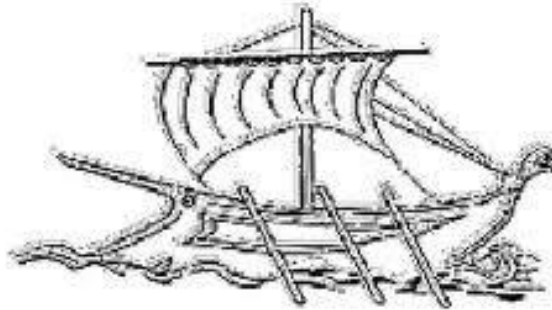


ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ



Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ
ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ**

Σπουδαστής: ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΝΑΖΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Απρίλιος 2016, Πειραιάς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια θεωρητική ανάλυση ενός ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών όταν αυτός υποβάλλεται σε λειτουργία με διάφορα ψυκτικά μέσα. Λαμβάνοντας υπόψη μας τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θέλουμε να έχει το ψυκτικό μας σύστημα, αλλά και χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, την οικονομία και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος καταλήγουμε στην επιλογή του καταλληλότερου ψυκτικού. Παρ' όλα αυτά, επειδή πολλές φορές τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά είναι αλληλοσυγκρουόμενα συχνά απαιτείται η προσεκτική επιλογή του κατάλληλου ψυκτικού. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CoolPack και έπειτα από επεξεργασία του συνόλου των ψυκτικών ρευστών που μελετήσαμε, καταλήξαμε στο ότι το ψυκτικό το R152a παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς για τα μελετηθέντα χαρακτηριστικά οι τιμές του είναι ανώτερες ή ίσες του μέσου όρου των ψυκτικών με μοναδικό του μειονέκτημα την αναφλεξιμότητά του. Επίσης, το R717 είναι αρκετά αποδοτικό ως αναφορά την οικονομία στην λειτουργία, ωστόσο είναι ένα τοξικό ρευστό και απαιτείται πολύ προσοχή κατά την εγκατάσταση και λειτουργία.

ABSTRACT

This thesis analyzes the operation of a vapor refrigeration compression cycle with different refrigerants. The main criteria for choosing the right refrigerant include: the technical characteristics of the refrigeration system and characteristics regarding safety, economy, and environmental effects. However, these characteristics are often contradictory and therefore a more thorough analysis is required.

The data processing of all the refrigerants studied in this thesis is performed by utilizing the CoolPack software. The findings suggest that the refrigerant R152a is the optimum solution due to its desirable characteristics, such as the COP_{th}, the operation pressures, the VCC, with values above or equal to the mean value of the examined refrigerants. Yet, R152a is highly flammable. In addition, the refrigerant R717 found to be efficient in terms of its economic operation. Nevertheless, R717 is toxic which makes it difficult in use and installation.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 6 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΨΥΞΗ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΥΞΗΣ..... | 7 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 7 |
| 1.2 Ψύξη με Συμπύεση Ατμών | 7 |
| 1.3 Βασικός Ψυκτικός Κύκλος με Συμπύεση Ατμών | 7 |
| 1.3.1 Ψυκτικός Κύκλος Συμπύεσης Ατμών με Πολυβάθμια Συμπύεση..... | 9 |
| 1.3.2 Ψυκτικός Κύκλος Συμπύεσης Ατμών με Διβάθμια Συμπύεση και Διβάθμιο Στραγγαλισμό | 11 |
| 1.2.4 Ψυκτική Διάταξη Συμπύεσης Ατμών με «Κλιμακωτό Καταρράκτη» (Cascade)..... | 11 |
| 1.3 Βασικά Θερμοδυναμικά Χαρακτηριστικά Ψυκτικών Συστημάτων..... | 12 |
| 1.4 Συμπιεστής | 15 |
| 1.4.1 Παλινδρομικός Συμπιεστής..... | 16 |
| 1.4.2 Περιστροφικός Συμπιεστής..... | 20 |
| 1.4.3 Φυγοκεντρικός Συμπιεστής..... | 21 |
| 1.4.4 Συμπιεστής τύπου Scroll | 22 |
| 1.4.5 Κοχλιοειδής Συμπιεστής..... | 22 |
| 1.5 Συμπυκνωτής..... | 23 |
| 1.5.1 Κατάταξη Συμπυκνωτών | 24 |
| 1.6 Ατμοποιητής | 27 |
| 1.6.1 Κατάταξη Ατμοποιητών | 27 |
| 1.7 Εκτονωτική Βαλβίδα..... | 28 |
| 1.7.1 Κατάταξη Εκτονωτικών Βαλβίδων | 29 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ..... | 30 |
| 2.1 Εισαγωγή | 30 |
| 2.2 Ιστορική Αναδρομή | 30 |
| 2.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις | 31 |
| 2.3.1 Ο δείκτης O.D.P. (Ozone Depletion Potential) | 31 |
| 2.3.2 Ο δείκτης G.W.P. (Global Warming Potential) | 32 |
| 2.4 Ιδιότητες των Ψυκτικών Μέσων | 32 |
| 2.5 Υποκατάστατα των CFCs και HCFCs | 42 |
| 2.6 Κριτήρια Επιλογής Εναλλακτικών Ψυκτικών Ρευστών | 43 |
| 2.6.1 Θερμοδυναμικά Κριτήρια | 43 |
| 2.6.2 Κριτήρια Ασφάλειας..... | 44 |
| 2.6.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια..... | 45 |
| 2.6.4 Τεχνικά Κριτήρια | 45 |

| | |
|---|-----|
| 2.6.5 Οικονομικά Κριτήρια..... | 45 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΤΜΩΝ | 47 |
| 3.1 Εισαγωγή | 47 |
| 3.2 Διαγράμματα Mollier για κάθε εξεταζόμενο ψυκτικό ρευστό | 51 |
| 3.3 Μεταβολή Θεωρητικού Συντελεστή Συμπεριφοράς COP _{th} – Θερμοκρασία Ατμοποίησης και Συμπύκνωσης (T _e , T _c)..... | 75 |
| 3.4 Μεταβολή Λόγου Πίεσης PR – Θερμοκρασία Ατμοποίησης και Συμπύκνωσης (T _e , T _c) | 83 |
| 3.5 Μεταβολή Ροής Μάζας Ψυκτικού m' – Θερμοκρασία Ατμοποίησης και Συμπύκνωσης (T _e , T _c)..... | 91 |
| 3.6 Μεταβολή Θερμοδυναμικού Βαθμού Απόδοσης – Θερμοκρασία Ατμοποίησης T _e ... | 97 |
| 3.7 Μεταβολή Θεωρητικού Συντελεστή Συμπεριφοράς COP _{th} – Θερμοκρασία Κατάθλιψης T _{disc} , Θερμοκρασία Υπόψυξης/Υπερθέρμανσης ΔT..... | 105 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ..... | 114 |
| 4.1 Σύγκριση Θεωρητικού Συντελεστή Συμπεριφοράς COP _{th} – Θερμοκρασία Ατμοποίησης T _e | 115 |
| 4.2 Σύγκριση Πίεσης Ατμοποίησης P _e – Θερμοκρασία Ατμοποίησης T _e | 118 |
| 4.3 Σύγκριση Ρυθμού Ροής Μάζας Ψυκτικού m' – Θερμοκρασίας Ατμοποίησης T _e | 120 |
| 4.4 Σύγκριση Ογκομετρικής Δυνατότητας Ψύξης V.C.C – Θερμοκρασίας Ατμοποίησης T _e | 123 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 125 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α | 131 |
| Α.1 Περιγραφή CoolPack | 132 |
| Α.2 Χρήση CoolPack | 132 |
| Α.3 Επιμέρους προγράμματα CoolPack..... | 133 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο 1 κάνουμε αναφορά στις μεθόδους ψύξης που έχουν επικρατήσει μέχρι σήμερα, δίνοντας βαρύτητα στον απλό ή συμβατικό κύκλο ψύξης με μονοβάθμια συμπίεση καθώς πάνω σε ένα τέτοιο ψυκτικό σύστημα θα διεξαχθούν οι υπολογισμοί στα επόμενα κεφάλαια. Γίνεται λόγος επίσης σε βασικά θερμοδυναμικά μεγέθη και τέλος μία επιγραμματική αναφορά σε κάθε ένα από τα μέρη που αποτελείται ένα ψυκτικό σύστημα (συμπιεστή – συμπυκνωτή – ατμοποιητή – εκτονωτική βαλβίδα).

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 2, γίνεται λόγος για τα ψυκτικά ρευστά και συγκεκριμένα για την εξέλιξή τους από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα έως σήμερα, τις ιδιότητες αυτών και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον από τη χρήση τους. Επίσης δίνεται βάση στα υποκατάστατα αυτών των ρευστών (HFCs , HCs) καθώς και στα κριτήρια αντικατάστασής τους.

Στο κεφάλαιο 3, κάνουμε χρήση των δεδομένων που εξάγουμε από το CoolPack για μια λίστα από ψυκτικά ρευστά που έχουμε επιλέξει και συγκρίνουμε κάθε ένα ψυκτικό με το R12. Το R12 επιλέχθηκε ως συγκριτικό γιατί είναι ένα εξαιρετικά ρυπογόνο ρευστό το οποίο σιγά σιγά μέσω διεθνών συνθηκών (Συνθήκη Μόντρεαλ, Πρωτόκολλο Κιότο 1997) τείνει να μην χρησιμοποιείται λόγω των βλαβερών του συνεπειών στο περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο 4, γίνεται μια άμεση σύγκριση όλων των μελετηθέντων ψυκτικών μεταξύ τους, σε χαρακτηριστικά όπως ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς COP_{th}, η πίεση ατμοποίησης P_e, η ροή μάζας ψυκτικού m' και η ογκομετρική δυνατότητα ψύξης VCC μεταβάλλοντας την θερμοκρασία ατμοποίησης T_e.

Καταλήγουμε έτσι στην επιλογή του καταλληλότερου για το σύστημά μας ψυκτικό, το οποίο διαφέρει αναλόγως το χαρακτηριστικό που εξετάζουμε κάθε φορά. Η βελτιστοποίηση και ελαχιστοποίηση των πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων αντίστοιχα, μας οδηγεί στην τελική επιλογή του ψυκτικού ρευστού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΨΥΞΗ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΥΞΗΣ

1.1 Εισαγωγή

Ψύξη είναι μία διεργασία κατά την οποία έχουμε μεταφορά θερμότητας από περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας σε μία περιοχή υψηλής θερμοκρασίας. Γενικά, για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος (ψύξης) προσδίδεται στο σύστημα έργο ή θερμότητα τα οποία δαπανώνται για την άντληση θερμότητας από το χώρο τον οποίο θέλουμε να ψύξουμε και απορρίπτεται ένα άλλο ποσό στο περιβάλλον ως απόβλητο.

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι παραγωγής ψυκτικής ισχύος, οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί για την κάλυψη των διαφόρων απαιτήσεων για ψύξη στην καθημερινότητα και ιδιαίτερος στην βιομηχανία, όπου οι απαιτήσεις για αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες είναι επιτακτική. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες από αυτές τις μεθόδους.

1.2 Ψυκτικός κύκλος Συμπίεσης Ατμών

Κύριο χαρακτηριστικό της ψύξης με συμπίεση ατμών είναι ότι η παραγωγή της ψυκτικής ισχύος γίνεται ανάμεσα σε δύο θερμοκρασίες, την θερμοκρασία ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου (χαμηλή) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης του ψυκτικού μέσου (υψηλή). Την λειτουργία αυτή, δηλαδή την μεταφορά θερμότητας από μία περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας σε μία περιοχή υψηλής θερμοκρασίας, την αναλαμβάνουν οι ονομαζόμενες ψυκτικές μηχανές ή ψυγεία. Οι ψυκτικές μηχανές είναι κυκλικές διατάξεις και το εργαζόμενο μέσο σε αυτόν τον κύκλο ψύξης ονομάζεται ψυκτικό μέσο ή ρευστό.

1.3 Απλός Ψυκτικός Κύκλος Συμπίεσης Ατμών

Ο ψυκτικός αυτός κύκλος που η λειτουργία του παρουσιάζεται παρακάτω, είναι ο ευρύτερα γνωστός και χρησιμοποιούμενος κύκλος παραγωγής ψύξης (ιδιαίτερα στις οικιακές εφαρμογές), λόγω της απλότητάς του, της οικονομίας του και της αξιοπιστίας του.

Τα βασικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένα τέτοιο σύστημα είναι ο ατμοποιητής (evaporator), ο συμπιεστής (compressor), ο συμπυκνωτής (condenser) και

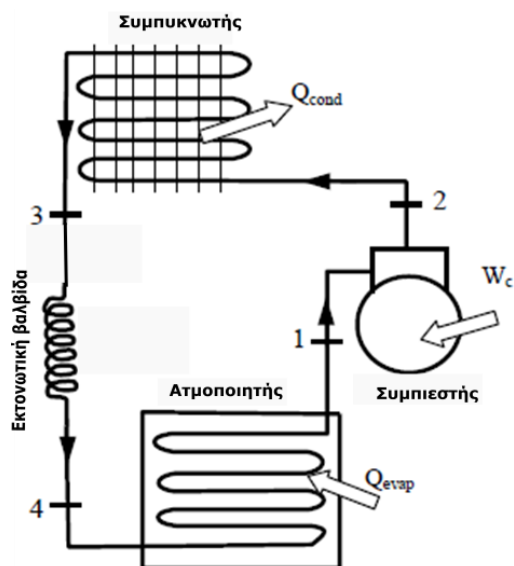
η εκτονωτική βαλβίδα(expansion valve). Αναλυτικά σε κάθε τμήμα του συστήματος ψύξης συντελούνται τα εξής ως αναφορά το ψυκτικό ρευστό που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση (βλέπε και εικόνα 1.1).

Κατά το στάδιο της ατμοποίησης το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στον ατμοποιητή με τη θερμοκρασία και πίεση που έχει μετά την εκτόνωσή του, αρχίζει να ατμοποιείται απορροφώντας θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο (όπου είναι τοποθετημένος ο ατμοποιητής) έως ότου εξατμιστεί όλο μέχρι την έξοδό του (από τον ατμοποιητή).

Κατά το στάδιο της συμπίεσης το αναρροφούμενο από το συμπιεστή ψυκτικό αέριο (χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης) συμπιέζεται εντός του και αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεσή του.

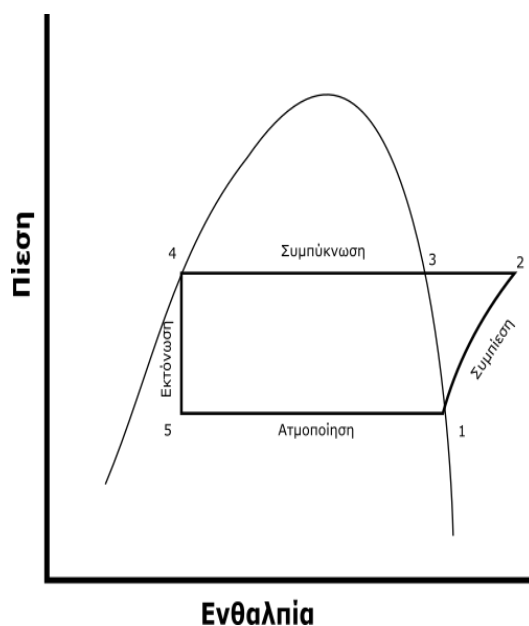
Κατά το στάδιο της συμπύκνωσης το υπέρθερμο ψυκτικό αέριο (υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας) εξερχόμενο από το συμπιεστή, οδηγείται, με τη γραμμή κατάθλιψης, εντός του συμπυκνωτή όπου, αποβάλλοντας τη θερμότητα προς το μέσο συμπύκνωσης (αέρας, νερό ή και τα δύο), υγροποιείται.

Κατά το στάδιο εκτόνωσης, το υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας ψυκτικό υγρό, εισέρχεται εντός της εκτονωτικής βαλβίδας, όπου εκτονούμενο μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του στα επίπεδα πίεσης και θερμοκρασίας του ατμοποιητή

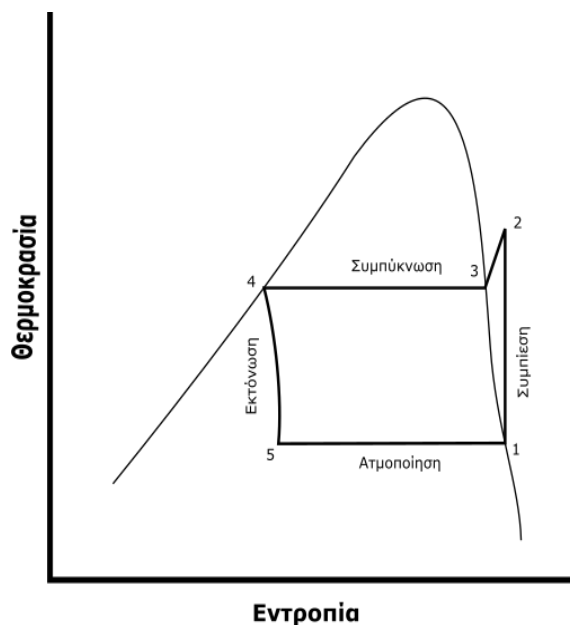


Εικόνα 1.1: Ψυκτικό σύστημα συμπίεσης ατμών με μονοβάθμια συμπίεση και εκτόνωση

Θερμοδυναμικά μπορούμε να δούμε τη λειτουργία της ψυκτικής μηχανής, παρακολουθώντας τις μεταβολές πίεσης – ενθαλπίας και θερμοκρασίας – εντροπίας στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 1.2: Διάγραμμα P-h (Mollier) ψυκτικού κύκλου με μονοβάθμια συμπίεση και εκτόνωση.



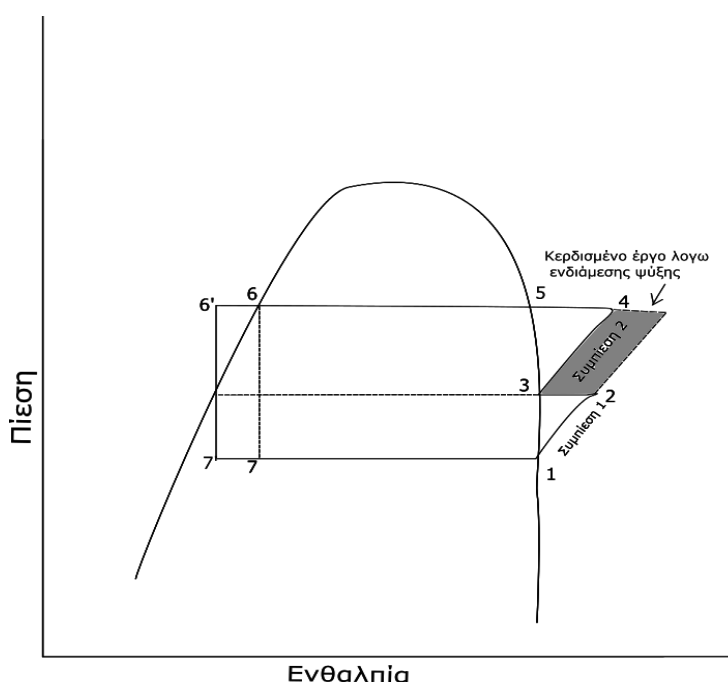
Εικόνα 1.3: Διάγραμμα T-s ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών με μονοβάθμια συμπίεση και εκτόνωση.

1.3.1 Ψυκτικός Κύκλος Συμπίεσης Ατμών με Πολυβάθμια Συμπίεση

Σε αυτή την μέθοδο παραγωγής ψύξης χρησιμοποιούνται δύο ή παραπάνω συμπιεστές για να καλύψουν την διαφορά πίεσης μεταξύ του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή. Αυτή η μέθοδος, έχει δημιουργηθεί λόγω της μεγάλης διαφοράς των θερμοκρασιών περιβάλλοντος – ψυκτικού θαλάμου (άρα και πιέσεων) όπως επίσης και των

θερμοδυναμικών ιδιοτήτων των ψυκτικών ρευστών (θερμοκρασία βρασμού) που με την χρήση ενός συμπιεστή, η λειτουργία του ψυκτικού συστήματος θα ήταν αντισυμβατική ή και ανέφικτη (μεγάλη ισχύς συμπιεστή).

Έτσι χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι συμπιεστές συνδεδεμένοι σε σειρά όπου η κατάθλιψη του πρώτου είναι η αναρρόφηση του δεύτερου κ.ο.κ.. Ωστόσο, μεταξύ δύο συμπιεστών (σε πίεση p_m), απαιτείται για την μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού και άρα του ειδικού όγκου αυτού, μια ισόθλιπτη ψύξη, ελαττώνοντας έτσι το συνολικό έργο για την συμπίεση του ψυκτικού (από την κατώτερη πίεση στην υψηλότερη του ψυκτικού συστήματος). (Εικόνα 1.4)



Εικόνα 1.4: Διάγραμμα P-h ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών με διβάθμια συμπίεση.

Μέθοδοι της ενδιάμεσης αυτής ψύξης είναι :

1. Με νερό που εισέρχεται στο ενδιάμεσο ψυκτήρα
Πρέπει η θερμοκρασία του νερού να είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία κορεσμού του ψυκτικού σε πίεση p_m .
2. Με το χρησιμοποιούμενο ψυκτικό και ενδιάμεσο ψυκτήρα
Απαιτείται η ύπαρξη μιας δευτερεύουσας εκτονωτικής βαλβίδας σε πίεση όπου η αντίστοιχη θερμοκρασία κορεσμού να είναι ελάχιστα μικρότερη από την θερμοκρασία κορεσμού σε πίεση p_m .
3. Με το χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσο και δοχείο διαχωρισμού
Απαιτείται η ύπαρξη δευτερεύουσας εκτονωτικής βαλβίδας και ένα δοχείο

διαχωρισμού στο οποίο εισέρχεται ένα ρεύμα ψυκτικού ρευστού από την δευτερεύουσα εκτονωτική βαλβίδα και ένα ρεύμα υπέρθερμου ατμού από τον πρώτο συμπιεστή, μειώνοντας έτσι την θερμοκρασία του ψυκτικού που κατευθύνεται στον δεύτερο συμπιεστή.

1.3.2 Ψυκτικός Κύκλος Συμπίεσης Ατμών με Διβάθμια Συμπίεση και Διβάθμιο Στραγγαλισμό

Η παραγωγή ψύξης με αυτή τη μέθοδο, χρησιμοποιεί δύο συμπιεστές για να αυξηθεί η πίεση από την πίεση ατμοποιητή (χαμηλή) στην πίεση συμπυκνωτή (υψηλή) και δύο στραγγαλιστικές βαλβίδες. Όμως, σε αντίθεση με την προηγούμενη μέθοδο (ενότητα 1.2.2) αντί για την χρησιμοποίηση ανάμεσα στους συμπιεστές ενός εναλλάκτη ή ενός δοχείου διαχωρισμού, χρησιμοποιεί ένα θάλαμο ανάμειξης του ψυκτικού μέσου. Σε αυτόν τον θάλαμο, ο ατμός διαχωρίζεται από το υγρό που προέρχεται από την 2^η στραγγαλιστική βαλβίδα και ταυτόχρονα ψύχεται ο υπέρθερμος ατμός που προέρχεται από τον 1^ο συμπιεστή. Στην συνέχεια ο υπέρθερμος ατμός που έχει ψυχθεί, στραγγαλίζεται στην 2^η στραγγαλιστική βαλβίδα και το μίγμα ρευστού οδηγείται στον ατμοποιητή.

Αυτή η μέθοδος, συμπεραίνουμε ότι έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- A. Δεν απαιτείται εναλλάκτης για την ενδιάμεση ψύξη του μέσου (χρησιμοποιείται το ίδιο το ψυκτικό).
- B. Πριν το ψυκτικό ρευστό οδηγηθεί στην 2^η στραγγαλιστική βαλβίδα ψύχεται περαιτέρω «κερδίζοντας» έτσι σε ψυκτική ικανότητα (υπόψυξη).

1.2.4 Ψυκτική Διάταξη Συμπίεσης Ατμών με «Κλιμακωτό Καταρράκτη» (Cascade)

Παρ' όλο που έχουν αναπτυχθεί ψυκτικοί κύκλοι με πολυβάθμια συμπίεση ή/και πολυβάθμιο στραγγαλισμό, οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των ψυκτικών μέσων αλλά και η μεγάλη διαφορά στις πιέσεις (μεταξύ της πρώτης συμπίεσης και της τελευταίας) δεν μας επιτρέπουν να επιτύχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης της τάξεως των -60°C.

Για το λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί η διάταξη του «κλιμακωτού καταρράκτη» η οποία ουσιαστικά αποτελείται από δύο ξεχωριστούς ψυκτικούς κύκλους (ένα υψηλής πίεσης και ένα χαμηλής πίεσης) οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους με έναν εναλλάκτη θερμότητας. Συνδέονται εν σειρά, δηλαδή με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο ατμοποιητής του ψυκτικού κύκλου υψηλής πίεσης να παίζει το ρόλο του συμπυκνωτή του ψυκτικού κύκλου χαμηλής πίεσης.

Αξίζει, να σημειωθεί ότι αυτή η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο διαφορετικά ψυκτικά μέσα σε καθένα κύκλο π.χ. NH₃/CO₂ (R717/R744).

1.3 Βασικά Θερμοδυναμικά Χαρακτηριστικά Ψυκτικών Συστημάτων

Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να ορίσουμε κάποια βασικά μεγέθη των ψυκτικών μηχανών, τα βασικότερα εκ των οποίων είναι:

A. Ψυκτική Ισχύς Ατμοποιητή (Q_{evap})

Είναι το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται από τον ψυκτικό θάλαμο στο ψυκτικό ρευστό, μετριέται σε kW ή kcal/h ή BTU/h και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{evap} = \dot{m} * (h_1 - h_4)$$

όπου h₁= η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του ατμοποιητή (kJ/kg)

h₄ = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην είσοδο του ατμοποιητή (kJ/kg)

\dot{m} = η ροή μάζας του ψυκτικού ρευστού από τον ατμοποιητή (kg/s)

B. Θερμική Ισχύς Συμπυκνωτή (Q_{cond})

Είναι το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται από το ψυκτικό ρευστό στο μέσο συμπύκνωσης (π.χ. αέρας), μετριέται σε kW ή kcal/h ή BTU/h και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{cond} = \dot{m} * (h_2 - h_4)$$

όπου h₂= η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην είσοδο του συμπυκνωτή (kJ/kg)

h₄= η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του συμπυκνωτή (kJ/kg)

\dot{m} = η ροή μάζας του ψυκτικού ρευστού από τον συμπυκνωτή (kg/s)

C. Ισχύς Συμπιεστή (W_{comp})

Είναι η απαιτούμενη ισχύς για τη συμπίεση των ατμών του ψυκτικού ρευστού από την πίεση του ατμοποιητή στην πίεση του συμπυκνωτή, μετριέται σε kW ή kcal/h ή BTU/h και δίνεται από τη σχέση:

$$W_{comp} = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

όπου h_1 = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην είσοδο του συμπιεστή (kJ/kg)

h_2 = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του συμπιεστή (kJ/kg)

\dot{m} = η ροή μάζας του ψυκτικού ρευστού από τον συμπυκνωτή (kg/s)

D. Θεωρητικός Συντελεστής λειτουργίας ή συμπεριφοράς (coefficient of performance, COP_{th})

Είναι το μέτρο με το οποίο ορίζουμε το πόσο αποδοτικό είναι ένα ψυκτικό σύστημα, συμβολίζεται με COP_{th} , και ορίζεται ως:

$$COP_{th} = \frac{\text{επιθυμητή έξοδος}}{\text{απαιτούμενη είσοδος}} = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}}$$

Είναι βασικό να επισημάνουμε ότι εφόσον είναι γνωστή πειραματικά η ισχύς στον άξονα του συμπιεστή τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τον πραγματικό συντελεστή συμπεριφοράς (COP_{ef}) οποίος περιλαμβάνει τις απώλειες του συμπιεστή, των εναλλακτών, των σωληνώσεων και των εξαρτημάτων.

E. Θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης

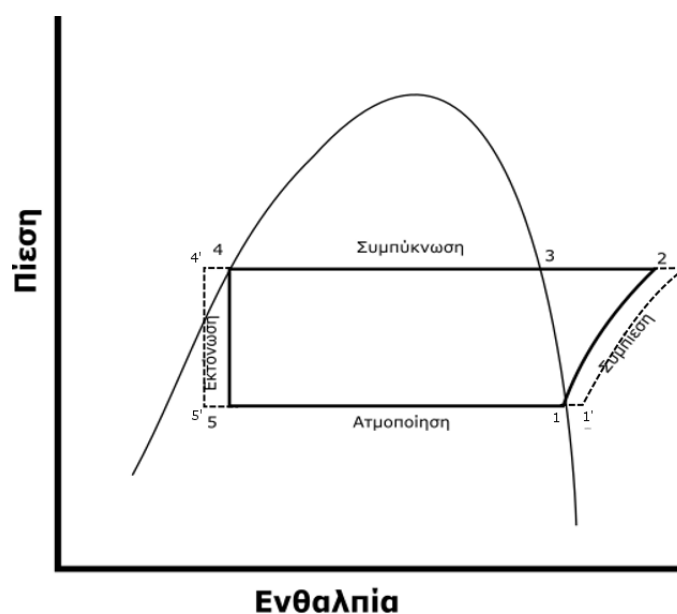
Είναι ο λόγος του θεωρητικού συντελεστή απόδοσης COP_{th} προς τον αντίστοιχο του κύκλου Carnot COP_c .

$$\text{Δηλαδή, } \theta_{BA} = \frac{COP_{th}}{COP_c}$$

Ο συντελεστής απόδοσης του κύκλου Carnot δίνεται από τη σχέση:

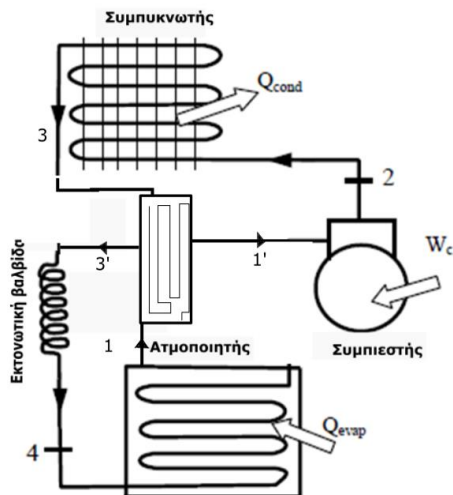
$$COP_c = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = \frac{Q_{evap}}{Q_{cond} - Q_{evap}}$$

Σημείωση: Επειδή πρακτικά δεν μπορούμε να έχουμε στην είσοδο του συμπιεστή πάντα ξηρό κεκορεσμένο ατμό (σημείο 1 της εικόνας 1.5), έχουμε μια υπερθέρμανση του ατμού (εικόνα 1.5, σημείο 1-1'), η οποία μας σιγουρεύει ότι στην αναρρόφηση του συμπιεστή θα έχουμε ατμό και δεν θα υπάρχει η υγρή φάση. Από την άλλη, στην πλευρά υψηλής πίεσης και συγκεκριμένα στην έξοδο του συμπυκνωτή, το συμπυκνωμένο υγρό ψύχεται όχι μέχρι το σημείο συμπίκνωσής του, αλλά περαιτέρω, και αυτό μας οδηγεί να έχουμε κέρδη στην απόδοση του συστήματος και αύξηση της ψυκτικής ισχύος (εικόνα 1.5, σημείο 5 -5').



Εικόνα 1.5: Διάγραμμα Mollier ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών με υπερθέρμανση υπέρθερμου ατμού και υπόψυξη συμπυκνωμένου υγρού.

Αυτή η υπερθέρμανση – υπόψυξη του ψυκτικού μέσου πρακτικά πραγματοποιείται σε μεγάλα συστήματα με την τοποθέτηση ενός εναλλάκτη θερμότητας (εικόνα 1.6).



Εικόνα 1.6: Ψυκτικό σύστημα μονοβάθμιας συμπίεσης ατμών με χρήση εναλλάκτη.

1.4 Συμπιεστής

Ο συμπιεστής αποτελεί το πιο σημαντικό τμήμα μιας ψυκτικής μονάδας καθώς είναι επιφορτισμένος με το να διασφαλίζει μια συνεχή διαφορά πίεσης μεταξύ της πλευράς αναρρόφησης (εκτονωτική – ατμοποιητής) και της κατάθλιψης (συμπυκνωτής).

Κάθε εφαρμογή ψύξης παρουσιάζει και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Σε μερικές περιπτώσεις είναι αναγκαίο να διατηρείται μια πολύ μεγάλη διαφορά πίεσης μεταξύ της αναρρόφησης και της κατάθλιψης, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η διαφορά αυτή γίνεται ελάχιστη. Επίσης, ανάλογα με την περίπτωση σε κάποιες μονάδες μπορεί να απαιτείται να κυκλοφορεί μεγάλος όγκος ψυκτικού αερίου, ενώ σε άλλες πολύ μικρός. Έτσι για την ικανοποίηση όλων των εφαρμογών ψύξης έχει κατασκευαστεί μια πολύ μεγάλη ποικιλία συμπιεστών μερικοί τύποι εκ των οποίων είναι:

- Οι παλινδρομικοί συμπιεστές
- Οι περιστροφικοί
- Οι φυγοκεντρικοί
- Οι συμπιεστές τύπου scroll και
- Οι ελικοειδείς συμπιεστές

1.4.1 Παλινδρομικός Συμπιεστής

Οι παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι συμπιεστές ψύξης, κατασκευαστικά έχουν πολλά κοινά σημεία με τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Τα βασικά εξαρτήματα ενός παλινδρομικού συμπιεστή είναι:

1. Ο κύλινδρος
2. Το έμβολο
3. Ο διωστήρας
4. Ο στροφαλοφόρος άξονας
5. Οι βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης
6. Η κεφαλή των κυλίνδρων
7. Τα βοηθητικά εξαρτήματα



Εικόνα 1.7 : Παλινδρομικοί συμπιεστές κλειστού τύπου (αριστερά) και ημί κλειστού τύπου (δεξιά)

Οι παλινδρομικοί συμπιεστές είναι ιδανικοί για χρήση σε εγκαταστάσεις που απαιτούνται μεγάλες πιέσεις κατάθλιψης και μεγάλος λόγος συμπίεσης. Επίσης, αν και λειτουργούν καλύτερα με ψυκτικά ρευστά με μικρό ειδικό όγκο (R12, R22, R502, R134a) μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και σε εγκαταστάσεις όπου το ψυκτικό ρευστό έχει μεγάλο ειδικό όγκο π.χ. αμμωνία (R717).

1. Λόγος συμπίεσης συμπίεστή

Λόγος συμπίεσης συμπίεστή ονομάζεται ο λόγος της απόλυτης πίεσης κατάθλιψης προς την απόλυτη πίεση αναρρόφησης. Δηλαδή:

$$\text{Λόγος Συμπίεσης (pressure ratio)} = PR = \frac{P_{\text{κατ.}}}{P_{\text{αναρ.}}}$$

Η τιμή του λόγου συμπίεσης εξαρτάται από το μέγεθος της πίεσης που επικρατεί κάθε στιγμή στην γραμμή κατάθλιψης και της αναρρόφησης. Όσο αυξάνεται ο PR ελαττώνεται η απόδοση του συμπίεστή, γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να περιορίζουμε σε όσο το δυνατόν χαμηλές τιμές τον λόγο συμπίεσης.

2. Ισεντροπικός ή Ενδεικνύμενος Βαθμός Απόδοσης Συμπίεστή

Ο βαθμός απόδοσης ενός συμπίεστή, λαμβάνει χώρα για να χαρακτηρίσει το πόσο απέχει η απόδοση του συμπίεστή από την ιδανική (αδιαβατική και αντιστρεπτή) ισεντροπική διεργασία. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπίεστή τόσο περισσότερο πλησιάζει την ιδανική αυτή λειτουργία. Δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_s = \frac{W_s}{W} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

όπου h_{2s} = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του συμπίεστή εκτελώντας ισεντροπική διεργασία (kJ/kg)

h_2 = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του συμπίεστή εκτελώντας μη-ισεντροπική διεργασία (kJ/kg)

h_1 = η ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού στην είσοδο του συμπίεστή (kJ/kg)

Τυπικές τιμές που λαμβάνει ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης είναι από 0,7 έως 0,85.

3. Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης

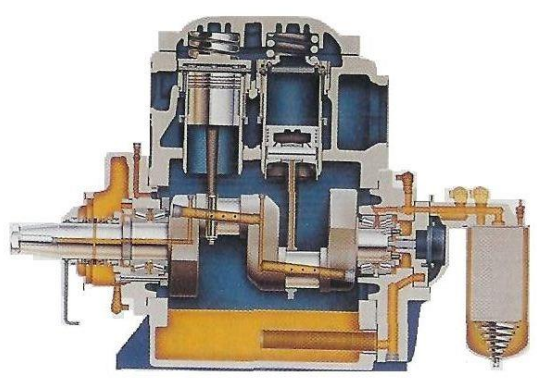
Ο λόγος του όγκου του ψυκτικού αερίου που πραγματικά καταθλίβεται προς τον συμπυκνωτή προς το εκτόπισμα του συμπίεστή (θεωρητικός όγκος συμπίεστή), ονομάζεται ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του συμπίεστή. Δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης } (\eta_{vol}) = \frac{V_{\pi}}{V_{\theta}}$$

Ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης των συμπιεστών δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Το μέγεθος του επιζήμιου χώρου του συμπιεστή (ο χώρος ανάμεσα της βαλβιδοφόρου πλάκας και του εμβόλου όταν αυτό βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο).
- Ο λόγος συμπίεσης.
- Η θερμοκρασία των κυλίνδρων.
- Οι διαρροές του ψυκτικού αερίου από τις βαλβίδες και τα έμβολα των συμπιεστών.

Όπως γίνεται κατανοητό μεγάλος επιζήμιος χώρος (χώρος που υπάρχει ψυκτικό αέριο και δεν εκμεταλλεύεται) σε συνδυασμό με μεγάλες πιέσεις κατάθλιψης μπορεί να δημιουργήσει πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης και αντιοικονομική λειτουργία του συμπιεστή. Επίσης, η αύξηση του λόγου συμπίεσης μειώνει τον η_{vol} , κάτι που μπορεί να προέλθει είτε από την ελάττωση της πίεσης κατάθλιψης ή την αύξηση της πίεσης στην αναρρόφηση. Ακόμα, η θερμοκρασία των κυλίνδρων των συμπιεστών επηρεάζει τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης διότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία των κυλίνδρων, τόσο μειώνεται η μάζα του (αύξηση του ειδικού όγκου) που μπορεί να χωρέσει στον κύλινδρο κατά τη φάση αναρρόφησης. Τέλος, οι διαρροές ψυκτικού αερίου από τις βαλβίδες και τα έμβολα των συμπιεστών δημιουργούν σοβαρή μείωση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης.



Εικόνα 1.8: Τομή παλινδρομικού 2-κύλινδρου συμπιεστή

4. Η ικανότητα των παλινδρομικών συμπιεστών

Ψυκτική ικανότητα ή ψυκτική ισχύς ενός παλινδρομικού συμπιεστή, ονομάζουμε το αποδιδόμενο ψυκτικό έργο από τον συμπιεστή στη μονάδα του χρόνου και δίνεται συνήθως σε kW, kcal/h ή BTU/h.

Η ψυκτική ικανότητα ενός συμπιεστή δεν είναι σταθερή, εξαρτάται κυρίως από

- Τη θερμοκρασία αναρρόφησης του ψυκτικού : όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αναρρόφησης του ψυκτικού αερίου στην είσοδο (αναρρόφηση) του συμπιεστή τόσο αυξάνεται η ικανότητά του και αντιστρόφως.
- Τη θερμοκρασία συμπίκνωσης του ψυκτικού : όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συμπίκνωσης του ψυκτικού αερίου τόσο ελαττώνεται η ικανότητα του συμπιεστή και αντιστρόφως.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι η θερμοκρασία αναρρόφησης εξαρτάται από την χρήση της ψύξης που έχουμε σε κάθε σύστημα, έτσι δεν είναι πάντα εύκολο να έχουμε υψηλές θερμοκρασίες αναρρόφησης. Τυπικές θερμοκρασίες αναρρόφησης από -35°C έως +5 °C.

5. Ογκομετρική Δυνατότητα Ψύξης VCC

Τέλος, ένα πολύ σημαντικό μέγεθος είτε για την επιλογή είτε για τη σύγκριση των ψυκτικών ρευστών που έχει άμεση σχέση με τον συμπιεστή είναι η ογκομετρική δυνατότητα ψύξης VCC (kJ/m³), η οποία εκφράζει την δυνατότητα ψύξης του ψυκτικού ρευστού ανά όγκο διερχόμενου από την είσοδο του συμπιεστή. Δίνεται από την σχέση :

$$VCC = \frac{Q_{evap}}{\dot{m} * v_1}$$

όπου Q_{evap} = είναι η ψυκτική ισχύς του ψυκτικού συστήματος (kW)

\dot{m} = η ροή μάζας του ψυκτικού ρευστού που διέρχεται από την είσοδο του συμπιεστή (kg/s)

v_1 = ο ειδικός όγκος του ψυκτικού μέσου στην είσοδο του συμπιεστή (m³/kg)

1.4.2 Περιστροφικός Συμπιεστής

Οι περιστροφικοί συμπιεστές είναι απλοί στην κατασκευή τους και τους συναντάμε σε ψυκτικές μονάδες μικρής ισχύος όπως οικιακά ψυγεία και κλιματιστικά δωματίου.

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Τους περιστροφικούς συμπιεστές με σταθερή λεπίδα (ή σύρτη)
- Τους περιστροφικούς συμπιεστές με κινητή λεπίδα ή λεπίδες (σύρτες)



Εικόνα1.9: Περιστροφικός συμπιεστής κλειστού τύπου σε τομή

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι περιστροφικοί συμπιεστές είναι:

1. Αθόρυβη λειτουργία
2. Μεγάλος ολικός βαθμός απόδοσης
3. Έχει μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με τους παλινδρομικούς
4. Έχει περίπου 75% λιγότερα εξαρτήματα απο τους παλινδρομικούς

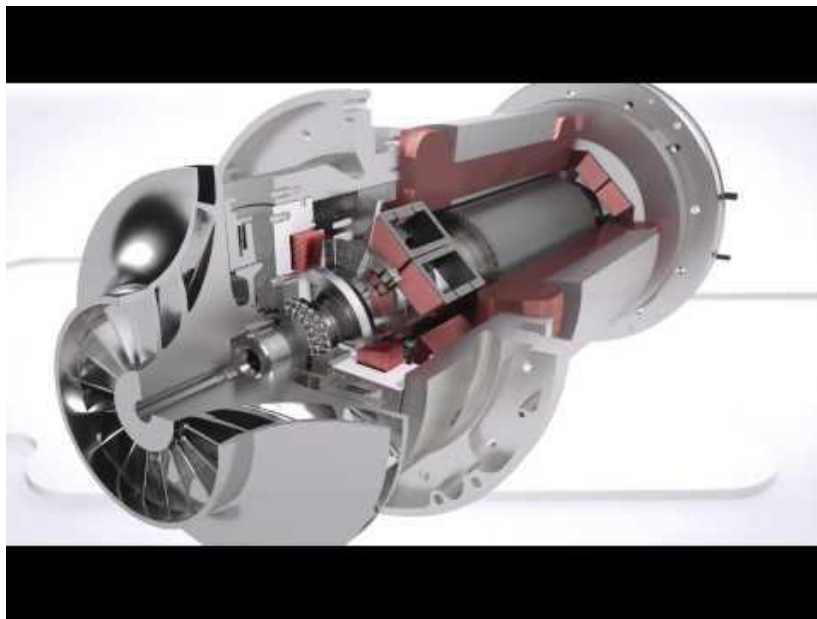
Αντιθέτως τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

1. Δεν επισκευάζονται εύκολα
2. Το κόστος κατασκευής τους είναι αυξημένο

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι περιστροφικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλο εκτόπισμα συμπιεστή σε μέτριες πιέσεις λειτουργίας.

1.4.3 Φυγοκεντρικός Συμπιεστής

Συνήθως συναντάμε τους φυγοκεντρικούς συμπιεστές σε μεγάλες κλιματιστικές εγκαταστάσεις ψυκτικής ικανότητας πάνω από 200kW. Αυτός ο τύπος συμπιεστών αποδίδει άριστα με ψυκτικά ρευστά που έχουν μεγάλο ειδικό όγκο (m^3/kg) όπως είναι το R11, R113 και με νέα υποκατάστατα αυτών των δύο.



Εικόνα 1.10: Φυγοκεντρικός συμπιεστής σε τομή

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι:

1. Έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη και άρα λιγότερα φθιρόμενα εξαρτήματα.
2. Απλό σύστημα λίπανσης.
3. Έχουν εύκολη προσαρμογή στην μεταβολή ψυκτικών φορτίων.

Τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

1. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις μικρότερες των 200kW
2. Λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής τους το σύστημα λίπανσης χρειάζεται ιδιαίτερη παρακολούθηση.
3. Οι μεγάλες ταχύτητες (4.000 – 8.000 στρ/min) δημιουργούν κραδασμούς για την απόσβεση των οποίων απαιτείται πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση.

1.4.4 Συμπιεστής τύπου Scroll

Συναντώνται κυρίως σε μονάδες κλιματισμού μικρής και μεσαίας ισχύος με ψυκτικό R22, καθώς και σε μικρές και μεσαίες ψυκτικές εγκαταστάσεις.



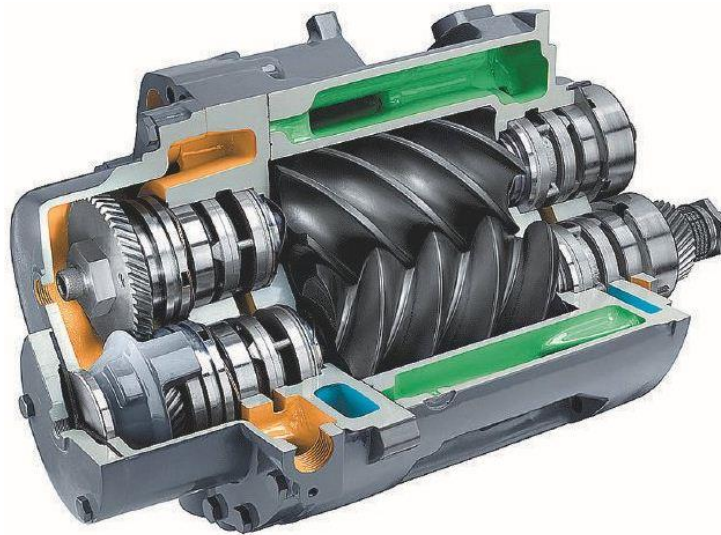
Εικόνα 1.11: Συμπιεστής τύπου Scroll σε τομή

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους έναντι των παλινδρομικών συμπιεστών είναι:

1. Αυξημένη απόδοση και μακροζωία συμπιεστή λόγω των λιγότερων κινούμενων εξαρτημάτων (60% λιγότερα περίπου) και άρα των λιγότερων φθειρόμενων μερών.
2. Δεν επηρεάζονται από την παρουσία σταγόνων ψυκτικού υγρού που μπορεί να επιστρέψει στον συμπιεστή, καθώς και από την παρουσία ξένων σωματιδίων, πράγμα που θα προκαλούσε ζημιά στους παλινδρομικούς συμπιεστές.
3. Λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς κραδασμούς
4. Έχουμε ταυτόχρονα αναρρόφηση, συμπίεση και εξαγωγή του συμπιεσμένου ψυκτικού αερίου, κάτι που σημαίνει μεγαλύτερη απόδοση των συμπιεστών scroll, αφού δεν υπάρχουν 'νεκροί χρόνοι'.

1.4.5 Κοχλιοειδής Συμπιεστής

Αυτός ο τύπος συμπιεστή χρησιμοποιείται με όλα τα γνωστά ψυκτικά ρευστά και για εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος (περίπου 400kW και πάνω).



Εικόνα 1.12: Κοχλιοειδής συμπιεστής σε τομή (τύπου Screw)

Τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματά τους έναντι των παλινδρομικών συμπιεστών είναι:

1. Έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη και επομένως λιγότερα φθειρόμενα εξαρτήματα.
2. Λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς κραδασμούς.
3. Ο βαθμός απόδοσής τους επηρεάζεται λιγότερο από την μεταβολή των στροφών τους.
4. Επιτυγχάνονται μεγάλες πιέσεις κατάθλιψης του ψυκτικού αερίου.

1.5 Συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής είναι ένα επίσης σημαντικό εξάρτημα μιάς οποιαδήποτε ψυκτικής εγκατάστασης, όπου όταν εισέρχεται το υπέρθερμο ψυκτικό αέριο υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης σε αυτόν, αποβάλλει θερμότητα προς το μέσο συμπύκνωσης (νερό, αέρας ή και τα δύο) και συμπυκνώνεται. Η επιφάνεια του συμπυκνωτή θα πρέπει να είναι κατά 25% μεγαλύτερη από αυτή του ατμοποιητή, για να μπορέσει να αποβληθεί όλη η θερμότητα που έχει απορροφηθεί από το ψυκτικό ρευστό κατά τον κύκλο ψύξης. Αυτό γίνεται διότι το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα:

- Εντός του ατμοποιητή (όταν ατμοποιείται)
- Εντός του συμπιεστή (όταν συμπιέζεται)
- Εντός της γραμμής αναρρόφησης (όταν το μήκος της είναι κάπως μεγάλο και δεν είναι μονωμένη)

Η αποβολή θερμότητας σε κάθε συμπυκνωτή γίνεται σε 3 στάδια:

1. Στις πρώτες σωληνώσεις του συμπυκνωτή αποβάλλεται η θερμότητα υπερθέρμανσης (αισθητή θερμότητα), την οποία το ψυκτικό απορρόφησε από το συμπιεστή κατά κύριο λόγο και απ' την απορρόφηση, αν το μήκος της είναι ακάλυπτο και μεγάλο.
2. Εφ' όσον το ψυκτικό αέριο συνεχίζει την κάθοδό του εντός των σωληνώσεων του συμπυκνωτή και ψύχεται από το μέσο συμπύκνωσης, τότε υγροποιείται αποβάλλοντας τη θερμότητα που είχε απορροφήσει το ψυκτικό υγρό εξατμιζόμενο εντός του ατμοποιητή (λανθάνουσα θερμότητα).
3. Εάν μετά την ολοσχερή υγροποίηση του ψυκτικού συνεχιστεί η ψύξη του τότε το συμπυκνωμένο υγρό αποβάλλει νέο ποσό θερμότητας (αισθητής) με αποτέλεσμα να κατέβει η θερμοκρασία του κάτω από το σημείο συμπύκνωσης του, γι' αυτό και ονομάζεται υπόψυκτο υγρό.

Οι συμπυκνωτές θα πρέπει να έχουν επαρκή όγκο και επιφάνεια που να ανταποκρίνονται στο μέγεθος της θερμότητας την οποία καλούνται να αποβάλλουν προς το μέσο συμπύκνωσης, προκειμένου να υγροποιηθεί το ψυκτικό αέριο εντός των συμπυκνωτών. Ειδικότερα, ο όγκος του συμπυκνωτή πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος που να επιτρέπει τον αποχωρισμό του υγρού που έχει συμπυκνωθεί από το μη συμπυκνωθέν ψυκτικό αέριο που βρίσκεται εντός των πρώτων σωληνώσεων του συμπυκνωτή.

1.5.1 Κατάταξη Συμπυκνωτών

Ανάλογα ως προς το μέσο συμπύκνωσης του ψυκτικού αερίου οι συμπυκνωτές μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Στους αερόψυκτους : Χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρές - μεσαίες εγκαταστάσεις και σπανιότερα σε μεγάλες εγκαταστάσεις όταν υπάρχει πρόβλημα νερού.
- Στους υδρόψυκτους : Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις στις οποίες δεν υπάρχει πρόβλημα νερού.
- Στους ατμοποίησης ή εξατμιζόμενου τύπου : Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις, στις οποίες συνήθως υπάρχει σχετική ανεπάρκεια νερού και η χρήση υδρόψυκτου κρίνεται ασύμφορη.

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθενός από τους παραπάνω τύπους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.



Powered by DDTTrade.com

Εικόνα 1.13: Αερόψυκτος συμπυκνωτής



Εικόνα 1.14: Υδρόψυκτος συμπυκνωτής

Πίνακας 1.1 Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα αναλόγως το είδος συμπυκνωτή

| ΕΙΔΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ | ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ | ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ |
|----------------------------|---|---|
| <p>Αερόψυκτος</p> | <p>Δεν απαιτείται νερό για τη λειτουργία τους επομένως δεν έχουν πρόβλημα καθαρισμού ή διαβρώσεων.</p> <p>Έχει μικρό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.</p> | <p>Η απόδοσή τους εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Δηλαδή το καλοκαίρι που υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις ψύξης, η απόδοση της εγκατάστασης μειώνεται.</p> <p>Η απαιτούμενη ισχύς ανά ψυκτικό τόνο είναι μεγάλη λόγω της χρήσης ανεμιστήρων</p> <p>Ελάττωση της ζωής του συμπιεστή</p> |
| <p>Υδρόψυκτος</p> | <p>Απαιτείται μικρότερη ισχύς ανα ψυκτικό τόνο</p> <p>Αποδίδουν το ίδιο καλά κατά τις ψυχρές και θερμές ημέρες</p> <p>Εξασφαλίζει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στον συμπιεστή της μονάδας</p> <p>Η ισχύς τους είναι απεριόριστη</p> | <p>Απαιτείται σημαντική ποσότητα νερού και συνήθως εγκατάσταση πύργου ψύξης.</p> <p>Μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.</p> <p>Προβλήματα παγοποίησης του νερού κατά τις ψυχρές ημέρες του χειμώνα.</p> |
| <p>Εξατμιστικός</p> | <p>Απαιτεί πολύ λιγότερο νερό από αντίστοιχο υδρόψυκτο.</p> <p>Απαιτείται μικρότερος χώρος εγκατάστασης από αντίστοιχο υδρόψυκτο με πύργο ψύξης.</p> <p>Μπορεί να τοποθετηθεί εντός ή και εκτός του κτιρίου</p> <p>Συναντάται σε όλα τα μεγέθη.</p> | <p>Έχει ανάγκη αρκετά δαπανηρής συντήρησης.</p> <p>Παρουσιάζει προβλήματα παγοποίησης του νερού της εγκατάστασης.</p> |

1.6 Ατμοποιητής

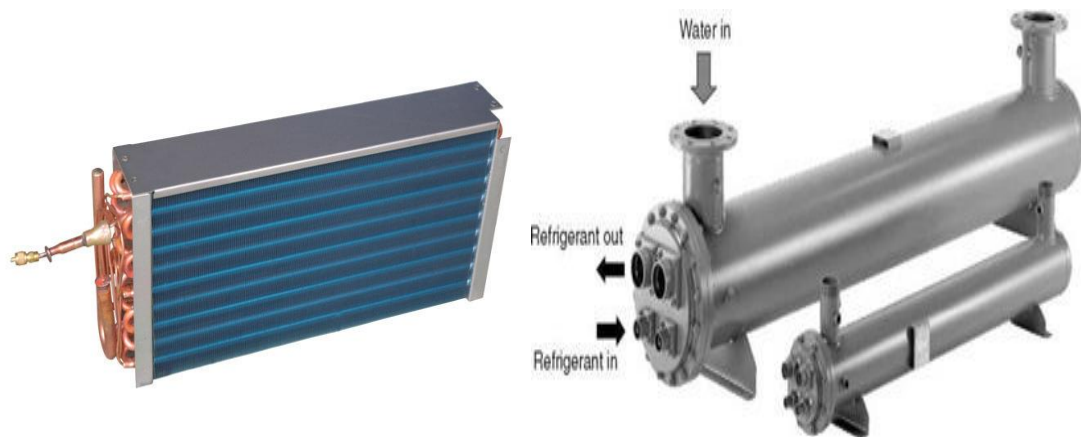
Ο ατμοποιητής ή στοιχείο ατμοποίησης είναι το τμήμα εκείνο της ψυκτικής μηχανής, στο οποίο το ψυκτικό υγρό μετατρέπεται σε αέριο (ατμοποιείται), αφαιρώντας μεγάλα ποσά θερμότητας από το περιβάλλον του ατμοποιητή.

Όπως είναι γνωστό, ο ατμοποιητής βρίσκεται στο χώρο που θέλουμε να ψύξουμε. Στον ίδιο χώρο τοποθετούνται και τα προς ψύξη προϊόντα. Έτσι, το διερχόμενο από τον ατμοποιητή ψυκτικό υγρό, για να ατμοποιηθεί αφαιρεί θερμότητα από το χώρο και έμμεσα στα προϊόντα που βρίσκονται στον ψυχόμενο χώρο (θάλαμο). Αφαιρώντας όμως θερμότητα από το θάλαμο και τα προϊόντα, έχουμε ανάλογη πτώση θερμοκρασίας (δηλαδή ψύξη).

1.6.1 Κατάταξη Ατμοποιητών

Η τεράστια ποικιλία εφαρμογών ψύξης έχει δημιουργήσει την ανάγκη κατασκευής ατμοποιητών σε πολύ μεγάλη ποικιλία. Η ποικιλία αναφέρεται στο μέγεθος στο σχήμα και γενικότερα στην μορφή με την οποία συναντώνται στο εμπόριο οι ατμοποιητές. Θα μπορούσαμε να τους κατατάξουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Σε ατμοποιητές ψύξης αέρα ή αεροψυκτήρες : αυτοί ψύχουν τον αέρα ενός κλειστού χώρου (ψυγείου) και μέσω του αέρα τα προς συντήρηση προϊόντα. (το 80% των ψυκτικών εφαρμογών έχουν τέτοιου τύπου ατμοποιητή)
- Σε ατμοποιητές ψύξης υγρών : αυτοί ψύχουν υγρά όπως νερό γάλα μπύρα κτλ. Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή η θερμοκρασία πήξης των παραπάνω είναι μεγάλη σε σχέση με τις συνήθεις θερμοκρασίες ατμοποίησης, χρησιμοποιούνται και δευτερεύοντα ψυκτικά ρευστά (νερό ή άλμη) ψύχοντας έτσι έμμεσα το προϊόντα στο θάλαμο.



Εικόνα 1.15: Αερόψυκτος ατμοποιητής (αριστερά) και υδρόψυκτος ατμοποιητής (δεξιά)

1.7 Εκτονωτική Βαλβίδα

Σκοπός της εκτονωτικής βαλβίδας ή των στραγγαλιστικών διατάξεων όπως αλλιώς ονομάζονται είναι:

1. Να μεταβάλλουν το ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας σε υγρό σταθερής χαμηλής πίεσης
2. Να ελέγχουν την ποσότητα του ψυκτικού με την οποία τροφοδοτείται ο ατμοποιητής, ώστε η μονάδα να εργάζεται με τη μέγιστη δυνατή απόδοση χωρίς όμως να υπερφορτώνεται ο συμπιεστής.

Η λειτουργία των εκτονωτικών μέσων βασίζεται στην αλλαγή τιμής ενός από τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη:

- Της πίεσης
- Της θερμοκρασίας
- Του όγκου του ψυκτικού ρευστού
- Τέλος, στον συνδυασμό αλλαγής της τιμής δύο ή περισσότερων από τα παραπάνω.

Στις πρώτες ψυκτικές εγκαταστάσεις, η λειτουργία των ψυκτικών μηχανών βασιζόταν στην χρήση χειροκίνητων εκτονωτικών βαλβίδων. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί εκτονωτικές βαλβίδες αυτόματης λειτουργίας που καλύπτουν όλες τις ανάγκες των ψυκτικών εφαρμογών.

1.7.1 Κατάταξη Εκτονωτικών Βαλβίδων

Οι τύποι εκτονωτικών μέσων ή εκτονωτικών βαλβίδων που χρησιμοποιήθηκαν ή χρησιμοποιούνται ακόμη είναι:

- Η χειροκίνητη εκτονωτική βαλβίδα
- Η εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στην πλευρά της χαμηλής πίεσης.
- Η εκτονωτική βαλβίδα με πλωτήρα στην πλευρά της υψηλής πίεσης.
- Η αυτόματη εκτονωτική βαλβίδα ή βαλβίδα σταθερής πίεσης ή πρεσσοστατική βαλβίδα.
- Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα ή βαλβίδα σταθερής υπερθέρμανσης ή θερμοεκτονωτική βαλβίδα.
- Ο τριχοειδής σωλήνας.
- Η ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα.



www.hisupplier.com



Εικόνα 1.16: Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (πάνω αριστερά), Τριχοειδής σωλήνας (πάνω δεξιά), Ηλεκτρική εκτονωτική βαλβίδα (κάτω αριστερά), Πρεσσοστατική εκτονωτική βαλβίδα (κάτω δεξιά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

2.1 Εισαγωγή

Ως ψυκτικά μέσα χαρακτηρίζονται εκείνα τα ρευστά τα οποία μεταφέρουν τη θερμότητα εντός των ψυκτικών εγκαταστάσεων και συγκεκριμένα απορροφούν θερμότητα από τον προς ψύξη χώρο και την απορρίπτουν στο περιβάλλον. Κατά τον σχεδιασμό των ψυκτικών συστημάτων, υπάρχει διαθέσιμη μια ποικιλία από ψυκτικά μέσα, όπως είναι τα φυσικά ρευστά (αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα), οι χλωροφθοράνθρακες (CFC), οι υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFC) και οι υδρογονοφθοράνθρακες (HFC) μεταξύ των οποίων θα πρέπει να γίνει κάποια επιλογή. Σημαντικό χαρακτηριστικό ενός ψυκτικού ρευστού είναι η θερμοκρασία ατμοποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση η οποία είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκμετάλλευση της χαμηλής θερμοκρασίας στις ψυκτικές εγκαταστάσεις.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Περίπου το 1850, ο αιθυλικός αιθέρας ήταν το πρώτο ψυκτικό μέσο στα συστήματα παραγωγής ψύξης με συμπίεση ατμού όπου χρησιμοποιήθηκε στο εμπόριο. Στη συνέχεια, άρχισε να χρησιμοποιείται η αμμωνία (NH₃), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθυλοχλωρίδιο, το διοξείδιο του θείου, το βουτάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο το ισοβουτάνιο, το αερίελλαιο και οι χλωροφθοράνθρακες.

Είναι αξιοσημείωτο ότι τα ψυκτικά «πρώτης γενιάς», τα οποία χρησιμοποιούνταν στους οικιακούς τομείς του εμπορίου μικρής κλίμακας, για παράδειγμα το διοξείδιο του θείου, το αιθυλοχλωρίδιο και το μεθυλοχλωρίδιο ήταν υψηλής τοξικότητας. Η εκτεταμένη δημοσιότητα τη δεκαετία του 1920 μερικών περιπτώσεων διαρροών, που προκάλεσαν σοβαρές αρρώστιες και θανάτους, οδήγησε στην απαγόρευση ή και στον περιορισμό της χρήσης αυτών των ψυκτικών, δημιουργώντας έτσι την ανάγκη ανάπτυξης νέων ασφαλών ψυκτικών μέσων.

Κατά παραγγελία της εταιρίας Frigidaire Corporation, τα ερευνητικά εργαστήρια της General Motors ανέπτυξαν το 1928, το ψυκτικό R21, το πρώτο μέλος της οικογένειας των ψυκτικών χλωροφθορανθράκων (CFC). Από τους διάφορους χλωροφθοράνθρακες που αναπτύχθηκαν, η ερευνητική ομάδα κατέληξε στο ότι το καταλληλότερο ψυκτικό μέσο για εμπορική χρήση ήταν το R12 δίνοντας έτσι και την εμπορική ονομασία Freon

στην οικογένεια των CFC. Η πολυμορφία καθώς επίσης και το χαμηλό κόστος των χλωροφθορανθράκων, τους μετέτρεψαν σε βασικά προτιμώμενα ψυκτικά. Οι χλωροφθοράνθρακες χρησιμοποιήθηκαν επίσης σε μεγάλο βαθμό σε εντομοκτόνα, σε αφρώδη μονωτικά και στη βιομηχανία ηλεκτρονικών, ως διαλύματα για τον καθαρισμό των μικροκυκλωμάτων.

2.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η κρίση του όζοντος προκάλεσε μεγάλη αναταραχή στη βιομηχανία ψυγείων και κλιματιστικών και ώθησε σε λεπτομερή επανεξέταση των ψυκτικών που χρησιμοποιούνταν. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970, έγινε αντιληπτό ότι οι χλωροφθοράνθρακες επιτρέπουν τη διαπέραση της ατμόσφαιρας της γης από μεγαλύτερο ποσοστό υπεριώδους ακτινοβολίας, ενώ δεν επιτρέπουν την υπέρυθη ακτινοβολία να φύγει από τη γη, συνεισφέροντας έτσι στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Το αποτέλεσμα ήταν να αρχίσει η απαγόρευση κάποιων τύπων CFCs και η απομάκρυνση από το εμπόριο σε αρκετές χώρες, μέσω διεθνών συνθηκών (Συνθήκη Μόντρεαλ, Πρωτόκολλο Κιότο 1997).

Η μεγαλύτερη ζημιά στο στρώμα του όζοντος προκαλείται από τους πλήρως αλογονομένους χλωροφθοράνθρακες (όπως είναι τα R11, R12 και R115). Τα ψυκτικά που δεν είναι πλήρως αλογονομένα, όπως το R22, έχουν περίπου το 5% της ικανότητας εξάντλησης του όζοντος σε σύγκριση με το R12. Σε στάδιο ανάπτυξης βρίσκονται ψυκτικά ρευστά «φίλικα» με το όζον, που προστατεύει τη γη από επιβλαβείς υπεριώδεις ακτινοβολίες, τα οποία επίσης δεν θα συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (π.χ. το R134a το οποίο είναι ένα πιθανό υποκατάστατο του R12). (Yunus A. Cengel, 2012)

2.3.1 Ο δείκτης O.D.P. (Ozone Depletion Potential)

Το όζον (O₃) όντως ένα ασταθές αέριο μπορεί εύκολα να διασπαστεί, καταστρέφοντας έτσι το στρώμα όζοντος που υπάρχει στην στρατόσφαιρα ή οζοντόσφαιρα (20-40km από την επιφάνεια της θάλασσας). Η ύπαρξη αυτού του στρώματος είναι πολύ σημαντική καθώς μας προστατεύει από την επίδραση των υπεριωδών ακτινοβολιών στην ανθρώπινη και μη ζωή στη γη. Παρόλο που εκ φύσεως το στρώμα του όζοντος δημιουργείται και καταστρέφεται, η ύπαρξη βλαβερών ουσιών όπως των χλωροφθορανθράκων έχει οδηγήσει στην καταστροφή παρά δημιουργία του όζοντος.

Τόσο κατά την παραγωγή όσο και κατά την χρησιμοποίηση των CFC απελευθερώνονται σημαντικά ποσά αερίων τα οποία αντιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία και διασπών το στρώμα του όζοντος.

Έτσι, για να ποσοτικοποιηθεί μία ουσία για την ικανότητά της να καταστρέφει το όζον δημιουργήθηκε ο δείκτης O.D.P. που εκφράζεται με το λόγο επίδρασης της ουσίας αυτής στο όζον προς την επίδραση που έχει ίση μάζα του R11. Τα ψυκτικά HCFCs παρουσιάζουν 95% μικρότερο O.D.P. σε σχέση με τα CFCs.

2.3.2 Ο δείκτης G.W.P. (Global Warming Potential)

Κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα αλλά και τα διάφορα ψυκτικά μέσα, που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, πριν φτάσουν στην στρατόσφαιρα, περνούν από τα διάφορα στρώματα της κατώτερης ατμόσφαιρας όπου παραμένουν για αρκετό διάστημα. Εκεί απορροφούν και κατακρατούν ένα σημαντικό μέρος της θερμότητας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης προς το διάστημα. Αυτός ο εγκλωβισμός της θερμότητας συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη και τη δημιουργία του «φαινομένου του Θερμοκηπίου».

Ο δείκτης G.W.P. χαρακτηρίζει την επιβάρυνση της ουσίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ορίζεται ως το μέγεθος της συμβολής μια χημικής ουσίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για μια περίοδο 100 χρόνων συγκρινόμενη με αυτή ίσης μάζας CO₂ που έχει τιμή 1.

2.4 Ιδιότητες των Ψυκτικών Μέσων

Για να χρησιμοποιηθεί ένα ρευστό σαν ψυκτικό μέσο θα πρέπει να έχει τις παρακάτω χημικές και φυσικές ιδιότητες:

Χημικές Ιδιότητες

1. Χημική ευστάθεια
2. Χημική αδράνεια με τα υλικά που έρχεται σε επαφή
3. Μη αναφλέξιμο
4. Μη εκρηκτικό
5. Μη τοξικό
6. Ανιχνεύσιμο σε διαρροές (όχι άοσμο)
7. Να μην αντιδρά με το λιπαντικό του συμπιεστή

8. Να είναι φιλικό με το περιβάλλον (χαμηλά επίπεδα O.D.P και G.W.P.)

Φυσικές ιδιότητες

1. Χαμηλή θερμοκρασία συμπύκνωσης
2. Χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης σε πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής
3. Υψηλή κρίσιμη θερμοκρασία
4. Χαμηλή θερμοκρασία πήξης
5. Μεγάλη λανθάνουσα θερμοκρασία
6. Χαμηλή τιμή ειδικού όγκου



Εικόνα 2.1: Διάφορες φιάλες ψυκτικών ρευστών που κυκλοφορούν στο εμπόριο

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται βασικές φυσικές ιδιότητες για διάφορα ψυκτικά ρευστά

Πίνακας 2.1 : Φυσικές ιδιότητες διαφόρων ψυκτικών μέσων (Πηγή : www.engineeringtoolbox.com.)

| Refrigerant | Name | Molecular Mass | Boiling point at 1 bar abs (°C) | Freezing Point 1 bar abs (°C) | Critical Point | | |
|----------------------|---|-------------------|--|---|---------------------|--------------------|------------------------------------|
| | | | | | Temperature (°C) | Pressure (psia) | Specific Volume (Cu.Ft./lb.) |
| R-10 | Carbontetrachloride | 153.8 | 76,8 | | | | |
| R-11 | Trichlorofluoromethane ¹⁾ | 137.37 | 23,8 | -111,1 | 197,8 | 640 | 0.0289 |
| R-12 | Dichlorodifluoromethane ²⁾ | 120.91 | -29,9 | -157,8 | 112,2 | 597 | 0.0287 |
| R-13 | Monochlorotrifluoromethane | 104.46 | -81,4 | -181,1 | 28,9 | 561 | 0.0277 |
| R-13B1 | Bromotrifluoromethane | 148.91 | -57,8 | -167,8 | 67,2 | 575 | 0.0215 |
| R-14 | Tetrafluoromethane (Carbon tetrafluoride) | 88.00 | -127,9 | -183,9 | -45,6 | 543 | 0.0256 |
| R-14 | Chloroform | 119.4 | 61,1 | | | | |
| R-21 | Dichloro-fluoromethane | 102.92 | 8,9 | -135,0 | | | |
| R-22 | Monochlorodifluoromethane ³⁾ | 86.468 | -40,7 | -160,0 | 96,1 | 722 | 0.0305 |
| R-23 | Trifluormethane | 70 | -84,4 | | | | |
| R-30 | Methylene Chloride | 84.9 | 40,7 | | | | |
| R-31 | Monochloromonofluoromethane | 68.5 | 8,9 | | | | |
| R-32 | Methylene Fluoride | 52.0 | -51,9 | | | | |

| | | | | | | | |
|--------|--|--------|--------|--------|-------|-----|--------|
| R-40 | Chloromethane (Methyl Chloride) | 50.488 | -23,7 | -97,8 | 143,3 | 969 | 0.0454 |
| R-41 | Methyl Fluoride | 34.0 | -78,3 | | | | |
| R-50 | Methane | 16.044 | -161,7 | -182,6 | | | |
| R-110 | Hexachloroethane | 236.8 | 185,0 | | | | |
| R-111 | Pentachloromonofluoroethane | 220.3 | 137,2 | | | | |
| R-112 | Tetrachlorodifluoroethane | 203.8 | 92,8 | | | | |
| R-113 | Trichlorotrifluoroethane ⁴⁾ | 187.39 | 47,8 | -35,0 | 213,9 | 499 | 0.0278 |
| R-114 | 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane | 170.92 | 3,6 | -93,9 | 145,6 | 473 | 0.0275 |
| R-115 | Chloropentafluoroethane | 154.47 | -38,9 | -100,6 | 80,0 | 458 | 0.0261 |
| R-116 | Hexafluoroethane | 138.0 | -78,2 | | | | |
| R-120 | Pentachloroethane | 202.3 | 162,2 | | | | |
| R-123 | Dichlorotrifluoroethane ⁵⁾ | 152.93 | 27,8 | -107,2 | 183,9 | 533 | |
| R-124 | Monochlorotetrafluoroethane | 136.5 | -12,0 | | | | |
| R-125 | Pentafluoroethane | 120 | -48,3 | | | | |
| R-133a | Monochlorotrifluoroethane | 118.5 | 6,1 | | | | |
| R-134a | Tetrafluoroethane ⁶⁾ | 102.03 | -26,1 | -96,7 | 101,1 | 590 | 0.0290 |

| | | | | | | | |
|--------|---|--------|-------|--------|-------|-----|--------|
| R-140a | Trichloroethane | 133.4 | 73,9 | | | | |
| R-142b | 1-chloro-1,1-difluoroethane | 100.50 | -10,0 | -131,1 | 137,2 | 598 | 0.0368 |
| R-143a | Trifluoroethane | 84 | -47,5 | | | | |
| R-150a | Dichloroethane | 98.9 | 60,0 | | | | |
| R-152a | Difluoroethane | 66.05 | -25,0 | | | | |
| R-160 | Ethyl Chloride | 64.515 | -11,0 | -138,9 | | | |
| R-170 | Ethane | 30.070 | -88,3 | -172,2 | 32,2 | 710 | 0.0830 |
| R-218 | Octafluoropropane | 188 | -38,0 | | | | |
| R-290 | Propane | 44.097 | -42,2 | -189,9 | 96,7 | 617 | 0.0728 |
| R-410A | R-32 Difluoromethane (50% weight), R-125 Pentafluoroethane (50% weight) | 72.6 | -48,6 | | 72,2 | 690 | |
| R-500 | Dichlorodifluoromethane/ Difluoroethane ⁷⁾ | 99.31 | -33,3 | -158,9 | 105,6 | 642 | 0.0323 |
| R-502 | Chlorodifluoromethane/ Chloropentafluoroethane | 111.63 | -45,6 | | 82,2 | 591 | 0.0286 |
| R-503 | Chlorotrifluoromethane/ Trifluoromethane | 87.50 | -88,9 | | 19,4 | 607 | 0.0326 |

Ανάλογα με τον τύπο του ψυκτικού ρευστού έχουμε τα εξής ψυκτικά ρευστά:

Πίνακας 2.2: Κατάταξη ψυκτικών μέσων ανάλογα με το είδος του ψυκτικού

Refrigerants

| | | |
|---------------------------------|-------|---|
| CFC ChloroFluoroCarbons | R11 | Trichlorofluoromethane |
| | R12 | Dichlorodifluoromethane |
| | R13 | Chlorotrifluoromethane |
| | R113 | Trichlorotrifluoroethane |
| | R114 | 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane |
| | R500 | Dichlorodifluoromethane/ Difluoroethane |
| | R502 | Chlorodifluoromethane/ Chloropentafluoroethane |
| HCFC HydroChloroFluorCarbons | R503 | Chlorotrifluoromethane/ Trifluoromethane |
| | R22 | Chlorodifluoromethane |
| | R123 | Dichlorotrifluoroethane |
| | R124 | Chlorotetrafluoroethane |
| | R401a | R22(53%)/R152a(13%)/R124(34%) |
| | R401b | R22(61%)/R152a(11%)/R124(28%) |

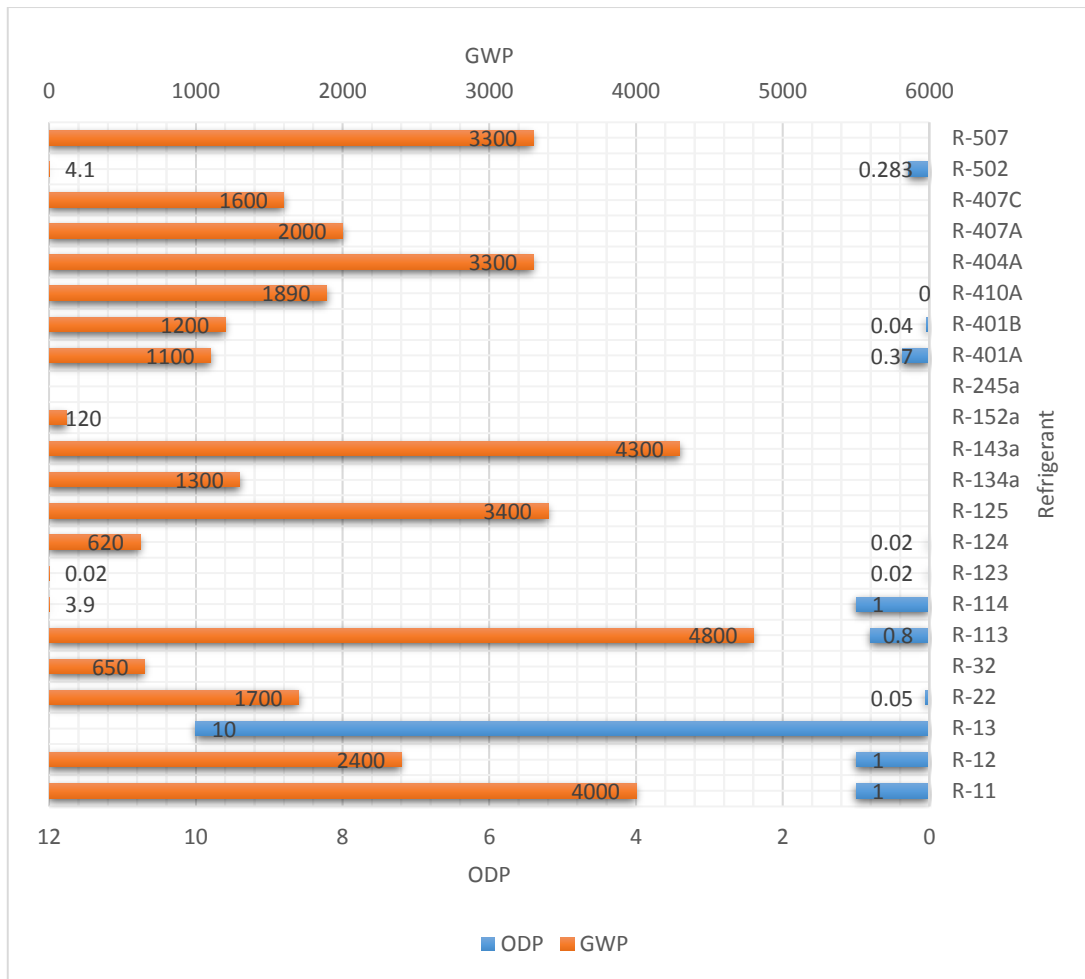
| | | |
|--------------------------|-------|-----------------------------------|
| | R402a | R22(38%)/R125(60%)/R290(2%) |
| | R403b | R22(56%)/R218(39%)/R290(5%) |
| | R406a | R22(55%)/R600a(4%)/R142b(41%) |
| | R408a | R125(7%)/R143a(46%)/R22(47%) |
| | R409a | R22(60%)/R124(25%)/R142b(15%) |
| HFC HydroFluorCarbons | R23 | Trifluoromethane |
| | R134a | Tetrafluoroethane |
| | R404a | R125(44%)/R143a(52%)/R134a(4%) |
| | R407a | R32(20%)/R125(40%)/R134a(40%) |
| | R410a | R32(50%)/R125(50%) |
| | R416a | R134a(59%)/R124(39.5%)/R600(1.5%) |
| | R507 | R125(50%)/R143a(50%) |
| | R508a | R23(39%)/R116(61%) |
| HC HydroCarbons | R600 | butane |
| | R600a | iso-butane |

Επίσης, τα ψυκτικά ρευστά μπορούν να καταταχθούν ανάλογα με τους δείκτες O.D.P. και G.W.P όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 2.3: Δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων βασικών ψυκτικών μέσων

| Refrigerant | Ozone Depletion Potential (ODP) | Global Warming Potential (GWP) |
|---|--|---------------------------------------|
| R-11 Trichlorofluoromethane | 1.0 | 4000 |
| R-12 Dichlorodifluoromethane | 1.0 | 2400 |
| R-13 B1 Bromotrifluoromethane | 10 | |
| R-22 Chlorodifluoromethane | 0.05 | 1700 |
| R-32 Difluoromethane | 0 | 650 |
| R-113 Trichlorotrifluoroethane | 0.8 | 4800 |
| R-114 Dichlorotetrafluoroethane | 1.0 | 3.9 |
| R-123 Dichlorotrifluoroethane | 0.02 | 0.02 |
| R-124 Chlorotetrafluoroethane | 0.02 | 620 |
| R-125 Pentafluoroethane | 0 | 3400 |
| R-134a Tetrafluoroethane | 0 | 1300 |
| R-143a Trifluoroethane | 0 | 4300 |
| R-152a Difluoroethane | 0 | 120 |
| R-245a Pentafluoropropane | 0 | |
| R-401A (53% R-22,34% R-124, 13% R-152a) | 0.37 | 1100 |

| | | |
|--|-------|------|
| R-401B (61% R-22, 28% R-124, 11% R-152a) | 0.04 | 1200 |
| R-410A (R32 50% R125 50%) | 0 | 1890 |
| R-404A (44% R-125, 52% R-143a, R-134a) | 0 | 3300 |
| R-407A (20% R-32,40% R-125, 40% R-134a) | 0 | 2000 |
| R-407C (23% R-32,25% R-125, 52% R-134a) | 0 | 1600 |
| R-502 (48.8% R-22, 51.2% R-115) | 0.283 | 4.1 |
| R-507 (45% R-125, 55% R-143) | 0 | 3300 |
| R-717 Ammonia - NH ₃ | 0 | 0 |
| R-718 Water - H ₂ O | 0 | - |
| R-729 Air | 0 | - |
| R-744 Carbon Dioxide - CO ₂ | - | 1 |



Διάγραμμα 2.1 : Διάγραμμα δεικτών ODP , GWP για τυπικά ψυκτικά ρευστά

2.5 Υποκατάστατα των CFCs και HCFCs

Με την εξέλιξη της επιστήμης κατά το πέρασμα των ετών έχουν εξελιχθεί ψυκτικά μέσα τα οποία έχουν σκοπό να αντικαταστήσουν τα υπάρχοντα βλαβερά για το περιβάλλον ψυκτικά. Έτσι, αναπτύχθηκε μια νέα κατηγορία ψυκτικών ρευστών, οι υδρογόνο – φθοράνθρακες ή HFCs, στην οποία τα μόρια χλωρίου έχουν αντικατασταθεί με μόρια υδρογόνου (μείωση περιβαλλοντικής επιβάρυνσης). Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ρευστών είναι το R134a, R404A, R407C και R410A.

Η προσπάθεια αυτή αντικατάστασης των παλιών βλαβερών ρευστών (η οποία συνεχίζεται ακόμη) έχει αποφέρει νέα αμιγή ρευστά, όπως το R23 και το R134a αλλά και μίγματα ψυκτικών ρευστών ώστε οι φυσικές, χημικές και θερμοδυναμικές ιδιότητες των νέων ψυκτικών να είναι ιδανικές για κάθε εφαρμογή ή να πλησιάζουν το προς

υποκατάσταση ψυκτικό ρευστό. Στον παρακάτω πίνακα 2.4 φαίνονται μερικά από τα ψυκτικά που έχουν δημιουργηθεί για να αντικαταστήσουν παλαιότερα.

Πίνακας 2.4: Παλαιά ψυκτικά μέσα και τα πιθανά ρευστά αντικατάστασής τους.

| Ψυκτικό Ρευστό | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Υποκατάστατα | Ήδη χρησιμοποιούμενα |
| R134a | R12, R500 |
| R407C | R22 |
| R410A | |
| R152a | R134a |
| R507 | R502 |

2.6 Κριτήρια Επιλογής Εναλλακτικών Ψυκτικών Ρευστών

Καθοριστικό ρόλο για την επιλογή αντικατάστασης ενός ψυκτικού σε ένα σύστημα παίζουν οι φυσικές, χημικές και θερμοδυναμικές ιδιότητες του ψυκτικού, αλλά και παράγοντες που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια του συστήματος όπως επίσης και διάφορα τεχνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια.

2.6.1 Θερμοδυναμικά Κριτήρια

- Η κρίσιμη θερμοκρασία του ψυκτικού πρέπει να είναι πάντα υψηλότερη της θερμοκρασίας συμπύκνωσης του συστήματος (T_c). Χαμηλές κρίσιμες θερμοκρασίες οδηγούν σε μείωση της απόδοσης του ψυκτικού κύκλου.
- Οι πιέσεις του ψυκτικού κύκλου και άρα ο λόγος πίεσης (PR) θα πρέπει να κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα. Αύξηση του λόγου πίεσης εκτός του ότι οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού, συμβάλλει στην μείωση του ογκομετρικού βαθμού πλήρωσης του συμπιεστή και άρα στην αύξηση της κατανάλωσης.
- Η υπερθέρμανση του ατμού μετά την έξοδο απ' τον ατμοποιητή αναλόγως το ψυκτικό, θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα για το λόγο ότι μειώνεται σημαντικά ο ογκομετρικός βαθμός πλήρωσης (λόγω της μεγάλης αύξησης της θερμοκρασίας).
- Εάν το ψυκτικό ρευστό είναι ζεοτροπικό απαιτείται προσοχή στην ρύθμιση της παροχής στον ατμοποιητή μέσω της στραγγαλιστικής βαλβίδας, μεταβάλλεται δηλαδή η θερμοκρασία του κατά την ατμοποίηση και συμπύκνωση (αλλαγή φάσης).

- Η ογκομετρική δυνατότητα ψύξης του ρευστού από τον συμπιεστή είναι μια σημαντική παράμετρος για το μέγεθος του συμπιεστή.

2.6.2 Κριτήρια Ασφάλειας

Τον κυριότερο ρόλο στην ασφάλεια ενός ψυκτικού συστήματος παίζει η αναφλεξιμότητα ή όχι του ψυκτικού. Αναφλέξιμα είναι τα ψυκτικά HC's (υδρογονάνθρακες) όπως το R290, R600 και R600a. Για την εκμετάλλευση των κατά τα άλλα καλών θερμοδυναμικών τους χαρακτηριστικών έχουν δημιουργηθεί μίγματα με άλλα ψυκτικά που δεν είναι αναφλέξιμα.

Η κατάταξη των ψυκτικών ρευστών βάση των ιδιοτήτων τους περί ασφάλειας προσδιορίζεται από το ASHRAE Standard 34 (2007). Πιο συγκεκριμένα χωρίζονται ανάλογα της αναφλεξιμότητας ή μη και της τοξικότητάς τους όπως φαίνονται στον πίνακα 2.5. Έτσι χαρακτηρίζουμε ένα ψυκτικό ως προς την τοξικότητά του με δύο κατηγορίες, την A και B. Στην κατηγορία A ανήκουν τα ψυκτικά που παρουσιάζουν συγκεντρώσεις λιγότερες ή ίσες με 400ppm κατ' όγκο. Ψυκτικά που παρουσιάζουν συγκεντρώσεις άνω των 400ppm κατ' όγκο ανήκουν στην κατηγορία B. Ως αναφορά την αναφλεξιμότητα των ψυκτικών έχουν δημιουργηθεί τρεις κατηγορίες. Στην κατηγορία 1 ανήκουν τα ψυκτικά που δεν παρουσιάζουν εξάπλωση φλόγας κατά την εξέτασή τους στον αέρα (στα 101kPa και 21°C). Στην κατηγορία 2 ανήκουν ψυκτικά που παρουσιάζουν κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας (LFL) άνω των 0,10kg/m³ και θερμότητας καύσης μικρότερη των 19000kJ/kg. Στην κατηγορία 3 ανήκουν τα ψυκτικά υψηλής αναφλεξιμότητας, που παρουσιάζουν κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας (LFL) μικρότερο ή ίσο με 0,10kg/m³ και θερμότητα καύσης μεγαλύτερη ή ίση με 19000kJ/kg. Τέλος, έχει δημιουργηθεί (από το 2010) μια νέα κατηγορία αναφλεξιμότητας, η 2L όπου εκεί κατατάσσονται ψυκτικά με ταχύτητες καύσης μικρότερες των 10cm/s.

Πίνακας 2.5: Χαρακτηρισμός ψυκτικών ρευστών βάση τοξικότητας και αναφλεξιμότητας (ASHRAE Standard 34 2007).

| Αναφλεξιμότητα | Κωδικός Ασφάλειας | |
|------------------------------|-------------------|------------------|
| | Χαμηλή Τοξικότητα | Υψηλή Τοξικότητα |
| Υψηλή Αναφλεξιμότητα | A3 | B3 |
| | A2L | B2L |
| Χαμηλή Αναφλεξιμότητα | A2 | B2 |
| Καμία Αναφλεξιμότητα | A1 | B1 |

2.6.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

Για να ποσοτικοποιήσουμε τις επιπτώσεις των ψυκτικών στο περιβάλλον δημιουργήσαμε τους δείκτες ODP και GWP οι οποίοι καταδεικνύουν την δυνατότητα καταστροφής του όζοντος και την συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αντίστοιχα. (Πίνακας 2.3)

2.6.4 Τεχνικά Κριτήρια

- Το νέο ψυκτικό θα πρέπει να είναι αδρανές στην επαφή με τα μέταλλα του κυκλώματος. Μόνο η αμμωνία (R717) αντιδρά στην επαφή με το χαλκό.
- Επίσης, να είναι αδρανές σε επαφή με τυχόν πλαστικά μέρη ή ρητίνες που έχουν χρησιμοποιηθεί για την μόνωση του κυκλώματος. Χημική αντίδραση των δύο μπορεί τελικά να προκαλέσει διάβρωση των μεταλλικών μερών και διαρροή.
- Πρέπει να έχει μειωμένη αναμειξιμότητα με το χρησιμοποιούμενο λιπαντικό, να μην αντιδρά χημικά με αυτό και αναλόγως τις συνθήκες λειτουργίας να επαρκεί σε ποσότητα ώστε να λιπαίνει τα κινούμενα μέρη.
- Θα πρέπει να μην έχει την τάση ένωσης με μόρια νερού που τυχόν υπάρξει στο κύκλωμα. Κύρια προβλήματα από την ύπαρξη νερού είναι η φραγή της εκτονωτικής βαλβίδας (εκεί το νερό παγώνει λόγω χαμηλής θερμοκρασίας), η αλλοίωση του ψυκτικού μέσω της υδρόλυσης και η αντίδραση στην επαφή με το χαλκό.
- Να έχει θερμική σταθερότητα ώστε να μην αποσυντίθεται κατά την αύξηση της θερμοκρασίας.
- Να έχει αποδοτικές θερμοφυσικές ιδιότητες, για την εκμετάλλευση της μεταφοράς θερμότητας στους εναλλάκτες.
- Να είναι εύκολα εντοπίσιμη μία τυχόν διαρροή ψυκτικού που θα υπάρξει στο κύκλωμα. Αν εξαιρέσουμε την αμμωνία, τα υπόλοιπα ψυκτικά είναι άοσμα, έτσι αναλόγως το είδος τους (HCFCs , HFCs) έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μηχανισμοί για τον εντοπισμό τους.

2.6.5 Οικονομικά Κριτήρια

- Το αυξανόμενο σήμερα κόστος των ψυκτικών και του αντίστοιχού του λιπαντικού, όπως επίσης του μεγέθους των σωληνώσεων και των

βοηθητικών εξαρτημάτων του συστήματος εξαρτώνται άμεσα από το είδος του ψυκτικού.

- Το νέο ψυκτικό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαδεδομένο ώστε να είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμο και καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΤΜΩΝ

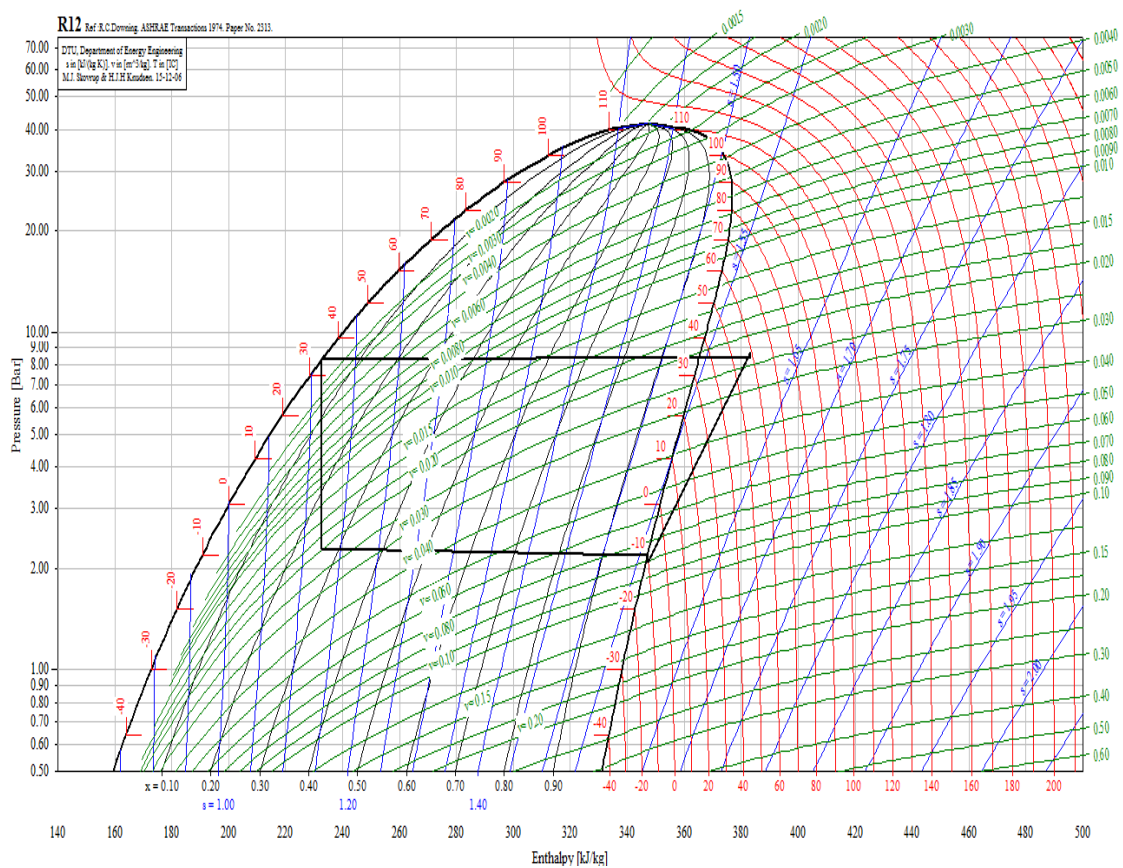
3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε αναλυτικά την μεταβολή μεταβλητών και χαρακτηριστικών ενός ψυκτικού κύκλου στα διάφορα επιλεγμένα ψυκτικά μέσα. Αρχικά, για να μπορέσουμε στο παρών κεφάλαιο, αλλά και στην συνέχεια να συγκρίνουμε τα ψυκτικά μέσα και τις μεταβολές τους, επιλέξαμε ένα σταθερό ψυκτικό κύκλο με τον οποίο θα δουλέψουμε, μεταβάλλοντας θερμοκρασίες συμπύκνωσης T_c ($^{\circ}\text{C}$), θερμοκρασίες ατμοποίησης T_e ($^{\circ}\text{C}$) και τις θερμοκρασίες υπόψυξης και υπερθέρμανσης (Superheat and Subcooling Temperature). Ο ψυκτικός αυτός κύκλος είναι ένας μονοβάθμιος κύκλος συμπίεσης ατμών χωρίς εναλλάκτη και θα έχει τα εξής σταθερά χαρακτηριστικά:

Πίνακας 3.1 : Τιμές χαρακτηριστικών ψυκτικού κύκλου ο οποίος μελετήθηκε μέσω CoolPack

| A/A | Περιγραφή | Τιμή | CoolPack |
|-----|--|------|---------------------------------|
| 1 | Ισχύς Ατμοποιητή (kW) | 10 | Q_e [kW] = 10.000 |
| 2 | Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης συμπιεστή | 0,7 | Isentropic efficiency = 0.70 |
| 3 | Πτώση πίεσης στον συμπυκνωτή (bar) | 0,15 | D_p condenser [Bar] = 0.15 |
| 4 | Πτώση πίεσης στον εξατμιστή (bar) | 0,10 | D_p evaporator [Bar] = 0.10 |
| 5 | Πτώση πίεσης στην γραμμή αναρρόφησης (bar) | 0,10 | D_p suction line [Bar] = 0.10 |

| | | | | | |
|----------------------|---|------|-------------------------|---|------|
| 6 | Πτώση πίεσης στην γραμμή κατάθλιψης (bar) | 0,2 | Dp discharge line [Bar] | = | 0.20 |
| 7 | Πτώση πίεσης στην γραμμή υγρού (bar) | 0,01 | Dp liquid line [Bar] | = | 0.01 |
| 8¹ | Υπόψυξη υγρού (K) | 0 | DT subcooling [K] | = | 0.00 |
| 9¹ | Υπερθέρμανση ατμού (K) | 0 | DT superheat [K] | = | 0.00 |



Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα Mollier του R12 για ένα τυπικό ψυκτικό κύκλο με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.1

¹ Τα χαρακτηριστικά αυτά μεταβάλλονται μόνο στην περίπτωση που εξετάζεται η συμπεριφορά του κύκλου σε μεταβολή αυτών (χρήση εναλλάκτη).

Τα ψυκτικά ρευστά που επιλέχθηκαν προς εξέταση είναι τα παρακάτω:

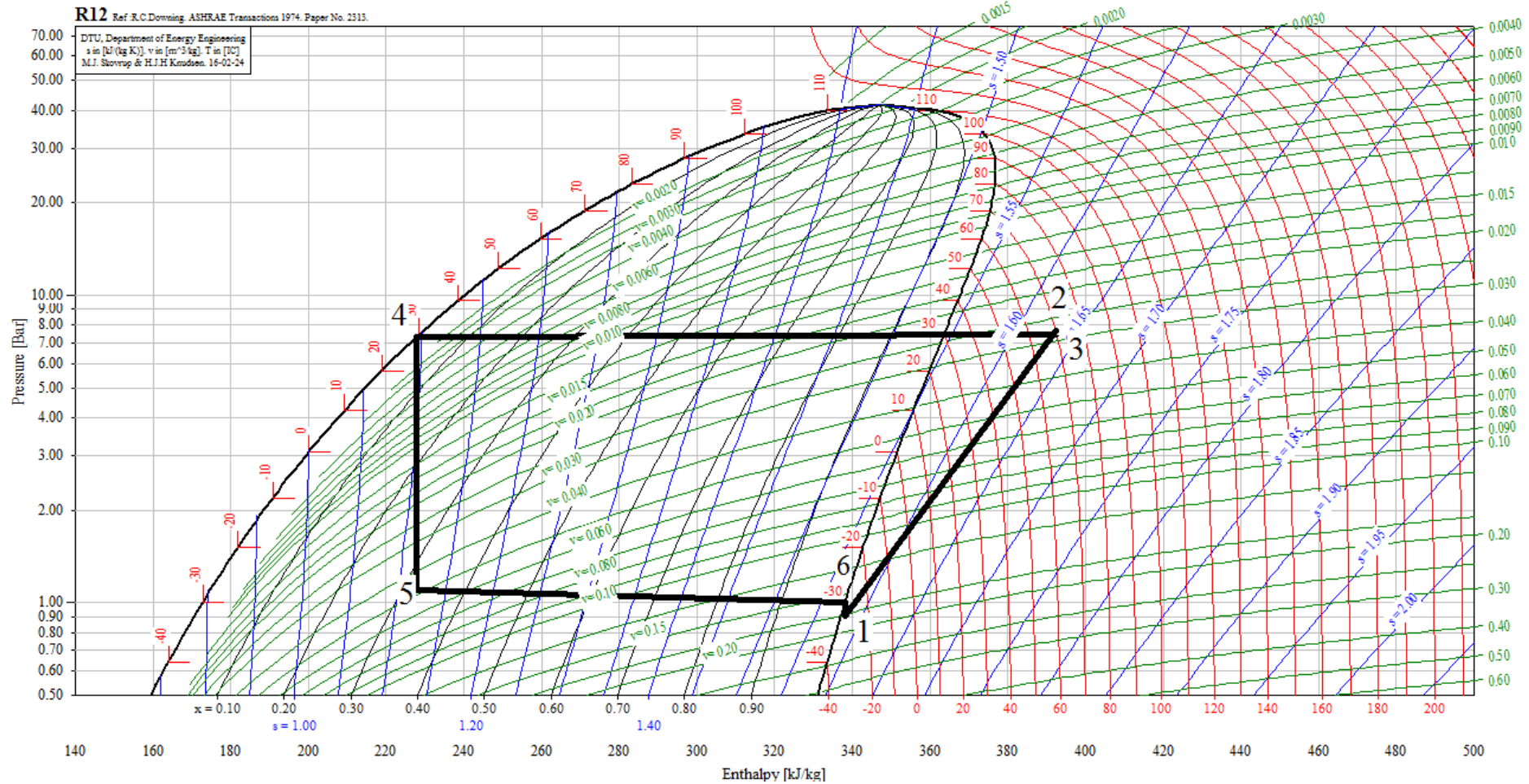
Πίνακας 3.2: Δείκτες ODP, GWP, κωδικοί ασφάλειας και συνήθεις χρήσεις των μελετηθέντων ψυκτικών ρευστών.

| Ψυκτικό ρευστό | Χημικός τύπος ή σύσταση | O.D.P. (R12=1) | G.W.P. (R744=1) | Κωδικός Ασφάλειας ² | Χρήση |
|----------------|--|----------------|-----------------|--------------------------------|--|
| R12 | CCl ₂ F ₂ | 1 | 2400 | A1 | Οικιακή και εμπορική |
| R22 | CHClF ₂ | 0,05 | 1700 | A1 | Βιομηχανική, Εμπορική Ψύξη, Ψύξη τροφίμων, Κλιματισμός |
| R134a | C ₂ H ₂ F ₄ | 0 | 1300 | A1 | Οικιακή, Βιομηχανική, Εμπορική ψύξη, Κλιματισμός |
| R152a | C ₂ H ₄ F ₂ | 0 | 120 | A2 | Βιομηχανική, εμπορική ψύξη, Κλιματισμός |
| R290 | C ₃ H ₈ (Propane) | 0 | 3 | A3 | Ψυγεία οικιακής χρήσης |
| R407A | 0.2R32/0.4R125/0.4 R134a | 0 | 2000 | A1 | Βιομηχανική και εμπορική ψύξη |
| R407B | 0.1R32/0.7R125/0.2R134a | 0 | 2560 | A1 | Βιομηχανική και εμπορική ψύξη |

² Πηγές : (Sarbu, 2014), (M.C. Zaghdoudi, 2010) (Jarahnejad, 2012)

| | | | | | |
|--------------|---|------|------|-----|--|
| R407C | 0.23R32/0.25R125/0.52R134a | 0 | 1610 | A1 | Βιομηχανική και εμπορική ψύξη |
| R410A | 0.5 R32 / 0.5 R125 | 0 | 1890 | A1 | Κλιματισμός, Βιομηχανική και Εμπορική Χρήση |
| R500 | R12/R152a | 0,66 | 6000 | A1 | Οικιακή, βιομηχανική ψύξη, Κλιματισμός |
| R600a | C ₄ H ₁₀ (Iso-butane) | 0 | 3 | A3 | Ψυγεία οικιακής χρήσης |
| R717 | NH ₃ (Ammonia) | 0 | 0 | B2L | Αντλίες θερμότητας, κλιματισμός, εμπορική ψύξη |
| R744 | CO ₂ | 0 | 1 | A1 | Εμπορική και βιομηχανική ψύξη |

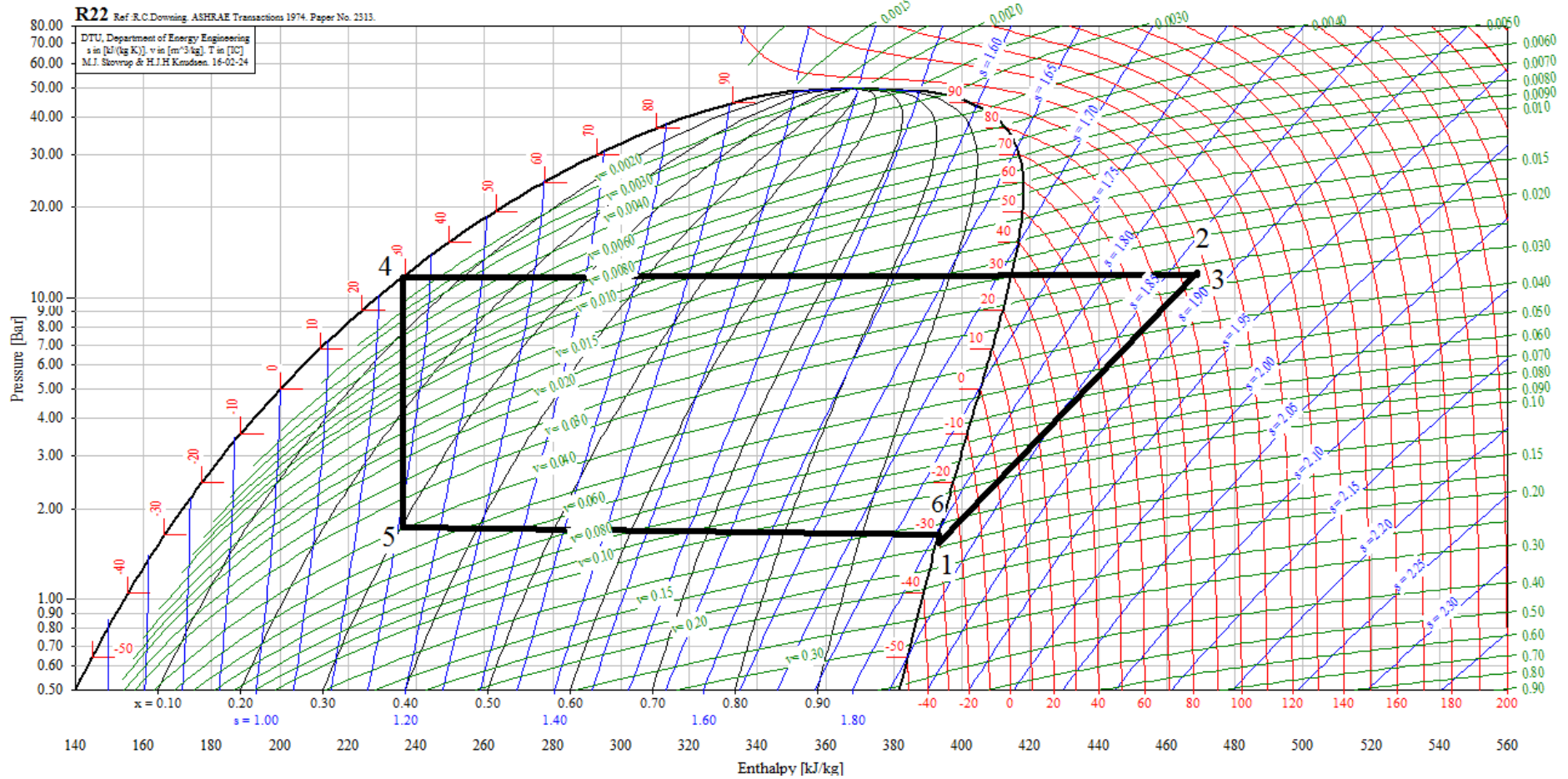
3.2 Διαγράμματα Mollier για κάθε εξεταζόμενο ψφκτικό ρευστό



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψφκτικό ρευστό R12 με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 : Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R12 για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

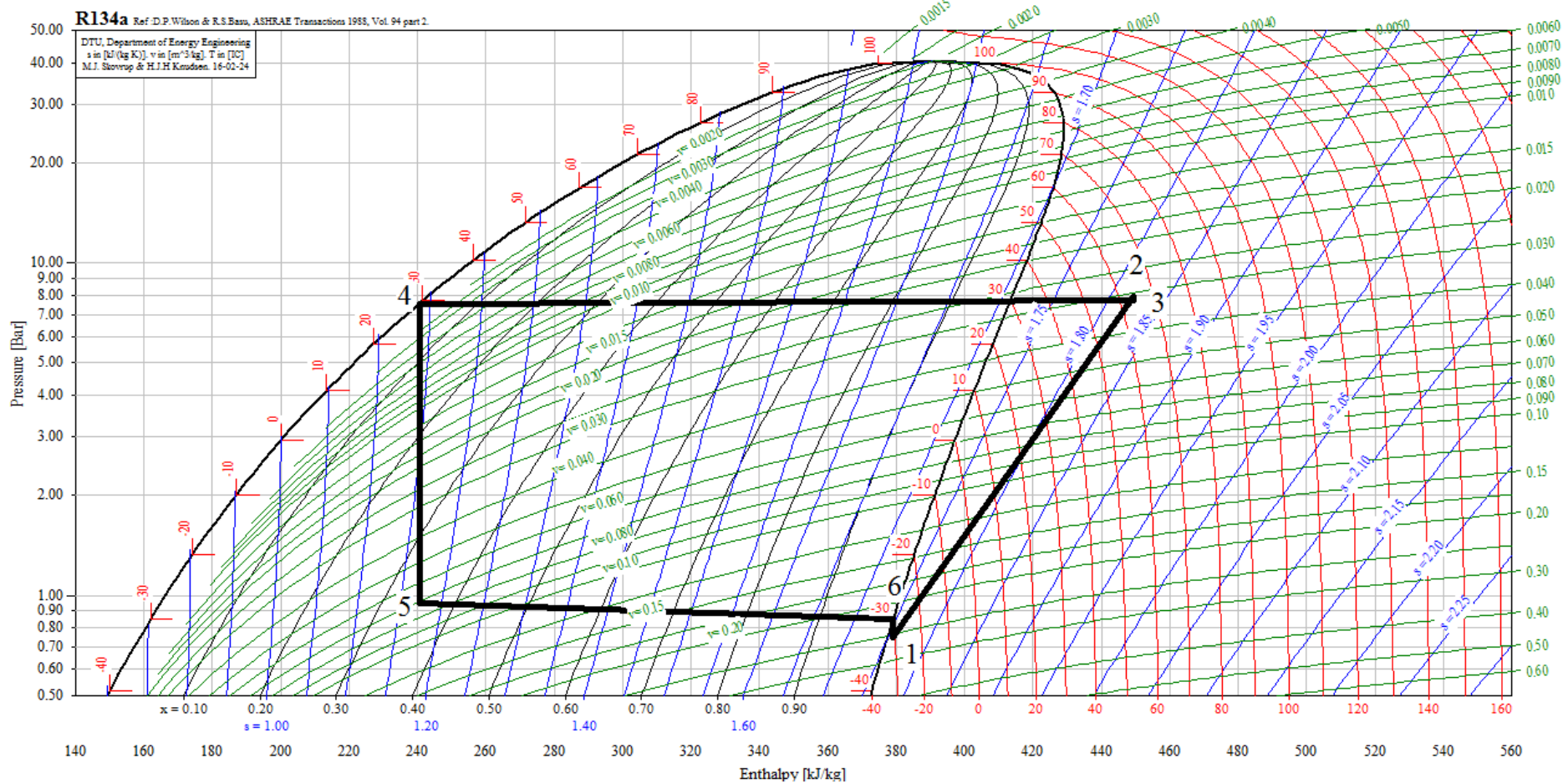
| ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R12) | | | | | | |
|---|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|--|
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) | |
| 1 | -30.477 | 0.904 | 0.177445 | 338.150 | 1.5821 | |
| 2 | 70.115 | 7.649 | 0.027765 | 392.382 | 1.6311 | |
| 3 | 69.788 | 7.449 | 0.028563 | 392.382 | 1.6327 | |
| 4 | 29.229 | 7.299 | N/A | 227.774 | N/A | |
| 5 | N/A | 1.104 | N/A | 227.774 | N/A | |
| 6 | -30.000 | 1.004 | 0.159398 | 338.150 | 1.5751 | |



Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R22 με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R22 για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

| ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R22) | | | | | |
|---|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
| 1 | -30.421 | 1.535 | 0.144910 | 393.147 | 1.8091 |
| 2 | 96.277 | 12.119 | 0.026701 | 468.930 | 1.8731 |
| 3 | 96.034 | 11.919 | 0.027171 | 468.930 | 1.8746 |
| 4 | 29.515 | 11.769 | N/A | 236.031 | N/A |
| 5 | N/A | 1.735 | N/A | 236.031 | N/A |
| 6 | -30.000 | 1.635 | 0.135864 | 393.147 | 1.8034 |

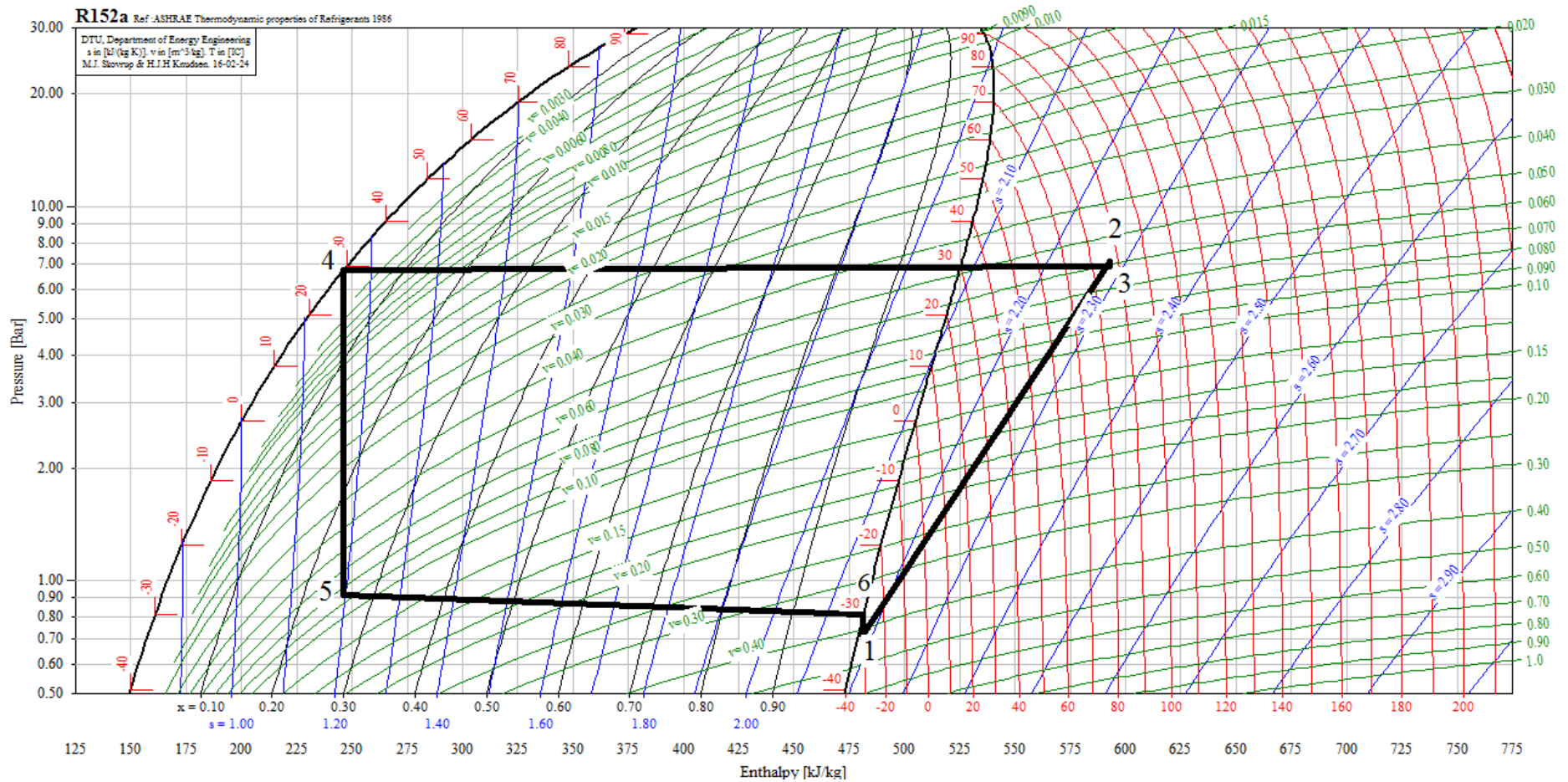


Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R134a με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5 Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R134a για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R134A)

| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.532 | 0.747 | 0.254764 | 379.111 | 1.7561 |
| 2 | 64.087 | 7.901 | 0.030932 | 449.418 | 1.8206 |
| 3 | 63.773 | 7.701 | 0.031800 | 449.418 | 1.8225 |
| 4 | 29.317 | 7.551 | N/A | 240.477 | N/A |
| 5 | N/A | 0.947 | N/A | 240.477 | N/A |
| 6 | -30.000 | 0.847 | 0.224079 | 379.111 | 1.7463 |

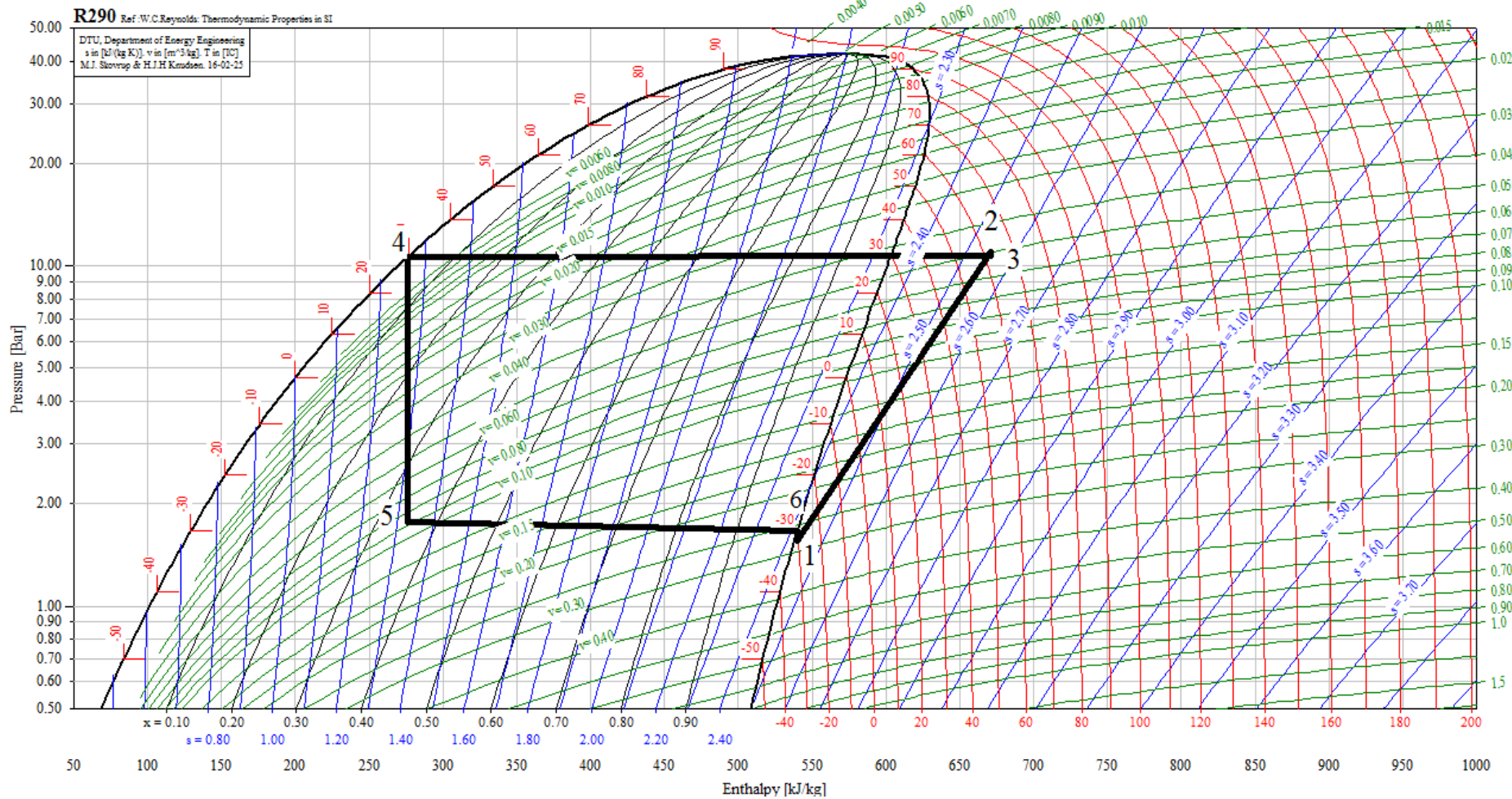


Διάγραμμα 3.5: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R152a με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R152a για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R152A)

| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.333 | 0.715 | 0.416821 | 481.312 | 2.1832 |
| 2 | 86.605 | 7.115 | 0.058904 | 592.621 | 2.2797 |
| 3 | 86.295 | 6.915 | 0.060685 | 592.621 | 2.2830 |
| 4 | 29.235 | 6.765 | N/A | 246.226 | N/A |
| 5 | N/A | 0.915 | N/A | 246.226 | N/A |
| 6 | -30.000 | 0.815 | 0.364847 | 481.312 | 2.1671 |

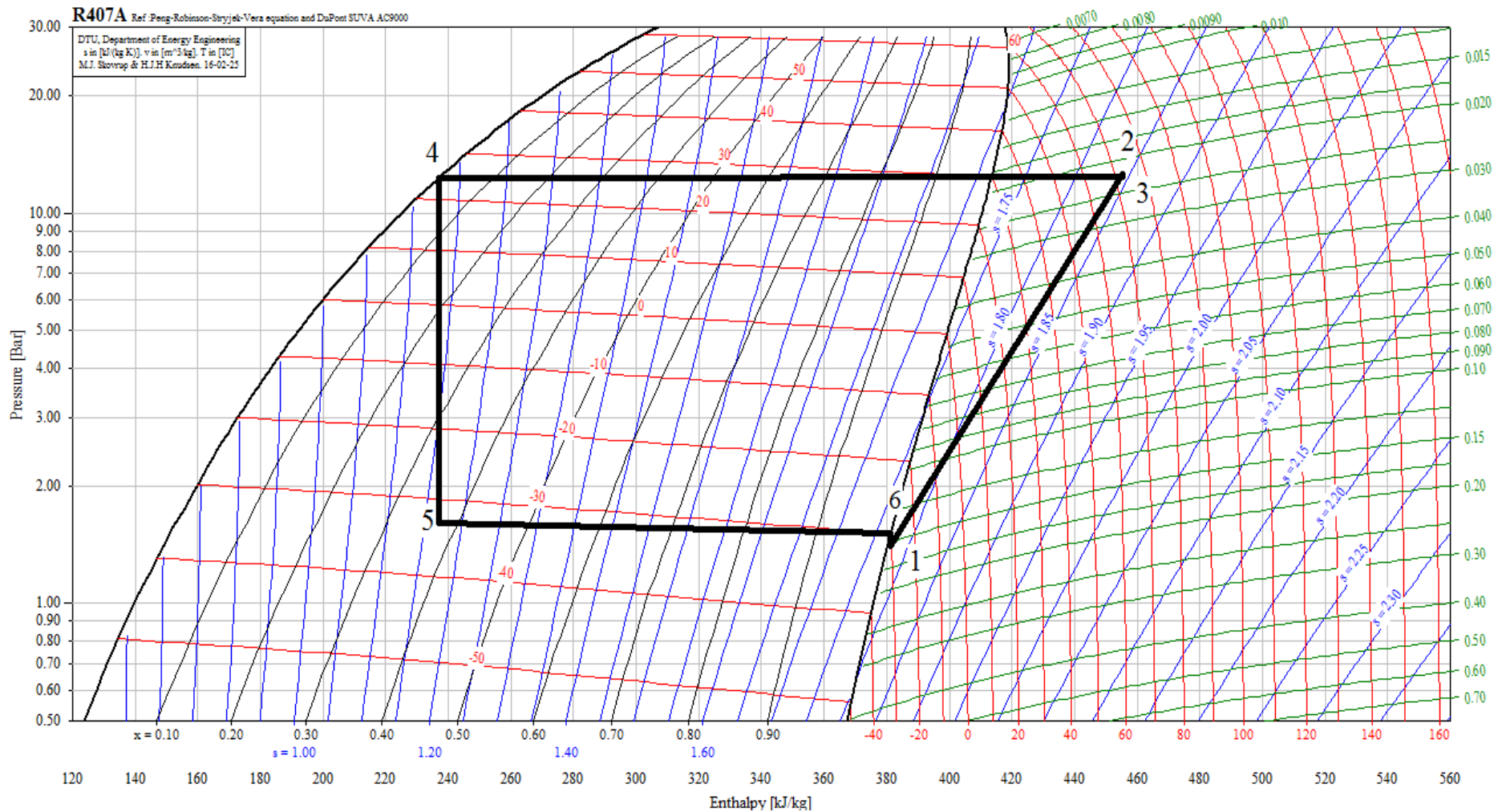


Διάγραμμα 3.6: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R290 με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R290 για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R290)

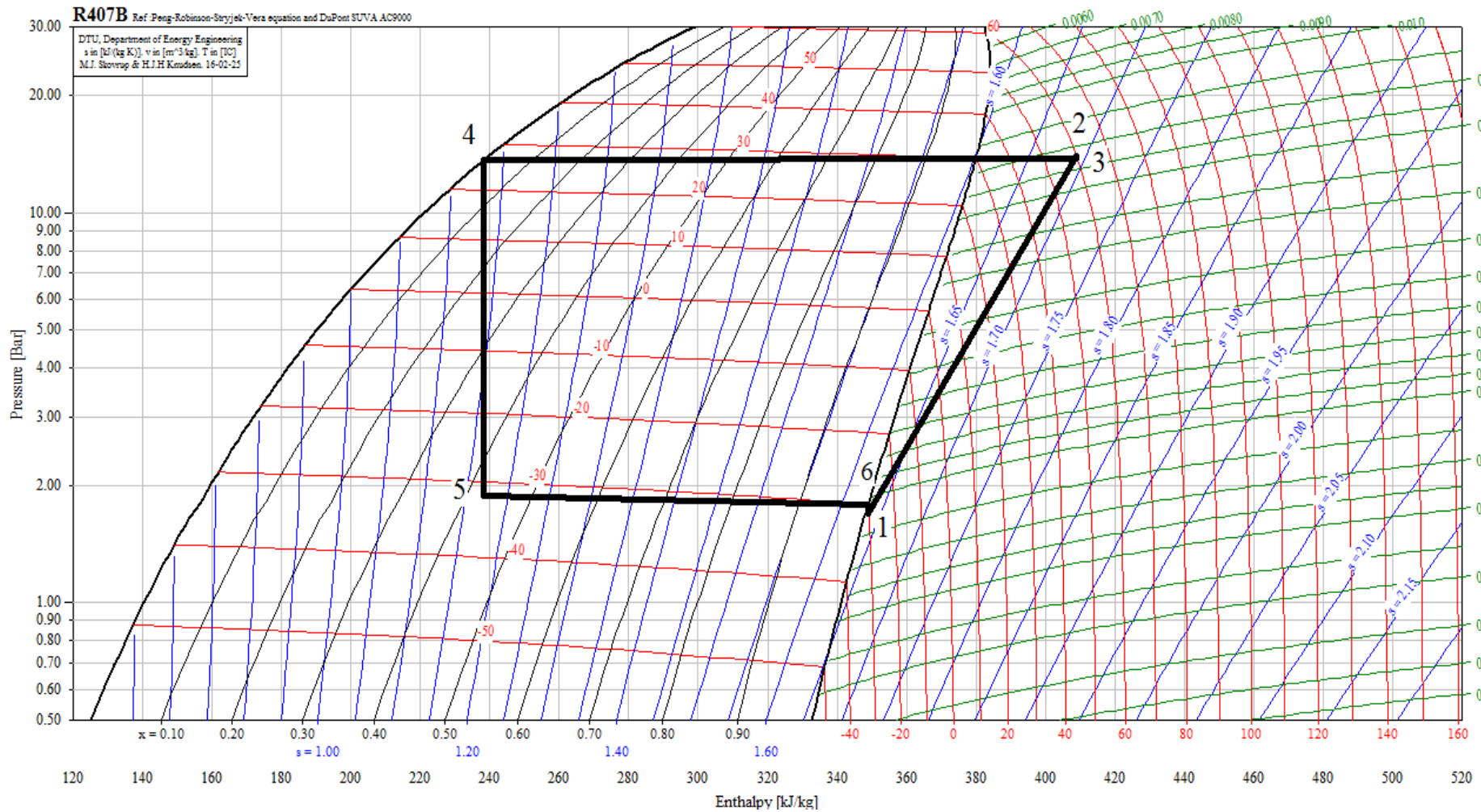
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.385 | 1.563 | 0.276925 | 539.881 | 2.4279 |
| 2 | 62.282 | 10.949 | 0.049964 | 670.857 | 2.5484 |
| 3 | 61.991 | 10.749 | 0.050988 | 670.857 | 2.5514 |
| 4 | 29.433 | 10.599 | N/A | 275.693 | N/A |
| 5 | -28.507 | 1.763 | N/A | 275.693 | N/A |
| 6 | -30.000 | 1.663 | 0.259749 | 539.881 | 2.4168 |



Διάγραμμα 3.7: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R407A με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R407A για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

| ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R407A) | | | | | |
|---|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
| 1 | -30.241 | 1.410 | 0.152838 | 381.339 | 1.7765 |
| 2 | 72.615 | 12.626 | 0.022031 | 455.312 | 1.8429 |
| 3 | 72.382 | 12.426 | 0.022419 | 455.312 | 1.8441 |
| 4 | 24.367 | 12.276 | N/A | 236.808 | N/A |
| 5 | N/A | 1.610 | N/A | 236.808 | N/A |
| 6 | -30.006 | 1.510 | 0.142449 | 381.339 | 1.7704 |

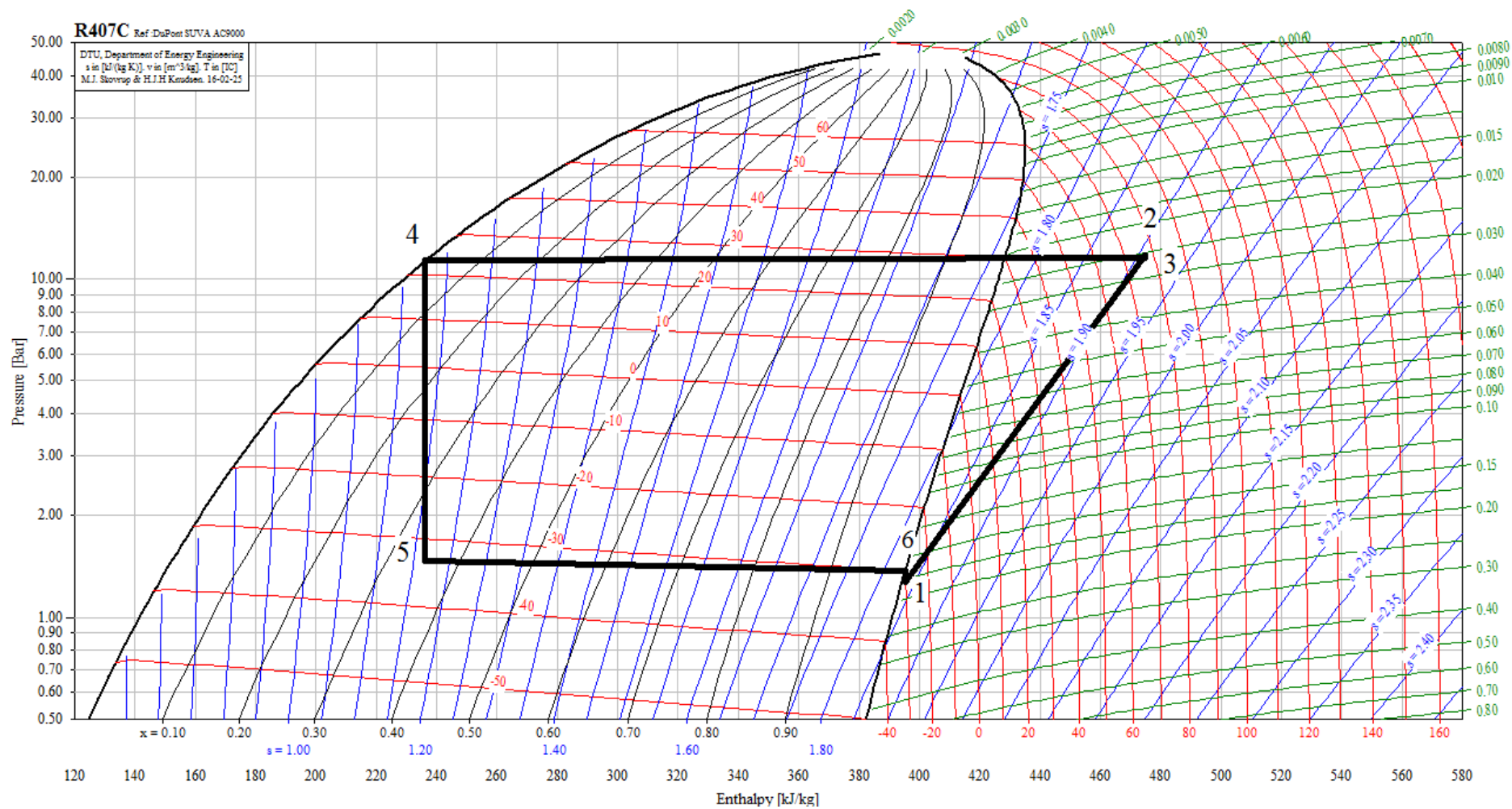


Διάγραμμα 3.8: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R407B με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R407B για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R407B)

| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.217 | 1.688 | 0.110691 | 348.972 | 1.6359 |
| 2 | 59.904 | 13.996 | 0.015995 | 408.857 | 1.6914 |
| 3 | 59.654 | 13.796 | 0.016258 | 408.857 | 1.6924 |
| 4 | 26.438 | 13.646 | N/A | 238.299 | N/A |
| 5 | N/A | 1.888 | N/A | 238.299 | N/A |
| 6 | -29.999 | 1.788 | 0.104283 | 348.972 | 1.6315 |

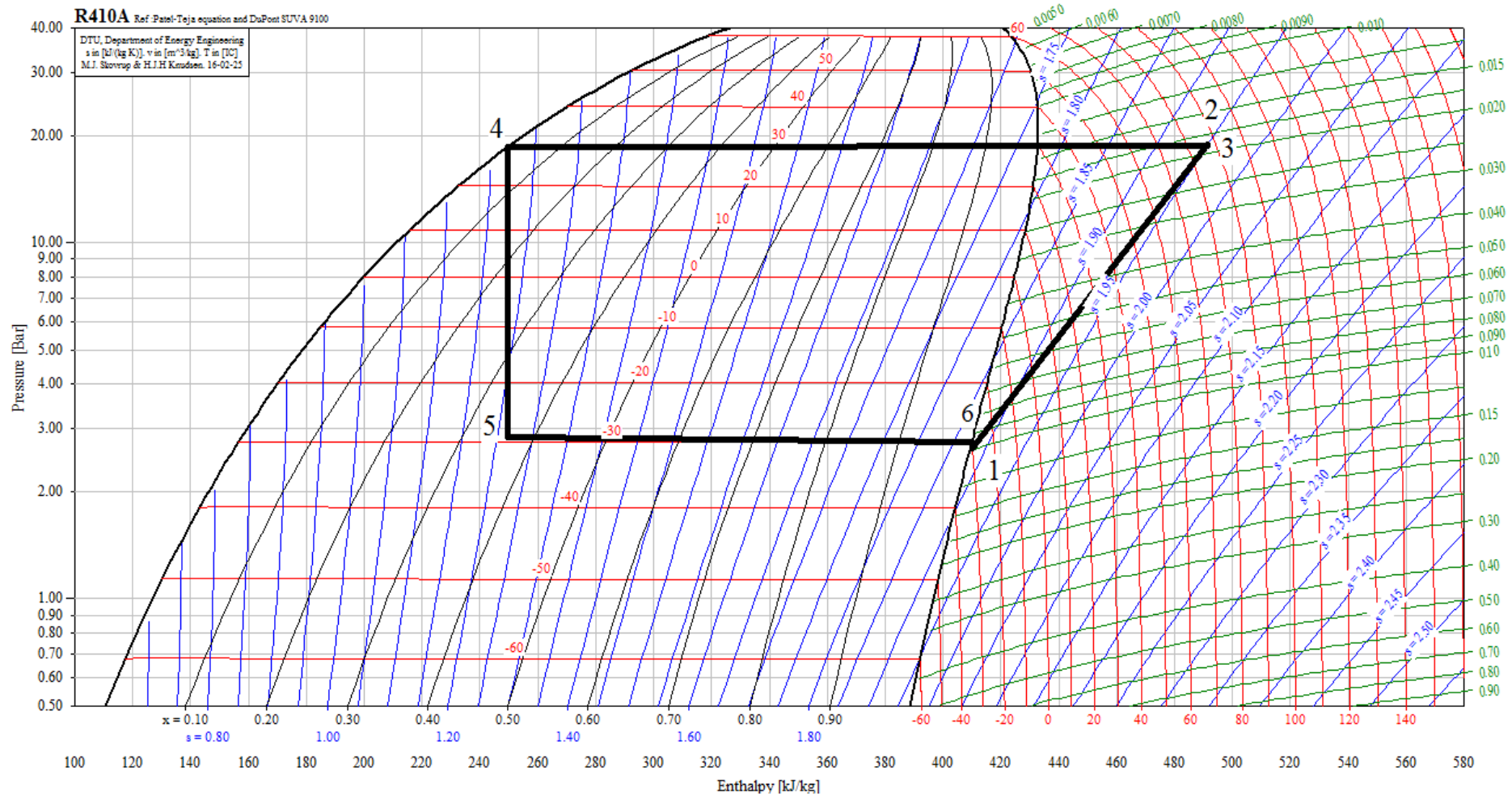


Διάγραμμα 3.9: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R407C με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.10.

Πίνακας 3.10: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R407C για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R407C)

| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.361 | 1.269 | 0.178098 | 395.193 | 1.8362 |
| 2 | 77.260 | 11.757 | 0.025469 | 474.935 | 1.9069 |
| 3 | 77.030 | 11.557 | 0.025946 | 474.935 | 1.9083 |
| 4 | 23.542 | 11.407 | N/A | 236.023 | N/A |
| 5 | N/A | 1.469 | N/A | 236.023 | N/A |
| 6 | -30.118 | 1.369 | 0.164790 | 395.193 | 1.8291 |

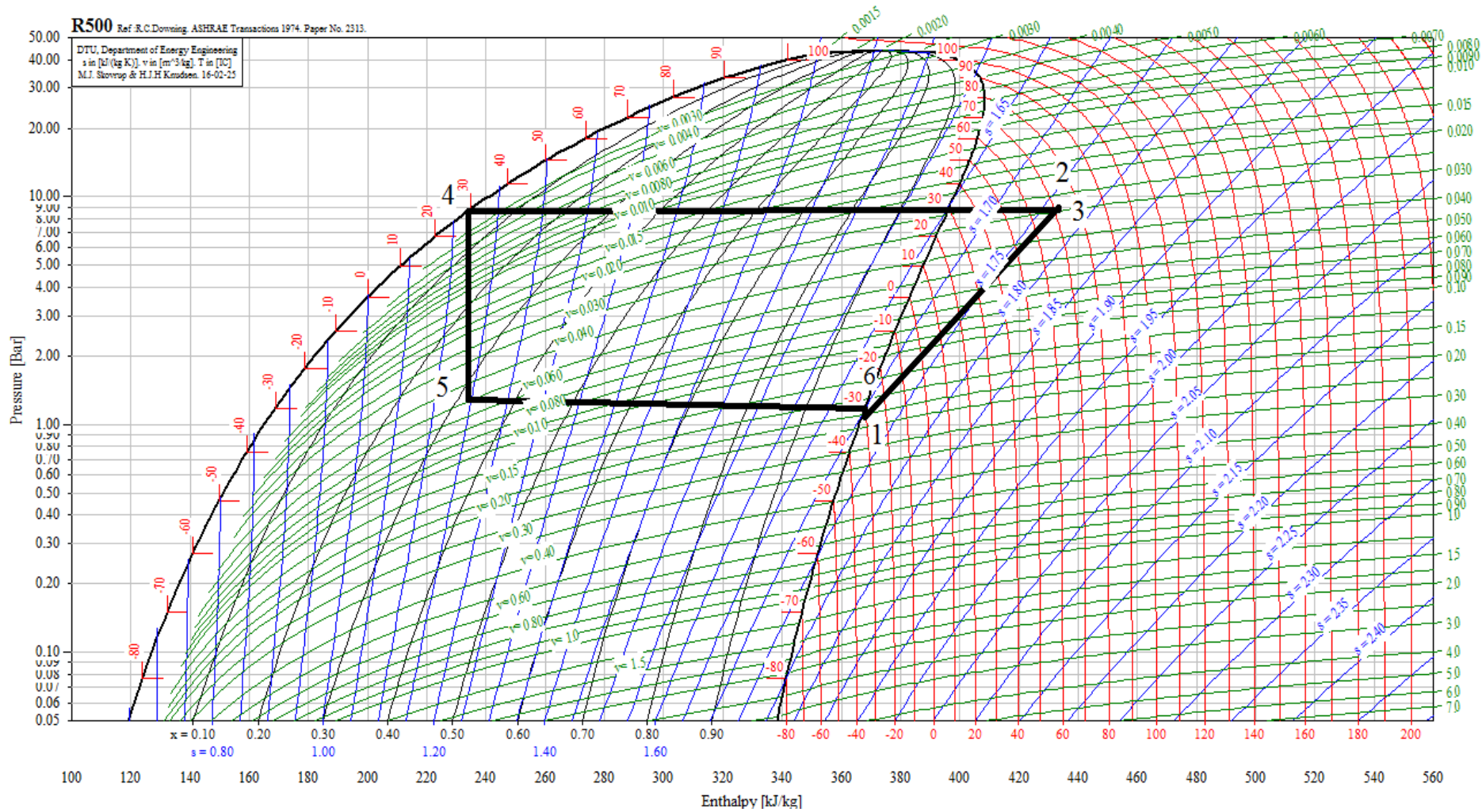


Διάγραμμα 3.10: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R410A με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.11.

Πίνακας 3.11: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R410A για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R410A)

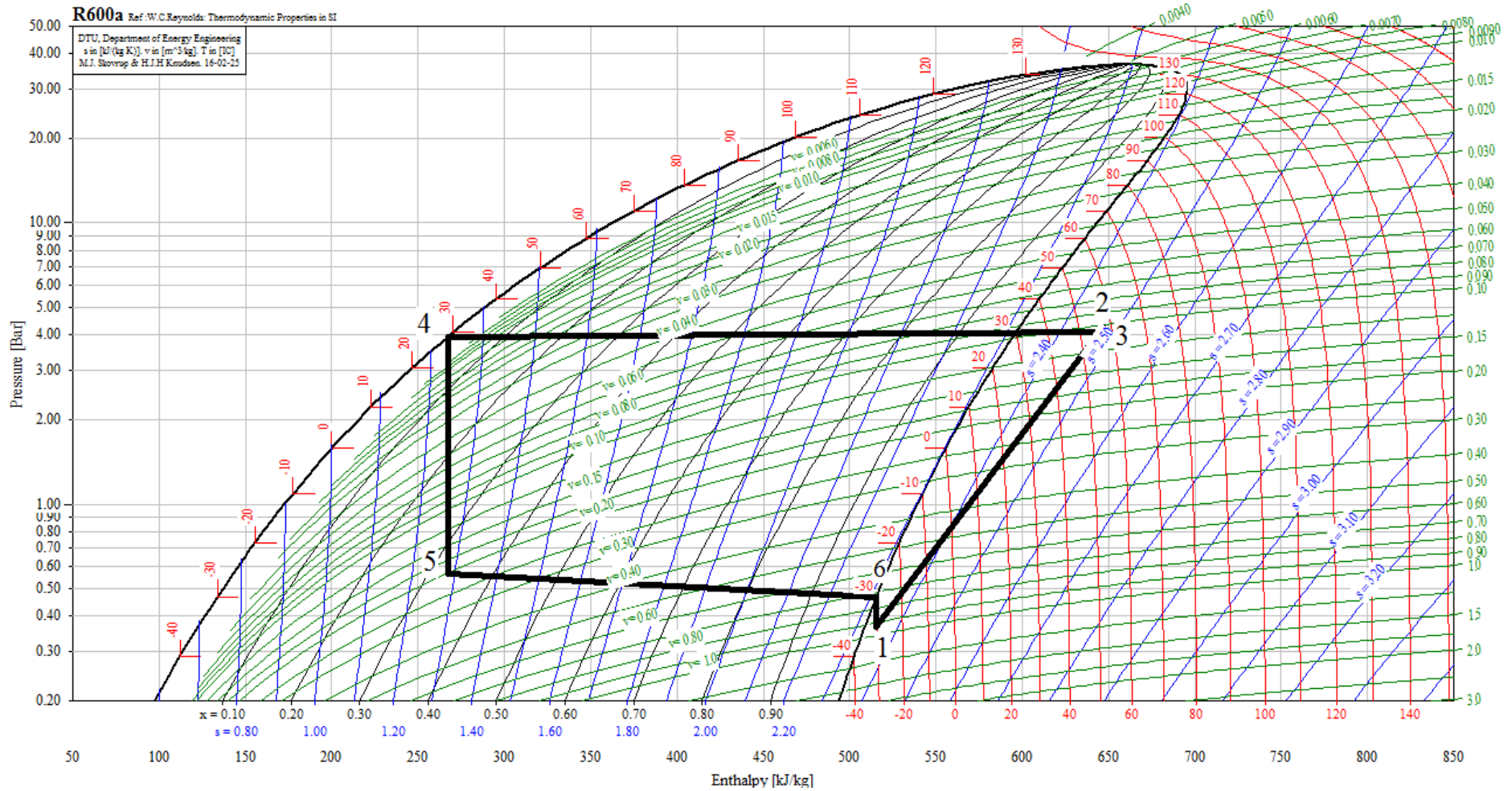
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.229 | 2.649 | 0.098582 | 409.945 | 1.8797 |
| 2 | 87.323 | 18.898 | 0.018704 | 491.523 | 1.9499 |
| 3 | 87.103 | 18.698 | 0.018922 | 491.523 | 1.9510 |
| 4 | 29.515 | 18.548 | N/A | 249.769 | N/A |
| 5 | N/A | 2.849 | N/A | 249.769 | N/A |
| 6 | -29.986 | 2.749 | 0.094861 | 409.945 | 1.8757 |



Διάγραμμα 3.11: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R500 με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.12.

Πίνακας 3.12: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R500 για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

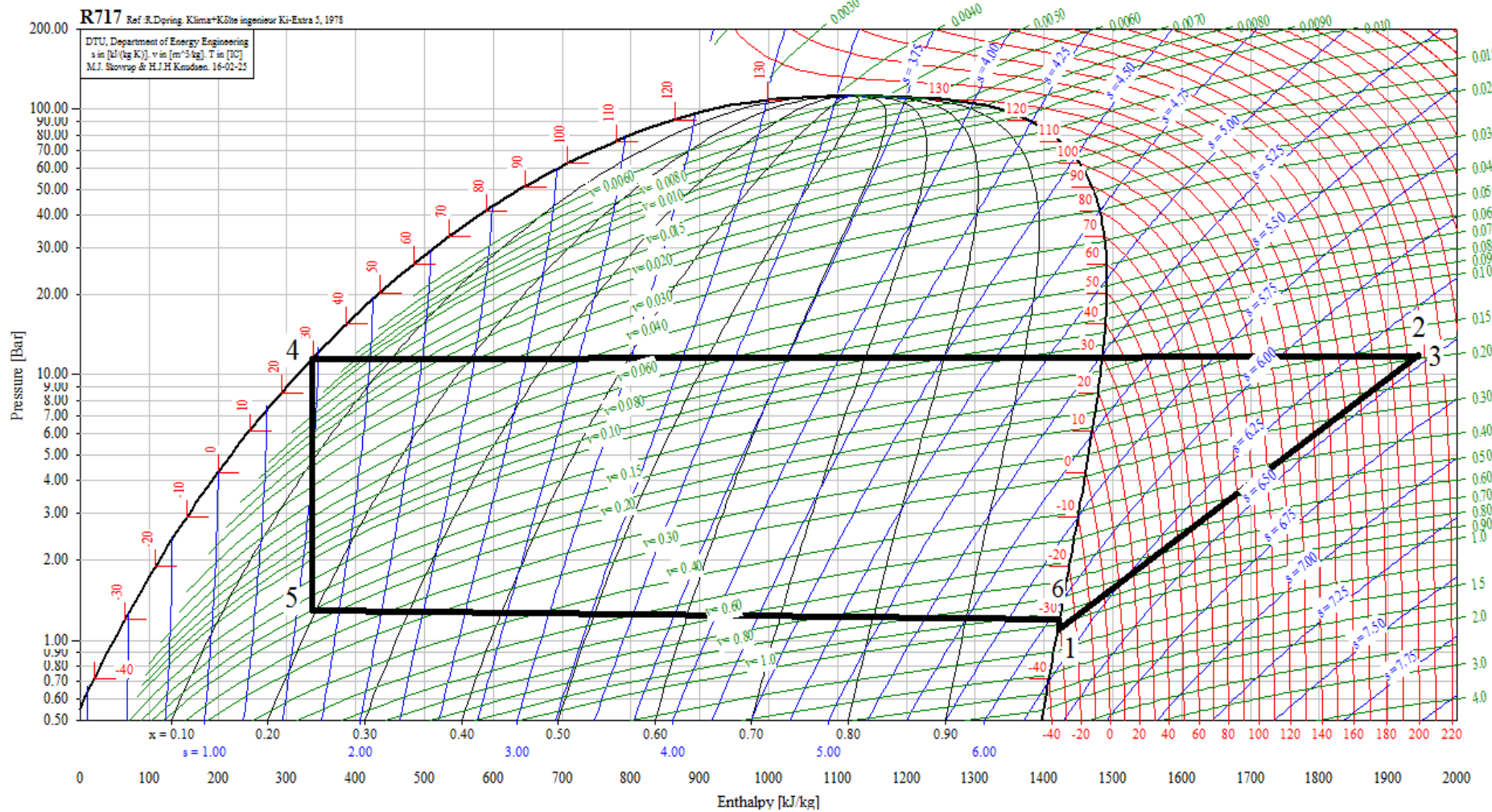
| ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R500) | | | | | |
|--|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
| 1 | -30.488 | 1.079 | 0.179936 | 368.008 | 1.7062 |
| 2 | 71.938 | 8.994 | 0.028750 | 433.377 | 1.7650 |
| 3 | 71.636 | 8.794 | 0.029450 | 433.377 | 1.7667 |
| 4 | 29.351 | 8.644 | N/A | 233.909 | N/A |
| 5 | N/A | 1.279 | N/A | 233.909 | N/A |
| 6 | -30.000 | 1.179 | 0.164334 | 368.008 | 1.6991 |



Διάγραμμα 3.12: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R600a με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.13.

Πίνακας 3.13: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R600a για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

| ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R600A) | | | | | |
|---|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
| 1 | -30.400 | 0.368 | 0.927272 | 515.585 | 2.3480 |
| 2 | 57.398 | 4.278 | 0.101447 | 646.750 | 2.4709 |
| 3 | 57.070 | 4.078 | 0.106763 | 646.750 | 2.4772 |
| 4 | 28.681 | 3.928 | N/A | 267.161 | N/A |
| 5 | -25.731 | 0.568 | N/A | 267.161 | N/A |
| 6 | -30.000 | 0.468 | 0.726586 | 515.585 | 2.3143 |



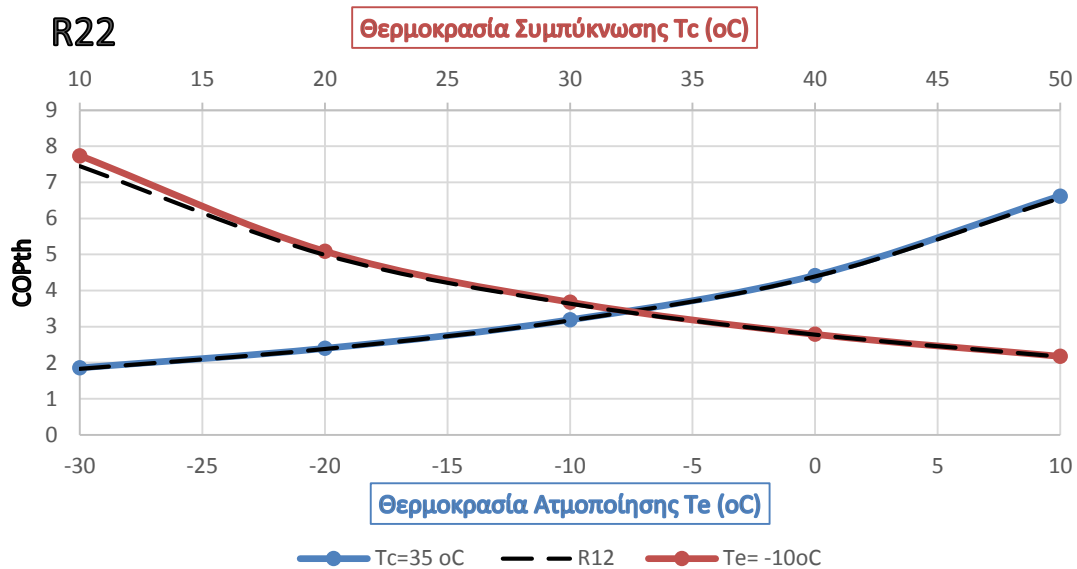
Διάγραμμα 3.13: Διάγραμμα P-h (Mollier) για το ψυκτικό ρευστό R717 με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14: Θερμοδυναμικά στοιχεία ψυκτικού κύκλου για το R717 για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης -30°C/+30°C.

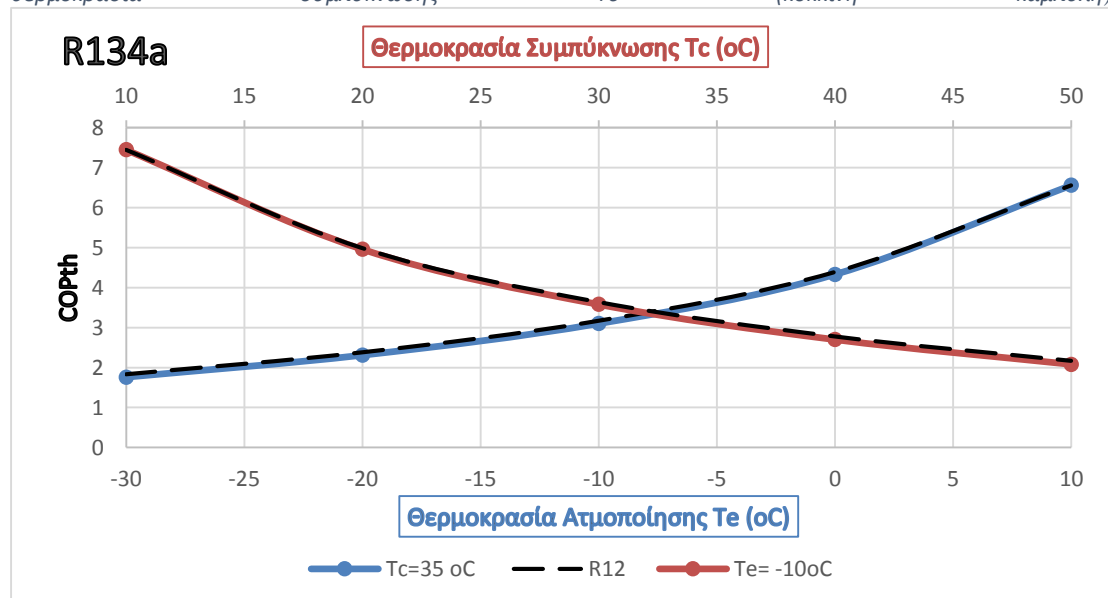
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (R717)

| | T (°C) | P (bar) | v (m ³ /kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/(kg*K)) |
|----------|---------|---------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | -30.638 | 1.095 | 1.050203 | 1422.458 | 6.1027 |
| 2 | 206.239 | 11.869 | 0.193165 | 1943.404 | 6.4519 |
| 3 | 206.120 | 11.669 | 0.196492 | 1943.404 | 6.4600 |
| 4 | 29.565 | 11.519 | N/A | 336.988 | N/A |
| 5 | -28.334 | 1.295 | N/A | 336.988 | N/A |
| 6 | -30.000 | 1.195 | 0.962487 | 1422.458 | 6.0613 |

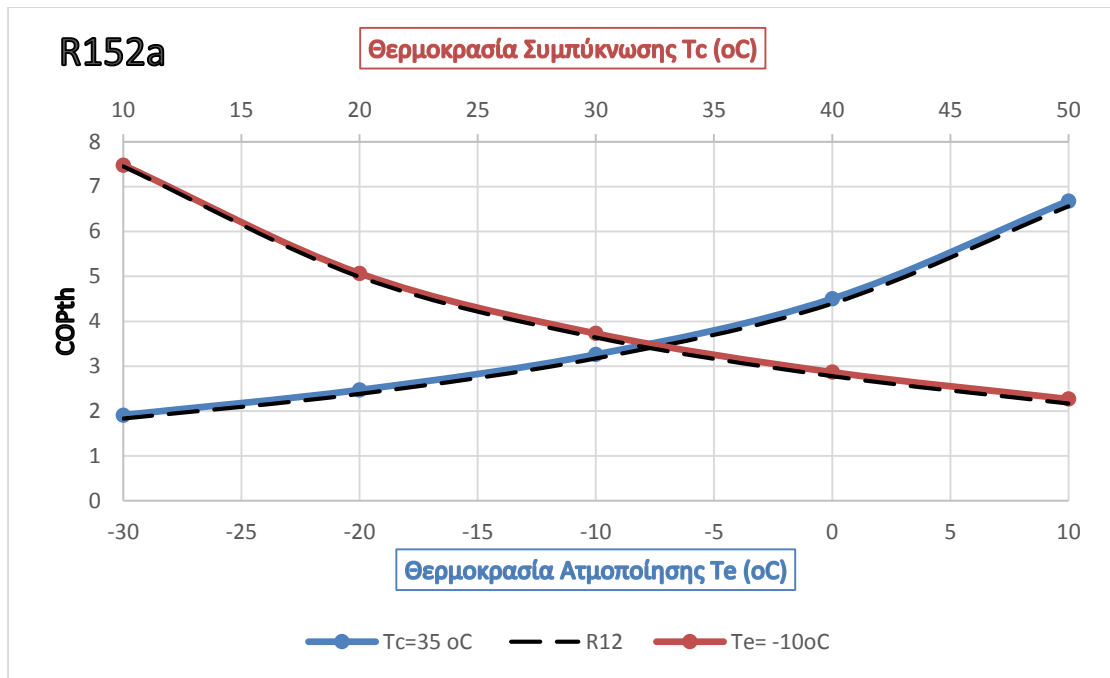
3.3 Μεταβολή Θεωρητικού Συντελεστή Συμπεριφοράς COPth – Θερμοκρασία Ατμοποίησης και Συμπύκνωσης (Te, Tc)



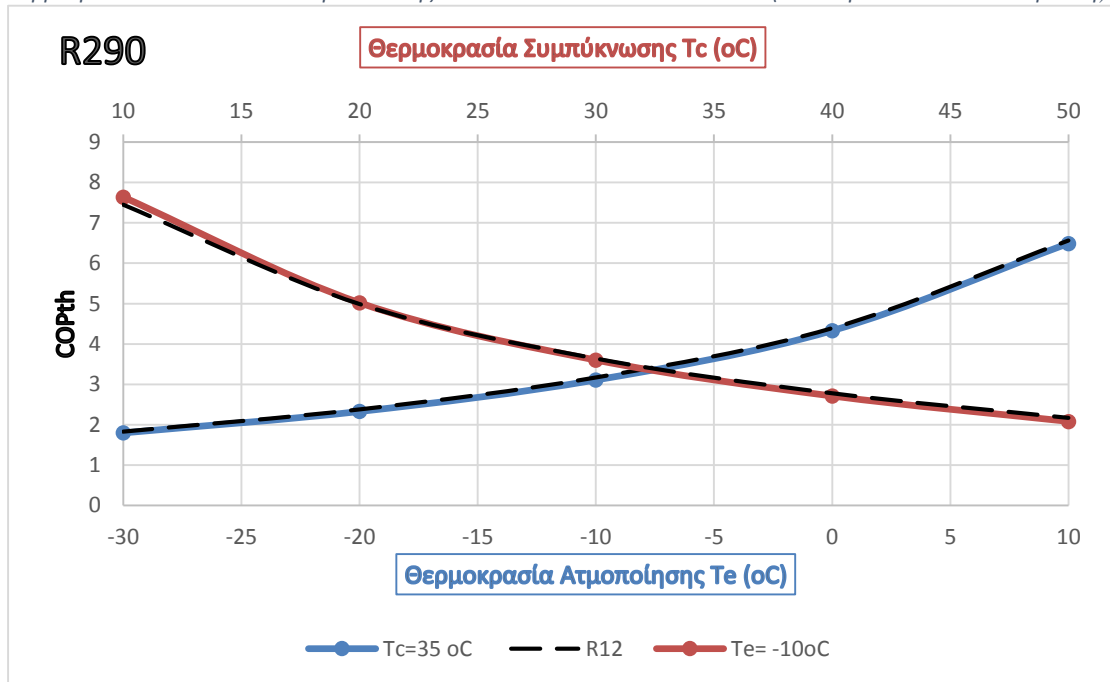
Διάγραμμα 3.14 : Σύγκριση ψυκτικών R22-R12(μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COPth σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης Te= (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης Tc (κόκκινη καμπύλη).



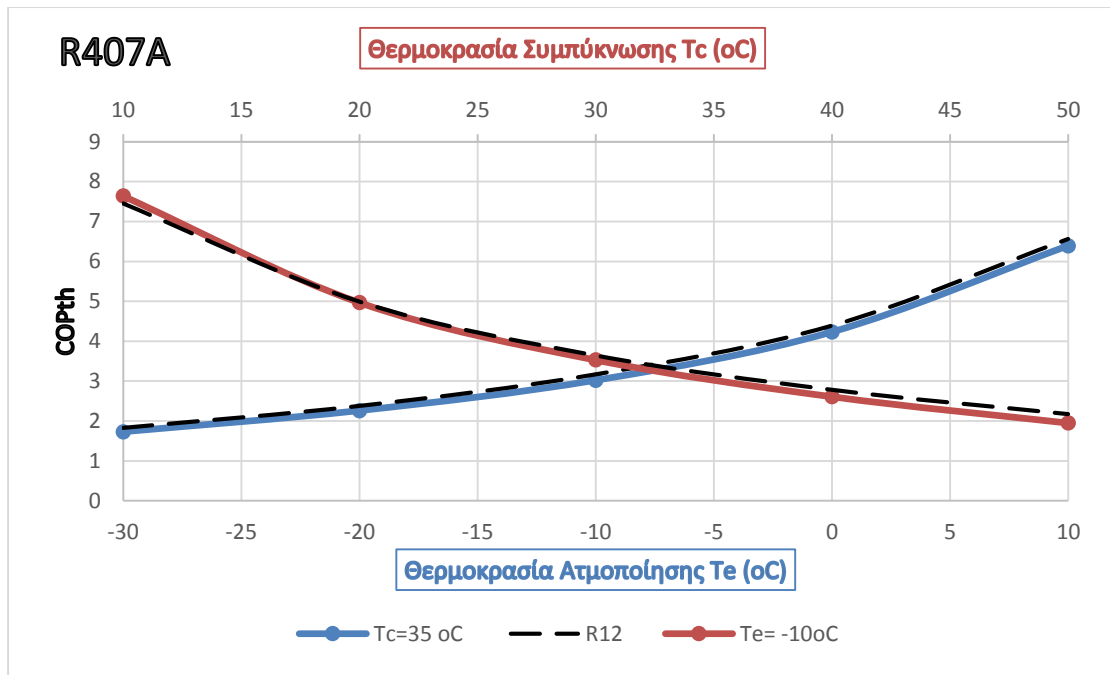
Διάγραμμα 3.15 : Σύγκριση ψυκτικών R134a-R12(μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COPth σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης Te= (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης Tc (κόκκινη καμπύλη).



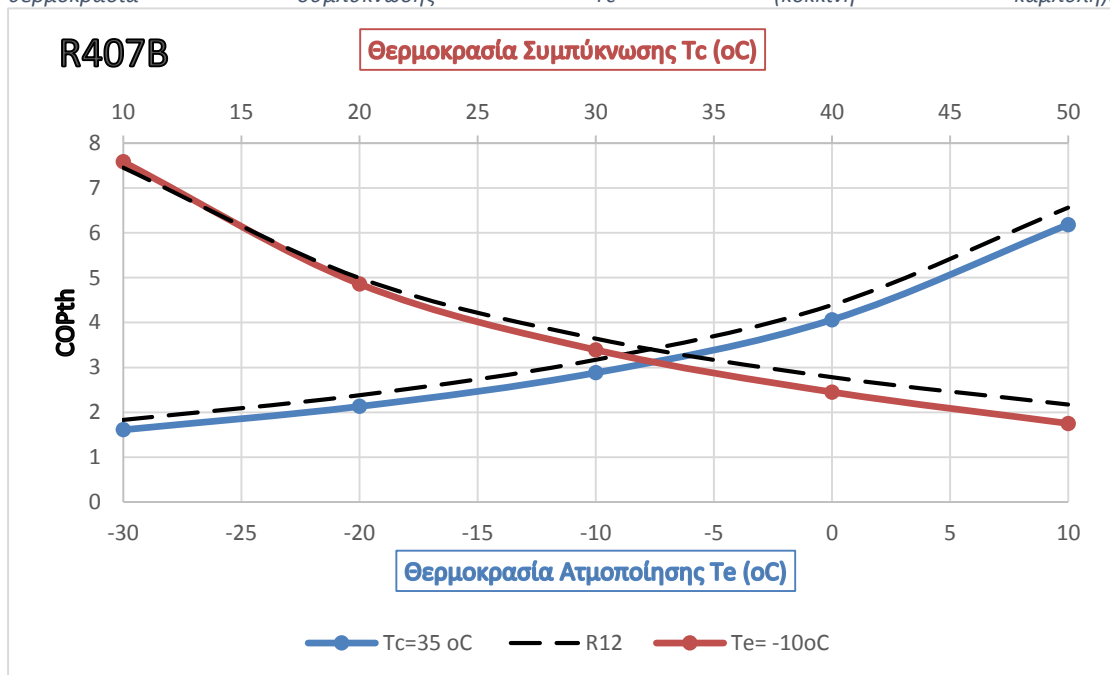
Διάγραμμα 3.16 : Σύγκριση ψυκτικών R152a-R12(μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



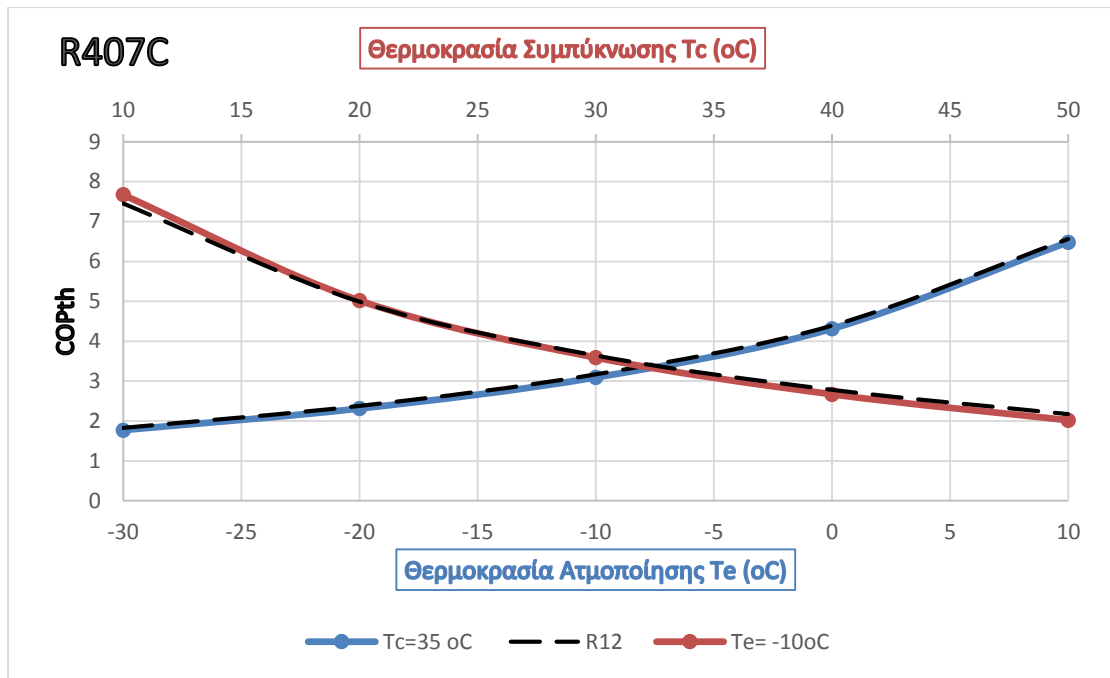
Διάγραμμα 3.17: Σύγκριση ψυκτικών R290 - R12(μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



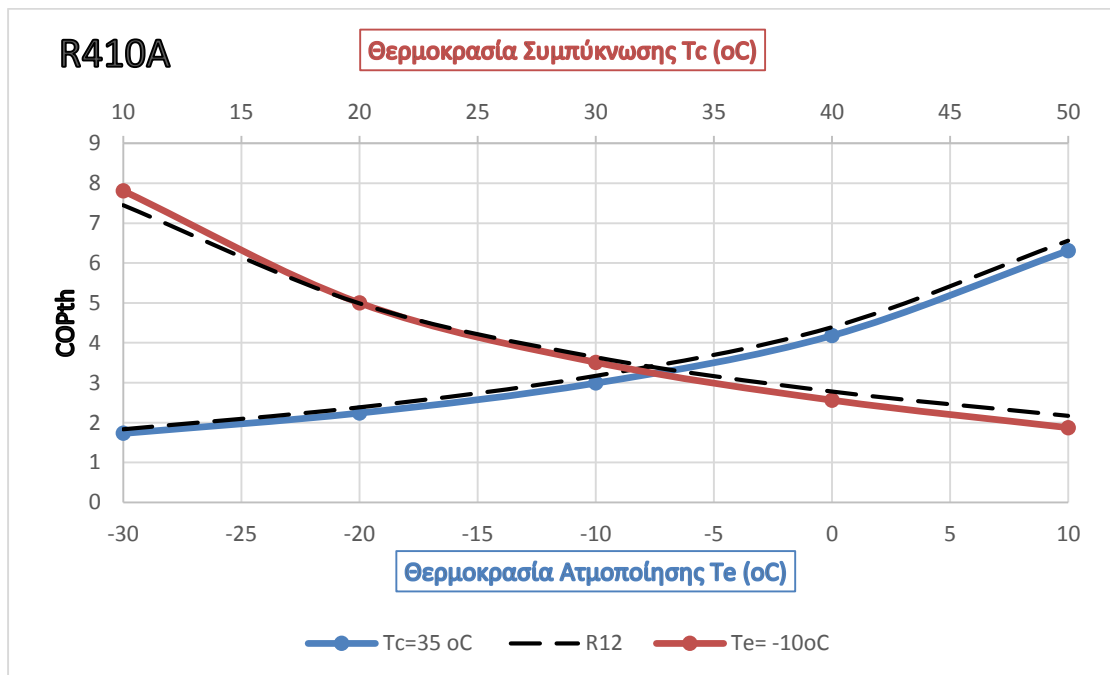
Διάγραμμα 3.18: Σύγκριση ψυκτικών R407A - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



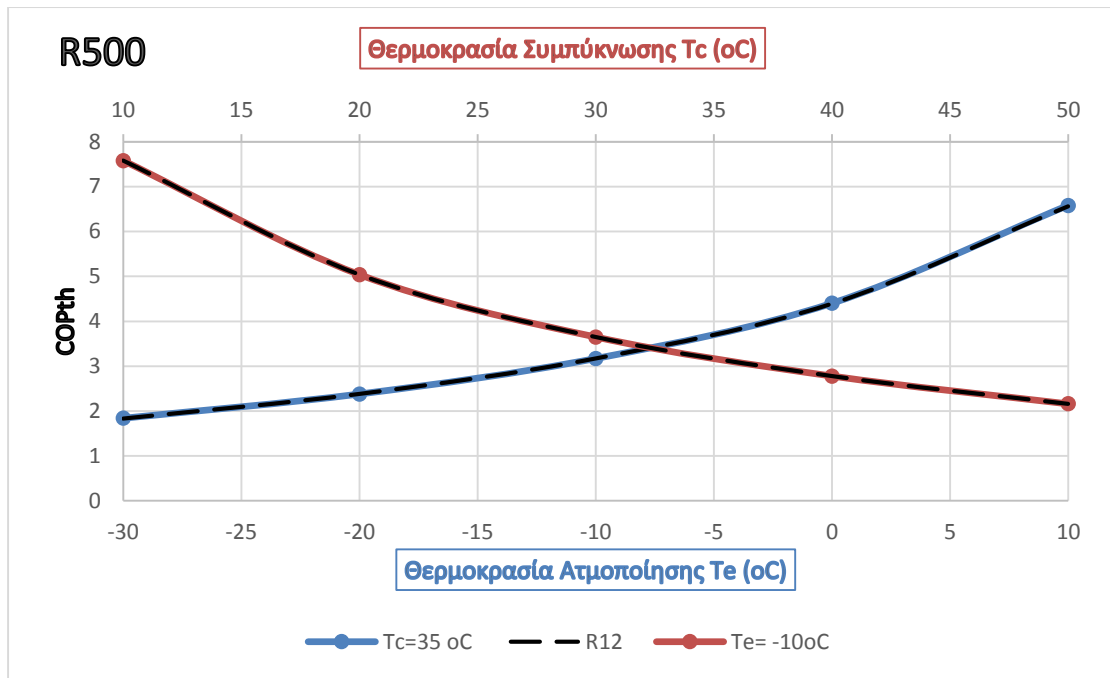
Διάγραμμα 3.19: Σύγκριση ψυκτικών R407B - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



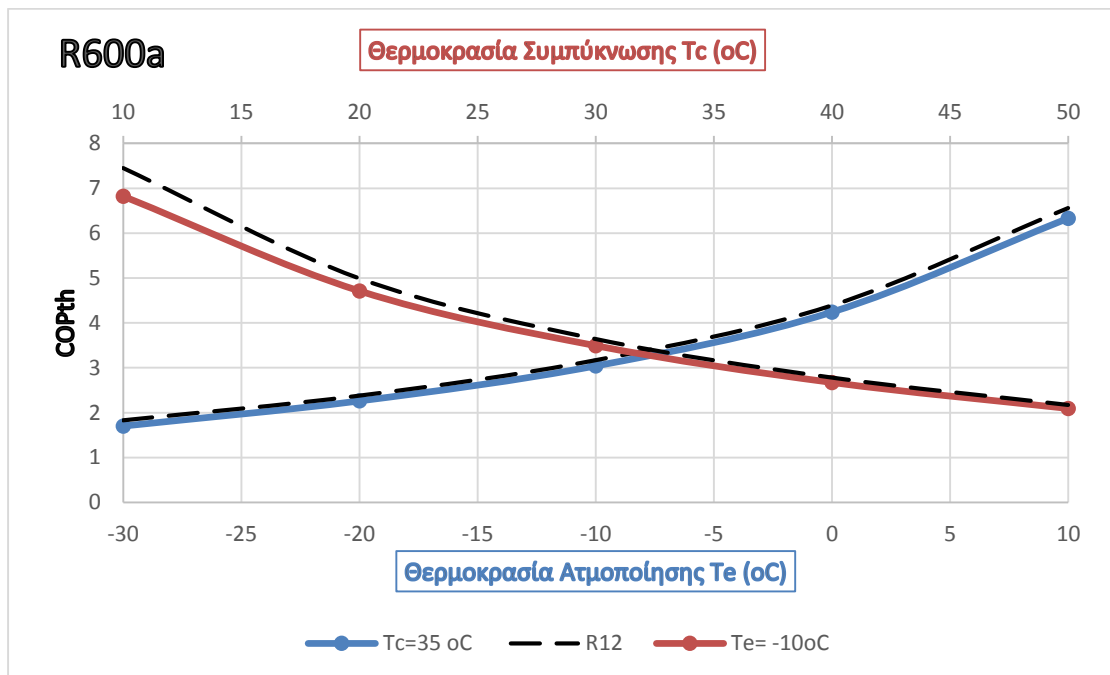
Διάγραμμα 3.20: Σύγκριση ψυκτικών R407C - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



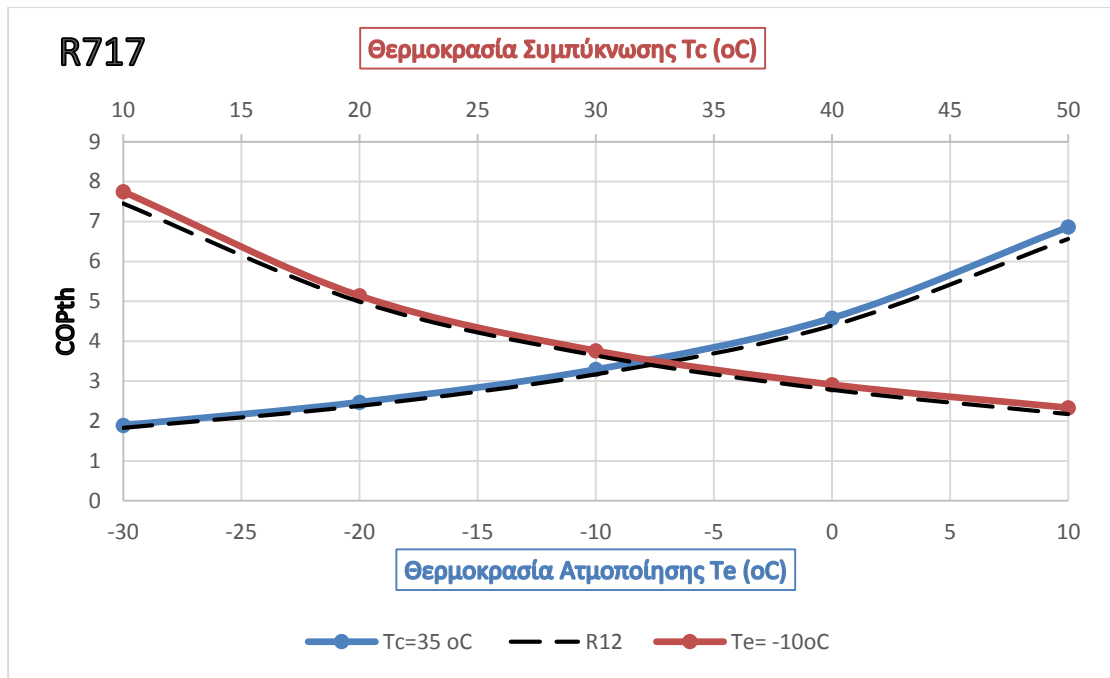
Διάγραμμα 3.21: Σύγκριση ψυκτικών R410A - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



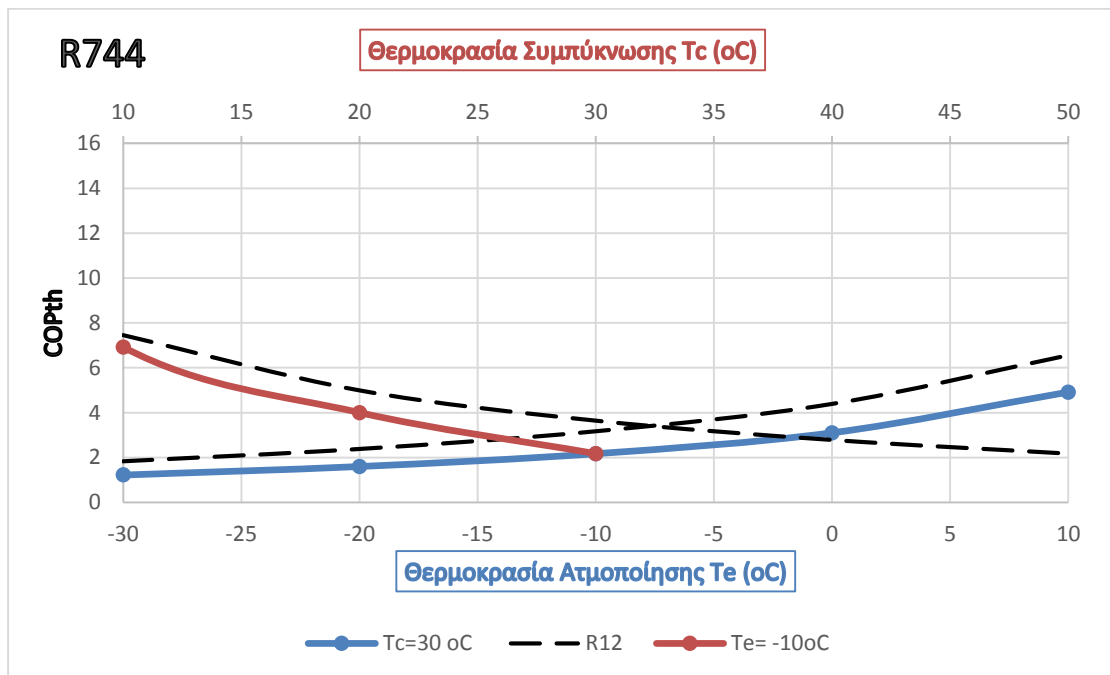
Διάγραμμα 3.22: Σύγκριση ψυκτικών R500 - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.23: Σύγκριση ψυκτικών R600a - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e=$ (μπλέ καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).

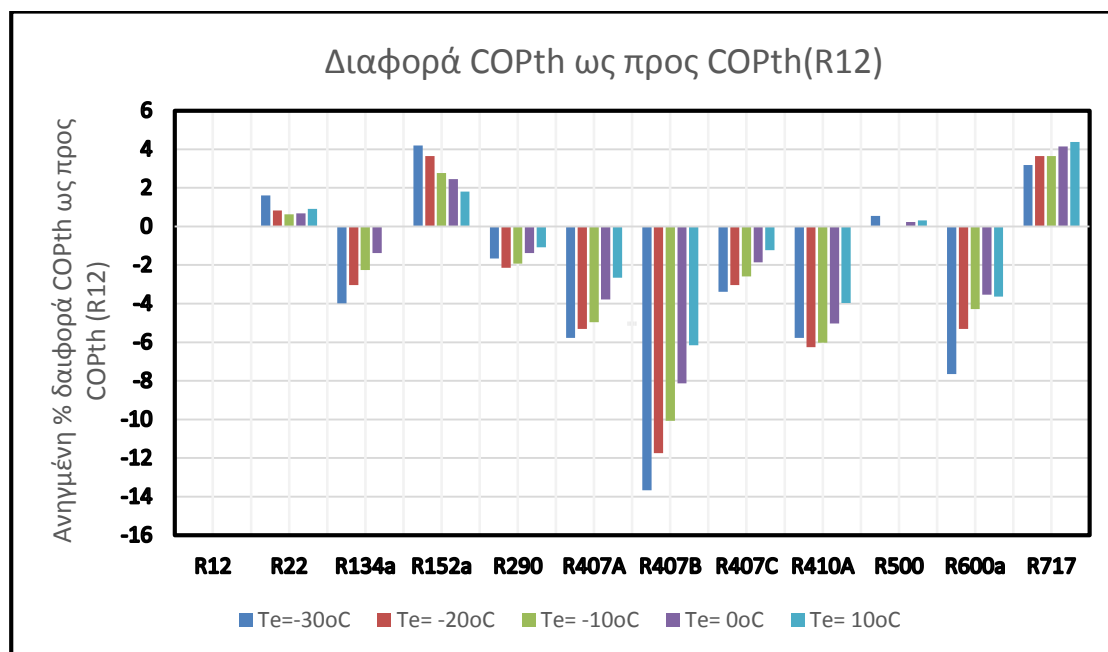


Διάγραμμα 3.24 : Σύγκριση ψυκτικών R717 - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



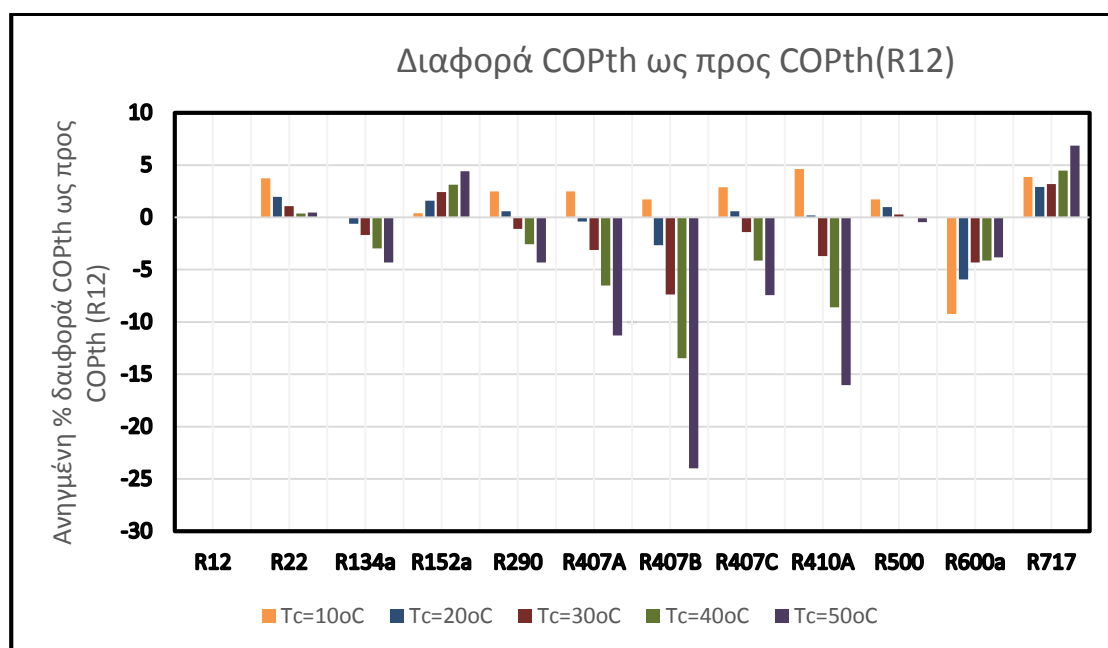
Διάγραμμα 3.25 : Σύγκριση ψυκτικών R744 - R12 (μαύρες διακεκομμένες) στην μεταβολή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} σε σχέση με τη θερμοκρασία ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).

Παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα (3.14-3.25) ότι όλα τα ψυκτικά ρευστά στον ψυκτικό κύκλο που μελετάμε συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο. Δηλαδή, αυξανόμενης της θερμοκρασίας συμπύκνωσης του κύκλου (T_c) ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς (COP_{th}) μειώνεται υπό σταθερή την θερμοκρασία ατμοποίησης ($T_e = -10^\circ C$). Επίσης, κατά την αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης υπό σταθερή θερμοκρασία συμπύκνωσης ($T_c = 35^\circ C$) ο COP_{th} αυξάνεται. Η συμπεριφορά αυτή είναι λογική εάν λάβουμε υπόψη μας ότι αυξάνοντας την θερμοκρασία συμπύκνωσης υπό σταθερή την θερμοκρασία ατμοποίησης αυξάνεται η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του ψυκτικού κύκλου (χαμηλής – υψηλής πίεσης) άρα αυξάνεται το έργο που αναλαμβάνει ο συμπιεστής με συνέπεια την μείωση του COP_{th} . Αντίστοιχα, γίνεται και με την αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης με σταθερή θερμοκρασία συμπύκνωσης όπου όμως αυξάνεται ο COP_{th} του κύκλου λόγω του ότι ο συμπιεστής έχει να καλύψει μικρότερη διαφορά πίεσης. Καθένα από τα παραπάνω διαγράμματα των ψυκτικών μέσων που μελετάμε είναι συγκρινόμενο με το ψυκτικό R12(μαύρες διακεκομμένες).



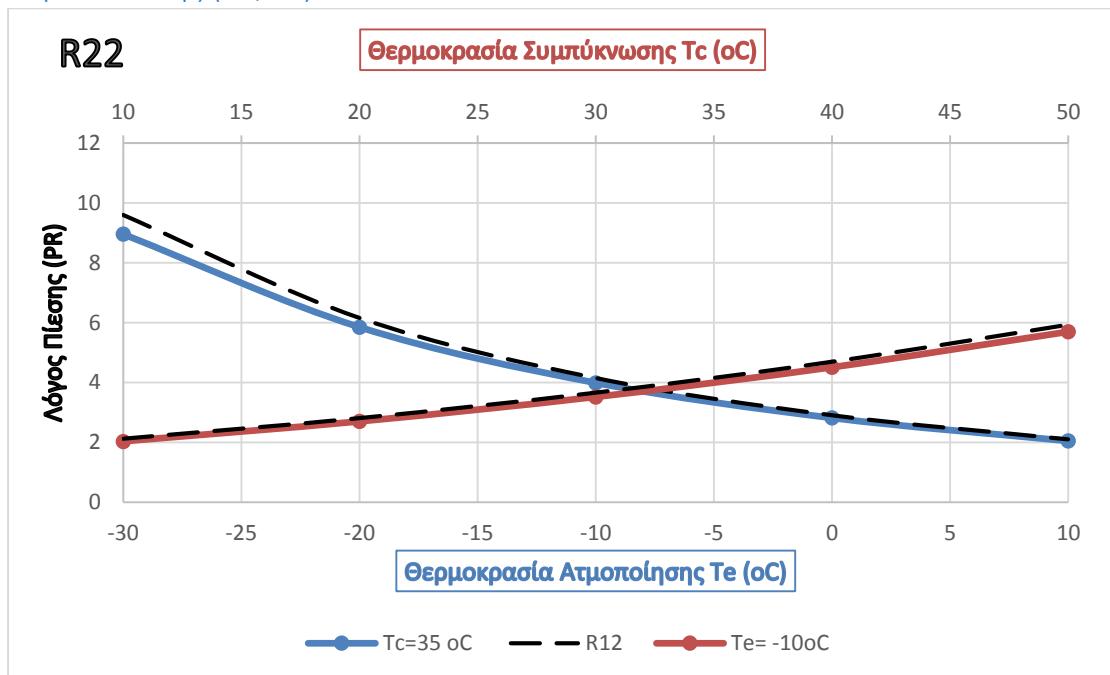
Διάγραμμα 3.26 : Συγκεντρωτικές διαφορές θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} ψυκτικών ρευστών ως προς τον COP_{th} του ψυκτικού R12 ανά θερμοκρασία ατμοποίησης T_e . Θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c = 35^\circ C$.

Βλέπουμε ότι οι διαφορές του COP_{th} ως προς τις θερμοκρασίες ατμοποίησης, συμπύκνωσης είναι μικρές (ωστόσο σημαντικές), παρόλα αυτά το ψυκτικό R12 δείχνει να συμπεριφέρεται πιο αποδοτικά σε σχέση με τα περισσότερα ψυκτικά, πλην των R152a και R717 για θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c=35°C. Εφάμιλλες αποδόσεις δείχνει να έχει με τα ψυκτικά R22 και R500. Από τα μελετηθέντα ψυκτικά φαίνεται πως την χειρότερη απόδοση έχει το ψυκτικό R407B ακολουθούμενο από τα R600a, R407A και R410A (Διάγραμμα 3.26). Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζεται για σταθερή θερμοκρασία ατμοποίησης T_e= -10°C για τα ψυκτικά R407B, R600a και R407A όπου έχουν τους κατώτερους COP_{th} ενώ τους ανώτερους σε σχέση με το R12 τους έχει το R717 με το R152a. Σύμφωνα με το διάγραμμα 3.28 παρατηρείται ότι για θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c=10°C τα περισσότερα ψυκτικά υπερτερούν του R12 ενώ όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συμπύκνωσης τόσο το R12 υπερτερεί των υπολοίπων.

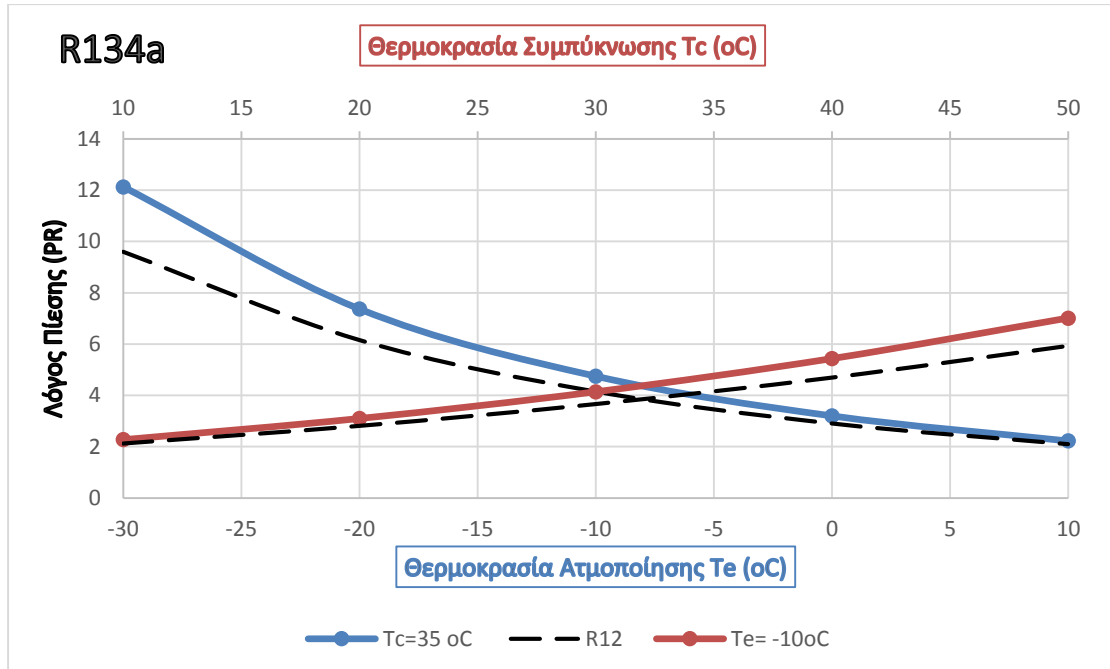


Διάγραμμα 3.27: Συγκεντρωτικές διαφορές θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} ψυκτικών ρευστών ως προς τον COP_{th} του ψυκτικού R12 ανά θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c. Θερμοκρασία ατμοποίησης T_e=-10°C.

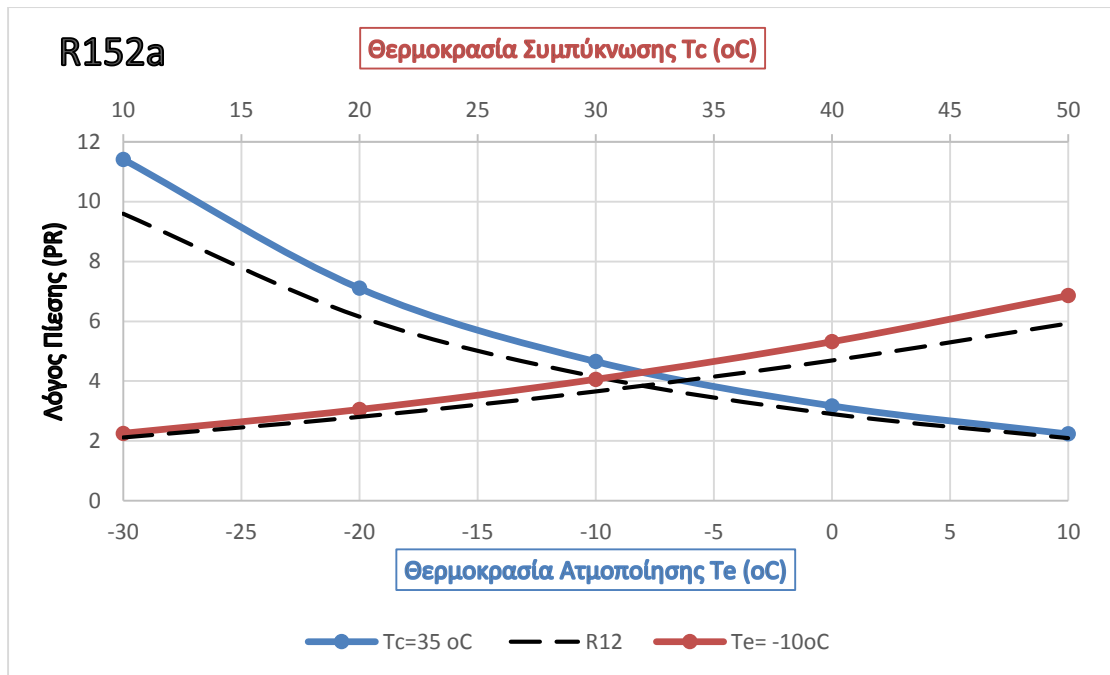
3.4 Μεταβολή Λόγου Πίεσης PR – Θερμοκρασία Ατμοποίησης και Συμπύκνωσης (T_e , T_c)



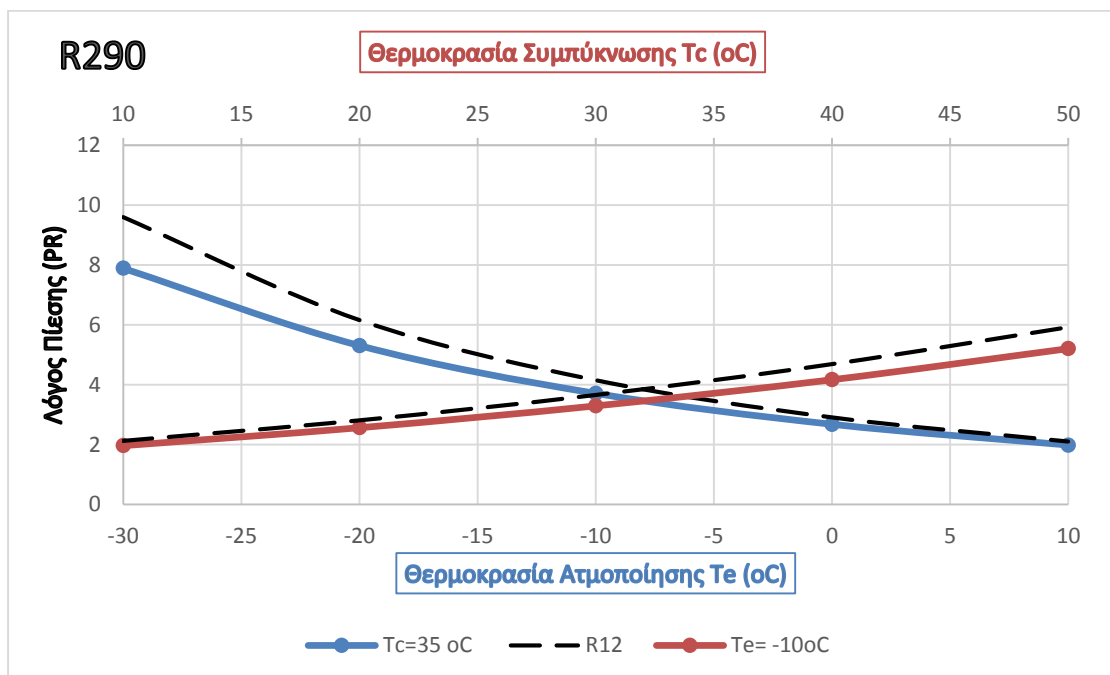
Διάγραμμα 3.28: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R22 – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



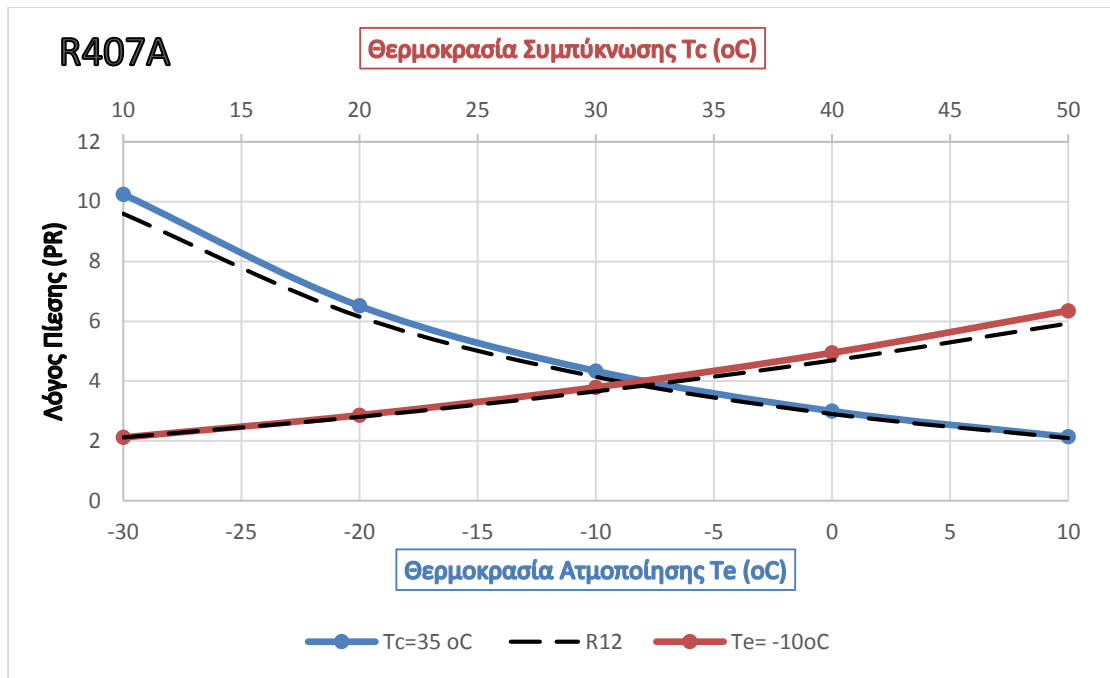
Διάγραμμα 3.29: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R134a – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



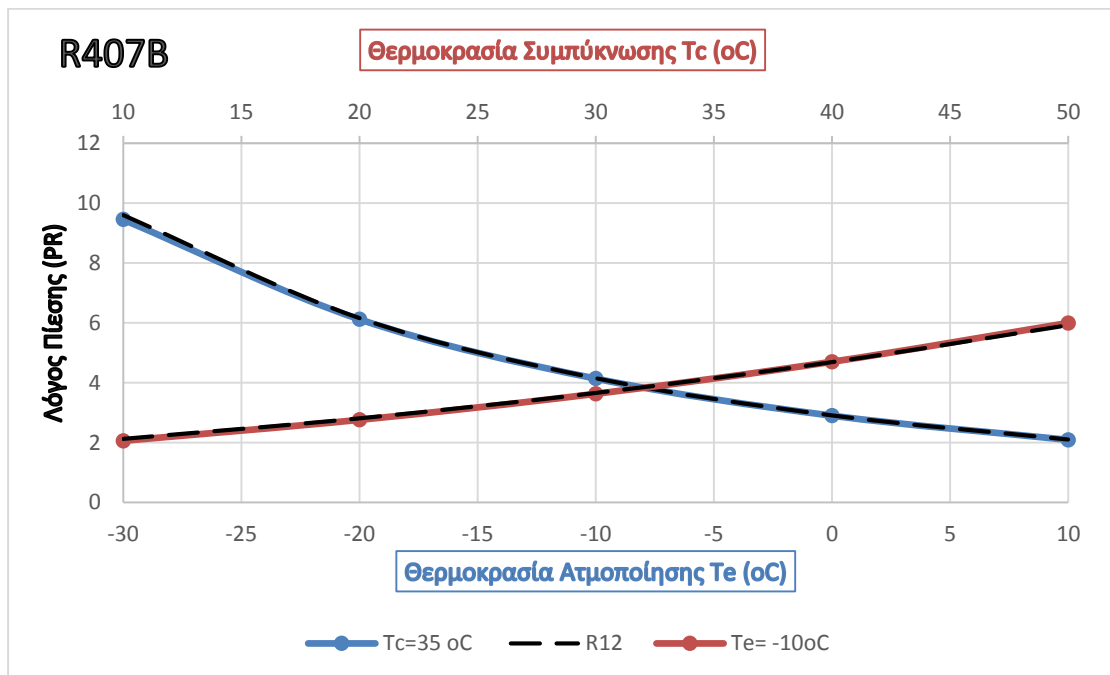
Διάγραμμα 3.30: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R152a – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



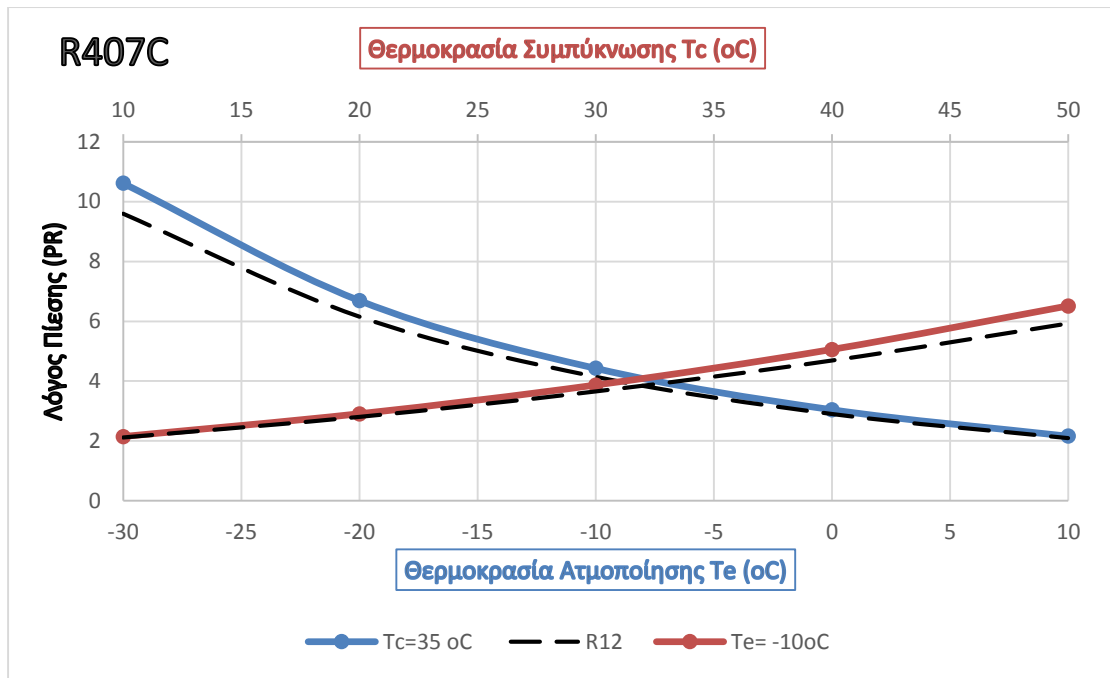
Διάγραμμα 3.31: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R290 – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



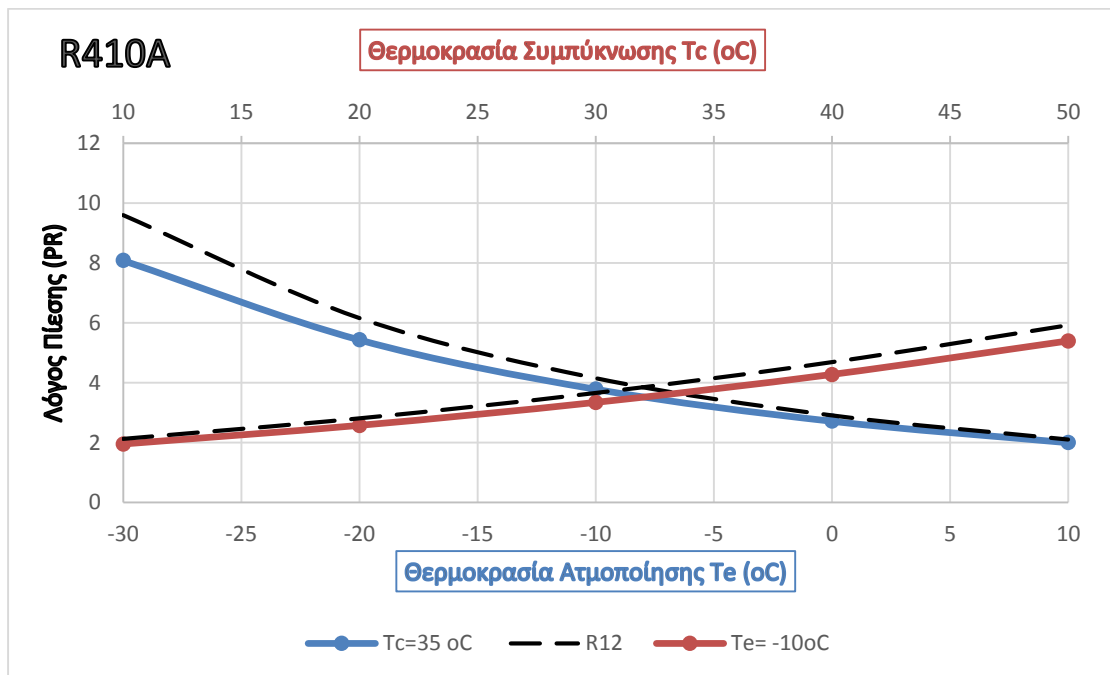
Διάγραμμα 3.32: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R407A – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



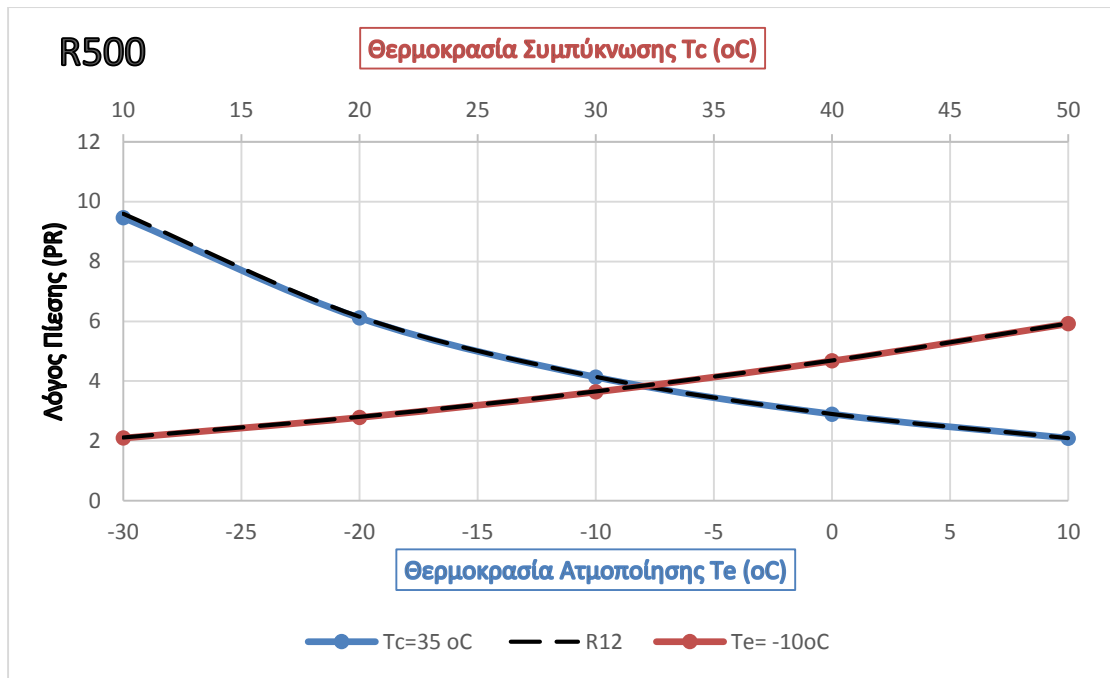
Διάγραμμα 3.33: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R407B – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



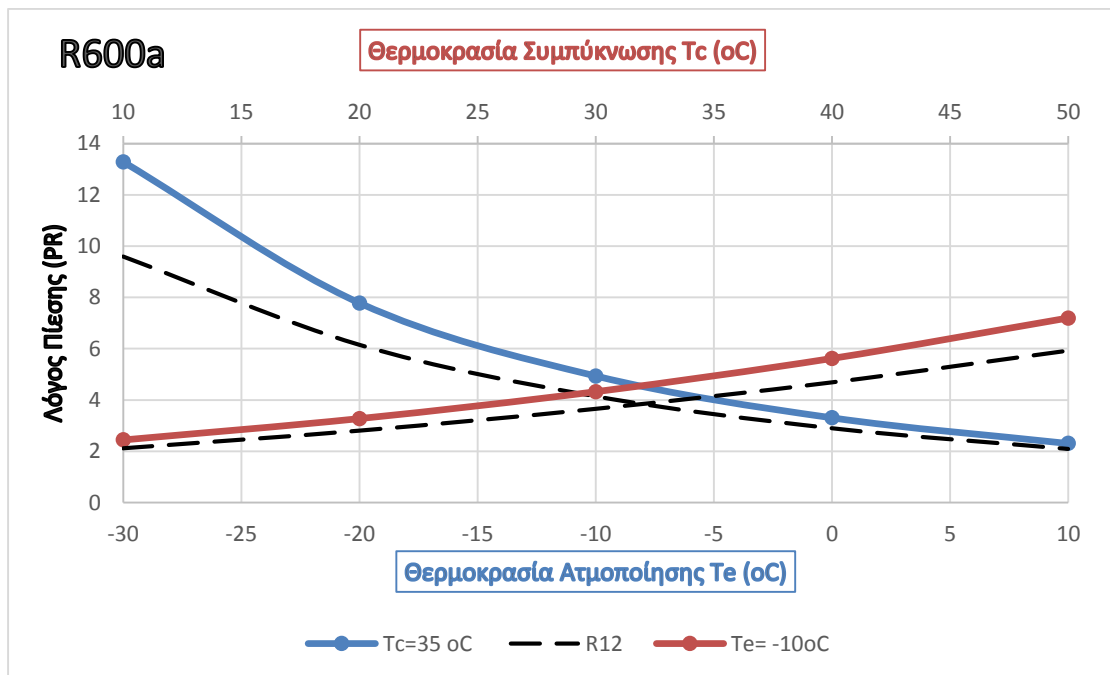
Διάγραμμα 3.34: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R407C–R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



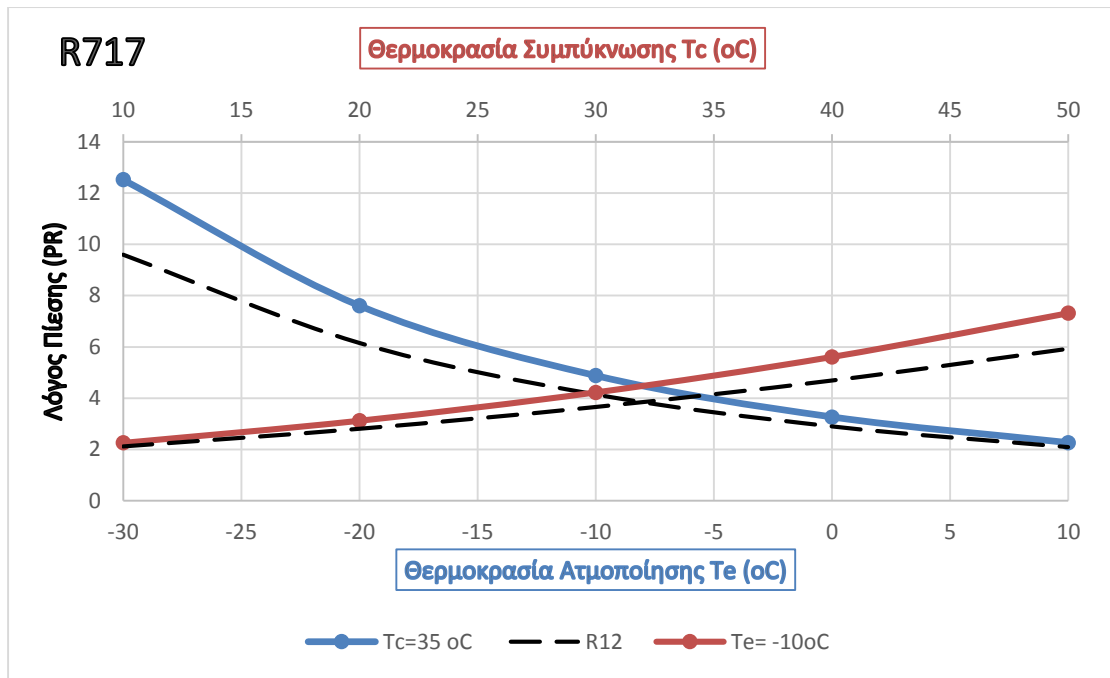
Διάγραμμα 3.35.: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R410A–R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.36: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R500–R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



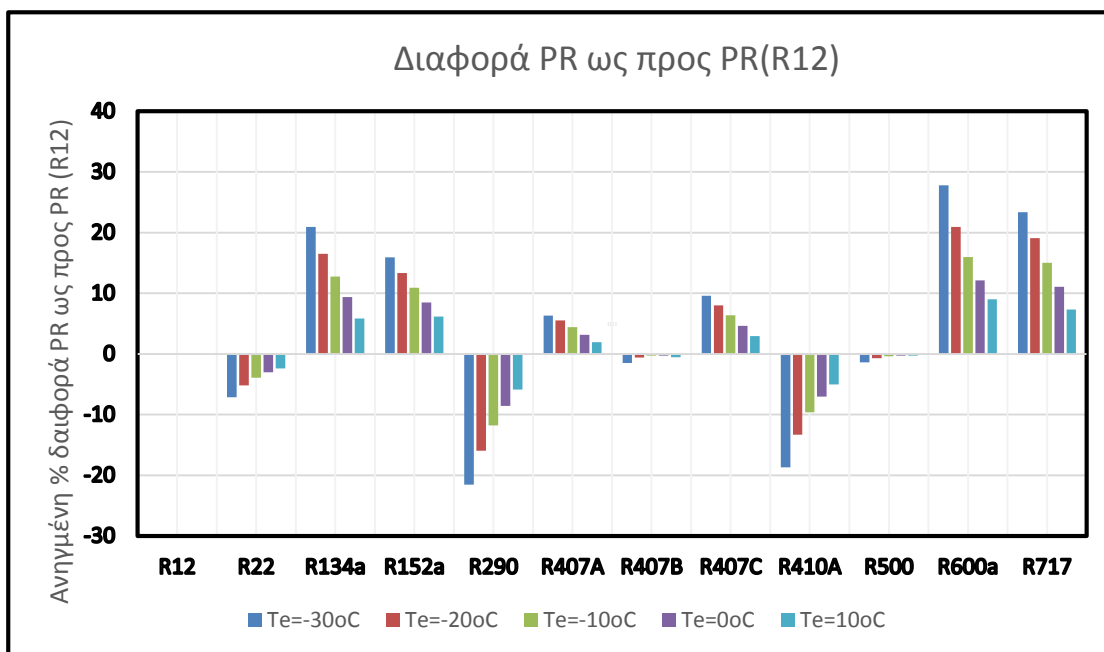
Διάγραμμα 3.37: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R600a –R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.38: Σύγκριση λόγου πίεσης ψυκτικού R717 – R12 (μαύρες διακεκομμένες) σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e (μπλε καμπύλη) και την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης T_c (κόκκινη καμπύλη).

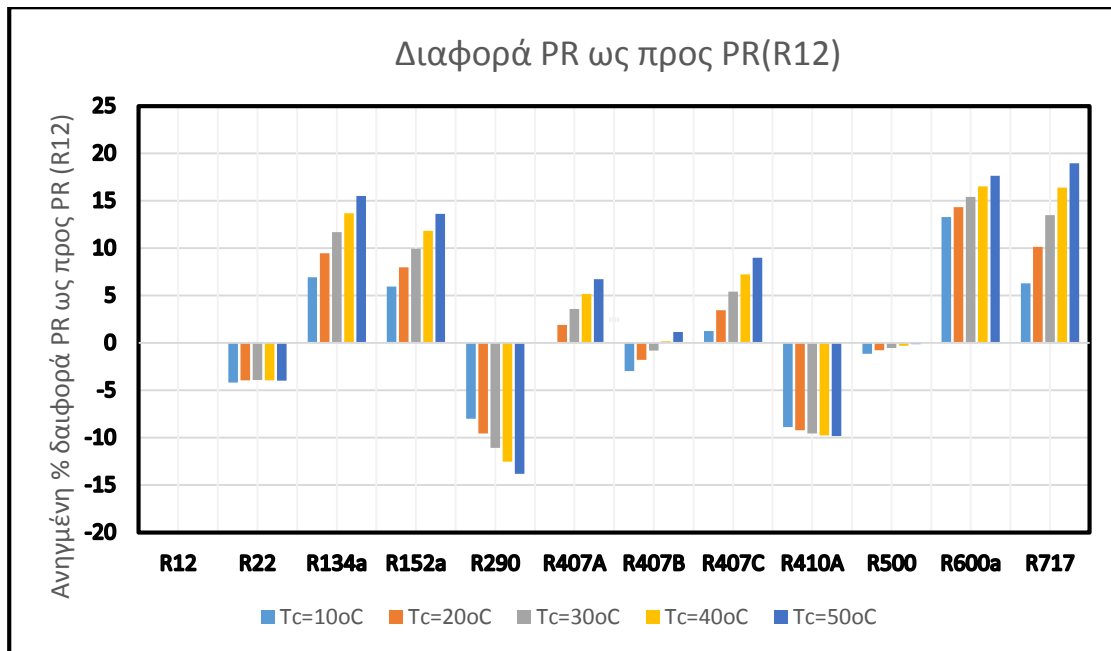
Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων (3.28 – 3.38) παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συμπύκνωσης τόσο αυξάνεται ο λόγος πίεσης και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ατμοποίησης τόσο μειώνεται ο λόγος πίεσης. Αν αναλογιστούμε ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης και ατμοποίησης αναφέρονται και σε μία συγκεκριμένη πίεση συμπύκνωσης και ατμοποίησης, όπως επίσης, και από την θεωρία ότι ο λόγος πίεσης είναι το πηλίκο της πίεσης συμπύκνωσης προς την πίεση ατμοποίησης θα καταλήξουμε ότι η μορφή των διαγραμμάτων είναι λογική και αναμενόμενη.

Οι διαφορές του λόγου πίεσεων ανά ψυκτικό μέσο φαίνονται στο διάγραμμα 3.40 για $T_c=35^\circ\text{C}$ και στο διάγραμμα 3.41 για $T_e=-10^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 3.39: Συγκεντρωτικές διαφορές λόγου πίεσης (PR) ψυκτικών ρευστών ως προς λόγο πίεσης R12 ανά θερμοκρασία ατμοποίησης T_e . Θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c=35^\circ\text{C}$.

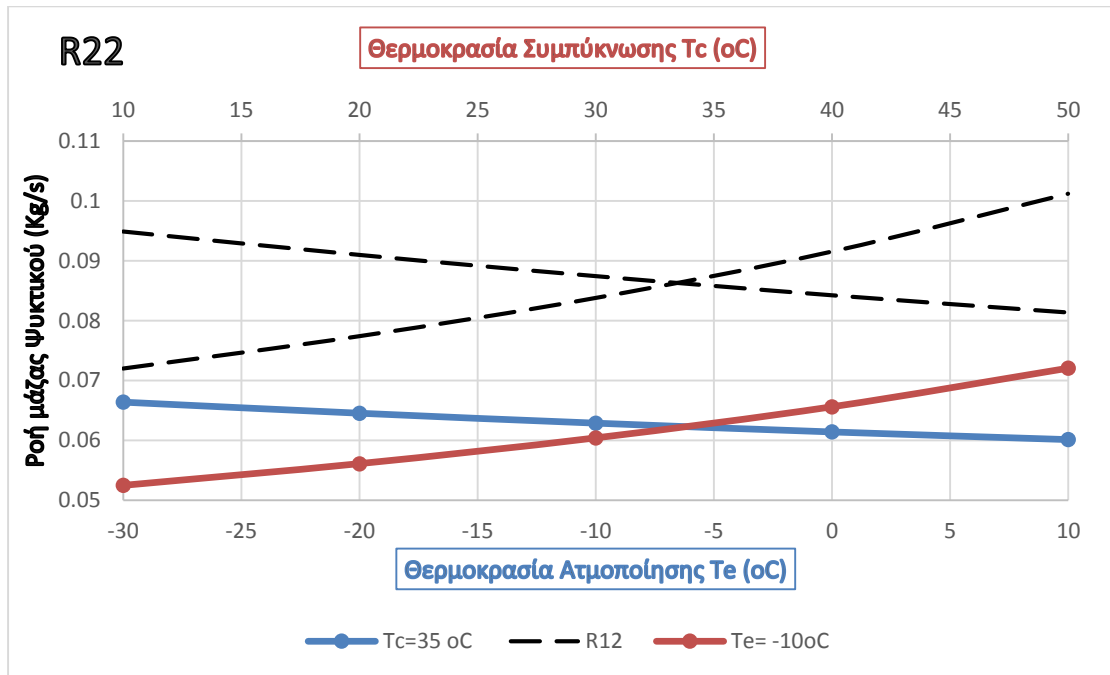
Ιδανικό για ένα ψυκτικό σύστημα είναι ένα ψυκτικό μέσο το οποίο για συγκεκριμένα ψυκτικά χαρακτηριστικά έχει χαμηλές πιέσεις ατμοποίησης και συμπύκνωσης απαιτώντας έτσι μικρό συμπιεστή, αφού θα έχει να φέρει σε πέρας μικρότερο έργο (B.O. Bolaji, 2011). Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι οι πιέσεις ενός ψυκτικού συστήματος επηρεάζουν τον σχεδιασμό και άρα το κόστος του εξοπλισμού, αλλά επίσης και το κόστος λειτουργίας αφού έχουν άμεση σχέση με την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται κατά την συμπίεση. (Sarbu, 2014)



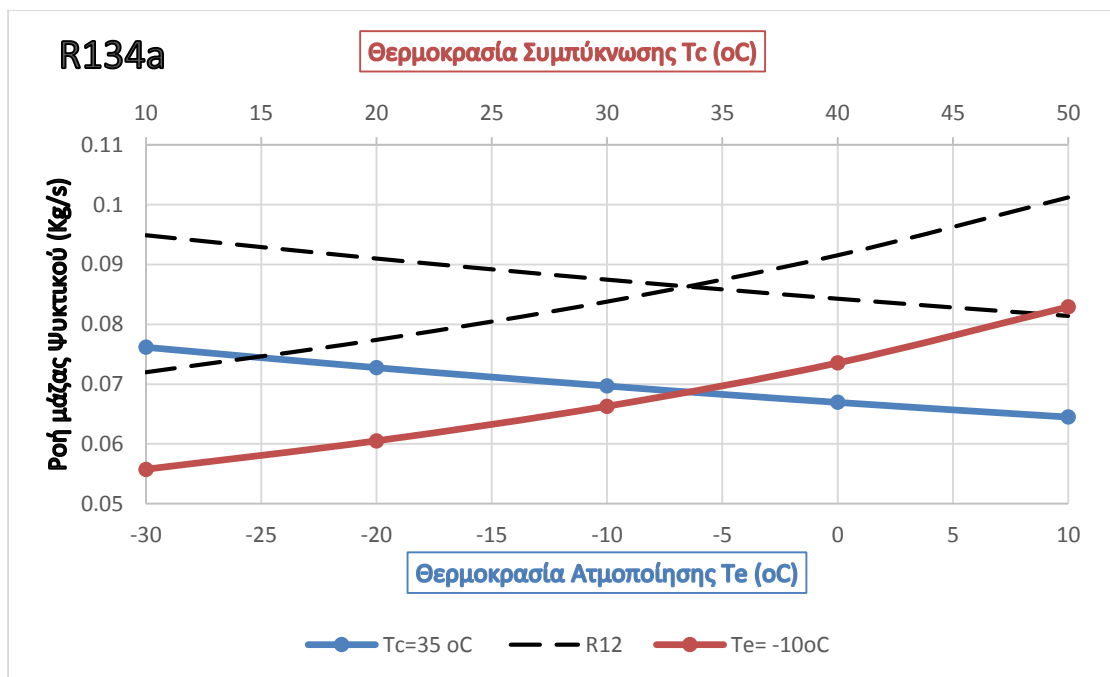
Διάγραμμα 3.40: Συγκεντρωτικές διαφορές λόγου πίεσης (PR) ψυκτικών ρευστών ως προς λόγο πίεσης R12 ανά θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c . Θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -10^\circ\text{C}$.

Από τα διαγράμματα 3.39 - 3.40 παρατηρούμε ότι ένα τέτοιο ψυκτικό είναι το R290 το οποίο επιτυγχάνει τους μικρότερους λόγους πιέσεων, ακολουθούμενο στην συνέχεια από το R410A. Αντιθέτως, ψυκτικά όπως τα R600a, R717 και R134a έχουν μεγάλους λόγους πιέσεων κάτι που τα καθιστά αντιοικονομικά απ' αυτήν την άποψη.

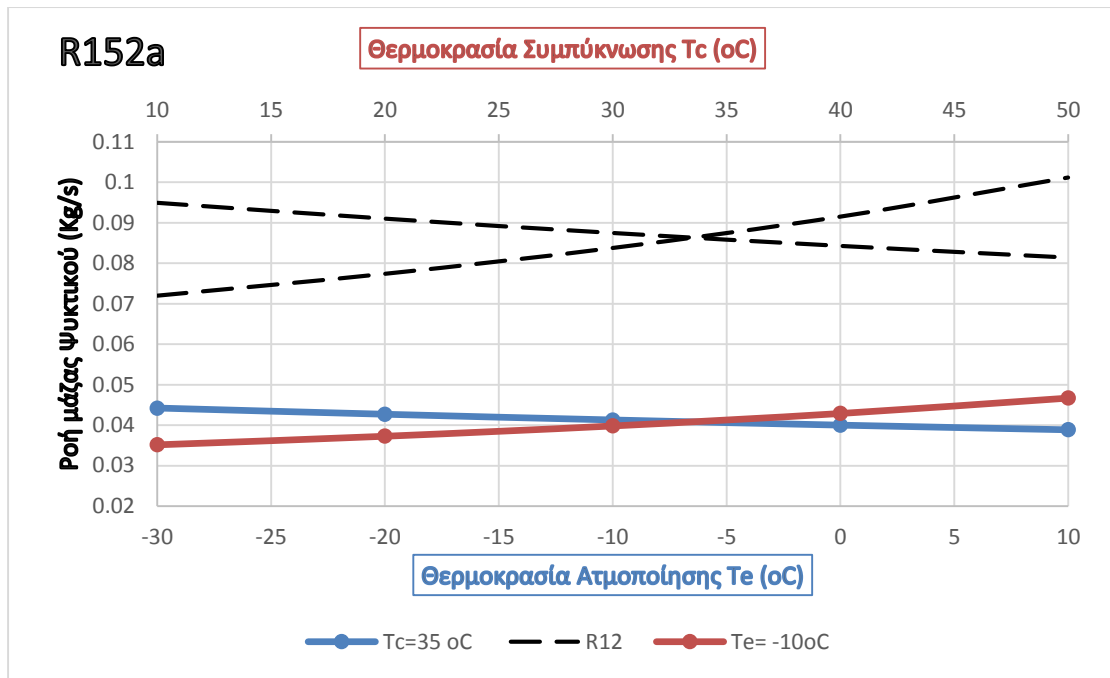
3.5 Μεταβολή Ροής Μάζας Ψυκτικού m' – Θερμοκρασία Ατμοποίησης και Συμπύκνωσης (T_e , T_c)



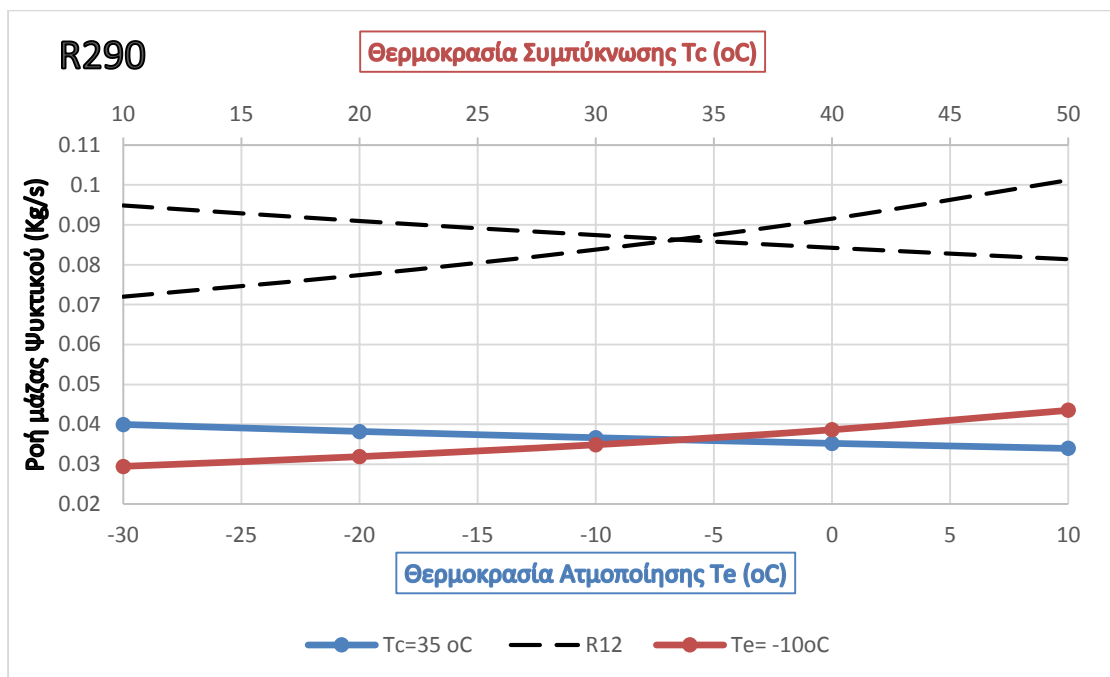
Διάγραμμα 3.41 : Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R22 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



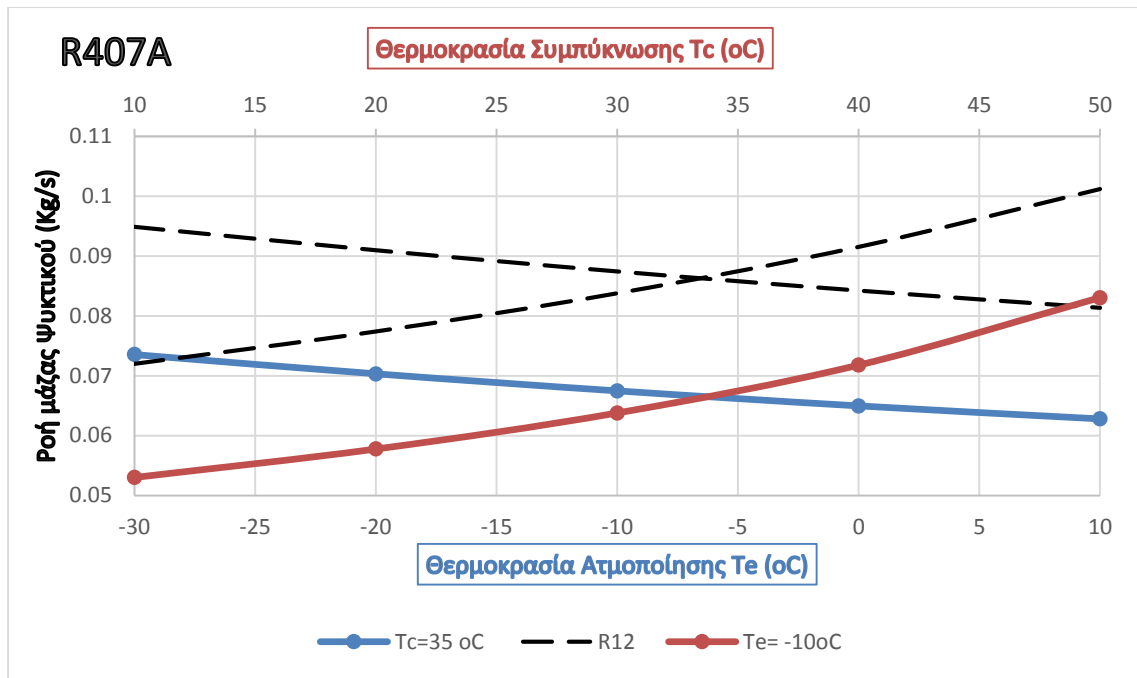
Διάγραμμα 3.42: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R134a σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



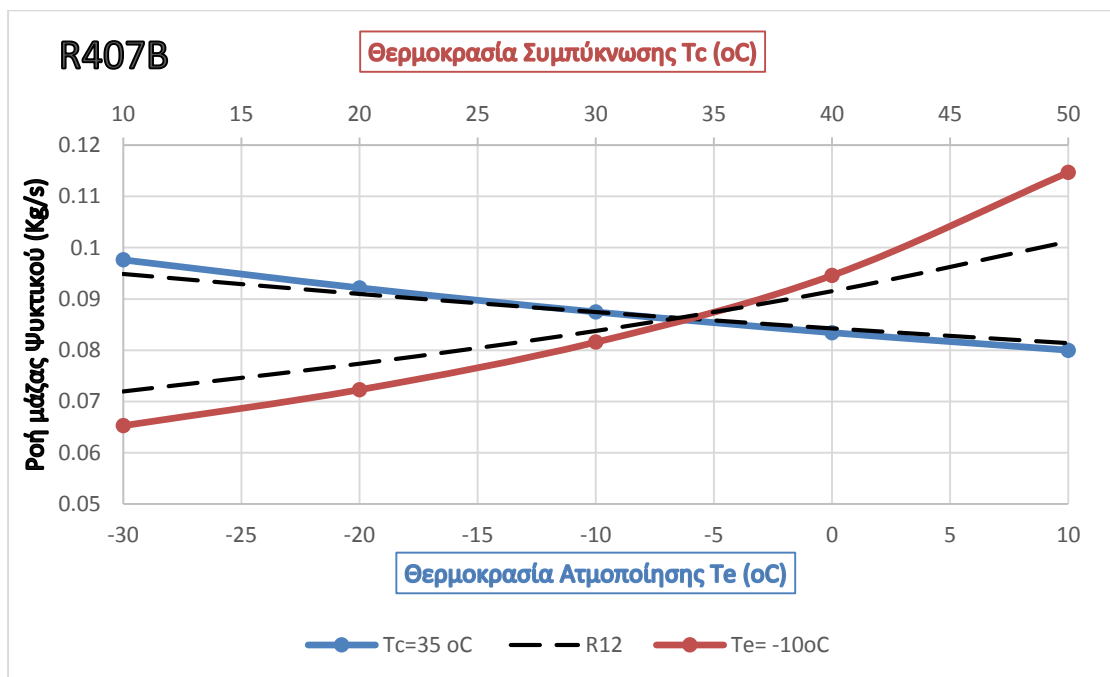
Διάγραμμα 3.43: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R152a σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



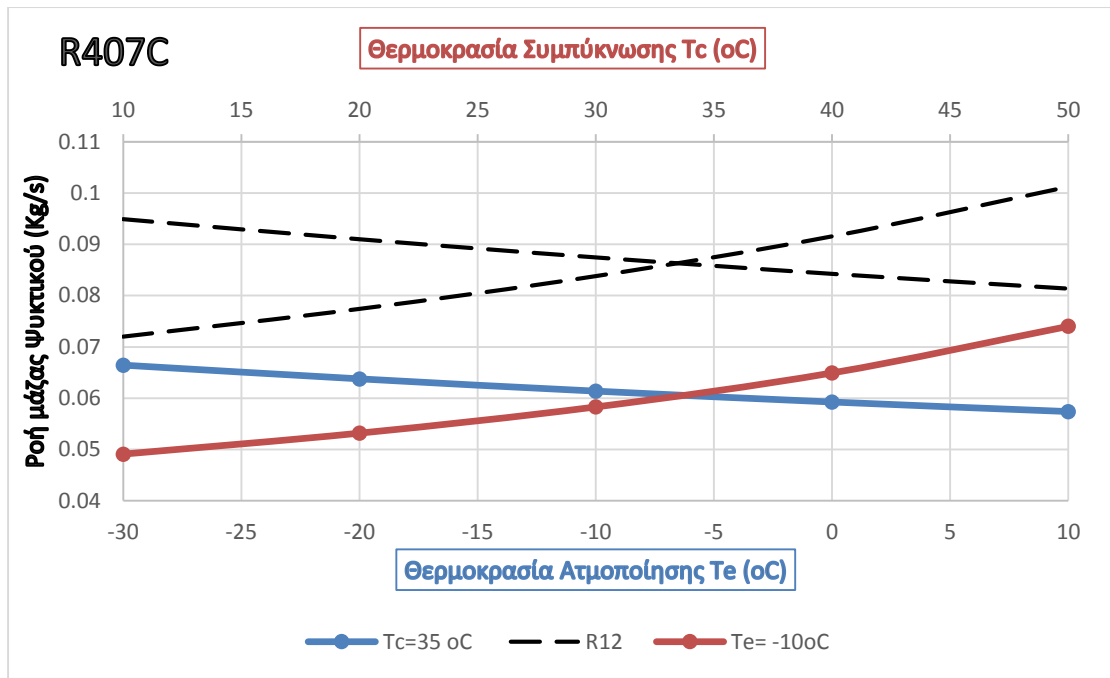
Διάγραμμα 3.44: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R290 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



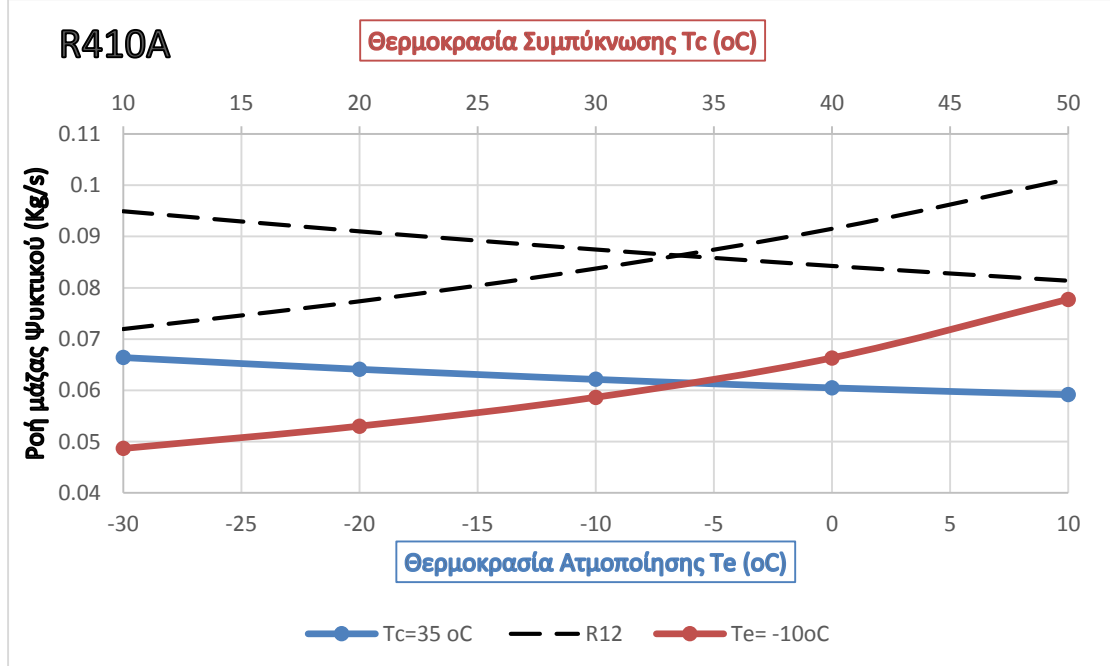
Διάγραμμα 3.45: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R407A σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



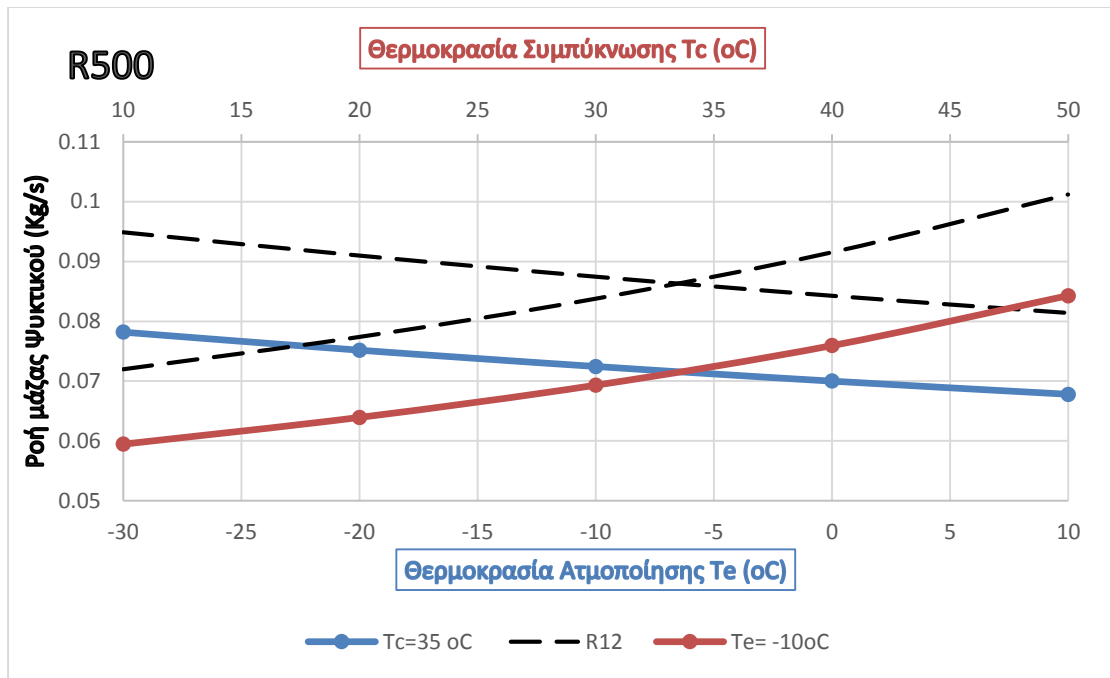
Διάγραμμα 3.46: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R407B σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



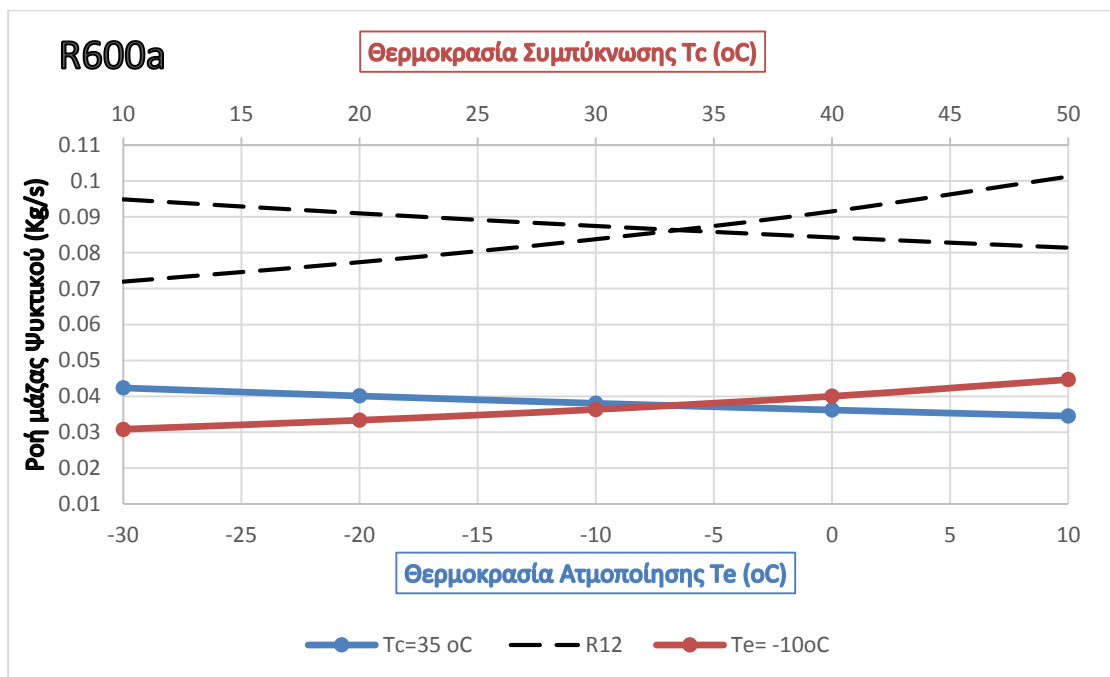
Διάγραμμα 3.47: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R407C σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



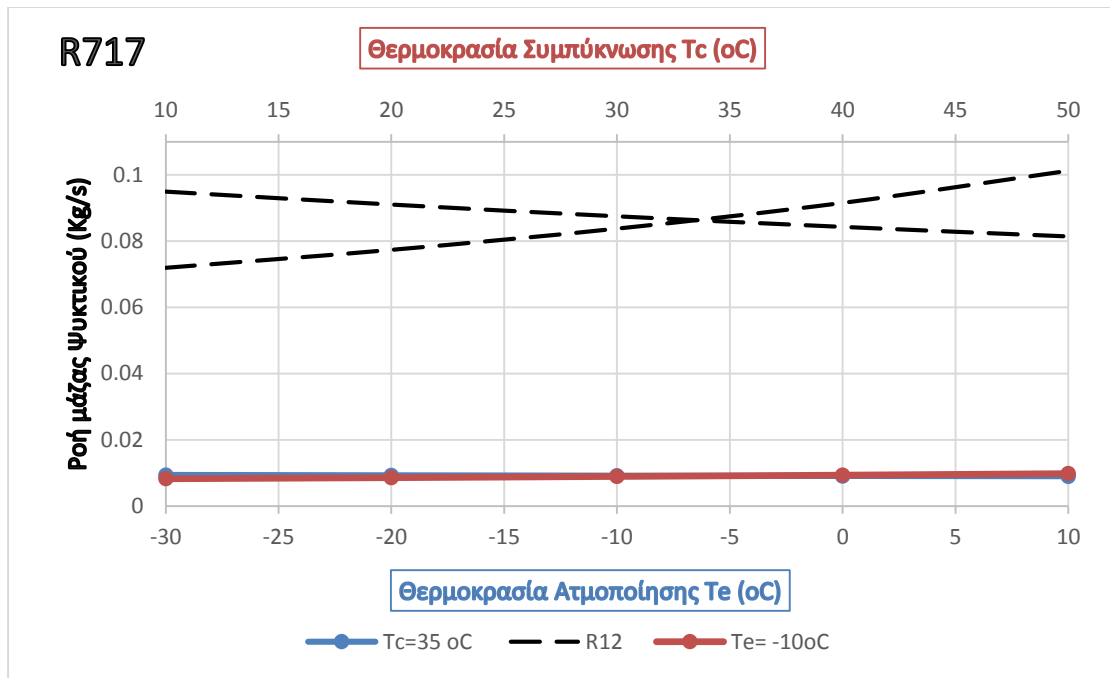
Διάγραμμα 3.48: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R407C σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη)



Διάγραμμα 3.49: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R500 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.50: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R600a σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.51: Σύγκριση ροής μάζας ψυκτικών ρευστών R12 – R717 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης (μπλε καμπύλη) και την θερμοκρασία συμπύκνωσης (κόκκινη καμπύλη).

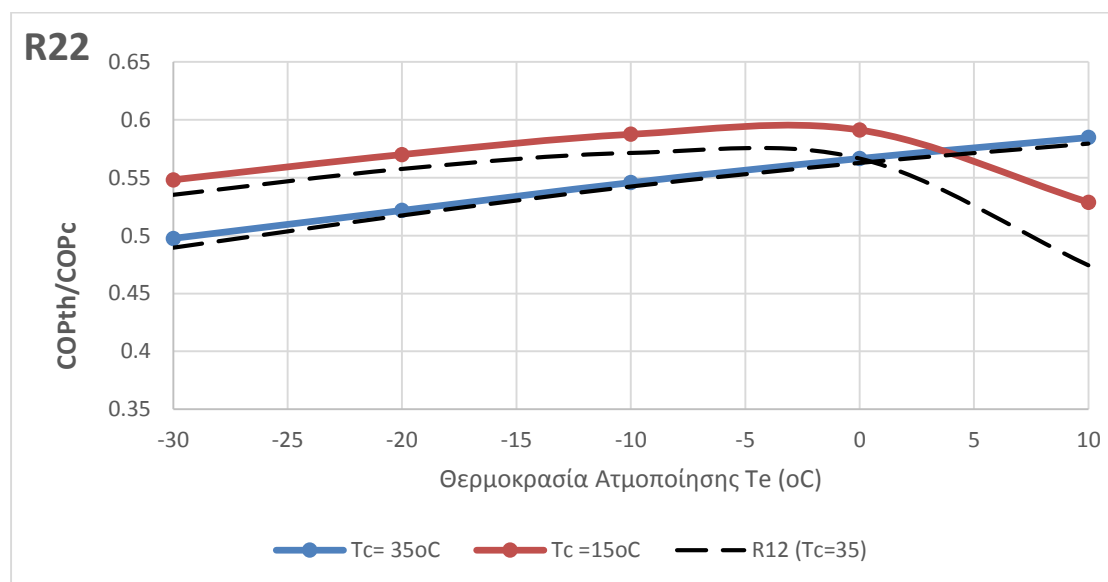
Στα διαγράμματα 3.41 – 3.51 που προηγήθηκαν παρατηρούμε την αλλαγή της ροής μάζας του ψυκτικού σε μεταβαλλόμενες συνθήκες θερμοκρασιών του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή. Υπενθυμίζουμε ότι όλοι οι υπολογισμοί μέσω του προγράμματος CoolPack έγιναν με συγκεκριμένο ψυκτικό σύστημα (Πίνακας 3.1) ώστε να καλυφθεί η ψυκτική ισχύς $Q_e=10\text{kW}$.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων είναι ότι η ροή μάζας του ψυκτικού αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Αρχικά, έχοντας σταθερή την θερμοκρασία συμπύκνωσης (T_c) και μειώνοντας την θερμοκρασία ατμοποίησης (T_e) αυξάνεται ο ειδικός όγκος του ψυκτικού στην είσοδο του συμπιεστή (v_g) με συνέπεια να αυξάνεται και η ροή μάζας ψυκτικού για να επιτύχουμε την ψυκτική ισχύ των 10kW (σημείωση 1). (Kharagpur) Ακόμα, για σταθερή θερμοκρασία ατμοποίησης αύξηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης οδηγεί σε αύξηση του λόγου πίεσης, ο οποίος με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας κατάθλιψης (αφού αυξάνεται η πίεση κατάθλιψης με $P_{αν}$ =σταθερή) και άρα τέλος μειώνεται η ροή μάζας του ψυκτικού αφού και ο ειδικός όγκος μειώνεται (σημείωση 2). Όμως, για να πετύχουμε την σταθερή ψυκτική ισχύ θα πρέπει να αυξηθεί η ροή του ψυκτικού στην είσοδο του συμπιεστή όπως και γίνεται (σημείωση 3).

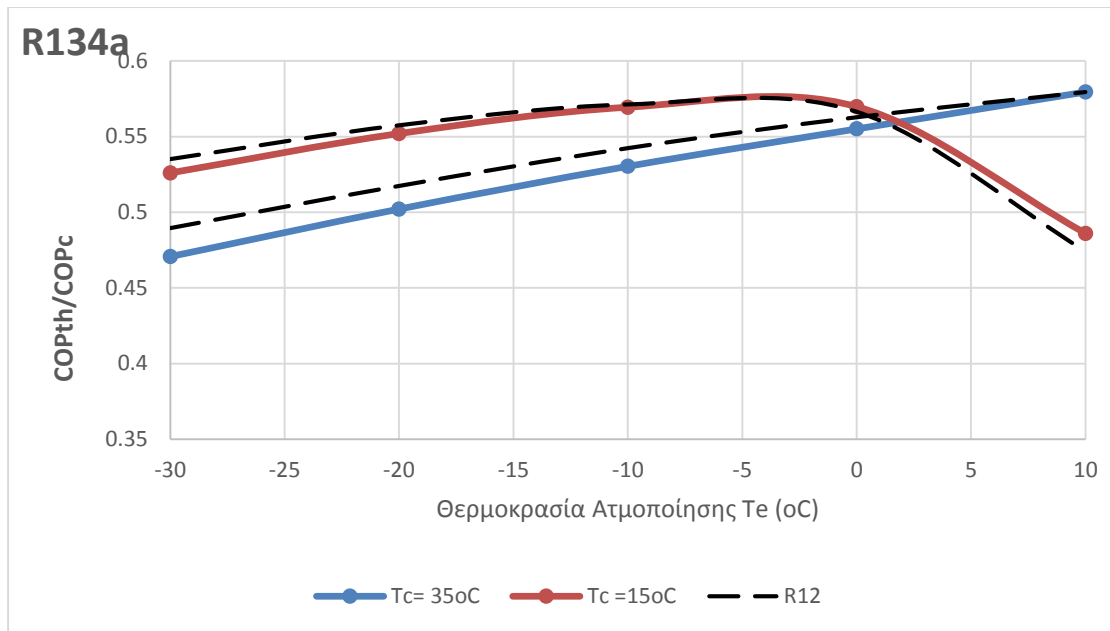
Σημειώσεις

1. Ο ειδικός όγκος στην είσοδο του συμπιεστή μετριέται σε m^3/kg με ενδεικτικές τιμές από το CoolPack για το R12 να είναι $v_g=0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$ για $T_e=-30^\circ\text{C}$ και $v_g=0,06 \text{ m}^3/\text{kg}$ για $T_e=0^\circ\text{C}$. Βλέπουμε ότι απαιτείται μεγαλύτερος όγκος σε μικρότερη θερμοκρασία για την κάλυψη 1kg ψυκτικού. Έτσι, ο συμπιεστής στην είσοδο αναρροφά αναγκαστικά μεγαλύτερο όγκο ψυκτικού και άρα μάζα ψυκτικού (για σταθερή ψυκτική ισχύ πάντα).
2. Ο ειδικός όγκος στην είσοδο του συμπιεστή είναι ανεπηρέαστος με την μεταβολή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης και σταθερή θερμοκρασία ατμοποίησης.
3. Η ψυκτική ισχύς υπολογίζεται ως $Q_{evap} = \dot{m} * (h_{out,evap} - h_{in,evap})$

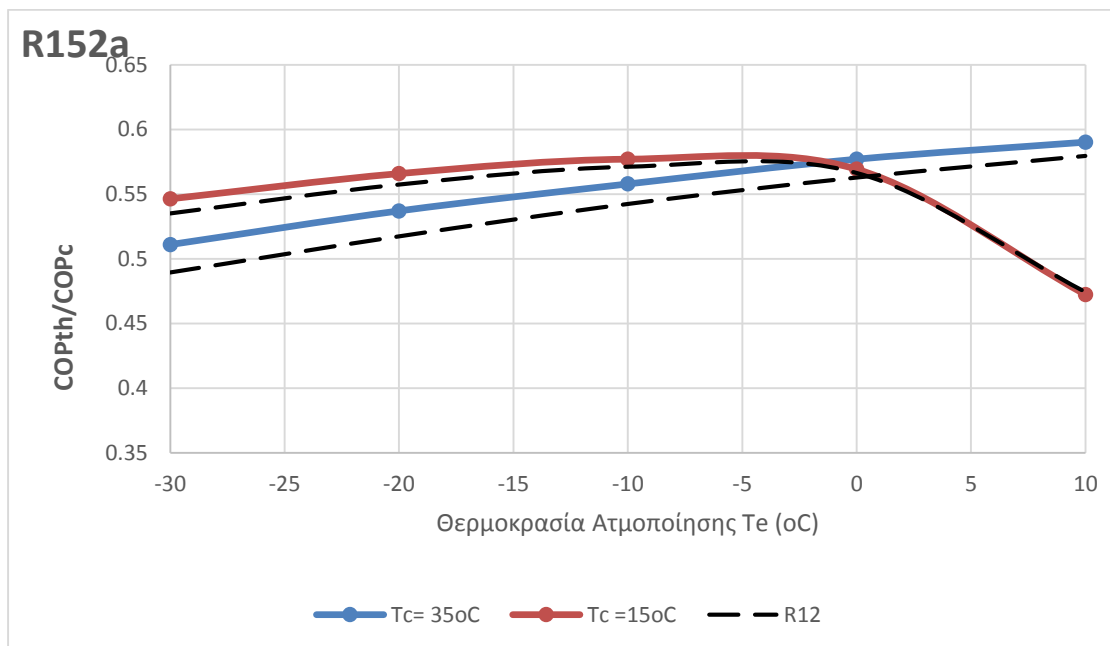
3.6 Μεταβολή Θερμοδυναμικού Βαθμού Απόδοσης – Θερμοκρασία Ατμοποίησης T_e



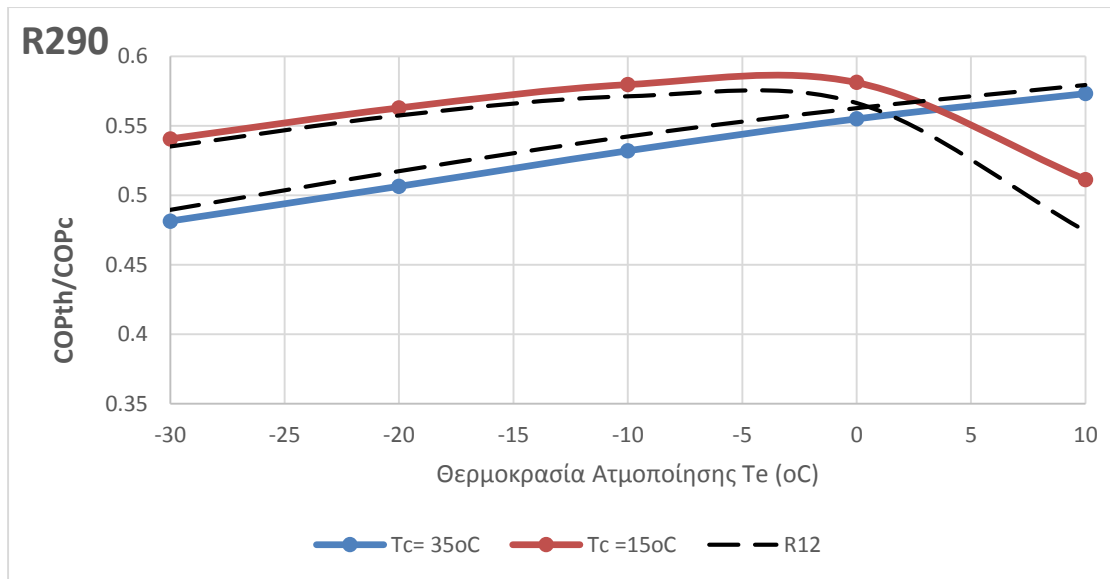
Διάγραμμα 3.52: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R22 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπύκνωσης $T_c=35^\circ\text{C}$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^\circ\text{C}$ (κόκκινη καμπύλη).



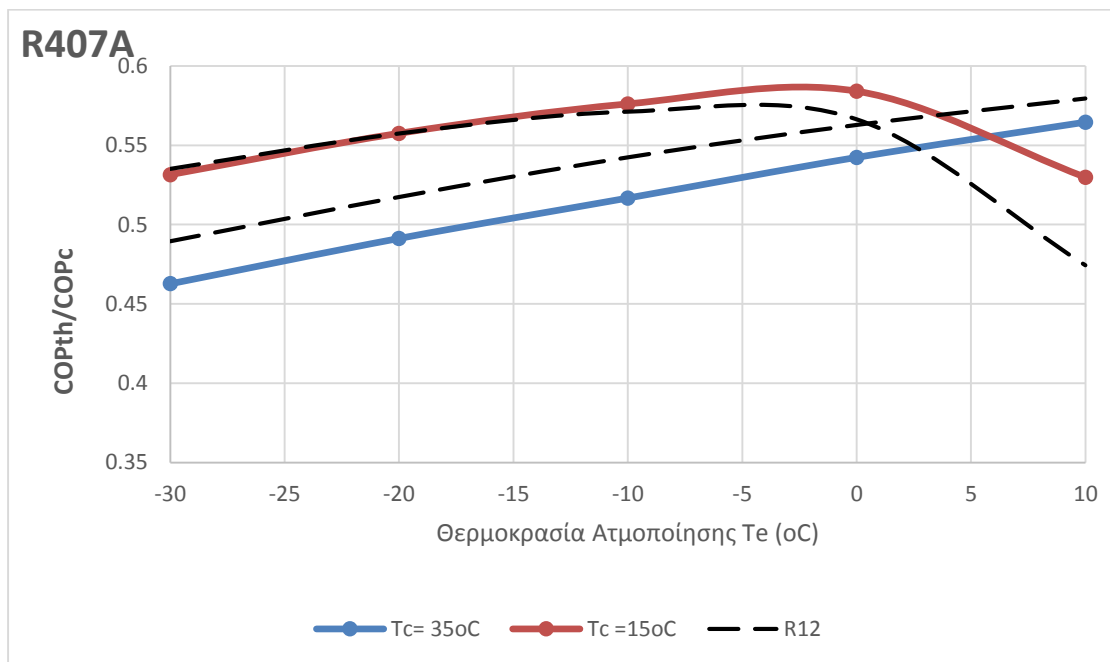
Διάγραμμα 3.53: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R134a σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπύκνωσης $T_c=35^\circ\text{C}$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^\circ\text{C}$ (κόκκινη καμπύλη).



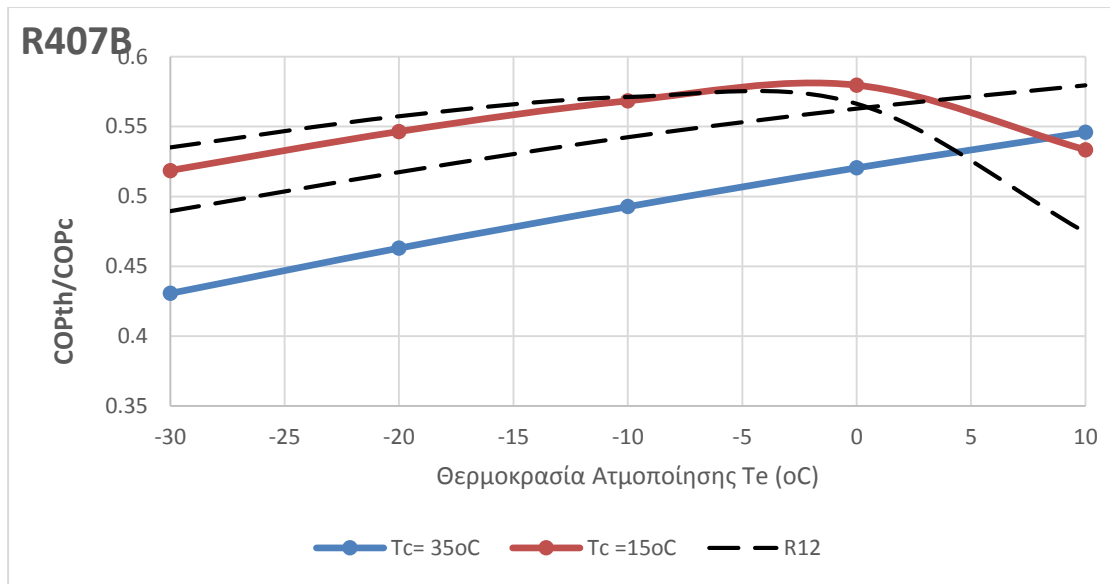
Διάγραμμα 3.54: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R152a σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπύκνωσης $T_c=35^\circ\text{C}$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^\circ\text{C}$ (κόκκινη καμπύλη).



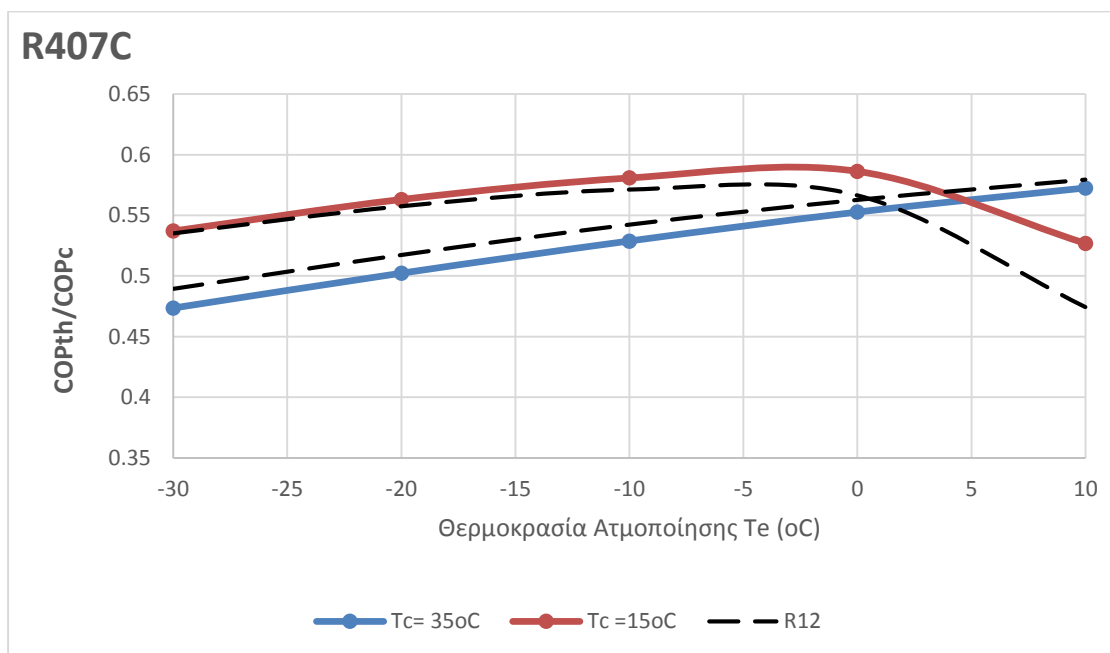
Διάγραμμα 3.55: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R290 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπίκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



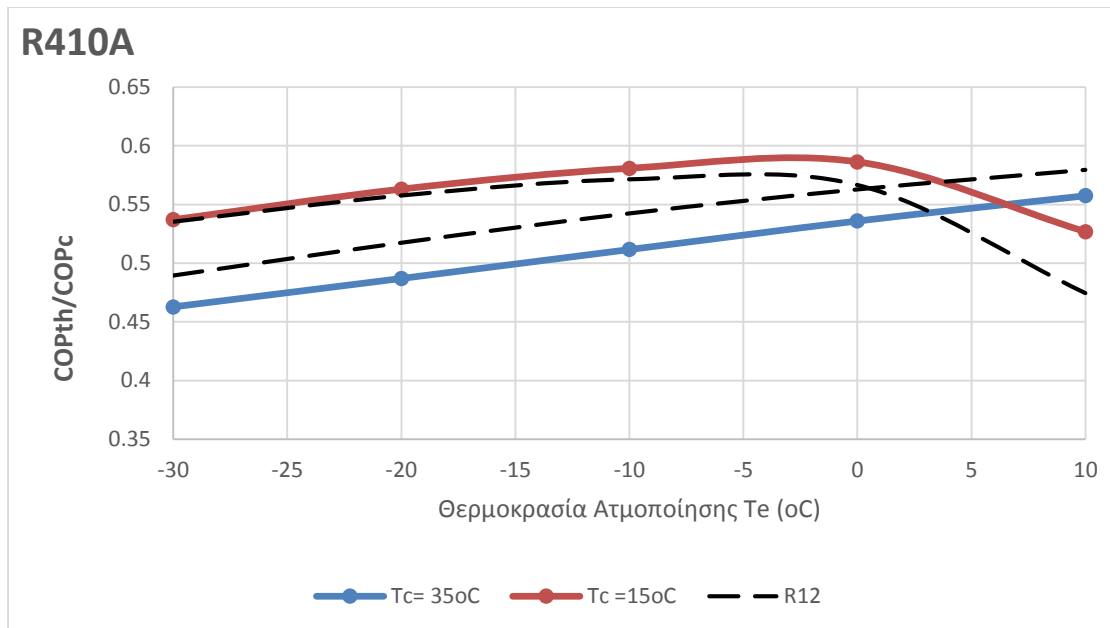
Διάγραμμα 3.56: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R407A σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπίκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



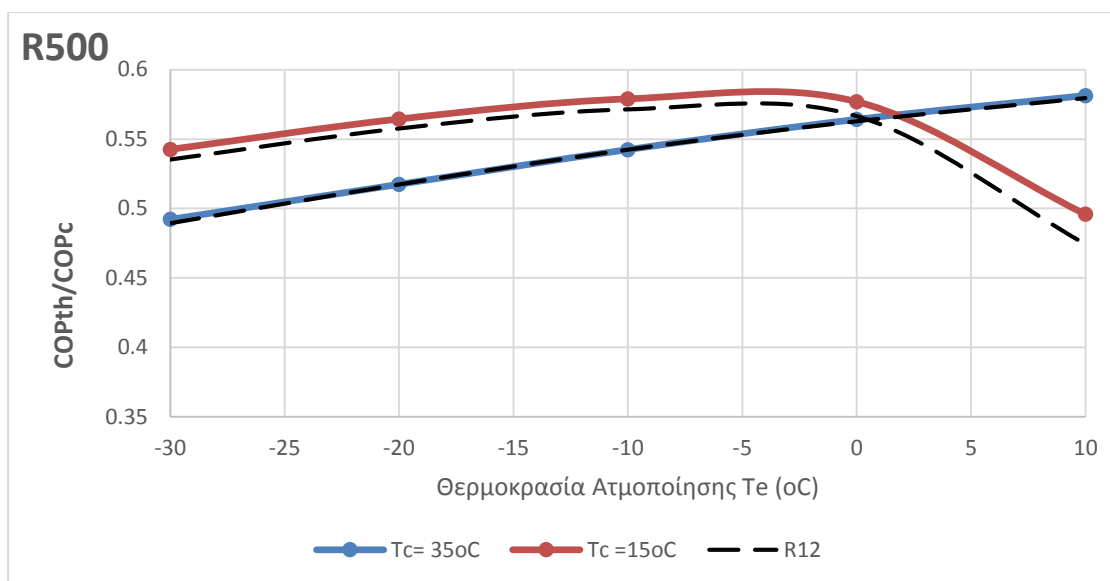
Διάγραμμα 3.57: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R407B σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπύκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



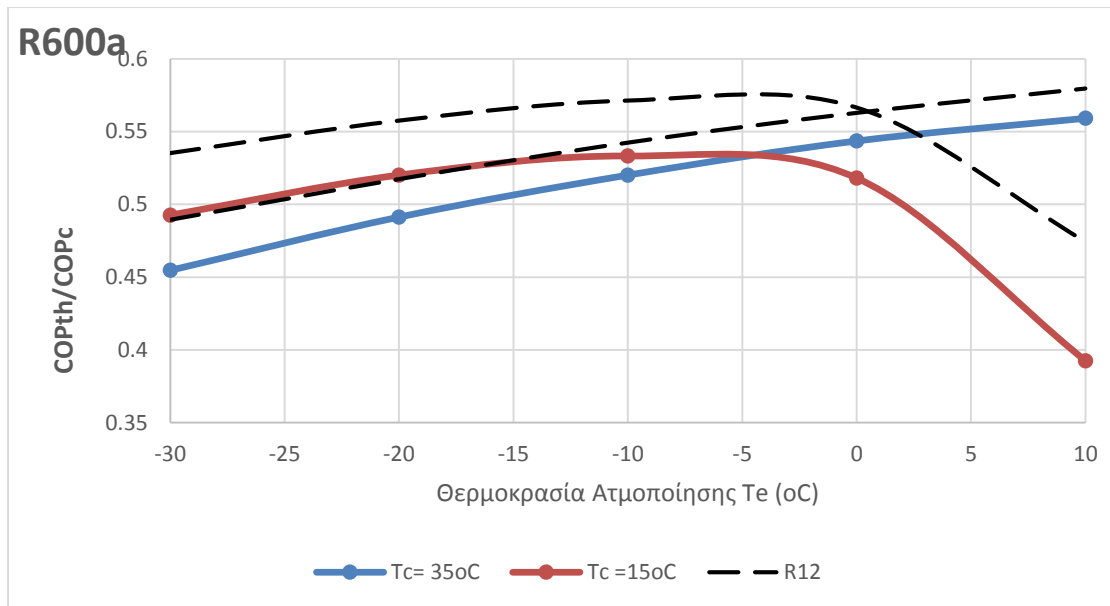
Διάγραμμα 3.58: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R407C σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπύκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



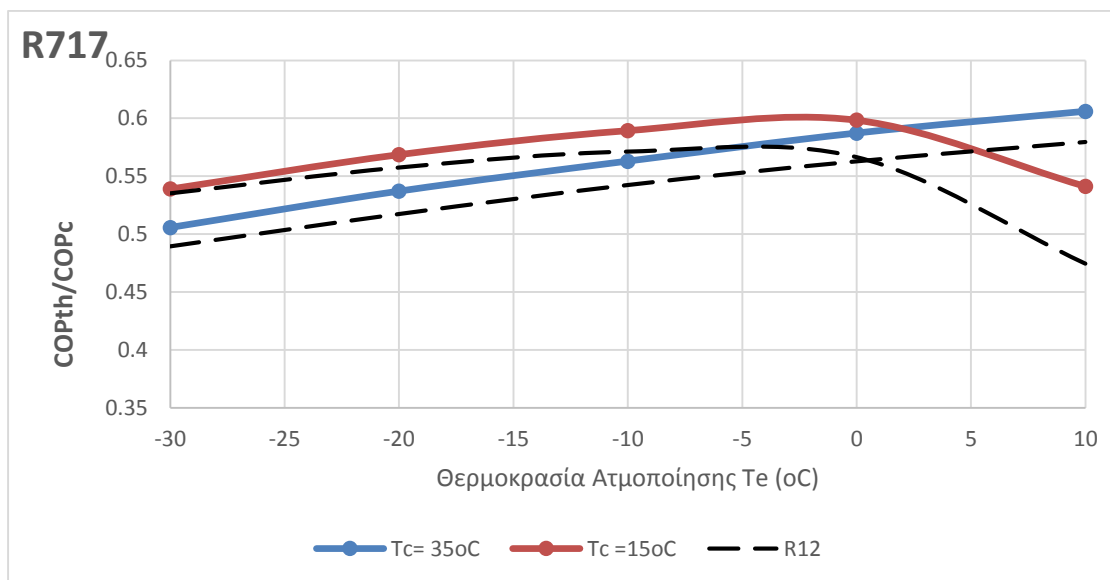
Διάγραμμα 3.59: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R410A σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπίκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



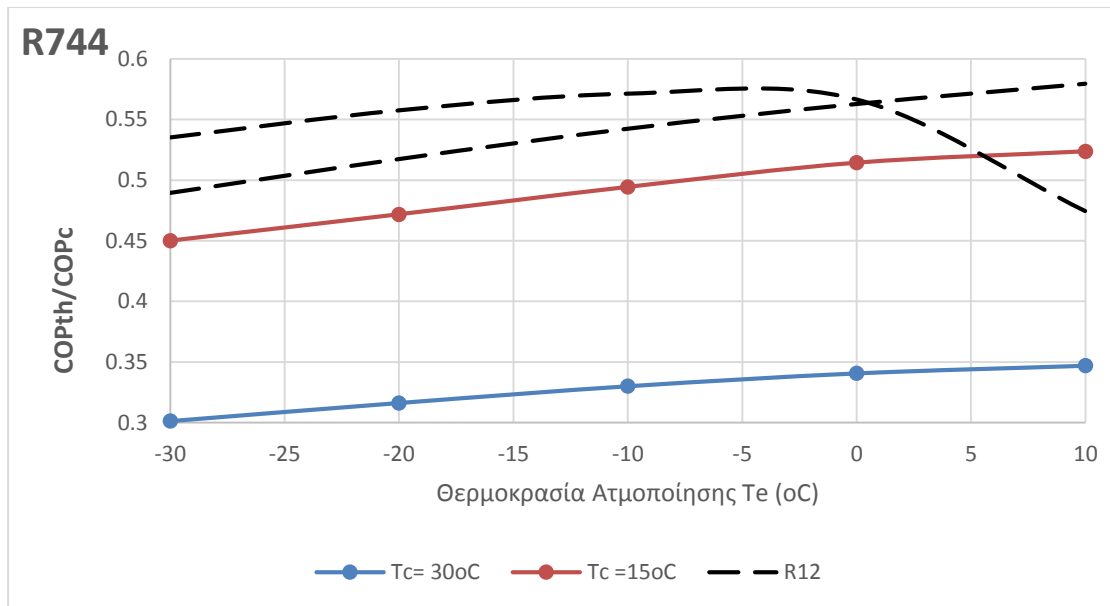
Διάγραμμα 3.60: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R500 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπίκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.61: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R600a σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπίκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).



Διάγραμμα 3.62: Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R717 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπίκνωσης $T_c=35^{\circ}C$ (μπλε καμπύλη) και $T_c=15^{\circ}C$ (κόκκινη καμπύλη).

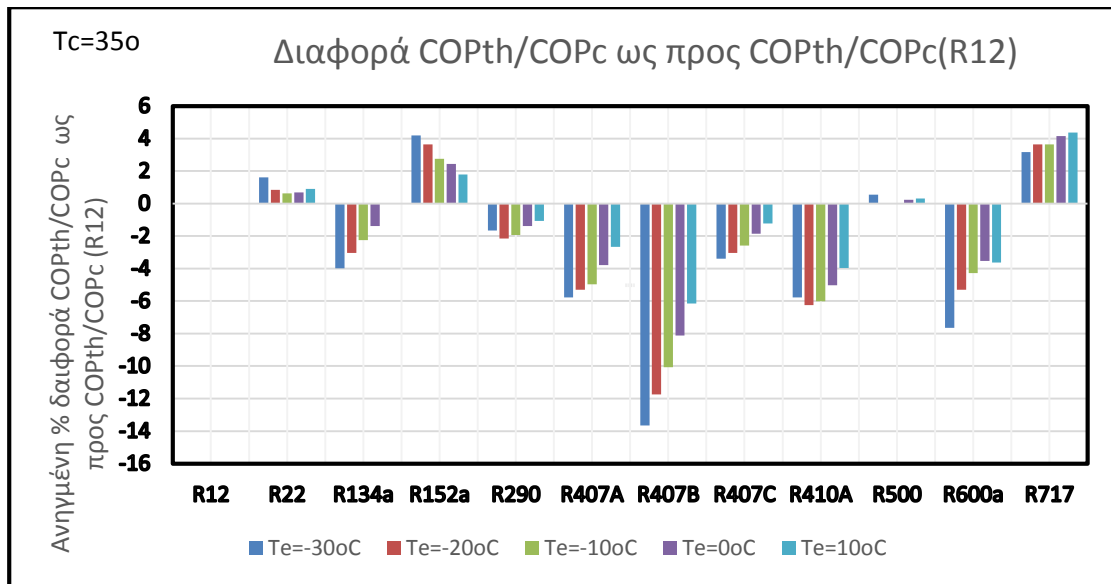


Διάγραμμα 3.63 :Σύγκριση θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης (COP_{th}/COP_c) ψυκτικών ρευστών R12 – R744 σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας ατμοποίησης για θερμοκρασίες συμπύκνωσης T_c=35°C (μπλε καμπύλη) και T_c=15°C (κόκκινη καμπύλη).

Στα παραπάνω διαγράμματα 3.52 – 3.63 παρουσιάζονται οι μεταβολές του θερμοδυναμικού βαθμού απόδοσης (COP_{th}/COP_c) σε συνάρτηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες συμπύκνωσης (T_c=35°C , T_c=15°C).

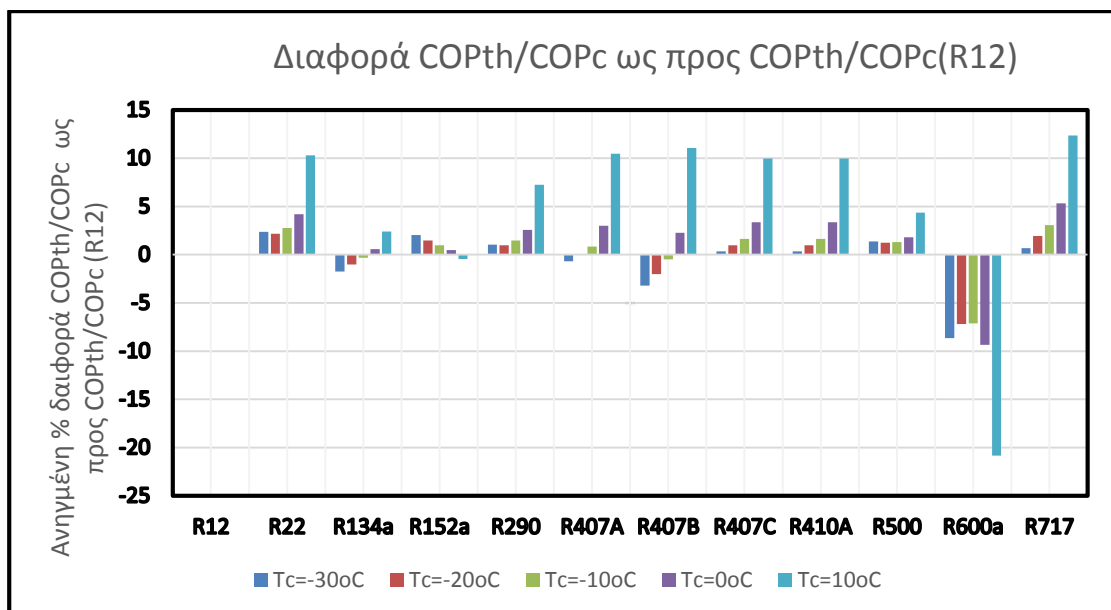
Για θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c=35°C παρατηρούμε ότι ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Αυτό οφείλεται στην μείωση του έργου που πρέπει να καλύψει ο συμπιεστής δηλαδή στην αύξηση του COP_{th} και άρα και του λόγου COP_{th}/COP_c.

Για θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c=15°C παρατηρούμε γενικά υψηλότερους θερμοδυναμικούς βαθμούς απόδοσης (Θ.Β.Α.) από την αντίστοιχη T_c=35°C κάτι που οφείλεται επίσης στο μικρότερο έργο συμπιεστή όπως και στην αύξηση των αναστρεψιμοτήτων καθώς αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασιών T_c-T_e. Ωστόσο, για υψηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης (T_e>0°C) βλέπουμε ραγδαία πτώση του Θ.Β.Α..



Διάγραμμα 3.64: Συγκεντρωτικές διαφορές θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης ψυκτικών ρευστών ως προς το ψυκτικό R12 ανά θερμοκρασία ατμοποίησης και για σταθερή θερμοκρασία συμπύκνωσης Tc=35°C.

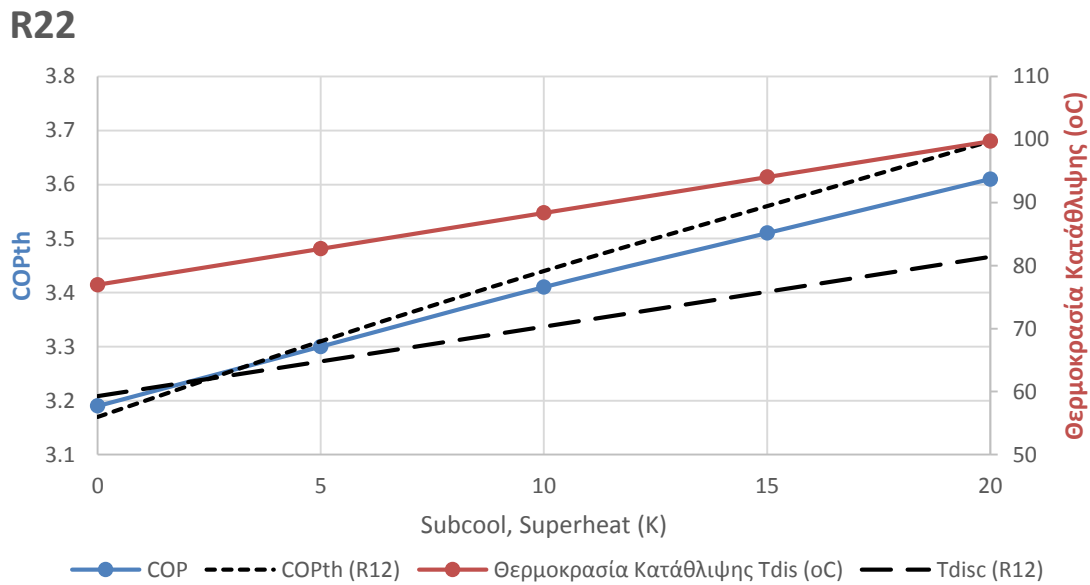
Βλέποντας συγκεντρωμένες τις διαφορές για Tc=35°C συμπεραίνουμε ότι τα ψυκτικά R717 και R152a έχουν τους υψηλότερους Θ.Β.Α.. Σημαντική σημείωση είναι ότι ενώ όλα τα ψυκτικά έχουν υψηλότερους Θ.Β.Α. σε υψηλή θερμοκρασία ατμοποίησης, το R152a έχει τον υψηλότερο θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης για χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης (-30°C). Αντιθέτως, τους χαμηλότερους Θ.Β.Α. παρουσιάζουν τα R407B, R600a και R410A (Διάγραμμα 3.64).



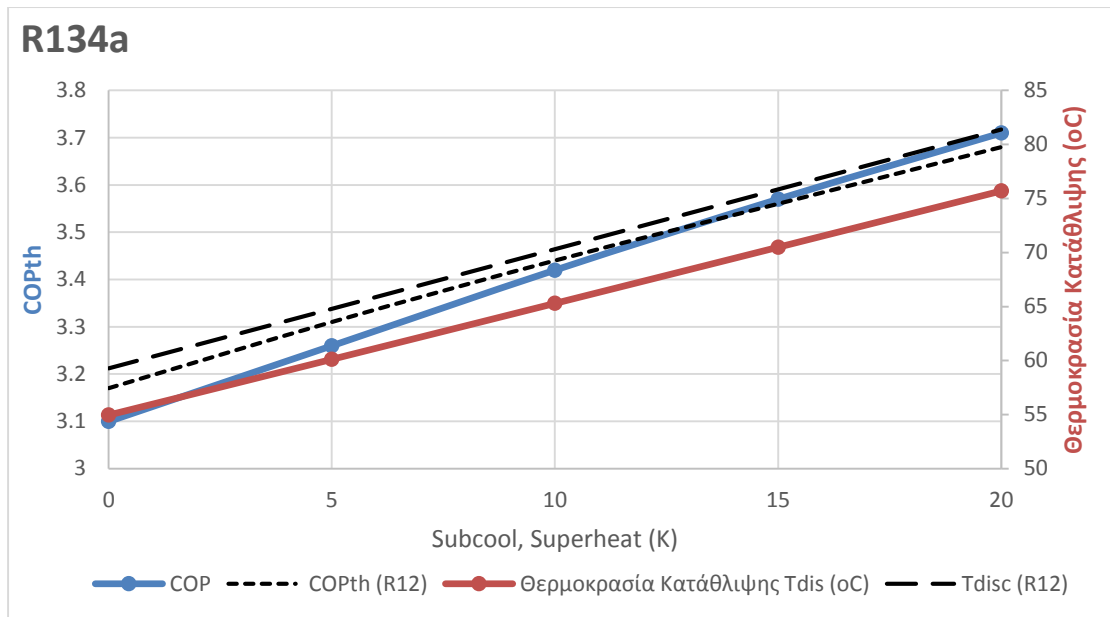
Διάγραμμα 3.65: Συγκεντρωτικές διαφορές θερμοδυναμικών βαθμών απόδοσης ψυκτικών ρευστών ως προς το ψυκτικό R12 ανά θερμοκρασία ατμοποίησης και για σταθερή θερμοκρασία συμπύκνωσης Tc=15°C.

Εν συνεχεία για θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c=15^\circ\text{C}$ παρατηρούμε σαφώς βελτιωμένες αποδόσεις σε σχέση με την θερμοκρασία των 35°C (διάγραμμα 3.65). Εδώ τα περισσότερα ψυκτικά παρουσιάζουν καλύτερους ή παρόμοιους θερμοδυναμικούς βαθμούς απόδοσης με το R12, με σημαντική εξαίρεση το R600a που έχει αρκετά χαμηλότερους Θ.Β.Α..

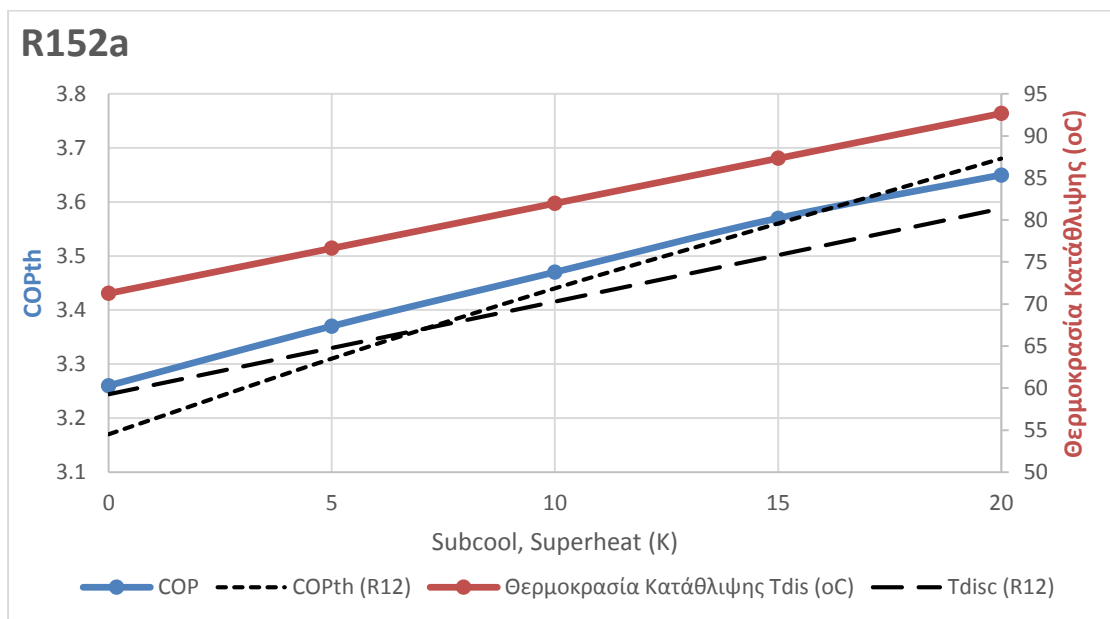
3.7 Μεταβολή Θεωρητικού Συντελεστή Συμπεριφοράς COPth – Θερμοκρασία Κατάθλιψης Tdisc, Θερμοκρασία Υπόψυξης/Υπερθέρμανσης ΔT



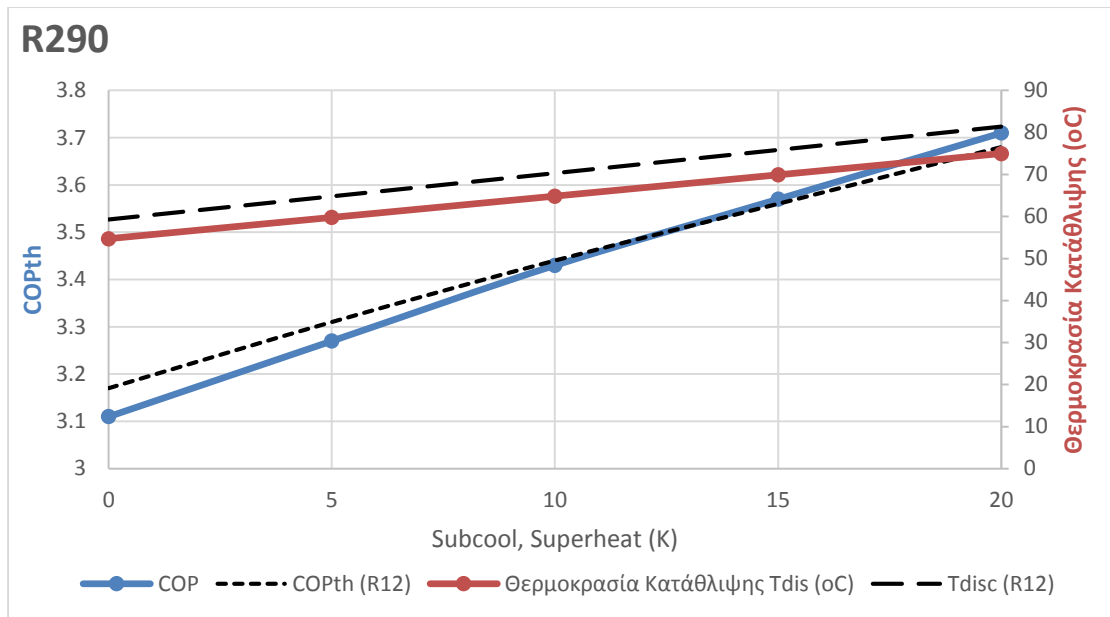
Διάγραμμα 3.66: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσω R12 – R22 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdisc (°C) των ψυκτικών ρευστών R12 – R22 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



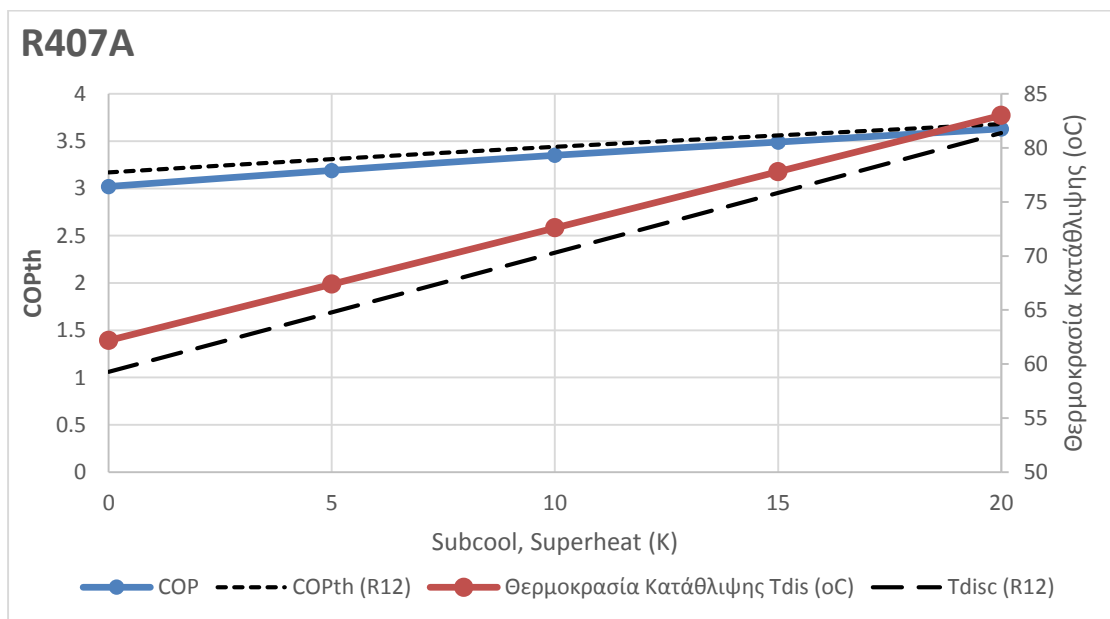
Διάγραμμα 3.67: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R134a ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R134a ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



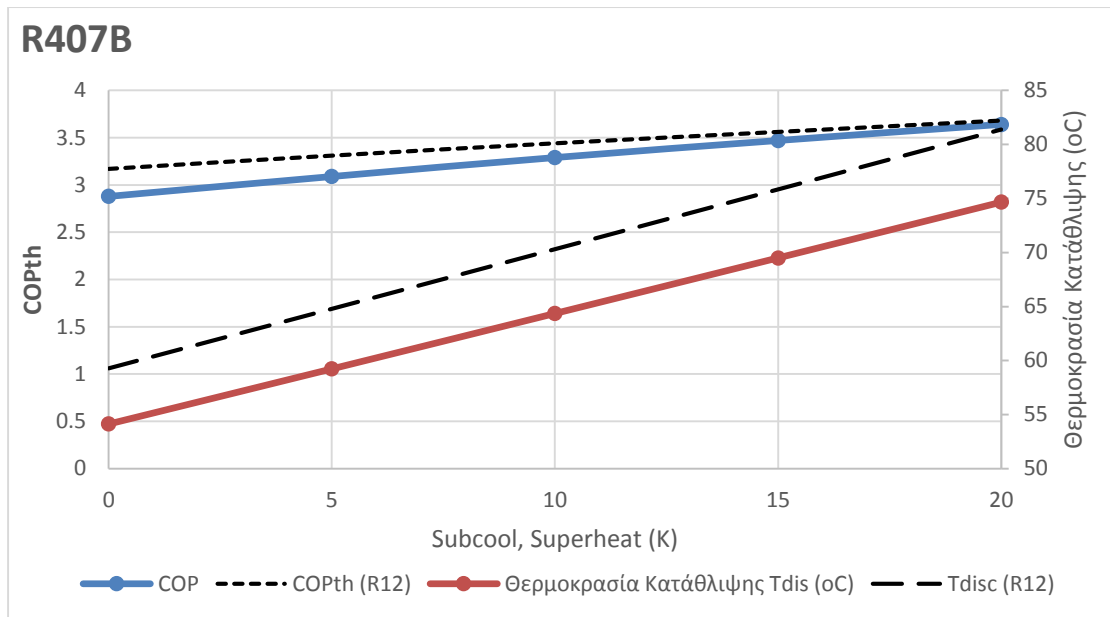
Διάγραμμα 3.68: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R152a ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R152a ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



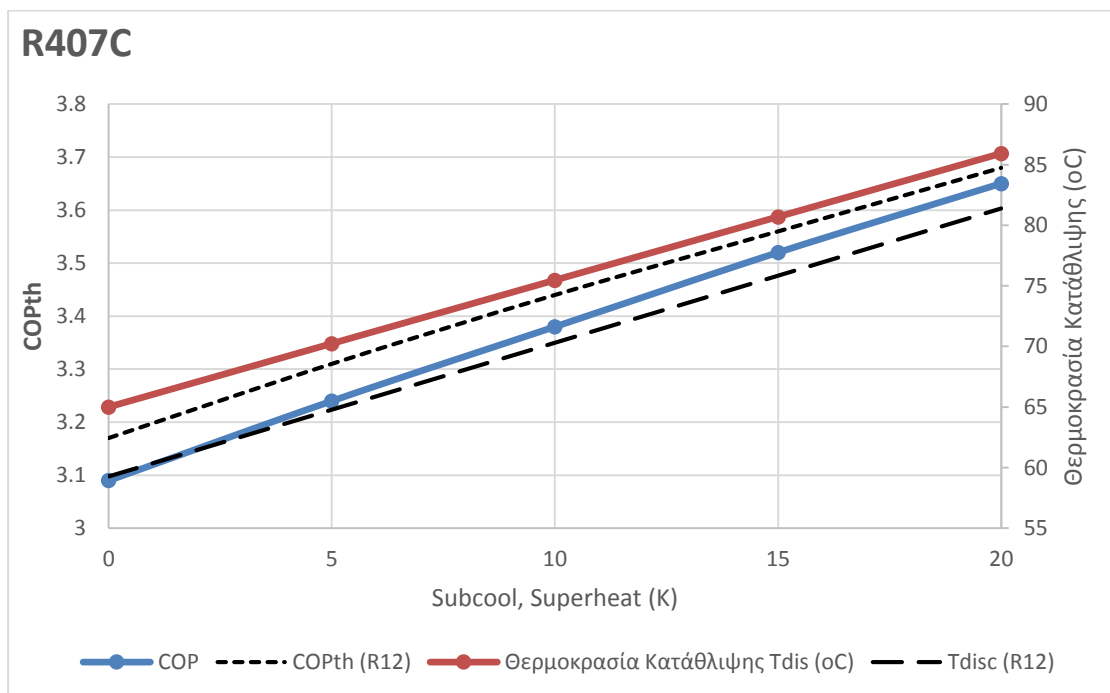
Διάγραμμα 3.69: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R290 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (°C) των ψυκτικών ρευστών R12 – R290 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



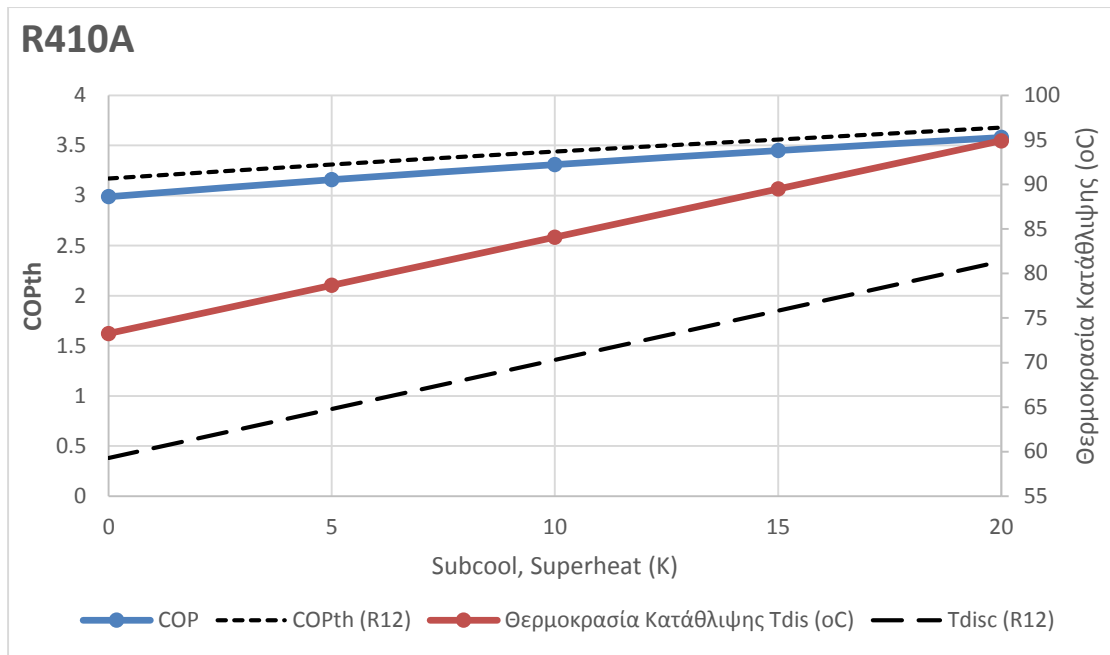
Διάγραμμα 3.70 : Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R407A ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (°C) των ψυκτικών ρευστών R12 – R407A ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



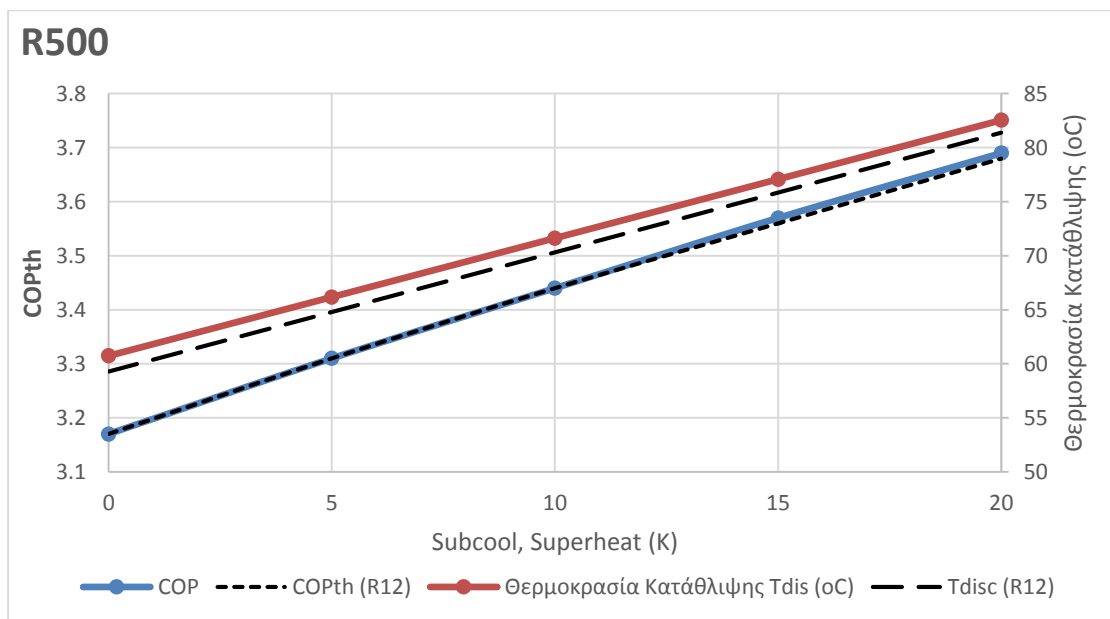
Διάγραμμα 3.71: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R407B ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (°C) των ψυκτικών ρευστών R12 – R407B ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



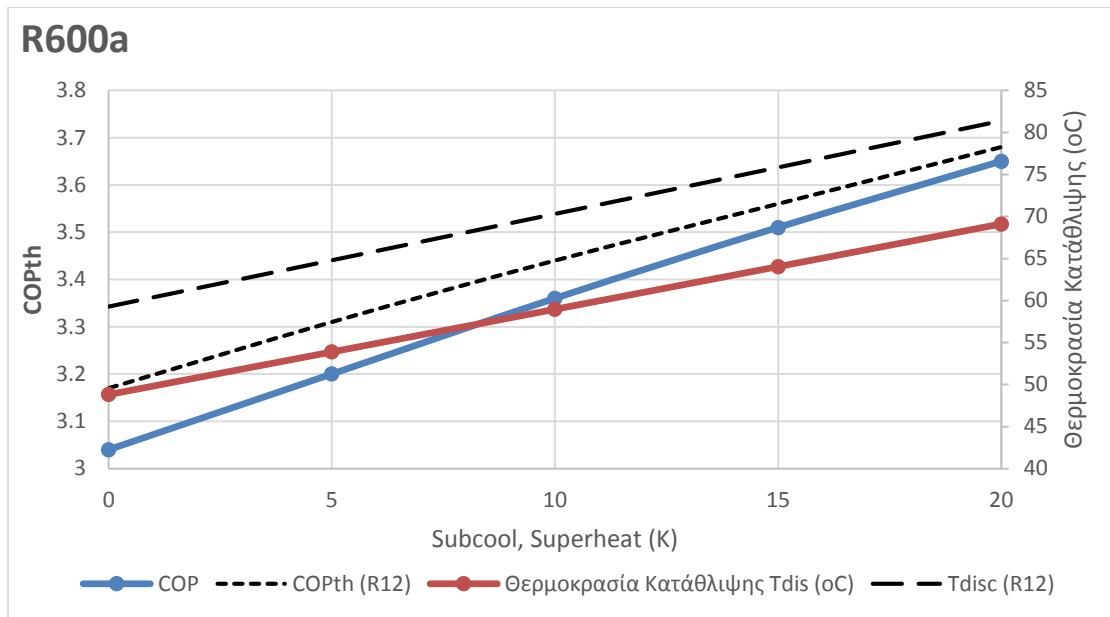
Διάγραμμα 3.72: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R407C ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (°C) των ψυκτικών ρευστών R12 – R407C ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



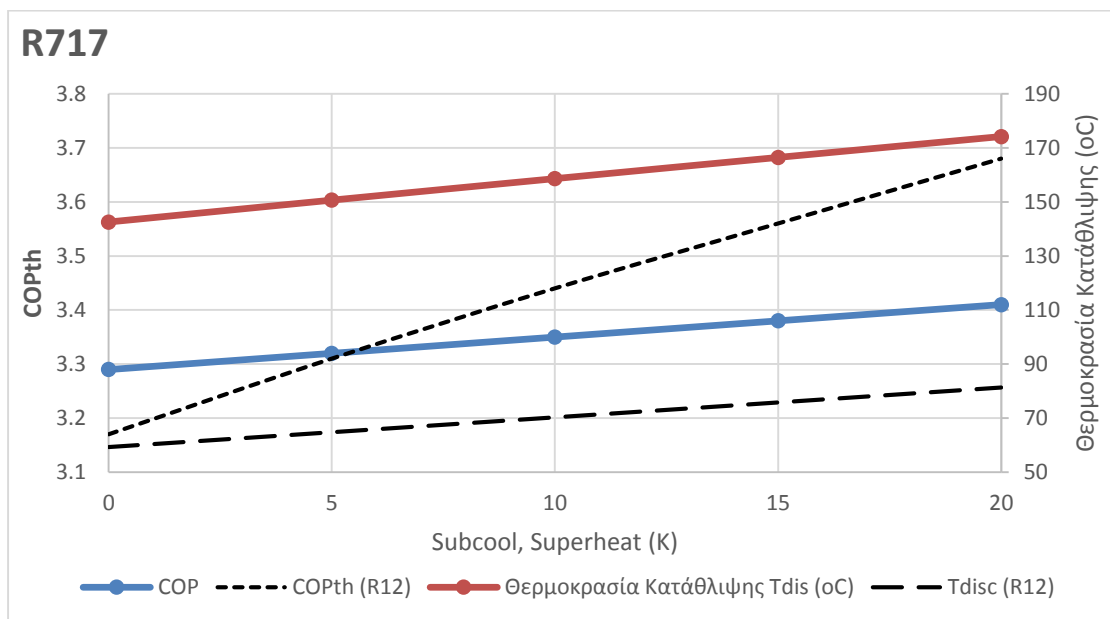
Διάγραμμα 3.73: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R410A ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R410A ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



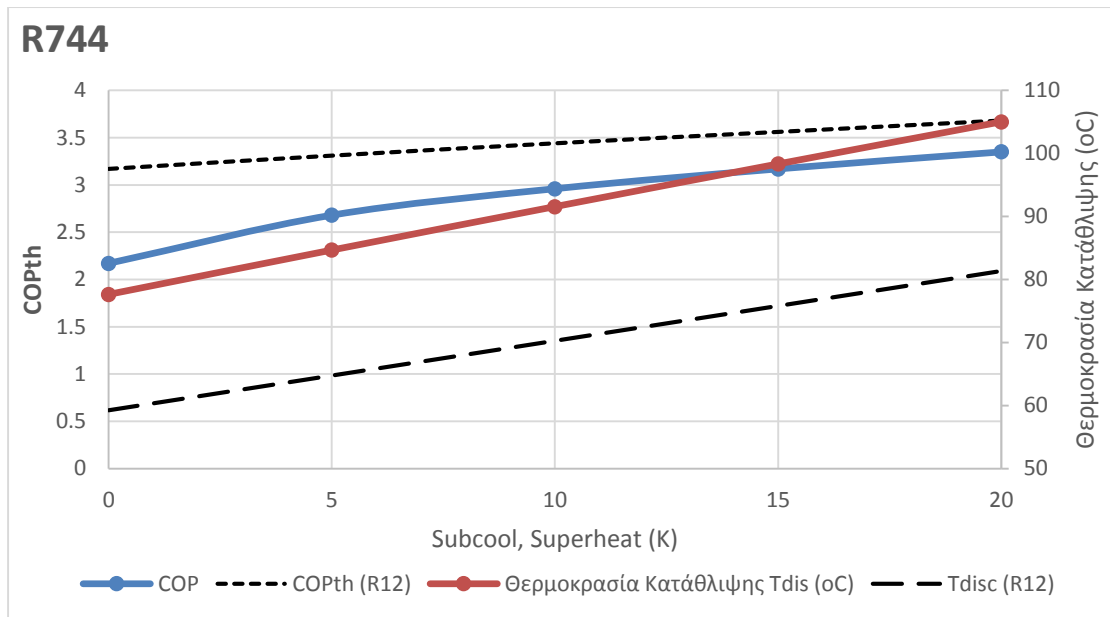
Διάγραμμα 3.74: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R500 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R500 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



Διάγραμμα 3.75: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R600a ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R600a ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).



Διάγραμμα 3.76: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσων R12 – R717 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R717 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).

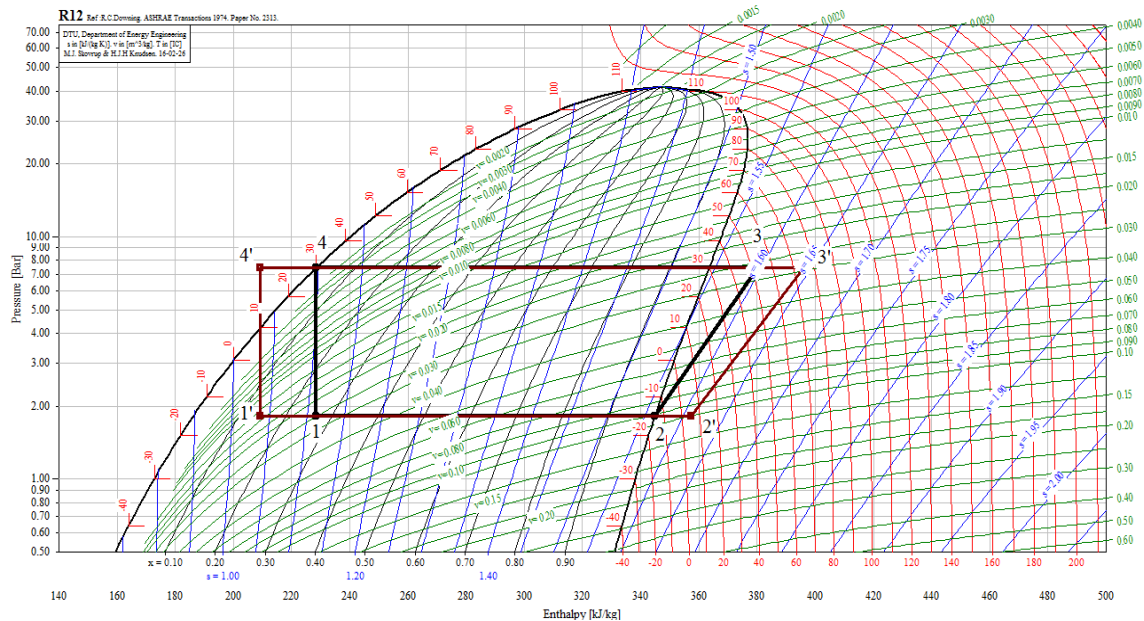


Διάγραμμα 3.77: Σύγκριση α) μεταβολής του θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς (COPth) ψυκτικών μέσω R12 – R744 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης ψυκτικού (K) β) μεταβολής των θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdischarge (oC) των ψυκτικών ρευστών R12 – R744 ανά βαθμούς υπόψυξης και υπερθέρμανσης (K).

Από τα διαγράμματα 3.66 – 3.77 παραπάνω παρατηρούμε ότι κατά την αύξηση των βαθμών υπόψυξης και υπερθέρμανσης του υγρού και αερίου ψυκτικού αντίστοιχα, έχουμε αύξηση του COPth. Αυτό οφείλεται κατά κύριο στην υπόψυξη του συμπυκνωμένου υγρού μετά την έξοδό του από τον συμπυκνωτή και στο «κερδισμένο» ποσό ενθαλπίας που δημιουργήθηκε κατά την υπόψυξη και εν συνεχεία στην εκτόνωση του ψυκτικού (κατακόρυφα τέμνοντας την καμπάνα στην μεριά της υγρής φάσης πιο αριστερά απ’ ότι χωρίς υπόψυξη, σημείο 1 διάγραμμα 3.78). Η υπερθέρμανση του ψυκτικού αερίου όπως επισημάνθηκε στο κεφάλαιο 1, λαμβάνει μέρος επί το πλείστο ως προστατευτικό μέσο ώστε να είμαστε σίγουροι ότι ο συμπιεστής θα αναρροφήσει αέριο και όχι σταγονίδια (σημείο 2, διάγραμμα 3.78).

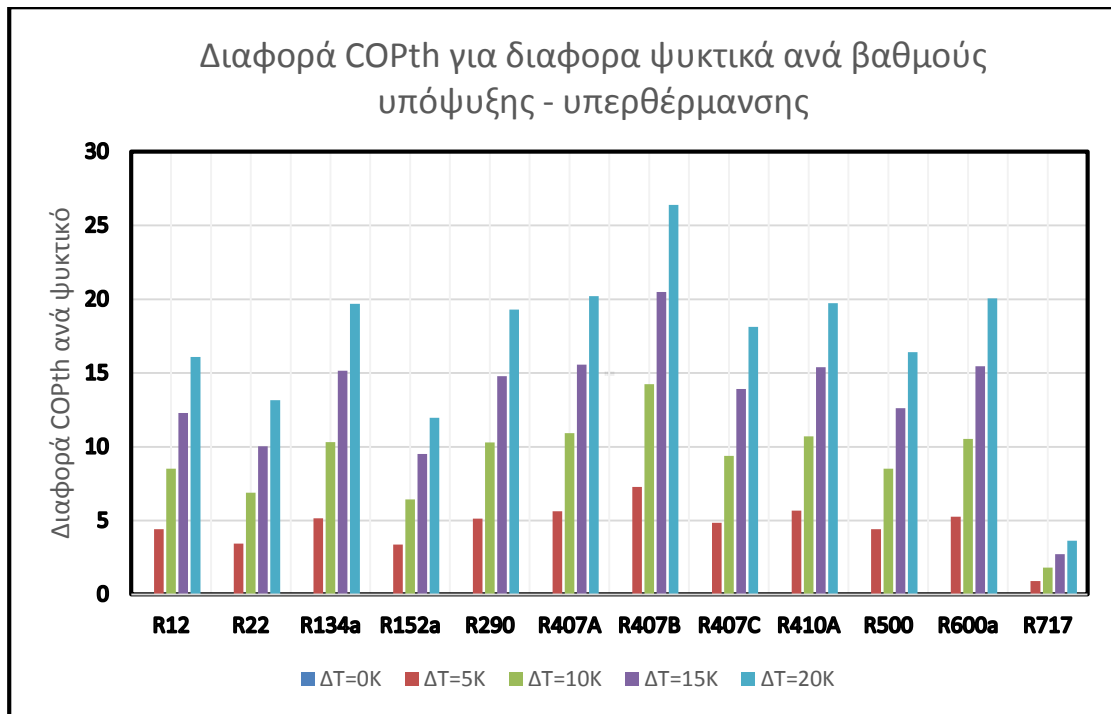
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το πρόγραμμα με το οποίο έχουν εξαχθεί τα δεδομένα της εργασίας μας επιλέγει, να υπολογίζει το θεωρητικό συντελεστή απόδοσης COPth θεωρώντας «κερδισμένο» το ποσό της θερμότητας μεταξύ των σημείων 1’ – 2’, γι’ αυτό το λόγο παρατηρούμε ότι έχουμε μία μικρή αύξηση της απόδοσης του συστήματος εάν αυξήσουμε την υπερθέρμανση. Έτσι, για την διευκόλυνση των υπολογισμών υιοθετούμε αυτή την άποψη και δεχόμαστε ότι υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ θαλάμου ψύξης και υπέρθερμου ατμού (σημείο μεταξύ 2 – 2’) του ρευστού, κάτι που μπορεί να μην είναι ακριβές σε μερικά ψυκτικά συστήματα λόγω του ότι όταν

συμβαίνει η διεργασία 2 – 2' ,η σωλήνωση που ρέει το ψυκτικό ίσως είναι εκτός ψυκτικού θαλάμου.



Διάγραμμα 3.78: Σύγκριση ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη συμπυκνωμένου υγρού και υπερθέρμανση ατμού (κόκκινος κύκλος) και ψυκτικού κύκλου χωρίς υπόψυξη και υπερθέρμανση (μαύρος κύκλος).

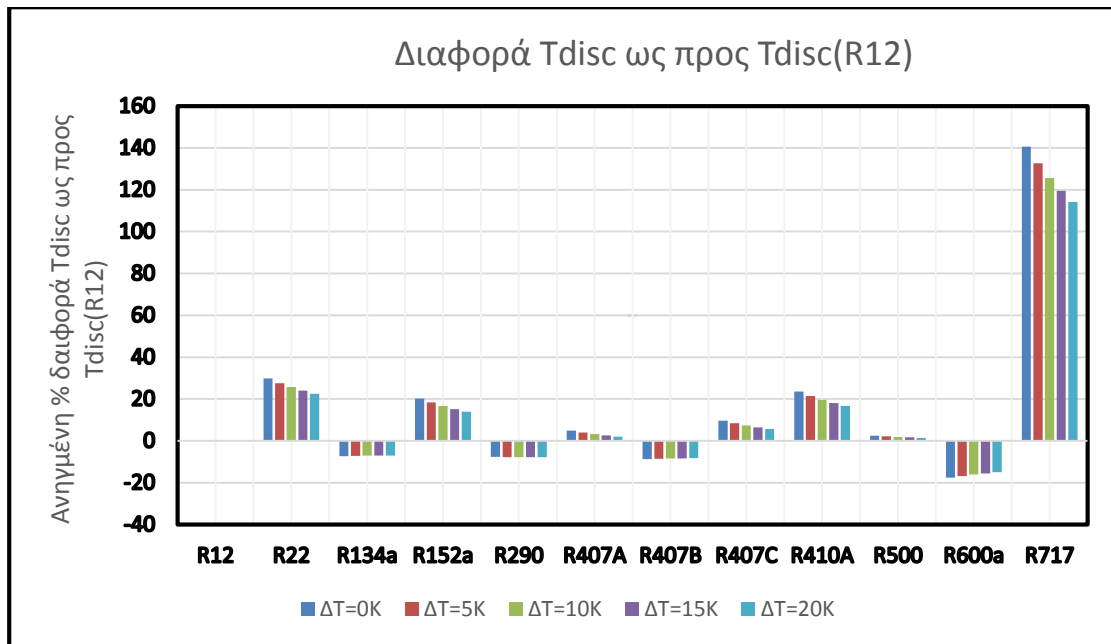
Επίσης, παρατηρούμε ότι έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας κατάθλιψης καθώς αυξάνουμε την υπερθέρμανση των ψυκτικών ατμών (η υπόψυξη δεν παίζει ρόλο στην μεταβολή της θερμοκρασίας κατάθλιψης). Κάτι που φαίνεται λογικό καθώς εφόσον ο συμπιεστής αναρροφήσει αέριο υψηλής θερμοκρασίας θα καταθλίψει και αέριο υψηλής πίεσης και υψηλότερης θερμοκρασίας (κόκκινες καμπύλες – ισοθερμοκρασιακές στο διάγραμμα 3.78).



Διάγραμμα 3.79: Συγκεντρωτικές διαφορές θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς COP_{th} ψυκτικών ρευστών ανά θερμοκρασία υπόψυξης και υπερθέρμανσης ΔT (K). (Θερμοκρασία υπόψυξης =Θερμοκρασία υπερθέρμανσης)

Βεβαίως, μια διαφορά που έχουν τα ψυκτικά που μελετήσαμε ως προς αυτές τις ιδιότητες είναι το πόσο επηρεάζεται το καθένα από την αύξηση π.χ. της υπόψυξης. Από τα διαγράμματα 3.79 και 3.80 βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο αντίκτυπο, στην αύξηση του COP_{th} αυξάνοντας την υπόψυξη του συμπυκνωμένου υγρού έχει το R407B, το R407A και το R600a. Αντίθετα την μικρότερη μεταβολή έχουν τα ψυκτικά R717 και R152a.

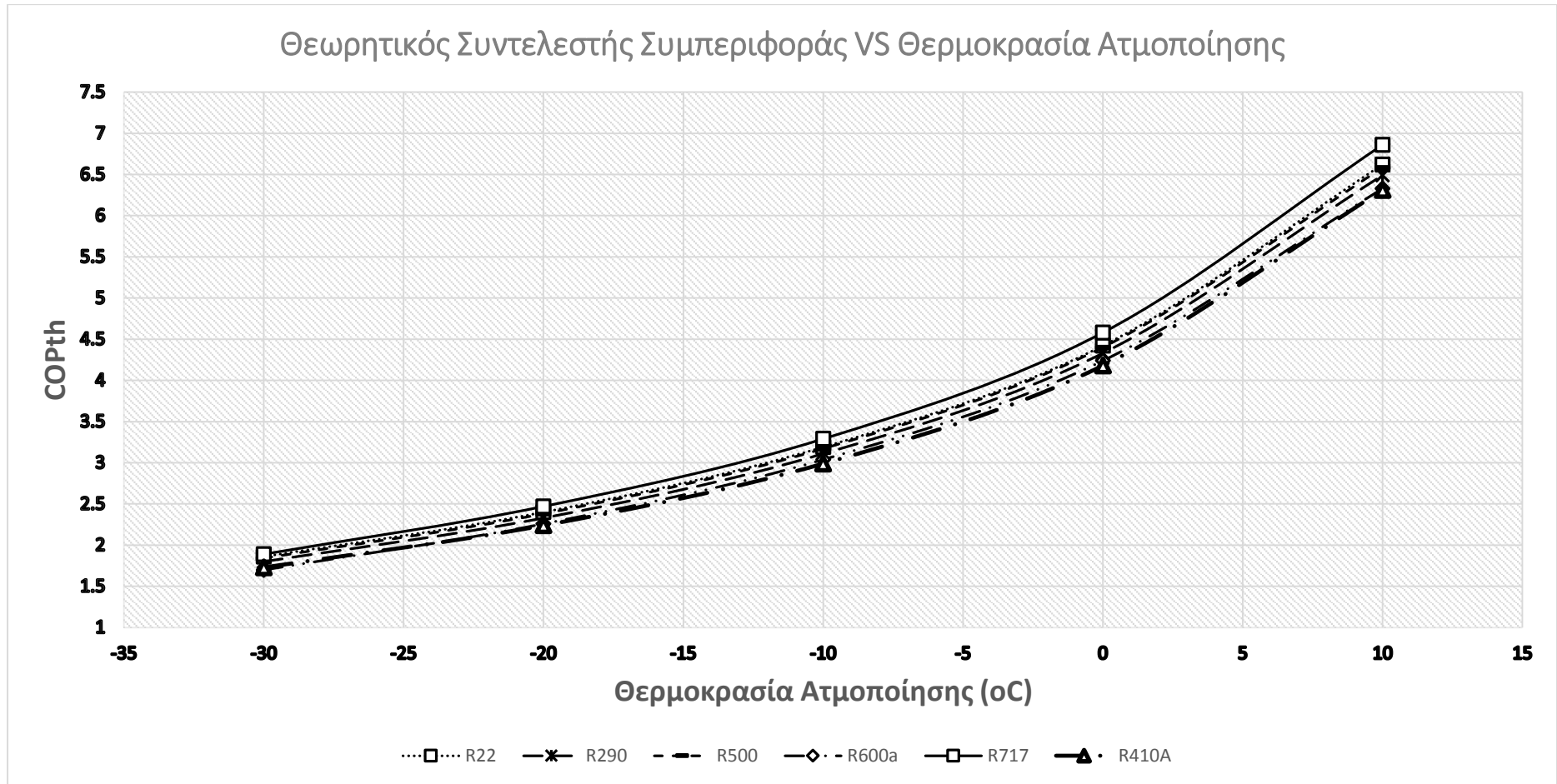
Από την άλλη μεριά το αντίκτυπο της αύξησης της υπερθέρμανσης στην θερμοκρασία κατάθλιψης είναι μοιρασμένο και θετικό στα ψυκτικά R22, R152a, R410A, R407A, R407C, R500 και R717. Αρνητικό πρόσημο έχουν τα ψυκτικά R134a, R290 και R600a (διάγραμμα 3.80).



Διάγραμμα 3.80: Συγκεντρωτικές διαφορές θερμοκρασιών κατάθλιψης Tdisc της των ψυκτικών ρευστών ως προς το ψυκτικό R12 ανά θερμοκρασία υπόψυξης και υπερθέρμανσης ΔT (K). (Θερμοκρασία υπόψυξης =Θερμοκρασία υπερθέρμανσης)

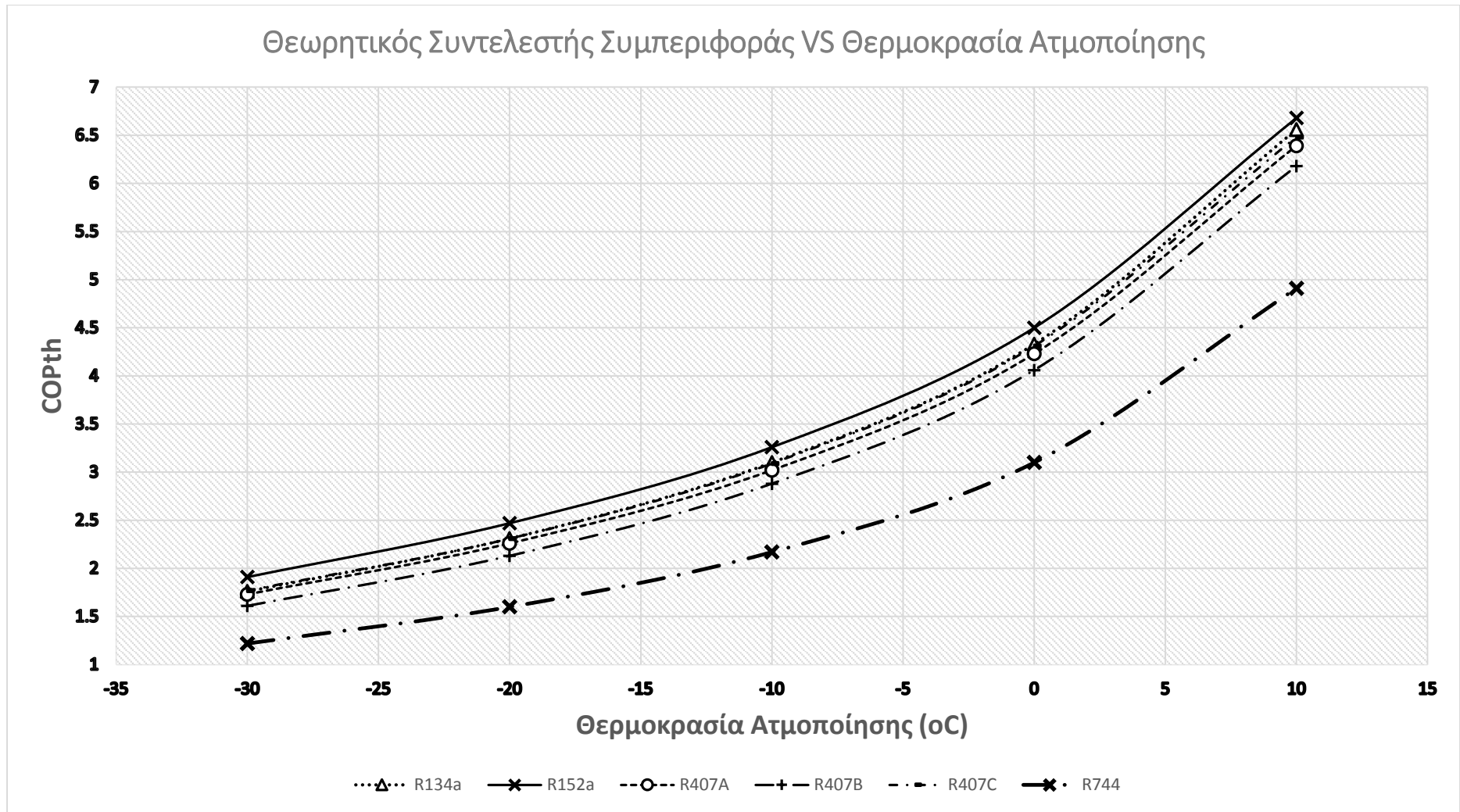
Γενικά, σ' ένα ψυκτικό σύστημα θέλουμε να έχουμε όσο το δυνατόν χαμηλότερες θερμοκρασίες κατάθλιψης ώστε να μην επιβαρύνεται ο συμπιεστής, αυξάνοντας έτσι το προσδόκιμο ζωής του. Επίσης, χαμηλές θερμοκρασίες κατάθλιψης αποτρέπουν την αλλοίωση του λαδιού του συμπιεστή. [(Sarbu, 2014), (B.O. Bolaji, 2011)]

4.1 Σύγκριση Θεωρητικού Συντελεστή Συμπεριφοράς COPth – Θερμοκρασία Ατμοποίησης Te



Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COPth βάση της θερμοκρασίας ατμοποίησης Te για τα ψυκτικά μέσα R22, R290, R500, R600a, R717 και R410A.

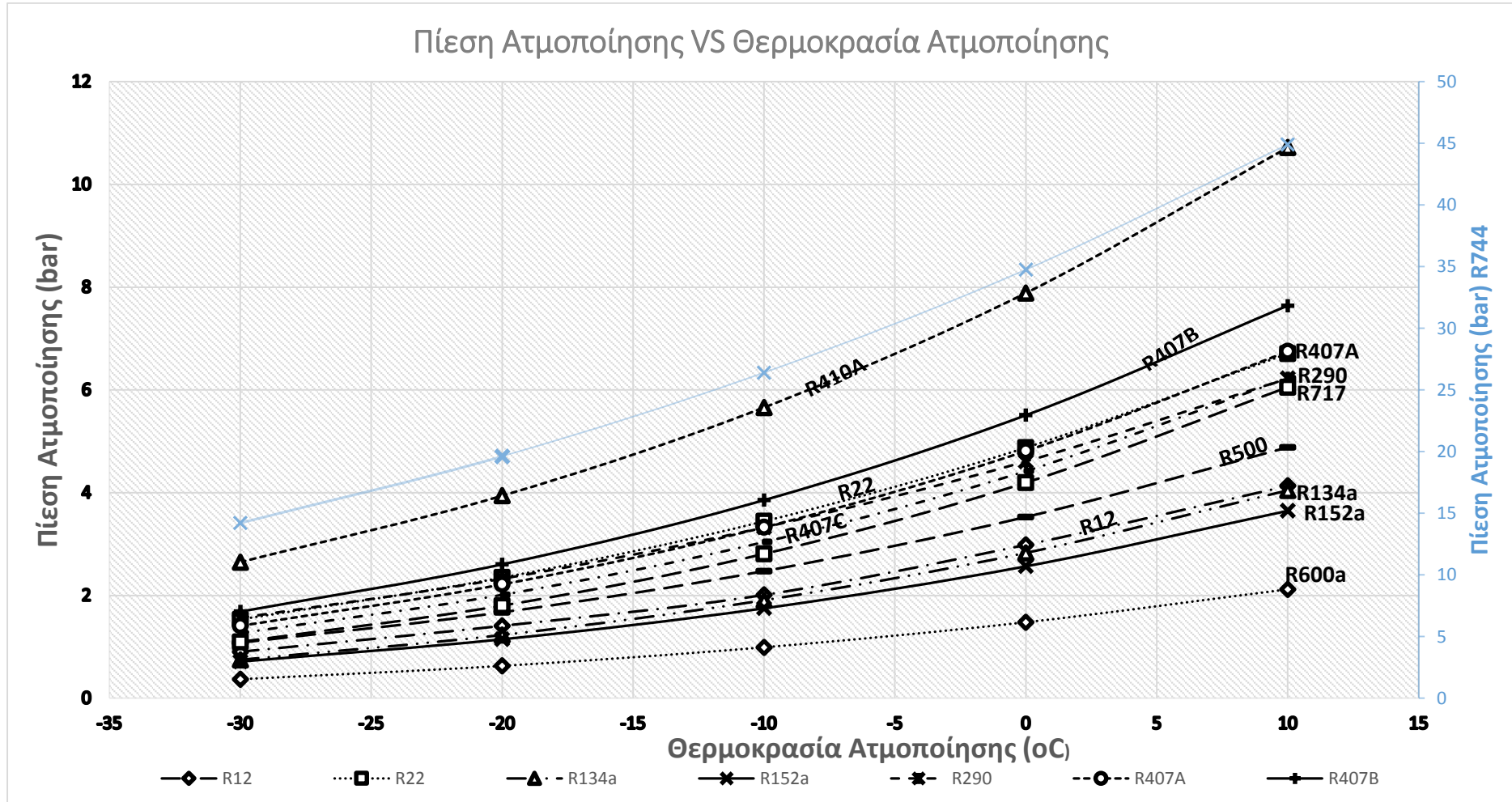
Θεωρητικός Συντελεστής Συμπεριφοράς VS Θερμοκρασία Ατμοποίησης



Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς COP_{th} βάσει της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_e για τα ψυκτικά μέσα R134α, R152α, R407A, R407B, R407C και R744.

Στα παραπάνω διαγράμματα 4.1 – 4.2 παρουσιάζονται για τα εξεταζόμενα ψυκτικά, οι θεωρητικοί συντελεστές συμπεριφοράς ανά θερμοκρασία ατμοποίησης T_e . Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι ένα μέσο σύγκρισης ενός ψυκτικού συστήματος για το πόσο αποδοτικό είναι απο άποψη κατανάλωσης ενέργειας και άρα μας εκφράζει το κόστος λειτουργίας αυτού. Παρατηρούμε ότι, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ατμοποίησης αυξάνεται και ο COP_{th} , άρα μειώνεται το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης. Αυτό είναι λογικό καθώς μειώνεται η κατανάλωση του συμπιεστή. Βάσει αυτής της παραμέτρου τα ψυκτικά R152a και R717 δείχνουν να έχουν το πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο σύστημα ψύξης και σε κάθε εξεταζόμενη T_e .

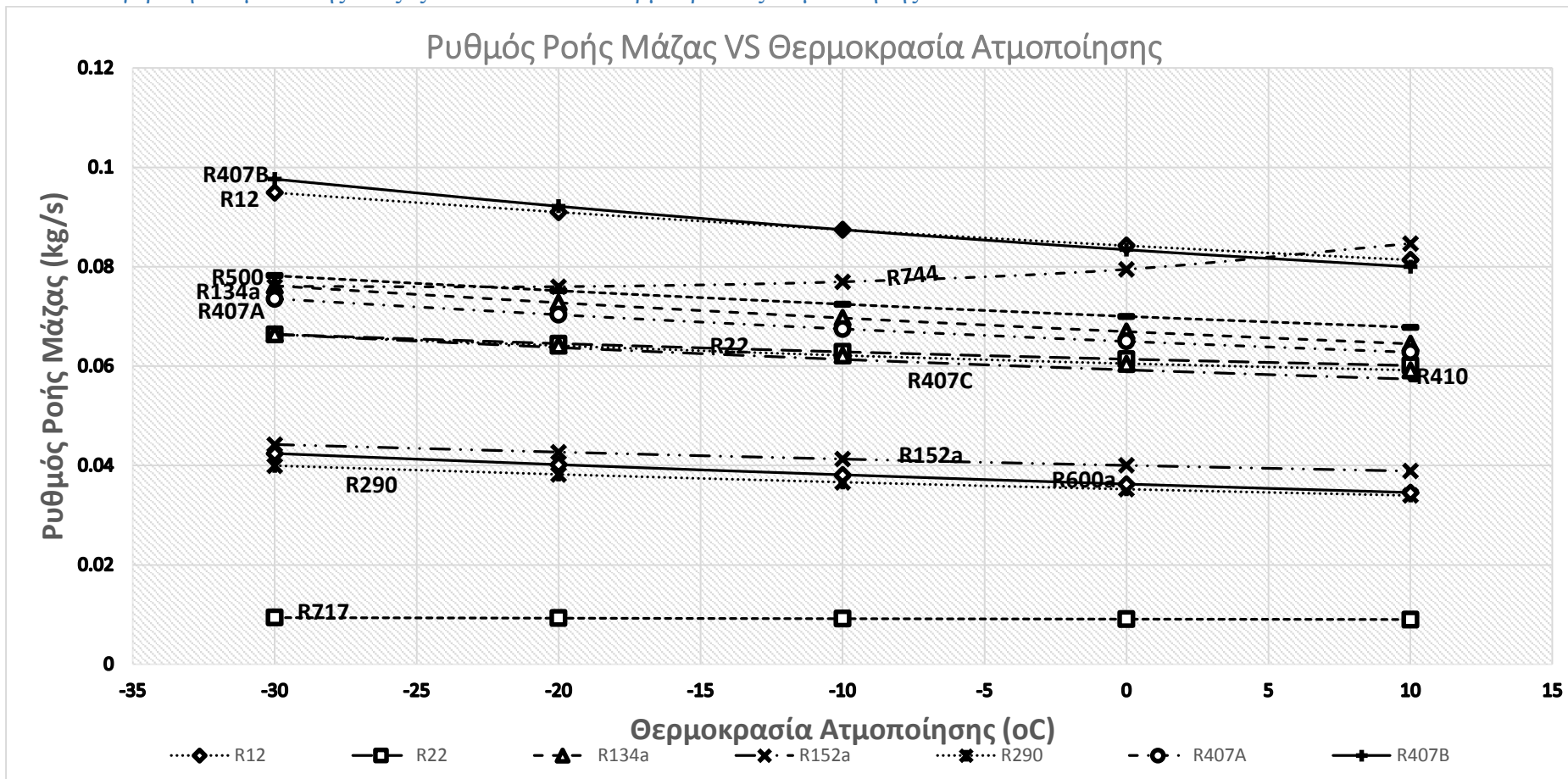
4.2 Σύγκριση Πίεσης Ατμοποίησης P_e – Θερμοκρασία Ατμοποίησης T_e



Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα μεταβολής πίεσης ατμοποίησης P_e ανά θερμοκρασία ατμοποίησης για $T_e = -30^\circ\text{C}$ έως $+10^\circ\text{C}$.

Στο διάγραμμα 4.3 παρατηρούμε την μεταβολή της πίεσης ατμοποίησης σε σχέση με την θερμοκρασία ατμοποίησης για κάθε ένα ψυκτικό χωριστά. Αυξανόμενη της θερμοκρασίας ατμοποίησης αυξάνεται και η πίεση ατμοποίησης σε όλα τα ψυκτικά. Ιδανικά θα θέλαμε στο ψυκτικό μας σύστημα να παρουσιάζονται χαμηλές πιέσεις, καθώς μεγάλες πιέσεις οδηγούν σε ακριβότερο εξοπλισμό αλλά και σε υψηλότερα κόστη λειτουργίας, αφού απαιτείται υψηλότερο έργο από τον συμπιεστή. Βάσει αυτού του χαρακτηριστικού τα ψυκτικά R407B, R22, R407A, R407C και R290 φαίνονται τα δυσμενέστερα ώστε να επιλεγθούν. (Sarbu, 2014)

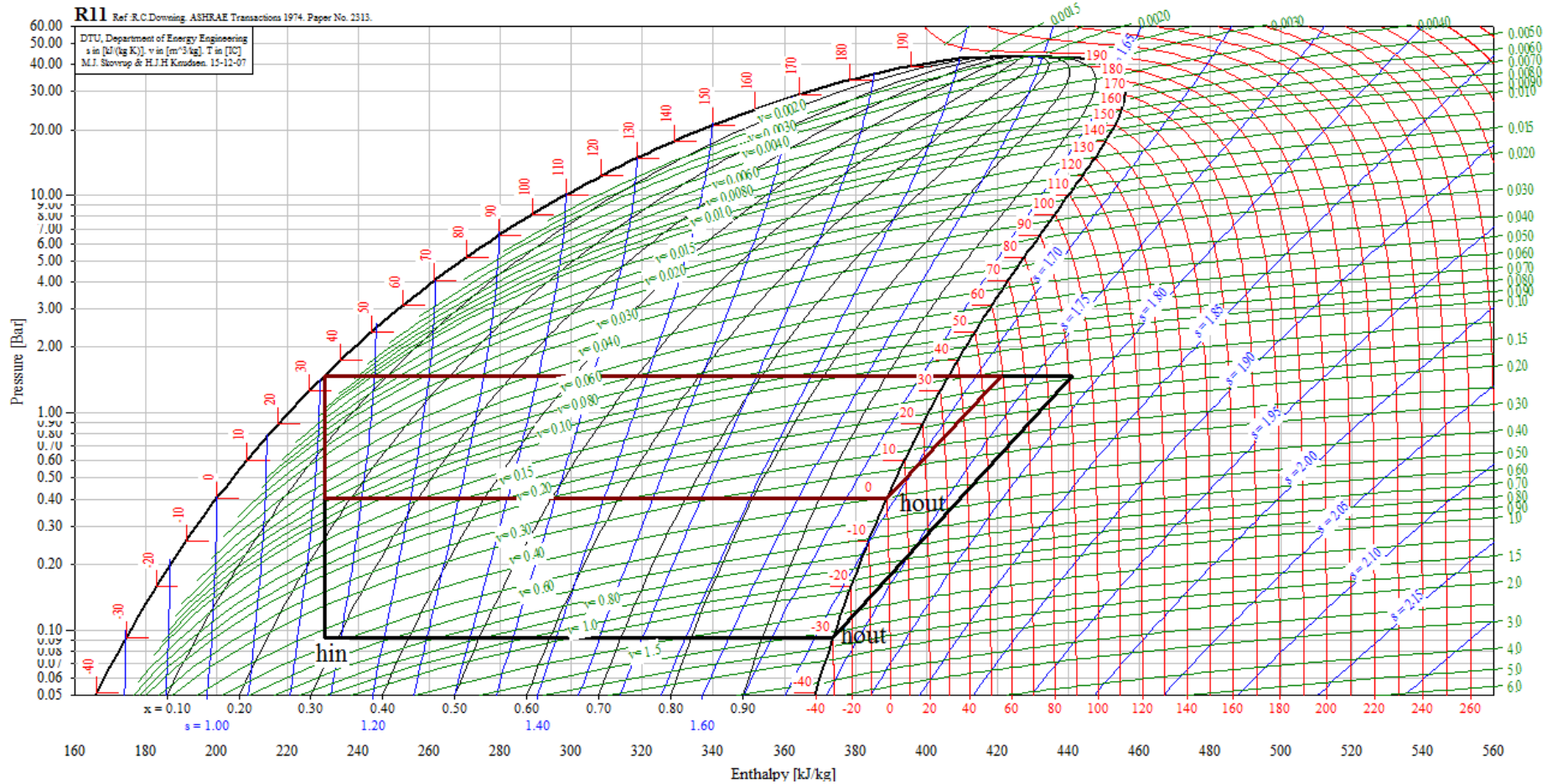
4.3 Σύγκριση Ρυθμού Ροής Μάζας Ψυκτικού m' – Θερμοκρασίας Ατμοποίησης T_e



Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα μεταβολής του ρυθμού ροής μάζας του ψυκτικού από την είσοδο του συμπιεστή ανα θερμοκρασία ατμοποίησης (θερμοκρασία συμπύκνωσης T_c=35οC).

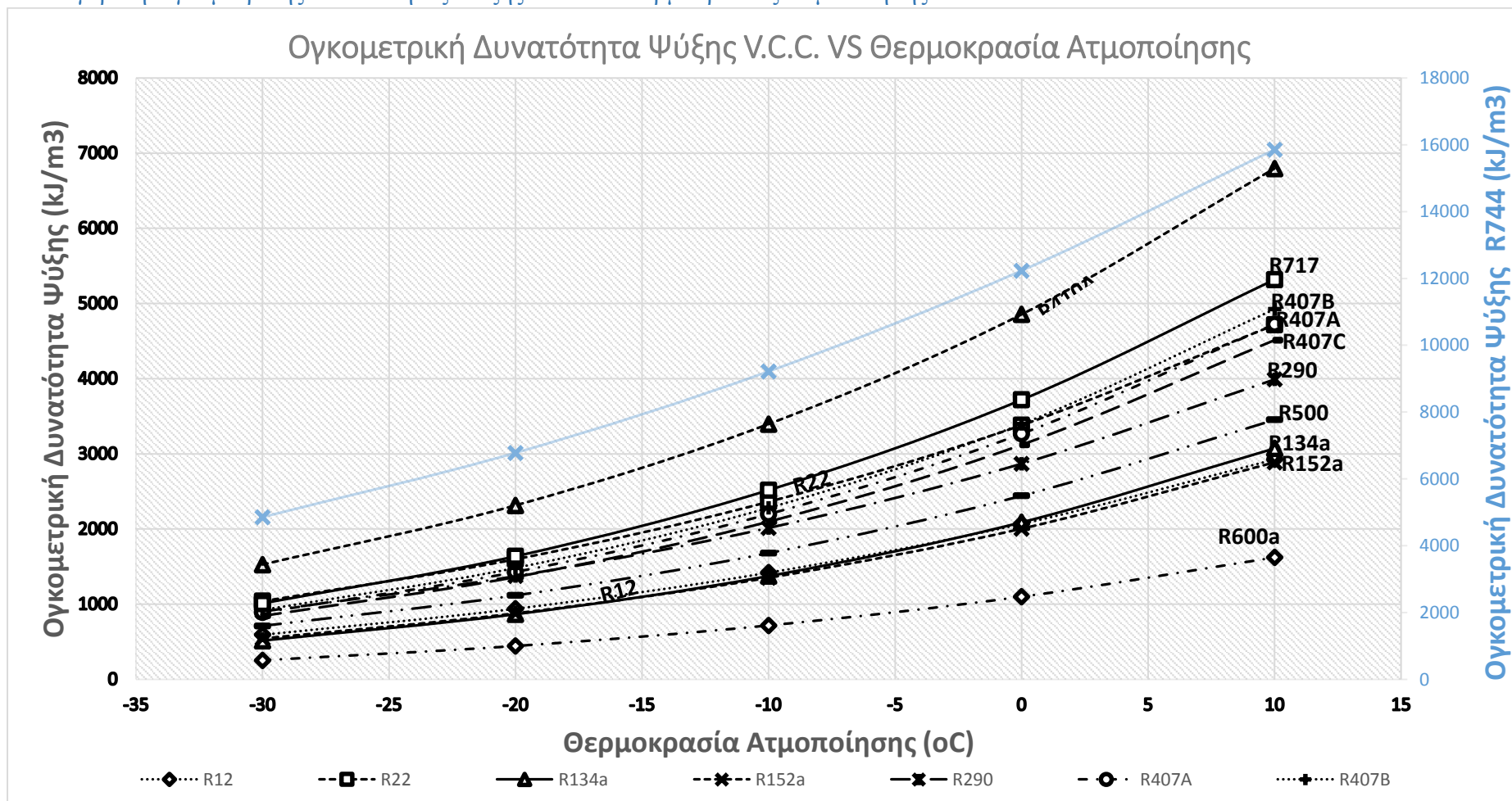
Στο παραπάνω διάγραμμα 4.4 παρατηρούμε πως μεταβάλλεται η ροή μάζας του ψυκτικού ρευστού στην είσοδο του συμπιεστή ενώ η θερμοκρασία αυξάνεται. Σύμφωνα με το διάγραμμα έχουμε μικρή πτώση της ροής μάζας καθώς η θερμοκρασία ατμοποίησης αυξάνεται. Έχοντας δεδομένο ότι το ψυκτικό σύστημα λειτουργεί ώστε να παράγει 10kW ψυκτικής ισχύς, αυξάνοντας την T_e μειώνεται η ροή μάζας, αφού αυξάνεται η διαφορά ενθαλπιών στην είσοδο και έξοδο του ατμοποιητή³ (διάγραμμα 4.5).

³ Ο τύπος που μας δίνει την ψυκτική ισχύ ενός συστήματος ψύξης είναι $Q_e \text{ (kW)} = \dot{m}'(h_{out} - h_{in})$



Διάγραμμα 4.5 : Ψυκτικοί κύκλοι μονοβάθμιας συμπίεσης για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποίησης (ψυκτικό ρευστό R11).

4.4 Σύγκριση Ογκομετρικής Δυνατότητας Ψύξης V.C.C – Θερμοκρασίας Ατμοποίησης T_e



Διάγραμμα 4.6: Μεταβολή ογκομετρικής δυνατότητας ψύξης ψυκτικών μέσων σε σχέση με την θερμοκρασία ατμοποίησης (θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c=35^\circ\text{C}$).

Στο διάγραμμα 4.6, βλέπουμε την μεταβολή της ογκομετρικής δυνατότητας ψύξης VCC η οποία αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης. Αυτό είναι επακόλουθο, καθώς με αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης έχουμε μείωση του ειδικού όγκου και της ροής μάζας του ψυκτικού στην είσοδο του συμπιεστή⁴. Μπορούμε να πούμε ότι η ογκομετρική δυνατότητα ψύξης, αποτελεί ένα κριτήριο που έχει να κάνει με το κόστος εγκατάστασης, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η VCC, δηλαδή η δυνατότητα ψύξης ανά μονάδα όγκου του ψυκτικού που διέρχεται από τον συμπιεστή, τόσο μικρότερος χρειάζεται να είναι ο συμπιεστής που θα επιλέξουμε κατά τον σχεδιασμό του ψυκτικού συστήματος. [(Piotr A. Domanski, 2014), (B.O. Bolaji, 2011)] Τα ψυκτικά R744, R410A είναι τα ιδανικότερα ψυκτικά για το υπό εξέταση σύστημα καθώς έχουν τις μεγαλύτερες τιμές VCC.

⁴ Ο μαθηματικός τύπος που μας δίνει την ογκομετρική δυνατότητα ψύξης υπενθυμίζεται ότι είναι $VCC (kJ/m^3) = Q_e / (m' \cdot v_g)$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήσαμε την συμπεριφορά διαφόρων ψυκτικών ρευστών τα οποία λειτουργούν σε ένα απλό ψυκτικό σύστημα μονοβάθμιας συμπίεσης και εκτόνωσης. Από τα δεδομένα που εξάγουμε μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Το πιο αποδοτικό ψυκτικό μέσο είναι το R152a με COP_{th} 2,11 και 3,2 για θερμοκρασίες ατμοποίησης/συμπύκνωσης, $-30^{\circ}C/+30^{\circ}C$ και $-15^{\circ}C/+30^{\circ}C$ αντίστοιχα. Εφάμιλλη απόδοση έχει το R717 για θερμοκρασίες $-15^{\circ}C/+30^{\circ}C$. (πίνακας 5.2)
- Το μικρότερο λόγο πίεσης παρουσιάζουν τα R290 και R410A ενώ το μεγαλύτερο λόγο τα R717, R600a. (πίνακας 5.1) Αυτό σημαίνει ότι τα ψυκτικά με μεγάλο λόγο πίεσης απαιτούν και ισχυρότερο συμπιεστή.
- Τις χαμηλότερες πιέσεις λειτουργίας παρουσιάζει το R600a ακολουθούμενο από τα R152a και R134a κάτι που τα καθιστά τα ιδανικότερα ψυκτικά για το σύστημά μας.
- Τα ψυκτικά R744, R410A και R717 είναι τα ιδανικότερα ρευστά για το σύστημα καθώς επιτυγχάνουν τις μεγαλύτερες ογκομετρικές δυνατότητες ψύξης VCC.
- Από τα προς εξέταση ψυκτικά τα R600a, R407B και R134a παρουσιάζουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες κατάθλιψης και άρα είναι οι βέλτιστες επιλογές για το σύστημα.
- Το μεγαλύτερο αντίκτυπο, στην αύξηση του COP_{th} , αυξάνοντας την υπόψυξη του συμπυκνωμένου υγρού έχουν τα R407B, R407A και R600a. Σε κάθε αύξηση των βαθμών υπόψυξης (από 5K έως 20K) το R407B έχει την μεγαλύτερη αύξηση στο θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς. Εκτός των παραπάνω ψυκτικών, τα R410A και R134a έχουν και αυτά παρόμοιες τιμές στην αύξηση του COP_{th} για ΔT από 5K έως 15K.
- Λαμβάνοντας υπόψη μας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της λειτουργίας αυτών των ρευστών, τα «φιλικότερα» προς το περιβάλλον είναι τα R717 και R744 που είναι φυσικά ρευστά. Ακολουθούνται από τα R290, R600a και R152a. (πίνακας 5.1)

- Από την μεριά της ασφάλειας της εγκατάστασης, τα ρευστά με κωδικό A1 είναι τα καταλληλότερα (R12,R22,R134a, R407A,R407B,R407C,R410A,R500,R744), αφού είναι χαμηλής τοξικότητας και αναφλέξιμα εντός θεμιτών ορίων (πίνακας 3.2). Αντιθέτως τα ψυκτικά R152a, R290, R600a και R717 καλό θα ήταν να αποφευχθούν καθώς σε περίπτωση διαρροής στην εγκατάσταση θα προκαλούσαν μόλυνση στο περιβάλλον, ακόμα και κίνδυνο για πυρκαγιά εάν δεν γίνει αντιληπτή εγκαίρως η διαρροή.

Πίνακας 5.1: Βέλτιστες και μη επιλογές ψυκτικών ρευστών ως αντικατάσταση του R12 ανά χαρακτηριστικά λειτουργίας.

| | Μέγιστο | Ελάχιστο | Παρόμοια με R12 |
|-------------------------------|--------------|-------------|-----------------|
| Λόγος Πίεσης | R600a , R717 | R290, R410A | R407B, R500 |
| Πιέσεις Λειτουργίας | R744 | R600a | R134a, R500 |
| Θερμοκρασία Κατάθλιψης | R717, R744 | R600a | R500 |
| Ροή Μάζας Ψυκτικού | R407B, R744* | R717 | R407B |
| VCC | R744 | R600a | R152a, R134a |
| Ισχύς Συμπιεστή | R717 | R12 | R407B |
| Ψυκτική Ισχύς | R717 | R12 | R407B |
| COP | R152a | R744 | R500 |
| Περιβαλλοντικά Χαρακτηριστικά | R12 | R717, R744 | R22 |

Πίνακας 5.2: Αναλυτικά στοιχεία (Pe, Pc, Qe, Wcomp, COP, PR) ψυκτικού κύκλου θερμοκρασιών - 30°C/+30°C και -15°C/+30°C.

| Ψυκτικό Μέσο | Θερμοκρασία Ατμοποίησης (°C) | Θερμοκρασία Συμπύκνωσης (°C) | Πίεση Ατμοποίησης (bar) | Πίεση Συμπύκνωσης (bar) | Ψυκτική Ικανότητα (kW) | Ισχύς Συμπιεστή (kW) | COP (-) | Λόγος Πίεσης |
|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------|--------------|
| R152a | -30 | 30 | 0,815 | 6,915 | 235,087 | 111,309 | 2,11 | 9,953 |
| R717 | -30 | 30 | 1,195 | 11,669 | 1.085,47 | 520,946 | 2,08 | 10,844 |
| R22 | -30 | 30 | 1,635 | 11,919 | 157,116 | 75,782 | 2,07 | 7,896 |
| R500 | -30 | 30 | 1,179 | 8,794 | 134,098 | 65,37 | 2,05 | 8,333 |
| R12 | -30 | 30 | 1,004 | 7,299 | 110,376 | 54,232 | 2,04 | 8,46 |
| R290 | -30 | 30 | 1,663 | 10,749 | 264,188 | 130,976 | 2,02 | 7,004 |
| R407C | -30 | 30 | 1,369 | 11,557 | 159,17 | 79,742 | 2 | 9,263 |
| R134a | -30 | 30 | 0,847 | 7,701 | 138,634 | 70,306 | 1,97 | 10,571 |
| R410A | -30 | 30 | 2,749 | 18,698 | 160,176 | 81,578 | 1,96 | 7,135 |
| R407A | -30 | 30 | 1,51 | 12,426 | 144,53 | 73,973 | 1,95 | 8,956 |
| R600a | -30 | 30 | 0,468 | 4,078 | 248,424 | 131,165 | 1,89 | 11,633 |
| R407B | -30 | 30 | 1,788 | 13,796 | 110,672 | 59,885 | 1,85 | 8,293 |
| R744 | -30 | 30 | 14,303 | 72,065 | 131,507 | 107,449 | 1,22 | 5,088 |

| Ψυκτικό Μέσο | Θερμοκρασία Ατμοποίησης (°C) | Θερμοκρασία Συμπύκνωσης (°C) | Πίεση Ατμοποίησης (bar) | Πίεση Συμπύκνωσης (bar) | Ψυκτική Ικανότητα (kW) | Ισχύς Συμπιεστή (kW) | COP (-) | Λόγος Πίεσης |
|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------|--------------|
| R152a | -15 | 30 | 1,527 | 6,915 | 247,113 | 77,284 | 3,2 | 4,987 |
| R717 | -15 | 30 | 2,362 | 11,669 | 1106,077 | 345,142 | 3,2 | 5,247 |
| R22 | -15 | 30 | 2,957 | 11,919 | 163,522 | 51,988 | 3,15 | 4,242 |
| R500 | -15 | 30 | 2,142 | 8,794 | 141,755 | 45,386 | 3,12 | 4,404 |
| R12 | -15 | 30 | 1,826 | 7,449 | 117,153 | 37,663 | 3,11 | 4,432 |
| R290 | -15 | 30 | 2,892 | 10,749 | 281,229 | 91,4 | 3,08 | 3,922 |
| R407C | -15 | 30 | 2,587 | 11,557 | 168,542 | 55,091 | 3,06 | 4,728 |
| R134a | -15 | 30 | 1,641 | 7,701 | 147,841 | 48,467 | 3,05 | 5,126 |
| R407A | -15 | 30 | 2,83 | 12,426 | 153,775 | 51,183 | 3 | 4,624 |
| R410A | -15 | 30 | 4,842 | 18,698 | 168,091 | 56,111 | 3 | 3,985 |
| R600a | -15 | 30 | 0,894 | 4,078 | 268,076 | 90,455 | 2,97 | 5,385 |
| R407B | -15 | 30 | 3,286 | 13,796 | 119,69 | 41,59 | 2,88 | 4,393 |
| R744 | -15 | 30 | 22,929 | 72,065 | 131,041 | 70,627 | 1,86 | 3,166 |

Για σταθερές πιέσεις ατμοποίησης/συμπύκνωσης στο ψυκτικό μας σύστημα και ίσες με 1bar/10bar μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα (πίνακας 5.3) :

- Τα ψυκτικά ρευστά R600a, R12, R152a και R134a έχουν θερμοκρασίες συμπύκνωσης που κυμαίνονται μεταξύ 40°C και 65°C. Αντίθετα, τα ψυκτικά R717, R407C, R407B, R407A, R290 και R22 έχουν θερμοκρασίες συμπύκνωσης μεταξύ 20°C και 30°C. Το R410A παρουσιάζει θερμοκρασία συμπύκνωσης 7,35°C τη χαμηλότερη από τα ρευστά που έχουν μελετηθεί. Μιλώντας για θερμοκρασία συμπύκνωσης σε ένα ψυκτικό σύστημα μπορούμε να την συνδέσουμε με την θερμοκρασία περιβάλλοντος εφόσον ο εναλλάκτης (συμπυκνωτής) έχει ως μέσο εναλλαγής θερμότητας τον ατμοσφαιρικό αέρα. Άρα, τα ψυκτικά με μεγαλύτερη θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι καταλληλότερα για θερμές περιοχές και το αντίθετο.
- Παρομοίως, τα ψυκτικά R410A, R407B, R290 και R22 παρουσιάζουν θερμοκρασίες ατμοποίησης μεταξύ -40°C και -55°C ενώ τα υπόλοιπα ψυκτικά θερμοκρασίες μεταξύ -25°C και -40°C. Το R600a έχει την υψηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης με $T_e = -12,20^\circ\text{C}$. Επειδή η θερμοκρασία ατμοποίησης έχει άμεσο αντίκτυπο στην θερμοκρασία που θέλουμε να έχει ο θάλαμος ψύξης, τα ψυκτικά με χαμηλότερες θερμοκρασίες ατμοποίησης είναι καταλληλότερα για θαλάμους που απαιτούνται ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες.
- Υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος (πιέσεις 1bar, 10bar, θερμοκρασία θαλάμου ψύξης και περιβάλλοντος που συνάδουν με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπύκνωσης του πίνακα 5.3) το R717 έχει την υψηλότερη απόδοση με $\text{COP} = 2,09$ και στην συνέχεια ακολουθούν τα R407C, R410A και R407A. Την ελάχιστη απόδοση παρουσιάζει το R600a ($\text{COP} = 1,35$).
- Ως αναφορά, την ψυκτική ικανότητα το R717 παρουσιάζει την μέγιστη, έχει όμως και μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ συμπιεστή. Από τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά τα R290, R152a και R410A έχουν τις υψηλότερες ψυκτικές ισχύς. Την χαμηλότερη παρουσιάζει το R12 ($Q_e = 98,54\text{kW}$).
- Βάση του πίνακα 5.4 η φθίνουσα κατάταξη των ψυκτικών μέσων, έχοντας λάβει υπόψη μας χαρακτηριστικά όπως η ψυκτική ισχύς, η ισχύς του συμπιεστή και

τον θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς έχει ως εξής: R717, R407C, R407A, R410A, R22, R152a, R407B, R134a, R500, R12, R290 και R600a.

Πίνακας 5.3: Αναλυτικά στοιχεία (P_e, P_c, Q_e, W_{comp}, COP, PR) ψυκτικού κύκλου πιέσεων 1bar/10bar.

| Ψυκτικό Μέσο | Θερμοκρασία Ατμοποίησης (°C) | Θερμοκρασία Συμπύκνωσης (°C) | Πίεση Ατμοποίησης (bar) | Πίεση Συμπύκνωσης (bar) | Ψυκτική Ικανότητα (kW) | Ισχύς Συμπιεστή (kW) | COP (-) | Λόγος Πίεσης |
|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------|--------------|
| R12 | -30,10 | 41,64 | 1 | 10 | 98,540 | 62,271 | 1,58 | 11,333 |
| R22 | -41,03 | 23,42 | 1 | 10 | 160,507 | 89,500 | 1,79 | 11,333 |
| R134a | -26,43 | 39,39 | 1 | 10 | 126,904 | 72,659 | 1,75 | 11,333 |
| R152a | -25,30 | 43,48 | 1 | 10 | 214,425 | 119,149 | 1,80 | 11,333 |
| R290 | -42,20 | 27,11 | 1 | 10 | 257,915 | 164,098 | 1,57 | 11,333 |
| R407A | -38,81 | 22,37 | 1 | 10 | 151,487 | 81,892 | 1,85 | 11,333 |
| R407B | -42,56 | 18,52 | 1 | 10 | 120,774 | 68,795 | 1,76 | 11,333 |
| R407C | -36,81 | 24,74 | 1 | 10 | 163,333 | 86,985 | 1,88 | 11,333 |
| R410A | -52,53 | 7,35 | 1 | 10 | 186,264 | 100,836 | 1,85 | 11,333 |
| R500 | -33,82 | 34,94 | 1 | 10 | 125,960 | 75,387 | 1,67 | 11,333 |
| R600a | -12,20 | 65,64 | 1 | 10 | 178,122 | 131,554 | 1,35 | 11,333 |
| R717 | -33,59 | 24,90 | 1 | 10 | 1104,338 | 528,064 | 2,09 | 11,333 |
| R744 | N/A | N/A | 1 | 10 | N/A | N/A | N/A | N/A |

Πίνακας 5.4: Κατάταξη των ψυκτικών ρευστών σε φθίνουσα σειρά βάση της μεγιστοποίησης της ψυκτικής τους ικανότητας και του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς και της ελαχιστοποίησης της ισχύς του συμπιεστή.

| Κατάταξη Ψυκτικών Ρευστών (σε φθίνουσα σειρά) | | | Χ | Ψ | Z | Χ-Ψ+Z |
|---|-------|---------|----------------|--------------|------------------|--------------------|
| MAX Qe | MIN W | MAX COP | Qe/MAX(Qe)*100 | W/MAX(W)*100 | COP/MAX(COP)*100 | |
| R717 | R12 | R717 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| R290 | R407B | R407C | 14,79012766 | 16,47243516 | 89,95215311 | 88,26984561 |
| R152a | R134a | R407A | 13,71744882 | 15,50796873 | 88,51674641 | 86,7262265 |
| R410A | R500 | R410A | 16,86657527 | 19,09541268 | 88,51674641 | 86,287909 |
| R600a | R407A | R152a | 19,41660977 | 22,56336353 | 86,12440191 | 82,97764815 |
| R407C | R407C | R22 | 14,53422775 | 16,94870319 | 85,64593301 | 83,23145757 |
| R22 | R22 | R407B | 10,93632565 | 13,02777694 | 84,21052632 | 82,11907503 |
| R407A | R410A | R134a | 11,49140933 | 13,75950642 | 83,73205742 | 81,46396033 |
| R134a | R152a | R500 | 11,40592826 | 14,27611047 | 79,90430622 | 77,03412401 |
| R500 | R600a | R12 | 8,922992779 | 11,79232063 | 75,59808612 | 72,72875828 |
| R407B | R290 | R290 | 23,35471568 | 31,07539995 | 75,11961722 | 67,39893295 |
| R12 | R717 | R600a | 16,12930099 | 24,9125106 | 64,59330144 | 55,81009182 |

Βιβλιογραφία

- Arne Jakobsen, B. D. (2001, May)**. CoolPack Tutorial version 1.46. Denmark: Department of Energy Engineering , Technical University of Denmark.
- B.O. Bolaji, M. A. (2011)**. Comparative Analysis of Performance of Three Ozone-Friends HFC Refrigerants in a Vapour Compression Refrigerator. *Journal of Sustainable Energy & Environment* 2.
- Jarahnejad, M. (2012)**. *New Low GWP Synthetic Refrigerants*. Stockholm: KTH School of Industrial Engineering and Management.
- Kharagpur. (n.d.)**. Lesson 19. *Performance Of Reciprocating Compressors*.
- M.C. Zaghdoudi, S. M. (2010)**. A Comparative Study on the Performance and Environmental Characteristics of Alternatives to R22 in Residential Air Conditioners for Tunisian Market. *Journal of Environmental Science and Engineering*, Volume 4.
- Piotr A. Domanski, J. S. (2014)**. A thermodynamic analysis of refrigerants. *i n t e r n a t i o n a l journal o f r e f r i g e r a t i o n* 38, 71-79.
- Sarbu, I. (2014)**. A review of substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air conditioning and heat pump. Timisoara: www.sciencedirect.com.
- Yunus A. Cengel, M. A. (2012)**. *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Αλέξης, Γ. Κ. (2007)**. *Η Τεχνολογία της ψύξης*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- Σημειώσεις Θ.Ψ.Κ. 1 Αναστάσιος Ε. Κοκοράκης, Σ. Χ. (2002)**. Θέρμανση - Ψύξη - Κλιματισμός Ι. Αθήνα.
- www.engineeringtoolbox.com**. (2015, 11 15). Ανάκτηση από http://www.engineeringtoolbox.com/refrigerants-d_902.html

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

A.1 Περιγραφή CoolPack

Η ανάπτυξη του CoolPack άρχισε στις αρχές του 1998 σαν ένα μέρος ενός προγράμματος έρευνας. Ο σκοπός αυτού του προγράμματος ήταν να αναπτύξει μοντέλα προσομοίωσης τα οποία θα χρησιμοποιούνταν στην συνέχεια για την ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας από τα συστήματα ψύξης.

Η αρχική ιδέα ήταν να κατασκευαστεί ένα γενικό και πλήρες πρόγραμμα το οποίο θα έδινε στον χρήστη την δυνατότητα και την ευχέρεια να χειριστεί με ευκολία πολλά και διαφορετικά συστήματα ψύξης για ερευνητικούς σκοπούς. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τέτοιων γενικών και ευέλικτων προγραμμάτων είναι ότι απαιτείται από το χρήστη η επιλογή και εισαγωγή πολλών δεδομένων όπως επίσης και ότι η ακρίβεια των αριθμητικών δεδομένων τους είναι κάπως χαμηλή.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά όπως επίσης και ο ελάχιστος χρόνος που έχει στη διάθεσή του πλέον ο χρήστης ώστε να διεξάγει μια έρευνα ψύξης με ένα τέτοιο πρόγραμμα οδήγησε τους κατασκευαστές να αλλάξουν τον τρόπο προσέγγισής τους. Έτσι, επιλέχθηκε η κατασκευή ενός μικρού και ακριβέστερου αριθμητικά προγράμματος που θα ήταν και εύκολο στην χρήση.

Οι κατασκευαστές του CoolPack κατά την ανάπτυξή του έδωσαν βάση στην απλότητα των συστημάτων ψύξης αλλά όμως και στην ακρίβεια των αριθμητικών δεδομένων προσεγγίζοντας όσο περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες. Επίσης, έχουν δώσει στον χρήστη να μεταβάλλει το ψυκτικό μέσο του συστήματος ψύξης αλλά και διάφορους τρόπους να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά αυτού, όπως η πίεση ατμοποίησης (π.χ. μεταβάλλοντας την πίεση ή την θερμοκρασία ατμοποίησης).

A.2 Χρήση CoolPack

Γενικά, το CoolPack καλύπτει τα παρακάτω:

- Υπολογισμός ιδιοτήτων ψυκτικού μέσου (γραφήματα ιδιοτήτων, θερμοδυναμικών και θερμοφυσικών δεδομένων, σύγκριση ψυκτικών μέσων)
- Ανάλυση ψυκτικών κύκλων – π.χ. σύγκριση ψυκτικού κύκλου μονοβάθμιας συμπίεσης με ψυκτικό κύκλο διβάθμιας συμπίεσης.
- Διαστασιολόγηση συστημάτων – υπολογισμός μεγεθών των διαφόρων εξαρτημάτων/μερών του ψυκτικού συστήματος.

- Προσομοίωση συστήματος – υπολογισμός συνθηκών λειτουργίας συστήματος σε γνωστό ψυκτικό κύκλο.
- Υπολογισμός της λειτουργίας – υπολογισμός της απόδοσης του συστήματος και προτεινόμενες επιλογές για μείωση καταναλισκόμενης ενέργειας.
- Υπολογισμός επιμέρους εξαρτημάτων – υπολογισμός των αποδόσεων αυτών.
- Προσομοίωση ψύξης ενός αντικειμένου – π.χ. υπολογισμός ενέργειας που καταναλώθηκε για διάφορες περιόδου ψύξης.

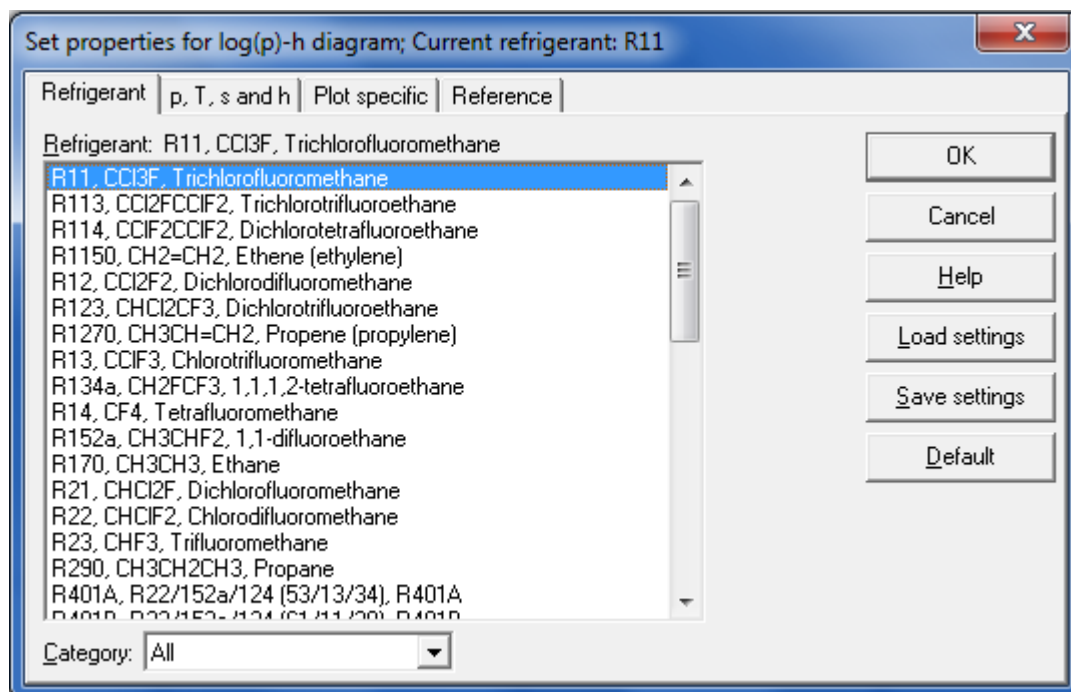
A.3 Επιμέρους προγράμματα CoolPack

Το CoolPack έχει διαιρεθεί σε τρία επιμέρους τμήματα:

➤ Refrigeration

Utilities

Αποτελείται από τρεις επιμέρους ομάδες βασισμένες στην επιλογή του ψυκτικού μέσου. Χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι ιδιότητες πρωτευόντων ή δευτερευόντων ψυκτικών μέσων, δημιουργούνται γραφήματα ιδιοτήτων των πρωτευόντων (όπως P-h, T-s και h-s) καθώς και υπολογίζεται η πτώση πίεσης των δευτερευόντων ψυκτικών στις σωληνώσεις. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν ψυχομετρικά διαγράμματα με τον αέρα.



Cycle input

Select cycle type:

One stage Two stage, closed intercooler
 Two stage, open intercooler Two stage, open intercooler, load at intermediate pressure

Cycle name: Draw cycle

Values:

Evaporating temperature: °C Condensing temperature: °C
Superheat: K Subcooling: K
Dp evaporator: Bar Dp condenser: Bar
Dp suction line: Bar Dp liquid line: Bar
Dp discharge line: Bar
Isentropic efficiency [0-1]:

Cycle creation

Create new

Calculated:

Qe [kJ/kg]: 10000.000
Qc [kJ/kg]: 10000.00
COP: 2.34
W [kJ/kg] 10000.00
W high [kW] 10000.00
(m high)/(m low): 0.00000000
m low [kg/s]: 0.00000000
m high [kg/s]: 0.00000000

Cycle info [One stage], Refrigerant: R12

Select cycle number:

Values:

| | | | |
|-------------------------------|--------|------------------------------|-------|
| Evaporating temperature [°C]: | -30.00 | Condensing temperature [°C]: | 30.00 |
| Superheat [K]: | 5.00 | Subcooling [K]: | 10.00 |
| Dp evaporator [bar]: | 0.10 | Dp condenser [bar]: | 0.15 |
| Dp suction line [bar]: | 0.10 | Dp liquid line [bar]: | 0.01 |
| Dp discharge line [bar]: | 0.20 | | |
| Isentropic efficiency [0-1]: | 0.70 | | |

Calculated:

| | |
|---------------------|---------|
| Qe [kJ/kg]: | 122.943 |
| Qc [kJ/kg]: | 178.487 |
| COP: | 2.21 |
| W [kJ/kg]: | 55.543 |
| Pressure ratio [-]: | 8.460 |

Dimensioning:

| | |
|------------------------|---|
| Qe [kW]: | <input type="text" value="0.000"/> |
| Qc [kW]: | <input type="text" value="0.000"/> |
| m [kg/s]: | <input type="text" value="0.00000000"/> |
| V [m ³ /h]: | <input type="text" value="0.0000"/> |
| W [kW]: | <input type="text" value="0.000"/> |
| Q loss [kW]: | <input type="text" value="0.000"/> |

Volumetric efficiency

n_vol:
Displacement [m³/h]: 0

➤ EESCoolTools (Engineering Equation Solver Cool Tools)

Αυτό το τμήμα αποτελείται από επιμέρους προγράμματα για το καθένα εξάρτημα του ψυκτικού συστήματος και χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα, τα οποία αλληλοεπιδρούν και συνδυάζονται μεταξύ τους.

1. Cycle Analysis (C-Tools) : Επιλέγεται το είδος του ψυκτικού κύκλου και κάποιου πρωταρχικοί παράγοντες α

The screenshot displays the 'CYCLE SPECIFICATION' window of the EESCoolTools software. The window is divided into several sections for input and output data:

| TEMPERATURE LEVELS | | PRESSURE LOSSES | | SUCTION GAS HEAT EXCHANGER | REFRIGERANT |
|--------------------|-------|----------------------|-----|----------------------------|-------------|
| T_E [°C]: | -10.0 | ΔT_{SH} [K]: | 5 | No SGHX | R290 |
| T_C [°C]: | 35.0 | Δp_{SL} [K]: | 0.5 | 0.30 | |
| | | Δp_{DL} [K]: | 0.5 | | |

| CYCLE CAPACITY | | | | | |
|-----------------------------------|----|-----------------------|--------------------------|----------------------------|---|
| Cooling capacity \dot{Q}_E [kW] | 10 | \dot{Q}_E : 10 [kW] | \dot{Q}_C : 12.91 [kW] | \dot{m} : 0.03512 [kg/s] | \dot{V}_S : 17.35 [m ³ /h] |

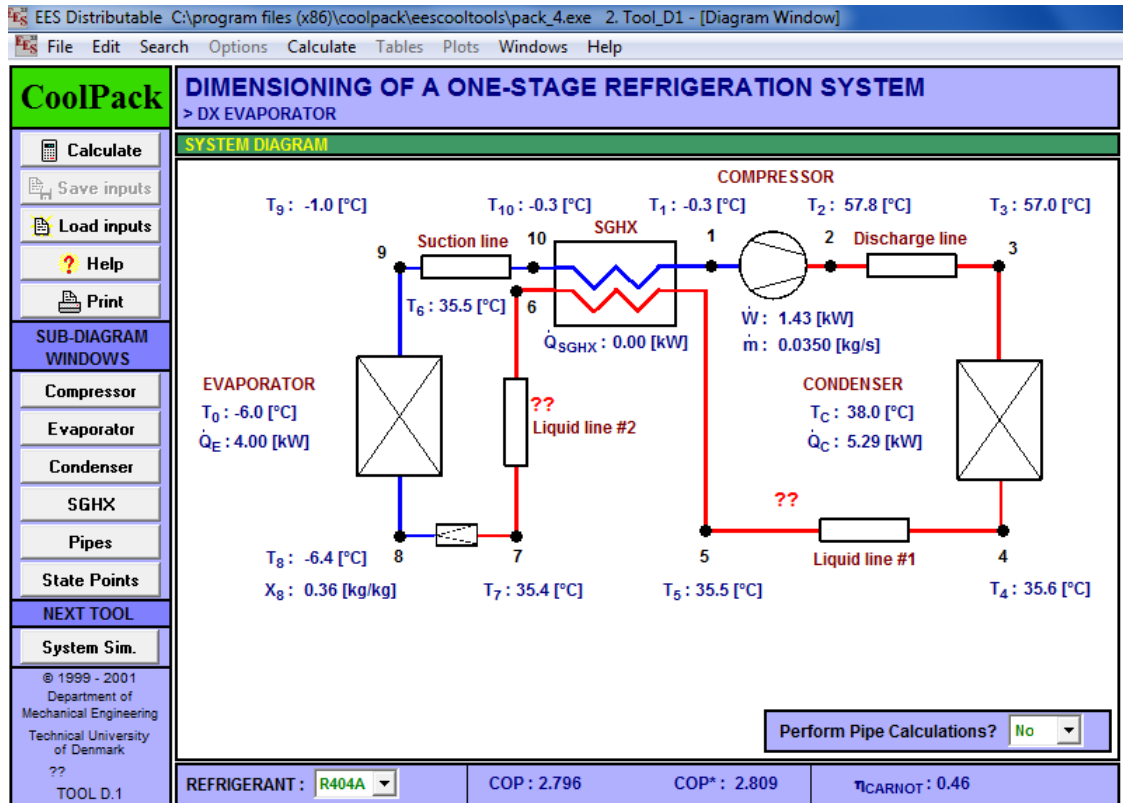
| COMPRESSOR PERFORMANCE | | |
|---------------------------------------|-----|--|
| Isentropic efficiency η_{is} [-] | 0.7 | η_{is} : 0.700 [-] \dot{W} : 3.146 [kW] |

| COMPRESSOR HEAT LOSS | | | |
|----------------------------|----|------------------|--|
| Heat loss factor f_Q [%] | 10 | f_Q : 10.0 [%] | T_2 : 54.5 [°C] \dot{Q}_{LOSS} : 0.3146 [kW] |

| SUCTION LINE | | | |
|---|-----|-------------------------|--|
| Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K] | 1.0 | \dot{Q}_{SL} : 68 [W] | T_8 : -4.0 [°C] $\Delta T_{SH,SL}$: 1.0 [K] |

At the bottom of the window, there is a navigation bar with buttons for 'Calculate', 'Print', 'Help', 'Home', 'Auxiliary', and 'State Points'. On the right side of this bar, the COP values are displayed: COP: 3.179 and COP*: 3.201.

2. Dimensioning (D-Tools) : Γίνεται η διαστασιολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων.



3. System Simulation (S-Tools) : Υπολογισμός των συνθηκών λειτουργίας με τα επιλεγμένα εξαρτήματα.

4. Evaluation (E-Tools) : Ενεργειακή ανάλυση και υπολογισμός βάσει μετρήσεων.

| PROCESS SPECIFICATION FOR PRESENT SITUATION | | | |
|--|---------------------|--|---|
| EVAPORATOR | | CONDENSER | |
| Evaporation temperature (T_E) [°C] | -10.0 | ΔT_{SH} [K] | 5 |
| Temperature of air or water entering evaporator [°C] | 2 | Condensing temperature (T_C) [°C] | 35 |
| T_E : -10 [°C] | p_E : 218.9 [kPa] | UA-value: 1.348 [kW/K] | ΔT_{SC} [K]: 2 |
| NOTE: Evaporating pressure = suction pressure | | NOTE: Condensing pressure = discharge pressure | |
| SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (SGHX) | | REFRIGERANT | |
| No SGHX: | 0.0 | T_4 : 33.0 [°C] | η_T : 0.00 [-] |
| | | | R12 |
| CYCLE CAPACITY | | | |
| Volumetric efficiency (η_{VOL}) [-] | 0.8 | \dot{Q}_E : 16.18 [kW] | \dot{V}_S : 40.00 [m ³ /h] |
| | | \dot{m} : 0.136 [kg/s] | η_{VOL} : 0.800 [-] |
| COMPRESSOR PERFORMANCE | | | |
| Power consumption (\dot{W}) [kW] | 10 | η_{IS} : 0.347 [-] | \dot{W} : 10.00 [kW] |
| | | | Displacement rate (\dot{V}_D) [m ³ /h]: 50 |
| COMPRESSOR HEAT LOSS | | | |
| Heat loss factor (f_Q) [%] | 10 | f_Q : 10.0 [%] | T_2 : 111.5 [°C] |
| | | | \dot{Q}_{LOSS} : 1.00 [kW] |
| COMPRESSOR INLET TEMPERATURE | | | |
| T_1 [°C]: | 3.0 | $\Delta T_{SH,SL}$: 8.0 [K] | |

| | | | | | | | |
|-----------|-------|------|------|--------------|---------|------------|-------------|
| Calculate | Print | Help | Home | State Points | Changes | COP: 1.618 | COP*: 1.686 |
|-----------|-------|------|------|--------------|---------|------------|-------------|

➤ Dynamic

Με αυτό το πρόγραμμα μπορούμε να υπολογίσουμε την ψύξη ενός δωματίου ή αντικειμένου υπο διάφορες συνθήκες λειτουργίας. (Arne Jakobsen, 2001)

