



ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Καθ. Δρ Αθηνά Στέγγου
Δρ Ζωή Σαγιά ΕΔΙΠ
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

<http://courseware.mech.ntua.gr/ml22139/>

<http://courseware.mech.ntua.gr/ml22034/>

http://www.mech.ntua.gr/gr/staff/DEP/sagia_gr

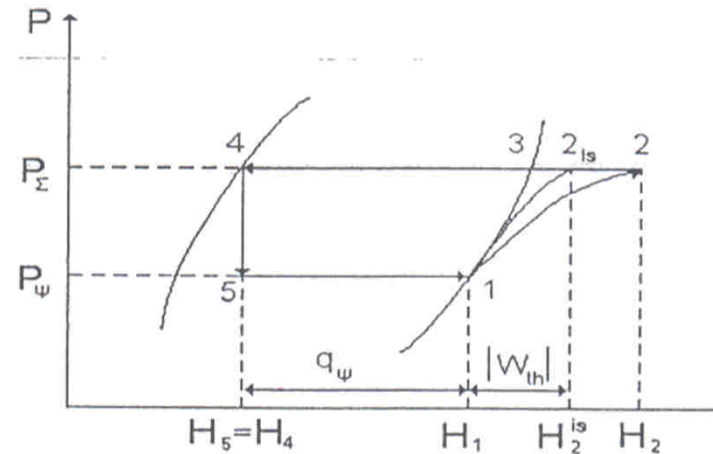
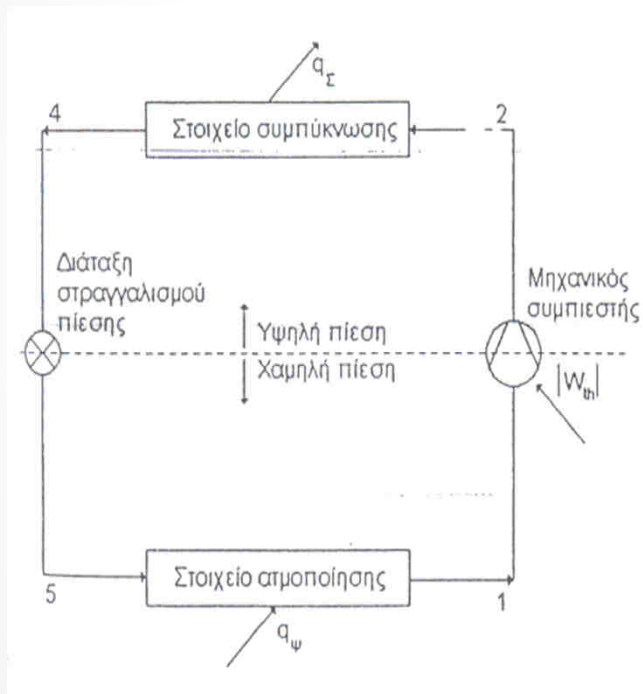


Η πλέον ουσιαστική χρήση της ψύξης είναι η αλλαγή στο τοπικό περιβάλλον έτσι που οι τροφές να διατηρούνται περισσότερο, οι άνθρωποι να αισθάνονται περισσότερη άνεση στο χώρο τους.

Οι θεσμοί που εισήχθησαν για την προστασία του περιβάλλοντος απαιτούν ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την υλοποίησή τους. Πρέπει να λειτουργήσουν ασφαλώς υπάρχοντα συστήματα ψύξης-κλιματισμού και να σχεδιαστούν νέα με προδιαγραφές σύμφωνες προς τα καθοριζόμενα στις διεθνείς συνθήκες.



Απλή ψυκτική διάταξη

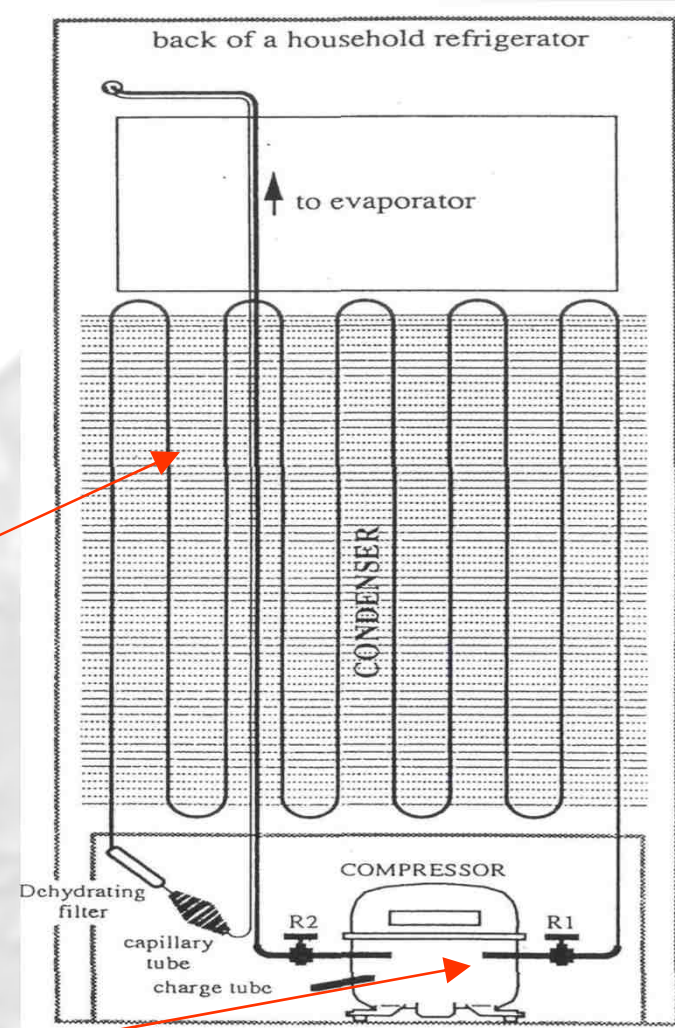




Ψυγείο

Συμπυκνωτής

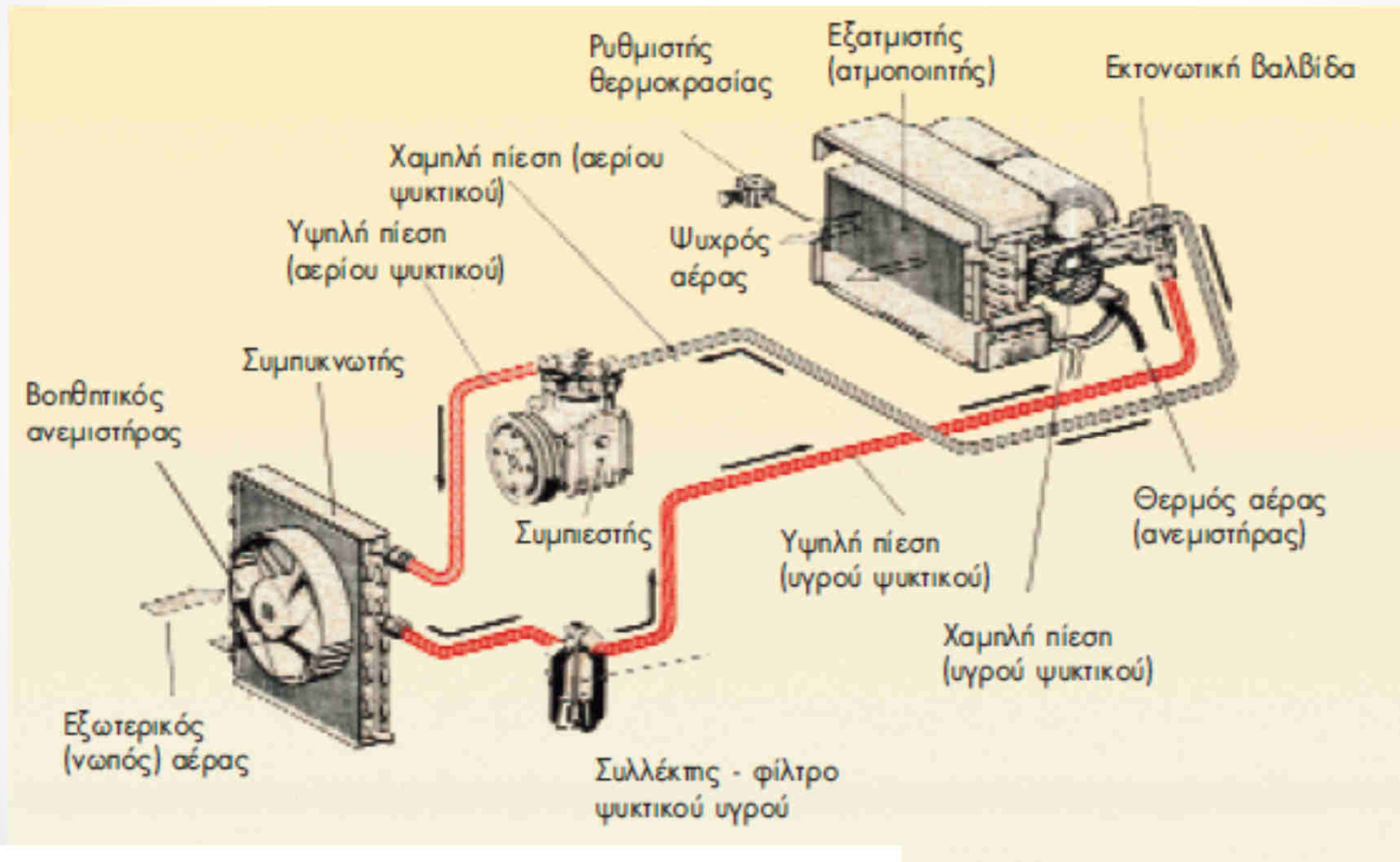
Συμπιεστής





Συγκρότημα ψυκτικής μονάδας κλιματισμού αυτοκινήτου

R-1234yf (2,3,3,3-tetrafluoropropene)



Ανδρινός, Ν., Παναγιωτίδης, Π., Παπαδόπουλος, Ν., 2001. Συστήματα Αυτοκινήτου Ι. Αθήνα: Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.

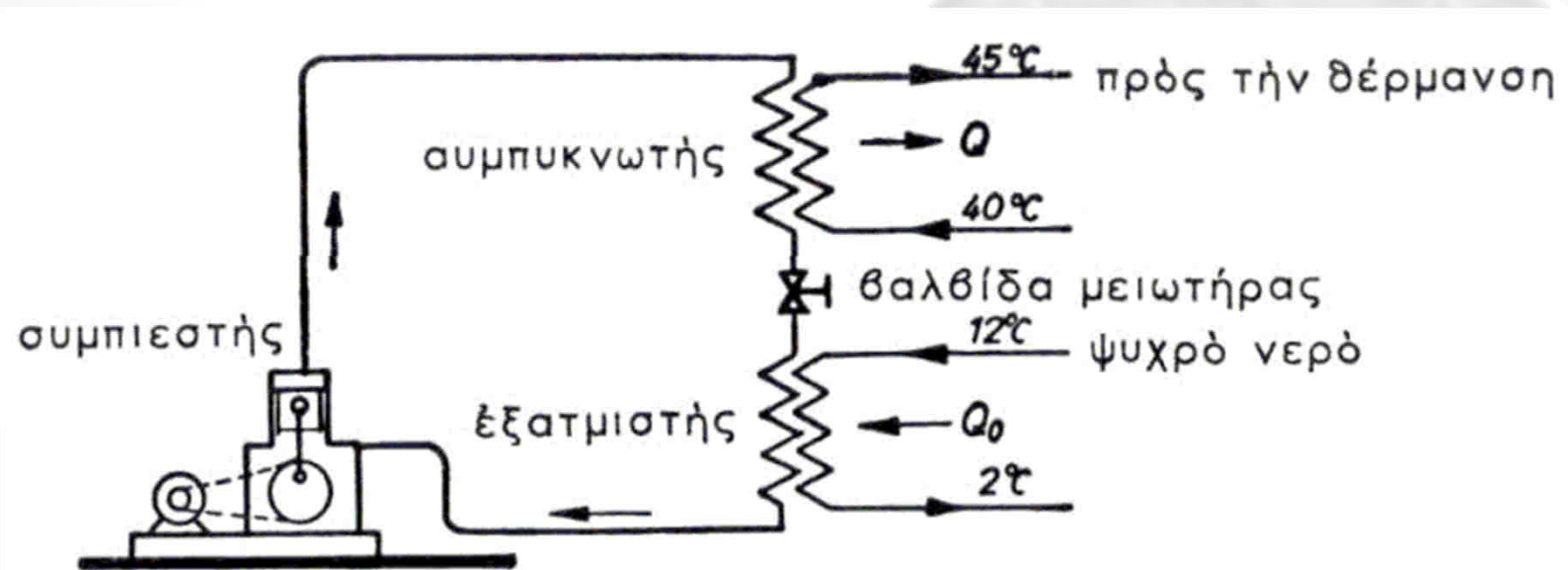


- Έχει προταθεί ως ψυκτικό μέσο σε κλιματιστικά αυτοκινήτων προς αντικατάσταση του R-134a.
- Έχει GWP 4, δηλαδή κατά 99,7% μικρότερο σε σχέση με το R-134a το οποίο έχει GWP 1430.
- Έχει ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής 11 ημέρες, δηλαδή περίπου 400 φορές μικρότερη σε σχέση με το R-134a το οποίο έχει 13 έτη.
- Άλλες ονομασίες του:
 - 2,3,3,3-τετραφθοροπροπένιο (2,3,3,3-tetrafluoropropene)
 - HFO-1234yf (όπου HFO - Hydro-Fluoro-Olefin)
 - Orteon™ yf (το εμπορικό σήμα που έχει δώσει η εταιρία DuPont)
 - Θερμοδυναμική ανάλυση του R-1234yf με χρήση της καταστατικής εξίσωσης Peng-Robinson

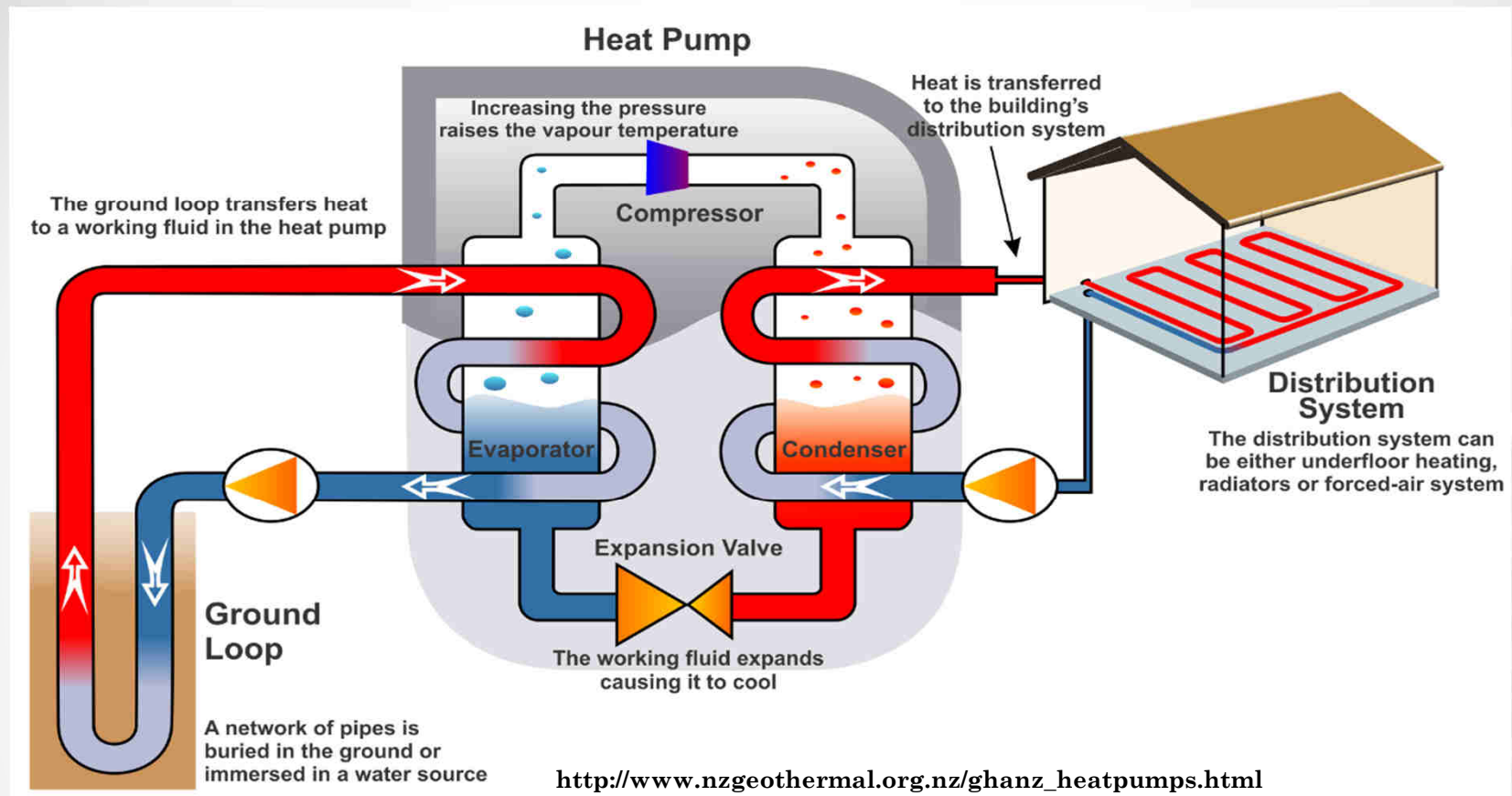
$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)+b(v-b)} = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v^2 + 2vb - b^2}$$



Αντλία Θερμότητας



Σχηματική παράσταση
μιας αντλίας θερμότητας





Ένα ρευστό για να είναι αποδεκτό ως ψυκτικό μέσο πρέπει να πληροί τα παρακάτω κριτήρια:

- i) χημική σταθερότητα και αδράνεια
- ii) να είναι μη τοξικό, μη εύφλεκτο, να μη ρυπαίνει το περιβάλλον
- iii) να διαθέτει ελκυστικές θερμοφυσικές ιδιότητες: κατάλληλες για το σύστημα θερμοκρασίες βρασμού και κρίσιμου σημείου, μικρή θερμοχωρητικότητα ατμού, μικρή συνεκτικότητα, υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- iv) να είναι ευδιάλυτο σε λιπαντικό λάδι, να έχει μικρό σημείο πήξης, να είναι συμβατό με κοινά υλικά, να είναι χαμηλού κόστους και να ανιχνεύεται εύκολα



Από το 1930, ως ψυκτικά μέσα, χρησιμοποιήθηκαν οι CFCs (χλωροφθοράνθρακες), μια οικογένεια χημικών ουσιών που αναπτύχθηκε από τον Midgley. Οι ουσίες αυτές επελέγησαν χωρίς περιορισμούς σε διάφορες δραστηριότητες: ως ψυκτικά μέσα σε συστήματα ψύξης-κλιματισμού (refrigerants), σε aerosols, στη βιομηχανία πλαστικών ως διαλυτικά μέσα, σε προϊόντα πυρόσβεσης και αλλού.



Η σύγχρονη διεθνής επιστημονική αντίληψη όμως θεωρεί ότι οι πολύ σταθερές ενώσεις τύπου CFCs έχουν καταστροφική δράση στο περιβάλλον. Η δράση του χλωρίου που προέρχεται από τους CFCs είναι η κατ' εξοχήν βάση ερμηνείας της καταστροφής του στρώματος του όζοντος.

Οι CFCs δεν είναι υδατοδιαλυτοί όπως οι περισσότερες ουσίες που περιέχουν χλώριο και δεν απομακρύνονται από την τροπόσφαιρα.

Τα μόρια τους είναι πολύ σταθερά και δεν διασπώνται στην ατμόσφαιρα αλλά ανέρχονται στη στρατόσφαιρα. Στη στρατόσφαιρα έχουμε θραύση των χημικών τους δεσμών με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, ελευθερώνοντας έτσι άτομα χλωρίου.

Αυτό το χλώριο δρα ως καταλύτης, μετατρέποντας δυο μόρια όζοντος σε τρία άτομα οξυγόνου.



ODP and GWP values of common refrigerants

Name	Formula	ODP	GWP
CFC-11	CCl_3F	1.0	1.0
CFC-12	CCl_2F_2	1.0	3.0
CFC-113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	0.8	1.4
CFC-114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	1.0	3.9



Name	Formula	ODP	GWP
CFC-115	CClF_2CF_3	0.6	7.5
HCFC-22	CHClF_2	0.055	0.36
HCFC-123	CHCl_2CF_3	0.02	0.02
HCFC-124	CHClFCF_3	0.022	0.1
HCFC-141b	$\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$	0.11	0.12
HCFC-142b	CH_3CClF_2	0.065	0.42
HCFC-225ca	$\text{CHCl}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	0.025	0.04
HCFC-225cb	$\text{CHClFCF}_2\text{CClF}_2$	0.033	0.15
HFC-32	CH_2F_2	0	0.13
HFC-125	CHF_2CF_3	0	0.84
HFC-134a	CH_2FCF_3	0	0.25
HFC-143a	CH_3CF_3	0	0.74
HFC-152a	CH_3CHF_2	0	0.03



Το μέγεθος ODP (Ozone Depletion Potential) είναι ένας συντελεστής που εκφράζει τη δράση στο στρώμα του όζοντος των ουσιών που περιέχουν χλώριο

Το μέγεθος GWP (Global Warming Potential) είναι ο δείκτης συμβολής μιας ουσίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι CFCs έχουν μεγάλη ικανότητα απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας και επομένως δρουν όπως τα αέρια του θερμοκηπίου. Το GWP μπορεί να ορισθεί σαν το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα πρόσθετης συμβολής ενός χιλιογράμμου αερίου επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα συγκρινόμενο με τη συμβολή ενός χιλιογράμμου διοξειδίου του άνθρακος.



Η συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου των CFCs π.χ. περιλαμβάνει ένα τμήμα που προέρχεται από την ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων ψύξης. Είναι κυρίως ηλεκτρική ενέργεια σε συστήματα με συμπιεστές. Η έμμεση συμβολή αντιπροσωπεύει τον αριθμό των χιλιογράμμων του CO₂ που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα για την παραγωγή κάθε ηλεκτρικής kWh που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ψύξης. Πολλά πειράματα και υπολογισμοί έχουν δείξει ότι η έμμεση συμβολή των θερμοδυναμικών συστημάτων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την άμεση που συνδέεται με τη διαφυγή των CFCs στην ατμόσφαιρα.



Είναι προφανής η ανάγκη σχεδιασμού νέων θερμοδυναμικών συστημάτων, με βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η έρευνα έχει στραφεί στη χρήση μειγμάτων υδροφθοροανθράκων (HFCs) στα συστήματα ψύξης-κλιματισμού, διότι διευρύνεται ο κατάλογος των επιλογών προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση. Επίσης προτείνεται χρήση υδρογονανθράκων με τα μειονεκτήματα της ευφλεκτότητας



Διεθνής και Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική πολιτική επί των ψυκτικών μέσων

Η Συνθήκη του Μόντρεαλ είναι η πρώτη διεθνής συμφωνία περιβαλλοντικής πολιτικής ψυκτικών διεργασιών και έγινε περισσότερο για να εμποδίσει παρά για να θεραπεύσει το πρόβλημα. Υπογράφηκε το 1987 από 49 κράτη μέλη που είχαν το 80% της κατανάλωσης (τα περισσότερα ήταν Ευρωπαϊκά Κράτη, οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Ιαπωνία κ.λ.π.). Συμφωνήθηκε η μείωση της παραγωγής και κατανάλωσης δυο κατηγοριών προϊόντων που περιείχαν χλώριο και βρώμιο είτε μόνα τους, είτε κατά μείγματα, των:

- i) CFCs: CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-115
- ii) Halons 1211, 1301, 2402.



Η αναθεώρηση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ γενικά περιλαμβάνει:

- ενίσχυση των απαγορεύσεων
- ανάπτυξη νέων ουσιών από τις βιομηχανίες
ή
- συνέχιση της παραγωγής για κάλυψη βασικών εγχώριων αναγκών.
- εντατικοποίηση της διαδικασίας του αναφέρεστε στη «Γραμματεία Όζοντος»



Φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα

Οι μη βλαβερές για το περιβάλλον ουσίες που δεν περιέχουν άτομα χλωρίου στο μόριο τους ταξινομούνται σε τρεις ομάδες:

1. HFCs
2. Αμμωνία και προπάνιο
3. Άλλες νέες ουσίες

Είναι σαφές ότι προκειμένου να έχουμε πλήρη άποψη επί των νέων ψυκτικών ουσιών, ως προς τις ιδιότητες τους και τη συμπεριφορά τους σε διάφορα συστήματα απαιτείται μακροχρόνια και επίπονη έρευνα.



ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

R-22 και προτείνονται άλλα εναλλακτικά

το διμερές μείγμα R-32/R-134a σε συστάσεις 20/80%,
30/70%, 40/60% κατά μάζα και

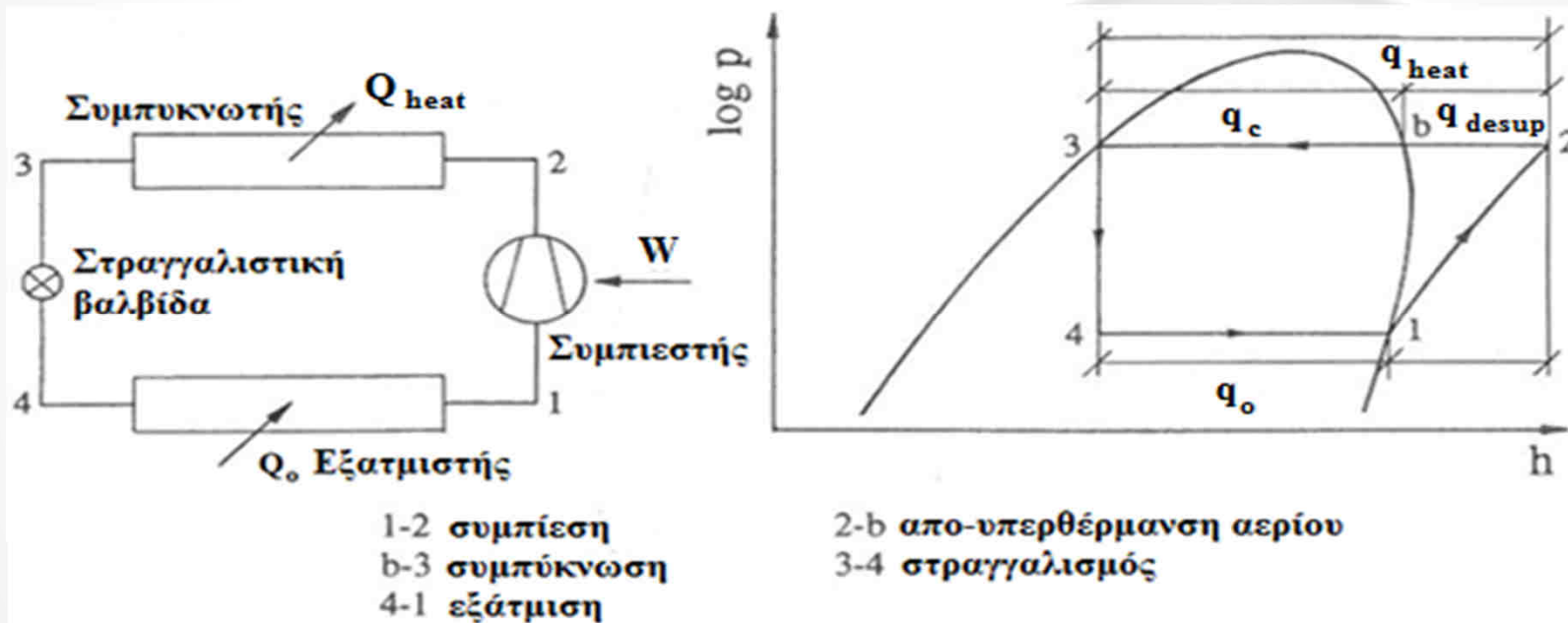
το R-410B (45% R-32, 55% R-125 κατά μάζα)
και R-507A (50% R-125, 50% R-143a κατά μάζα)

τα τριμερή μείγματα:

R-407B (10% R-32, 70% R-125, 20% R-134a κατά μάζα),
R-152a/R-125/R-32 (48% R-152a, 18% R-125, 34% R-32
κατά μάζα),

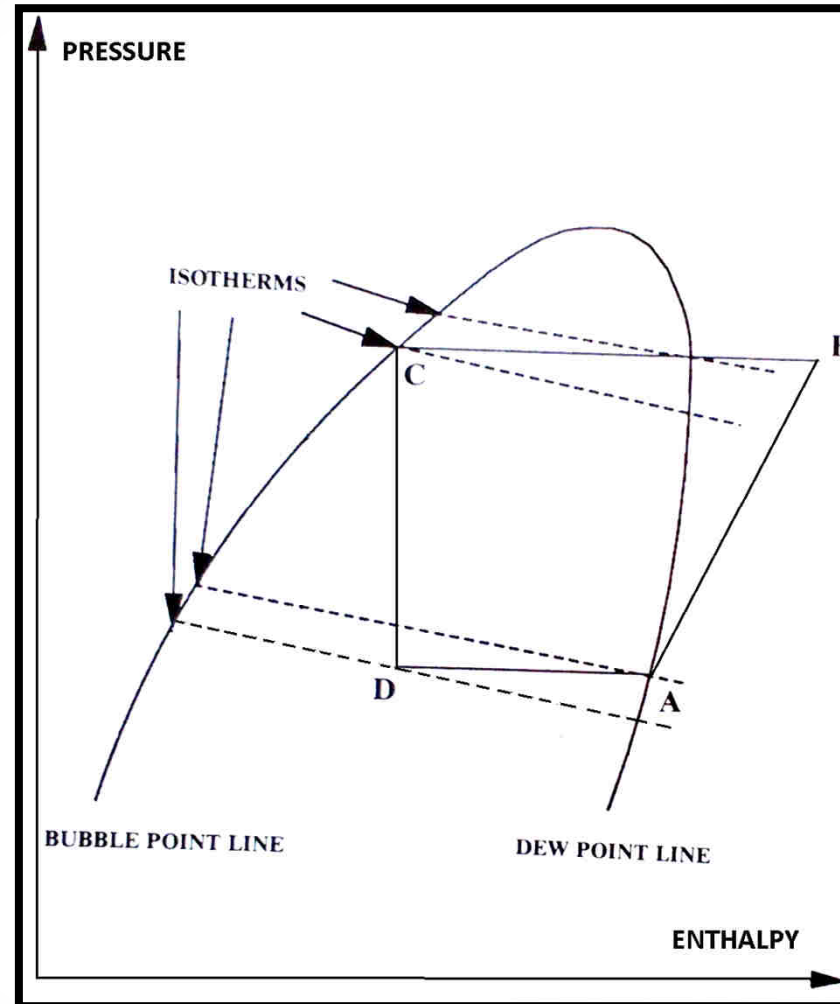


ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΜΕΣΑ



Σχηματικό διάγραμμα ψυκτικού κύκλου για καθαρή ουσία

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



Σχηματικό διάγραμμα ψυκτικού κύκλου για μείγμα



1. Η πίεση του κεκορεσμένου ατμού υπολογίζεται για τη σταθερή θερμοκρασία των $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, για κάθε ψυκτικό μέσο στην έξοδο του εξατμιστή (σημείο 1).
2. Έχοντας υπολογίσει το σημείο 1, η ενθαλπία, η εντροπία και η πυκνότητα του ατμού προσδιορίζονται.
3. Η πίεση του κεκορεσμένου ατμού στο σημείο δρόσου του συμπυκνωτή υπολογίζεται για κάθε ψυκτικό μέσο (θερμοκρασία $40\text{ }^{\circ}\text{C}$).
4. Με βάση την πίεση στο συμπυκνωτή, βρίσκεται η ενθαλπία του κεκορεσμένου υγρού (σημείο 3).



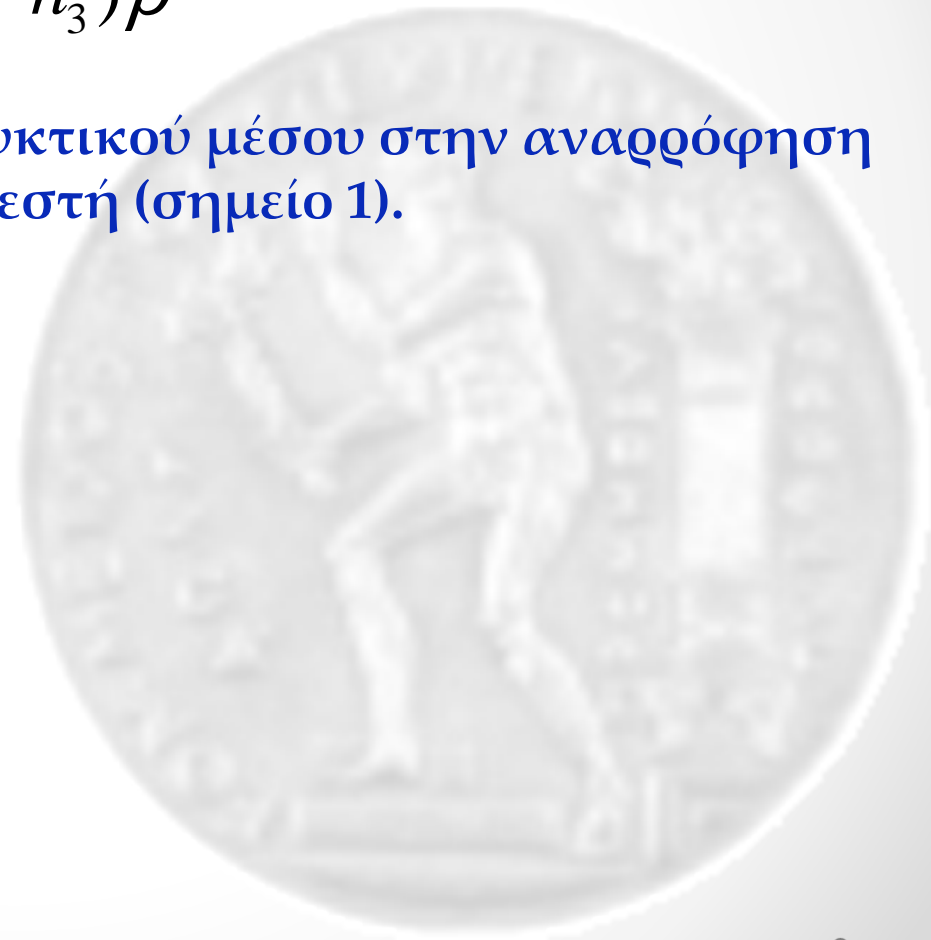
- 5 Θεωρώντας ισενθαλπικό στραγγαλισμό, η ενθαλπία στην είσοδο του εξατμιστή (σημείο 4) ισούται με την ενθαλπία του κεκορεσμένου υγρού (σημείο 3).
- 6 Χρησιμοποιώντας την πίεση του συμπυκνωτή και την εντροπία του σημείου 1, προσδιορίζεται η ενθαλπία στην έξοδο του συμπιεστή με ισεντροπική μεταβολή (ισεντροπικός βαθμός απόδοσης 0.7).
- 7 Με βάση τον ορισμό του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή, υπολογίζεται η ενθαλπία του σημείου 2.
- 8 Υπολογίζεται ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας



Η ογκομετρική θερμότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$q_v = (h_2 - h_3) \rho$$

όπου ρ η πυκνότητα του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή (σημείο 1).





ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Refrigerant	COP	q_v (kJ/m ³)	p_{cond} (MPa)	p_{evap} (MPa)	$T_{\text{in,evap}}$ (K)	$T_{\text{out,comp}}$ (K)	T_c (K)
R-22	4.61	4725.28	1.528	0.58137	278	340.0	369.3
R-410B (45% R-32/ 55%R-125)	4.246	6778.92	2.39	0.92	277.81	334.78	343.97
R-507A (50%R-125/50%R-143a)	4.062	3959.31	1.86	0.72	277.75	322.95	343.77
R-32/R-134a (20%R-32/80%R-134a)	4.591	3891.33	1.285	0.445	273.77	332.64	367.52
R-32/R-134a (30%R-32/70%R-134a)	4.576	4336.06	1.425	0.5	273.15	335.74	364.7
R-32/R-134a (40%R-32/60%R-134a)	4.524	4763.85	1.57	0.555	272.98	338.81	362.17
R-152a/R-125/R-32 (48%R-152a/18%R-125/34%R-32)	4.608	4313.69	1.3945	0.4925	271.74	340.25	367.93
R-407B (10%R-32/70%R-125/20%R-134a)	4.201	4927.05	1.8030	0.666	275.38	325.54	348.9



Η σειρά κατάταξης των ψυκτικών μέσων, σύμφωνα με τις τιμές του COP, από αυτό που έχει την καλύτερη επίδοση προς αυτό που έχει τη χειρότερη είναι:

R-22, R152a/R-125/R-32, R-32/R-134a (20/80wt%), R-32/R-134a (30/70wt%), R-32/R-134a (40/60wt%), R-410B, R-407B, R-507A.



Η σειρά κατάταξης των ψυκτικών μέσων, σύμφωνα με τις τιμές της $T_{out,comp}$ από αυτό που εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή μέχρι αυτό που εμφανίζει τη μικρότερη είναι:

R-152a/R-125/R-32, R-22, R-32/R-134a (40/60wt%), R-32/R-134a (30/70wt%), R-410B, R-32/R-134a (20/80wt%), R-407B, R-507A.

Η θερμοκρασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι αποτελεί δείκτη της θερμοαντικής ικανότητας του συμπυκνωτή. Για το λόγο αυτό είναι επιθυμητό να έχει όσο το δυνατόν υψηλότερη τιμή.



Η αντίστοιχη σειρά κατάταξης, σύμφωνα με τις τιμές της πίεσης P_{cond} στο συμπυκνωτή είναι:

R-410B, R-507A, R-407B, R-32/R-134a (40/60wt%), R-22, R-32/R-134a (30/70wt%), R-152a/R-125/R-32, R-32/R-134a (20/80wt%).

Είναι καλύτερο να αναπτύσσεται η υψηλότερη επιτρεπτή τιμή της $T_{out,comp}$ στην μικρότερη δυνατή P_{cond}

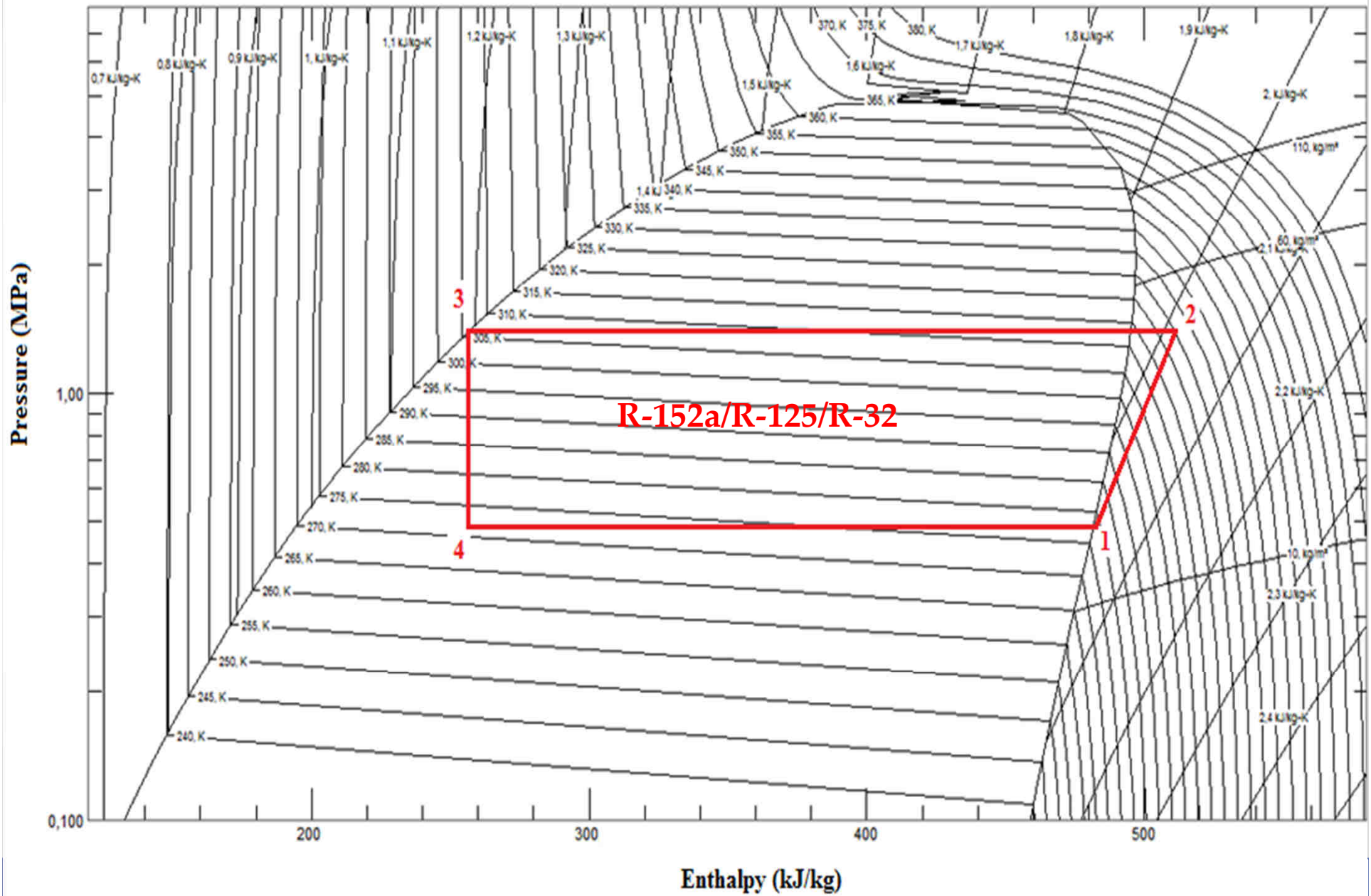
.



Η ογκομετρική θερμότητα του ψυκτικού μέσου εκφράζει την ικανότητα του συμπυκνωτή να απορρίπτει θερμότητα

Το προτεινόμενο κάτω όριο της είναι 3000 kJ/m^3 σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

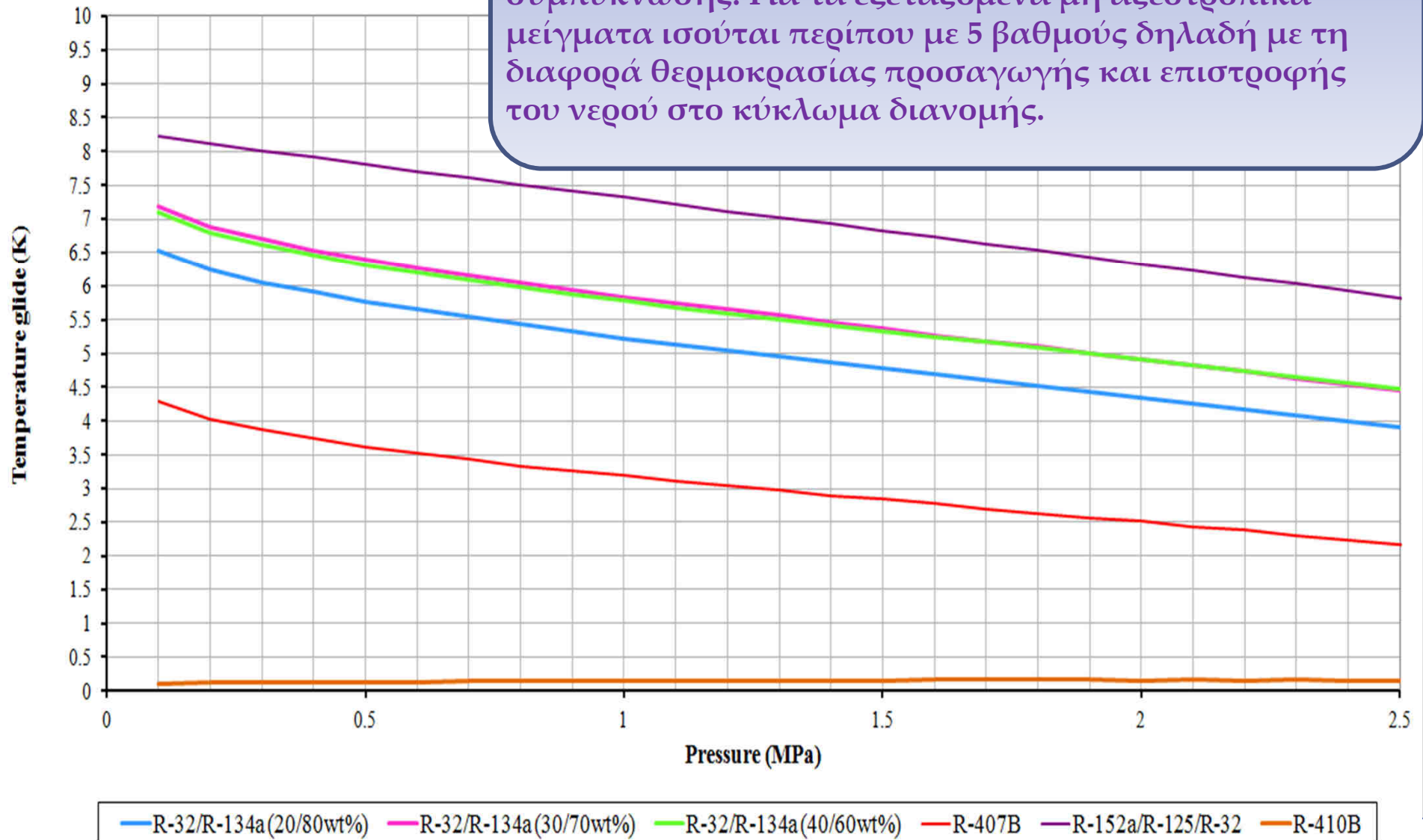
Όλες οι υπολογισθείσες τιμές είναι κατά πολύ υψηλότερες αυτού του ορίου



Περιβάλλον και Ανάπτυξη



Η θερμοκρασιακή απόκλιση στο συμπυκνωτή ορίζεται ως η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κεκορεσμένου ατμού και του κεκορεσμένου υγρού στην πίεση συμπύκνωσης. Για τα εξεταζόμενα μη αζεοτροπικά μείγματα ισούται περίπου με 5 βαθμούς δηλαδή με τη διαφορά θερμοκρασίας προσαγωγής και επιστροφής του νερού στο κύκλωμα διανομής.





Ευχαριστώ για την προσοχή σας

