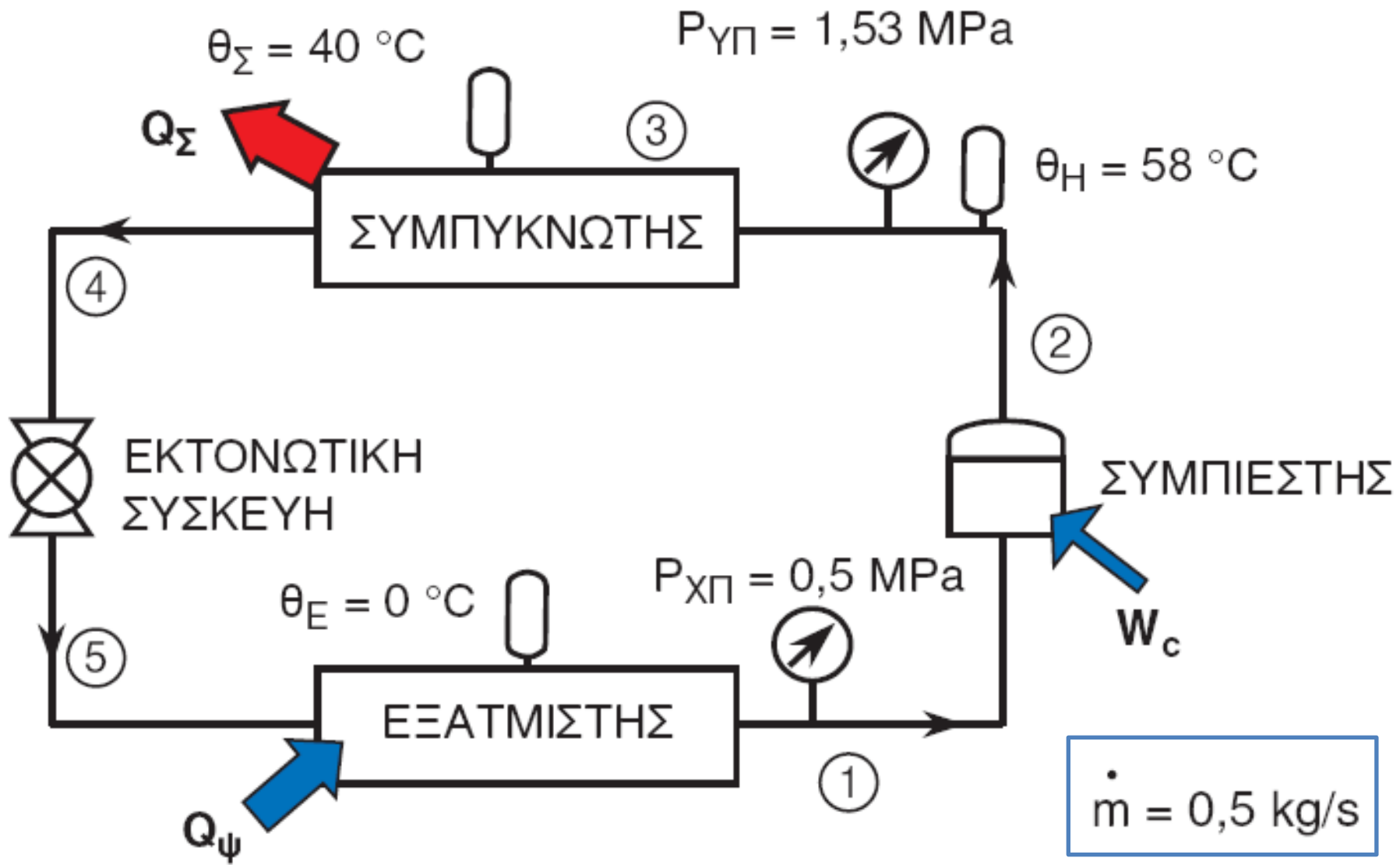


Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ Ο ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ P-h

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ – Ο ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ P-h

A. Χωρίς υπερθέρμανση και υπόψυξη



- Βασική διαπίστωση είναι ότι η ψυκτική διάταξη είναι ένα κλειστό κύκλωμα κυκλοφορίας του ψυκτικού ρευστού, μέσα στο οποίο γίνονται όλες οι μεταβολές της κατάστασής του.
- Όπως έχουμε ήδη τονίσει στην παρ. 1.1.1, η θερμοκρασία στην οποία το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται ή συμπυκνώνεται, εξαρτάται από την πίεση. Συνεπώς, **οι τιμές των δύο πιέσεων που επικρατούν στη διάταξη καθορίζουν τις θερμοκρασίες εξαέρμισης και συμπύκνωσης του ψυκτικού.**

ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΣ: $P_{\chi\Pi} = P_{AN}$ \rightarrow θερμοκρασία εξαέρμισης θ_E

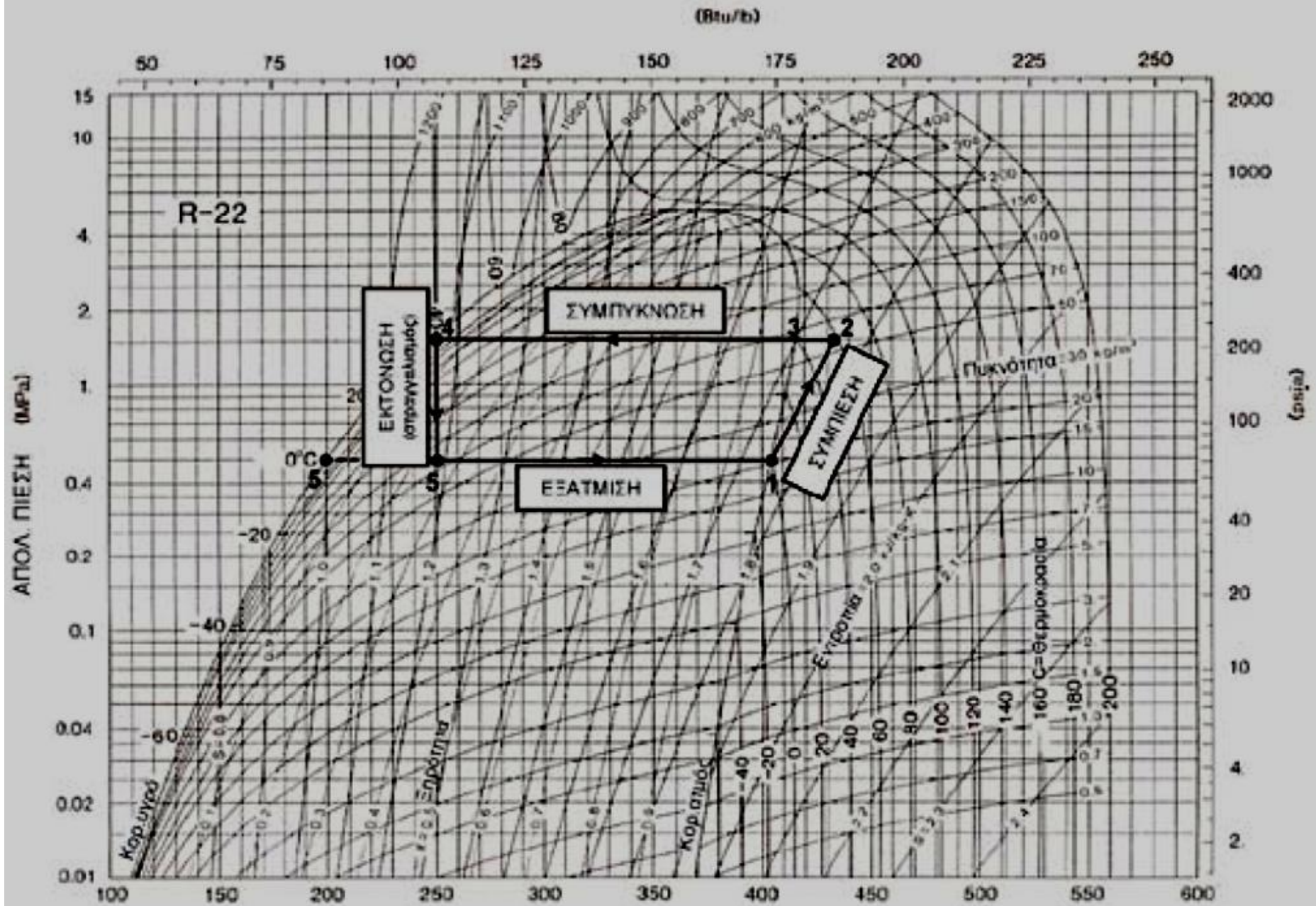
ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ: $P_{\Upsilon\Pi} = P_{KAT}$ \rightarrow θερμοκρασία συμπύκνωσης θ_Σ

($P_{\chi\Pi}$: χαμηλή πίεση $P_{\Upsilon\Pi}$: υψηλή πίεση P_{AN} : πίεση αναρρόφησης P_{KAT} : πίεση κατάθλιψης)

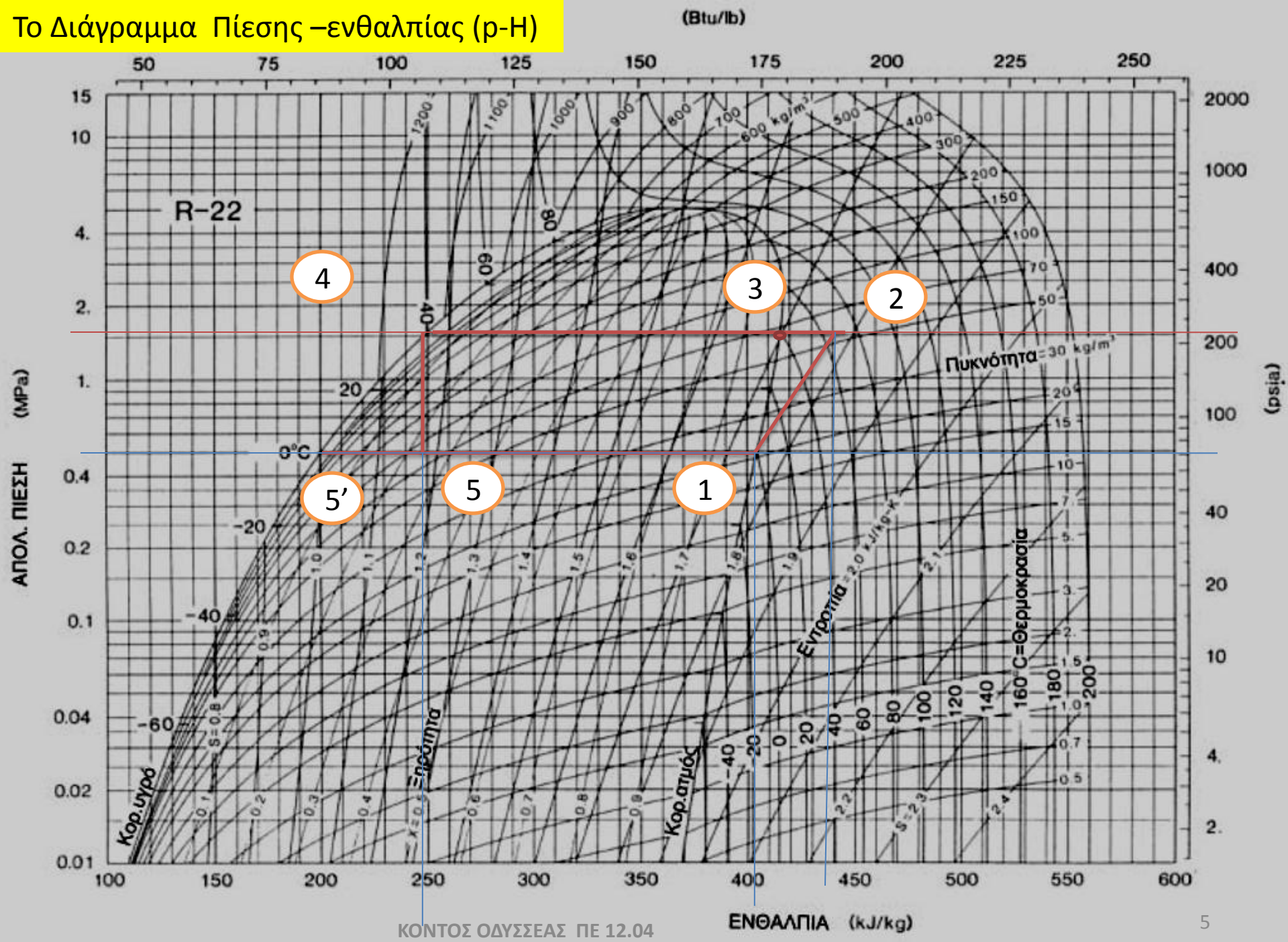
ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ:

λόγος συμπίεσης

$$\frac{P_{KAT}}{P_{AN}} = CR$$



Το Διάγραμμα Πίεσης –ενθαλπίας (p-H)



Μεταβολή	Είδος μεταβολής	Ψυκτικό μέσο	
5 → 1	Εξάτμιση (ισόθλιπτη)	Παίρνει θερμότητα	Απορροφάται θερμότητα από το “Ψυχροδοχείο”
1 → 2	Συμπίεση (ισεντροπική)	Παίρνει ενέργεια (μηχανικό έργο)	Δαπανάται μηχανική ενέργεια
2 → 3 → 4	Συμπύκνωση (ισόθλιπτη)	Χάνει θερμότητα	Αποβάλλεται θερμότητα στο “Θερμοδοχείο”
4 → 5	Εκτόνωση (ισενθαλπική)	Από υγρό Υ.Π. γίνεται υγρός ατμός Χ.Π	(Καμία ενεργειακή μεταβολή)

Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

① Το ποσό της θερμότητας που αφαιρείται από το “ψυχροδοχείο” ανά μονάδα μάζας του ψυκτικού μέσου το λέμε **ψυκτικό αποτέλεσμα**. Συμβολίζεται με q_ψ και εκφράζεται σε J/kg (συνήθως σε kJ/kg).

$$q_\psi = h_1 - h_5 \quad (\text{σε J/kg})$$

συνολικό ψυκτικό αποτέλεσμα: $Q_\psi = m \cdot (h_1 - h_5)$ (σε J)

Παροχή μάζας \dot{m} (kg/s) : Η μάζα του κυκλοφορούντος ψυκτικού ανά μονάδα χρόνου



ψυκτική ισχύ ή ψυκτική ικανότητα της διάταξης:

$$\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5) \quad (\text{σε W}) \quad (W=J/s)$$

Στο παράδειγμά μας έχουμε:

Παροχή ψυκτικού μέσου $\dot{m} = 0,5$ kg/s

$h_5 \approx 250$ kJ/kg και $h_1 \approx 405$ kJ/kg

(1 KW = 860 Kcal/h)

Οπότε: $\dot{Q}_\psi = 0,5 \cdot (405 - 250) = \mathbf{77,5}$ kW $\approx 77,5 \times 860 = 66650$ kcal/h

② Το έργο που χρειάζεται ο ψυκτικός κύκλος για να λειτουργήσει, δίδεται στη φάση της συμπίεσης $1 \rightarrow 2$ και αυξάνει την ενθαλπία του μέσου. Η μεταβολή στην ενθαλπία του ψυκτικού μέσου που οφείλεται στη συμπίεση, δηλαδή η **διαφορά $h_2 - h_1$, λέγεται και θερμότητα συμπίεσης h_c** και εκφράζεται σε J/kg.

$$\text{Συνολικό έργο: } W = m \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{σε J})$$

$$\text{Ισχύς συμπιεστή: } W_c = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{σε W})$$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 1: Αν οι ενθαλπίες είναι σε kJ/kg, τότε η ισχύς του συμπιεστή θα υπολογιστεί σε kW.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 2: Και η ψυκτική ικανότητα και η ισχύς του συμπιεστή, εκφράζονται σε μονάδες ισχύος. Απλώς, **την ψυκτική ικανότητα, επειδή αφορά μεταφορά θερμότητας, την εκφράζουμε συνήθως σε μονάδες θερμικής ισχύος, δηλ. σε kcal/h (ή Btu/h ή RT) ενώ την ισχύ του συμπιεστή σε kW (ή PS).**

Στο παράδειγμά μας έχουμε:

Παροχή ψυκτικού μέσου $\dot{m} = 0,5 \text{ kg/s}$

$h_2 \approx 433 \text{ kJ/kg}$ και $h_1 \approx 405 \text{ kJ/kg}$

Οπότε: $W_c = 0,5 \cdot (433 - 405) = \mathbf{14 \text{ kW}} \approx 14 \times 1,36 \approx 19 \text{ Ps}$

- ③ Το ποσό της θερμότητας που απορρίπτεται στο “θερμοδοχείο” και το οποίο απαιτείται για να υγροποιηθεί μια μονάδα μάζας ατμών του ψυκτικού μέσου είναι η **θερμότητα συμπύκνωσης**. Συμβολίζεται με q_Σ και εκφράζεται σε J/kg (συνήθως σε kJ/kg).

$$q_\Sigma = h_2 - h_4 \quad (\text{σε J/kg})$$

Ισχύς συμπύκνωσης : $\dot{Q}_\Sigma = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4) \quad (\text{σε W})$

Στο παράδειγμά μας έχουμε:

Παροχή ψυκτικού μέσου $\dot{m} = 0,5 \text{ kg/s}$

$h_5 = h_4 \approx 250 \text{ kJ/kg}$ και $h_2 \approx 433 \text{ kJ/kg}$

Οπότε: $Q_\Sigma = 0,5 \cdot (433 - 250) = \mathbf{91,5 \text{ kW}} \approx 91,5 \times 860 = 78690 \text{ kcal/h}$

- Για όλον τον κύκλο ισχύει:

$$\dot{Q}_{\Sigma} = \dot{Q}_{\psi} + W_c$$

Γενικά πρέπει να θυμόμαστε ότι: Σε κάθε (θεωρητική) ψυκτική διάταξη η ισχύς του συμπυκνωτή θα ισούται με το άθροισμα της ισχύος του συμπιεστή και της ψυκτικής ισχύος της διάταξης.

Στο παράδειγμά μας έχουμε:

$$77,5 + 14 = 91,5 \text{ kW} \quad \text{ή} \quad 66650 + 12040 = 78690 \text{ kcal/h}$$

(Διαπιστώσετε γιατί τα 14 kW της ισχύος του συμπιεστή ισούνται με 12040 kcal/h)

Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ COP

όσο μεγαλύτερο \dot{Q}_ψ μπορούμε να πάρουμε δίνοντας ένα ορισμένο W , **τόσο πιο αποτελεσματική** θα είναι η ψυκτική διάταξη.

όσο μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ \dot{Q}_ψ έχει μια ψυκτική διάταξη, απορροφώντας μια ορισμένη ισχύ του συμπιεστή W_C , **τόσο πιο αποτελεσματική** θα είναι.

$$\text{COP}_\theta = \frac{(\text{Ψυκτική Ισχύς})_\theta}{(\text{Ισχύς Συμπιεστή})_\theta} = \frac{\dot{Q}_{\psi,\theta}}{W_{C,\theta}} \quad (\text{θεωρητικός})$$

Πρακτικά ο συντελεστής συμπεριφοράς μας δείχνει **το πόσο πολλαπλάσια** είναι η ψυκτική ισχύς από την ισχύ του συμπιεστή

Στο παράδειγμα μας: $\dot{Q}_\psi = 77,5 \text{ kW}$
 $W_C = 14 \text{ kW}$ \rightarrow $\text{COP}_\theta = \frac{\dot{Q}_\psi}{W_C} = \frac{77,5}{14} = 5,53$

Επίσης ισχύει:

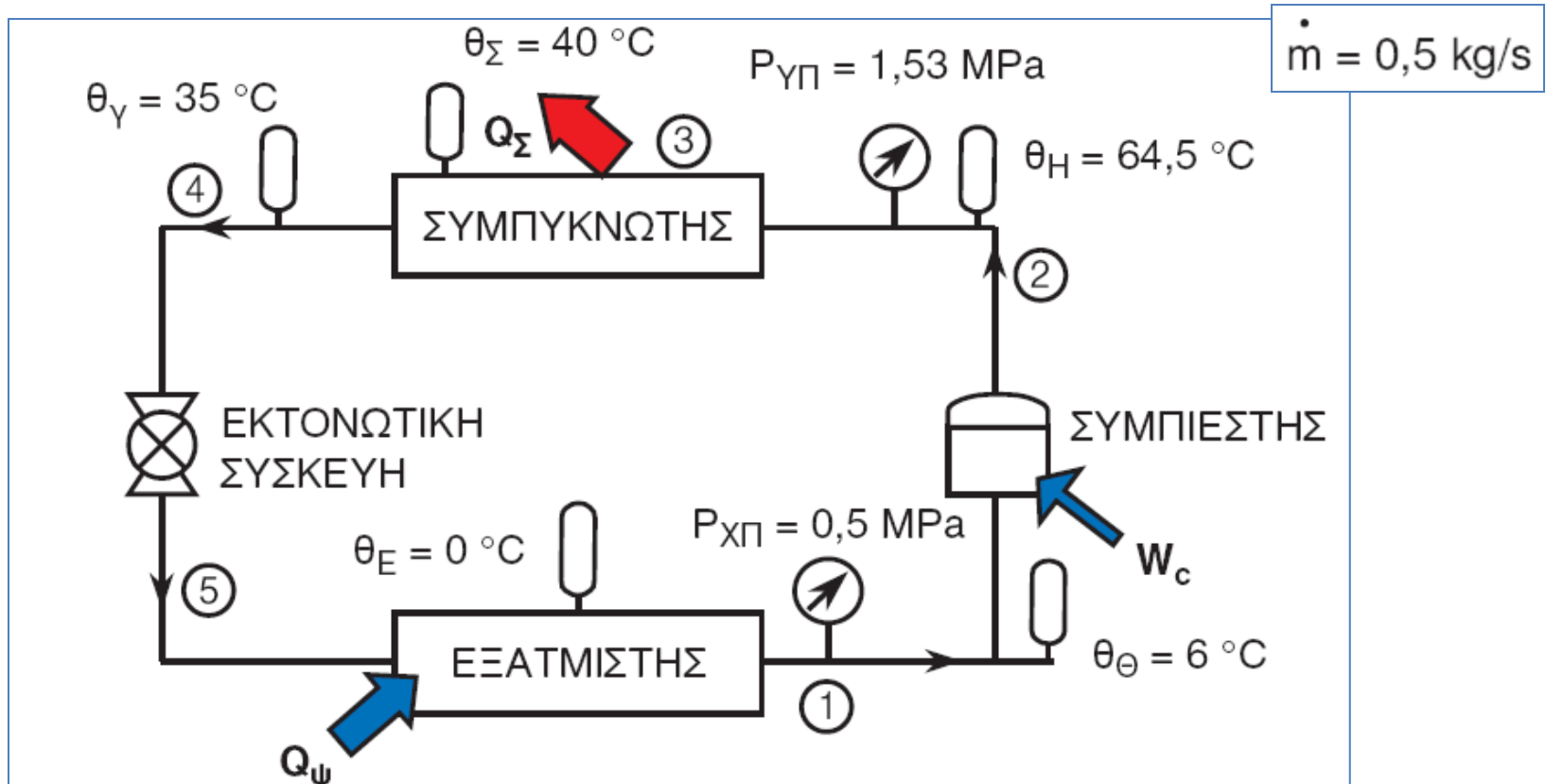
$$\text{COP}_\theta = \frac{\dot{Q}_\psi}{W_C} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} \rightarrow \text{COP}_\theta = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} = \frac{405 - 250}{433 - 405} = \frac{155}{28} = 5,53$$

πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς COP_{π}

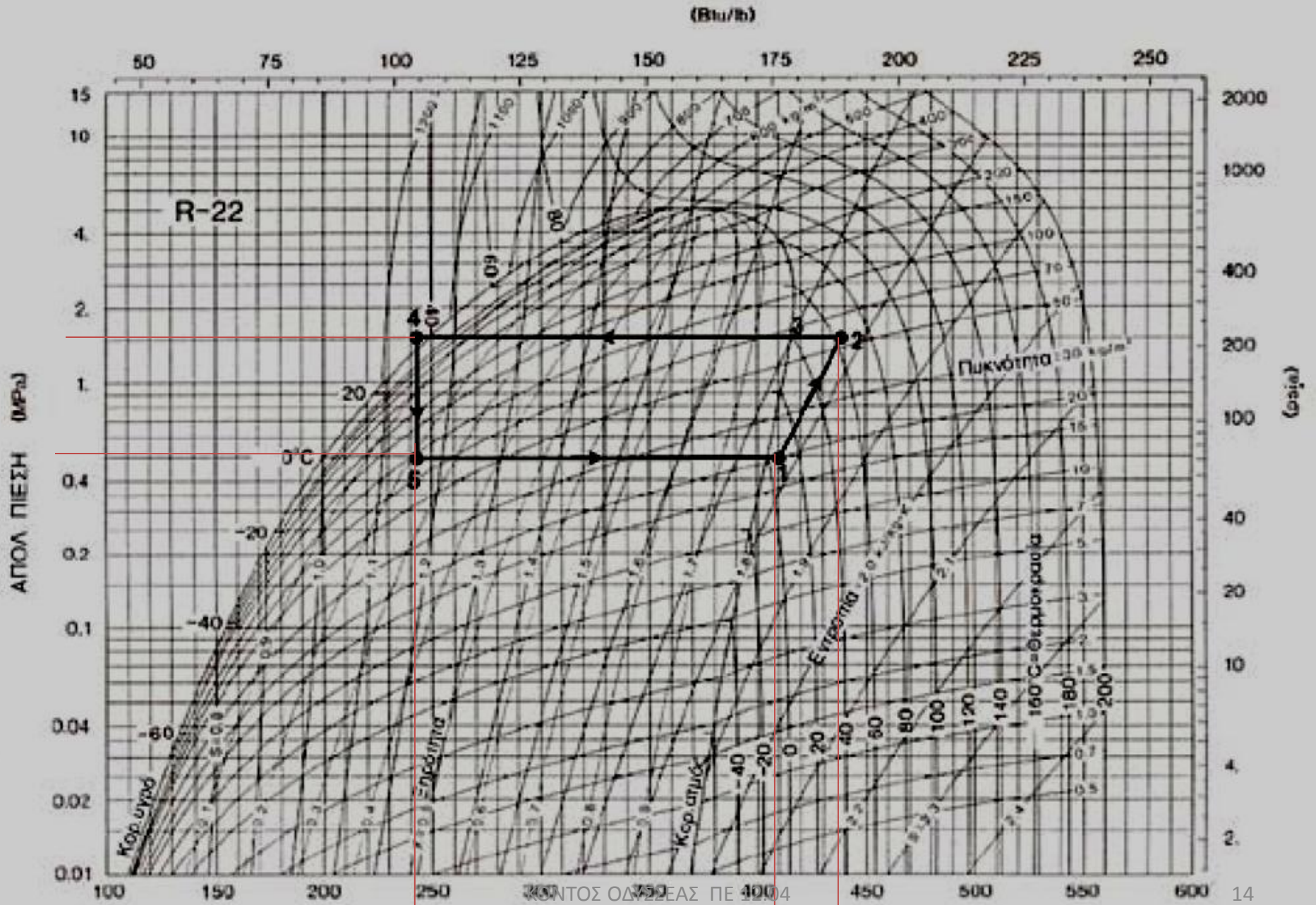
$$COP_{\pi} = \frac{(\Psiυκτική Ισχύς)_{\pi}}{(\text{Ισχύς Συμπιεστή})_{\pi}} = \frac{\dot{Q}_{\psi,\pi}}{W_{C,\pi}}$$

Συνήθως $Q_{\psi,\pi} < Q_{\psi,\theta}$ και $W_{C,\pi} > W_{C,\theta}$ συνεπώς: $(COP)_{\pi} < (COP)_{\theta}$

ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΨΥΞΗ



- έχουμε υπερθέρμανση κατά 6°C , οπότε στην έξοδο από τον εξατμιστή έχουμε υπέρθερμο ατμό, στην ίδια πίεση (Χ.Π.), αλλά θερμοκρασίας $0^{\circ}\text{C} + 6^{\circ}\text{C} = 6^{\circ}\text{C}$.
- έχουμε υπόψυξη κατά 5°C , οπότε στην είσοδο της εκτονωτικής συσκευής έχουμε υπόψυκτο υγρό, στην ίδια πίεση (Υ.Π.), αλλά θερμοκρασίας $40^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C}$.



Υπερθέρμανση επιδιώκουμε να έχουμε πάντοτε, γιατί έτσι αποφεύγουμε τον κίνδυνο να υπάρχει στην αναρρόφηση του συμπιεστή έστω και μικρή ποσότητα υγρού ατμού, δηλαδή σταγονίδια υγρού ψυκτικού μέσου, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιές στο συμπιεστή.

Από την άλλη πλευρά, η υπερθέρμανση παρουσιάζει **το μειονέκτημα ότι μειώνει τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή**, προκύπτει αύξηση του καταναλισκόμενου έργου και τελικά ίσως μείωση του COP_{θ} . (Ειδικά όταν η υπερθέρμανση γίνεται έξω από τον εξατμιστή).

● **ψυκτική ισχύς** $\dot{Q}_{\psi} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5)$ $h_1 \approx 410 \text{ kJ/kg}$ $h_5 \approx 243 \text{ kJ/kg}$

Οπότε: $Q_{\psi} = 0,5 \cdot (410 - 243) = \mathbf{83,5 \text{ kW}} \approx 83,5 \times 860 = 71810 \text{ kcal/h}$

Δηλαδή, **η ψυκτική ισχύς αυξήθηκε** κατά 6 kW.

● **ισχύς συμπιεστή** $W_C = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$ $h_1 \approx 410 \text{ kJ/kg}$ $h_2 \approx 439 \text{ kJ/kg}$

Οπότε: $W_C = 0,5 \cdot (439 - 410) = \mathbf{14,5 \text{ kW}} \approx 14,5 \times 1,36 \approx 19,7 \text{ Ps}$

η απαιτούμενη ισχύς του συμπιεστή αυξήθηκε κατά 0,5 kW

- **ισχύ συμπύκνωσης**

$$\dot{Q}_\Sigma = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4) \quad \begin{array}{l} h_5 = h_4 \approx 243 \text{ kJ/kg} \\ h_2 \approx 439 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

Οπότε: $Q_\Sigma = 0,5 \cdot (439 - 243) = \mathbf{98 \text{ kW}} \approx 98 \times 860 = 84280 \text{ kcal/h}$

Και η ισχύς συμπύκνωσης αυξήθηκε κατά 6,5 kW, όπως είναι λογικό.

- Η ισότητα $\dot{Q}_\Sigma = \dot{Q}_\psi + W_C$, ισχύει και πάλι:

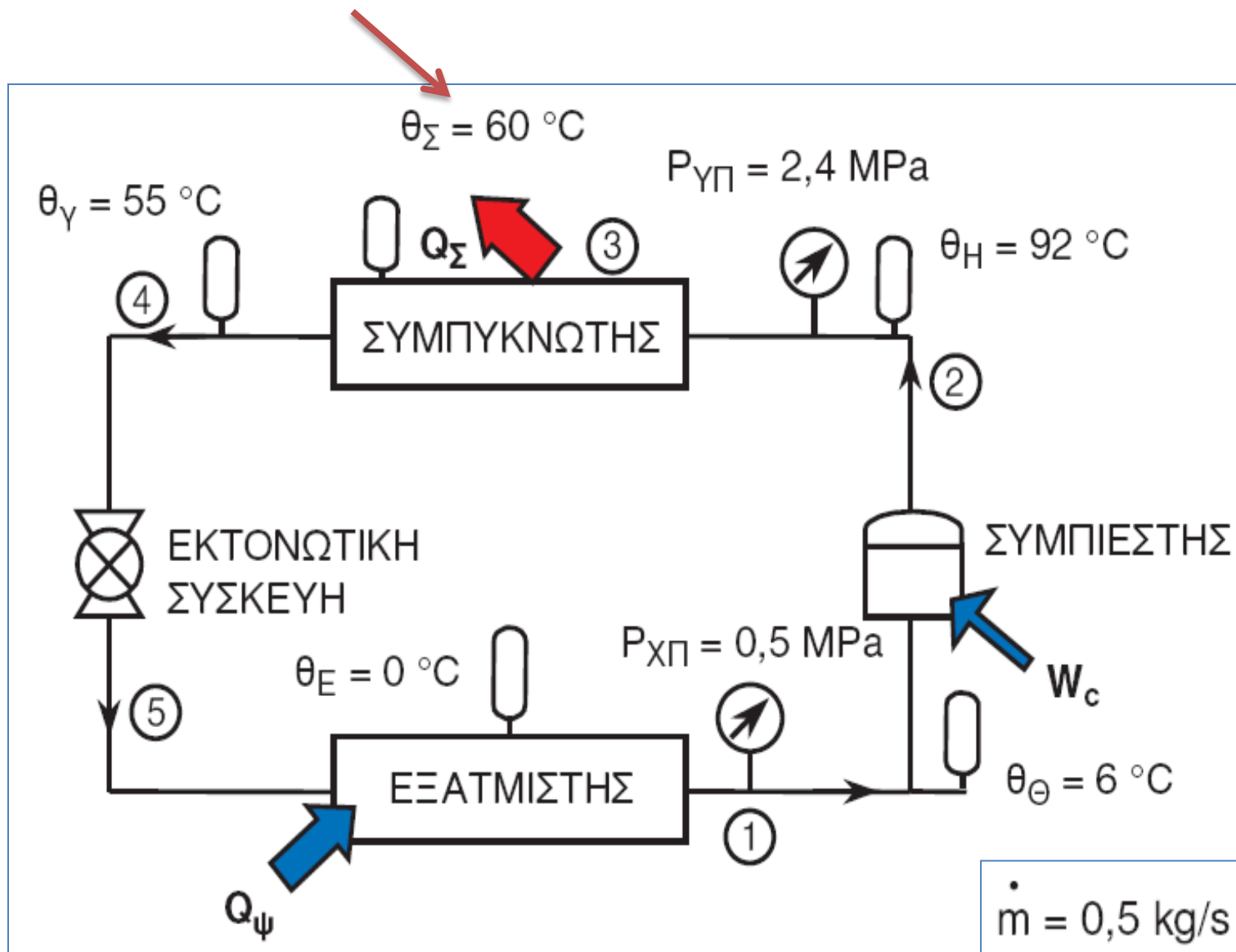
Πράγματι: $83,5 + 14,5 = 98 \text{ kW}$ ή $71810 + 12470 = 84280 \text{ kcal/h}$

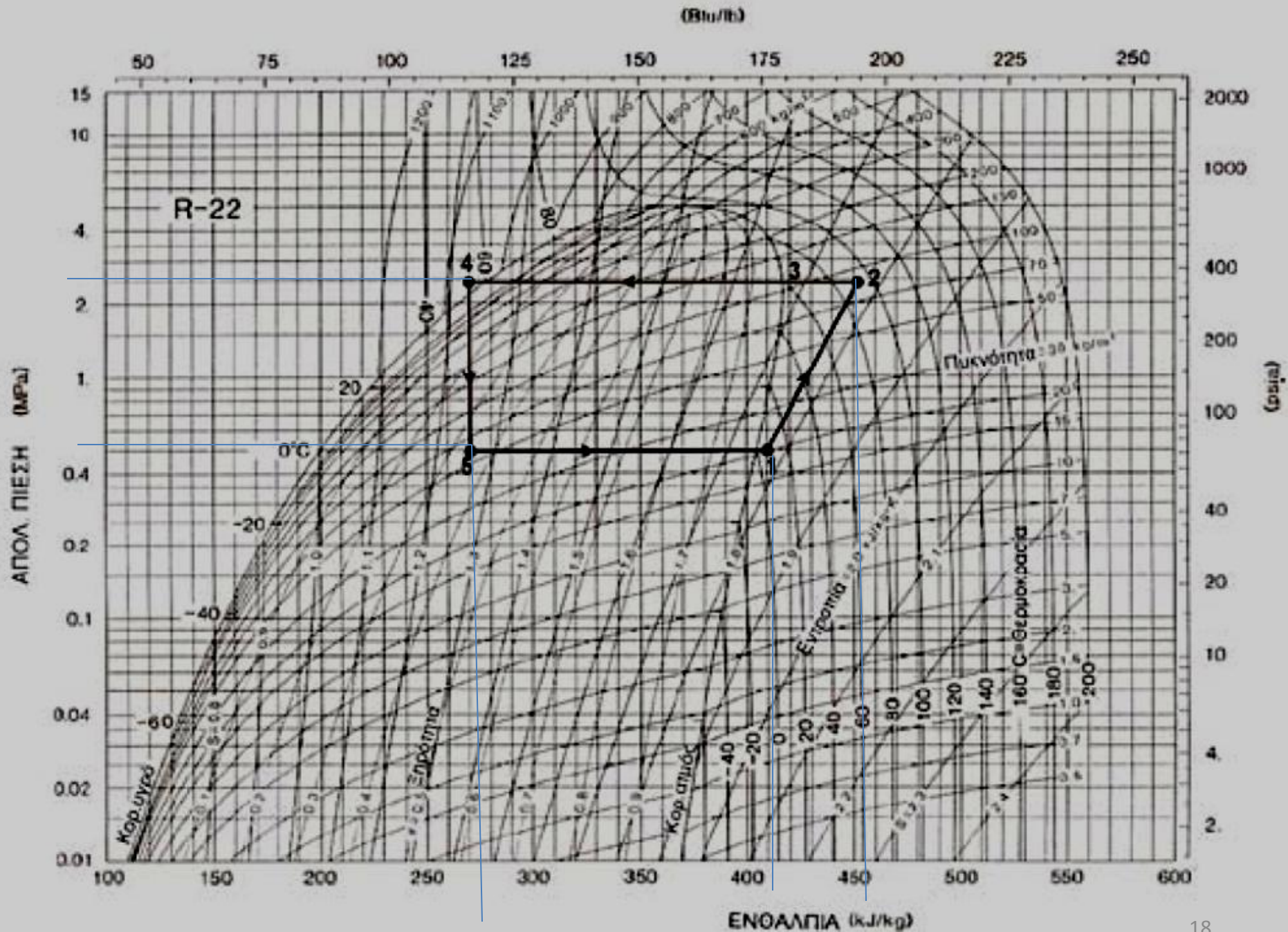
- Ο νέος (θεωρητικός) συντελεστής συμπεριφοράς θα είναι τώρα:

$$\text{COP}_\theta = \frac{\dot{Q}_\psi}{W_C} = \frac{83,5}{14,5} = 5,76$$

Δηλαδή, πράγματι, **ο COP_θ αυξήθηκε σ' αυτήν την περίπτωση.**

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΥΜΠΙΚΝΩΣΗΣ





- $CR = \frac{2,4}{0,5} \approx 4,8.$

- **ψυκτική ισχύ** $\dot{Q}_\psi = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5)$ $h_1 \approx 410 \text{ kJ/kg}$ $h_5 \approx 270 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{Q}_\psi = 0,5 \cdot (410 - 270) = \mathbf{70 \text{ kW}} \approx 70 \times 860 = 60200 \text{ kcal/h}$$

η ψυκτική ισχύς μειώθηκε κατά $83,5 - 70 = 13,5 \text{ kW}.$

- **ισχύς συμπίεστή** $W_C = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$ $h_2 \approx 451 \text{ kJ/kg}$ και $h_1 \approx 410 \text{ kJ/kg}$

$$W_C = 0,5 \cdot (451 - 410) = \mathbf{20,5 \text{ kW}} \approx 20,5 \times 1,36 \approx 27,9 \text{ Ps}$$

Δηλαδή, παρά το ότι μειώθηκε η ωφέλιμη ψυκτική ισχύς, **η απαιτούμενη**

ισχύς του συμπίεστή αυξήθηκε κατά $20,5 - 14,5 = 6 \text{ kW}.$

- **ισχύς συμπύκνωσης** $\dot{Q}_\Sigma = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4)$ $h_5 = h_4 \approx 270 \text{ kJ/kg}$ $h_2 \approx 451 \text{ kJ/kg}$

$$\text{Οπότε: } \dot{Q}_\Sigma = 0,5 \cdot (451 - 270) = \mathbf{90,5 \text{ kW}} \approx 90,5 \times 860 = 77830 \text{ kcal/h}$$

Και η ισχύς συμπύκνωσης μειώθηκε κατά $98 - 90,5 = 7,5 \text{ kW}.$

- $\dot{Q}_\Sigma = \dot{Q}_\psi + W_C$ $70 + 20,5 = 90,5 \text{ kW}$ ή $60200 + 17630 = 77830 \text{ kcal/h}$

- Ο νέος (θεωρητικός) συντελεστής συμπεριφοράς θα είναι τώρα:

$$\text{COP}_{\theta} = \frac{\dot{Q}_{\psi}}{W_C} = \frac{70}{20,5} = 3,41$$

Δηλαδή, διαπιστώνουμε ότι ο **COP_θ** έχει μειωθεί σημαντικά στην περίπτωση αυτή.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Αν η θερμοκρασία εξάτμισης μειωθεί,



ο συντελεστής συμπεριφοράς COP_{θ} της ψυκτικής διάταξης θα μειωθεί.

Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρέπει να φροντίζουμε ώστε η θερμοκρασία (και επομένως και η Χ.Π.) εξάτμισης να είναι **κατά το δυνατόν υψηλή**. Εννοείται βέβαια, ότι αυτό εξαρτάται από τη χρήση της ψυκτικής διάταξης, δηλαδή από το ποια θερμοκρασία θέλουμε να έχουμε στον ψυχόμενο χώρο ή μέσο. Αναγκαστικά, η θερμοκρασία εξάτμισης θα πρέπει πάντα να είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου ή μέσου, για να μπορεί να γίνει η μεταβίβαση θερμότητας προς το ψυκτικό μέσο.