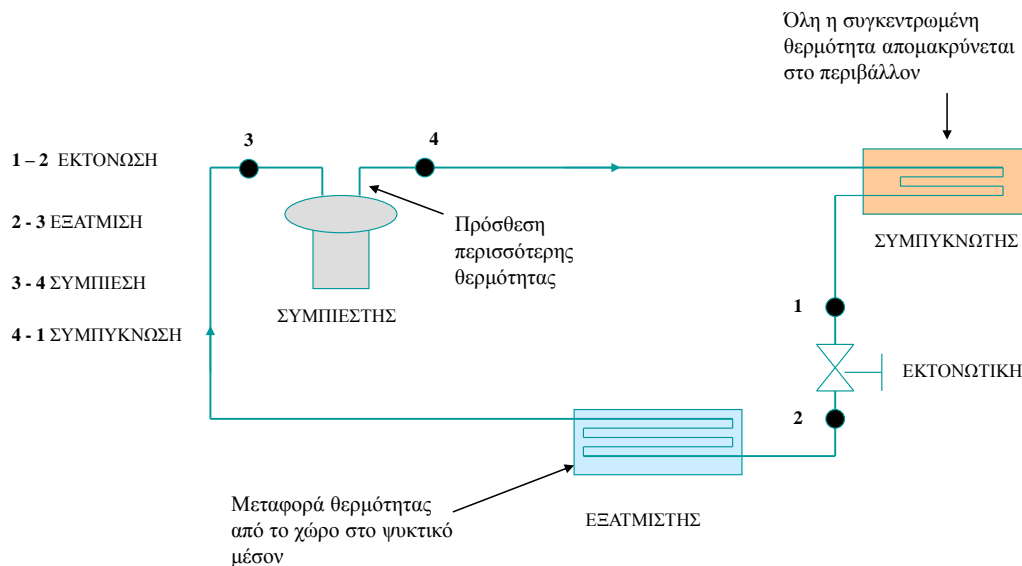


ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΗ ΨΥΞΗ

Νίκος Χαριτωνίδης, Πολιτικός Μηχ/κός ΕΜΠ, Μ.Eng Univ. Of Sheffield, Πρόεδρος ΔΣ ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ food logistics, Διευθυντής Cryologic Εκπαιδευτική – Συμβουλευτική, Πρόεδρος ΔΣ Ελληνικής Ένωσης Βιομηχανιών Ψύχους.

28-9-10

Ο ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ (ΣΥΜΠΙΕΣΗ – ΕΚΤΟΝΩΣΗ)



ΓΙΑΤΙ ΕΊΝΑΙ ΕΥΚΟΛΟ ΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣΟΥΜΕ ΤΟΝ ΙΔΑΝΙΚΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΟ ?

- Γιατί οι διεργασίες της εξάτμισης και της συμπύκνωσης γίνονται σε συνθήκες κορεσμού → υπάρχει μονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ πίεσης και θερμοκρασίας.
- Γιατί οι διεργασίες της εξάτμισης και συμπύκνωσης γίνονται υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία (πίεση / θερμοκρασία κορεσμού)
- Γιατί οι διεργασίες της συμπίεσης γίνεται υπό σταθερά εντροπία (αδιαβατική – όχι τριβές)
- Γιατί η διεργασία της εκτόνωσης γίνεται υπό σταθερά ενθαλπία (εσωτερική θερμότητα)
- Γιατί υπάρχουν πίνακες, που μου δίνουν τις ενθαλπίες σε συνθήκες κορεσμού.

- Γιατί υπάρχουν έτοιμα διαγράμματα Πίεσης – Ενθαλπίας (Mollier), που μου δίνουν άριστη εικόνα των διεργασιών και με διευκολύνουν στους υπολογισμούς.

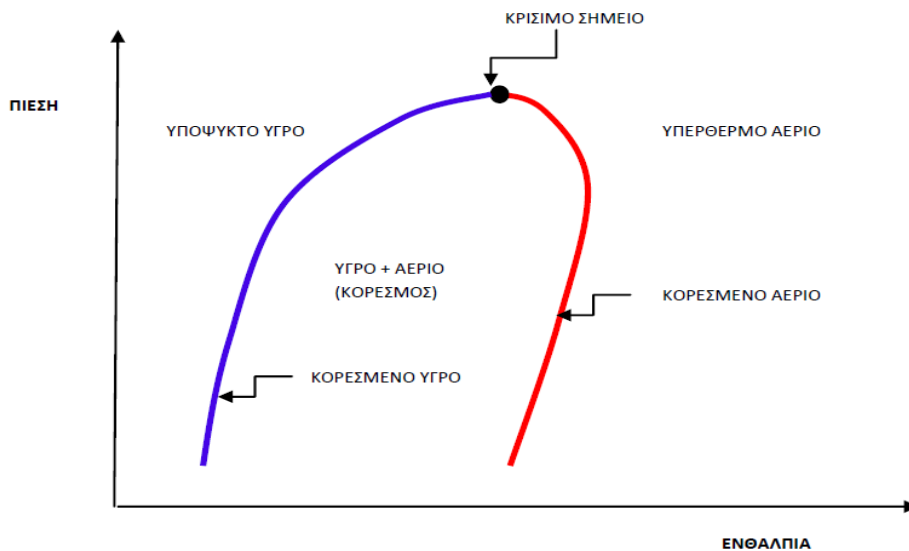
ΜΕΡΙΚΑ ΧΡΗΣΙΜΑ ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

- ❑ **ΕΝΘΑΛΠΙΑ** : Ένα μέτρο της θερμότητας εντός ενός φυσικού ή χημικού συστήματος. Μονάδες μέτρησης : KJ/kg. Για τα κορεσμένα ψυκτικά ρευστά οι ενθαλπίες δίνονται σε πίνακες.
- ❑ **ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ** : Η ποσότητα που απορροφάται ή αποδίδεται από το ψυκτικό ρευστό κατά τη διέλευσή του από χαρακτηριστικά σημεία του ψυκτικού κυκλώματος. Στη πράξη μας ενδιαφέρουν μόνο οι μεταβολές.
- ❑ **ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ** : Η μάζα ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στη μονάδα του χρόνου (kg / sec).
- ❑ **ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ** : Η ταχύτητα απομάκρυνσης θερμότητας από το ψυκτικό θάλαμο (KJ/sec = KW). Ισχύει :

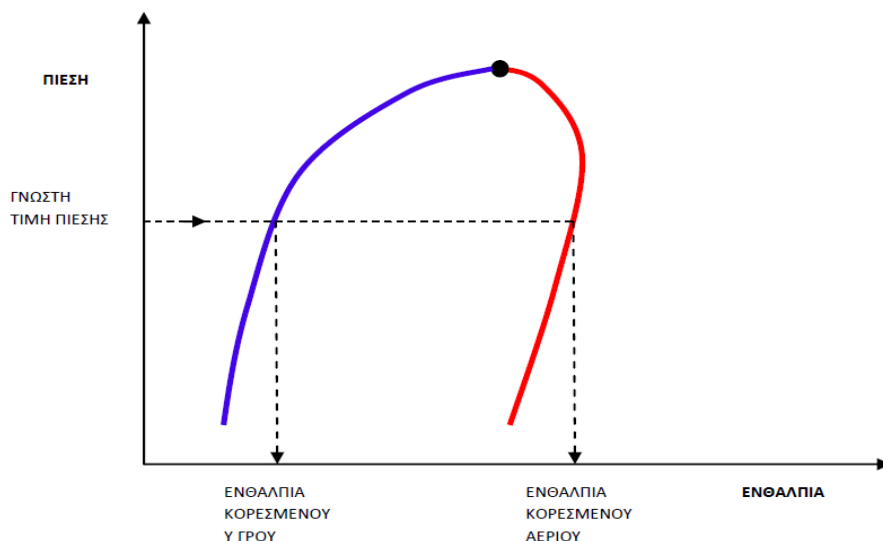
$$\text{ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ} = \text{ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ (KJ/kg)} \times \text{ΠΑΡΟΧΗ (kg/sec)}$$

- ❑ Τα «ψυκτικά» KW συμβολίζονται KWR για να ξεχωρίζουν από τα «ηλεκτρικά» KW (το ρεύμα που «τραβάνε» οι συμπιεστές).

ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ MOLLIER

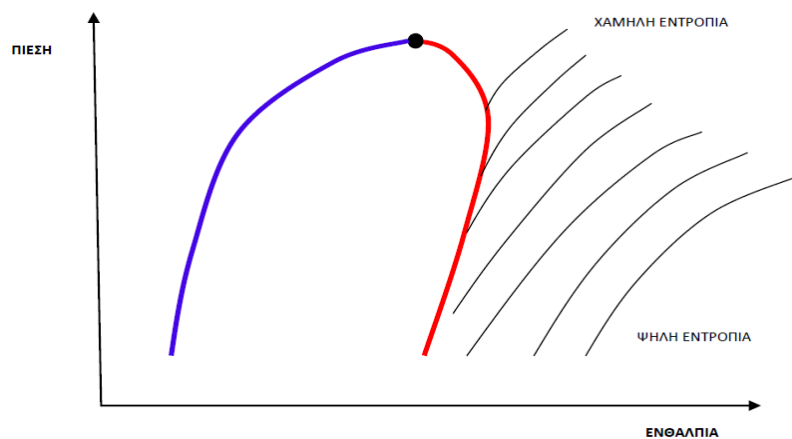


Σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, κάθε ρευστό έχει μια πίεση και μια ενθαλπία. Τοποθετώντας το αντίστοιχο σημείο στο χάρτη, βλέπουμε τη κατάσταση του ρευστού σε σχέση με το κορεσμό.

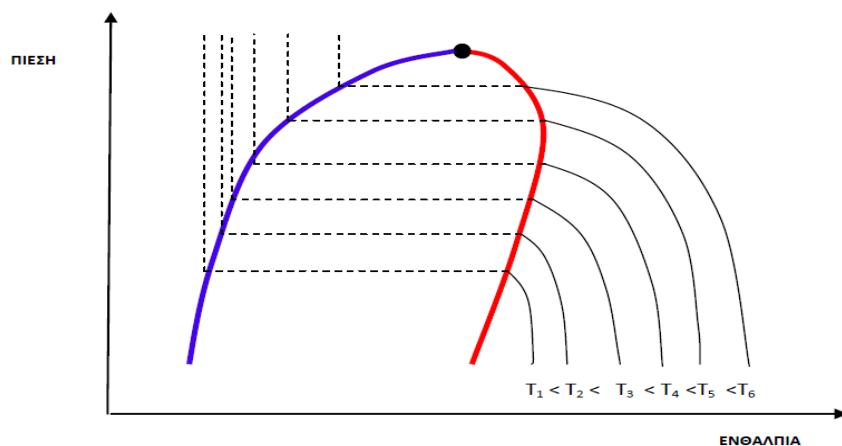


Σε κάθε πίεση (κάτω από το κρίσιμο σημείο) αντιστοιχούν δυο καταστάσεις κορεσμού : (α) Κορεσμένο απόλυτο υγρό και (β) κορεσμένο απόλυτο αέριο. Η ενθαλπία του κορεσμένου αερίου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του κορεσμένου υγρού, κατά την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.

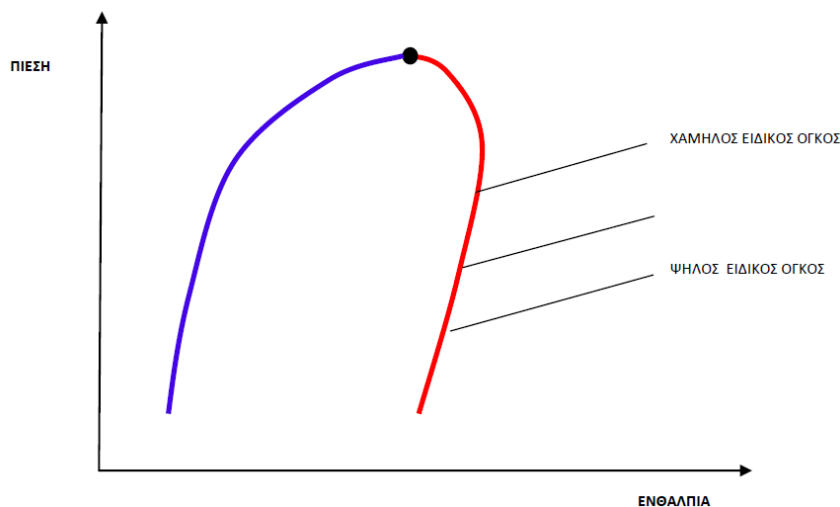
ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “MOLLIER”



Καμπύλες ίσης εντροπίας

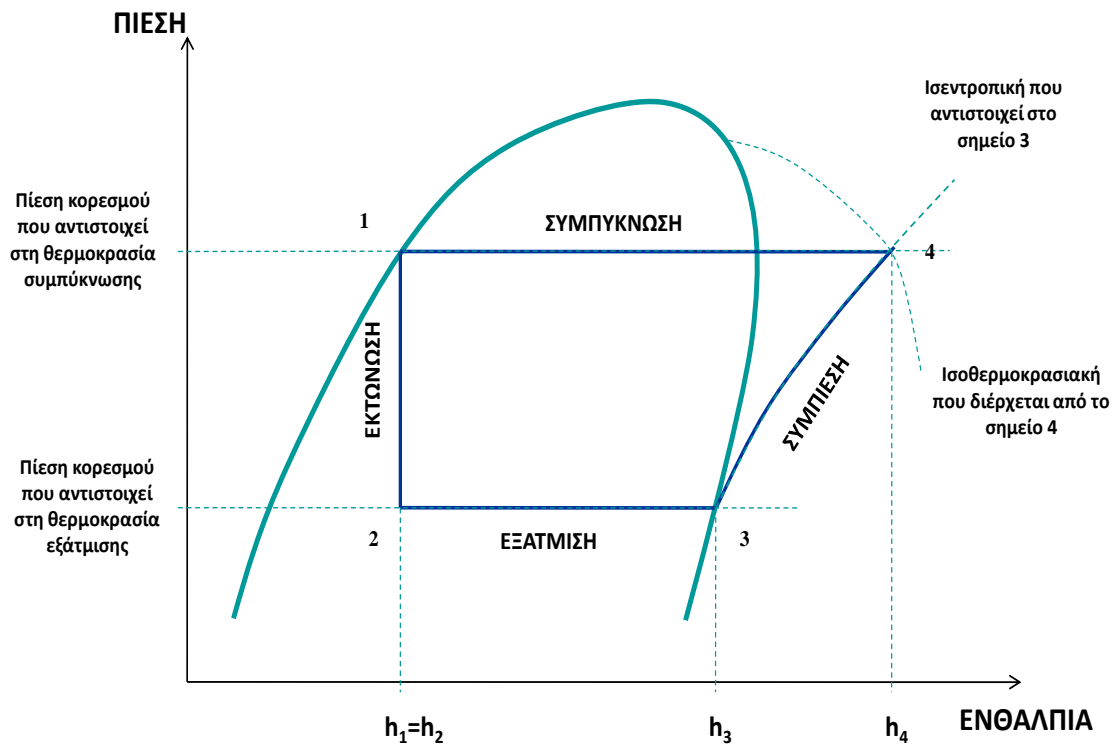


Καμπύλες ίσης θερμοκρασίας

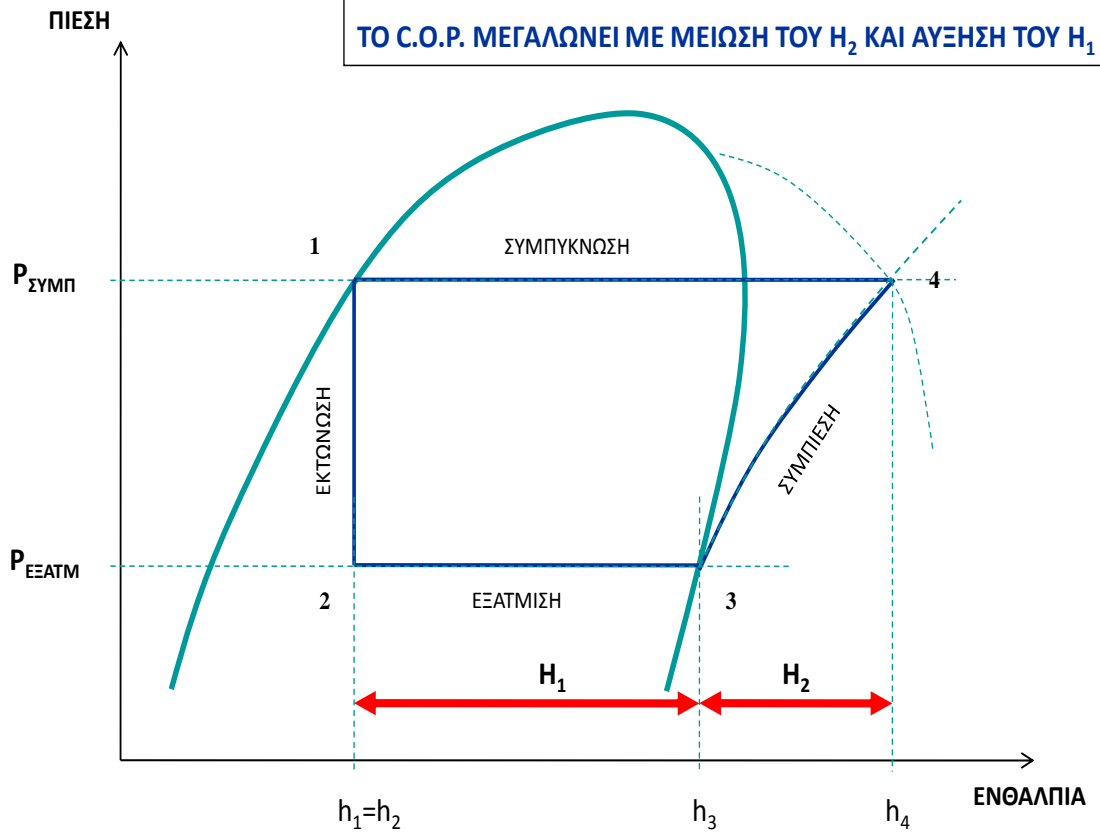


Καμπύλες ίσου ειδικού όγκου (m³/kg)

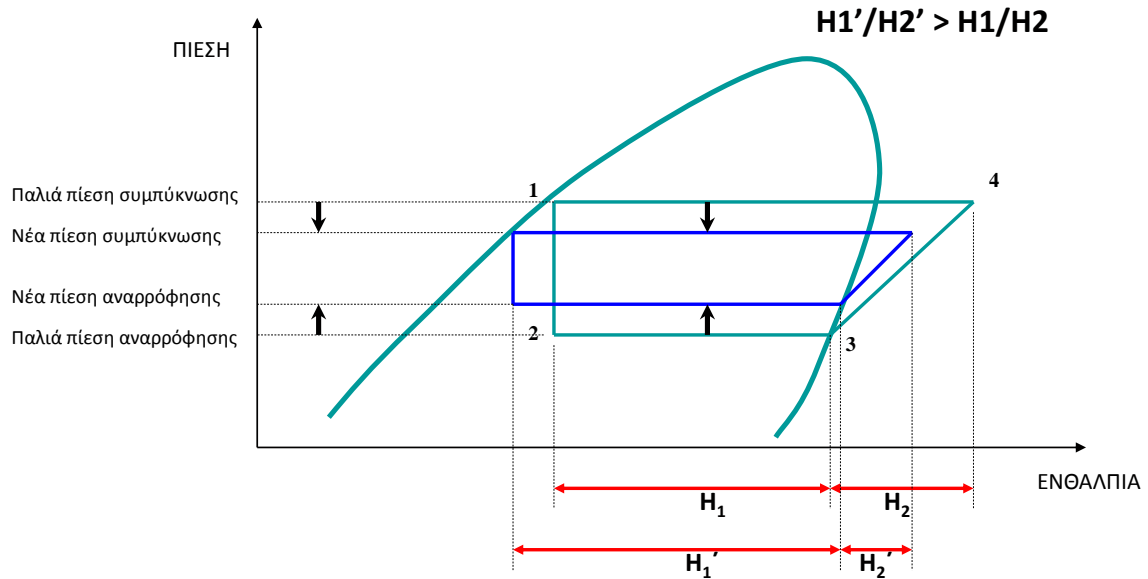
Ο ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “MOLLIER”



C.O.P. = $H_1 / H_2 \rightarrow H_2 = H_1 / \text{C.O.P.}$
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ WATT = ΨΥΚΤΙΚΑ WATT / C.O.P.
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ C.O.P. \rightarrow ΛΙΓΟΤΕΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ WATT
ΤΟ C.O.P. ΜΕΓΑΛΩΝΕΙ ΜΕ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ H_2 ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ H_1



ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ)



Με αύξηση της πίεσης (θερμοκρασίας) αναρρόφησης και μείωση της πίεσης (θερμοκρασίας) συμπύκνωσης αυξήθηκε ο λόγος H_1/H_2 , δηλαδή **0 C.O.P.**, άρα και η απορροφούμενη ισχύς από το συμπιεστή (εξοικονόμηση). Προσοχή όμως, στην αυξημένη πίεση αναρρόφησης, πρέπει να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία (μέσω του ΔT).

Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΨΥΚΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ

Ένα ψυκτικό συγκρότημα αποτελείται από διάφορα συστατικά, όπως φαίνεται στο σχέδιο του ψυκτικού κύκλου. Η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το τρόπο που συνεργάζονται μεταξύ τους και από τις βασικές παραμέτρους που προκύπτουν από την ισορροπία του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι παράμετροι - κλειδιά είναι η πίεση (θερμοκρασία) αναρρόφησης και η πίεση (θερμοκρασία) συμπύκνωσης. Η πρώτη πρέπει να

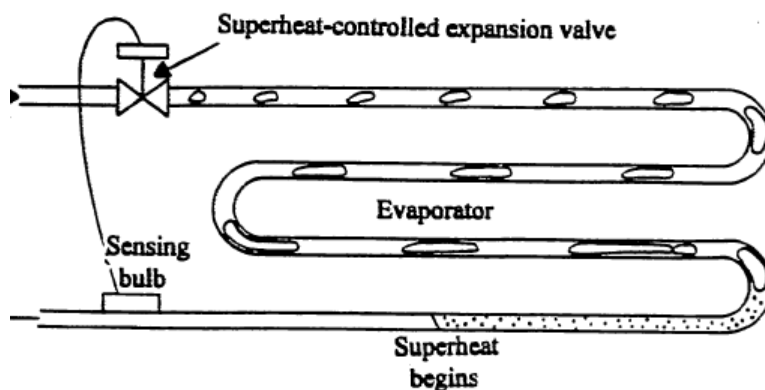
είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και η δεύτερη όσο το δυνατόν μικρότερη (ελαχιστοποίηση βήματος συμπίεσης).

ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

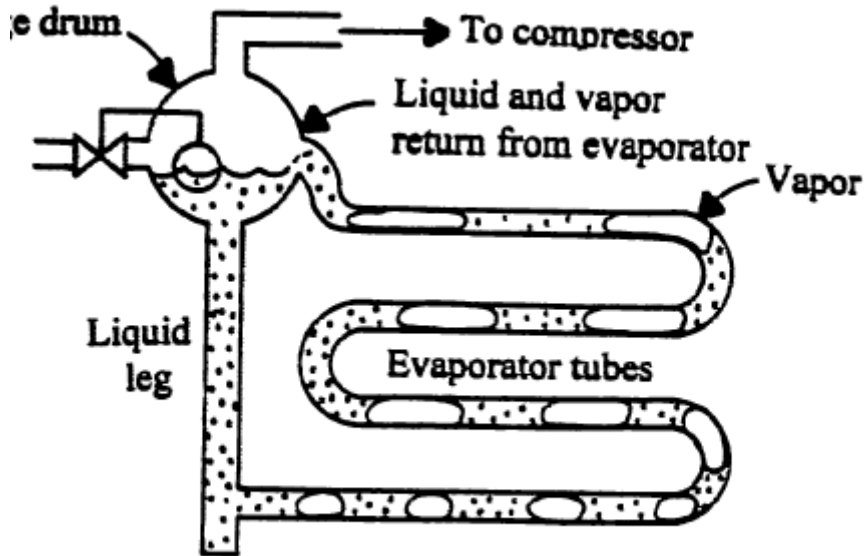
- ❑ Η μελέτη ενός συγκροτήματος ψύξης πρέπει να καθοδηγείται από αρχές εξοικονόμησης. Άστοχες επιλογές μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της κατανάλωσης 200 – 300%.
- ❑ Επιλογές με βάση την ελαχιστοποίηση αρχικού κόστους είναι λάθος, που μπορεί να οδηγήσει σε 2-3 φορές μεγαλύτερο κόστος ζωής της επένδυσης (life cost).
- ❑ Προσοχή στο σχεδιασμό και την επιλογή των κύριων συστατικών του κυκλώματος :
 - Αρχή λειτουργίας ψυκτικού κυκλώματος (DX, FLOODED, OVERFEED)
 - Επιλογή ψυκτικού ρευστού
 - Δευτερογενή ψυκτικά ρευστά ?
 - Μονοβάθμιο ή διβάθμιο σύστημα συμπίεσης ?
 - Τύπος, αριθμός και μέγεθος συμπιεστών
 - Τύπος και μέγεθος εξατμιστών
 - Τύπος και μέγεθος συμπυκνωτών
 - Ψυκτικά δίκτυα

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

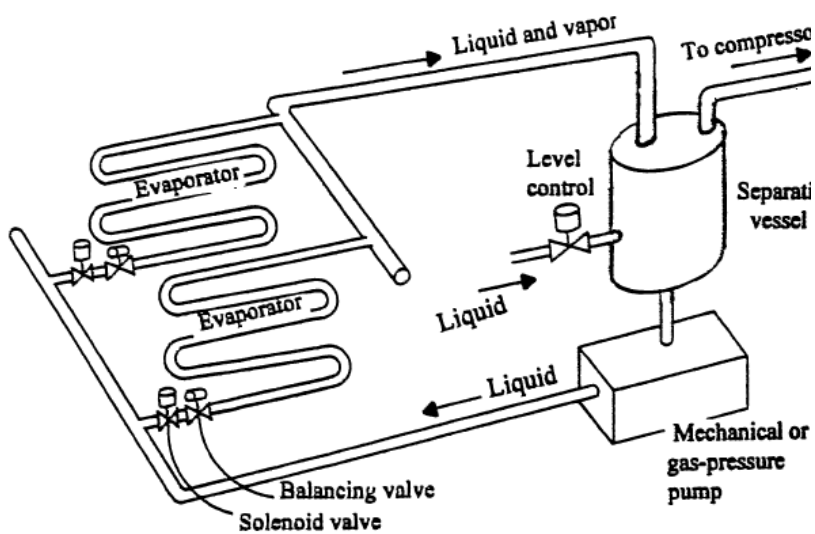
1. Κατευθείαν εκτόνωση (direct expansion)



2. Πλημμυρισμένος εξαμιστής (flooded evaporator)



3. Υπερπλήρωση με αντλία (overfeed)



ΕΠΙΛΟΓΗ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ (REFRIGERANT)

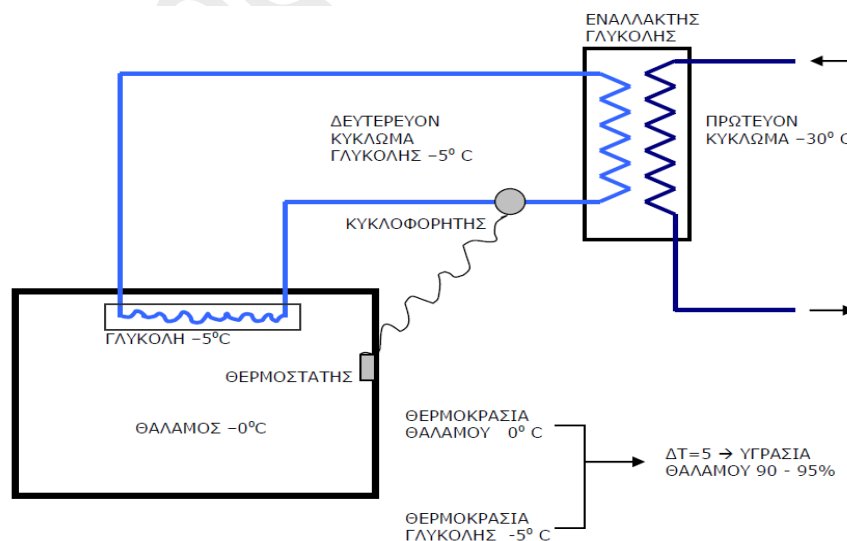
- ❑ **ΑΡΧΗ 1** : Η εξάτμιση να γίνεται σε πίεση > ατμοσφαιρικής (όχι διείσδυση αέρα και υγρασίας στο κύκλωμα).
- ❑ **ΑΡΧΗ 2** : Ο ειδικός όγκος του αερίου στην αναρρόφηση του συμπιεστή να μην είναι πολύ μεγάλος (μεγάλοι συμπιεστές – μεγάλες σωληνώσεις).
- ❑ **ΑΡΧΗ 3** : Η κρίσιμη θερμοκρασία (τριπλό σημείο) να απέχει αρκετά από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης (μεγαλύτερη λανθάνουσα συμπύκνωσης).
- ❑ **ΑΡΧΗ 4** : Όσο μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού μέσου κυκλοφορεί, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πτώσεις πιέσεων (κακό).
- ❑ **ΑΡΧΗ 5** : Προτιμήστε ρευστά με χαμηλό μοριακό βάρος (μικρές πτώσεις πίεσης) και χαμηλό ιξώδες (καλή θερμική μεταφορά) .
- ❑ **ΑΡΧΗ 6** : Να έχει μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα στη θερμοκρασία εξάτμισης (μικρή παροχή μάζας). Επιλέξτε μέγιστο λόγο «λανθάνουσα θερμότητα / ειδικός όγκος» σε ατμοσφαιρική πίεση (1^η αμμωνία, 2^ο R-410^a).
- ❑ **ΑΡΧΗ 7** : Αποφύγετε ψυκτικά ρευστά με επίδραση στο φαινόμενο θερμοκηπίου. Η ΕΕ έχει δηλώσει ότι μετά το 2011 θα καταργήσει στα αυτοκίνητα αέρια με GWP > 149
- ❑ **ΑΡΧΗ 8** : Εφόσον χρησιμοποιήσετε αμμωνία, ακολουθήστε κανονισμούς ασφάλειας σε κατασκευή και λειτουργία.
- ❑ **ΑΡΧΗ 9** : Μελετήστε προσεκτικά το πίνακα με τις βασικές ιδιότητες ψυκτικών ρευστών, που συνήθως προσφέρονται σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης. Το ιδανικό είναι οι συγκρίσεις να γίνουν στις συνθήκες λειτουργίας.
- ❑ **ΑΡΧΗ 10** : Μελετήστε συγκριτικούς πίνακες κατασκευαστών συμπιεστών, για δεδομένο συμπιεστή και συνθήκες λειτουργίας και διαφορετικά ψυκτικά ρευστά. Επιλέξτε το Ψ.Ρ. που προσφέρει το μεγαλύτερο C.O.P. στις δικές σας συνθήκες λειτουργίας.
- ❑ **ΑΡΧΗ 11** : Μελετήστε την επίδραση που έχει η διαλυτότητα του λαδιού λίπανσης των συμπιεστών στο ψυκτικό ρευστό. Λάβετε τα κατάλληλα μέτρα κατά το σχεδιασμό του κυκλώματος. Τα ψυκτικά ρευστά που είναι αδιάλυτα με το λάδι (αμμωνία) υπερτερούν.

Δεν υπάρχει το ιδανικό ψυκτικό ρευστό. Επιλέξτε προσεκτικά το αποδοτικότερο για τη δική σας εφαρμογή.

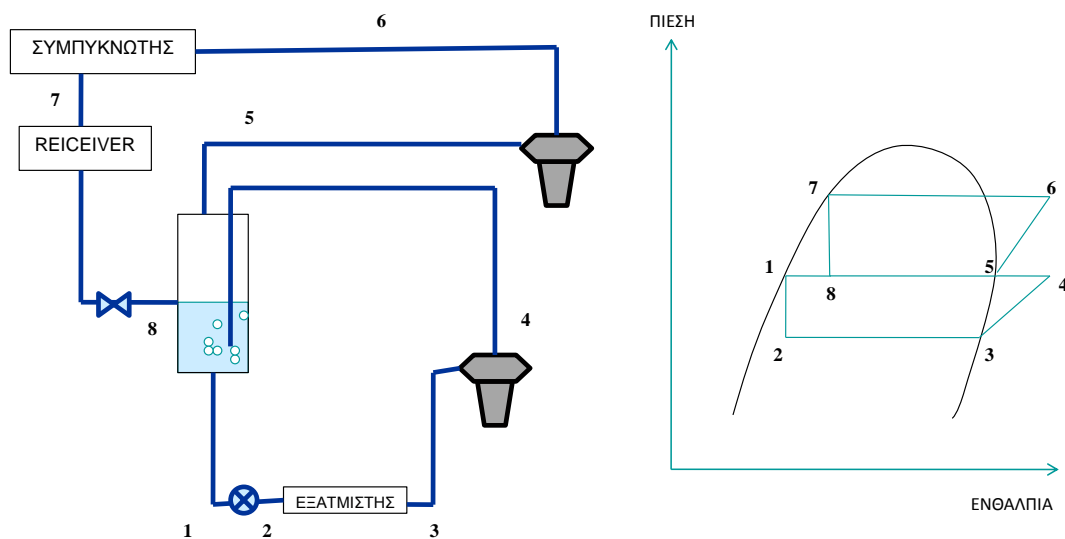
Η ΑΜΜΩΝΙΑ (ΦΥΣΙΚΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΡΕΥΣΤΟ)

- ❑ Πολύ μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (H1)
- ❑ Απαιτεί μεγάλο έργο συμπίεσης (H2) (μεγάλος ειδικός όγκος στην αναρρόφηση συμπίεστη)
- ❑ Ανεβάζει μεγάλη θερμοκρασία στη κατάθλιψη (συχνά $> 100^{\circ}\text{C}$)
- ❑ Έχει χαμηλό μοριακό βάρος (μικρές πτώσεις πίεσης)
- ❑ Έχει μικρό ιξώδες (μικρές τριβές, καλή θερμική αγωγιμότητα)
- ❑ Έχει πολύ ψηλό κρίσιμο σημείο (132°C)
- ❑ Έχει αμελητέο δείκτη GWP (< 1)
- ❑ Είναι πολύ φθηνή
- ❑ Είναι κατάλληλη για συστήματα ελάχιστης ποσότητας ψυκτικού ρευστού (miniref), σε συνδυασμό με δευτερογενές Ψ.Μ. (γλυκόλη). Αμμωνία μόνο στο μηχανοστάσιο.
- ❑ Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ($< -40^{\circ}\text{C}$) έχει μεγάλο ειδικό όγκο (μεγάλος συμπίεστής)
- ❑ Έχει κλάση επικινδυνότητας B2 (ειδικά μέτρα ασφάλειας)
- ❑ Σε συγκριτικές μελέτες υπερτερεί έναντι αλογονανθράκων (εξοικονόμηση περίπου 20%)
- ❑ Μέχρι σήμερα δεν έχει ευρεία χρήση σε ερμητικά συστήματα, λόγω διαβρωτικότητας στο χαλκό και υποτονικής ψύξης του μοτέρ λόγω μικρής παροχής.
- ❑ Ήδη έχουν εξελιχθεί ημερημιακές μικρές μονάδες αμμωνίας μικρομεσαίου μεγέθους.

ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΨΥΞΗ ΜΕ ΓΛΥΚΟΛΗ



ΔΙΒΑΘΜΙΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗ (ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ)



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΧΛΙΩΤΩΝ – ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

- Οι κοχλιωτοί είναι μικρότερου μεγέθους για δεδομένο φορτίο
- Οι κοχλιωτοί δύσκολα συντηρούνται με εσωτερικό δυναμικό
- Οι κοχλιωτοί μπορούν να λειτουργήσουν με λόγους συμπίεσης > 9
- Οι παλινδρομικοί είναι ακριβότεροι στη συντήρηση
- Το σύστημα λίπανσης των κοχλιωτών είναι περίπλοκο
- Ο κοχλιωτός επιτρέπει τη πλευρική λήψη ενδιάμεσης πίεσης (side port) για ήπιες ψύξεις (π.χ. Ράμπες) και υποψύξεις ψυκτικού μέσου
- Οι κοχλιωτοί σήμερα προτιμώνται σε νέες εγκαταστάσεις
- Οι παλινδρομικού έχουν πρόβλημα σε λόγους συμπίεσης > 8
- Οι παλινδρομικοί αποφορτίζουν καλύτερα