



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

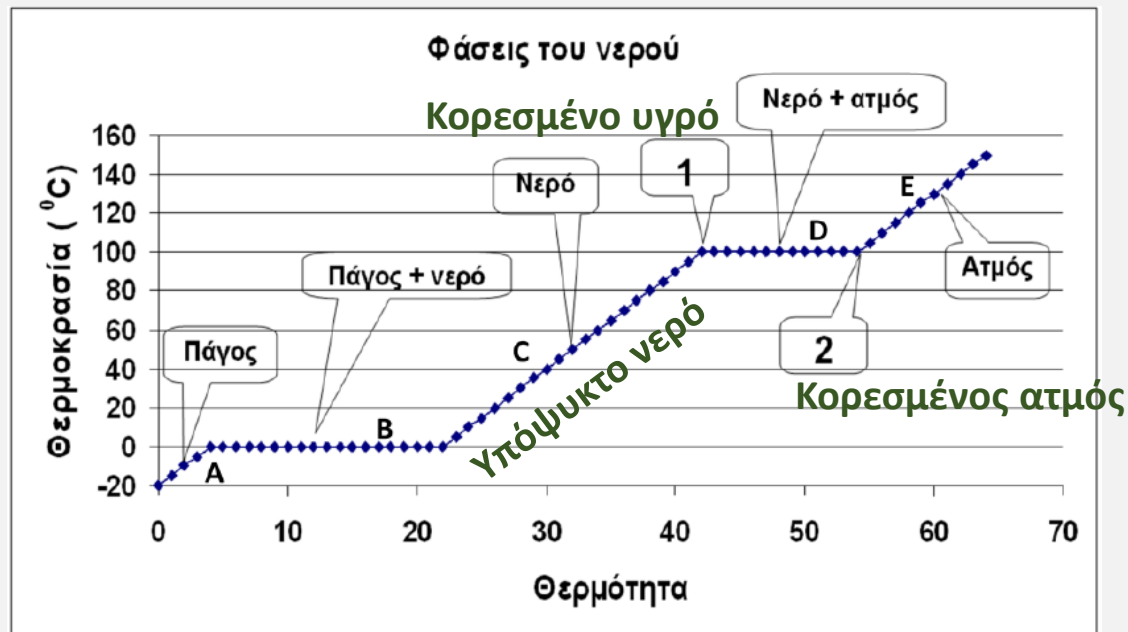
ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Νίκος Μ. Κατσουλάκος
Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., PhD, Msc

- **Ψύξη** είναι διεργασία **αφαίρεσης θερμικής ενέργειας** (θερμότητας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια
- **Θέρμανση** είναι η διεργασία **πρόσθεσης θερμικής ενέργειας** (θερμότητας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια
- **Αντλία θερμότητας** ονομάζουμε τη μηχανολογική διάταξη που μας επιτρέπει να **μεταφέρουμε ενέργεια από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε έναν χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας**. Οι αντλίες θερμότητας σχεδιάζονται για να μεταφέρουν θερμότητα (θερμική ενέργεια) με φορά αντίθετη από αυτήν της φυσικής ροής. Για την μεταφορά αυτή, απαιτείται κατανάλωση ενέργειας.

Υπενθύμιση χρήσιμων εννοιών

- **Αισθητή θερμότητα** είναι η ενέργεια που παρέχεται σε ένα υλικό και μεταβάλλει τη θερμοκρασία του (Δεν έχουμε αλλαγή φάσης.)
- **Λανθάνουσα** είναι η ενέργεια που δίνουμε σε μία ουσία κατά την αλλαγή της φάσης, χωρίς μεταβολή θερμοκρασίας
- Για τις εφαρμογές ψύξης μας ενδιαφέρει η **λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης ή συμπύκνωσης** (κατά την υγροποίηση του ατμού το υλικό αποδίδει θερμότητα) και η **λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης** (κατά τη μετατροπή ενός υγρού σε ατμό πρέπει να προσδοθεί θερμότητα)



Υπενθύμιση χρήσιμων εννοιών

- Στις προηγούμενες μεταβολές υποθέσαμε ότι η πίεση ήταν μία ατμόσφαιρα και έμενε σταθερή σε όλη τη διαδικασία
- Όταν αλλάξει η πίεση, τότε αλλάζει και η θερμοκρασία που γίνεται η εξάτμιση και όλες οι αλλαγές φάσης. Συγκεκριμένα, όταν ελαττωθεί η πίεση το νερό βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία, ενώ όταν μεγαλώνει η πίεση τότε αυξάνεται και η θερμοκρασία βρασμού.
- Σε αυτόν τον κανόνα στηρίζεται η μετατροπή του ψυκτικού μέσου από υγρό σε αέριο και το αντίστροφο
- Αν θέλουμε να υγροποιήσουμε υπέρθερμο ατμό μπορούμε να μειώσουμε την θερμοκρασία του χωρίς να μεταβληθεί η πίεση
- Η θερμοκρασία βρασμού του νερού θα πέσει ακόμα και στους 70 °C στην κορυφή του Έβερεστ

Στοιχεία ψυκτικής διάταξης

Η κλασική ψυκτική διάταξη περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στοιχεία:

- Τον ατμοποιητή/ εξατμιστή
- Το συμπυκνωτή
- Το συμπιεστή
- Τη στραγγαλιστική/ εκτονωτική διάταξη

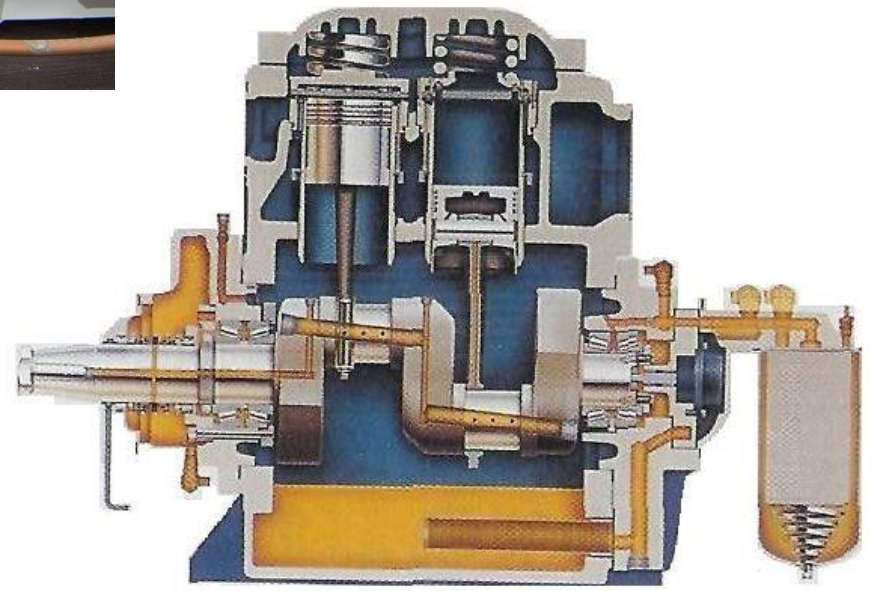
Ο ατμοποιητής/ εξατμιστής

- Είναι το εξάρτημα της ψυκτικής μηχανής που έχει άμεση ή έμμεση επαφή με τον περιβάλλοντα χώρο του ψυχόμενου προϊόντος (αέρας -νερό κ.ά)
- Μέσα στο θάλαμο ενός ψυγείου (π.χ.) στη μάζα του αέρα που κυκλοφορεί, περιέχονται ποσά θερμότητας από τα ζεστά προϊόντα. Αυτά τα ποσά θερμότητας τα απορροφά το παγωμένο ψυκτικό υγρό που κυκλοφορεί στον εξατμιστή.
- Έτσι, το ψυκτικό υγρό μέσα στον εξατμιστή, με σταθερή θερμοκρασία και πίεση, αρχίζει να αλλάζει σταδιακά κατάσταση και από υπόψυκτο υγρό να γίνεται κορεσμένο υγρό (υγρό σε μεγαλύτερη ποσότητα και ατμός), κορεσμένος ατμός (ατμός σε μεγαλύτερη ποσότητα και υγρό) και στην έξοδό του να γίνεται υπέρθερμος ατμός.
- Μέχρι όλη η ποσότητα του ψυκτικού υγρού να γίνει ατμός η θερμοκρασία και η πίεση παραμένουν σταθερές, ενώ το ψυκτικό υγρό απορροφά θερμότητα από το θάλαμο - Λ.Θ.Α. (λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης).



Ο συμπιεστής

- Το «στοιχείο – καρδιά» της διεργασίας: αναρροφά το ψυκτικό αέριο σε μορφή αερίου χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας από τον εξατμιστή, το συμπιέζει, και το καταθλίβει προς το συμπυκνωτή σε μορφή αερίου υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.
- Ο συμπιεστής αντλεί τον ατμό από το σύστημα και προσδίδει στον ατμό αυτό και τη δική του θερμότητα (λόγω των τριβών από την κίνηση των μηχανικών μερών και τη θερμότητα του κινητήρα)
- Τη θερμότητα αυτή την οδηγεί προς το συμπυκνωτή και αυτός με τη σειρά του την αποβάλλει προς το περιβάλλον μέσω του ψυκτικού ρευστού
- Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στο συμπιεστή υπέρθερμο σε Χαμηλή Πίεση (Χ.Π.) και θερμοκρασία, και εξέρχεται υπέρθερμο σε Υψηλή Πίεση (Υ.Π.) και θερμοκρασία.



Ο συμπυκνωτής

- Ο συμπυκνωτής είναι το εξάρτημα που αποβάλλει το σύνολο της θερμότητας μιας ψυκτικής μηχανής προς το περιβάλλον.
- Το ψυκτικό μέσο, σε μορφή υπέρθερμου ατμού, στη διαδρομή του από το τέλος της συμπίεσης και προς τη είσοδό του στο συμπυκνωτή χάνει ένα μέρος από τη θερμότητα που είχε, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας μέχρι το σημείο που ξεκινά η συμπύκνωση
- Από την είσοδο του ψυκτικού ρευστού στο συμπυκνωτή μέχρι και την έξοδό του, το ψυκτικό μέσο αλλάζει κατάσταση και από αέριο γίνεται υγρό, σε σταθερή θερμοκρασία και πίεση.
- Το ψυκτικό μέσο στις τελευταίες σπείρες του συμπυκνωτή, σε μορφή υγρού εξακολουθεί να ψύχεται περισσότερο (μέχρι την έξοδό του από το συμπυκνωτή). Πέφτει η θερμοκρασία του, δηλαδή αποβάλλει ένα μέρος ακόμα της θερμότητας του με αποτέλεσμα να γίνεται υπόψυκτο υγρό.

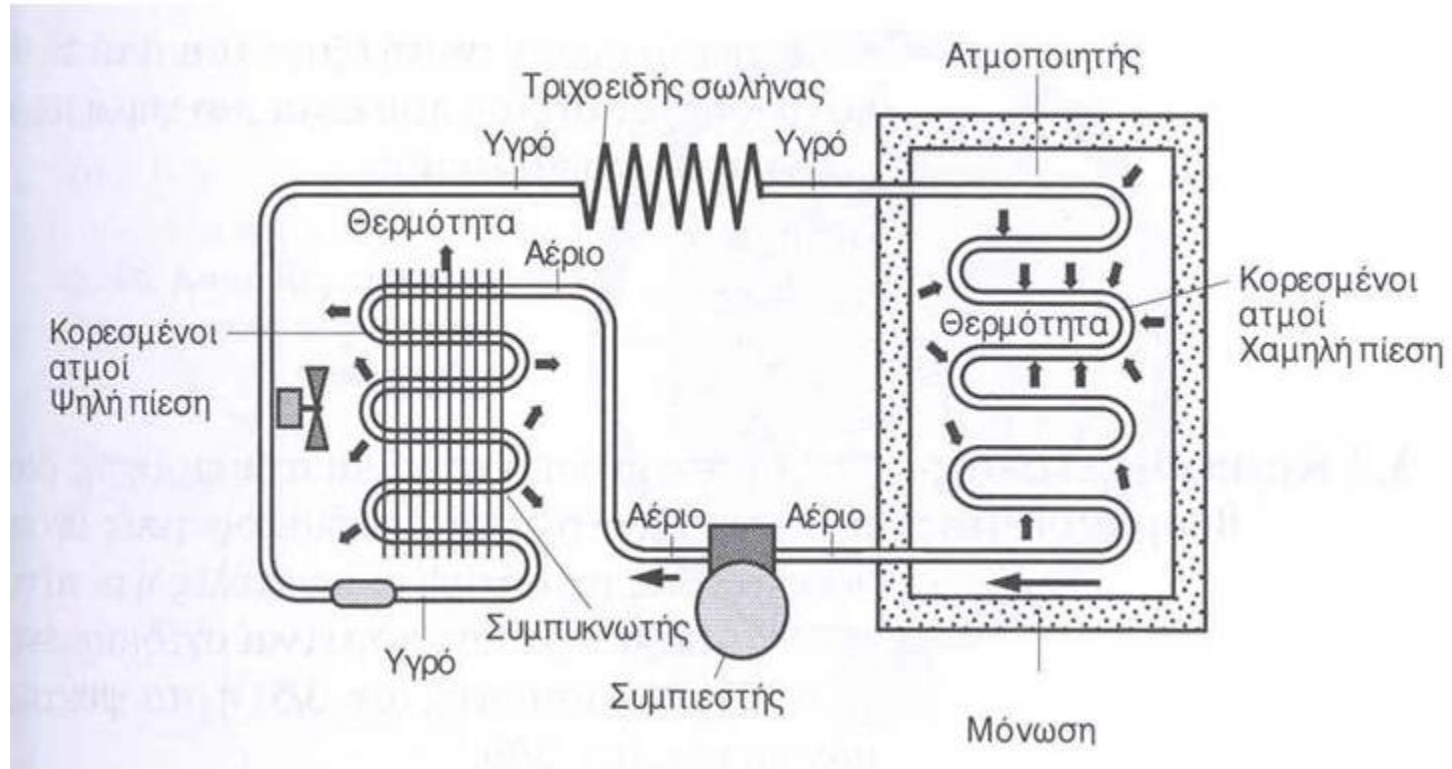


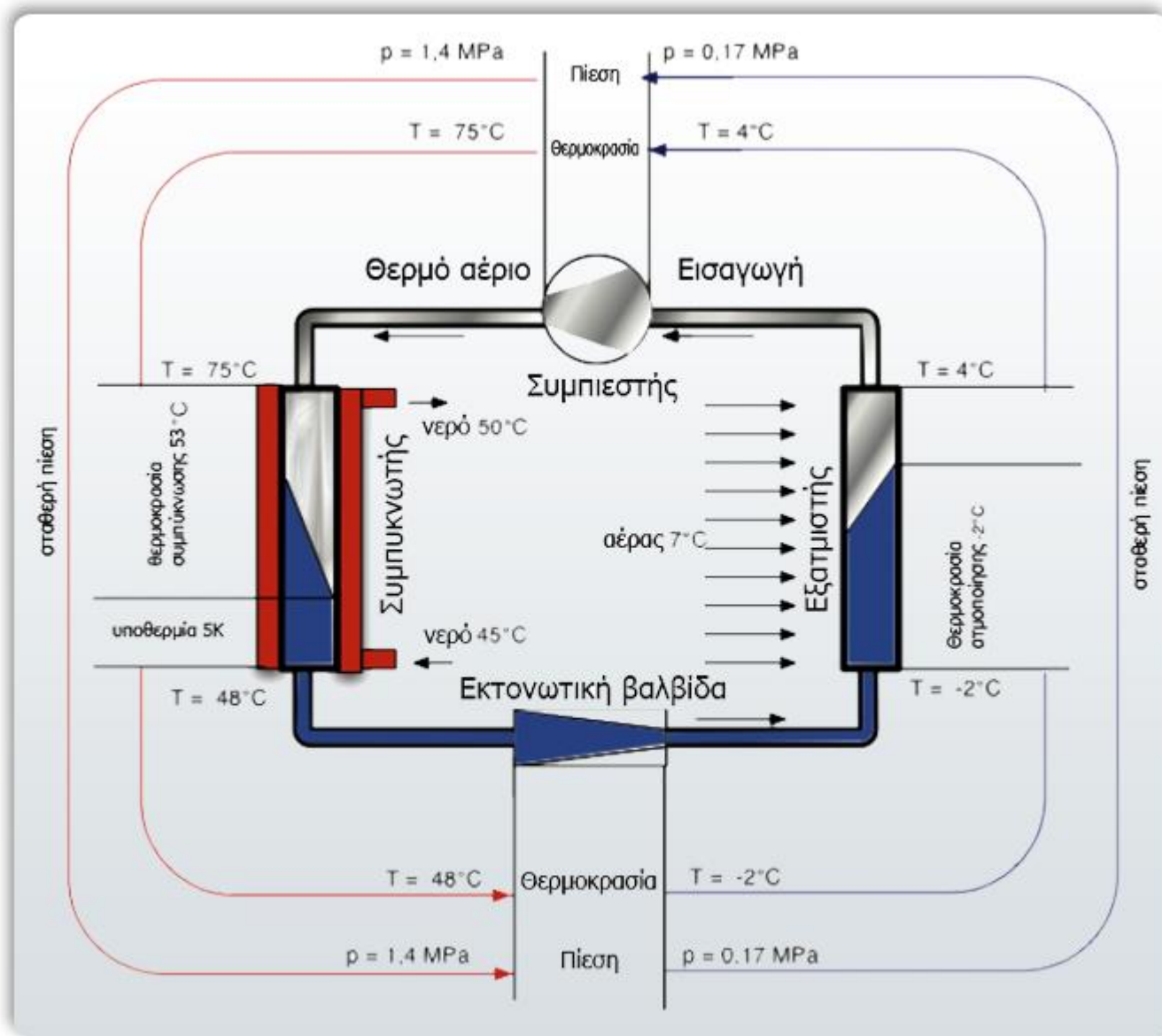
Η στραγγαλιστική/ εκτονωτική διάταξη

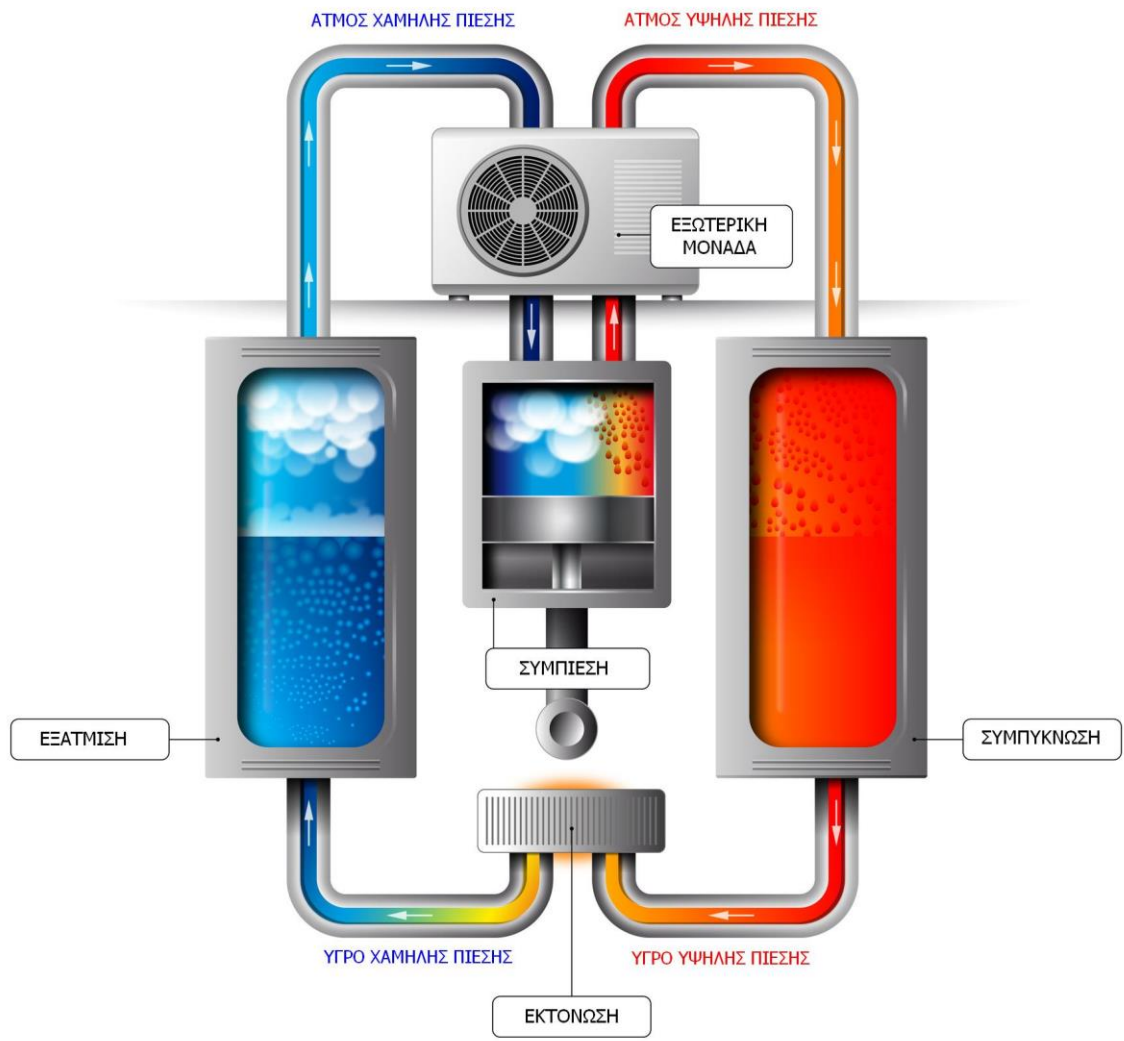
- Η εκτονωτική/ στραγγαλιστική βαλβίδα είναι ένας μηχανισμός ελέγχου της ροής του ψυκτικού υγρού. Ελέγχει την παροχή του ψυκτικού μέσου από το συμπυκνωτή προς τον εξατμιστή.
- Η πιο απλή και συνήθης μορφή (ψυγεία, οικιακά κλιματιστικά) είναι ένας τριχοειδής σωλήνας, στον οποίο καθώς κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο, υποχωρεί και η πίεση και η θερμοκρασία του
- Μείωση της διαμέτρου του τριχοειδούς σωλήνα και αύξηση του μήκους του οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση πίεσης και θερμοκρασίας
- Στη είσοδο της εκτονωτικής διάταξης το ψυκτικό μέσο είναι σε μορφή υπόψυκτου υγρού υψηλής πίεσης. Όσο πιο μεγάλη είναι η υπόψυξη τόσο μεγαλώνει και η ποσότητα υγρού που περνά από την εκτονωτική προς τον εξατμιστή. Δηλαδή όσο πιο κρύο, πιο υγροποιημένο περάσει το ψυκτικό ρευστό μέσα στο στραγγαλιστικό τόσο περισσότερο θα αυξηθεί το καθαρό ψυκτικό αποτέλεσμα Κ.Ψ.Α.

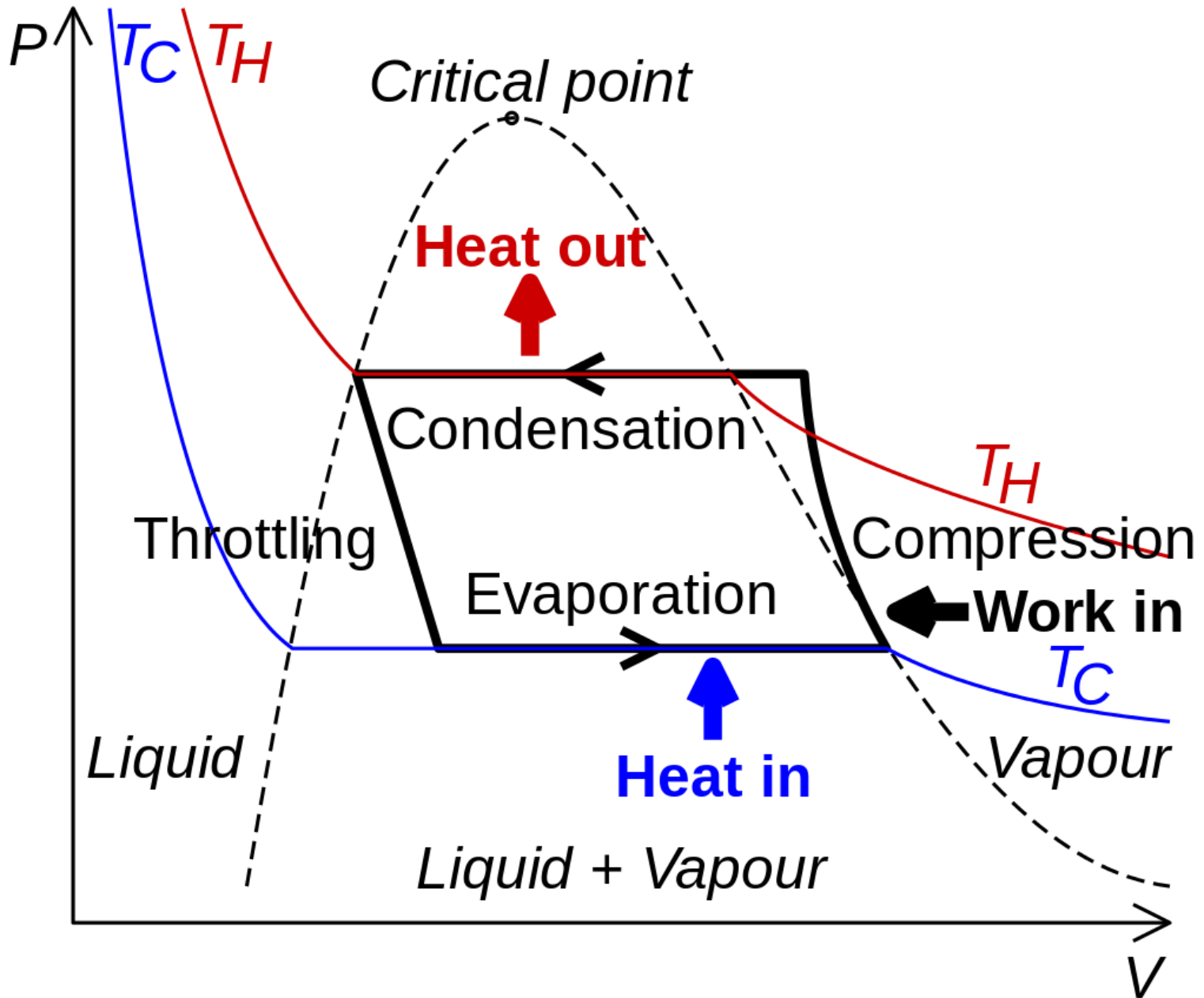


Συνδυάζοντας τα παραπάνω

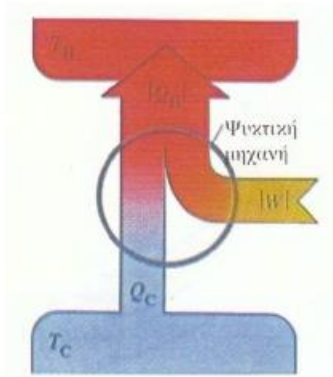








ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ



Παίρνει θερμότητα από ένα ψυχρό μέρος (το εσωτερικό της ψυκτικής μηχανής) και την αποδίδει σε ένα θερμότερο μέρος (ο αέρας του χώρου στον οποίο είναι τοποθετημένη)

Απαιτεί την προσφορά μηχανικού έργου σε αυτή

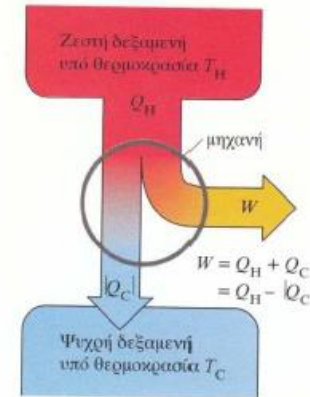
Q_C θετική ποσότητα

W και Q_H αρνητικά,

οπότε $|W| = -W$ και $|Q_H| = -Q_H$

VS

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ



Παίρνει θερμότητα από ένα θερμό μέρος και την αποδίδει σε ένα ψυχρότερο μέρος

Παράγει στην έξοδο της μηχανικό έργο

Q_C αρνητική ποσότητα

οπότε $|Q_C| = -Q_C$

W και Q_H θετικά

Ψυκτικές μηχανές

VS

Θερμικές μηχανές

$$|Q_H| = Q_C + |W|$$

$$W = |Q_H| - |Q_C|$$

Η θερμότητα $|Q_H|$ που εγκαταλείπει το ενεργό υλικό και προσφέρεται στη θερμή δεξαμενή είναι πάντοτε μεγαλύτερη από τη θερμότητα Q_C που απάγεται από την ψυχρή δεξαμενή

Η θερμότητα $|Q_H|$ που απορροφά το ενεργό υλικό και είναι πάντοτε μεγαλύτερη από το ωφέλιμο έργο εξόδου της μηχανής

$$|Q_H| = |Q_C| + |W|$$

Συντελεστής Απόδοσης

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|}$$

$$e = \frac{W}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|}$$

Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας

- Η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας (ενέργειας) Q_1 , προσθέτει μηχανικό έργο (W) στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας Q_2 στο θερμό χώρο.
- Ο ενεργειακός ισολογισμός: **$Q_2 = Q_1 + W$**
- Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης. Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο (Q_2 / W σε θέρμανση), ονομάζεται ειδικός βαθμός απόδοσης της αντλίας (COP, coefficient of performance)
- Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία ψύξης. Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο (Q_1 / W σε ψύξη), ονομάζεται βαθμός ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (EER, energy efficiency ratio)
- Οι βαθμοί απόδοσης εξαρτώνται:
 - ✓ από τη θερμοκρασία της "πηγής" (T_{Q1})
 - ✓ από τη θερμοκρασία του "αποδέκτη" (T_{Q2})
 - ✓ από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας
 - ✓ από τις ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου

Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας

- Οι βαθμοί απόδοσης μεταβάλλονται διαρκώς, αφού τόσο η θερμοκρασία του ψυχρού (περιβάλλοντος στη θέρμανση - χώρου στην ψύξη), όσο και η θερμοκρασία θερμού (χώρου στη θέρμανση - περιβάλλοντος στην ψύξη) δεν είναι σταθερές
- Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί η μέτρηση του COP και του EER σε τυποποιημένες συνθήκες (συνθήκες Eurovent) που είναι:

για τη θέρμανση

Θερμοκρασία θερμού = 20°C και

Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7°C

και για την ψύξη

Θερμοκρασία θερμού = 27°C και

Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35°C

Ένας καταψύκτης έχει συντελεστή απόδοσης $K = 4$. Ο καταψύκτης μετατρέπει $1,5 \text{ kg}$ νερού θερμοκρασίας $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ σε $1,5 \text{ kg}$ πάγου θερμοκρασίας $t_2 = -10^\circ\text{C}$ σε μια ώρα.

α) Πόση θερμότητα πρέπει να αφαιρεθεί από το νερό;

β) Πόση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται από τον καταψύκτη σε αυτήν την ώρα;

γ) Πόση ανεκμετάλλευτη θερμότητα αποβάλλεται στον χώρο, στον οποίο βρίσκεται ο

καταψύκτης; ($c_{\text{νερού}} = 4190 \text{ J/kg K}$, $c_{\text{πάγου}} = 2000 \text{ J/kg K}$, $L = 3,34 \times 10^5 \text{ J/kg}$)