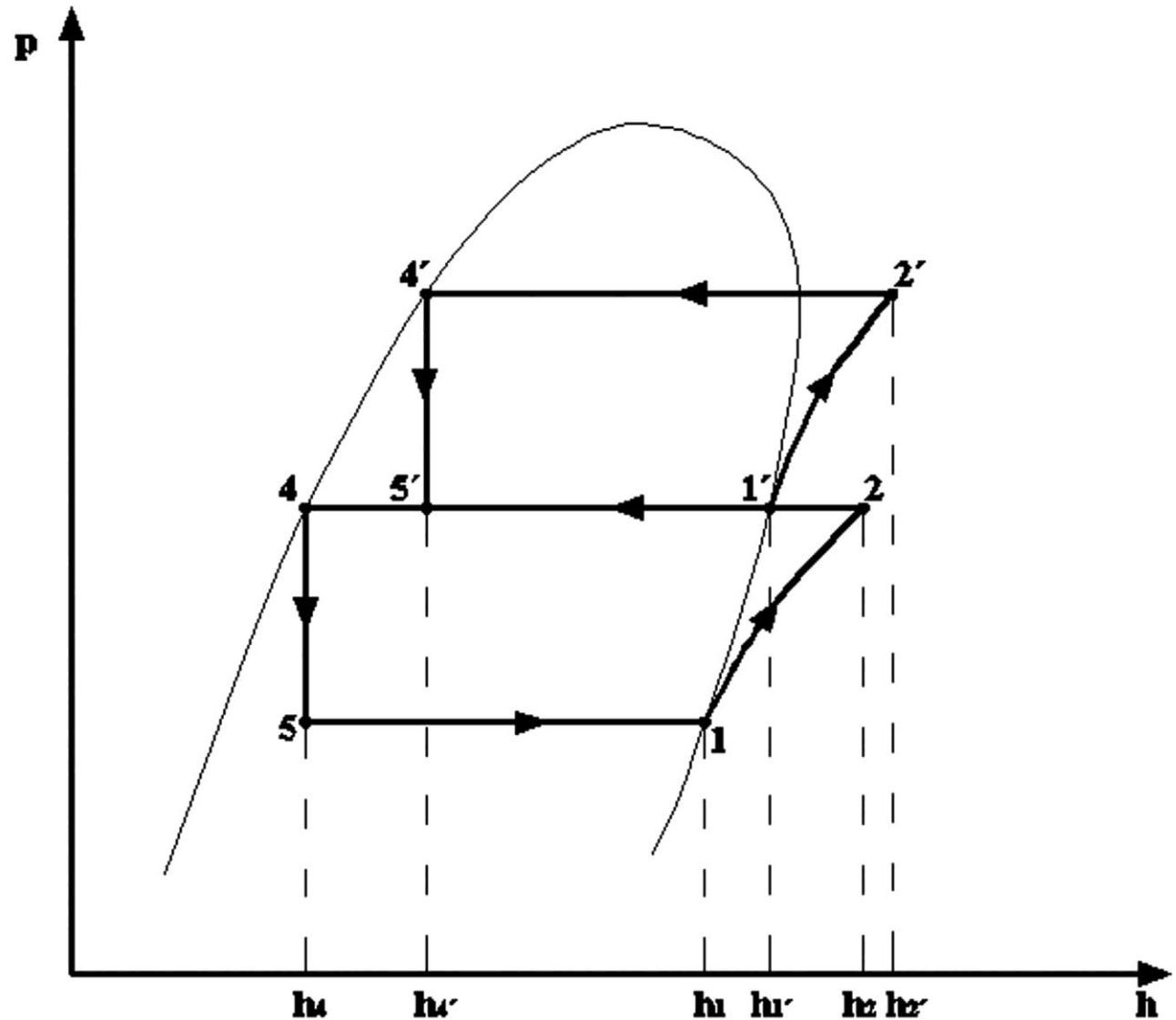
$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5)$$



Θερμοδυναμικός κύκλος πολυβάθμιας συμπίεσης

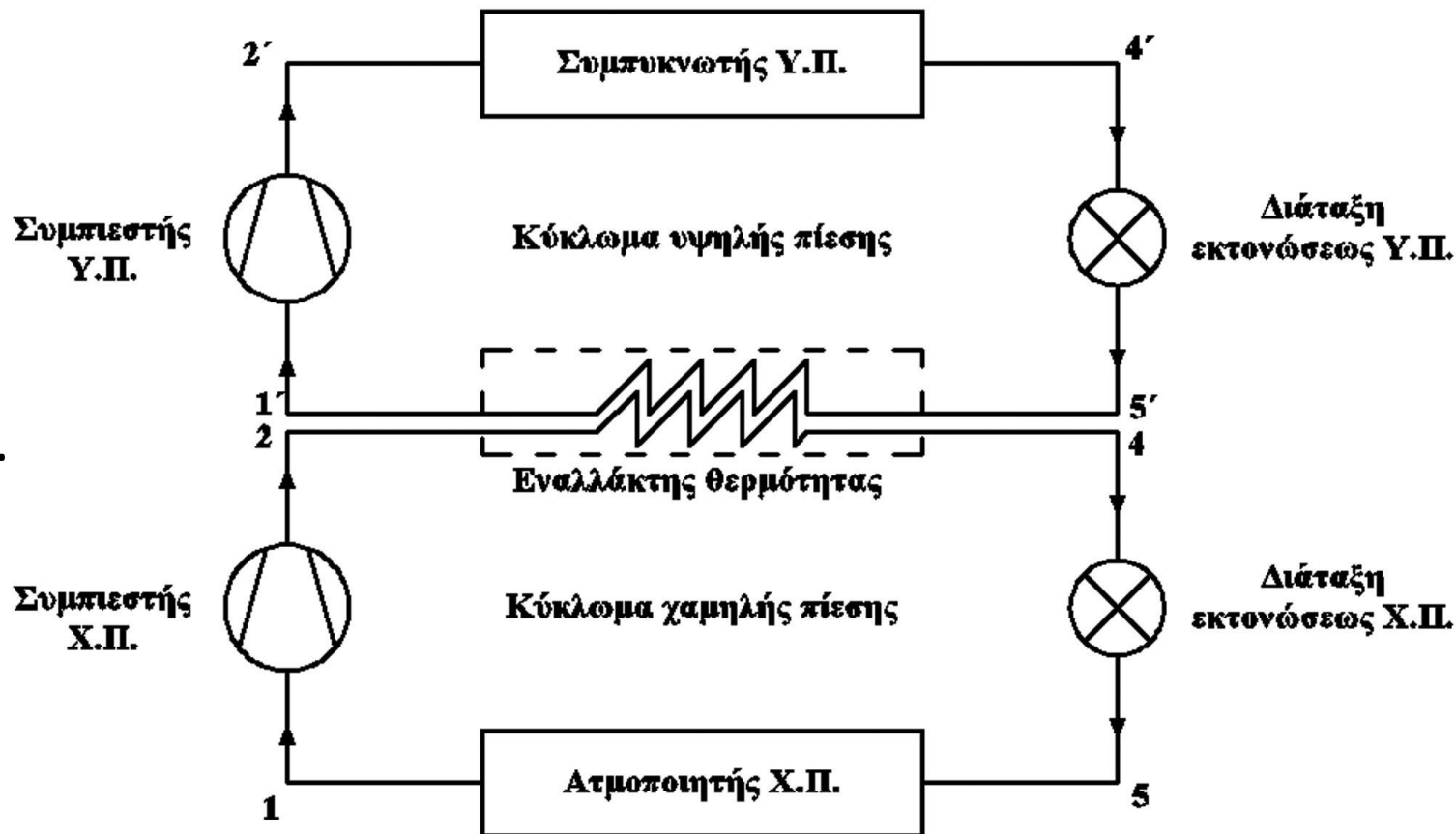
- Αν είναι γνωστή η θερμοκρασία ατμοποίησης (άρα και η αντίστοιχη πίεση p_E) στο κύκλωμα Χ.Π. και η θερμοκρασία συμπύκνωσης (άρα και η αντίστοιχη πίεση p_Σ) στο κύκλωμα Υ.Π., τότε η ενδιάμεση πίεση p_M που θα επικρατεί στον ενδιάμεσο ψύκτη ανάμειξης επιλέγεται συνήθως, ώστε να ισχύει περίπου η σχέση:

$$p_M = \sqrt{p_E \cdot p_\Sigma}$$



Πολυβάθμια συμπίεση με ανεξάρτητες διατάξεις

- Είναι δυνατή η κατασκευή διβάθμιας ψυκτικής διάταξης που αποτελείται από δύο τελείως ανεξάρτητες μονοβάθμιες διατάξεις, οι οποίες συνδέονται με εναλλάκτη θερμότητας.
- Ο κοινός εναλλάκτης θερμότητας αποτελεί για τη διάταξη Υ.Π. το στοιχείο ατμοποίησης και για τη διάταξη Χ.Π. το στοιχείο συμπύκνωσης.
- Στις διβάθμιες διατάξεις αυτού του είδους μπορεί να χρησιμοποιηθούν και διαφορετικά ψυκτικά μέσα, π.χ. R-22 για τη βαθμίδα υψηλής και R-404A για τη βαθμίδα χαμηλής.

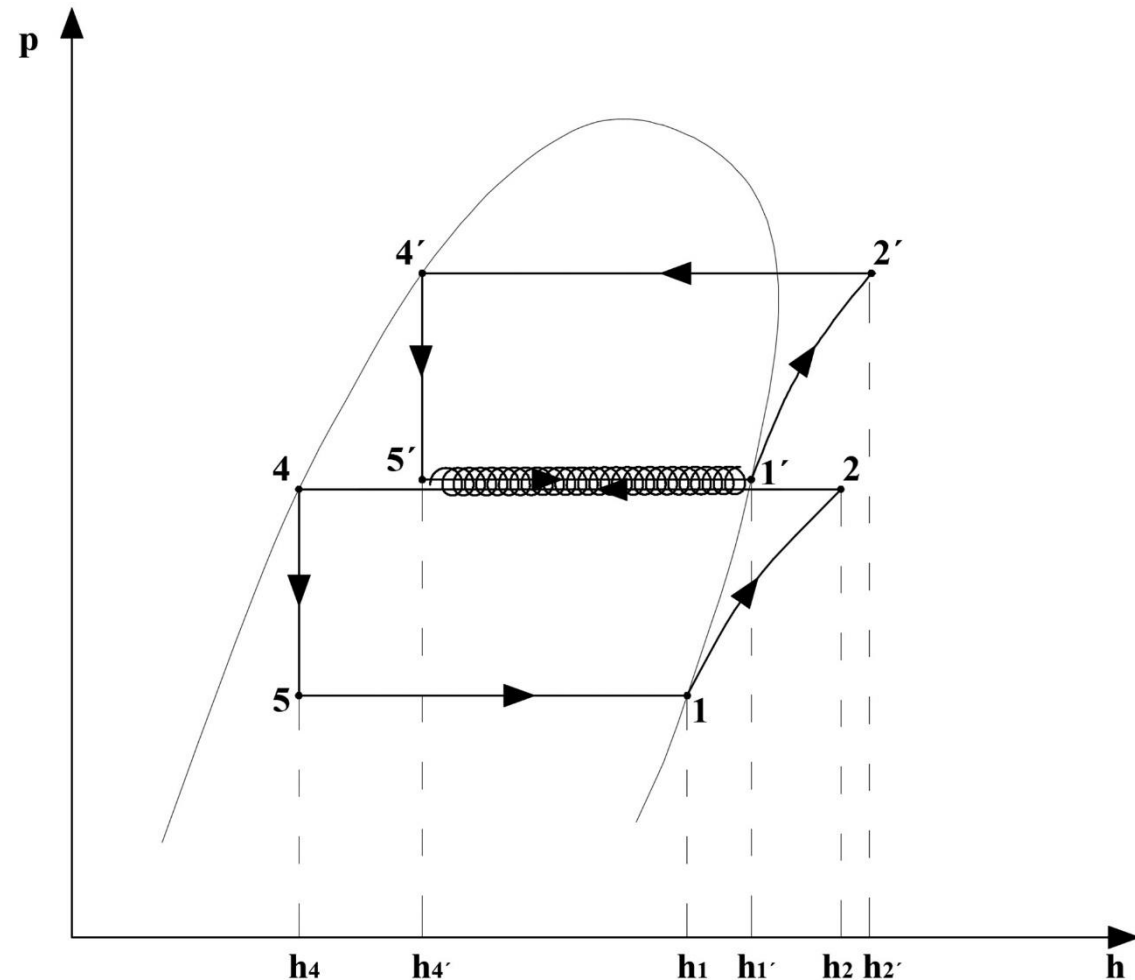


Διάταξη πολυβάθμιας συμπίεσης

- Στην περίπτωση διβάθμιας συμπίεσης με δύο ανεξάρτητα κυκλώματα, αν \dot{m}_{LP} είναι η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα χαμηλής πίεσης και \dot{m}_{HP} είναι η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα υψηλής πίεσης, τότε η συνολική κατανάλωση μηχανικής ισχύος και στους δύο συμπιεστές θα ισούται με:

$$\dot{W}_{th} = \dot{m}_{LP} \cdot (h_2 - h_1) + \dot{m}_{HP} \cdot (h_{2'} - h_{1'})$$

- Και στην περίπτωση αυτή, η ωφέλιμη ψυκτική ισχύς θα προκύψει αποκλειστικά από τον ατμοποιητή στο κύκλωμα χαμηλής πίεσης.





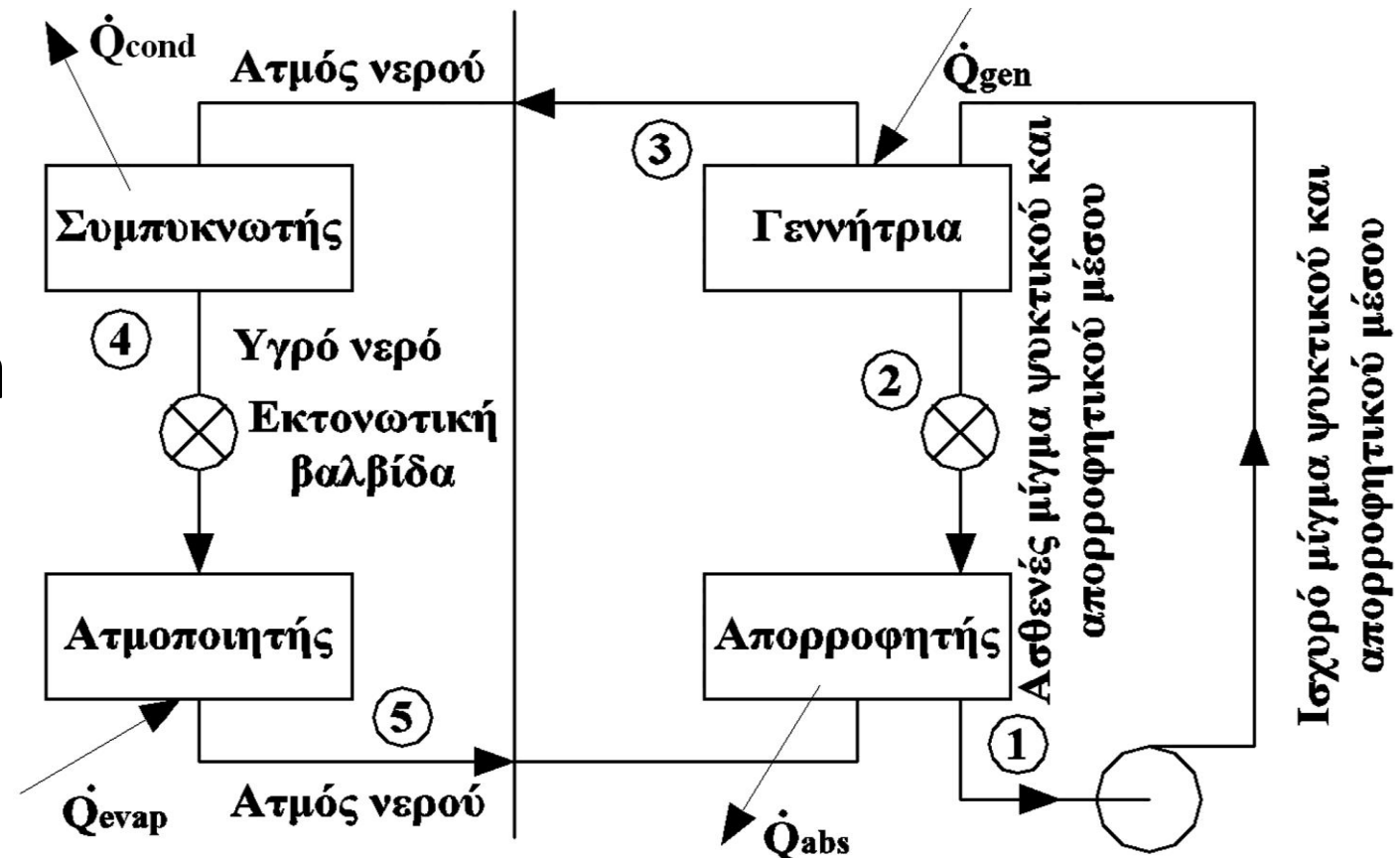
Κύκλος ψύξης με απορρόφηση

Ψύξη με απορρόφηση

- Οι ψύκτες απορρόφησης ακολουθούν τις βασικές διεργασίες της συμπύκνωσης – εξατμίσου του βασικού ψυκτικού κύκλου για την παραγωγή ψύξης.
- Όπως μία συμβατική συσκευή παραγωγή ψύξης, διαθέτουν εξατμιστή και συμπυκνωτή, όπου εκτονώνεται το ψυκτικό μέσο.
- Ωστόσο, αντί του μηχανικού έργου, οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμότητα ως ενεργειακή πηγή.
- Η θερμότητα αυτή παράγεται είτε άμεσα με καύση καυσίμου σε κάποιο καυστήρα είτε έμμεσα, με χρήση ατμού, ζεστού νερού ή από περίσσεια / ανάκτηση θερμότητας.
- Οι εφαρμογές ψύξης με απορρόφηση απαιτούν παροχή θερμότητας σε θερμοκρασίες από 100 – 200°C.
- Ιδιαίτερα δημοφιλής είναι την τελευταία δεκαετία η παραγωγή της θερμότητας που απαιτείται για τη λειτουργία ψύκτη απορρόφησης από ηλιακούς συλλέκτες. Στην περίπτωση αυτή έχει καθιερωθεί η ονομασία της συνολικής διαδικασίας παραγωγής ψύξης με αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των ηλιακών συλλεκτών ως «ηλιακός κλιματισμός».

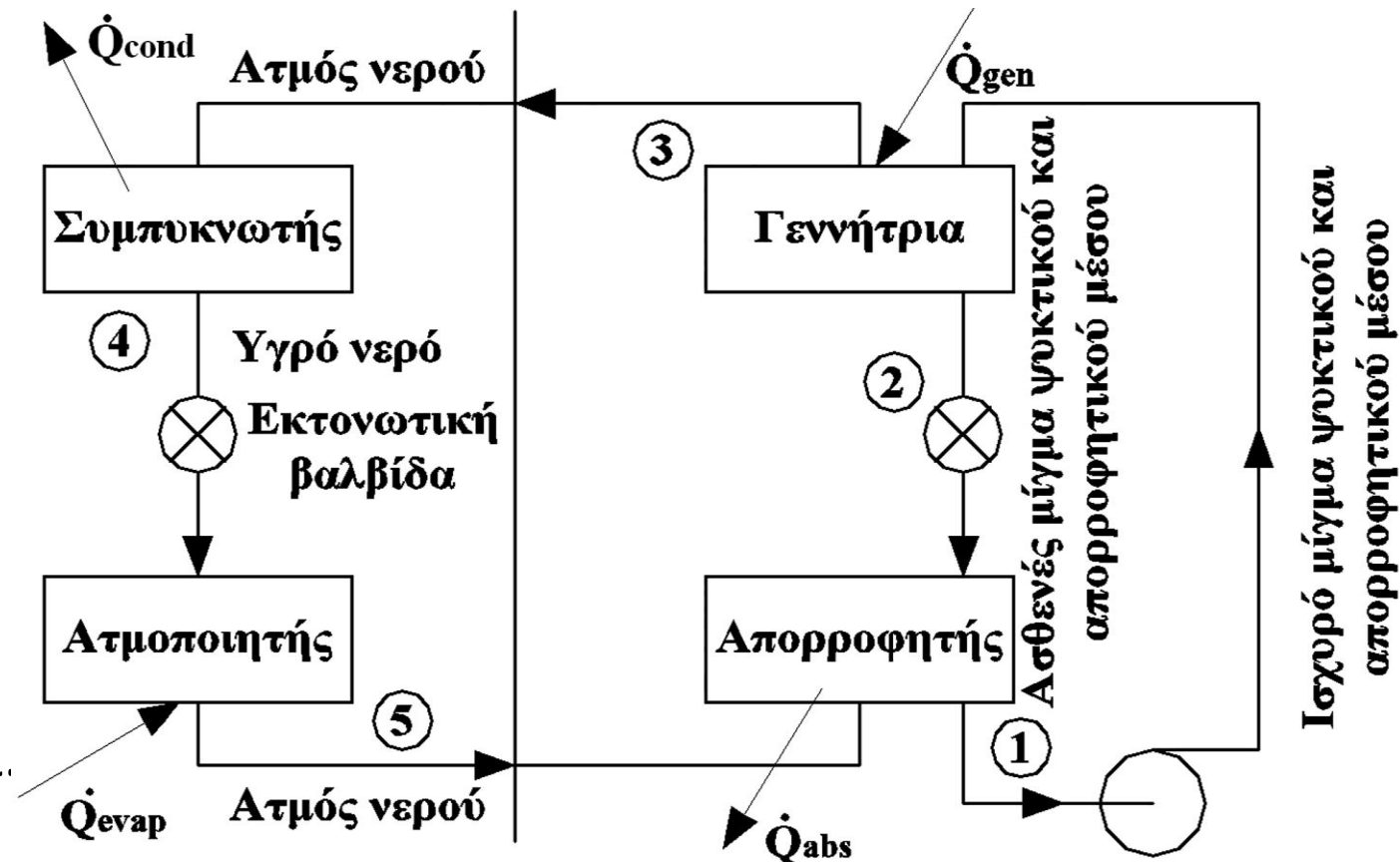
Διάταξη ψύξης με απορρόφηση

- Οι μηχανές απορρόφησης, που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύσης, που μπορούν να παράγονται και από συστήματα συμπαραγωγής.
- Στην πιο απλή σχεδιάσή της, η μηχανή απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή (ατμοποιητή), συμπυκνωτή, απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος.
- Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση ατμού του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με συνδυασμό του απορροφητή, της αντλίας διαλύματος και της γεννήτριας.



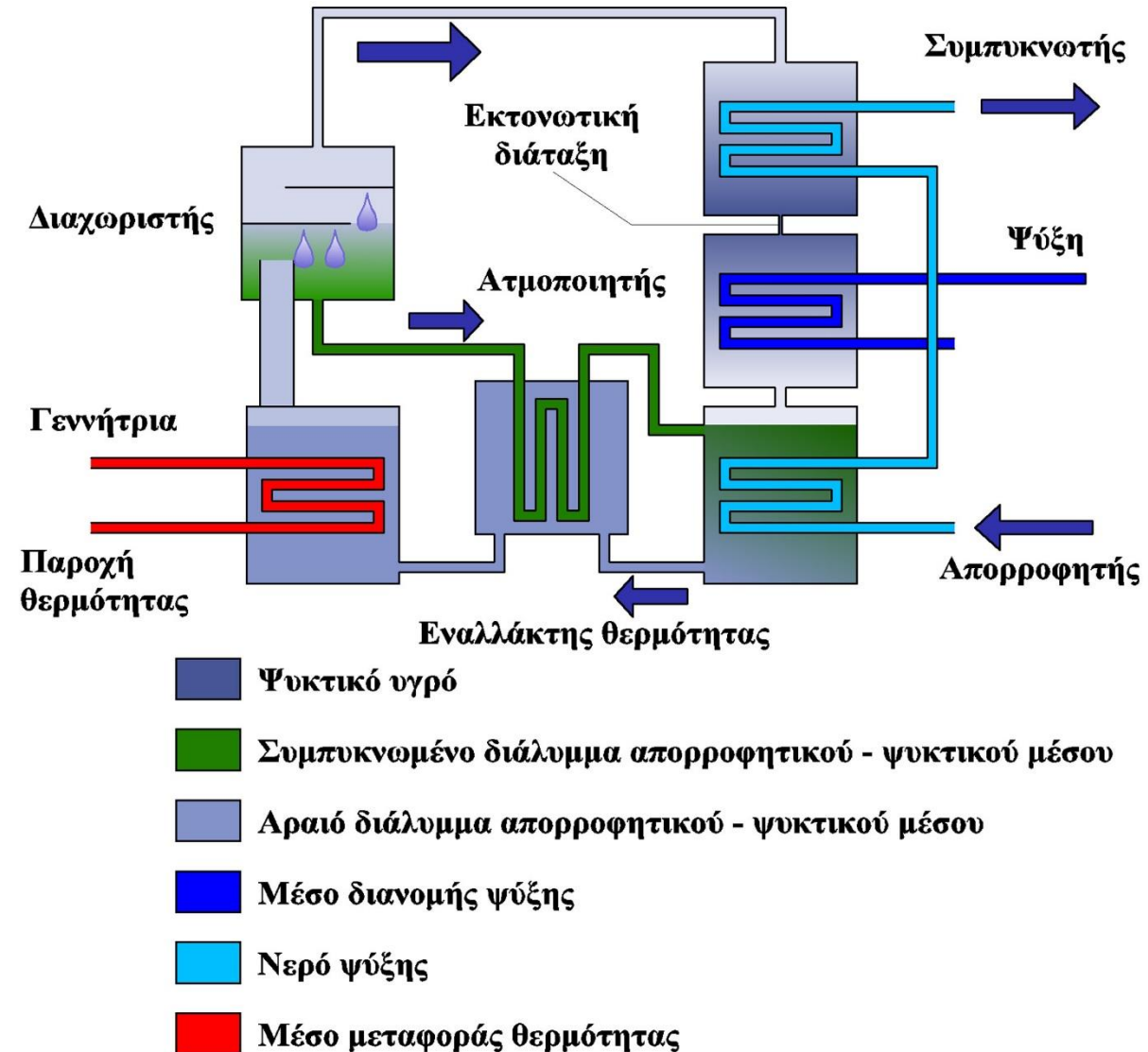
Διάταξη ψύξης με απορρόφηση

- Αριστερά από την κατακόρυφη γραμμή το σύστημα αποτελείται, ακολουθώντας τη ροή του ψυκτικού μέσου, από συμπυκνωτή, εκτονωτική βαλβίδα και ατμοποιητή. Συνεπώς είναι το ίδιο με τη βασική ψυκτική διάταξη, εξαιρουμένου του συμπιεστή.
- Στον κύκλο απορρόφησης η συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται διαλύοντάς το σε ένα υγρό απορροφητή, συμπιέζοντας στη συνέχεια το διάλυμα χρησιμοποιώντας μία αντλία υγρού με χαμηλή απαίτηση απορροφούμενης ισχύος και, τελικά, αποσπώντας το πτητικό ψυκτικό μέσο από το συμπιεσμένο και πλούσιο σε ψυκτικό μέσο διάλυμα, μέσω της πρόσδοσης θερμότητας στη γεννήτρια.



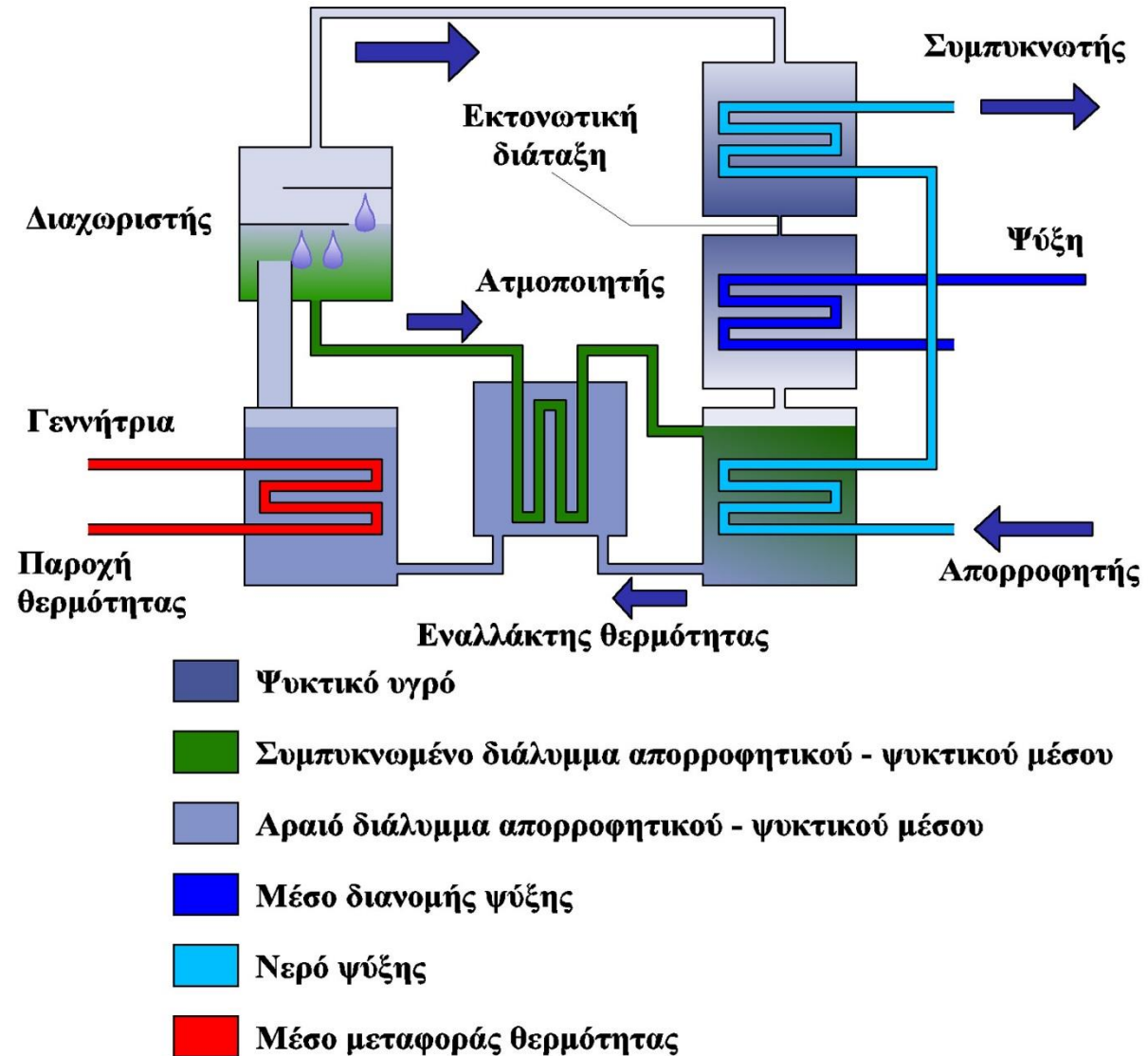
Μηχανισμός ψύξης με απορρόφηση

- Στον εξατμιστή της συσκευής απορροφάται θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο, παράγοντας ψύξη και ατμοποιώντας το ψυκτικό μέσο.
- Ο ατμός του ψυκτικού μέσου που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται σε ένα απορροφητικό υγρό μέσα στον απορροφητή. Η απορρόφηση αυτή συνοδεύεται με αποβολή θερμότητας.
- Το απορροφητικό που έχει απορροφήσει το ψυκτικό μέσο, το οποίο πλέον ονομάζεται «ασθενές απορροφητικό», διοχετεύεται με αντλίες στη γεννήτρια.



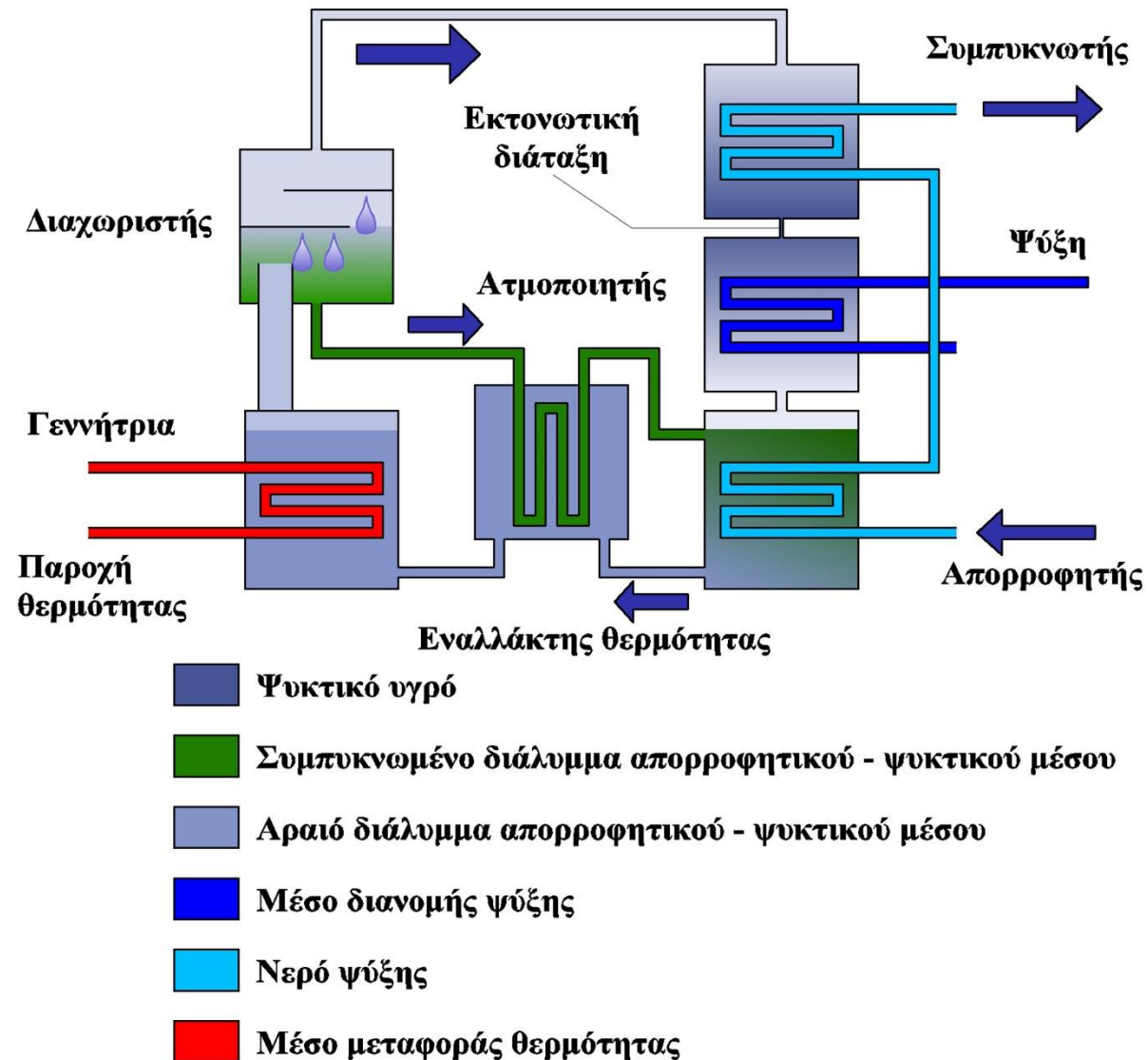
Μηχανισμός ψύξης με απορρόφηση

- Στη γεννήτρια προσδίδεται θερμότητα από την εξωτερική πηγή προς το μίγμα απορροφητικού – ψυκτικού μέσου, με αποτέλεσμα το ψυκτικό μέσο, δεδομένης της πτητικότητάς του, να αποδεσμεύεται ως ατμός υψηλής πίεσης.
- Συνεπώς, ο συνδυασμός του απορροφητή, της αντλίας ασθενούς απορροφητικού και της γεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσης, όπως ακριβώς και ο μηχανικός συμπιεστής σε μία συμβατική συσκευή παραγωγής ψύξης.
- Ο ατμός του ψυκτικού μέσου διαχωρίζεται πλήρως από πιθανά υπολείμματα απορροφητικού μέσου σε ένα διαχωριστή.



Μηχανισμός ψύξης με απορρόφηση

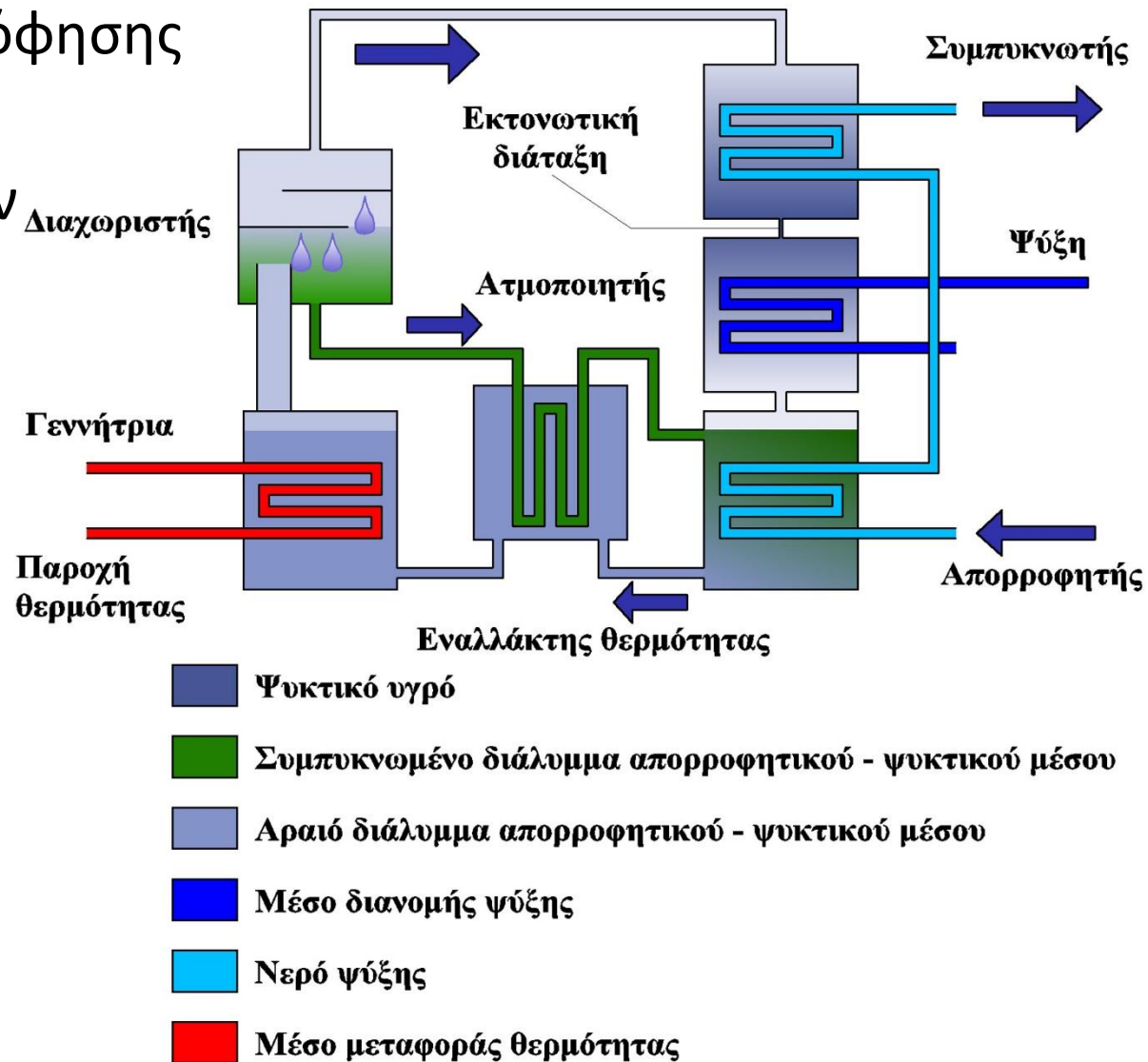
- Το αναγεννημένο ή «ισχυρό απορροφητικό» οδηγείται στη συνέχεια πίσω στον απορροφητή, για να συλλέξει εκ νέου ψυκτικό ατμό.
- Ο ατμός του ψυκτικού μέσου θα συμπυκνωθεί στο συμπυκνωτή για τη μείωση της θερμοκρασίας του και την πλήρη υγροποίησή του και θα εκτονωθεί σε εκτονωτική διάταξη για την πτώση της πίεσής του, πριν οδηγηθεί και πάλι στον ατμοποιητή για την εκ νέου ατμοποίησή του και την παραγωγή ψύξης.



Ροές ενέργειας σε ψύξη με απορρόφηση

Οι ροές θερμότητας στο βασικό κύκλο απορρόφησης είναι οι εξής:

- απορρόφηση (παροχή) θερμότητας \dot{Q}_ψ στον εξατμιστή (ή ατμοποιητή) από τον κλιματιζόμενο χώρο και παραγωγή ψύξης, σε χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο
- απόρριψη θερμότητας \dot{Q}_Σ στο συμπυκνωτή προς το περιβάλλον, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο
- απόρριψη θερμότητας \dot{Q}_Δ από τον απορροφητή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο
- παροχή θερμότητας στη γεννήτρια \dot{Q}_{th} , σε υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο.



Συντελεστής συμπεριφοράς – ενεργειακός ισολογισμός

- Κατά αντιστοιχία με το συμβατικό κύκλο ψύξης, ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς COP_{th} σε ένα κύκλο απορρόφησης ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής ισχύος που απορρίπτεται στον ατμοποιητή, δηλαδή της ωφέλιμης ψυκτικής ισχύος \dot{Q}_ψ , προς την απορροφούμενη θερμική ισχύ στη γεννήτρια \dot{Q}_{th} (αμελώντας την ισχύ της αντλίας διαλύματος):

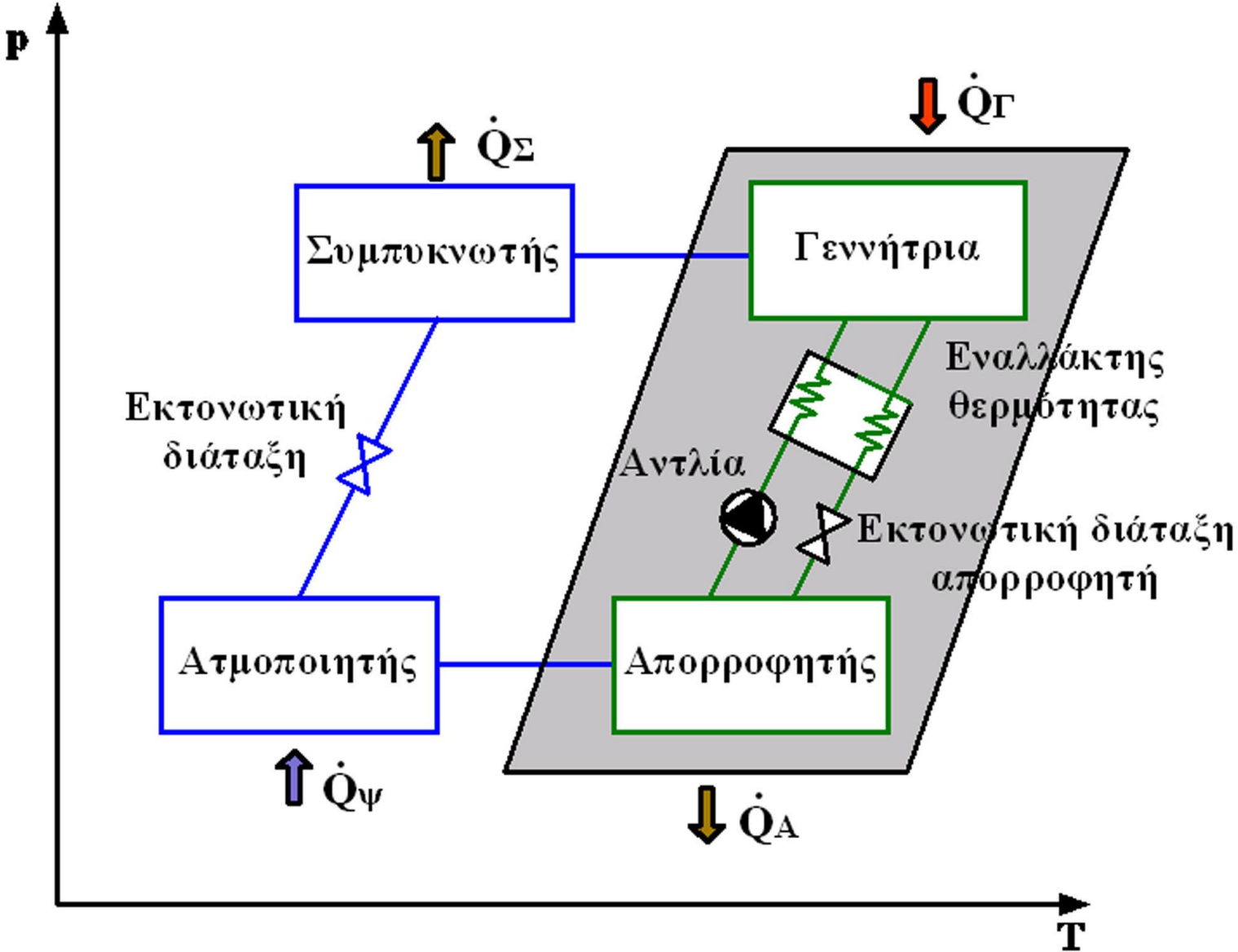
$$COP = \frac{\dot{Q}_\psi}{\dot{Q}_{th}}$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς σε ένα κύκλο απορρόφησης παίρνει τιμές μεταξύ 0,60 και 0,80, σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες σε ένα συμβατικό κύκλο ψύξης.

- Ο ισολογισμός θερμικής ισχύος σε ένα κύκλο απορρόφησης έχει ως εξής:

$$\dot{Q}_\psi + \dot{Q}_{th} = \dot{Q}_\Sigma + \dot{Q}_A$$

Διάγραμμα ροής κύκλου ψύξης με απορρόφηση



Ζεύγη εργασίας

- Σε έναν κύκλο απορρόφησης, ψυκτικό μέσο και απορροφητικό συγκροτούν το «ζεύγος εργασίας». Διαχρονικά έχουν δοκιμαστεί πολλά ζεύγη εργασίας. Τα δύο ζεύγη εργασίας που έχουν καθιερωθεί είναι:
 - διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr) ως απορροφητικό, με ψυκτικό μέσο νερό,
 - νερό ως απορροφητικό, με ψυκτικό μέσο αμμωνία (NH₃).
- Για συστήματα ψύξης βρωμιούχου λιθίου – νερού, η πηγή θερμότητας πρέπει να είναι σε ελάχιστη θερμοκρασία των 70-90°C για συστήματα μονού σταδίου.
- Σε συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία, η θερμική ενέργεια παρέχεται σε θερμοκρασία 100-120°C (μονού σταδίου).
- Το ζεύγος νερού – διαλύματος βρωμιούχου λιθίου χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ψύξης αέρα, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 0°C.
- Το ζεύγος αμμωνίας-νερού χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές κατάψυξης, με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μικρότερες των 0°C.



Πλεονεκτήματα ψύξης με απορρόφηση

Τα πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών ψυκτικών συγκροτημάτων που βασίζονται σε κύκλο συμπίεσης είναι:

- πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- ελάχιστα κινούμενα τμήματα, με αποτέλεσμα το μεγάλο χρόνο ζωής, την αυξημένη αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος συντήρησης,
- χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών,
- φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα με μηδενικές εκπομπές ρύπων και ουσιών καταστροφής του όζοντος.



Μειονεκτήματα ψύξης με απορρόφηση

Τα μειονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών είναι:

- μονάδες μεγάλης ισχύος με μεγάλο βάρος,
- σχετικά υψηλό αρχικό κόστος,
- κατανάλωση νερού σε πύργους ψύξης,
- χαμηλός συντελεστής συμπεριφοράς.



Ψυκτικά μέσα

Ψυκτικά μέσα

- Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ψυκτικών εγκαταστάσεων επιβάλλει τη χρησιμοποίηση σε κάθε περίπτωση ψυκτικών μέσων ειδικών ιδιοτήτων. Συνέπεια τούτου είναι η χρήση πλήθους διαφορετικών ψυκτικών μέσων.
- Δεν υπάρχουν ιδανικά ψυκτικά μέσα που να πληρούν όλες τις απαιτήσεις. Γι' αυτό, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται εκλογή του καταλληλότερου ψυκτικού μέσου.

Ιδιότητες ψυκτικών μέσων

Τα ψυκτικά μέσα θα πρέπει να έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Να παρουσιάζουν χημική ευστάθεια και να μην αλλοιώνονται στις πιέσεις και στις θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται.
- Να μην προσβάλλουν τα μεταλλικά ή μη μεταλλικά υλικά της ψυκτικής εγκατάστασης, καθώς και τα λιπαντικά λάδια, τους υδρατμούς και το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα.
- Να μην αναφλέγονται και να μην σχηματίζουν εκρηκτικά μίγματα.
- Να μην συμπυκνώνονται σε πολύ υψηλές πιέσεις, γιατί απαιτούνται πολύ βαριές εγκαταστάσεις.
- Να μην ατμοποιούνται, σε πολύ χαμηλές πιέσεις, γιατί σε περίπτωση δημιουργίας κενού υπάρχει κίνδυνος εισροής αέρα στην εγκατάσταση με πολύ δυσμενείς συνέπειες για τη λειτουργία της.

Ιδιότητες ψυκτικών μέσων

Τα ψυκτικά μέσα θα πρέπει να έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Η θερμοκρασία τήξεώς τους να είναι πολύ χαμηλότερη από τις θερμοκρασίες λειτουργίας της ψυκτικής εγκατάστασης.
- Να μην προσβάλουν το αναπνευστικό σύστημα και να μην είναι δηλητηριώδη, ώστε να μην προκύπτουν βλαβερές συνέπειες σε περίπτωση διαρροής τους.
- Να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη θερμοκρασία ατμοποίησης.
- Να είναι διαθέσιμα στην αγορά και να έχουν χαμηλό κόστος.

Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται κυρίως σήμερα είναι η αμμωνία και κυρίως τα χλωριομένα και φθοριομένα παράγωγα του μεθανίου και του αιθανίου (R-ψυκτικά).

Τα ψυκτικά μέσα

Αμμωνία

- Η αμμωνία χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο όπου η τοξικότητά της δεν αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα, δεδομένου του χαμηλού κόστους της και των καλών θερμοδυναμικών ιδιοτήτων (μεγάλη θερμότητα ατμοποίησης).
- Σχεδόν πάντοτε η αμμωνία περιέχει λίγο διαλυμένο νερό. Εντούτοις, ενώ στα άλλα ψυκτικά μέσα το νερό στερεοποιείται και φράζει τις βαλβίδες της εγκατάστασης, στην περίπτωση της αμμωνίας δημιουργεί μίγμα, αυξάνοντας τη θερμοκρασία πήξεώς του με συνέπεια να μην στερεοποιείται.
- Δεν προσβάλλει το χυτοσίδηρο και το χάλυβα, ακόμα κι αν περιέχει διαλυμένο νερό.
- Ωστόσο προσβάλλει τις γαλβανισμένες επιστρώσεις σίδηρου, χαλκού και τα κράματα χαλκού – ψευδαργύρου.

Τα ψυκτικά μέσα

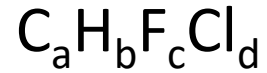
Αμμωνία

- Η υγρή αμμωνία προκαλεί εγκαύματα στην επιδερμίδα και προσβάλλει τα μάτια.
- Η ανίχνευση αμμωνίας γίνεται με καιόμενο θειάφι του οποίου τα καυσαέρια, με την παρουσία αμμωνίας σχηματίζουν ομίχλη.
- Η αμμωνία προσβάλλει τα τρόφιμα. Για το λόγο αυτό οι χώροι ψυκτικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να έχουν στην οροφή στόμια εξαερισμού, δεδομένου του ότι η αμμωνία είναι ελαφρότερη από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Τα ψυκτικά μέσα

R-ψυκτικά

- Στην πράξη χρησιμοποιούνται κυρίως τα χλωριομένα και φθοριομένα παράγωγα του μεθανίου (CH_4) και του αιθανίου (C_2H_6), των οποίων ο γενικός τύπος είναι:



- Αυτά τα ψυκτικά αναφέρονται στην Αμερική ως freon και στη Γερμανία ως frigen και συμβολίζονται με το γενικό τύπο:



όπου τα n , m , p είναι τα ψηφία τριψήφιου ακέραιου που έχουν τις ακόλουθες σχέσεις με τους δείκτες a , b , c , d :

$$a = n + 1$$

$$b = m - 1$$

$$c = p$$

$$d = 2a + 2 - c - b$$

Τα ψυκτικά μέσα

R-ψυκτικά

- Παράδειγμα συμβολισμού:

Το ψυκτικό μέσο R_{12} θεωρείται ως R_{012} , οπότε $n=0$, $m=1$, $p=2$, συνεπώς

$$a = n + 1 = 0 + 1 = 1$$

$$b = m - 1 = 1 - 1 = 0$$

$$c = p = 2$$

$$d = 2a + 2 - c - b = 2 \cdot 1 + 2 - 2 - 0 = 2$$

Άρα ο χημικός τύπος είναι ο

$C_1H_0F_2Cl_2$, δηλαδή ο CF_2Cl_2 (διφθοριοχλωριομεθάνιο)



Τα ψυκτικά μέσα

Ιδιότητες για τα R-ψυκτικά

- Τα R-ψυκτικά δεν αναφλέγονται, δεν είναι τοξικά και δεν προσβάλλουν τα αναπνευστικά όργανα.
- Δεν δημιουργούν εκρηκτικά μίγματα.
- Σε μικρές ποσότητες στον αέρα είναι άοσμο.
- Δεν αλλοιώνουν τα τρόφιμα.
- Είναι χημικά σταθερά στις συνηθισμένες θερμοκρασίες και πιέσεις που χρησιμοποιούνται.
- Με τη βοήθεια φλόγας διασπώνται σε υδροφθόριο και υδροχλώριο, που γίνονται αντιληπτά μέσω οσμής.
- Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαρροής, η οποία, ωστόσο, μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια με τη βοήθεια ηλεκτρονικών συσκευών.

Τα ψυκτικά μέσα

Ιδιότητες για τα R-ψυκτικά

- Τα R-ψυκτικά δεν προσβάλλουν το σίδηρο, το χαλκό και τα κράματα αυτού, το αλουμίνιο, τον ψευδάργυρο και τον κασσίτερο.
- Η υγρασία επιτρέπεται στα R-ψυκτικά μέσα μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες (ενδεικτικά για το R₁₂ αναφέρεται μέγιστη περιεκτικότητα 10-60 mgr H₂O ανά 1 kgr ψυκτικού μέσου, ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας).
- Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υγρασίας στα R-ψυκτικά μέσα οδηγεί σε διάσπασή τους σε HCl και HF, που καταστρέφουν τις κολλήσεις των χαλκοσωλήνων, τα λιπαντικά λάδια του συμπιεστή και τους αγωγούς των ηλεκτροκινητήρων.
- Επίσης το νερό στις χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας πήζει και φράζει τις στενές διόδους του ψυκτικού μέσου, και κυρίως των εκτονωτικών οργάνων.

Τα ψυκτικά μέσα

Ιδιότητες για τα R-ψυκτικά

- Για να αποφευχθεί η υγρασία σε μια ψυκτική εγκατάσταση τοποθετούνται ξηραντήρες (ουσίες όπως *sibica gell*, ζεόλιθος κλπ που κρατούν την υγρασία του ψυκτικού).
- Πριν την πρώτη λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης αφαιρείται όλος ο αέρας, πριν την εισαγωγή του ψυκτικού, λόγω του ότι περιέχει πάντα κάποια ποσότητα υγρασίας.
- Ο έλεγχος της υγρασίας εντός των ψυκτικών εγκαταστάσεων γίνεται με ειδικούς δείκτες που βρέχονται από το ψυκτικό και βρίσκονται πίσω από διαφανή επιφάνεια. Ο δείκτης αυτός αλλάζει χρώμα αν η περιεχόμενη υγρασία υπερβεί ένα ανώτατο όριο.
- Για να αποφεύγεται η είσοδος αέρα στην ψυκτική εγκατάσταση επιδιώκεται η χαμηλή πίεση (ατμοποίησης) να είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση.



Σας ευχαριστώ πολύ
για την προσοχή σας

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης