



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**Χρήση του ψυκτικού μέσου R32 σε οικιακές και
βιομηχανικές εφαρμογές.**



Τσέρτος Λ. Κωνσταντίνος-Νεκτάριος

Επιβλέπων καθηγητής: Τζιβανίδης Χρήστος

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να πω λίγα λόγια για όσους έχουν συμβάλει στην υλοποίηση αυτού του έργου. Θέλω να ευχαριστώ την οικογένεια μου που μου έδωσαν όλα τα εφόδια για να πραγματοποιήσω τους στόχους μου. Η εμπιστοσύνη τους και η υπομονή τους μου έδωσαν ώθηση για την ολοκλήρωση των σπουδών μου. Επίσης, ειλικρινά ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την ανάθεση αυτής της ενδιαφέρουσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για τη βοήθεια που μου πρόσφερε. Τέλος ευχαριστώ θερμά το συνάδελφο υποψήφιο διδάκτορα στον τομέα θερμότητας Μπέλλο Ευάγγελο που ήταν εκεί από την πρώτη στιγμή και με τις γνώσεις του και την εμπειρία του, συνέβαλλε ουσιαστικά στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|-----------|
| Περίληψη | 1 |
| Abstract..... | 3 |
| 1. Εισαγωγή | 5 |
| 1.1 Γενικά περί ψύξης..... | 5 |
| 1.2 Ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμού | 6 |
| 1.3 Έργο και θερμότητα στον ψυκτικό κύκλο | 8 |
| 1.4 Βασικός ψυκτικός κύκλος..... | 8 |
| 1.5 Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και αναθέρμανση..... | 11 |
| 1.6 Πολυβάθμια συμπίεση..... | 12 |
| 2. Ψυκτικές συσκευές..... | 15 |
| 2.1 Γενικά περί ψυκτικών συσκευών | 15 |
| 2.2 Συμπιεστής..... | 15 |
| 2.2.1 Γενικά περί συμπιεστών | 15 |
| 2.2.2 Κατηγοριοποίηση συμπιεστών βάση της δυνατότητας επέμβασης.. | 16 |
| 2.2.3 Κατηγοριοποίηση συμπιεστών βάση την αρχή λειτουργίας τους. | 18 |
| 2.3 Συμπυκνωτής..... | 24 |
| 2.3.1 Γενικά περί συμπυκνωτών..... | 24 |
| 2.3.2 Κατηγοριοποίηση συμπυκνωτών | 24 |
| 2.4 Ατμοποιητής | 27 |
| 2.4.1 Γενικά περί ατμοποιητών. | 27 |
| 2.4.2 Κατηγοριοποίηση ατμοποιητών | 27 |
| 2.5 Συσκευές Εκτόνωσης..... | 29 |
| 3. Ψυκτικά μέσα..... | 31 |
| 3.1 Γενικά περί ψυκτικών μέσων | 31 |
| 3.2 Ιστορική αναδρομή ψυκτικών μέσων..... | 31 |
| 3.3 Σημαντικές ιδιότητες ψυκτικών μέσων | 32 |
| 3.4 Κατηγοριοποίηση ψυκτικών μέσων..... | 33 |
| 3.5 Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και | 36 |
| την εκρηκτικότητά τους. | 36 |
| 3.6 Ονοματολογία ψυκτικών μέσων | 39 |
| 3.7 Φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα | 40 |
| 3.8 Περιγραφή ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς..... | 40 |
| 4. Περιβάλλον και κλιματισμός | 43 |
| 4.1 Γενικά περί περιβαλλοντικών προβλημάτων | 43 |

| | |
|--|-----|
| 4.2 Κλιματική αλλαγή..... | 43 |
| 4.3 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου | 43 |
| 4.4 Τρύπα του όζοντος..... | 46 |
| 4.5 Κλιματισμός και περιβαλλοντικές επιπτώσεις | 48 |
| 4.6 Ανθρακικό αποτύπωμα..... | 48 |
| 4.7 TEWI | 49 |
| 4.8 Ozone Depletion Potential (ODP) | 50 |
| 4.9 Πίνακες ψυκτικών μέσων με περιβαλλοντικές ιδιότητες | 50 |
| 4.10 Νομοθετικά πλαίσια για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ψυκτικών μέσων | 53 |
| 5. Μαθηματικό μοντέλο | 57 |
| 5.1 Ορισμός των προβλημάτων προς επίλυση | 57 |
| 5.2 Επίλυση μονοβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών..... | 57 |
| 5.3 Επίλυση διβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών..... | 60 |
| 5.4 Υπολογισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων..... | 64 |
| 5.4.1 Γενικά περί περιβαλλοντικών υπολογισμών | 64 |
| 5.4.2 Υπολογισμός για οικιακό κλιματιστικό..... | 64 |
| 5.4.2 Υπολογισμός για ψυγειοκαταψύκτης..... | 66 |
| 6. Λογισμικό Engineering Equation Solver ή EES..... | 67 |
| 6.1 Γενικά περί λογισμικού | 67 |
| 6.2 Εισαγωγή στο λογισμικό..... | 68 |
| 6.3 Εμβάθυνση στο λογισμικό μέσω της διαδικασίας επίλυσης..... | 72 |
| 7. Αποτελέσματα αποδοτικότητας ψυκτικών μέσων..... | 83 |
| 7.1 Γενικά περί αποτελεσμάτων. | 83 |
| 7.1.1 Διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή μονοβάθμιου κύκλου..... | 83 |
| 7.1.2 Διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης..... | 93 |
| 7.2 Αποτελέσματα αποδοτικότητας ψυκτικών μέσων διβάθμιας εγκατάστασης..... | 100 |
| 7.2.1 Διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας συμπυκνωτής | 100 |
| 7.2.2 Διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης..... | 109 |
| 7.3 Σύγκριση αποδοτικότητας ψυκτικών μέσων ανάμεσα σε μονοβάθμιο και διβάθμιο κύκλο συμπίεση ατμών..... | 116 |
| 7.3.1 Σύγκριση εγκαταστάσεων με βάση την θερμοκρασία συμπύκνωσης. | 116 |
| 7.3.2 Σύγκριση εγκαταστάσεων με βάση την θερμοκρασία ατμοποιητή. . | 121 |
| 8. Περιβαλλοντικά αποτελέσματα | 125 |

| | |
|--|-----|
| 8.1 Γενικά περί περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων | 125 |
| 8.2 Περιβαλλοντικά αποτελέσματα για οικιακό κλιματιστικό | 125 |
| 8.3 Περιβαλλοντικά αποτελέσματα για ψυγείοκαταψύκτης | 128 |
| 9. Συμπεράσματα..... | 133 |
| Βιβλιογραφία | 135 |

Περίληψη

Το θέμα της διπλωματικής που εκπονήθηκε είναι η χρήση του ψυκτικού μέσου R32 σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η μελέτη που έγινε αφορά στην αποδοτικότητα και τα περιβαλλοντικά οφέλη που έχει η χρήση του σε σχέση με άλλα ψυκτικά μέσα. Το πρώτο κομμάτι της διπλωματικής αφορά τη μελέτη και την κατανόηση των στοιχείων που αποτελούν μια ψυκτική εγκατάσταση από οικιακή έως βιομηχανική κλίμακα. Έπειτα έγινε η μελέτη του προγράμματος EES, ένα πρόγραμμα εξαιρετικά χρήσιμο για τη μοντελοποίηση ψυκτικών εγκαταστάσεων το οποίο, χάρη στη μεγάλη βιβλιοθήκη του σε ψυκτικά μέσα, καθιστά δυνατή την προσομοίωση μεγάλου αριθμού περιπτώσεων. Δίνεται έτσι η δυνατότητα σχηματισμού μιας πιο σφαιρικής εικόνας για την αποδοτικότητα των διάφορων μέσων σε διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια έρευνα στην επίδραση που έχουν οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις στο περιβάλλον (το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την τρυπά του όζοντος κλπ.) και συγκεκριμένα έγινε σύγκριση των διάφορων ψυκτικών μέσων με την χρήση δεικτών. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential **GWP**), ο δείκτης συνολικής ισοδύναμης επίδρασης στην υπερθέρμανση (Total Equivalent Warming Impact **TEWI**) καθώς και το δυναμικό μείωσης του όζοντος (Ozone Depletion Potential **ODP**). Τέλος ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων, χρήσιμα συμπεράσματα καθώς και προτάσεις για βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας των εξοπλισμών.

Abstract

The subject of this diploma thesis is the use of the R32 refrigerant for domestic air conditioning systems and industrial applications. The study performed is about the efficiency and the environmental advantages of its usage compared to other refrigerants. The first part of the paper concerns the study and understanding of the elements that a cooling installation consists of, both in a domestic and in an industrial scale. Afterwards, the EES software was examined, which is a rather useful software used to model cooling installations due to the significant library of refrigerants that it contains, thus enabling the user to simulate a large number of cases, therefore being able to form a broader view regarding the efficiency of different medians in various environmental conditions. Next, a research was carried out regarding the effect of cooling installations on the environment (the greenhouse effect, ozone layer degradation, etc.) and, in particular, different refrigerants were compared using indexes. The most important of these are the Global Warming Potential index (GWP), the Total Equivalent Warming Impact index (TEWI), as well as the Ozone Depletion Potential index (ODP). Finally, the analysis of the results is presented, as well as useful conclusions and suggestions to improve the operation of the aforementioned equipment.

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά περί ψύξης

Με τον όρο ψύξη εννοούμε την αποβολή θερμότητας από ένα γεωμετρικά ορισμένο χώρο. Η ψύξη σήμερα κυρίως χρησιμοποιείται για τη διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις βιομηχανικών διαδικασιών ή για τη διατήρηση θερμοκρασιών άνεσης στους χώρους κατοικίας και εργασίας. Η χρήση της κρίνεται επίσης αναγκαία για τη συντήρηση τροφίμων - ποτών για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ελαχιστοποιώντας συγχρόνως την υποβάθμιση της ποιότητας τους. Υπάρχουν πολλές διατάξεις παραγωγής ψύξης, όμως μία έχει σχεδόν επικρατήσει, αυτή με μηχανική συμπίεση ατμών. Αρχικά, ο απλούστερος τρόπος παραγωγής ψύξης είναι η εξάτμιση ή η ατμοποίηση ενός ψυκτικού υγρού. Σε μια στοιχειώδη συσκευή παραγωγή ψύχους, το πτητικό υγρό εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα αρχικά από την ίδια τη μάζα του, έως ότου η θερμοκρασία του μειωθεί και γίνει ίση με τη θερμοκρασία ατμοποίησής του. Στη συνέχεια απορροφά θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο, ο οποίος ψύχεται. [1]



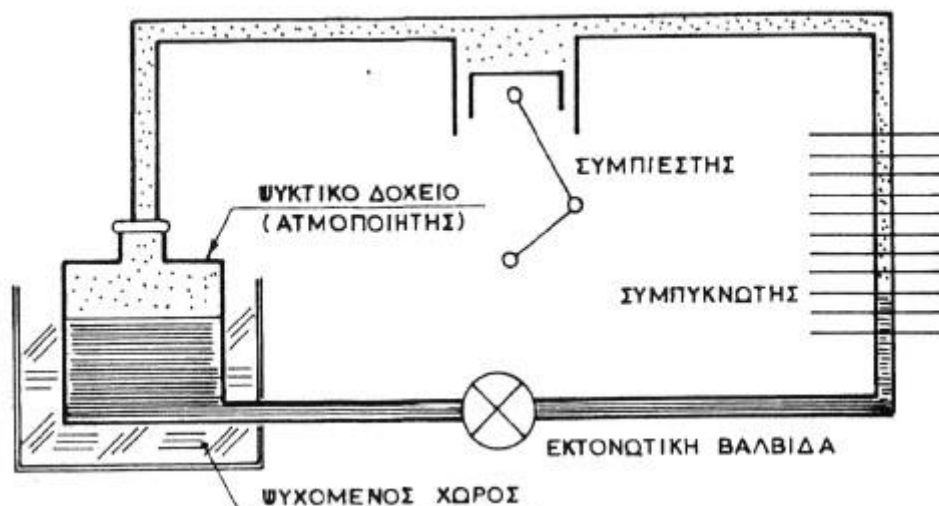
Εικόνα 1.1: «Διάταξη παραγωγής ψύξης ανοιχτού δοχείου» [1]

Η θερμοκρασία ατμοποίησης ενός υγρού εξαρτάται, ως γνωστόν από τη Μηχανική των Ρευστών, από την πίεση των ατμών του. Στην περίπτωση του ανωτέρω παραδείγματος, αν υποθέσουμε ότι η επικρατούσα πίεση στον περιβάλλοντα χώρο

είναι η ατμοσφαιρική, η θερμοκρασία του πτητικού υγρού θα μειωθεί έως τη θερμοκρασία ατμοποίησης του που αντιστοιχεί στην ατμοσφαιρική πίεση. [1]

1.2 Ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμού

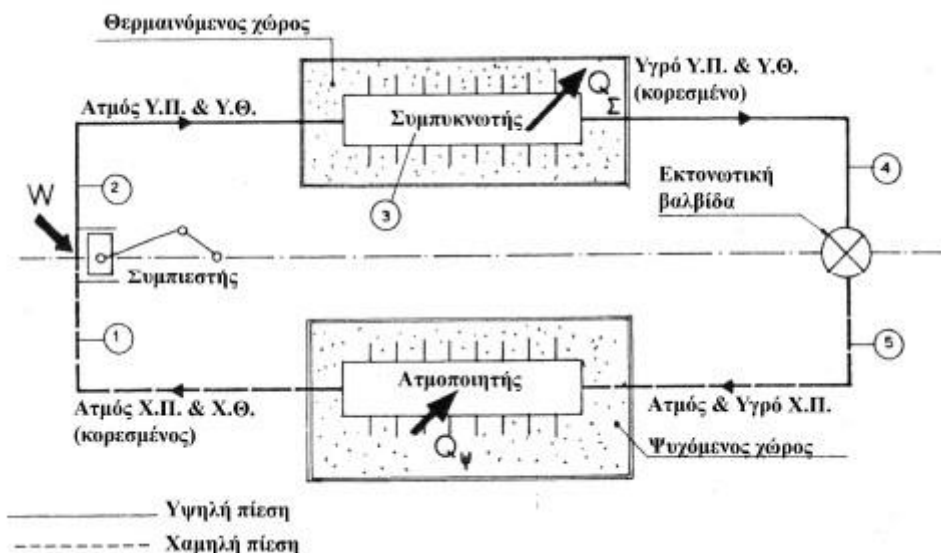
Η ψυκτική συσκευή που παρουσιάστηκε παραπάνω είναι απλή και φτηνή στην κατασκευή της, όμως πολύ δαπανηρή στη λειτουργία της, αφού απαιτούνται τεράστιες ποσότητες ψυκτικού μέσου. Για το λόγο αυτό έχουν επινοηθεί συσκευές συνθετότερες στις οποίες το δοχείο του ψυκτικού υγρού δεν επικοινωνεί με το περιβάλλον και, επομένως, το ψυκτικό μέσο δε χάνεται. Οι συσκευές αυτές συλλέγουν τους ατμούς του ψυκτικού μέσου, τους συμπυκνώνουν σε υγρή φάση και τους επαναφέρουν στο δοχείο εξάτμισης στην αρχική τους κατάσταση.



Εικόνα 1.2: «Διάταξη παραγωγής ψύξης με κλειστό κύκλωμα» [1]

Για την ψύξη και τη συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου πρέπει να υπάρχει σώμα ή ρεύμα χαμηλότερης θερμοκρασίας, που ερχόμενο σε επαφή με αυτό να τους ψύχει. Καθώς επιδιώκεται ως ψυχρό μέσο να χρησιμοποιείται το περιβάλλον, πρέπει η θερμοκρασία συμπύκνωσης των ατμών να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Για να είναι δυνατή η ψύξη, οι ατμοί οδηγούνται αρχικά σε συμπιεστή, όπου συμπιέζονται ώστε να ανέβει η θερμοκρασία τους πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Οι ατμοί, μετά από τη συμπίεση τους, οδηγούνται σε εναλλάκτη θερμότητας που ονομάζεται στοιχείο συμπύκνωσης ή συμπυκνωτής. Εκεί ψύχονται από τον αέρα του περιβάλλοντος, ή από νερό και συμπυκνώνονται σε υγρό. Η υγρή φάση που προκύπτει μετά τη συμπύκνωση βρίσκεται σε πολύ ψηλότερη πίεση από την πίεση του δοχείου ατμοποίησης. Γι' αυτό το υγρό οδηγείται σε εκτονωτική συσκευή

όπου εκτονώνεται (στραγγαλίζεται) και μειώνεται η πίεση του ώστε να μπορεί να ατμοποιηθεί. Τέλος οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας που ονομάζεται στοιχείο ατμοποίησης ή ατμοποιητής όπου ατμοποιείται. Ο κύκλος ψύξης επαναλαμβάνεται συνεχώς. [1-2]



Εικόνα 1.3: «Βασική περιγραφή ψυκτικής διάταξης» [1]

Συνεπώς, με βάση τα προαναφερόμενα μια ψυκτική διάταξη πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- μηχανικό συμπιεστή (εμβολοφόρο ή περιστροφικό)
- συμπυκνωτή (εναλλάκτη θερμότητας αερόψυκτο ή υδρόψυκτο)
- διάταξη εκτόνωσης ή στραγγαλισμού (τριχοειδή σωλήνα ή βαλβίδα)
- ατμοποιητή (εναλλάκτη θερμότητας)
- διατάξεις αυτόματης λειτουργίας και ασφάλειας και άλλα λειτουργικά όργανα.

Συμπίεση

Το ψυκτικό μέσο σε κατάσταση ξηρού κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης απορροφάται από το συμπιεστή (σημείο 1). Μετά τη συμπίεση ο ατμός εξέρχεται από το συμπιεστή σε αέρια φάση υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (σημείο 2).

Συμπύκνωση

Ο ατμός κατάστασης 2 εισάγεται στο συμπυκνωτή. Στο σημείο 3 αρχίζει η συμπύκνωση που τελειώνει στο σημείο 4, οπότε όλο το ψυκτικό μέσο έχει μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό. Ο συμπυκνωτής είναι εναλλάκτης θερμότητας αερόψυκτος ή υδρόψυκτος. Στο συμπυκνωτή το ψυκτικό μέσο ψύχεται αποβάλλοντας τη θερμότητα

QΣ. Θεωρητικά η ψύξη 2→3 →4 είναι ισοβαρής με σταθερή πίεση συμπίκνωσης PΣ, την πίεση εξόδου από το συμπιεστή.

Εκτόνωση

Το ψυκτικό υγρό εισάγεται στη διάταξη εκτόνωσης ή στραγγαλισμού στο σημείο 4 και εξάγεται από αυτή, μετά την εκτόνωση (σημείο 5), σε κατάσταση διμερούς φάσης (υπερτερεί η υγρή φάση) και χαμηλής πίεσης.

Ατμοποίηση

Το ψυκτικό μέσο εισάγεται στον ατμοποιητή (σημείο 5). Απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον του ατμοποιητή, ατμοποιείται και εξέρχεται από αυτόν σε κατάσταση ψυχρού κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης (σημείο 1). Η θερμότητα που αναρροφάται από το ψυκτικό μέσο στον ατμοποιητή είναι η θερμότητα ατμοποίησης Q_{ψ} . Θεωρητικά η θέρμανση του ψυκτικού μέσου 5→1 είναι ισοβαρής μεταβολή με πίεση P_{α} . [2]

1.3 Έργο και θερμότητα στον ψυκτικό κύκλο

Κατά την ατμοποίηση γίνεται απορρόφηση θερμότητας Q_{ψ} από το χώρο που περιβάλλει τον ατμοποιητή, ο οποίος και ψύχεται. Κατά τη συμπίκνωση αποβάλλεται θερμότητα Q_{Σ} στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα ο χώρος που περιβάλλει το συμπυκνωτή να θερμαίνεται. Συνεπώς, η ψυκτική διάταξη λειτουργεί σαν αντλία θερμότητας που αφαιρεί θερμότητα από ένα χώρο που είναι επιθυμητή η ψύξη (χώρος γύρω από τον ατμοποιητή) και την αποβάλλει σε ένα άλλο χώρο όπου είναι αδιάφορο το ότι θερμαίνεται (περιβάλλον συμπυκνωτή). [3]

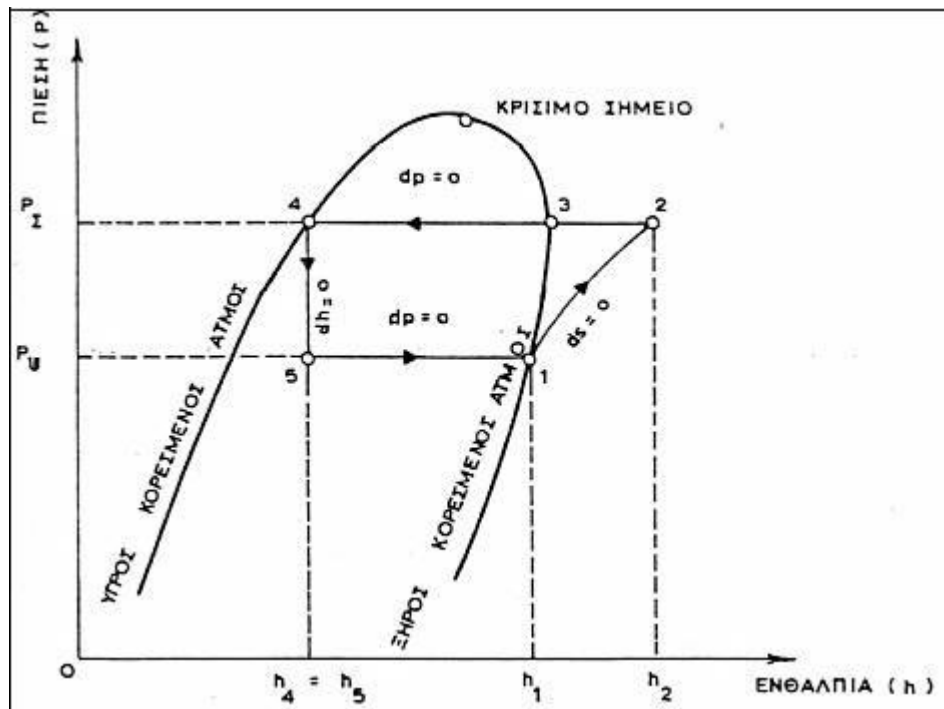
Τα ποσά θερμότητας Q_{Ψ} και Q_{Σ} δεν είναι ίσα διότι υπάρχει και η ενέργεια που καταναλώνεται στο συμπιεστή. Θεωρητικά ισχύει η σχέση:

$$Q_{\Sigma th} = Q_{\Psi th} + W_{th} \quad (1.1)$$

Όπου W_{th} η ενέργεια που καταναλώνει ο συμπιεστής.

1.4 Βασικός ψυκτικός κύκλος

Ο ψυκτικός κύκλος με μηχανική συμπίεση ατμού αναπαρίσταται γραφικά σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου που χρησιμοποιείται. Για τη σχεδίαση του διαγράμματος αυτού θεωρείται ότι ο ατμός του ψυκτικού μέσου στην είσοδο του συμπιεστή (σημείο 1) είναι σε κατάσταση κορεσμού και ότι η υγρή φάση στην είσοδο της εκτονωτικής βαλβίδας (σημείο 4) βρίσκεται επίσης σε κατάσταση κορεσμού.



Εικόνα 1.4: «Βασικός ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας» [2]

Μεταβολή 1→2:

Παριστάνει τη συμπίεση από το συμπιεστή (ισεντροπική μεταβολή $ds=0$). Η μηχανική ισχύς που θεωρητικά καταναλώνεται από το συμπιεστή είναι ίση με:

$$W_{th} = \dot{m} * (h_2 - h_1) \quad (1.2)$$

όπου \dot{m} η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στην ψυκτική διάταξη.

Μεταβολή 2→3→4:

Παριστάνει την ψύξη του ψυκτικού μέσου στο συμπυκνωτή μέχρι την πλήρη υγροποίησή του. Η μεταβολή γίνεται με σταθερή πίεση ($dp=0$) συμπύκνωσης (ισοβαρής μεταβολή). Η αποβαλλόμενη θερμική ισχύς στο περιβάλλον θεωρητικά είναι ίση με:

$$Q_{\Sigma th} = \dot{m} * (h_2 - h_4) \quad (1.3)$$

Μεταβολή 4→5:

Παριστάνει τον ισενθαλπικό στραγγαλισμό ($dh=0$). Η θεωρητική καταναλισκόμενη μηχανική ισχύς ισούται με το 0, γιατί $h_5=h_4$.

$$W_{th} = \dot{m} * (h_5 - h_4) \quad (1.4)$$

Μεταβολή 5→1:

Παριστάνει την πλήρη ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου. Θεωρητικά η μεταβολή γίνεται υπό σταθερή πίεση ($dP_{\Psi}=0$). Η απορροφόμενη θερμική ισχύς από το περιβάλλον του ατμοποιητή, δηλαδή η ψυκτική ισχύς της εγκατάστασης, είναι ίση με:

$$Q_{\Psi th} = \dot{m} * (h_1 - h_5) \quad (1.5)$$

Η διαφορά των ενθαλπιών $q=h_1-h_5=h_1-h_4$ ονομάζεται «ψυκτική ικανότητα» και είναι ίση με την ψυκτική ισχύ της εγκατάστασης ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου.

Συνοψίζοντας με την χρήση του διαγράμματος ψυκτικού κύκλου και των ανωτέρων σχέσεων, είναι δυνατός ο υπολογισμός των σχετικών ενεργειακών μεγεθών:

- θεωρητική μηχανική ισχύς: $W_{th} = \dot{m} * (h_2 - h_1)$
- ψυκτική ισχύς: $Q_{\Psi th} = \dot{m} * (h_1 - h_5)$
- θερμότητα συμπυκνώσεως: $Q_{\Sigma th} = \dot{m} * (h_2 - h_4)$

Από τις ανωτέρω σχέσεις είναι προφανής ο ενεργειακός ισολογισμός:

$$Q_{\Sigma th} = Q_{\Psi th} + W_{th}$$

Η απόδοση μιας ψυκτικής συσκευής εκφράζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς (Coefficient of Performance – C.O.P.). Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς ορίζεται από τη σχέση:

$$C.O.P. = \frac{Q_{\Psi th}}{W_{th}} = \frac{\dot{m} * (h_1 - h_5)}{\dot{m} * (h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} \quad (1.6)$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι πολύ σημαντικό μέγεθος στις ψυκτικές διατάξεις, αφού εκφράζει την απόδοση της μηχανής και, συνεπώς, την κατανάλωση ισχύος ανά μονάδα παραγόμενης ψυκτικής ισχύος.

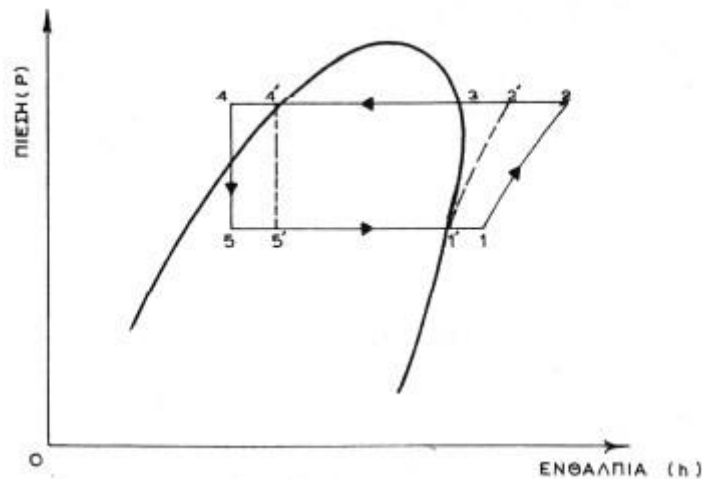
Αντίστοιχα με το θεωρητικό συντελεστή συμπεριφοράς ορίζεται και ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς C.O.P. ως το πηλίκο της πραγματικής αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος προς την πραγματική κατανάλωση μηχανικής ισχύος. Ο πραγματικός C.O.P. είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με το θεωρητικό C.O.P.th. [3]

1.5 Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και αναθέρμανση

Στο βασικό ψυκτικό κύκλο θεωρείται ότι το σημείο 1 βρίσκεται πάνω στην καμπύλη ξηρού κορεσμένου ατμού. Συνήθως στην πράξη, το υγρό συμπύκνωμα μετά την έξοδο από το συμπυκνωτή ψύχεται ακόμα, πριν φθάσει στην εκτονωτική βαλβίδα. Η ψύξη αυτή έχει συνέπεια την μετατροπή του ψυκτικού υγρού σε από την κατάσταση κορεσμένου υγρού στην κατάσταση του υπόψυκτου υγρού. Η ψύξη αυτή χαρακτηρίζεται ως υπόψυξη και έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά του σημείου 4' από την καμπύλη κορεσμού στη θέση 4, εντός της υγρής φάσης.

Είναι φανερό ότι με την υπόψυξη αυξάνει η θεωρητική ψυκτική ισχύς της ψυκτικής διάταξης αφού πλέον είναι:

$$Q_{th} = \dot{m} * (h_1 - h_5) > \dot{m} * (h_1 - h_{5'}) \quad (1.7)$$



Εικόνα 1.5: «Ψυκτικός κύκλος με υπόψυξη και υπερθέρμανση σε διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας» [2]

Επίσης, εκτός της απόψυξης, ο ατμός του ψυκτικού μέσου κατά την έξοδο του από τον ατμοποιητή, συνήθως θερμαίνεται επιπλέον στους συνδετικούς αγωγούς μεταξύ ατμοποιητή και το συμπιεστή. Συνεπώς, ο ατμός στην είσοδο του στο συμπιεστή δεν βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού αλλά σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού. Η θέρμανση αυτή χαρακτηρίζεται ως υπερθέρμανση και έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά του σημείου 1' από την καμπύλη κορεσμού στην θέση 1, εντός της φάσης υπέρθερμου ατμού. [4]

Επειδή η υπερθέρμανση λαμβάνει χώρα εκτός του ατμοποιητή, δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της ψυκτικής ισχύος, η οποία ισούται με :

$$Q = \dot{m} * (h_{1'} - h_5) \quad (1.8)$$

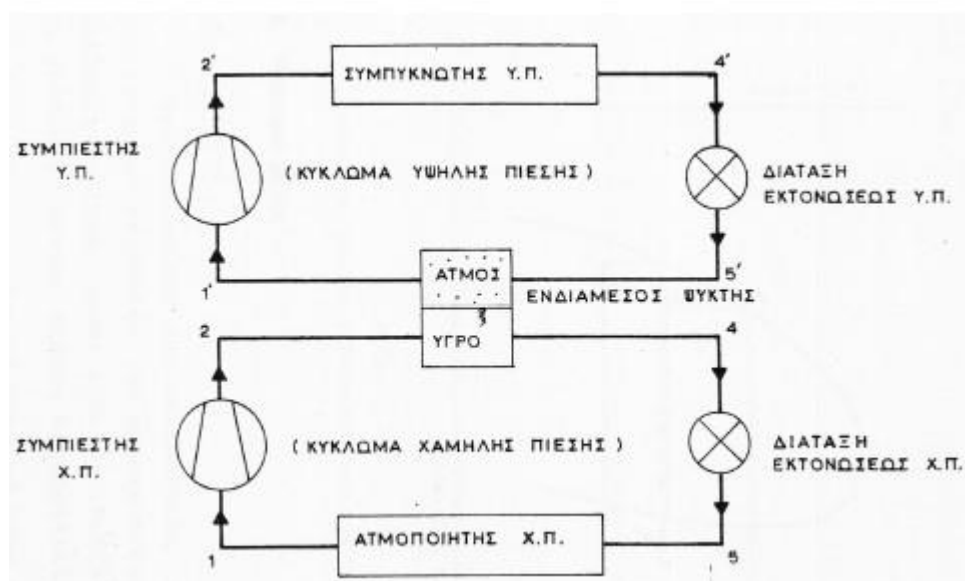
Έτσι κλείνοντας το κεφάλαιο του ψυκτικού κύκλου με υπόψυξη κι υπερθέρμανση καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

Είναι προφανές ότι η υπόψυξη είναι πολύ σημαντική γιατί οδηγεί σε αύξηση της αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος, χωρίς την επιπρόσθετη κατανάλωση έργου ή την αλλαγή στα τεχνικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ψυκτικής διάταξης. Από την άλλη η υπερθέρμανση επιδιώκεται για λόγους ασφαλείας του συμπιεστή, διότι λόγω της υπέρθερμης κατάστασης λειτουργίας του ατμού κατά την είσοδο του στο συμπιεστή, αποφεύγεται η εμφάνιση υγρού ψυκτικού μέσου στο συμπιεστή, που ως ασυμπύεστο, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές καταστροφικές πιέσεις για την εγκατάσταση.

Στα αρνητικά έχουμε ότι η υπερθέρμανση ωστόσο παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι μειώνεται ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας των ατμών και της συνακόλουθης αύξησης του ειδικού όγκου (μείωση της πυκνότητας). Συνέπεια των ανωτέρων είναι η αύξηση της καταναλισκόμενης μηχανικής ισχύος του συμπιεστή ανά μονάδα παραγόμενης ψυκτικής ισχύος, και συνεπώς μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς C.O.P.th. [4-5]

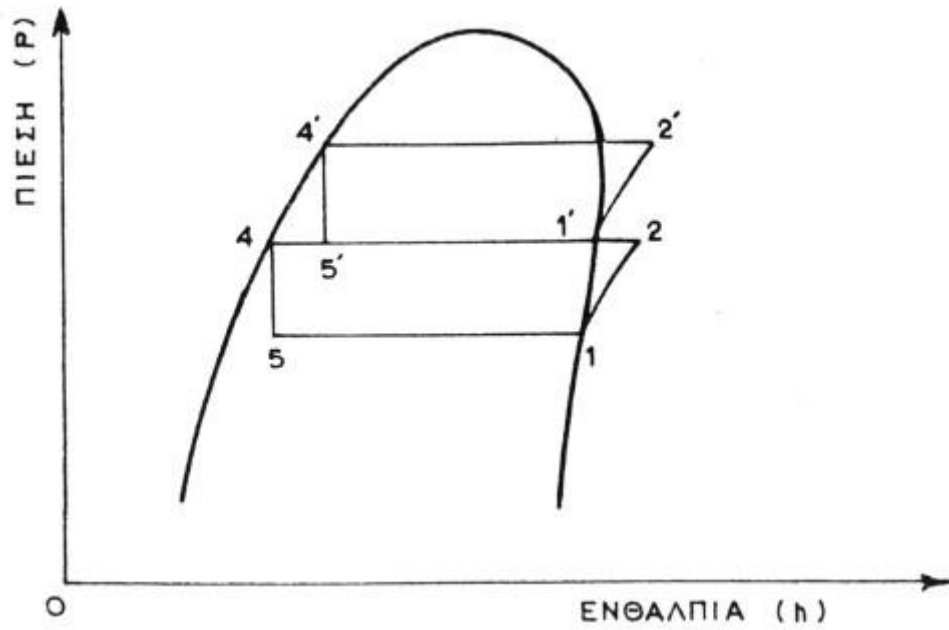
1.6 Πολυβάθμια συμπίεση

Σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις όταν απαιτούνται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ο λόγος συμπίεσης υψηλή/χαμηλή πίεση είναι περίπου 8 με 9. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται διβάθμια ψυκτική διάταξη, καθώς δεν υπάρχουν συμπιεστές με τέτοιους λόγους συμπίεσης. Για πολύ μεγαλύτερες τιμές του λόγου συμπίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πολυβάθμια ψυκτική διάταξη.



Εικόνα 1.6: «Διβάθμια διάταξη ψύξης με ενδιάμεσο ψύκτη» [6]

Η διβάθμια ψυκτική διάταξη μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο ανεξάρτητες ψυκτικές διατάξεις, μία χαμηλής και μία υψηλής πίεσης, συνδεδεμένες με ενδιάμεσο ψύκτη. Ο ενδιάμεσος ψύκτης είναι εναλλάκτης θερμότητας και αποτελεί για την διάταξη υψηλής πίεσης το στοιχείο ατμοποίησης, ενώ για την διάταξη χαμηλής πίεσης το στοιχείο συμπύκνωσης. [4-5]



Εικόνα 1.7: «Διβάθμιος ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας» [2]

Κεφάλαιο 2

2. ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

2.1 Γενικά περί ψυκτικών συσκευών.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να εξετάσουμε διεξοδικά τις κύριες συσκευές που συναντιούνται σε μια κλασική ψυκτική εγκατάσταση. Οι βασικές συσκευές, όπως ειπώθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, είναι: ο ατμοποιητής, ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής και η στραγγαλιστική βαλβίδα, οι οποίες συναντιούνται σε όλες τις εφαρμογές ψύξης με μηχανική συμπίεση ατμού ανεξαρτήτου κλίμακας. Για κάθε μία από αυτές τις συσκευές υπάρχουν πολλές παραλλαγές ανάλογα την εφαρμογή που χρησιμοποιείται η ψυκτική μηχανή. Όσο μεγαλώνουν οι εφαρμογές και περνάμε σε βιομηχανική κλίμακα προθέτονται επιπλέον συσκευές, μέσα στον ψυκτικό κύκλο, όπως εναλλάκτες θερμότητας, τύμπανα διαχωρισμού και πολλές άλλες.

Στα παρακάτω υποκεφάλαια θα γίνει αναλυτική περιγραφή των βασικών ψυκτικών συσκευών, καθώς επίσης και των διάφορων τύπων τους.

2.2 Συμπιεστής

2.2.1 Γενικά περί συμπιεστών

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). Το κεφάλαιο των συμπιεστών είναι πολύ μεγάλο και με την πρόοδο της τεχνολογίας αναπτύσσεται συνεχώς. 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. [7]

Οι συμπιεστές που προορίζονται για εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού, μπορούν να καταταγούν σε τύπους ανάλογα με τον τρόπο που παίρνουν την κίνηση και τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους.

2.2.2 Κατηγοριοποίηση συμπιεστών βάση της δυνατότητας επέμβασης.

Οι συμπιεστές με βάση τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους διακρίνονται σε:

- Ανοιχτού τύπου (open)
- Ημικλειστούς ή ημιερμητικούς (semihermetic)
- Κλειστού τύπου ή ερμητικούς (hermetic)

Συμπιεστές ανοιχτού τύπου (Open Type Compressors)

Στους συμπιεστές ανοιχτού τύπου, η κίνηση στον άξονα του συμπιεστή δίδεται μέσω συστήματος ιμάντων και τροχαλιών ή εύκαμπτου συνδέσμου (complex). Ο ηλεκτροκινητήρας είναι πάντα έξω από το κύριο σώμα του συμπιεστή και κοντά σε αυτόν. Αναφερόμαστε, δηλαδή σε συγκρότημα ηλεκτροκινητήρα-συμπιεστή πάνω σε κοινή μεταλλική βάση, στην οποία στερεώνονται με κοχλίες και αποσυναρμολογούνται στις περιπτώσεις συντήρησης η επισκευή τους. [7]

Πλεονεκτήματα συμπιεστών ανοιχτού τύπου σε σχέση με τους συμπιεστές κλειστού τύπου είναι :

- Οι συμπιεστές αποσυναρμολογούνται εύκολα
- Όλα τα εξαρτήματα τους είναι προσιτά σε έλεγχο, συντήρηση, επισκευές ή αντικατάσταση
- Εύκολη επισκευή

Μειονεκτήματα συμπιεστών ανοιχτού τύπου σε σχέση με τους συμπιεστές κλειστού τύπου είναι :

- Οι συμπιεστές στεγανοποιούνται δύσκολα στην περιοχή εξόδου του στροφαλοφόρου άξονα τους, από το κύριο σώμα του συμπιεστή.
- Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ευθυγράμμιση των αξόνων του συμπιεστή και του ηλεκτροκινητήρα κίνησης, όταν χρησιμοποιείται σύνδεσμος.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας συμπιεστής ανοιχτού τύπου.



Εικόνα 2.1: «Συμπιεστής ανοιχτού τύπου (Open Type Compressor)» [4]

Ημίκλειστοί ή ημιαερμητικοί συμπιεστές (Semi-Hermetic Compressors)

Στους ημίκλειστους ή ημιαερμητικούς συμπιεστές, ο ηλεκτροκινητήρας του συμπιεστή είναι εγκαταστημένος σε ειδικό χώρο μέσα στο χυτό του συμπιεστή. Εδώ, ο άξονας του συμπιεστή αποτελεί συνέχεια του άξονα του ηλεκτροκινητήρα και είναι μόνιμα συνδεδεμένος με αυτόν ή είναι κοινός. Το χυτό περίβλημα του συστήματος συμπιεστή-ηλεκτροκινητήρα, αποτελεί ένα συμπαγές σύνολο, σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να συντηρηθεί ο συμπιεστής. [7]

Πλεονεκτήματα συμπιεστών ημίκλειστου τύπου σε σχέση με τους συμπιεστές ανοιχτού τύπου είναι:

- Δεν υφίστανται προβλήματα στεγανοποίησης αξόνων, γιατί δεν προεξέχει άξονας έξω από το περίβλημα του συμπιεστή.
- Δεν υφίστανται προβλήματα ευθυγράμμισης των αξόνων, καθώς ο άξονας του ηλεκτροκινητήρα είναι και άξονας του συμπιεστή ή είναι μόνιμα συνδεδεμένος με αυτόν.
- Είναι λιγότερα ογκώδης και κοστίζει λιγότερο.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας συμπιεστής ημίκλειστου τύπου.



Εικόνα 2.2: «Ημίκλειστός ή ημιαερμητικός συμπιεστής (Semi-Hermetic Compressor)»

[4]

Συμπιεστές κλειστού τύπου ή αερμητικοί (Hermetic Compressors)

Στους συμπιεστές κλειστού τύπου το μηχανικό μέρος του συμπιεστή και ο ηλεκτροκινητήρας του περιβάλλονται από ένα κοινό, πλήρως ηλεκτροσυγκολλημένο μεταλλικό κέλυφος, έτσι ώστε να κλείνεται αερμητικά. Στην ουσία δεν υπάρχει πρόσβαση στο συγκρότημα συμπιεστής-ηλεκτροκινητήρα το οποίο δεν μπορεί να συντηρηθεί, χωρίς να κοπεί το κέλυφος για να ανοίξει. [7]

Πλεονεκτήματα συμπιεστών κλειστού τύπου σε σχέση με τους συμπιεστές ανοιχτού τύπου είναι:

- Το κόστος προμήθειας τους είναι το μικρότερο σε σχέση με κάθε άλλο είδος συμπιεστή.
- Το βάρος και ο όγκος τους είναι το ελάχιστο δυνατό.
- Σχεδόν μηδενική πιθανότητα διαρροών.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας συμπιεστής ημίκλειστου τύπου.



Εικόνα 2.3: «Συμπιεστής κλειστού τύπου ή ερμητικός (Hermetic Compressor)» [4]

2.2.3 Κατηγοριοποίηση συμπιεστών βάση την αρχή λειτουργίας τους.

Από την άλλη οι συμπιεστές με βάση την αρχή λειτουργίας τους διακρίνονται στις εξής 5 μεγάλες κατηγορίες:

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

Παλινδρομικός συμπιεστής (Reciprocating Compressor)

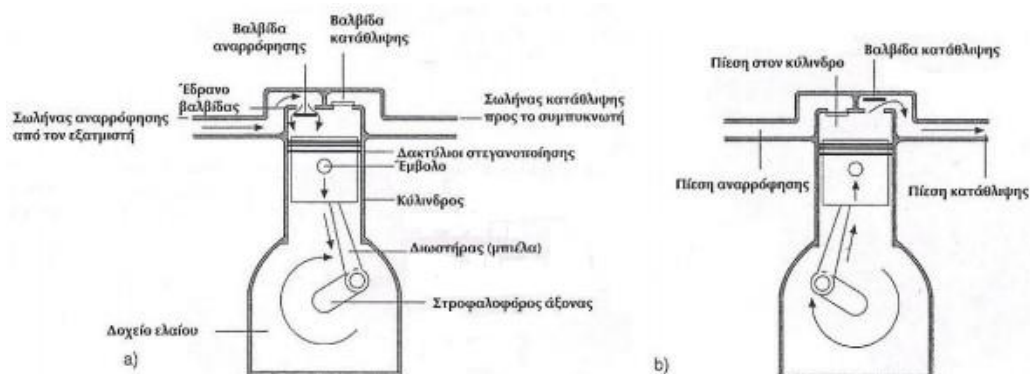
Οι παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι συμπιεστές ψύξης, κατασκευαστικά έχουν πολλά κοινά σημεία με τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Το αέριο εισέρχεται στον οχετό εισαγωγής και από εκεί μέσω της βαλβίδας εισαγωγής οδηγείται στον κύλινδρο (θάλαμο) συμπίεσης όπου συμπιέζεται από το πιστόνι σε σχεδόν αδιαβατικό περιβάλλον και ύστερα εκκενώνεται από την βαλβίδα εξαγωγής. 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

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). [7-8]

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας παλινδρομικός συμπιεστής σε τομή:



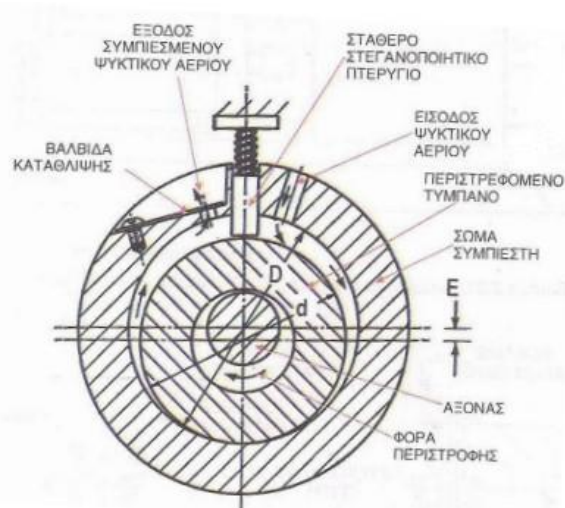
Εικόνα 2.4 : «Παλινδρομικός συμπιεστής» [8]

Περιστροφικός Συμπιεστής (Rotary Compressor)

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)

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας περιστροφικός συμπιεστής σε τομή:



Εικόνα 2.5: «Περιστροφικός συμπιεστής» [8]

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι περιστροφικοί συμπιεστές είναι:

- Αθόρυβη λειτουργία
- Μεγάλος ολικός βαθμός απόδοσης
- Έχει μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με τους παλινδρομικούς
- Έχει περίπου 75% λιγότερα εξαρτήματα από τους παλινδρομικούς

Αντιθέτως τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

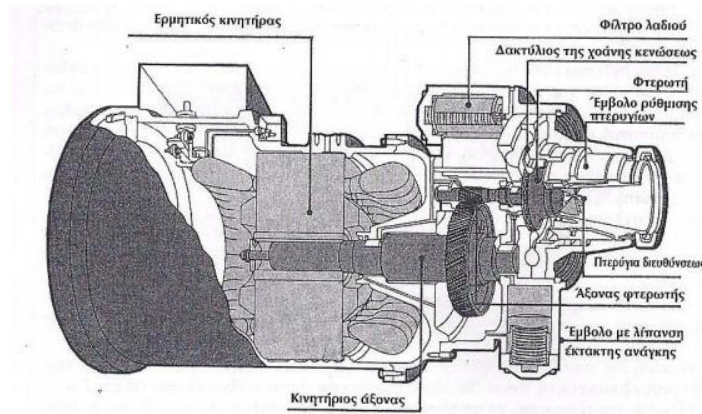
- Δεν επισκευάζονται εύκολα.
- Το κόστος κατασκευής τους είναι αυξημένο.
- Ακατάλληλη για μεγάλους λόγους συμπίεσης.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι περιστροφικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλο εκτόπισμα συμπιεστή σε μέτριες πιέσεις λειτουργίας. [7-8]

Φυγοκεντρικός Συμπιεστής (Centrifugal Compressor)

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι απλοί στην κατασκευή τους. Αποτελούνται, κατά βάση, από ένα ακίνητο κέλυφος και την περιστρεφόμενη πτερωτή. Η πτερωτή παίρνει κίνηση από ένα ηλεκτροκινητήρα μέσω συστήματος μετατροπής των στροφών με ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς. 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. [8]

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής σε τομή:



Εικόνα 2.6: «Φυγοκεντρικός συμπιεστής» [8]

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι:

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

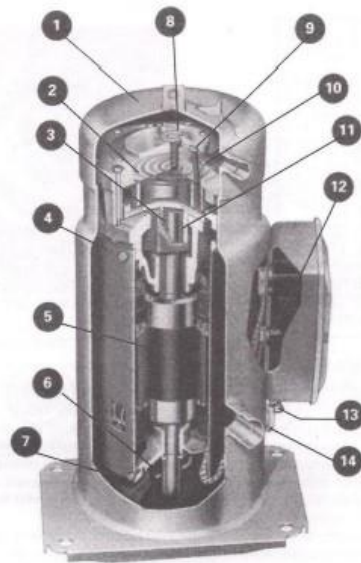
Τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

- Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις μικρότερες των 700kW
- Λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής τους το σύστημα λίπανσης χρειάζεται ιδιαίτερη παρακολούθηση.
- Οι μεγάλες ταχύτητες δημιουργούν κραδασμούς για την απόσβεση των οποίων απαιτείται πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση.

Σπειροειδής Συμπιεστής (Scroll Compressor)

Οι σπειροειδείς συμπιεστές χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστο σε μικρές συσκευές κλιματιστικών ,αντλιών θερμότητας και σε συστήματα κλιματιστικών αυτοκινήτων. Διαθέτουν δυο σπείρες .Η πάνω είναι σταθερή ενώ η κάτω περιστρέφεται. Οι σπείρες έχουν τοιχώματα σπειροειδούς μορφής, και η κάτω σπείρα είναι προσαρμοσμένη μέσα στην επάνω σπείρα. Καθώς η κινούμενη σπείρα μετατοπίζεται παράλληλα, το αέριο εισέρχεται στο μεταξύ διάστημα των σπειροειδών και συγκεκριμένα στα άκρα της διάταξης. Καθώς το αέριο κινείται εσωτερικά, ο όγκος του κενού μειώνεται και το αέριο συμπιέζεται. Τέλος η θυρίδα εκτόνωσης ανοίγει και το αέριο εκτονώνεται. Οι σπειροειδείς συμπιεστές είναι κατά 20% πιο αποδοτικοί από όλους του περιστροφικούς που χρησιμοποιούνται σήμερα στις κλιματιστικές μονάδες. [8]

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας σπειροειδής συμπιεστής σε τομή:



ΥΠΟΜΝΗΜΑ - ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

- 1- ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ
- 2- ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΠΕΙΡΩΝ
- 3- ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ
- 4- ΣΩΛΗΝΑΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ
- 5- ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
- 6- ΔΕΞΑΜΕΝΗ (ΚΑΡΤΕΡ) ΛΑΔΙΟΥ
- 7- ΔΙΑΧΟΡΙΣΤΗΡΑΣ (ΦΙΛΤΡΟ) ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ
- 8- ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ
- 9- ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΦΑΣΗΣ
- 10- ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΠΕΙΡΩΝ
- 11- ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΔΡΑΝΑ
- 12- ΔΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ
- 13- ΣΤΟΜΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΛΑΔΙΟΥ
- 14- ΓΥΑΛΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΛΑΔΙΟΥ

Εικόνα 2.7: «Συμπιεστής τύπου Scroll» [8]

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των σπειροειδών συμπιεστών μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Οι συμπιεστές τύπου scroll έχουν 70% λιγότερα κινούμενα εξαρτήματα από τους παλινδρομικούς και επομένως λιγότερες τριβές και λιγότερες φθορές. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερες αποδόσεις και μακροζωία του συμπιεστή.
- Δεν επηρεάζονται από την παρουσία σταγόνων ψυκτικού υγρού που μπορεί να επιστρέψει στο συμπιεστή, καθώς και από την παρουσία ξένων σωματιδίων.
- Είναι σχεδιασμένοι για βέλτιστες αποδόσεις και λειτουργούν άψογα με τα σύγχρονα (άνευ χλωρίου) ψυκτικά υγρά.
- Λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς κραδασμούς, παράγοντας πολύ σημαντικός στις εγκαταστάσεις μικρών και μέσων μονάδων κλιματισμού.
- Στους συμπιεστές scroll, δημιουργείται ταυτόχρονη είσοδος ψυκτικού αερίου (αναρρόφηση) συμπίεση, και εξαγωγή του συμπιεσμένου αερίου. Αυτό σημαίνει πολύ μεγαλύτερη απόδοση των συμπιεστών scroll, σε σύγκριση πάντα με τους παλινδρομικού τύπου, αφού δεν υπάρχουν «νεκροί χρόνοι».
- Συνολικά έχουν 20% καλύτερες επιδόσεις από τους άλλους τύπους συμπιεστών.

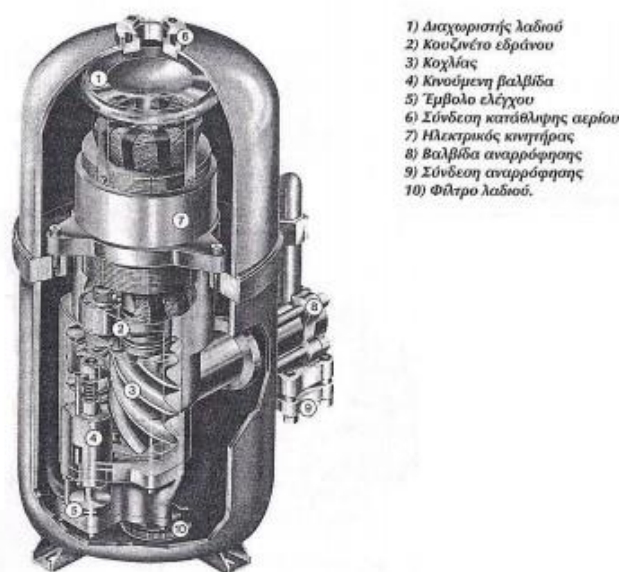
Τα μοναδικά μειονεκτήματα των συμπιεστών τύπου scroll αφορούν τις περιορισμένες χρήσεις τους ,εφόσον:

- Χρησιμοποιούνται σε μονάδες κλιματισμού μικρής και μέσης ισχύος
- Μονό σε συμπιεστές κλειστού τύπου και
- Έχουν περιορισμένη εφαρμογή για δεδομένη ισχύ.

Ελικοειδείς ή Κοχλιωτοί Συμπιεστές (Screw Compressor)

Αυτός ο τύπος συμπιεστή χρησιμοποιείται με όλα τα γνωστά ψυκτικά μέσα και για εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος (περίπου 400kW και πάνω). Στους κοχλιωτούς συμπιεστές υπάρχουν δύο ρότορες που φέρουν κοχλιωτές διαμορφώσεις και είναι συζευγμένοι ο ένας με τον άλλο. Το ψυκτικό ρευστό αναρροφάται και συμπιέζεται μέσα στις αυλακώσεις των δύο αυτών συζευγμένων εξαρτημάτων. [8]

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ένας κοχλιοειδής συμπιεστής σε τομή:



Εικόνα 2.8: «Κοχλιοειδής συμπιεστής» [8]

Τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματά τους έναντι των παλινδρομικών συμπιεστών είναι:

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

Το βασικό του μειονέκτημα σε σχέση με του παλινδρομικούς συμπιεστές είναι:

- Η κατασκευή τους είναι ακριβή, διότι απαιτούν μηχανουργικές κατεργασίας υψηλής ποιότητας.

2.3 Συμπυκνωτής

2.3.1 Γενικά περί συμπυκνωτών.

Ο συμπυκνωτής είναι ένα επίσης σημαντικό εξάρτημα μιας 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.

Η αποβολή θερμότητας σε κάθε συμπυκνωτή γίνεται σε 3 στάδια: [9]

- 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.
- 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 εξαμιζόμενο εντός του ατμοποιητή (λανθάνουσα θερμότητα).
- 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.

2.3.2 Κατηγοριοποίηση συμπυκνωτών

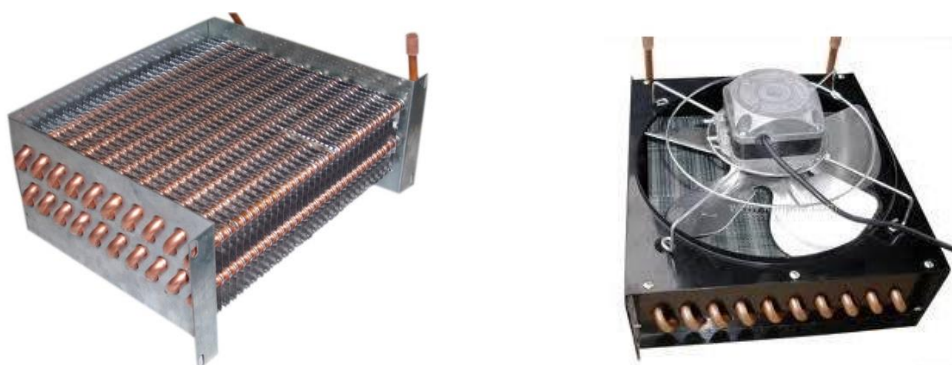
Ανάλογα ως προς το μέσο συμπύκνωσης του ψυκτικού αερίου οι συμπυκνωτές μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- 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.
- Στους ατμοποίησης ή εξαμιζόμενου τύπου : Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις, στις οποίες συνήθως υπάρχει σχετική ανεπάρκεια νερού και η χρήση υδρόψυκτου κρίνεται ασύμφορη. [7,9]

Αερόψυκτοι συμπυκνωτές

Στους αερόψυκτους συμπυκνωτές, το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στο εσωτερικό σωλήνων ενώ η εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων ψύχεται από τον αέρα του περιβάλλοντος. Για να γίνεται με επιτυχία η διαδικασία αυτή θα πρέπει να είναι επαρκής η επιφάνεια επαφής με τον αέρα, γι' αυτό όλοι οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές κατασκευάζονται με πτερύγια ή σύρματα τα οποία στηρίζονται μηχανικά ή συγκολλώνται πάνω στους σωλήνες του συμπυκνωτή. Η αύξηση αυτή της επιφάνειας είναι αναγκαία γιατί ο συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας για αέρα είναι σχετικά μικρός και αυξάνεται όσο μεγαλώνει η επιφάνεια επαφής. Επιπλέον ενώ στις μεν μικρές εγκαταστάσεις η ψύξη της εξωτερικής επιφάνειας των συμπυκνωτών γίνεται με φυσική κυκλοφορία, στις δε μεσαίες και μεγάλες λαμβάνει χώρα με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αφού για να αυξηθεί η αποδοτικότητα του συμπυκνωτή και να αξιοποιηθούν καλύτερα οι επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας με τον αέρα του περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται ηλεκτροκίνητοι ανεμιστήρες, που αυξάνουν τις ταχύτητες ροής του αέρα. [9]

Στο αποκάτω σχήμα απεικονίζονται τα δύο είδη αερόψυκτων συμπυκνωτών.



Εικόνα 2.9: «Αριστερά απεικονίζεται αερόψυκτος συμπυκνωτής φυσικής ροής, δεξιά απεικονίζεται αερόψυκτος συμπυκνωτής εξαναγκασμένης ροής» [10]

Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές

Οι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές, όπως λέει και το όνομά τους, χρησιμοποιούν το νερό και τη μεγάλη ψυκτική του ικανότητα, για να απάγουν τη θερμότητα που αφαιρείται από το ψυκτικό μέσο. Όπου λοιπόν υπάρχει διαθέσιμο νερό χαμηλού κόστους είτε από φυσικές πηγές όπως ποτάμια και πηγάδια, είτε από δίκτυο νερού πόλεως, είναι λογικό να χρησιμοποιούνται υδρόψυκτοι συμπυκνωτές. Σε μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις το νερό του συμπυκνωτή (λόγω μικρής κατανάλωσης) μπορεί μετά την απαγωγή της θερμότητας που κάνει, να αποχετεύεται και να χάνεται. Τέτοιου είδους συστήματα συμπύκνωσης τα ονομάζουμε ανοιχτά, εν τούτοις σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις που

οι καταναλώσεις είναι μεγάλες υπάρχει η ανάγκη για ανακυκλοφορία και επαναχρησιμοποίηση του, που γίνεται μέσω κάποιων επιπλέον συμπυκνωτικών μηχανημάτων που ονομάζονται πύργοι ψύξης και αναλαμβάνουν την ψύξη του νερού και την επιστροφή του στο συμπυκνωτή (κλειστό σύστημα).

Στην αποκάτω εικόνα απεικονίζεται ένας υδρόψυκτος συμπυκνωτής.



Εικόνα 2.10: «Υδρόψυκτος συμπυκνωτής» [10]

Εξατμιστικοί συμπυκνωτές

Οι συμπυκνωτές εξατμίσεως νερού ή εξατμιστικοί συμπυκνωτές, όπως είναι ευρέως γνωστοί, χρησιμοποιούν για την ψύξη τους συνδυασμό νερού και αέρα. Ο αέρας στους αερόψυκτους συμπυκνωτές και το νερό στους υδρόψυκτους θερμαίνονται χωρίς να αλλάζουν τη φάση τους. Αντίθετα, στους εξατμιστικούς συμπυκνωτές, το νερό που παίρνει την απορριπτόμενη θερμότητα, φθάνει ως την εξάτμιση. Για να λειτουργήσουν αυτοί οι συμπυκνωτές λοιπόν πρέπει να προσάγεται ταυτόχρονα στο στοιχείο τους αέρας και νερό. Ο αέρας θερμαίνεται και παρασύρει τους υδρατμούς που παράγονται και βοηθά ώστε να συνεχίζεται η εξάτμιση. Το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στο εσωτερικό ενός σπειροειδούς σωλήνα και συμπυκνώνεται καθώς εξατμίζεται το νερό, που ψεκάζεται από πάνω σε μορφή σταγόνων και βρέχει το σωλήνα. [8-9]

Στην αποκάτω εικόνα απεικονίζεται ένας εξατμιστικός συμπυκνωτής.



Εικόνα 2.11: «Εξατμιστικός συμπυκνωτής» [10]

2.4 Ατμοποιητής

2.4.1 Γενικά περί ατμοποιητών.

Ο ατμοποιητής είναι το τμήμα της ψυκτικής μηχανής που έχει κύριο σκοπό να απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον του. Με άλλα λόγια, είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο που απορροφώντας την επιθυμητή λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεως Q_Ψ ή Q_C, ατμοποιείται αλλάζοντας φάση από την υγρή στην ατμώδη. Το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται υπό μικτή φάση και εξέρχεται σε ατμώδη χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Όπως είναι λογικό, ο ατμοποιητής βρίσκεται πάντα στο χώρο που θέλουμε να ψύξουμε.

2.4.2 Κατηγοριοποίηση ατμοποιητών

Οι ατμοποιητές χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται, δηλαδή αν λειτουργεί με σκοπό την ψύξη αέρα ή την ψύξη ρευστού. Στην παρούσα διπλωματική θα μελετήσουμε τους ατμοποιητές που ψύχουν αέρα και θα δούμε τις υποκατηγορίες που υπάρχουν για αυτή την χρήση.

Έτσι οι ατμοποιητές που ψύχουν αέρα χωρίζονται σε δύο περιπτώσεις:

- φυσικής κυκλοφορίας
- εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Ατμοποιητής φυσικής κυκλοφορίας

Λέγονται έτσι διότι λειτουργούν χωρίς ανεμιστήρα, ενώ η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με φυσικό τρόπο. Ο αέρας που περιβάλλει το ψυκτικό στοιχείο ψύχεται, αποκτά μεγαλύτερο ειδικό βάρος και κινείται προς τα κάτω, στρώχνοντας τα θερμότερα μόρια

του αέρα που βρίσκονται στο κάτω μέρος του θαλάμου για να πάρουν τη θέση τους. Τα δεύτερα λοιπόν αναγκαστικά ανέρχονται δημιουργώντας έτσι μία φυσική συνεχή κυκλοφορία του αέρα, με την οποία πετυχαίνετε η ψύξη του χώρου. Λαμβάνει χώρα μετάδοση θερμότητας μέσω του φαινομένου της συναγωγής λόγω της κίνησης του αέρα. Οι ατμοποιητές φυσικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρές εγκαταστάσεις, ιδίως όταν μας ενδιαφέρει να έχουμε υψηλή σχετική υγρασία στον ψυκτικό θάλαμο για να μην αφυγραίνονται τα προϊόντα. [2,9]

Πλεονεκτήματα ατμοποιητών φυσικής κυκλοφορίας

- Είναι χαμηλού κόστους λόγω της απλής κατασκευής του
- Υπάρχει ποικιλομορφία στο σχήμα τους
- Έχουν αθόρυβη λειτουργία
- Χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση

Τα βασικά μειονεκτήματα τους είναι:

- Η απόδοση τους είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τον όγκο τους
- Η απόδοση τους μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τις συνθήκες που λειτουργούν

Ατμοποιητής εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Αυτοί οι ατμοποιητές ονομάζονται έτσι διότι η κυκλοφορία του αέρα που τους διαπερνά επιτυγχάνεται με χρήση ενός ή περισσοτέρων ανεμιστήρων. Η κατασκευή τους περιλαμβάνει ένα πτερυγιοφόρο σωλήνα (στοιχείο) και έναν τουλάχιστον ανεμιστήρα που φυσά τον αέρα ανάμεσα στα πτερύγια του εξαμιστή. Το είδος αυτό του εξαμιστή ονομάζεται και στοιχείο απ' ευθείας εκτονώσεως (direct expansion coil). Όταν ο εξαμιστής αυτού του τύπου χρησιμοποιείται στο κύκλωμα μιας ψυκτικής μηχανής, υγρό ψυκτικό μέσο διοχετεύεται στο ψυκτικό στοιχείο κατ' ευθείαν, είτε μέσω μιας βαλβίδας με πλωτήρα είτε μέσω μιας εκτονωτικής βαλβίδας. [2,9]

Τα πλεονεκτήματα των ατμοποιητών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα είναι τα εξής:

- Μπορούμε να τοποθετήσουμε ατμοποιητή μικρότερης επιφάνειας αυξάνοντας αντίστοιχα το ποσό του διερχομένου αέρα. Με τον τρόπο αυτό κερδίζουμε χώρο που είναι σημαντικός παράγοντας σε πολλές περιπτώσεις.
- Μπορούμε να αυξομειώνουμε το ποσό του διερχομένου αέρα (ρυθμίζοντας αντίστοιχα και την απόδοση του ατμοποιητή) με τη ρύθμιση των στροφών του ανεμιστήρα. Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η ταχύτητα κίνησης του αέρα.
- Μας δίνεται η δυνατότητα να τοποθετήσουμε τον ατμοποιητή και σε άλλα σημεία του ψυκτικού θαλάμου, εκτός της οροφής, ακριβώς λόγω της ύπαρξης

του ανεμιστήρα κάτι που βέβαια που δεν είναι δυνατόν να γίνει με τους ατμοποιητές φυσικής κυκλοφορίας καθώς αυτοί πρέπει πάντα να βρίσκονται στο επάνω μέρος του θαλάμου.

Τα μειονεκτήματα των ατμοποιητών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας έναντι των αντίστοιχων φυσικής κυκλοφορίας είναι τα εξής:

- Έχουν μεγαλύτερο κόστος παραγωγής.
- Έχουν μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανάται για τη λειτουργία του ανεμιστήρα.
- Δημιουργούν θόρυβο.
- Αφυγραίνουν (ξηραίνουν) πιο εύκολα την ατμόσφαιρα σε σχέση με τους ατμοποιητές φυσικής κυκλοφορίας, πράγμα που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν τα προς ψύξη προϊόντα απαιτούν υψηλή σχετική υγρασία για τη συντήρησή τους.

2.5 Συσσκευές Εκτόνωσης.

Ο σκοπός χρήσης των συσκευών εκτόνωσης σε ένα ψυκτικό σύστημα είναι αρχικά να διατηρήσει την διαφορά πίεσης ανάμεσα στην πλευρά χαμηλής πίεσης (ατμοποιητής) και στην πλευρά υψηλής πίεσης (συμπυκνωτής) σε σύστημα που διαθέτει συμπιεστή. Σε δευτερεύον επίπεδο, οι συσκευές αυτές ρυθμίζουν την ροή του ψυκτικού μέσου για να υπάρχει συνέχεια στην ροή θερμότητας στους εναλλάκτες. Οι συσκευές εκτόνωσης χωρίζονται σε 8 βασικές κατηγορίες: [6,11]

- 1) Βαλβίδα εκτόνωσης χειρός
- 2) Τριχοειδής σωλήνας
- 3) Αυτόματη βαλβίδα εκτόνωσης
- 4) Θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης
- 5) Ηλεκτρονική βαλβίδα εκτόνωσης
- 6) Βαλβίδα υψηλής πίεσης
- 7) Βαλβίδα χαμηλής πίεσης
- 8) Ρυθμιστής σταθερού επιπέδου

Για την θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης ο έλεγχος της ροής του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με την χρήση ενός θαλαμίσκου ελέγχου θερμοκρασίας, πληρωμένου με παρόμοιο αέριο με αυτό του συστήματος, που αναγκάζει την βαλβίδα να ανοίξει από την πίεση μέσω ελατηρίου στο σώμα της βαλβίδας όταν η θερμοκρασία εντός του θαλαμίσκου αυξηθεί. Για την ρύθμιση της πίεσης χρησιμοποιείται βελόνα-ακροφύσιο η οποία καθορίζει το άνοιγμα του διακένου και συνεπώς την πίεση και την θερμοκρασία στον ατμοποιητή. Υπάρχουν τρία βασικά μέρη σε μια βαλβίδα εκτόνωσης τα οποία

ρυθμίζουν την θέση της βελόνας. Όπως προαναφέρθηκε ο θαλαμίσκος-αισθητήρας στο τέλος του ατμοποιητή παρακολουθεί την διαφορά θερμοκρασίας στον ατμοποιητή και η διαφορά αυτή δημιουργεί μία αλλαγή στην πίεση επάνω στο διάφραγμα. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στον ατμοποιητή αυξηθεί, η πίεση στο διάφραγμα αυξάνεται με αποτέλεσμα η βελόνα να χαμηλώνει. Όταν η βελόνα χαμηλώσει, δίδεται η δυνατότητα στο ψυκτικό μέσο να περάσει διαμέσου της με αυξημένη παροχή μάζας και να απορρόφηση την περίσσεια και ανεπιθύμητη θερμότητα στον ατμοποιητή. Η πίεση στην είσοδο του ατμοποιητή επηρεάζει την θέση της βελόνας και αποτρέπει το εργαζόμενο μέσο από το να εισέλθει με οπισθορροή στον συμπιεστή. Αφού η πίεση πριν την βαλβίδα είναι μεγαλύτερη από την πίεση μετά από αυτήν, το ψυκτικό μέσο ρέει με φυσικό τρόπο προς τον ατμοποιητή. Επίσης η βαλβίδα διαθέτει και ένα ελατήριο το οποίο παρέχει συνεχή πίεση, κλείνοντας την βελόνα της βαλβίδας. Το ελατήριο περιορίζει συνεχώς την ποσότητα του ψυκτικού μέσου που εισέρχεται στον ατμοποιητή. Το ελατήριο πιέσεως μπορεί να ρυθμιστεί για να αυξήσει ή να μειώσει την πίεση βάση των θερμοκρασιακών απαιτήσεων. Η πίεση που δημιουργείται από το ελατήριο επιδρά στο άνοιγμα της βαλβίδας. Όταν η πίεση στον θαλαμίσκο ελέγχου θερμοκρασίας η οποία επιδρά στο διάφραγμα γίνει μεγαλύτερη από την συνδυαζόμενη πίεση ατμοποιητή και ελατηρίου, η βαλβίδα ανοίγει για να αυξηθεί η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου. Η αύξηση αυτή στην παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου χαμηλώνει την θερμοκρασία στον ατμοποιητή και επιτρέπει μεγαλύτερη απορρόφηση θερμότητας. [10-11]



Εικόνα 2.12: «Στραγγαλιστική βαλβίδα» [10]

Κεφάλαιο 3

3. Ψυκτικά μέσα

3.1 Γενικά περί ψυκτικών μέσων

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ψυκτικών εγκαταστάσεων επιβάλλει τη χρησιμοποίηση σε κάθε περίπτωση ψυκτικών μέσων ειδικών ιδιοτήτων. Συνέπεια τούτου είναι η χρήση πλήθους διαφορετικών ψυκτικών μέσων. Δεν υπάρχουν ιδανικά ψυκτικά μέσα που να πληρούν όλες τις απαιτήσεις. Γι' αυτό, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται εκλογή του καταλληλότερου ψυκτικού μέσου. Τα ψυκτικά μέσα είναι οι εργαζόμενες ουσίες σε μία ψυκτική εγκατάσταση και διακρίνονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Τα πρωτεύοντα ψυκτικά μέσα αφαιρούν τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης κατά τη μεταβολή της φάσεως τους από υγρό σε ατμό στον ατμοποιητή και χρησιμοποιούνται για την άμεση παραγωγή ψύξεως με μηχανική συμπίεση ατμών. Τα δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα, τα οποία ονομάζονται και ψυκτικά διαλύματα, χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις έμμεσης ψύξεως για τη μεταφορά της ψυκτικής ισχύος από το χώρο, όπου αυτή παράγεται, στο χώρο των ψυκτών αέρα που βρίσκονται στους ψυκτικούς θαλάμους. [3,12]

3.2 Ιστορική αναδρομή ψυκτικών μέσων

Στις αρχές του 1930 έγινε η εισαγωγή των χλωριωμένων-φθοριομένων υδρογονανθράκων, οι οποίοι ονομάζονται χλωροφθοράνθρακες (chlorofluorocarbons-CFCs). Αυτοί προσέφεραν σημαντικά πλεονεκτήματα, κυρίως στον τομέα της ασφάλειας κατά τη χρήση τους. Εκτός από ψυκτικά μέσα, οι χλωροφθοράνθρακες χρησιμοποιήθηκαν και ως προωθητικά αέρια σε αφρούς, σε αεροζόλ και σε καθαριστικά διαλύματα από το 1950, καθώς θεωρούνταν ασφαλή για τον άνθρωπο και αβλαβή για το περιβάλλον. Αυτές οι υποθέσεις, όπως θα δούμε παρακάτω αποδείχθηκαν ψευδείς. Πολλά ατυχήματα συνέβησαν εξαιτίας ασφυξίας, από τα βαριά αέρια σε κλειστούς χώρους. Αποδείχθηκε επίσης, ότι οι χλωροφθοράνθρακες και τα μείγματά τους συνεισφέρουν σημαντικά στην καταστροφή του στρώματος του όζοντος, που υπάρχει στη στρατόσφαιρα. Η μείωση του όζοντος της στρατόσφαιρας έχει άμεση σχέση με την αύξηση διαφόρων μορφών καρκίνων, κυρίως του δέρματος. Επίσης, οι χλωροφθοράνθρακες είναι αέρια θερμοκηπίου και έχουν συνεισφέρει στη βαθμιαία αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η θέρμανση του κλίματος κατατάσσεται στα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη. Το αέριο με τη μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ενώ οι χλωροφθοράνθρακες αποτελούν το 15-20% της επίδρασης στην παγκόσμια

κλιματική αλλαγή. Εξαιτίας της δυσκολίας του περιορισμού των παγκοσμίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και λόγω του φόβου των καταστροφικών επιπτώσεων των χλωροφθορανθράκων στο στρώμα του όζοντος, κρίθηκε επιβεβλημένη η απαγόρευσή τους και η αντικατάστασή τους με άλλα περιβαλλοντικά πιο ασφαλή ψυκτικά μέσα. Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των ψυκτικών μέσων δίνονται σε διαγράμματα p-h και σε πίνακες ιδιοτήτων κορεσμένου ατμού και υγρού από τους κατασκευαστές τους. Ανάμεσα στα θερμοδυναμικά στοιχεία των διαφόρων κατασκευαστών μπορεί να υπάρχουν μικρές διαφορές, οι οποίες όμως δεν έχουν επίδραση στους υπολογισμούς. [9]

3.3 Σημαντικές ιδιότητες ψυκτικών μέσων

Μια ουσία, για να αποτελέσει το εργαζόμενο ψυκτικό μέσο μίας εγκατάστασης πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες, οι οποίες εξασφαλίζουν την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία της. Οι κυριότερες απ' αυτές είναι οι εξής: [3]

- Τα ψυκτικά μέσα πρέπει να είναι περιβαλλοντικά ασφαλή, δηλαδή να μην προκαλούν καταστροφή του όζοντος της ατμόσφαιρας και να μην συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Τα ψυκτικά μέσα δεν πρέπει να είναι τοξικά και δηλητηριώδη, ώστε να δημιουργείται κίνδυνος για την ασφάλεια των εργαζομένων. Επίσης, τα ασφαλή ψυκτικά μέσα, μπορούν χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις, στις οποίες δεν υπάρχει προσωπικό συντήρησης, όπως οικιακά ψυγεία και κλιματιστικά.
- Για τους ίδιους λόγους ασφαλείας, τα ψυκτικά μέσα δεν πρέπει να είναι εύφλεκτα και εκρηκτικά.
- Τα ψυκτικά μέσα πρέπει να είναι άοσμα και άγευστα, καθώς σε αντίθετη περίπτωση, όταν υπάρξει μία διαρροή, υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης των τροφίμων που συντηρούνται σε έναν ψυκτικό θάλαμο.
- Τα ψυκτικά μέσα πρέπει να έχουν χημική σταθερότητα. Κατά τη λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης, το ψυκτικό μέσο διέρχεται από διάφορες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Κάτω από τις συνθήκες αυτές, το ψυκτικό μέσο δεν πρέπει να αλλοιώνεται και να μετασχηματίζεται σε άλλες χημικές ενώσεις.
- Τα ψυκτικά μέσα δεν πρέπει να αλληλοεπιδρούν χημικά με τα υλικά κατασκευής και στεγανοποίησης των διαφόρων μερών μιας ψυκτικής εγκατάστασης.
- Τα σημείο τήξεως πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερο από την ελάχιστη θερμοκρασία που συναντάται σε μία ψυκτική εγκατάσταση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος φραξίματος των σωληνώσεων.

- Ως προς τις πιέσεις λειτουργίας της εγκατάστασης, η πίεση συμπίεσης που απαιτείται για να έρθει το ψυκτικό μέσο σε θερμοκρασία μεγαλύτερη απ' αυτή του μέσου συμπύκνωσης, δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη παροχής μεγάλης ισχύος συμπίεσης. Επίσης, η πίεση ατμοποίησης που καθορίζεται από την επιθυμητή θερμοκρασία ατμοποίησης, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, ώστε να μην εισέρχεται αέρας στις σωληνώσεις της εγκατάστασης.
- Τα ψυκτικά μέσα πρέπει να έχουν μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα, ώστε να περιορίζεται η παροχή μάζας που κυκλοφορεί σε μια εγκατάσταση. Αυτό έχει ως συνέπεια την ανάγκη για μικρές διατομές και διαστάσεις των σωληνώσεων και των εξαρτημάτων και επί πλέον επιτυγχάνεται μείωση του μεγέθους και του έργου του συμπιεστή.
- Ο ειδικός όγκος του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του συμπιεστή πρέπει να είναι μικρός, ώστε να μην απαιτείται μεγάλη ογκομετρική ικανότητα του συμπιεστή.
- Τα ψυκτικά μέσα πρέπει να είναι οικονομικά, καθώς απαιτούνται μεγάλες ποσότητες σε εγκαταστάσεις με μεγάλη ισχύ και έκταση

3.4 Κατηγοριοποίηση ψυκτικών μέσων

Τα κυριότερα πρωτεύοντα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα, κατατάσσονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες: [13]

α) Τα ανόργανα ψυκτικά μέσα. Είναι ουσίες που δεν προέρχονται από οργανικές ουσίες. Οι κυριότερες ανόργανες ουσίες που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα είναι:

- Η αμμωνία (NH₃)
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Το διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Το νερό (H₂O)
- Ο αέρας

β) Τα αλογονούχα ψυκτικά μέσα, που με τη σειρά τους κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbons- CFCs)
- Υδροχλωροφθοράνθρακες (Hydrochlorofluorocarbons-HCFCs)
- Υδροφθοράνθρακες (Hydrofluorocarbons- HFCs)

Παρακάτω γίνεται μια περιγραφή των ιδιοτήτων και των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται τα πιο βασικά ανόργανα ψυκτικά μέσα.

R717-Αμμωνία (NH₃).

Η αμμωνία χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως ψυκτικό μέσο για ψυκτικές εγκαταστάσεις παραγωγής ψύξης με απορρόφηση το 1859. Σήμερα η αμμωνία αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα ψυκτικά μέσα, η δε θερμοκρασιακή περιοχή εφαρμογής της εκτείνεται από τους -60 °C έως τους 10 °C. Μοριακό βάρος 17,03. Σημείο ζέσεως -33,4 °C. Η αμμωνία χαρακτηρίζεται κυρίως από το πολύ χαμηλό κόστος αγοράς και τις πολύ ευνοϊκές θερμοδυναμικές ιδιότητες της. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου η τοξικότητα της αποτελεί μειονέκτημα δευτερευούσης σημασίας. Η ογκομετρική ψυκτική απόδοση (θερμότητα ατμοποίησης) της αμμωνίας είναι πολύ υψηλή και είναι η μεγαλύτερη όλων των ψυκτικών μέσων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε ψυκτικές εγκαταστάσεις μεσαίου και μεγάλου μεγέθους με εμβολοφόρους παλινδρομικούς συμπιεστές. Η διαλυτότητα του νερού σε αμμωνία είναι απεριόριστη και από το διάλυμα αυτό είναι δυνατόν να εκδιωχθεί πλήρως η αμμωνία απλά με θέρμανση. Η αμμωνία ως ψυκτικό μέσο διαλύεται ελάχιστα στα λιπαντικά έλαια. Βασικό μειονέκτημα της αμμωνίας είναι η ισχυρή της τοξικότητα, έχει όμως διαπεραστική προειδοποιητική οσμή και γίνεται αντιληπτή ακόμα και σε πολύ μικρή περιεκτικότητα της τάξεως των 5 PPM. [3,13]

R744-Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Το διοξείδιο του άνθρακα δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα ως ψυκτικό μέσο στις ψυκτικές εγκαταστάσεις, λόγω των υψηλών πιέσεων στις οποίες οδηγεί η χρήση του. Οι υψηλές πιέσεις εντός των εγκαταστάσεων συνεπάγονται βαριές και αντισυμβατικές κατασκευές. Το διοξείδιο του άνθρακα ήταν σε χρήση κυρίως σε ψυκτικές εγκαταστάσεις πλοίων. Αν και το διοξείδιο του άνθρακα μέχρι πρόσφατα είχε βασικά εκτοπισθεί από τα νεότερα ψυκτικά μέσα, τα παράγωγα του μεθανίου και του αιθανίου, επανήλθε τα τελευταία χρόνια για οικονομικούς κυρίως λόγους ως πιθανή λύση αντικατάστασης των απαγορευθέντων παραγώγων του μεθανίου και του αιθανίου που περιέχουν χλώριο. Κρίσιμη θερμοκρασία 31,1 °C. [3]

R764-Διοξείδιο του θείου (SO₂).

Το διοξείδιο του θείου χρησιμοποιούταν συχνά σε οικιακά ψυγεία από το 1920 έως το 1940. Θερμοκρασία ατμοποίησης -10,0 °C. Είναι διαβρωτικό και τοξικό. Η χρήση του έχει ολοκληρωθεί ως ψυκτικό λόγω των έντονων προβλημάτων υγείας που προκαλεί η διαρροή του και της τοξικότητάς του. [3]

Τα ψυκτικά μέσα που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, είναι τεχνητά, παρασκευασμένες ουσίες. Τα CFCs, HCFCs και HFCs προέρχονται από

υδρογονάνθρακες, στους οποίους κάποια άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από άτομα των αλογόνων φθορίου ή χλωρίου. Τα ψυκτικά μέσα που προκύπτουν από τη διαδικασία της αλογόνωσης δεν είναι εκρηκτικά, όπως οι υδρογονάνθρακες από τους οποίους προέρχονται, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μεγαλύτερη ασφάλεια.

Παρακάτω γίνεται μια περιγραφή των ιδιοτήτων των πιο βασικών αλογονούχων ψυκτικών μέσων.

Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) ήταν τα πρώτα αλογονούχα ψυκτικά μέσα. Τα πιο διαδεδομένα είναι τα R-12, R-11, R-113, R-114, R-115, R-500, R-502, R-503. Τα R-500, R-502, R-503 είναι αζεοτροπικά μείγματα, ένα συστατικό των οποίων είναι χλωροφθοράνθρακας, οπότε έχουν καταταγεί σε αυτήν την κατηγορία των ψυκτικών μέσων. [14]

Υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs)

Οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) προέρχονται από άτομα μεθανίου (CH₄) ή αιθανίου (C₂H₆), τα οποία είναι μερικώς αλογονωμένα. Αυτό σημαίνει ότι έχουν κάποια άτομα υδρογόνου, ενώ κάποια άλλα έχουν αντικατασταθεί από άτομα χλωρίου ή φθορίου. Οι πιο συνηθισμένοι υδροχλωρο-φθοράνθρακες είναι το R-22 και το R-123. Επίσης, υδροχλωροφθοράνθρακες είναι και τα ζεοτροπικά μείγματα R-401, R-402, R-404, R-406. [14]

Υδροφθοράνθρακες (HFCs)

Οι υδροφθοράνθρακες (HFCs) έχουν παρόμοια χημική σύσταση με τους HCFC, με τη διαφορά ότι δεν περιέχουν άτομα χλωρίου. Σε αυτούς αντικατάσταση των ατόμων υδρογόνου έχει γίνει μόνο με άτομα φθορίου. Οι πιο συνηθισμένοι υδροφθοράνθρακες (HFCs) είναι το R-134a και το R-23. Το R-134a δεν έχει επίπτωση στο όζον και συνεισφορά στην παγκόσμια θέρμανση και χρησιμοποιείται κατά κόρον σε νέες εγκαταστάσεις και ως αντικαταστάτης του R-12. [14]

Τέλος ως ψυκτικά μέσα χρησιμοποιούνται και αζεοτροπικά και ζεοτροπικά μείγματα ψυκτικών μέσων. Τα αζεοτροπικά μείγματα δεν διαχωρίζονται στις διάφορες φάσεις λειτουργίας της ψυκτικής εγκατάστασης, δηλαδή ατμοποιούνται και συμπυκνώνονται ενιαία ως μια ουσία. Από την άλλη τα ζεοτροπικά μείγματα δεν λειτουργούν ως μια ενιαία ουσία, αλλά μπορεί η ογκομετρική τους σύσταση και η θερμοκρασία κορεσμού να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ατμοποίησης και της συμπυκνώσεώς τους. [15]

3.5 Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητά τους.

Τα ψυκτικά μέσα χωρίζονται ως προς την τοξικότητά τους σε δύο ομάδες που χαρακτηρίζονται με ένα γράμμα, το Α ή το Β.

- Τα ψυκτικά μέσα της ομάδας Α δεν είναι τοξικά.
- Τα ψυκτικά μέσα της ομάδας Β είναι τοξικά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 400 ppm.

Ως προς την εκρηκτικότητά τους, τα ψυκτικά μέσα χαρακτηρίζονται από έναν από τους αριθμούς 1, 2 ή 3.

- Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας 1 δεν είναι εκρηκτικά και η καύση τους δεν είναι συνεχής σε αέρα με πίεση 14,7 psia και θερμοκρασία 21,11 °C.
- Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας 2 είναι μέτρια εκρηκτικά, δηλαδή η καύση τους δεν είναι συνεχής σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 0,100115 kg/m³ σε αέρα με πίεση 14,7 psia και θερμοκρασία 21,11 °C. Η ειδική θερμογόνο δύναμή τους είναι μικρότερη από 20268.764 kJ/kg.
- Τα ψυκτικά μέσα κατηγορίας 3 είναι πολύ εκρηκτικά, δηλαδή η καύση τους δεν είναι συνεχής σε συγκέντρωση μικρότερη από 0,100115 kg/m³ σε αέρα με πίεση 14,7 psia και θερμοκρασία 21,11 °C. Η ειδική θερμογόνο δύναμή τους είναι μεγαλύτερη από 20268.764 kJ/kg.

Σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση, υπάρχουν συνολικά έξι κατηγορίες ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητα, με την κατηγορία Α1 να είναι η ασφαλέστερη, ενώ η Β3 είναι η πιο επικίνδυνη. [16]

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση.

| | Χαμηλή Τοξικότητα | Υψηλή Τοξικότητα |
|----------------------|-------------------|------------------|
| Υψηλή Εκρηκτικότητα | A3 | B3 |
| Μέτρια Εκρηκτικότητα | A2 | B2 |
| Δεν μεταδίδει φλόγα | A1 | B1 |

Πίνακας 3.1: «Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς την τοξικότητα και την εκρηκτικότητά τους κατά ASHRAE». [16]

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με ψυκτικά μέσα ταξινομημένα ως προς την χημική οικογένεια που ανήκουν. Ο πίνακας αυτός περιέχει επίσης, το εμπορικό και χημικό όνομα, το χημικό τύπο, το μοριακό βάρος, την θερμοκρασία του κανονικού σημείου βρασμού και την κατηγορία ως προς την τοξικότητα και εκρηκτικότητα των περισσότερων ψυκτικών μέσων.

| Ψυκτικά μέσα | | Χημικός Τύπος | Μοριακό Βάρος | Κανονικό Σημείο Βρασμού | | Ομάδα Ασφάλει ας |
|----------------|---|-------------------------------------|------------------|----------------------------|------|------------------------|
| Αριθμός | Χημικό Όνομα | | | (°C) | (°F) | |
| Methane Series | | | | | | |
| 11 | trichlorofluoromethane | CCl ₃ F | 137.4 | 24 | 75 | A1 |
| 12 | dichlorodifluoromethane | CCl ₂ F ₂ | 120.9 | -30 | -22 | A1 |
| 12B1 | bromochlorodifluoromethane | CBrClF ₂ | 165.4 | -4 | 25 | |
| 13 | chlorotrifluoromethane | CClF ₃ | 104.5 | -81 | -115 | A1 |
| 13B1 | bromotrifluoromethane | CBrF ₃ | 148.9 | -58 | -72 | A1 |
| 14 | tetrafluoromethane (carbon tetrafluoride) | CF ₄ | 88.0 | -128 | -198 | A1 |
| 21 | dichlorofluoromethane | CHCl ₂ F | 102.9 | 9 | 48 | B1 |
| 22 | chlorodifluoromethane | CHClF ₂ | 86.5 | -41 | -41 | A1 |
| 23 | trifluoromethane | CHF ₃ | 70.0 | -82 | -116 | A1 |
| 30 | Dichloromethane (methylene chloride) | CH ₂ Cl ₂ | 84.9 | 40 | 104 | B2 |
| 31 | chlorofluoromethane | CH ₂ ClF | 68.5 | -9 | 16 | |
| 32 | difluoromethane (methylene fluoride) | CH ₂ F ₂ | 52.0 | -52 | -62 | A2 |
| 40 | chloromethane (methyl chloride) | CH ₃ Cl | 50.5 | -24 | -12 | B2 |
| 41 | fluoromethane (methyl fluoride) | CH ₃ F | 34.0 | -78 | -108 | |
| 50 | methane | CH ₄ | 16.0 | -161 | -259 | A3 |
| Ethane Series | | | | | | |
| 113 | 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane | CCl ₂ FCClF ₂ | 187.4 | 48 | 118 | A1 |
| 114 | 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane | CClF ₂ CClF ₂ | 170.9 | 4 | 38 | A1 |
| 115 | chloropentafluoroethane | CClF ₂ CF ₃ | 154.5 | -39 | -38 | A1 |
| 116 | hexafluoroethane | CF ₃ CF ₃ | 138.0 | -78 | -109 | A1 |
| 123 | 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane | CHCl ₂ CF ₃ | 153.0 | 27 | 81 | B1 |
| 124 | 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane | CHClFCF ₃ | 136.5 | -12 | 10 | A1 |
| 125 | pentafluoroethane | CHF ₂ CF ₃ | 120.0 | -49 | -56 | A1 |
| 134a | 1,1,1,2-tetrafluoroethane | CH ₂ FCF ₃ | 102.0 | -26 | -15 | A1 |
| 141b | 1,1-dichloro-1-fluoroethane | CH ₃ CCl ₂ F | 117.0 | 32 | 90 | |
| 142b | 1-chloro-1,1-difluoroethane | CHClCF ₂ | 100.5 | -10 | 14 | A2 |
| 143a | 1,1,1-trifluoroethane | CH ₃ CF ₂ | 84.0 | -47 | -53 | A2 |
| 152a | 1,1-difluoroethane | CH ₃ CHF ₂ | 66.0 | -25 | -13 | A2 |
| 170 | ethane | CH ₃ CH ₃ | 30.0 | -89 | -128 | A3 |

Πίνακας 3.2: «Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς τη χημική οικογένεια κατά ASHRAE» [16]

| Ψυκτικό Μέσο | | Χημικός Τύπος | Μοριακό Βάρος | Κανονικό Σημείο Βρασμού | | Ομάδα Ασφαλεί ας |
|---------------------------------|----------------------------------|---|------------------|----------------------------|------|------------------------|
| Αριθμός | Χημικό Όνομα | | | (°C) | (°F) | |
| Propane Series | | | | | | |
| 218 | octafluoropropane | CF ₃ CF ₂ C F ₃ | 188.0 | -37 | -35 | A1 |
| 236fa | 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane | CF ₃ CH ₂ C F ₃ | 152.0 | -1 | 29 | A1 |
| 245fa | 1,1,1,3,3-pentafluoropropane | CF ₃ CH ₂ C HF ₂ | 134.0 | 15 | 59 | A1 |
| 290 | propane | CH ₃ CH ₂ CH ₃ | 44.0 | -42 | -44 | A3 |
| Cyclic Organic Compounds | | | | | | |
| C318 | octafluorocyclobutane | -(CF ₂) ₄ - | 200.0 | -6 | 21 | |
| Miscellaneous Organic Compounds | | | | | | |
| hydrocarbons | | | | | | |
| 600 | butane | CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃ | 58.1 | 0 | 31 | A3 |
| 600a | isobutane | CH(CH ₃) ₂ CH ₃ | 58.1 | -12 | 11 | A3 |
| oxygen compounds | | | | | | |
| 610 | ethyl ether | CH ₃ CH ₂ OCH ₂ CH ₃ | 74.1 | 35 | 94 | |
| 611 | methyl formate | HCOOC H ₃ | 60.0 | 32 | 89 | B2 |
| sulfur compounds | | | | | | |
| 620 | (Reserved for future assignment) | | | | | |
| Nitrogen Compounds | | | | | | |
| 630 | methyl amine | CH ₃ NH ₂ | 31.1 | -7 | 20 | |
| 631 | ethyl amine | CH ₃ CH ₂ NH ₂ | 45.1 | 17 | 62 | |
| Inorganic Compounds | | | | | | |
| 702 | hydrogen | H ₂ | 2.0 | -253 | -423 | A3 |
| 704 | helium | He | 4.0 | -269 | -452 | A1 |
| 717 | ammonia | NH ₃ | 17.0 | -33 | -28 | B2 |

Πίνακας 3.2: «Συνέχεια»

| Ψυκτικό Μέσο | | Χημικός Τύπος | Μοριακό Βάρος | Κανονικό Σημείο Βρασμού | | Ομάδα Ασφαλεί ας |
|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------|----------------------------|------|------------------------|
| Αριθμός | Χημικό Όνομα | | | (°C) | (°F) | |
| Inorganic Compounds | | | | | | |
| 718 | water | H ₂ O | 18.0 | 100 | 212 | A1 |
| 720 | neon | Ne | 20.2 | -246 | -411 | A1 |
| 728 | nitrogen | N ₂ | 28.1 | -196 | -320 | A1 |
| 732 | oxygen | O ₂ | 32.0 | -183 | -297 | |
| 740 | argon | Ar | 39.9 | -186 | -303 | A1 |
| 744 | carbon dioxide | CO ₂ | 44.0 | -78 | -109 | A1 |
| 744A | nitrous oxide | N ₂ O | 44.0 | -90 | -129 | |
| 764 | sulfur dioxide | SO ₂ | 64.1 | -10 | 14 | B1 |
| Unsaturated Organic Compounds | | | | | | |
| 1150 | ethene (ethylene) | CH ₂ =CH ₂ | 28.1 | -104 | -155 | A3 |
| 1270 | propene (propylene) | CH ₃ CH=CH ₂ | 42.1 | -48 | -54 | A3 |

Πίνακας 3.2: «Συνέχεια»

3.6 Ονοματολογία ψυκτικών μέσων

Τα ψυκτικά αναγνωρίζονται με το γράμμα R το οποίο ακολουθείται από τριψήφιο αριθμό σύμφωνα με την κατάταξη της ASHRAE. Για ανόργανα ρευστά, το πρώτο ψηφίο είναι πάντα 7 το οποίο ακολουθείται από το μοριακό βάρος του ψυκτικού. Για παράδειγμα R717 είναι η αμμωνία, R744 είναι το διοξείδιο του θείου και R718 είναι το νερό. Οι ουσίες που περιέχουν χλώριο και φθόριο και προέρχονται από κορεσμένους υδρογονάνθρακες όπως το μεθάνιο και αιθάνιο έχουν γενικό χημικό τύπο C_n H_a F_b Cl_γ.

Έτσι εάν RXYZ είναι ο γενικός τύπος των παραπάνω ουσιών τότε ισχύει:

- X=(εάν n-1=0 τότε παραλείπεται)
- Y=a+1
- Z=β

Η γνώση του παραπάνω τριψήφιου αριθμού βοηθά στον υπολογισμό του γ, τον αριθμό των ατόμων Cl, καθώς πρέπει να ισχύει $a+\beta+\gamma=2n+2$ για τον κορεσμένο υδρογονάνθρακα. Ουσίες που προέρχονται από το αιθάνιο παρουσιάζουν αρκετά ισομερή (ουσίες που έχουν τον ίδιο χημικό τύπο αλλά διαφέρουν στο βαθμό συμμετρίας). Για να τα ξεχωρίσουμε εισάγουμε τα γράμματα a, b και ούτω καθεξής.

Ένας απλός τρόπος για να συσχετίσουμε το αριθμό του ψυκτικού με τη χημική φόρμουλα είναι η προσθήκη του 90 στον αριθμό του ψυκτικού. Το αποτέλεσμα δίνει με τη σειρά των αριθμό των ατόμων άνθρακα, υδρογόνου και φθορίου. Τέλος τα αζεοτροπικά μείγματα συμβολίζονται με R5XX ενώ τα μη-αζεοτροπικά με R4XX(όπου XX είναι ο εμπορικός κωδικός που έχει δοθεί στην ουσία). [12]

3.7 Φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα

Τα ψυκτικά μέσα που όταν εκλύονται στην ατμόσφαιρα δεν έχουν περιβαλλοντική επίδραση χρησιμοποιούνται σε ανοικτούς ψυκτικούς κύκλους. Είναι ουσίες που βρίσκονται σε αφθονία στη φύση από όπου συλλέγονται με διαδικασίες κρυογονικής και στη συνέχεια απελευθερώνονται. Τα αέρια αυτής της κατηγορίας έχουν χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης και προέρχονται από την υγροποίηση και την κλασματική απόσταξη του ατμοσφαιρικού αέρα. [16]

3.8 Περιγραφή ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει μια γενική περιγραφή των ιδιοτήτων και των εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιούνται τα ψυκτικά μέσα που επιλέχθηκαν σε αυτή την διπλωματική. Λόγω της ανακάλυψης της βλαβερής επίδρασης των CFC και HCFC για τη στιβάδα του όζοντος, όλα τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στην οικογένεια των HFC, η οποία έχει μηδενική συνεισφορά στην καταστροφή του όζοντος. Είναι προφανές ότι, για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων θα πρέπει να γίνει σύγκριση ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται στις ίδιες ή παρόμοιες εφαρμογές. Σε διαφορετική περίπτωση η σύγκριση των ψυκτικών μέσων οδηγεί σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

R32

Το R32 ή επίσης γνωστό ως διφθορομεθάνιο, είναι ένα ψυκτικό μέσο που δοκιμάζεται κυρίως σε συστήματα οικιακού κλιματισμού. Διαθέτει δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη $GWP = 675$, τιμή που το καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικό, καθώς είναι σημαντικά μικρότερη από τις τιμές που συναντώνται στα άλλα ψυκτικά μέσα για παρόμοιες εφαρμογές. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ASHRAE ταξινομείται ως A2, ή ελαφρώς εύφλεκτο. Γενικά, όσο χαμηλότερη είναι η ευφλεκτότητα ενός ψυκτικού, το GWP είναι μεγαλύτερο. Το R32 θεωρείται μια ιδανική εναλλακτική λύση, επειδή δεν είναι πολύ εύφλεκτο, έχει χαμηλή τοξικότητα και έχει δοκιμαστεί με επιτυχία στο

εξωτερικό. Λόγω των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο για το σύστημα και την απόδοση του συμπιεστή, έτσι αποτελεί συστατικό σε πολλά μίγματα HFC. [17]

R134a

Το R134a είναι ένα πρωτογενές, αζεοτροπικό ψυκτικό ρευστό, επίσης γνωστό ως τετραφθοροαιθάνιο (CF₃CH₂F). Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ASHRAE ταξινομείται ως A1. Είναι παγκόσμια αποδεκτό και χρησιμοποιείται πλέον σχεδόν αποκλειστικά σε οικιακά και επαγγελματικά ψυγεία συντήρησης, κλιματιστικά αυτοκινήτων και σε μερικές περιπτώσεις μεγάλων ψυκτικών συγκροτημάτων νερού για κλιματισμό. Επίσης αποτελεί συστατικό σε πολλά ψυκτικά μίγματα HFC. [18]

R407c

Το R407c είναι και αυτό ένα ζεοτροπικό ψυκτικό μείγμα αποτελούμενο από: 23% R32, 25% R125, 52% R134a. Το κάθε συστατικό του μίγματος εξυπηρετεί και μία σκοπιμότητα, για παράδειγμα το R32 του προσδίδει υψηλή θερμοχωρητικότητα, το R125 του μειώνει την αναφλεξιμότητα, ενώ το R134a του μειώνει την κρίσιμη πίεση. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ASHRAE ταξινομείται ως A1. Το R407c χρησιμοποιείται κυρίως σαν ψυκτικό μέσο σε οικιακά ή μικρής ισχύος εμπορικά κλιματιστικά, με σκοπό την αντικατάσταση του ψυκτικού μέσου R22, που προβλέπεται να καταργηθεί μέχρι το 2020. Οι θερμοδυναμικές του ιδιότητες δεν του επιτρέπουν την εφαρμογή του σε χαμηλές θερμοκρασίες, λόγω της σημαντικής πτώσης του συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης. [10]

R410a

Το R410a είναι ένα σχεδόν αζεοτροπικό μείγμα αποτελούμενο από: 50% R32, 50% R125. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ASHRAE ταξινομείται ως A1. Το R410a είναι και αυτό υποψήφιος αντικαταστάτης του R22 καθώς έχει πολύ υψηλότερες πιέσεις. Συγκεκριμένα οι πιέσεις συμπύκνωσης του συστήματος είναι 9-10 bar υψηλότερες από του R22, ενώ η απόδοση του συστήματος είναι παρόμοια με το R22. Για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα του R410a, ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αξιοποιεί τις καλύτερες θερμικές ιδιότητες του ψυκτικού. Για το λόγο αυτό, το R410a, χρησιμοποιείται μόνο σε νέες και όχι σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν R410a έχουν συμπιεστές που λειτουργούν με λιπαντικό πολυελεστέρα (POE). [19]

R404a

Το R404a είναι ένα αζεοτροπικό ψυκτικό μείγμα αποτελούμενο από: 44% R124, 52% R143a, 4% R134a. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ASHRAE ταξινομείται ως A1. Το R404A είναι ευρέως διαδεδομένο σε εφαρμογές ψύξης χαμηλών και μεσαίων θερμοκρασιών, όπως αυτές που συνηθίζονται στο επαγγελματικά ψυγεία. Παρόλο που έχει κοινώς αποδεχτεί ως εναλλακτική του R22, το R404a οδεύει προς αντικατάσταση εξαιτίας του υψηλού δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη. **[20]**

R152a

Το R152a ή επίσης γνωστό ως διφθοροαιθάνιο, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ASHRAE ταξινομείται ως A2. Αυτή η ελαφρώς αναφλεξιμότητά του αποτελεί το κύριο μειονέκτημα του περιορίζοντας την χρήση του, αυτήν την στιγμή, σε εφαρμογές κλιματισμού στην αυτοκινητοβιομηχανίας. Όμως λόγω των εξαιρετικών θερμοδυναμικών ιδιοτήτων και των ελάχιστων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχει η χρήση του, αξίζει να μελετηθεί για τυχόν μελλοντική χρήση του και σε άλλες ψυκτικές εφαρμογές. Επίσης, λόγω των παραπάνω οφελών αποτελεί συστατικό σε πολλά ψυκτικά μίγματα HFC, όπως και το R32 και R134a. **[10]**

Κεφάλαιο 4

4. Περιβάλλον και κλιματισμός

4.1 Γενικά περί περιβαλλοντικών προβλημάτων

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η ενεργειακή κατανάλωση, η βιομηχανία, οι μεταφορές, η γεωργία, ο τουρισμός επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η προστασία του απαιτεί κατάλληλο πολιτικό σχεδιασμό, ορθολογική διαχείριση ενέργειας και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Είναι σε όλους γνωστή η καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος και η εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου που οδηγούν στην κλιματική αλλαγή. Στις παρακάτω υποενότητες θα γίνει συνοπτική περιγραφή αυτών των βασικών περιβαλλοντικών προβλημάτων καθώς και η συσχέτισή τους με τον κλιματισμό.

4.2 Κλιματική αλλαγή

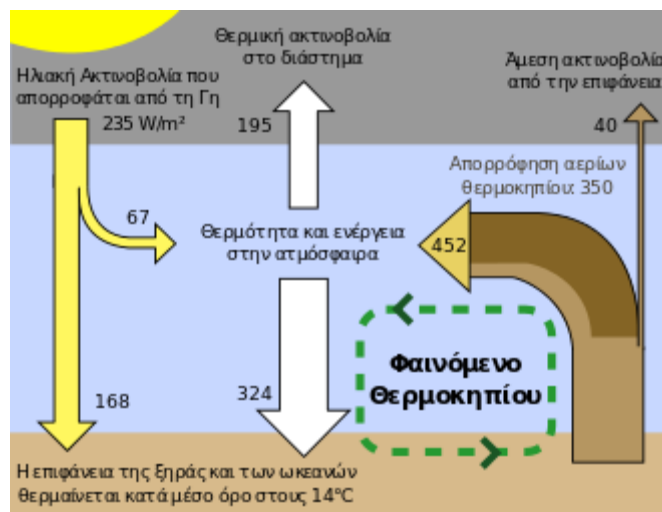
Η κλιματική αλλαγή είναι ένα θέμα ιδιαίτερα ευαίσθητο τις τελευταίες δεκαετίες καθώς οι επιπτώσεις της γίνονται ολοένα και πιο αισθητές. Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ετών. Η κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω της εντατικοποίησης των φαινομένων του θερμοκηπίου. [21]

4.3 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ορίζεται ως το φαινόμενο το οποίο η ατμόσφαιρα του πλανήτη συγκρατεί θερμότητα και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι σύγχρονο καθώς έχει ανακαλυφθεί από τον Γάλλο επιστήμονα Ζοζέφ Φουριέ το 1838, ενώ η συστηματική διερεύνηση πραγματοποιήθηκε από τον Σουηδό χημικό Σβάντε Αρρένιους στον οποίο οφείλεται και η ονομασία του φαινομένου. Αν και είναι μια παρεξηγημένη έννοια σήμερα είναι αυτό που καθιστά την γη κατοικήσιμη. Παρακάτω παρουσιάζεται ο μηχανισμός δημιουργίας του.

Μηχανισμός δημιουργίας

Η Γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου 1.966 W/m^2 , στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης. Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 32% από την ατμόσφαιρα, κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς. Λόγω της θερμοκρασίας της, η Γη εκπέμπει επίσης θερμική ακτινοβολία, η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος, σε αντίθεση με την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι μικρού μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην μεγάλη μήκους κύματος, γήινη ακτινοβολία, έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της, ποσοστό περίπου 71%. Η ίδια η ατμόσφαιρα επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη, μαζί με τον Ήλιο, πηγή θερμότητας. Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση περίπου -18°C .



Εικόνα 4.1: «Σχηματική απεικόνιση φαινομένου θερμοκηπίου» [22]

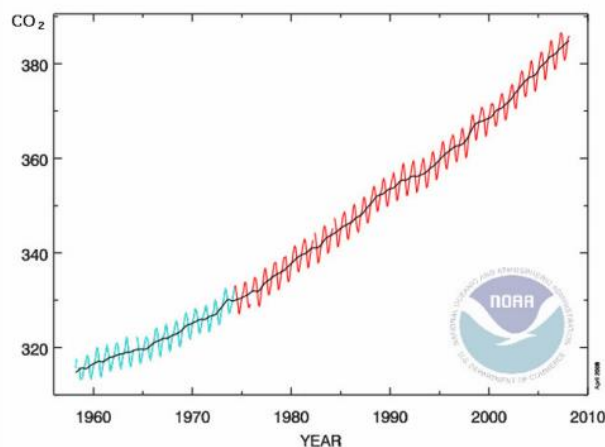
Αέρια του θερμοκηπίου

Όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναφέρονται συνολικά με τον όρο αέρια του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα τα αέρια αυτά είναι όσα απορροφούν την μεγάλη μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία θερμαίνοντας την επιφάνεια της γης. Ορισμένα αέρια, όπως το όζον, έχουν ημιδιαφάνεια στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μέρος της, συμβάλλοντας ως ένα βαθμό και στην ψύξη της γήινης επιφάνειας. Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 και έχουν όγκο μικρότερο από 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. [23]

Τα σημαντικότερα είναι:

- Οι υδρατμοί (H₂O)
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Το μεθάνιο (CH₄)
- Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O)
- Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs)
- Το τροποσφαιρικό όζον (O₃).

Κάθε μεταβολή στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων, διαταράσσει το ενεργειακό ισοζύγιο, προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου κλιματικές αλλαγές. Οι υδρατμοί, αν και απορροφούν το 65% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν φαίνεται να έχουν επηρεαστεί άμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων αερίων έχουν μεταβληθεί σημαντικά με σημαντικότερη τη μεταβολή του CO₂, καθώς αποτελεί αέριο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με την καύση του πετρελαίου, του κάρβουνου και άλλων ορυκτών καυσίμων. [21,23]



Εικόνα 4.2: «Αύξηση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα ppm στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με μετρήσεις στο αστεροσκοπείο Mauna Loa στη Χαβάη.» [22]

4.4 Τρύπα του όζοντος

Το δεύτερο μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλεί ανησυχίες στις μέρες μας είναι η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος η λεγόμενη «τρύπα του όζοντος».

Η στιβάδα του όζοντος

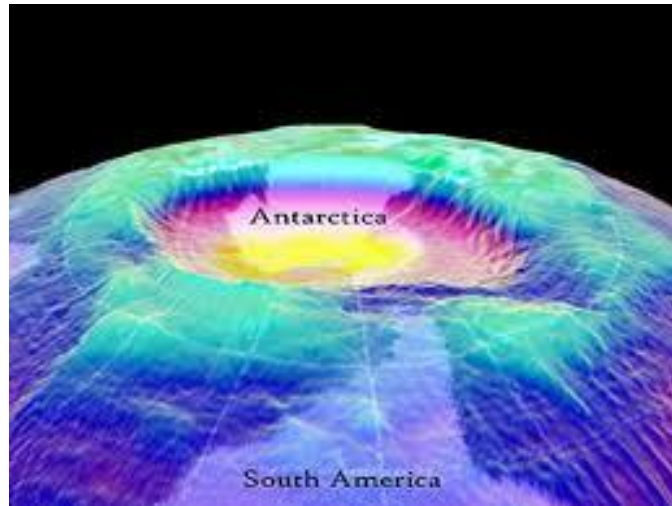
Το όζον αποτελεί ένα από τα συστατικά της γήινης ατμόσφαιρας και παρόλο που συνιστά μικρό μόνο ποσοστό των συστατικών της ,αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ύπαρξη ζωής πάνω στον πλανήτη. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται στην στρατόσφαιρα σε ύψος 20-25 km, ακόμη και εκεί όμως μόνο 1 στα 100.000 μόρια αέρος είναι όζον. Κι όμως, το λεπτό αυτό στρώμα μας προστατεύει από τις επικίνδυνες υπεριώδεις ακτινοβολίες (UV) και ιδιαίτερα από τις υπεριώδεις Β (UV-B). Οι ακτινοβολίες αυτές μπορούν να προκαλέσουν καρκίνους του δέρματος, βλάβες στους οφθαλμούς και σημαντικές ζημιές στα οικοσυστήματα και τη γεωργία. [24]

Τρύπα του όζοντος

Ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το στρώμα του όζοντος που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης μειώνεται σε πάχος πάνω από την Ανταρκτική. Επειδή το λεπτότερο σημείο του είναι πάνω από το Νότιο Πόλο, η μείωση του πάχους του στρώματος έχει ως αποτέλεσμα την ονομαζόμενη «τρύπα» στο στρώμα του όζοντος. [24]

Ουσίες που καταστρέφουν το όζον

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, οι ερευνητές ξεκίνησαν τις έρευνες ως προς τα αποτελέσματα των διάφορων χημικών ουσιών στο στρώμα του όζοντος. Από τις έρευνες αυτές προέκυψε ότι, το σημαντικότερο ρόλο στη μείωση του όζοντος παίζει το χλώριο, το οποίο περιέχεται σε διάφορες ενώσεις, οι οποίες ονομάζονται χλωροφθοράνθρακες (CFCs). Άλλες ενώσεις που περιέχουν το χλώριο είναι το μεθυλοχλωροφόρμιο ($C_2H_3Cl_3$) που είναι διαλύτης και ο τετραχλωράνθρακας (CCL_4) που είναι βιομηχανικό προϊόν. Επίσης τα Halons και το βρωμομεθάνιο (CH_3Br) είναι χημικές ουσίες που συμμετέχουν και αυτές στην καταστροφή του Όζοντος. Τέλος τα οξειδία του αζώτου που περιέχονται στα καυσαέρια των αυτοκινήτων και των αεροπλάνων, όπως και οι πυρηνικές εκρήξεις και τα αζωτούχα λιπάσματα δημιουργούν και αυτά πρόβλημα στο Όζον. [25]



Εικόνα 4.3: «Τρύπα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική.» [24]

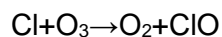
Στο κομμάτι αυτό θα αναπτύξουμε τις ενώσεις των χλωροφθορανθράκων καθώς αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με τον κλιματισμό.

Επίδραση των CFCs (χλωροφθοράνθρακες)

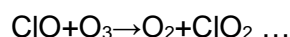
Από το 1930 μια οικογένεια χημικών ουσιών αναπτύχθηκε από τον Midgley. Οι ουσίες αυτές ήταν οι CFCs (χλωροφθοράνθρακες) που χρησιμοποιήθηκαν χωρίς περιορισμούς για 40 περίπου χρόνια σε διάφορες δραστηριότητες: ως ψυκτικά μέσα σε συστήματα ψύξης-κλιματισμού, σε aerosols, στη βιομηχανία πλαστικών, ως διαλυτικά μέσα, σε προϊόντα πυρόσβεσης και αλλού. Η σύγχρονη διεθνής επιστημονική αντίληψη όμως θεωρεί ότι οι πολύ σταθερές ενώσεις τύπου CFCs έχουν καταστροφική δράση στο περιβάλλον. Η δράση του χλωρίου που προέρχεται από τους CFCs είναι η κατ' εξοχήν βάση ερμηνείας της ραγδαίας καταστροφής του στρώματος του όζοντος. [26]

- Οι CFCs δεν είναι υδατοδιαλυτοί όπως οι περισσότερες ουσίες που περιέχουν χλώριο και δεν απομακρύνονται από την τροπόσφαιρα.
- Τα μόρια τους είναι πολύ σταθερά και δεν διασπώνται στην ατμόσφαιρα αλλά ανέρχονται στη στρατόσφαιρα.
- Στη στρατόσφαιρα έχουμε θραύση των χημικών τους δεσμών με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας ελευθερώνοντας έτσι άτομα χλωρίου.
- Αυτό το χλώριο δρα ως καταλύτης, μετατρέποντας δυο μόρια όζοντος σε τρία άτομα οξυγόνου.

Σύμφωνα με την θεωρία των Rowland/Molina το σταθερό μόριο CFC θα μεταφερθεί στην στρατόσφαιρα και θα αποδομηθεί από την απορρόφηση υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας μεγάλης ενέργειας. Τα ελεύθερα άτομα χλωρίου ή βρωμίου (ελεύθερες ρίζες) θα αντιδράσουν με τα μόρια του όζοντος ως εξής:



Το μόριο ClO δεν είναι σταθερό και θα συνεχίσει να αντιδρά με μόρια όζοντος έως ότου μεταπίψει σε μία σταθερή μορφή.



4.5 Κλιματισμός και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Ο κλιματισμός υπεισέρχεται με δυο παραμέτρους στην επιδείνωση των παραπάνω περιβαλλοντικών προβλημάτων. Αρχικά όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπάρχει μια έμμεση συνεισφορά καθώς η αυξανόμενη τάση για κλιματισμό σε ποικίλες εφαρμογές δημιουργεί περαιτέρω αύξηση της ζήτησης ενέργειας. Έτσι, λόγω του ότι η παραγωγή ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την καύση ορυκτών πόρων, απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα.

Η άμεση συνεισφορά, δημιουργείται από τις διαρροές των ψυκτικών μέσων από τις ψυκτικές εγκαταστάσεις. Οι διαρροές αυτές έχουν σημαντική επίδραση στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς τα περισσότερα ψυκτικά μέσα δεσμεύουν θερμότητα σημαντικά πολλαπλάσια αυτής του διοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα η χρήση ψυκτικών μέσων με βάση τους χλωροφθοράνθρακες έχει αποδειχτεί ότι συμβάλλει στην καταστροφή του όζοντος. [14]

4.6 Ανθρακικό αποτύπωμα

Έχουν περάσει περίπου 25 χρόνια από τότε που ο δείκτης GWP καθιερώθηκε ως μέτρο σύγκρισης για την επίδραση των διάφορων αερίων του θερμοκηπίου στην κλιματική αλλαγή. Στην πραγματικότητα είναι ένας δείκτης που δείχνει πόση θερμότητα παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα από ένα αέριο του θερμοκηπίου. Η σύγκριση γίνεται μεταξύ της θερμότητας που παγιδεύει μια συγκεκριμένη μάζα αερίου σε σχέση με την αντίστοιχη μάζα διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Είναι μια σχετική κλίμακα η οποία συγκρίνει το αέριο με την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (του οποίου το GWP είναι εξ» ορισμού ίση με 1).

Ο δείκτης GWP εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Την ικανότητα της απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ένα συγκεκριμένο είδος
- Σε τι μήκος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος γίνεται η απορρόφηση
- Την διάρκεια ζωής του αερίου στην ατμόσφαιρα

Το ανθρακικό αποτύπωμα ή αλλιώς συντελεστής ισοδυναμίας ως προς το CO₂, είναι ένα μέγεθος που περιγράφει, για ένα δοθέν μείγμα και μια δοθείσα ποσότητα αερίου του θερμοκηπίου, την ποσότητα του CO₂ που έχει το ίδιο GWP, όταν μετράται κατά τη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια (γενικά 100 χρόνια). Ο συντελεστής ισοδυναμίας ως προς το CO₂ με ένα αέριο προκύπτει από το γινόμενο της μάζας επί το GWP του αερίου. [12]

Για παράδειγμα το GWP για το R-290 (προπάνιο) για 100 χρόνια είναι 3 και για το R-404A είναι 3,260. Αυτό σημαίνει ότι η διαρροή από:

- 1 tn R-290 προκαλεί ίδια περιβαλλοντική επιβάρυνση εκπομπές 3 tn CO₂
- 1 tn R-404A προκαλεί ίδια περιβαλλοντική επιβάρυνση εκπομπές 3 tn CO₂

4.7 TEWI

Ένας πραγματικός δείκτης που υπολογίζει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι ο TEWI. Στην ουσία ο δείκτης αυτός υπολογίζει τις συνολικές εκπομπές που έχει μια εγκατάσταση στο κύκλο λειτουργίας της, καθώς συνυπολογίζει τις άμεσες και τις έμμεσες εκπομπές.

Οι άμεσες εκπομπές αποτελούνται από τυχόν διαρροές ψυκτικού μέσου κατά την διάρκεια λειτουργίας καθώς επίσης και το ποσοστό ανάκτησης η ανακύκλωσης του ψυκτικού μέσο μετά το τέλος λειτουργία της εγκατάστασης.

Οι έμμεσες εκπομπές είναι ο αντίκτυπος των εκπομπών CO₂ από τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία της εγκατάστασης καθ' όλη την διάρκεια ζωή της. Οι εκπομπές αυτές διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα καθώς είναι άμεσα συσχετισμένες με το ενεργειακό μίγμα της χώρας. [27]

$$TEWI = (GWP * \dot{m} * L_{Annual} * n) + \left(GWP * \dot{m} * (1 - a_{Recovery}) \right) + (E_{Annual} * \beta * n) \quad (4.1)$$

Παρακάτω αναλύεται ο κάθε όρος που παραπάνω τύπου:

GWP: Global Warming Potential ή δυναμικό υπερθέρμανσης πλανήτη

m: Refrigerant charge ή μάζα ψυκτικού μέσου (μονάδες μέτρησης kg)

L_{annual} : Leakage rate ή Ετήσιος ρυθμός διαρροής (μονάδες μέτρησης kg)

n: System operating life ή διάρκεια ζωής εγκατάστασης (μονάδες μέτρησης years)

a: Recovery/recycling factor ή ποσοστό ανάκτησης/ανακύκλωσης

E_{annual} : Energy consumption per year ή Συνολική κατανάλωση ενέργειας (μονάδες μέτρησης kWh)

β : indirect emission factor ή ενεργειακό μίγμα της χώρας

4.8 Ozone Depletion Potential (ODP)

Ο δείκτης ODP ορίστηκε από το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και είναι ένας συντελεστής που εκφράζει τη επίδραση στο στρώμα του όζοντος από ουσίες που περιέχουν χλώριο συμπεριλαμβανομένων των CFCs και των HCFCs. Είναι μια σχετική κλίμακα η οποία συγκρίνει το αέριο με την ίδια ποσότητα του χλωροφθοράνθρακα 11 (του οποίου το ODP είναι εξ' ορισμού ίση με 1). [28]

4.9 Πίνακες ψυκτικών μέσων με περιβαλλοντικές ιδιότητες

Παρακάτω ακολουθούν δύο πίνακες με τον τύπο διάφορων ψυκτικών μέσων, το δείκτη ODP και το δείκτη GWP. Ο πρώτος είναι ταξινομημένος σύμφωνα με τη χημική οικογένεια που ανήκουν τα ψυκτικά μέσα, ενώ ο δεύτερος σύμφωνα με την περιβαλλοντική επίδραση που επιφέρουν τα ψυκτικά. [29]

Τονίζεται ότι η περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως προς την καταστροφή κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Μηδενική όταν ο δείκτης ODP ισούται με το μηδέν
- Μέτρια όταν ο δείκτης ODP κυμαίνεται στο εύρος 0 ως 1
- Υψηλή όταν ο δείκτης ODP είναι μεγαλύτερος της μονάδας

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως προς την υπερθέρμανση του πλανήτη υπάρχουν επίσης τρεις κατηγορίες:

- Χαμηλή όταν ο δείκτης GWP κυμαίνεται στο εύρος 0 ως 150
- Μέτρια όταν ο δείκτης GWP κυμαίνεται στο εύρος 150 ως 2500
- Υψηλή όταν ο δείκτης GWP είναι μεγαλύτερος από 2500

| Τύπος | Εμπορική Ονομασία ψυκτικού μέσου | ODP | Κατάταξη | GWP(100years) | Κατάταξη |
|------------------------|----------------------------------|----------|----------|---------------|----------|
| CFC | 12 | 1 | υψηλή | 10900 | υψηλή |
| | 502 | 0,33 | υψηλή | 4657 | υψηλή |
| HCFC | 22 | 0,055 | μέτρια | 1810 | μέτρια |
| | 123 | 0,06 | μέτρια | 77 | χαμηλή |
| | 401A | 0,033 | μέτρια | 1182 | μέτρια |
| | 401B | 0,036 | μέτρια | 1288 | μέτρια |
| | 402A | 0,019 | μέτρια | 2788 | υψηλή |
| | 402B | 0,03 | μέτρια | 2416 | μέτρια |
| | 408A | 0,024 | μέτρια | 3152 | υψηλή |
| | 409A | 0,046 | μέτρια | 1909 | μέτρια |
| | HFC | 23 | 0 | μηδενική | 14800 |
| 32 | | 0 | μηδενική | 675 | μέτρια |
| 134a | | 0 | μηδενική | 1430 | μέτρια |
| 404A | | 0 | μηδενική | 3922 | υψηλή |
| 407A | | 0 | μηδενική | 2107 | μέτρια |
| 407C | | 0 | μηδενική | 1774 | μέτρια |
| 407F | | 0 | μηδενική | 2088 | μέτρια |
| 417A | | 0 | μηδενική | 2346 | μέτρια |
| 422A | | 0 | μηδενική | 3143 | υψηλή |
| 422D | | 0 | μηδενική | 2729 | υψηλή |
| 423A | | 0 | μηδενική | 2280 | χαμηλή |
| 424A | | 0 | μηδενική | 2440 | χαμηλή |
| 427A | | 0 | μηδενική | 2138 | χαμηλή |
| 428A | | 0 | μηδενική | 3607 | υψηλή |
| 434A | | 0 | μηδενική | 3245 | υψηλή |
| 437A | | 0 | μηδενική | 1805 | χαμηλή |
| 438A | | 0 | μηδενική | 2265 | χαμηλή |
| 442A | | 0 | μηδενική | 1888 | χαμηλή |
| 507A | | 0 | μηδενική | 3985 | υψηλή |
| 508B | | 0 | μηδενική | 13396 | υψηλή |
| MO89 | 0 | μηδενική | 3805 | υψηλή | |
| HFO | 1234yf | 0 | μηδενική | 4 | χαμηλή |
| | 1234ze | 0 | μηδενική | 6 | χαμηλή |
| Φυσικά/Μη ταξινομημένα | 170 | 0 | μηδενική | 6 | χαμηλή |
| | 290 | 0 | μηδενική | 3 | χαμηλή |
| | 600a | 0 | μηδενική | 3 | χαμηλή |
| | 717 | 0 | μηδενική | 0 | μηδενική |
| | 744 | 0 | μηδενική | 1 | χαμηλή |
| | 1150 | 0 | μηδενική | 4 | χαμηλή |
| | 1270 | 0 | μηδενική | 2 | χαμηλή |

Πίνακας 4.2: «Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς τις χημική οικογένεια» [29]

| Τύπος | Εμπορική Ονομασία Ψυκτικού Μέσου | ODP | Κατάταξη | GWP | Κατάταξη |
|----------|----------------------------------|----------|----------|-------|----------|
| Ανόργανα | 717 | 0 | μηδενική | 0 | μηδενική |
| | 744 | 0 | μηδενική | 1 | χαμηλή |
| | 1270 | 0 | μηδενική | 2 | χαμηλή |
| | 290 | 0 | μηδενική | 3 | χαμηλή |
| | 600a | 0 | μηδενική | 3 | χαμηλή |
| | 1150 | 0 | μηδενική | 4 | χαμηλή |
| HFO | 1234yf | 0 | μηδενική | 4 | χαμηλή |
| | 1234ze | 0 | μηδενική | 6 | χαμηλή |
| Ανόργανα | 170 | 0 | μηδενική | 6 | χαμηλή |
| HFC | 32 | 0 | μηδενική | 675 | μέτρια |
| | 134a | 0 | μηδενική | 1430 | μέτρια |
| | 407C | 0 | μηδενική | 1774 | μέτρια |
| | 437A | 0 | μηδενική | 1805 | μέτρια |
| | 407F | 0 | μηδενική | 1825 | μέτρια |
| | 442A | 0 | μηδενική | 1888 | μέτρια |
| | 410A | 0 | μηδενική | 2088 | μέτρια |
| | 407A | 0 | μηδενική | 2107 | μέτρια |
| | 427A | 0 | μηδενική | 2138 | μέτρια |
| | 438A | 0 | μηδενική | 2265 | μέτρια |
| | 423A | 0 | μηδενική | 2280 | μέτρια |
| | 417A | 0 | μηδενική | 2346 | μέτρια |
| | 424A | 0 | μηδενική | 2440 | μέτρια |
| | 422D | 0 | μηδενική | 2729 | υψηλή |
| | 422A | 0 | μηδενική | 3143 | υψηλή |
| | 434A | 0 | μηδενική | 3245 | υψηλή |
| | 428A | 0 | μηδενική | 3607 | υψηλή |
| | MO89 | 0 | μηδενική | 3805 | υψηλή |
| | 404A | 0 | μηδενική | 3922 | υψηλή |
| | 507A | 0 | μηδενική | 3985 | υψηλή |
| 508B | 0 | μηδενική | 13396 | υψηλή | |
| 23 | 0 | μηδενική | 14800 | υψηλή | |
| HCFC | 123 | 0,06 | χαμηλή | 77 | χαμηλή |
| | 402B | 0,03 | χαμηλή | 2416 | μέτρια |
| | 401A | 0,033 | χαμηλή | 1182 | μέτρια |
| | 401B | 0,036 | χαμηλή | 1288 | μέτρια |
| | 409A | 0,046 | χαμηλή | 1909 | μέτρια |
| | 22 | 0,055 | χαμηλή | 1810 | μέτρια |
| | 402A | 0,019 | χαμηλή | 2788 | υψηλή |
| | 408A | 0,024 | χαμηλή | 3152 | υψηλή |
| CFC | 502 | 0,33 | υψηλή | 4657 | υψηλή |
| | 12 | 1 | υψηλή | 10900 | υψηλή |

Πίνακας 4.3: «Κατάταξη ψυκτικών μέσων ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις»
[29]

4.10 Νομοθετικά πλαίσια για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ψυκτικών μέσων

Η συνεχής απελευθέρωση αλογονομένων υδρογονανθράκων (CFCs, HCFCs, HFCs, κ.λπ.), όπως έχουμε δει, έχει ανατρέψει τη φυσική ισορροπία του μηχανισμού σχηματισμού και καταστροφής του όζοντος και έχει συντελέσει στη επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Μετά λοιπόν την αποκάλυψη των σοβαρών επιπτώσεων που έχουν δημιουργηθεί (και εξακολουθούν να δημιουργούνται) στο περιβάλλον από τη χρήση των ψυκτικών μέσων, η παγκόσμια κοινότητα άρχισε να παίρνει κάποια μέτρα για να περιοριστούν, όσο είναι δυνατόν, αυτές. [15]

Το Μάρτιο του 1985 υπογράφηκε η συνθήκη της Βιέννης για την προστασία της στιβάδας του όζοντος. Το Σεπτέμβριο του 1987 υπογράφηκε το γνωστό Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, που αποτελεί την κορύφωση των πρωτοβουλιών που αναπτύχθηκαν για την προστασία του όζοντος. Οι 157 χώρες που συνυπέγραψαν το πρωτόκολλο δεσμεύτηκαν, βάσει ενός υποχρεωτικού χρονοδιαγράμματος, για τη σταδιακή κατάργηση της χρήσης ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Το χρονοδιάγραμμα αυτό αναθεωρείται συνεχώς σε διάφορες διεθνείς συνόδους (Λονδίνο 1990, Κοπεγχάγη –η πιο σπουδαία– 1992, Μόντρεαλ 1997, Πεκίνο 1999) με τις ημερομηνίες εξάλειψης να τροποποιούνται σύμφωνα με την τεχνολογική πρόοδο.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο του 1997 προέκυψε από τη σύμβαση-πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές που είχε υπογραφεί στη διάσκεψη του Ρίο, τον Ιούνιο του 1992. Κεντρικός άξονας του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των βιομηχανικά αναπτυγμένων κρατών να μειώσουν τις εκπομπές των έξι αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012 τουλάχιστον κατά 5% σε σχέση με το έτος βάσης 1990. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευθεί να μειώσει κατά την περίοδο 2008-2012 τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 8% σε σχέση με το έτος βάσης 1990.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο καλύπτει τα σημαντικότερα αέρια θερμοκηπίου:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO₂),
- μεθάνιο (CH₄),
- υποξείδιο του αζώτου (N₂O)

και τις τρεις ομάδες φθοριούχων αερίων, τα λεγόμενα «αέρια F»:

- υδροφθοράνθρακες (HFC),
- υπερφθοράνθρακες (PFC)
- εξαφθοριούχο θείο (SF₆).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση επικύρωσε το Πρωτόκολλο του Κιότο το Μάιο του 2002. Για να μειωθούν οι εκπομπές των αλογονομένων υδρογονανθράκων η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει τον κανονισμό (ΕΚ) 2037/2000 σχετικά με τις ουσίες που μειώνουν τη στιβάδα του όζοντος και τον κανονισμό (ΕΚ) 842/2006 για ορισμένα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου που συμβάλλουν στη θέρμανση του πλανήτη. [30]

Κανονισμός (ΕΚ) 2037/2000 της ΕΕ για τις ODS. Ο κανονισμός ισχύει από 1/10/2000 και προβλέπει τα εξής:

- Έλεγχοι στην προμήθεια και χρήση για τα συστήματα που περιέχουν CFCs [Άρθρα 4.1/4.4 (II) και (III)] Από την 1η Οκτωβρίου 2000 απαγορεύτηκε η προμήθεια CFCs. Από την 1η Ιανουαρίου 2001 απαγορεύτηκε η χρήση αυτών των ψυκτικών ουσιών για τη συντήρηση του υπάρχοντος εξοπλισμού. Εξαιρείται η χρήση τους για ορισμένους στρατιωτικούς σκοπούς μέχρι την 31η Δεκεμβρίου 2008.
- Έλεγχοι χρήσης HCFCs – Νέος εξοπλισμός (Άρθρο 5.1 γ) Από την 1η Ιανουαρίου 2001 απαγορεύτηκε η χρήση HCFCs στην κατασκευή νέου εξοπλισμού για όλες τις εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού, με εξαίρεση τα αναστρέψιμα συστήματα κλιματισμού / αντλίες θερμότητας, στα οποία απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται HCFCs από την 1η Ιανουαρίου 2004 σε κάθε εξοπλισμό που θα παραχθεί μετά την 31η Δεκεμβρίου 2003.
- Έλεγχοι χρήσης HCFCs – Υφιστάμενος εξοπλισμός Από την 1η Ιανουαρίου 2010 απαγορεύεται η χρήση αχρησιμοποίητων υδροχλωροφθορανθράκων. Από την 1η Ιανουαρίου 2015 απαγορεύεται η χρήση κάθε είδους HCFCs.
- Ανάκτηση και καταστροφή (Άρθρο 16) Όλα τα ODS που χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό ψύξης και κλιματισμού πρέπει να ανακτώνται κατά τη συντήρηση και επισκευή του εξοπλισμού ή πριν από τη διάλυση ή την τελική απόσυρσή του. Από την 1η Ιανουαρίου 2001 ανακτημένα CFCs πρέπει να καταστρέφονται με περιβαλλοντικά αποδεκτή τεχνολογία. Για τα οικιακά ψυγεία και καταψύκτες τα πιο πάνω ισχύουν από την 31η Δεκεμβρίου 2001. Ανακτημένα HCFCs μπορεί είτε να καταστραφούν είτε να επαναχρησιμοποιηθούν μέχρι το 2015.
- Πρόληψη διαρροών (Άρθρο 17) Πρέπει να λαμβάνεται κάθε πρακτικά δυνατό προληπτικό μέτρο για την αποτροπή και ελαχιστοποίηση των διαρροών ελεγχόμενων ουσιών. Ο σταθερός εξοπλισμός που περιέχει περισσότερα από 3 kg ψυκτικής ουσίας ODS πρέπει να ελέγχεται ετησίως για τυχόν διαρροές. Τα κράτη μέλη καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά τα προσόντα του προσωπικού που συντηρεί, επισκευάζει και διατηρεί εξοπλισμό που περιέχει

ψυκτικές ουσίες ODS και το αργότερο ως την 1η Δεκεμβρίου 2001, τα κράτη μέλη υποβάλλουν έκθεση στην επιτροπή σχετικά με τις προαναφερθείσες απαιτήσεις

Κανονισμός (ΕΚ) 842/2006 για τη χρήση φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου.

Ο γενικός στόχος του κανονισμού για τα φθοριούχα αέρια είναι η μείωση των εκπομπών φθοριούχων αερίων μέσω μιας σειράς μέτρων ή δράσεων που καλύπτουν όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Ο κανονισμός ισχύει από τις 4 Ιουλίου 2007 και μεταξύ άλλων, ειδικά σε ό,τι αφορά τους χρήστες εξοπλισμού / συστημάτων που περιέχουν φθοριούχα αέρια, προβλέπει: [30]

- Πρόληψη διαρροών από ορισμένο εξοπλισμό. Ταχύτερη δυνατή επισκευή ανιχνευθείσας διαρροής (Άρθρο 3 παράγραφος 1).
- Εγκατάσταση, συντήρηση ή επισκευή, συμπεριλαμβανομένης της αποκατάστασης διαρροών σε ορισμένα συστήματα και εξοπλισμό, από πιστοποιημένο προσωπικό και επιχειρήσεις (Άρθρο 5).
- Ανάκτηση φθοριούχου αερίου κατά τη διάρκεια συντήρησης ή επισκευής και πριν από την τελική διάθεση προϊόντων και εξοπλισμού (Άρθρο 4).
- Ορισμένος εξοπλισμός υπόκειται σε τακτικούς ελέγχους διαρροής από πιστοποιημένο προσωπικό [ετησίως σε εφαρμογές που περιέχουν άνω των 3 kg φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου (εκτός από ερμητικά σφραγισμένα συστήματα με λιγότερο από 6 Kg), ανά εξάμηνο σε εφαρμογές που περιέχουν άνω των 30 kg, ανά τρίμηνο σε εφαρμογές που περιέχουν άνω των 300 kg] (Άρθρο 3 παράγραφος 2).
- Τήρηση σχετικών αρχείων για ορισμένο εξοπλισμό (σε συστήματα που περιέχουν άνω των 3 kg φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου) (Άρθρο 3 παράγραφος 6).
- Εγκατάσταση συστημάτων ανίχνευσης διαρροής σε ορισμένες εφαρμογές (σε εφαρμογές που περιέχουν άνω των 300 kg φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου) (Άρθρο 3 παράγραφος 3).

Κεφάλαιο 5

5. Μαθηματικό μοντέλο

5.1 Ορισμός των προβλημάτων προς επίλυση

Ο κύριος στόχος της διπλωματικής αυτής, είναι η σύγκριση της αποδοτικότητας διάφορων ψυκτικών μέσων και η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνεπάγονται με την χρήση τους. Για το λόγο αυτό η μελέτη και η εξαγωγή αποτελεσμάτων θα επικεντρωθεί στην λειτουργία ενός μονοβάθμιου και ενός διβάθμιου ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών.

Όσον αφορά την αποδοτικότητα των ψυκτικών μέσων το κύριο μέλημα είναι η παραμετρική επίλυση των δύο κύκλων με γνώμονα την εξαγωγή μιας σχέσης για το βαθμό συμπεριφοράς του κάθε κύκλου. Η παραμετροποίηση θα πρέπει να γίνει ώστε να μπορεί να είναι αισθητή η επίπτωση που έχει στο συντελεστή συμπεριφοράς η αλλαγή της θερμοκρασία του ατμοποιητή καθώς και η θερμοκρασία του συμπυκνωτή.

Το δεύτερο σκέλος αυτής της διπλωματικής αφορά τις επιπτώσεις που έχουν τα διάφορα ψυκτικά μέσα στο περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή. Η ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί, θα γίνει με τη χρήση των δεικτών που παρουσιάστηκαν στο παραπάνω κεφάλαιο (GWP, TEWI). Για την επίδραση των ψυκτικών μέσων στη ««τρύπα»» του όζοντος δεν θα γίνει ανάλυση καθώς τα ψυκτικά μέσα που μελετώνται έχουν μηδενικό συντελεστή καταστροφής όζοντος (ODP).

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται αφορούν την λειτουργία των ψυκτικών κύκλων σε διάφορες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα ένα οικιακό κλιματιστικό και ενός ψυγείου για βιομηχανική χρήση.

5.2 Επίλυση μονοβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών.

Στο κομμάτι αυτό γίνεται μια παρουσίαση των στοιχείων που αποτελούν αυτό τον κύκλο. Αρχικά παρουσιάζονται κάποιες από τις βασικές ιδιότητες που τα διέπουν, καθώς και οι βασικές του εξισώσεις. Στην συνέχεια παρατίθεται η γραμμική απεικόνιση του μονοβάθμιου κύκλου. Ενώ τέλος παρουσιάζεται και η συλλογιστική πορεία που ακολουθήθηκε για την επίλυση του προβλήματος.

Όσον αφορά το διβάθμιο κύκλο συμπίεσης ατμών τα στοιχεία που τον αποτελούν είναι κοινά, με την εξαίρεση ενός επιπλέον στοιχείου που θα αναλυθεί λεπτομερώς στο παρακάτω υποκεφάλαιο.

Αρχικά ο μονοβάθμιος κύκλος συμπίεσης ατμών, όπως είναι ήδη γνωστό, αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία: έναν ατμοποιητή, ένα συμπιεστή, ένα συμπυκνωτή και μία στραγγαλιστική βαλβίδα. Επίσης υπάρχουν δύο χαρακτηριστικές πιέσεις στο κύκλο, που προκύπτουν από την λειτουργία του συμπιεστή, η υψηλή πίεση του συμπυκνωτή και η χαμηλή του ατμοποιητή.

Για τον **ατμοποιητή** είναι γνωστά τα παρακάτω:

- Μπορεί να θεωρηθεί το στοιχείο χαμηλής πίεσης.
- Η πίεση στην είσοδο και την έξοδο του είναι σταθερή.
- Η φάση του εργαζόμενου μέσου μετά την έξοδο από τον ατμοποιητή είναι κορεσμένος ατμός. Η ξηρότητα του δηλαδή ισούται με την μονάδα.
- Η ψυκτική ικανότητα του δίνεται από τον τύπο:

$$Q_E = \dot{m} * (h_{out} - h_{in}) \quad (5.1)$$

Για τον **συμπιεστή** είναι γνωστά τα παρακάτω:

- Η μεταβολή στον συμπιεστή θα μπορούσε ιδανικά να θεωρηθεί ισεντροπική μεταβολή.
- Στην πραγματικότητα όμως η μεταβολή δεν είναι ισεντροπική γι' αυτό το λόγο είναι αναγκαίο να οριστεί ένας ισεντροπικός βαθμός που δείχνει το λόγο του έργου που απαιτείται για την ισεντροπική συμπίεση του ρευστού προς το πραγματικό έργο που προσδίδεται σε αυτό. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης δίνεται από την σχέση:

$$\eta_{is} = \frac{h'_{out} - h_{in}}{h_{out} - h_{in}} \quad (5.2)$$

όπου h'_{out} : η ενθαλπία στην έξοδο αν είχαμε ισεντροπική μεταβολή

- Η πίεση εισόδου είναι ίση με την πίεση του ατμοποιητή ενώ η πίεση εξόδου είναι ίση με την πίεση του συμπυκνωτή
- Η ισχύς που καταναλώνει ο συμπιεστής δίνεται από τον τύπο:

$$P_C = \dot{m} * (h_{out} - h_{in}) \quad (5.3)$$

Για τον **συμπυκνωτή** είναι γνωστά τα παρακάτω:

- Θεωρείται το στοιχείο υψηλής πίεσης
- Η πίεση στην είσοδο και την έξοδο του είναι σταθερή.
- Η φάση του εργαζόμενου μέσου μετά την έξοδο από τον συμπυκνωτή είναι κορεσμένο υγρό. Η ξηρότητα του δηλαδή ισούται με το μηδέν.
- Η ψυκτική ικανότητα του δίνεται από τον τύπο:

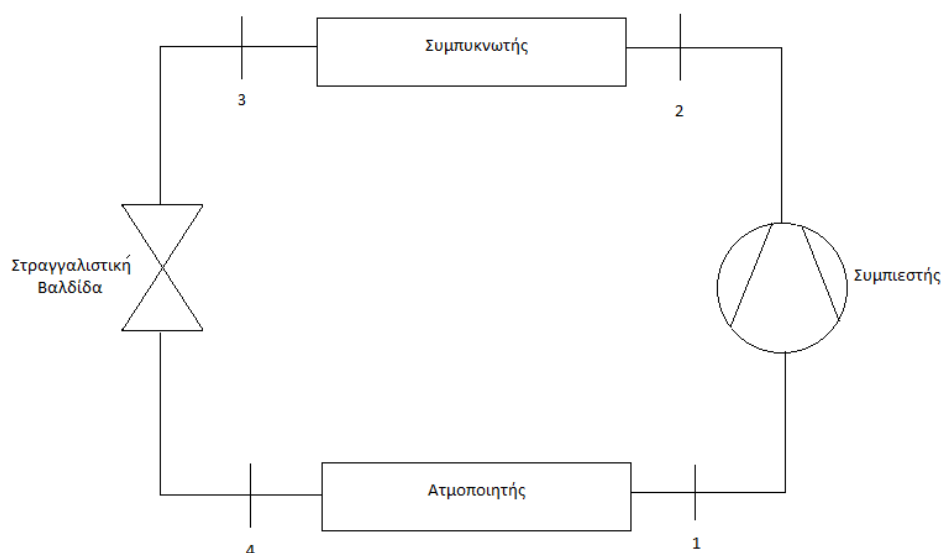
$$Q_C = \dot{m} * (h_{out} - h_{in}) \quad (5.4)$$

Τέλος για την **στραγγαλιστική βαλβίδα** είναι γνωστά τα παρακάτω:

- Η μεταβολή που πραγματοποιείται είναι ισενθαλπική.

Αφού έγινε παράθεση όλων των εξισώσεων που χρειάζονται, ακολουθεί η παρουσίαση της διαδικασίας επίλυσης της εγκατάστασης. Για διευκόλυνση θα ακολουθηθεί η αρίθμηση που υπάρχει στην παρακάτω γραμμική απεικόνιση η οποία είναι η εξής:

- Θέση 1: έξοδος ατμοποιητή ή είσοδος συμπιεστή
- Θέση 2: έξοδος συμπιεστή ή είσοδος συμπυκνωτή
- Θέση 3: έξοδος συμπυκνωτή ή είσοδος στραγγαλιστική βαλβίδα
- Θέση 4: έξοδος στραγγαλιστικής βαλβίδας ή είσοδος ατμοποιητή



Εικόνα 5.1: Μονοβάθμια εγκατάσταση συμπίεσης ατμών.

Διαδικασία επίλυσης

Αρχικά λαμβάνεται σαν παραδοχή η θερμοκρασία του ατμοποιητή T_E η οποία θα είναι ανεξάρτητη, ώστε αλλάζοντας την τιμή της να είναι ορατή η επίδραση που έχει στο συντελεστή συμπεριφοράς.

Για την θέση 1, θεωρώντας γνωστή την θερμοκρασία του ατμοποιητή γίνεται γνωστή η θερμοκρασία και σε αυτή τη θέση καθώς $T_1 = T_E$. Επίσης είναι γνωστή η φάση του εργαζομένου μέσου στην έξοδο του ατμοποιητή. Επομένως με αυτά τα δυο δεδομένα μπορούν να βρεθούν τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη στην θέση αυτή μέσω του ψυχομετρικού χάρτη,

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει ακόμη μια θεώρηση, η θερμοκρασία του συμπυκνωτή T_c . Η μεταβλητή αυτή είναι δεύτερη ανεξάρτητη μεταβλητή που μελετάται η επίδραση της.

Επομένως για την θέση 3 είναι γνωστή η θερμοκρασία $T_3=T_c$ και η φάση του εργαζομένου μέσου στην έξοδο του συμπυκνωτή οπότε είναι εφικτό να βρεθεί η ενθαλπία, η εντροπία και η πίεση στην θέση 3 με την βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη.

Όσον αφορά την θέση 2 πρέπει να εξεταστεί τι συμβαίνει στο συμπιεστή. Στο συμπιεστή το μόνο που είναι γνωστό είναι οι πιέσεις στην είσοδο και την έξοδο του. Το στοιχείο αυτό είναι αρκετό για να υπολογιστεί το θεωρητικό σημείο 2', δηλαδή αν η μεταβολή του συμπιεστή ήταν ισεντροπική. Γενικά, η πίεση μεταξύ πραγματικού και θεωρητικού σημείου είναι ίδια διότι η αλλαγή στην εντροπία επηρεάζει μόνο την ενθαλπία και την θερμοκρασία. Έτσι μέσα από τον ψυχομετρικό χάρτη με δεδομένα την πίεση και την εντροπία βρίσκεται η ενθαλπία του θεωρητικού σημείου 2. Στην συνέχεια από τον τύπο (5.2) του ισεντροπικού βαθμού μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική ενθαλπία. Τώρα γνωρίζοντας την πίεση και την ενθαλπία μέσα από τον ψυχομετρικό χάρτη μπορούν να βρεθούν και τα άλλα θερμοδυναμικά μεγέθη δηλαδή η θερμοκρασία και η ενθαλπία στην θέση αυτή.

Τέλος για την θέση 4 είναι γνωστό ότι η μεταβολή στην στραγγαλιστική βαλβίδα είναι ισενθαλπική επίσης ότι η πίεση στον ατμοποιητή είναι σταθερή. Με γνωστά αυτά τα δύο μεγέθη είναι δυνατόν να βρεθούν και τα υπόλοιπα, δηλαδή η θερμοκρασία και η εντροπία.

Μετά τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών μεγεθών σε όλες τις θέσεις, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή συμπεριφοράς του κύκλου. Για μονοβάθμια εγκατάσταση δίνεται από τον τύπο:

$$COP = \frac{Q_E}{P_C} = \frac{h_4 - h_1}{h_1 - h_1} \quad (5.5)$$

5.3 Επίλυση διβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών.

Στο διβάθμιο κύκλο όπως έχει αναφερθεί στο εισαγωγικό κεφάλαιο τα βασικά ψυκτικά στοιχεία μένουν ίδια. Το επιπλέον στοιχείο που προστίθεται είναι ο ενδιάμεσος ψύκτης, που θα δοθούν οι βασικές ιδιότητες που το διέπουν. Επίσης η διβάθμια ψυκτική διάταξη μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο ανεξάρτητες διατάξεις, μία

χαμηλής και μία υψηλής πίεσης, συνδεδεμένες με τον ενδιάμεσο ψύκτη. Εδώ οι χαρακτηριστικές πιέσεις σε αυτό τον κύκλο είναι τρεις.

Για τον **ενδιάμεσο ψύκτη** είναι γνωστά τα παρακάτω:

- αποτελεί για την διάταξη υψηλής πίεσης το στοιχείο ατμοποίησης,
- αποτελεί για την διάταξη χαμηλής πίεσης το στοιχείο συμπύκνωσης
- ο εμπειρικός τύπος που μας δίνει την ενδιάμεση πίεση είναι:

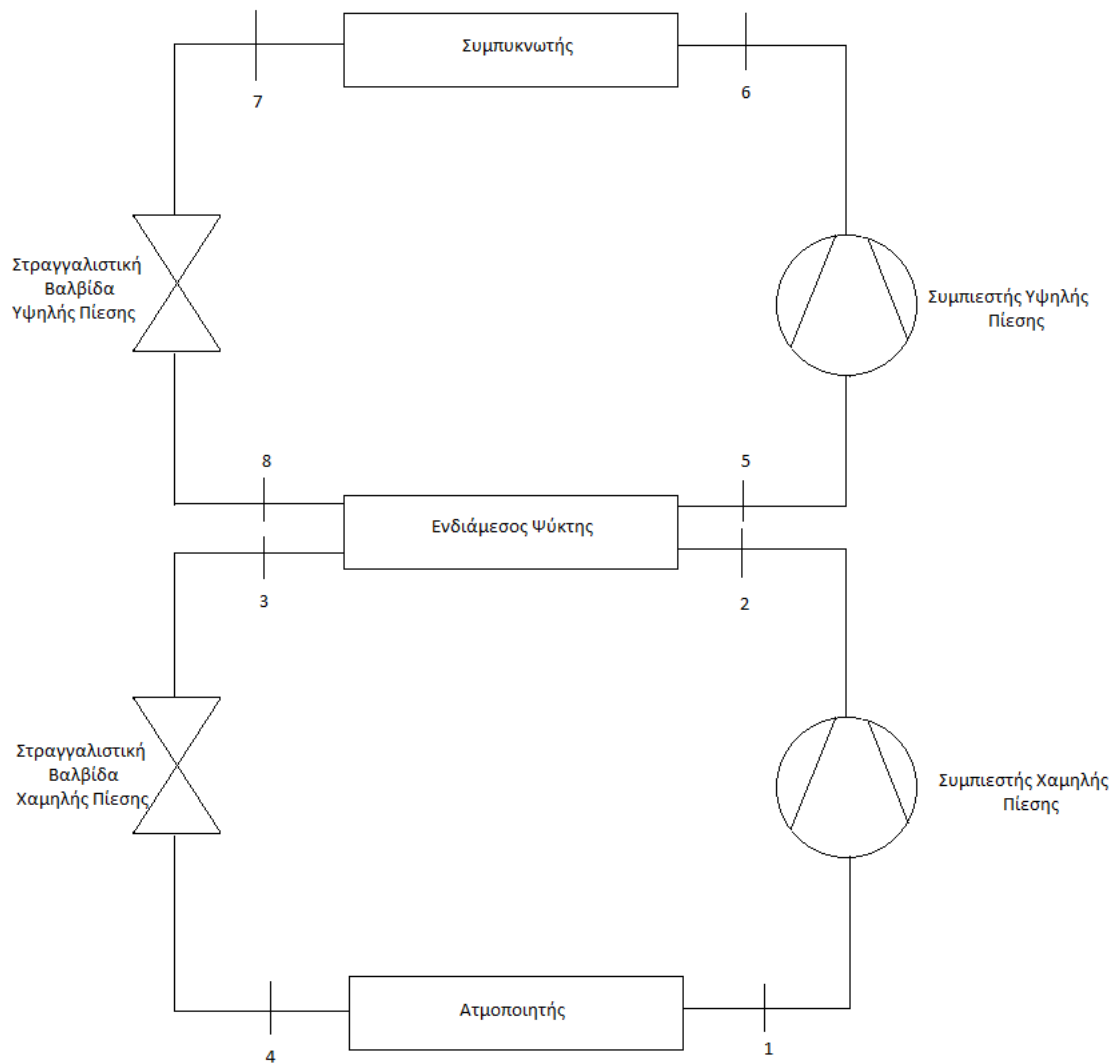
$$p_m = \sqrt{p_{high} * p_{low}} \quad (5.6)$$

- η κατάσταση του ψυκτικού μέσου, μετά την έξοδο του και πριν την είσοδο στο συμπιεστή υψηλής πίεσης, είναι κορεσμένος ατμός
- ο ισολογισμό ενέργειας στον ψύκτη δίνεται από τον τύπο:

$$\dot{m}_1 * (h_2 - h_3) = \dot{m}_2 (h_5 - h_8) \quad (5.7)$$

Για διευκόλυνση θα ακολουθηθεί η αρίθμηση που υπάρχει στην παρακάτω γραμμική απεικόνιση η οποία είναι η εξής:

- Θέση 1: έξοδος ατμοποιητή η είσοδος συμπιεστή χ.π.
- Θέση 2: έξοδος συμπιεστή χ.π ή είσοδος ενδιάμεσου ψύκτη
- Θέση 3: έξοδος ενδιάμεσου ψύκτη ή είσοδος στραγγαλιστική βαλβίδα χ.π.
- Θέση 4: έξοδος στραγγαλιστικής βαλβίδας χ.π. ή είσοδος ατμοποιητή
- Θέση 5: έξοδος ενδιάμεσου ψύκτη η είσοδος συμπιεστή υ.π.
- Θέση 6: έξοδος συμπιεστή υ.π ή είσοδος συμπυκνωτή
- Θέση 7: έξοδος συμπυκνωτή ή είσοδος στραγγαλιστική βαλβίδα χ.π.
- Θέση 8: έξοδος στραγγαλιστικής βαλβίδας χ.π. ή είσοδος ενδιάμεσου ψύκτη



Εικόνα 5.2: Διβάθμια εγκατάσταση συμπίεσης ατμών.

Διαδικασία επίλυσης

Αρχικά οι παραδοχές που λαμβάνονται είναι ίδιες με αυτές του μονοβάθμιου κύκλου, αφού ο στόχος παραμένει ο ίδιος, την εξαγωγή μιας σχέσης ώστε να είναι ορατή η επίδραση της θερμοκρασίας ατμοποιητή και συμπυκνωτή στο συντελεστή συμπεριφοράς. Αναλυτικά ισχύει:

Για την θέση 1, θεωρώντας γνωστή την θερμοκρασία του ατμοποιητή γίνεται γνωστή η θερμοκρασία και σε αυτή τη θέση καθώς $T_1 = T_E$. Επίσης είναι γνωστή η φάση του εργαζομένου μέσου στην έξοδο του ατμοποιητή. Επομένως με αυτά τα δυο δεδομένα προσδιορίζονται τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη στην θέση αυτή.

Για την θέση 7, είναι γνωστή η θερμοκρασία $T_3=T_C$ καθώς επίσης και η φάση του εργαζομένου μέσου στην έξοδο του συμπυκνωτή, οπότε προσδιορίζονται η ενθαλπία, η εντροπία και η πίεση στην θέση αυτή.

Στην συνέχεια όντας γνωστές οι πιέσεις στην θέση 1,7 καθίσταται γνωστή και η ενδιάμεση πίεση του ψύκτη από την σχέση (5.6). Η πίεση αυτή αποτελεί κλειδί για τον προσδιορισμό και των υπόλοιπων θέσεων.

Επομένως στη θέση 2, υπολογίζεται όπως πριν το θεωρητικό σημείο 2' καθώς η πίεση στην θέση αυτή ισούται με την πίεση στον ενδιάμεσο ψύκτη. Έπειτα μέσω της σχέσης (5.2) υπολογίζεται η ενθαλπία στην θέση αυτή. Όντας γνωστά πίεση και ενθαλπία γίνεται εφικτός ο προσδιορισμός και των υπόλοιπων μεγεθών.

Στην θέση 3 είναι γνωστά η πίεση και η φάση του εργαζομένου μέσου (δηλαδή η ξηρότητα στην θέση 3 είναι μηδέν), άρα προσδιορίζονται και τα υπόλοιπα μεγέθη.

Κλείνοντας το κάτω κομμάτι του ψυκτικού κύκλου, στην θέση 4 η πίεση είναι γνωστή καθώς ισούται με την πίεση στην θέση 1, ενώ η ενθαλπία της ισούται με την ενθαλπία στην θέση 3. Με αυτά τα δυο μεγέθη γνωστά προσδιορίζονται και τα υπόλοιπα.

Όσον αφορά το πάνω κομμάτι του κύκλου, στην θέση 5 γνωρίζοντας την πίεση και την φάση του εργαζομένου μέσου προσδιορίζονται η εντροπία, η ενθαλπία και η θερμοκρασία.

Στην θέση 6 όπως και πριν μπορεί να προσδιοριστεί το σημείο 6' και μετά όλα τα μεγέθη στην θέση αυτή.

Τέλος στη θέση 8 προσδιορίζεται με την ίδια διαδικασία με τις παραπάνω περιπτώσεις δηλαδή ότι η ενθαλπία ισούται με την ενθαλπία στην θέση 7 λόγω της ισηνθαλπικής μεταβολής που πραγματοποιείται στην στραγγαλιστική βαλβίδα.

Μετά τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών μεγεθών σε όλες τις θέσεις, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή συμπεριφοράς του κύκλου. Για διβάθμια εγκατάσταση δίνεται από τον τύπο:

$$COP = \frac{Q_C}{P_{C_1} + P_{C_2}} = \frac{\dot{m}_1 * (h_4 - h_1)}{\dot{m}_1 * (h_2 - h_1) + \dot{m}_2 * (h_6 - h_5)} \quad (5.8)$$

5.4 Υπολογισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων

5.4.1 Γενικά περί περιβαλλοντικών υπολογισμών

Ο υπολογισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια του δείκτη TEWI. Οι συντελεστές της σχέσης θα οριστούν ανάλογα με το πρόβλημα. Η ανάλυση θα γίνει για ένα οικιακό κλιματιστικό και για ένα ψυγείο-καταψύκτη για επαγγελματική χρήση. Όσον αφορά τις επιπτώσεις προς την καταστροφή του όζοντα δεν θα πραγματοποιηθεί κάποιος υπολογισμός καθώς τα ψυκτικά μέσα που έχουν επιλεγεί έχουν μηδενικό συντελεστή καταστροφής (ODP=0).

Παρακάτω παρατίθεται ο τύπος TEWI:

$$TEWI = (GWP * \dot{m} * L_{Annual} * n) + \left(GWP * \dot{m} * (1 - a_{Recovery}) \right) + (E_{Annual} * \beta * n) \quad (5.9)$$

Αναλυτικότερα ο κάθε όρος που παραπάνω τύπου :

GWP: Global Warming Potential ή δυναμικό υπερθέρμανσης πλανήτη

\dot{m} : Refrigerant charge ή μάζα ψυκτικού μέσου (μονάδες μέτρησης kg)

L_{annual} : Leakage rate ή Ετήσιος ρυθμός διαρροής (μονάδες μέτρησης kg)

n: System operating life ή διάρκεια ζωής εγκατάστασης (μονάδες μέτρησης years)

a: Recovery/recycling factor ή ποσοστό ανάκτησης/ανακύκλωσης

E_{annual} : Energy consumption per year ή Συνολική κατανάλωση ενέργειας (μονάδες μέτρησης kWh)

β : indirect emission factor ή ενεργειακό μίγμα της χώρας

5.4.2 Υπολογισμός για οικιακό κλιματιστικό

Η λειτουργία ενός κλιματιστικού μπορεί να προσομοιαστεί με σχετικά μεγάλη ακρίβεια με την διάταξη ενός μονοβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών. Αναλύεται ο κάθε όρος του τύπου ξεχωριστά και οι τιμές που επιλέγονται για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Μάζα ψυκτικού μέσου (m)

Μια τυπική κλιματιστική συσκευή, οικιακής κλίμακας, δέχεται περίπου 1kg ψυκτικού μέσου. Η ποσότητα αυτή μεταβάλλεται ανάλογα το μέγεθος του κλιματιστικού, όμως είναι μια καλή υπόθεση για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν.

Ενεργειακό μίγμα της χώρας (β)

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία που παρέχονται από τη ΔΕΗ το ενεργειακό μίγμα αυτή την στιγμή στην χώρα μας είναι $\beta=0.9 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$, δηλαδή για κάθε 1 MWh ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται 900 kg διοξειδίου του άνθρακα.

Ετήσιος ρυθμός διαρροής (L_{annual})

Ο ετήσιος ρυθμός διαρροής είναι ένα μέγεθος αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το τρόπο συντήρηση της μονάδας και την παλαιότητα. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία ο ετήσιος ρυθμός διαρροής κυμαίνεται από 2-9% για οικιακά κλιματιστικά. Στο συγκεκριμένο υπολογισμό θεωρείται ότι $L_{\text{annual}}=5\%$.

Ποσοστό ανάκτησης (a)

Επίσης το ποσοστό ανάκτησης/ανακύκλωσης είναι ένα μέγεθος δύσκολο να προσδιοριστεί. Σύμφωνα με την νομοθεσία της χώρας μας το ποσοστό αυτό για μικρά ψυκτικά συστήματα δεν πρέπει να είναι μικρότερο του 70%. Για τον υπολογισμό θα θεωρηθεί το κατώτατο ποσοστό $a=0,7$.

Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης (n)

Η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης ορίζεται με βάση την διάρκεια ζωής μια μέσης κλιματιστικής μονάδας που είναι τα 10 χρόνια. $n=10$ χρόνια.

Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (E_{annual})

Ο υπολογισμός της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$E_{\text{annual}} = \frac{P_c}{COP} * t \quad (5.10)$$

όπου t είναι οι ώρες που λειτουργεί η εγκατάσταση μέσα στο χρόνο.

Στον υπολογισμό γίνεται η υπόθεση ότι η εγκατάσταση λειτουργεί 3000 ώρες το χρόνο. Η τιμή αυτή μπορεί να μην είναι σταθερή αλλά είναι αντιπροσωπευτική για μια τυπική κλιματιστική συσκευή που χρησιμοποιείται μόνο για κλιματισμό τους θερμούς μήνες του χρόνου. Επομένως $t=2000$ hours

Όσο αφορά για το COP και το P_c για τον υπολογισμό, θεωρείται ότι δουλεύουν σε αυτές τις συνθήκες. Η θερμοκρασία του ατμοποιητή κυμαίνεται στο εύρος από 10-15 °C και θερμοκρασία συμπυκνωτή σταθερή στους 40 °C

5.4.2 Υπολογισμός για ψυγείοκαταψύκτης

Μάζα ψυκτικού μέσου (m)

Ένας τυπικός ψυγείοκαταψύκτης δέχεται περίπου 5kg ψυκτικού μέσου. Η ποσότητα αυτή μεταβάλλεται ανάλογα το μέγεθός της συσκευής όμως είναι μια καλή υπόθεση για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν.

Ενεργειακό μίγμα της χώρας (β)

Είναι σταθερό καθώς εξαρτάται μονό από την χώρα.

Ετήσιος ρυθμός διαρροής (Lannual)

Ο ετήσιος ρυθμός διαρροής σε περιπτώσεις μεγαλύτερων ψυκτικών εγκαταστάσεων κυμαίνεται σε υψηλότερα πλαίσια από 5-23%. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ότι $L_{\text{annual}}=15\%$

Ποσοστό ανάκτησης (a)

Αντίθετα το ποσοστό ανάκτησης/ανακύκλωσης όσο μεγαλώνει η εγκατάσταση οι νομοθεσίες γίνονται πιο αυστηρές και το ποσοστό βελτιώνεται. Για τον υπολογισμό της περίπτωσης του ψυγείοκαταψύκτης θεωρείται $a=0,9$

Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης (n)

Η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης ορίζεται με βάση την διάρκεια ζωής μια μέσου ψυγείοκαταψύκτη που είναι τα 15 χρόνια. $n=15 \text{ years}$

Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (Eannual)

Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται η υπόθεση ότι η εγκατάσταση λειτουργεί 8000 ώρες το χρόνο. Η τιμή αυτή λαμβάνεται καθώς η χρήση του ψυγείοκαταψύκτη πρέπει να είναι συνεχής όλη την διάρκεια του χρόνου. Οι ώρες που αφαιρούνται είναι ο χρόνος που διαρκεί η συντήρηση του. Επομένως $t=8700 \text{ hours}$

Όσο αφορά για το COP και το P_c για τον υπολογισμό τους θεωρείται ότι δουλεύουν στις παρακάτω συνθήκες. Η θερμοκρασία του ατμοποιητή κυμαίνεται στο εύρος από -20-0 °C και θερμοκρασία συμπυκνωτή σταθερή στους 45 °C.

Κεφάλαιο 6

6. Λογισμικό Engineering Equation Solver ή EES.

6.1 Γενικά περί λογισμικού

Το EES είναι ένα εμπορικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την ταυτόχρονη λύση συστημάτων μην γραμμικών εξισώσεων. Παρέχει πολλές χρήσιμες εξειδικευμένες λειτουργίες και εξισώσεις που βοηθούν στην επίλυση προβλημάτων θερμοδυναμικής και μεταφοράς θερμότητας, καθιστώντας το ένα ευρέως διαδεδομένο πρόγραμμα για μηχανολόγους μηχανικούς. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από τον καθηγητή S.A. Klein του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του πανεπιστημίου Wisconsin of Madison.

Το EES έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει θερμοδυναμικές ιδιότητες, εξαλείφοντας έτσι την επαναληπτική επίλυση του προβλήματος με το χέρι, μέσα από τη χρήση κώδικα που καλεί αυτές τις καθορισμένες θερμοδυναμικές ιδιότητες. Έτσι εκτελεί επαναληπτική επίλυση, εξαλείφοντας την επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία απόκτησης θερμοδυναμικών ιδιοτήτων, με τις ενσωματωμένες λειτουργίες που διαθέτει.

Επίσης περιλαμβάνει παραμετρικούς πίνακες που επιτρέπουν στο χρήστη να συγκρίνει έναν αριθμό μεταβλητών σε μια στιγμή ενώ οι πίνακες αυτοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την εξαγωγή διαγραμμάτων. Ακόμη μπορεί να ενσωματώσει μια εντολή τόσο στον κώδικα όσο και στους πίνακες ή τα διαγράμματα. Αυτό σημαίνει πως δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη αλλάζοντας τα δεδομένα ή τον κώδικα να ανανεώνει αυτόματα τους πίνακες ή τα διαγράμματα που έχει δημιουργήσει.

Ένα ακόμη σημαντικό εργαλείο που μας δίνει το συγκεκριμένο πακέτο είναι η δυνατότητα βελτιστοποίησης με διάφορες μεθόδους. Με τα εργαλεία βελτιστοποίησης που διαθέτει μπορεί να μεγιστοποιεί ή να ελαχιστοποιεί μια επιλεγμένη μεταβλητή μεταβάλλοντας ταυτόχρονα έναν αριθμό άλλων μεταβλητών. Η βελτιστοποίηση στο EES γίνεται με επιλογή κάποιας από τις παρακάτω μεθόδους: Μέθοδος Συζυγών Κατευθύνσεων, Μέθοδος Μεταβλητής Μετρικής, Μέθοδος Nelder-Mead Simplex, Άμεσοι Αλγόριθμοι, Μέθοδος Γενετικών Αλγορίθμων.

Μπορούν επίσης να δημιουργηθούν πίνακες αναζήτησης για την αποθήκευση πληροφοριών που μπορεί να ανακτηθούν από μια κλήση στον κώδικα

Επίσης ο χρήστης έχει την δυνατότητα να καταστρώνει τις εξισώσεις εισόδου σε οποιαδήποτε σειρά προκειμένου να αποκτήσει μια λύση, καθώς μπορεί επίσης να περιλαμβάνει δηλώσεις τύπου «if-then-else», οι οποίες μπορούν να είναι ένθετες μέσα στον υπόλοιπο κώδικα. Επιπρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον κώδικα «functions» καθώς επίσης και «procedures» που είναι «functions» με πολλές εξόδους.

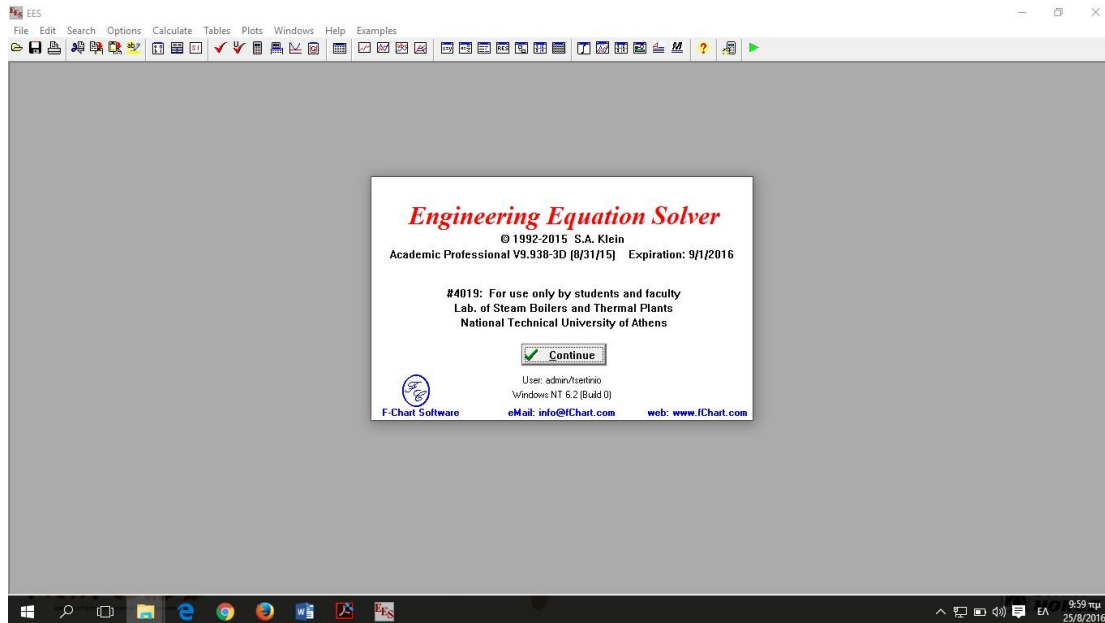
Μεταξύ των άλλων επιλογών το EES επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει το σύστημα μονάδων που επιθυμεί, να καθορίσει κριτήρια τερματισμού ή αριθμό επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα, να ενεργοποιεί/απενεργοποιεί τον έλεγχο στις μονάδες των παραμέτρων (έτσι ο χρήστης μπορεί να ελέγξει αν υπάρχει ή όχι ασυμφωνία στο σύστημα μονάδων)

Επίσης οι χρήστες μπορούν να καθορίσουν κάποιες πιθανές τιμές (guess values) ή να δώσουν κάποιους περιορισμούς - μεταβλητά όρια (variable limits) σε ορισμένες παραμέτρους προκειμένου να βοηθήσουν την επίλυση της επαναληπτικής διαδικασίας ώστε να βρεθεί μια λύση γρήγορα και με επιτυχία.

6.2 Εισαγωγή στο λογισμικό.

Το EES είναι ένα πολύ χρήσιμο πρόγραμμα και με πολλές δυνατότητες. Επίσης είναι εύρηστο και φιλικό προς τον χρήστη. Το εγχειρίδιο του κατασκευαστή είναι πλήρες και περιλαμβάνει πλήθος εφαρμογών και παραδειγμάτων για την εξοικείωση του χρήστη. Λόγω της ευρέως διάδοσης του, πολλοί χρήστες έχουν αναρτήσει στο διαδίκτυο πλήθος από εκπαιδευτικό υλικό καθιστώντας έτσι την εκμάθηση του ακόμα πιο εύκολη.

Μετά την εγκατάσταση του, η πρώτη εικόνα κατά την εκτέλεση του προγράμματος είναι η παρακάτω.



Εικόνα 6.1: «Καρτέλα έναρξης του προγράμματος»

Ας δούμε όμως καλύτερα το βασικό μενού του προγράμματος και την γραμμή εργαλείων και στην συνέχεια να γίνει επεξήγηση όλων των καρτελών και κουμπιών που εμφανίζονται παραπάνω.

Γραμμή Μενού



Εικόνα 6.2: «Γραμμή μενού»

Η γραμμή μενού περιέχει τις εξής επιλογές:

File : παρέχει εντολές για τη φόρτωση νέου αρχείου, τη συγχώνευση και την αποθήκευση αρχείων εργασίας, τις βιβλιοθήκες και την εκτύπωση.

Edit : παρέχει εντολές αναίρεσης, αντιγραφής και επικόλλησης πληροφοριών.

Search : παρέχει εντολές εύρεσης και αντικατάστασης για χρήση στο παράθυρο εξισώσεων.

Options : παρέχει εντολές ώστε να καθορίζουμε πιθανές τιμές (guess values) και όρια μεταβλητών μέσα από την επιλογή Variable Info, να εισάγουμε μαθηματικές συναρτήσεις, θερμοδυναμικές ιδιότητες, ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας και ροής ρευστών, δυνατότητα σχεδιασμού και βιβλιοθήκη με ρουτίνες (εσωτερικές ή εξωτερικές), μέσα από την επιλογή Function Info, τέλος να μας δίνει πληροφορίες για την μετατροπή μονάδων μέσα από την επιλογή Unit Conversion Info, να εισάγουμε

παγκόσμιες σταθερές (όπως η επιτάχυνση της βαρύτητας, ο αριθμός π κτλ.) μέσα από την επιλογή Constants, να επιλέξουμε το σύστημα μονάδων που επιθυμούμε μέσα από την επιλογή Unit System, να καθορίσουμε κριτήρια τερματισμού ή αριθμό επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα μέσα από την επιλογή Stop Criteria, να εισάγουμε προεπιλεγμένες πληροφορίες από την επιλογή Default Info, να καθορίσουμε ένα σύνολο προτιμήσεων-επιλογών (όπως για παράδειγμα αποθήκευση κάθε λίγα λεπτά, αυτόματο έλεγχο μονάδων κτλ.) μέσα από την επιλογή Preferences, να καθαρίζουμε-σβήνουμε μεταβλητές που δεν χρησιμοποιούνται μέσα από την επιλογή Purge Unused Variables.

Calculate : παρέχει εντολές προκειμένου να κάνουμε έλεγχο δηλαδή αν είναι σωστά γραμμένες οι εξισώσεις μας, ή υπάρχουν λάθη σύνταξης -Check/Format, επίλυσης του προβλήματος-Solve, ελαχιστοποίησης/μεγιστοποίησης κάποιας μεταβλητής-Min/Max, ελέγχου μονάδων- Check Units, επαναφοράς των ρυθμίσεων πιθανών τιμών-Reset Guesses, επαναφοράς των ρυθμίσεων για τα όρια μεταβλητών-Reset Limits.

Tables : παρέχει εντολές προκειμένου να δημιουργήσουμε ή να τροποποιήσουμε το περιεχόμενο των παραμετρικών πινάκων (Parametric Tables) ή των πινάκων αναζήτησης (Lookup Tables) ή να κάνουμε γραμμική παλινδρόμηση στα δεδομένα τους. Εδώ ο παραμετρικός πίνακας παρομοιάζεται με ένα υπολογιστικό φύλλο στο οποίο μπορούμε μεταβάλλοντας κάποιες από τις παραμέτρους-δεδομένα να βλέπουμε πως μεταβάλλονται οι υπόλοιπες μεταβλητές. Ο πίνακας αναζήτησης κρατά υποθηκευμένα τα δεδομένα και μπορεί ανά πάσα στιγμή να τα ανακτήσει.

Plots : παρέχει εντολές δημιουργίας (New Plot), τροποποίησης (Modify) ή επικαιροποίησης (Overlay) διαγραμμάτων μέσα από τα στοιχεία που παρέχουν οι παραμετρικοί πίνακες ή πίνακες αναζήτησης ή πίνακες διάταξης (Array Tables). Επίσης δίνει την δυνατότητα εμφάνισης της γραμμής τάσης (Curve Fit).

Windows : περιέχει εντολές γρήγορης πρόσβασης σε ορισμένα παράθυρα όπως σε πίνακες, διαγράμματα, στο παράθυρο όπου μπορούμε να δούμε τις εξισώσεις μας γραμμένες με μαθηματικό τρόπο (Formatted Equations) κα.

Help : παρέχει εντολές για την πρόσβαση σε μια βιβλιοθήκη ηλεκτρονικής τεκμηρίωσης στην οποία μπορούμε πληκτρολογώντας στο πεδίο αναζήτησης να βρούμε πληροφορίες για οποιαδήποτε λειτουργία του EES.

Examples : μέσα από την επιλογή αυτή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη με τη βοήθεια παραδειγμάτων να δει πως καταστρώνονται διάφορα προβλήματα στο EES και να μάθει μέσα από προσωπική εξάσκηση βασικές λειτουργίες του προγράμματος.


Γραμμή εντολών



Εικόνα 6.3: «Γραμμή εντολών»

Παρακάτω ακολουθεί η επεξήγηση των κουμπιών εντολών:

 :Ανοιγμα φακέλου

 :Εικονίδιο αποθήκευσης


 :Εκτύπωση


 :Πληροφορίες μεταβλητών

 :Πληροφορίες συναρτήσεων

 :Σύστημα μονάδων

 :Έλεγχος εξισώσεων


 : Solver

 :Παράθυρο μεγίστων/ελαχίστων

 :Νέος παραμετρικός πίνακας

 :Διαγράμματα ιδιοτήτων

 :Παράθυρο εξισώσεων

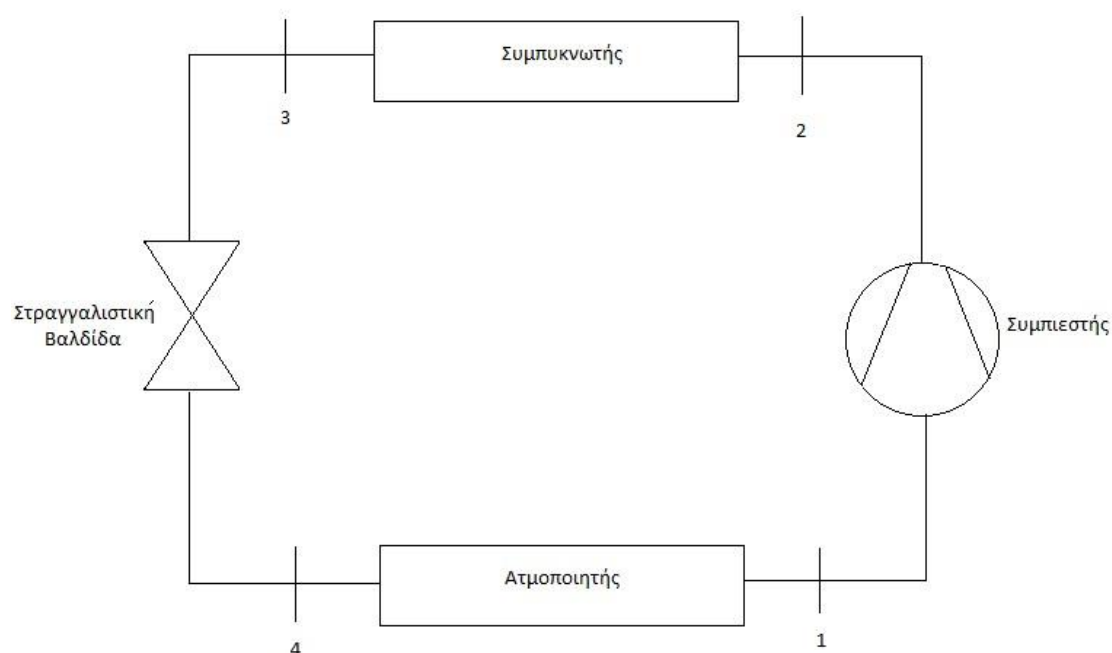
 :Σχηματοποιημένες εξισώσεις

 :Παράθυρο παραμετρικών πινάκων

6.3 Εμβάθυνση στο λογισμικό μέσω της διαδικασία επίλυσης

Η διαδικασία επίλυσης του βασικού προβλήματος αυτής της διπλωματικής θα βοηθήσει στην εμβάθυνση στο πρόγραμμα.

Στον κομμάτι θα παρουσιαστεί ξανά η γραμμική απεικόνιση ενός μονοβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών και στην συνέχεια θα γίνει η εισαγωγή του προβλήματος μέσα στο πρόγραμμα.

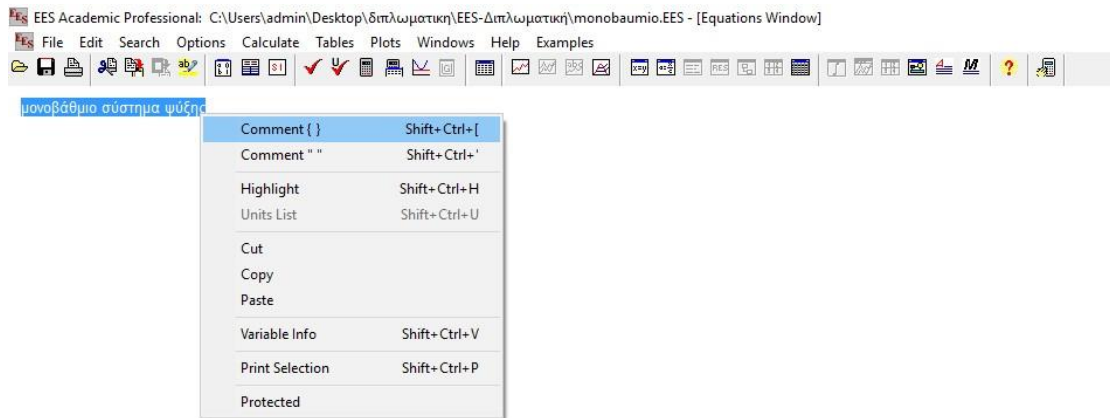


Εικόνα 6.4: «Μονοβάθμιος κύκλος συμπίεσης ατμών»

Η διαδικασία βήμα-βήμα είναι η εξής.

Εισαγωγή σχολίου:

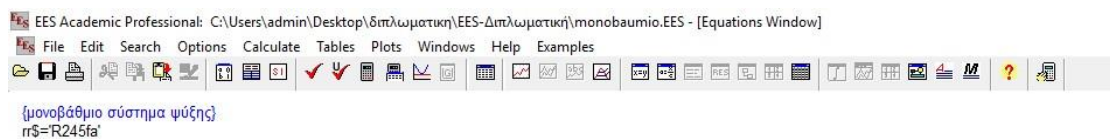
Αρχικά μπορούμε να γράψουμε ότι θέλουμε στο πρόγραμμα σαν σχόλια, τίτλους, υποδείξεις κτλ. Το λογισμικό για να μην το εκλάβει σαν εντολή εκτέλεσης, επιλέγουμε το κείμενο πατάμε δεξί κλικ και την επιλογή comment { }



Εικόνα 6.5: «Εισαγωγή σχόλιου στο EES»

Ορισμός ψυκτικού μέσου:

Το EES περιέχει μια μεγάλη βιβλιοθήκη με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες πολλών ψυκτικών μέσων, δίνοντας έτσι στον χρήστη την δυνατότητα να ορίσει με μια εντολή ποιο μέσο θα χρησιμοποιήσει. Η εντολή για την επιλογή του ψυκτικού μέσου συντάσσεται με την δομή $rr\$=«...»$ τοποθετώντας μέσα στα αποσιωπητικά το μέσο που θέλουμε.



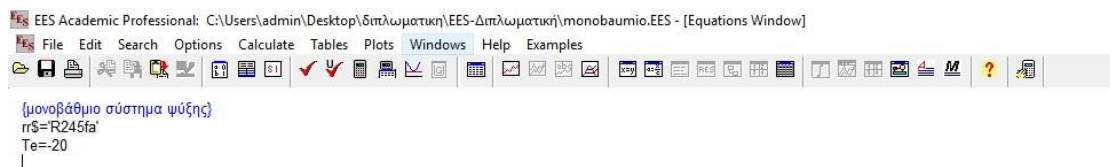
Εικόνα 6.6: «Ψυκτικό μέσο στο EES»

Στην συνέχεια για την επίλυση του προβλήματος ακολουθούμε την φυσική ροή που δείξαμε στο παραπάνω κεφάλαιο του μαθηματικού μοντέλου. Αρχικά εισάγουμε τα δεδομένα που είναι γνωστά.

Εισαγωγή μεταβλητής:

Η εισαγωγή των δεδομένων στο EES είναι πολύ εύκολη διαδικασία καθώς η σύνταξη της εντολής είναι μεταβλητή=τιμή.

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.

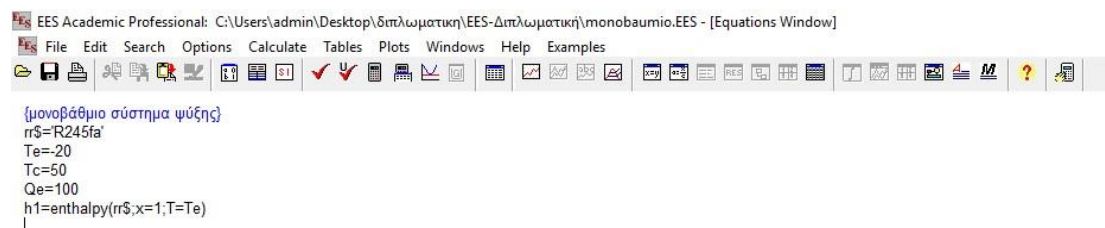


Εικόνα 6.7: «Εισαγωγή δεδομένων στο EES»

Σύνταξη εντολής για την ενθαλπία

Για τον καθορισμό την ενθαλπίας σε μία θέση χρειάζονται δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, το ίδιο γίνεται και στο EES με την μόνη διαφορά ότι το πρόγραμμα ανατρέχει στις βάσεις δεδομένων που διαθέτει και βρίσκει την τιμή που μας ενδιαφέρει. Η σύνταξη της εντολής είναι $h=Enthalpy(\text{ψυκτικό μέσο}; \text{ανεξάρτητη μεταβλητή}_1; \text{ανεξάρτητη μεταβλητή}_2)$.

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.



```
EES Academic Professional: C:\Users\admin\Desktop\διδλωματικη\EES-Διδλωματικη\monobaumio.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
{μονοβάθμιο σύστημα ψύξης}
rr$=R245fa
Te=-20
Tc=50
Qe=100
h1=enthalpy(rr$,x=1,T=Te)
```

Εικόνα 6.8: «Σύνταξη εντολής ενθαλπίας στο EES»

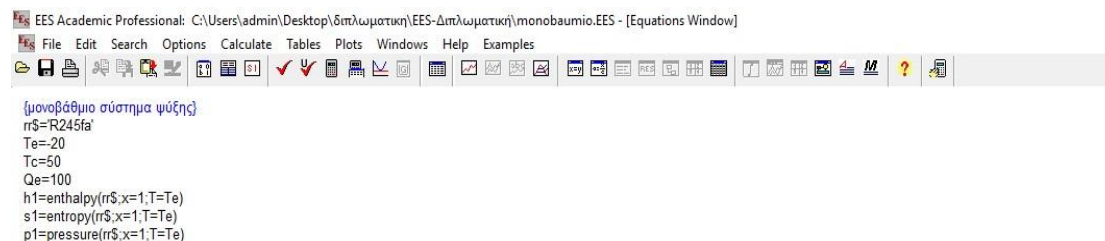
Σύνταξη εντολών για εντροπία και πίεση:

Με παρεμφερή τρόπο ορίζονται και οι εντολές για την εντροπία και την πίεση. Η σύνταξη της εντολών είναι:

$s=Entropy$ (ψυκτικό μέσο; ανεξάρτητη μεταβλητή₁; ανεξάρτητη μεταβλητή₂).

$p=Pressure$ (ψυκτικό μέσο; ανεξάρτητη μεταβλητή₁; ανεξάρτητη μεταβλητή₂).

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.

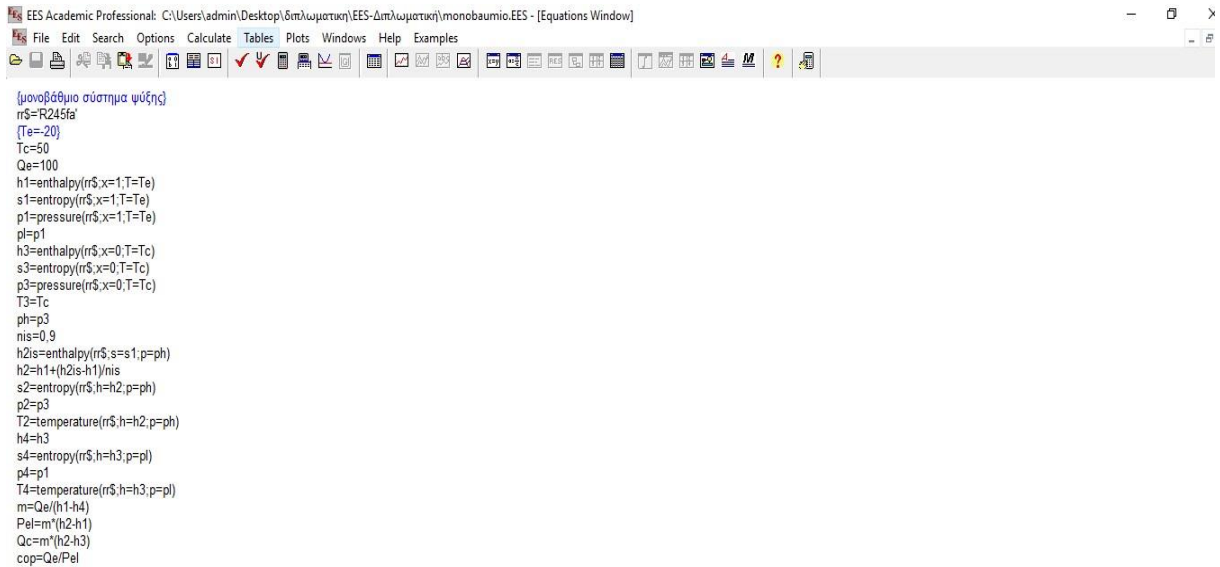


```
EES Academic Professional: C:\Users\admin\Desktop\διδλωματικη\EES-Διδλωματικη\monobaumio.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
{μονοβάθμιο σύστημα ψύξης}
rr$=R245fa
Te=-20
Tc=50
Qe=100
h1=enthalpy(rr$,x=1,T=Te)
s1=entropy(rr$,x=1,T=Te)
p1=pressure(rr$,x=1,T=Te)
```

Εικόνα 6.9: «Σύνταξη εντολών εντροπίας και πίεσης στο EES»


Με την χρήση των παραπάνω εντολών μπορεί να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή του προβλήματος στο EES.

Στην παρακάτω εικόνα ακολουθεί ολόκληρος ο κώδικας.

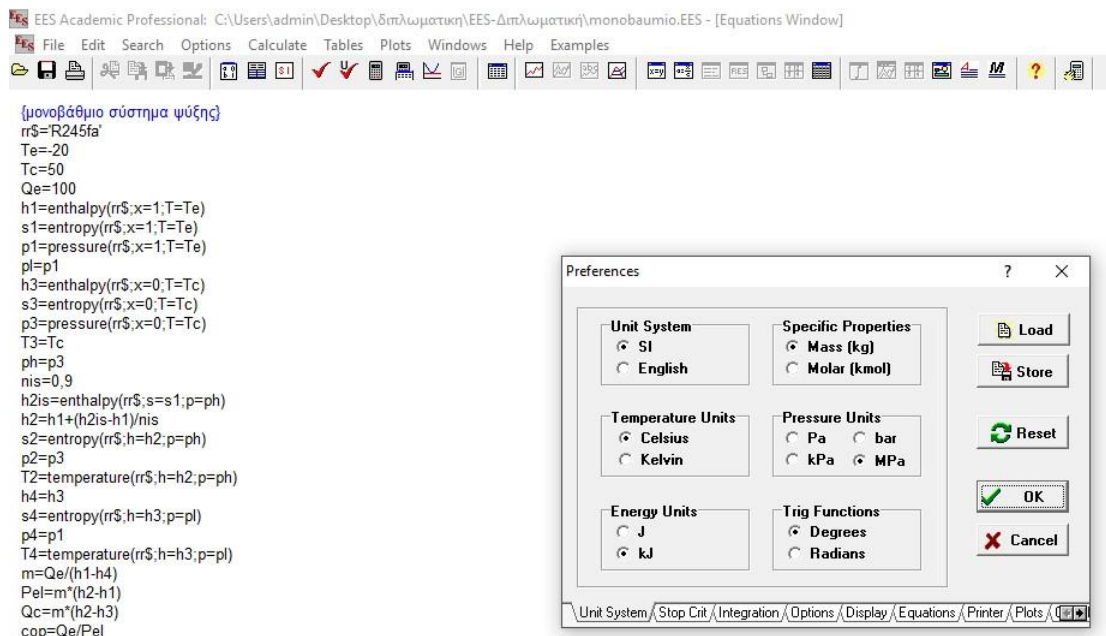


Εικόνα 6.10: «Μονοβάθμιος κύκλος ψύξης στο EES»

Εισαγωγή μονάδων:

Στο κομμάτι αυτό είναι χρήσιμο να δείξουμε με ποιον τρόπο μπορούμε να επιλέξουμε τις μονάδες που θέλουμε ώστε να προκύψουν και τα σωστά αποτελέσματα. Η επιλογή των μονάδων γίνεται όπως αναφέραμε και προηγουμένως πατώντας το κουμπί .


Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.



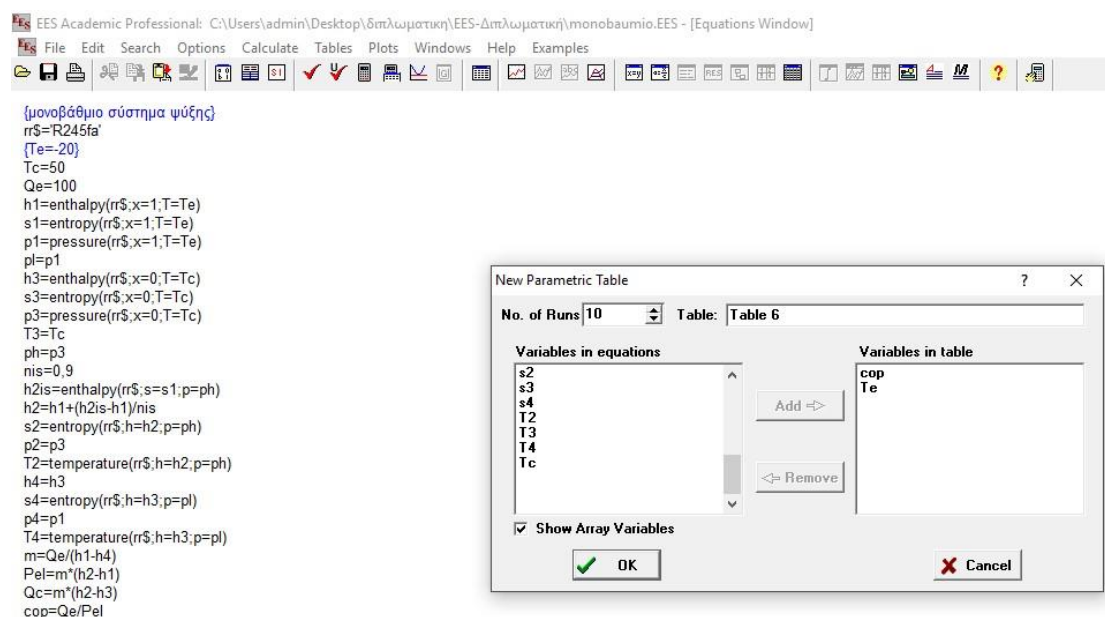
Εικόνα 6.11: «Επιλογή μονάδων στο EES»

Δημιουργία παραμετρικός πίνακας:

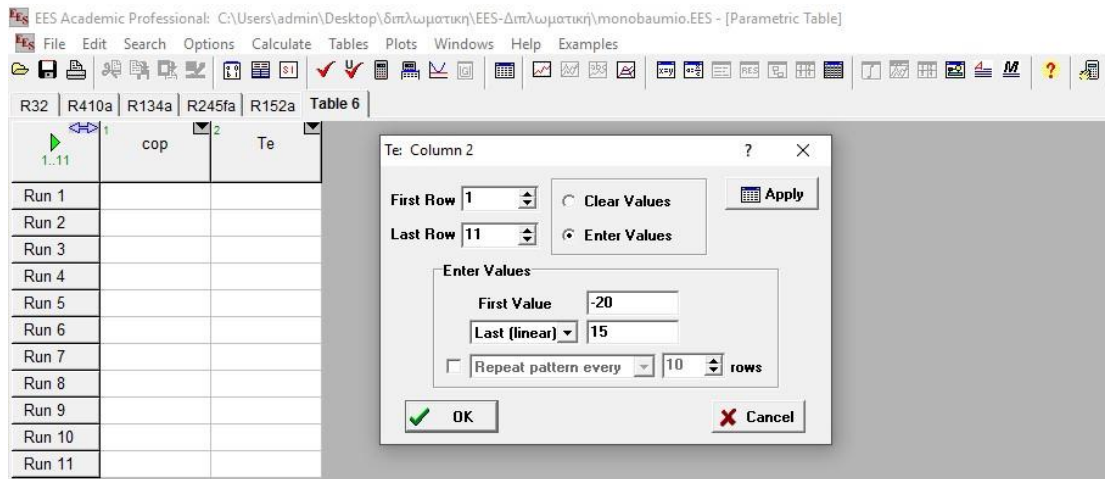
Όπως προ είπαμε ένας από του βασικούς στόχους αυτής της διπλωματικής είναι εξαγωγή αποτελεσμάτων για την σύγκριση της αποδοτικότητας του διάφορων ψυκτικών μέσων. Για το λόγο αυτό θα εξετάσουμε πως μεταβάλλεται ο συντελεστής συμπεριφοράς της εγκατάστασης σε σχέση με την θερμοκρασία του ατμοποιητή, για σταθερή θερμοκρασία συμπύκνωσης. Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε είναι η εξής.

1. Επιλέγουμε την θερμοκρασία του ατμοποιητή και με δεξί κλικ την κάνουμε comment.
2. Πατάμε το πλήκτρο  για την δημιουργία νέου παραμετρικού πίνακα
3. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει επιλέγουμε τις μεταβλητές που θέλουμε να δούμε πως αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, στην περίπτωση αυτή τον βαθμό απόδοσης και τη θερμοκρασία του ατμοποιητή, στην συνέχεια πατάμε προσθήκη και τέλος πατάμε ok. (Εικόνα 6.12)
4. Στην συνέχεια το λογισμικό μας πηγαίνει σε μια οθόνη που έχει τον πίνακα που θέλουμε να δημιουργήσουμε, χωρίς όμως δεδομένα. Για να γεμίσουμε τον πίνακα πρέπει να ορίσουμε την μια μεταβλητή. Πατάμε το μαύρο κάθετο βελάκι "Alter Values" και στην συνέχεια οριοθετούμε την μεταβλητή (Εικόνα 6.13). Η άλλη μεταβλητή θα γεμίσει μόνη της όταν πατήσουμε το πράσινο βελάκι "Solve Table" (Εικόνα 6.14).

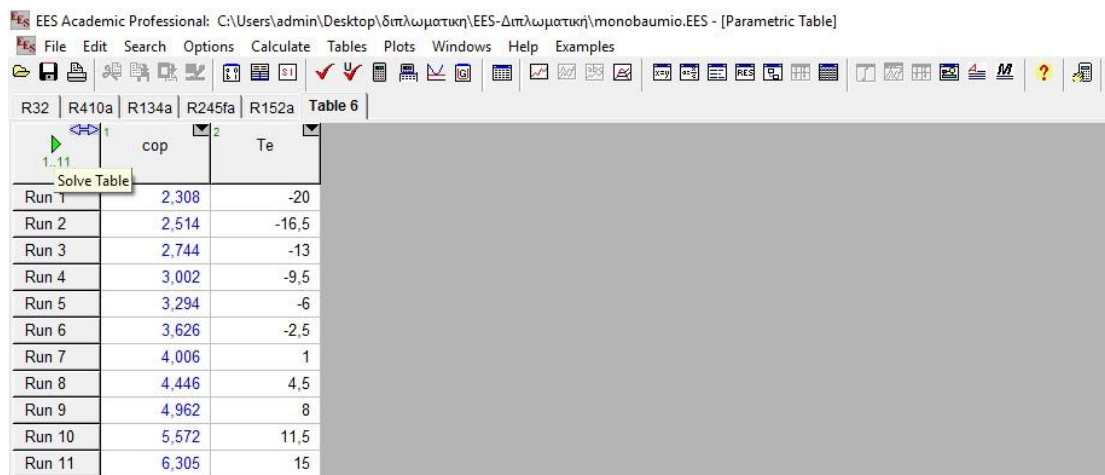
Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.



Εικόνα 6.12: «Εισαγωγή πίνακα στο EES»



Εικόνα 6.13: «Οριοθέτηση μεταβλητής στο EES»




Εικόνα 6.14: «Εκτέλεση πίνακα στο EES»

Δημιουργία διαγράμματος

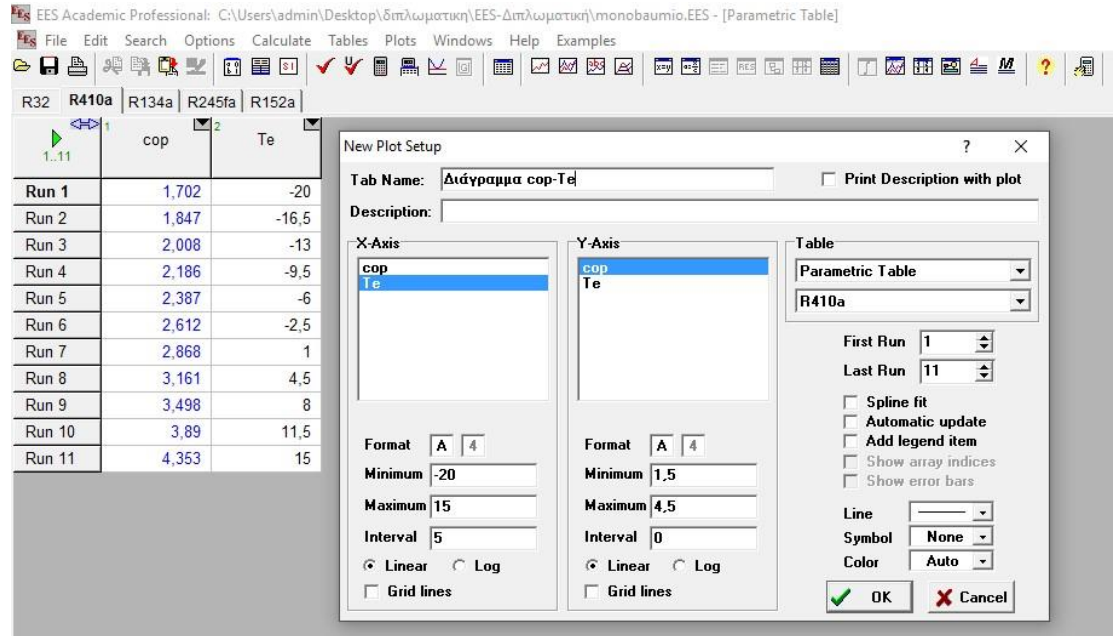
Στο κομμάτι αυτό θα δείξουμε, για λόγους πληρότητας, πως δημιουργούμε διαγράμματα στο EES. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, τα διαγράμματα που θα δούμε έχουν φτιαχτεί με την βοήθεια του excel αφού πρώτα εισήγαμε τα αποτελέσματα από τους πίνακες του EES.

Για την δημιουργία διαγραμμάτων ακολουθούμε την εξής διαδικασία

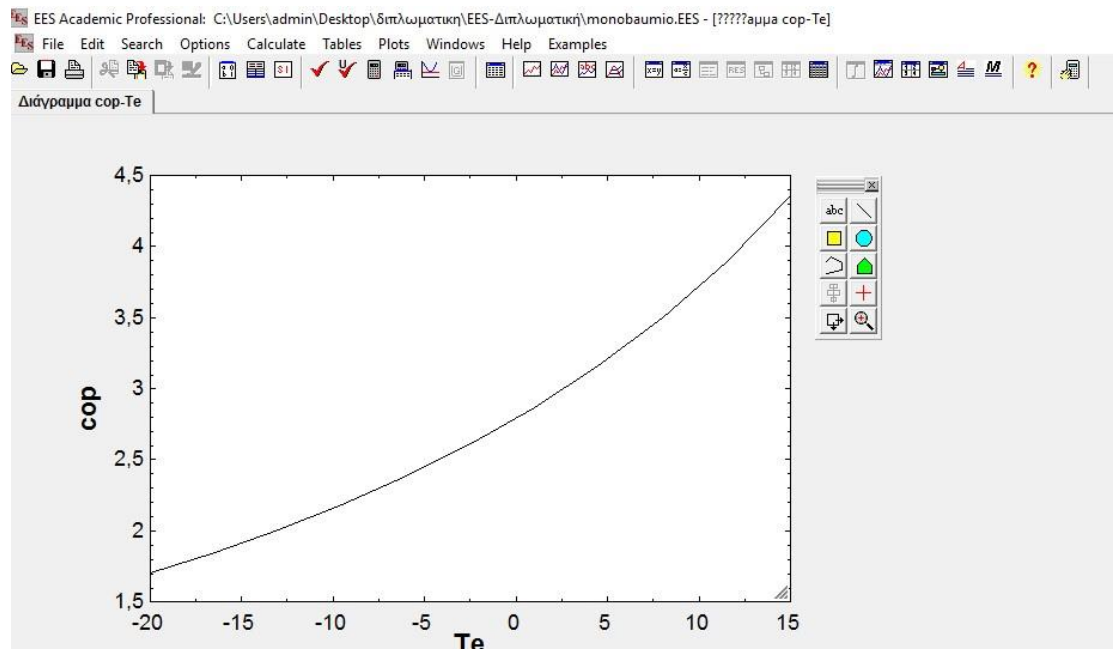
1. Πηγαίνουμε στην καρτέλα του πίνακα που θέλουμε να δημιουργήσουμε το διάγραμμα και πατάμε το εικονίδιο  για την δημιουργία καινούργιου διαγράμματος.
2. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει, στην περιοχή "Tab Name" δηλώνουμε το όνομα του διαγράμματος. Στην συνέχεια ορίζουμε ποια μεταβλητή θέλουμε να είναι στο x άξονα και ποια στο y άξονα. Οριοθετούμε

το διάστημα που θέλουμε να βλέπουμε στο διάγραμμα καθώς και το βήμα, τέλος πατάμε οκ.

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.



Εικόνα 6.15: «Δημιουργία διαγράμματος στο EES»




Εικόνα 6.16: «Διάγραμμα στο EES»

Επίσης για την σύγκριση της αποδοτικότητας των ψυκτικών μέσων, στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθενται διαγράμματα που δείχνουν πως μεταβάλλεται ο βαθμός

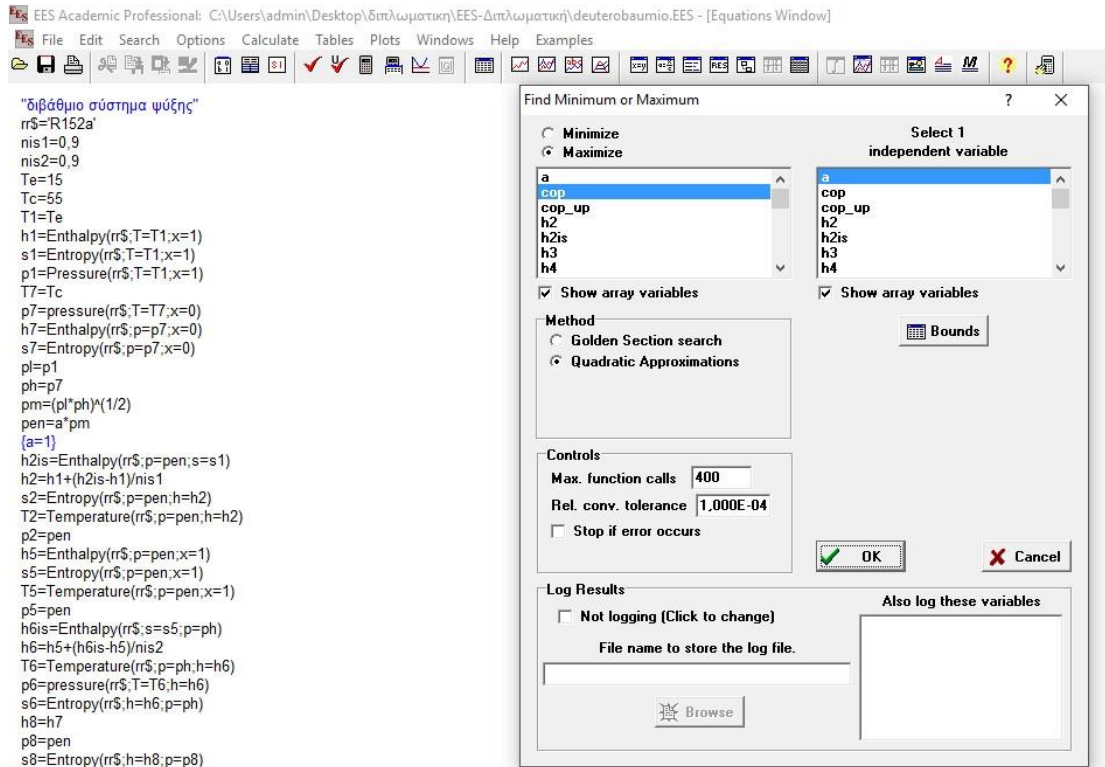
απόδοσης της εγκατάστασης σε σχέση με την θερμοκρασία του συμπυκνωτή, για σταθερή θερμοκρασία ατμοποίησης. Η διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων είναι παρεμφερής με την προαναφερθείσα.

Βελτιστοποίηση μεταβλητής:

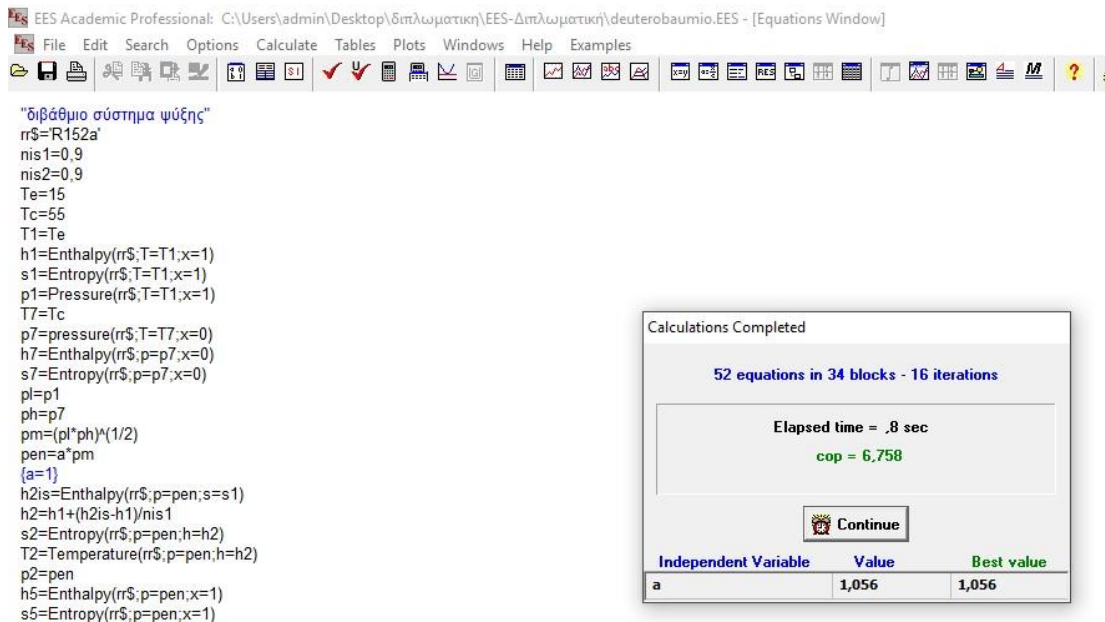
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω κεφάλαιο του μαθηματικού μοντέλου κατά την διαδικασία επίλυσης του διβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών, για τον υπολογισμό την ενδιάμεσης πίεσης του τύμπανου διαχωρισμού, χρησιμοποιήθηκε μια εμπειρική σχέση για την εύρεση της. Το EES μας δίνει την δυνατότητα να βελτιστοποιήσουμε αυτήν την πίεση ώστε να έχουμε μέγιστο βαθμό απόδοσης, που είναι το ζητούμενο στην περίπτωση μας.

- Έτσι για την διαδικασία της βελτιστοποίησης ακολουθούμε την εξής διαδικασία:
 1. Εισάγουμε το πρόβλημα ακολουθώντας την ροή που έχουμε αναπτύξει στο μαθηματικό μοντέλο.
 2. Ορίζουμε μια μεταβλητή « p_m », η οποία ισούται με το γινόμενο της ενδιάμεσης πίεσης « p_{en} », από την εμπειρική σχέση, με μιας μεταβλητής « a »
$$p_m = p_{en} * a$$
 3. Δίνουμε στην μεταβλητή « a » την τιμή ένα. $a=1$
Ωστε η τιμή της βέλτιστης πίεσης να ισούται με την τιμή από την εμπειρική σχέση. Στην συνέχεια κάνουμε την μεταβλητή a comment.
 4. Πατάμε το κουμπί  για την εύρεση ελαχίστου/μέγιστου.
 5. Στο παράθυρο διαλόγου που προκύπτει επιλέγουμε ποια μεταβλητή θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε, εξαρτημένη μεταβλητή, και ποια είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή. Τέλος πατάμε ok.
 6. Το πρόγραμμα μας ανοίγει νέο παράθυρο διαλόγου που μας δείχνει το μέγιστο βαθμό απόδοσης και για ποια τιμή της μεταβλητής a το πετυχαίνουμε.
 7. Εφόσον η τιμή του a δεν είναι ίση με την μονάδα η εμπειρική σχέση δεν μας δίνει την βέλτιστη λύση.

Παρακάτω ακολουθούν παραδείγματα από την διαδικασία που μόλις περιγράψαμε.

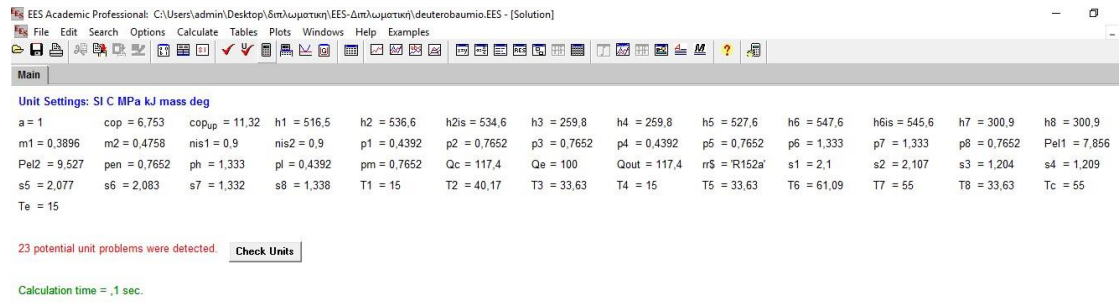


Εικόνα 6.17: «Επιλογή μεταβλητών προς βελτιστοποίησης στο EES»



Εικόνα 6.18: «Αποτελέσματα βελτιστοποίησης στο EES»

Τέλος αν βγάλουμε την μεταβλητή a από comment και πατήσουμε το κουμπί για την επίλυση του κώδικα, παρατηρούμε ότι η διαφορά στους δύο βαθμούς απόδοσης είναι σχεδόν μηδαμινή. Επομένως για την εξαγωγή αποτελεσμάτων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εμπειρική σχέση χωρίς να εισάγουμε αξιοσημείωτο σφάλμα.



Εικόνα 6.19: «Αποτελέσματα χωρίς βελτιστοποίησης στο EES»

Κεφάλαιο 7

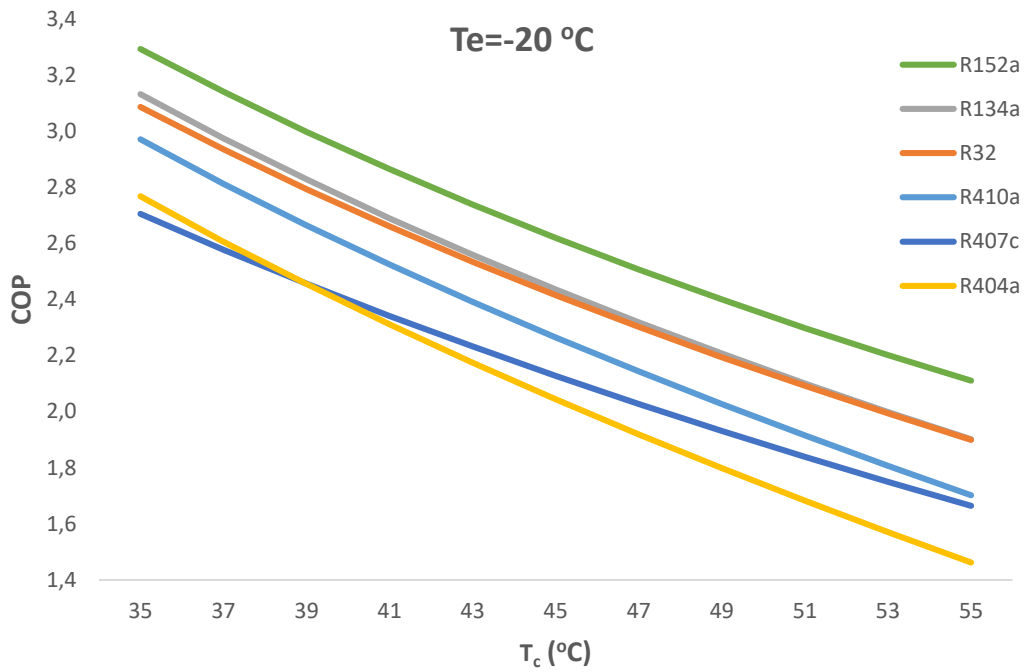
7. Αποτελέσματα αποδοτικότητας ψυκτικών μέσων

7.1 Γενικά περί αποτελεσμάτων.

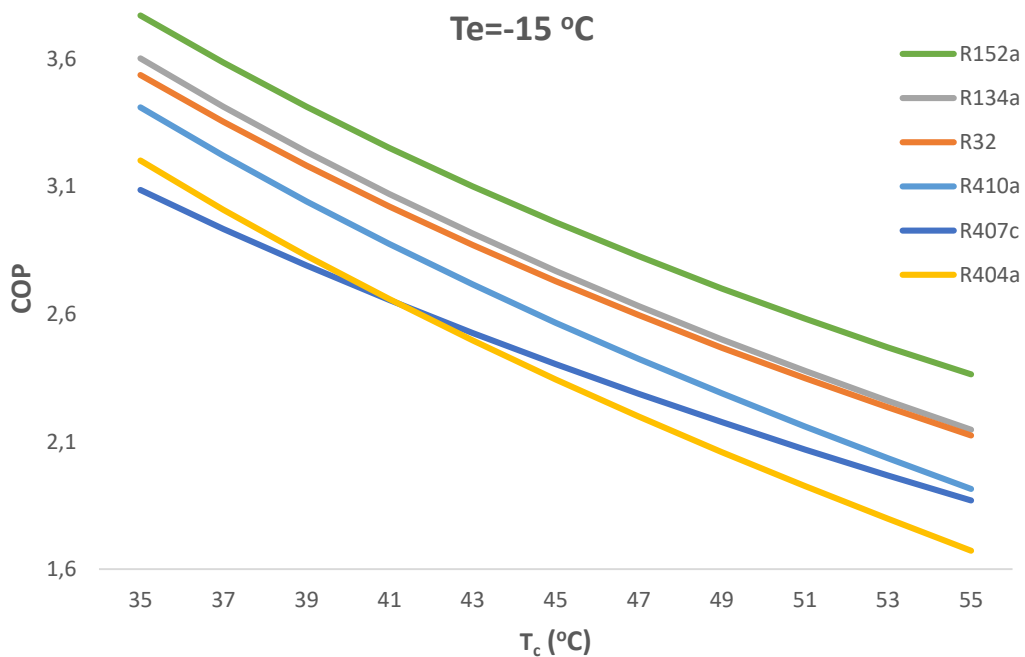
Στο κομμάτι αυτό θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα που προέκυψαν μετά από τον παραμετρικό υπολογισμό, με την βοήθεια του προγράμματος EES, για μονοβάθμιο και διβάθμιο κύκλο συμπίεσης ατμών. Συγκεκριμένα το υποκεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποιητή καθώς και συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασία συμπυκνωτή. Τέλος θα παρουσιαστούν και σε κοινό διάγραμμα τα αποτελέσματα του συντελεστή συμπεριφοράς για μονοβάθμιο και διβάθμιο κύκλο.

7.1.1 Διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή μονοβάθμιου κύκλου.

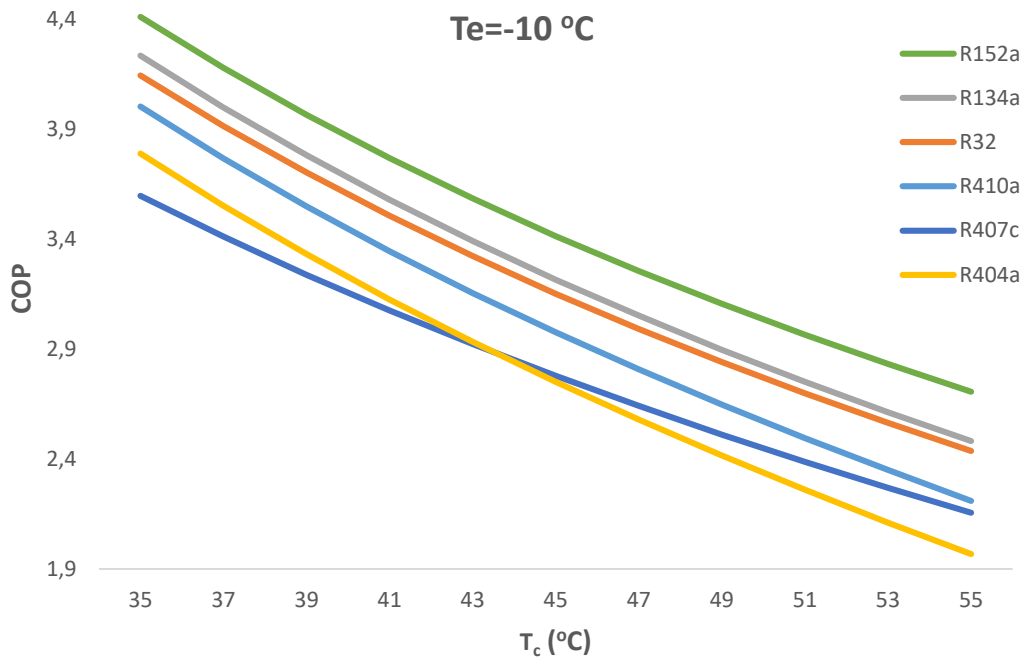
Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα του συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή για τα διάφορα εργαζόμενα μέσα, για συγκεκριμένες θερμοκρασίες ατμοποίησης.



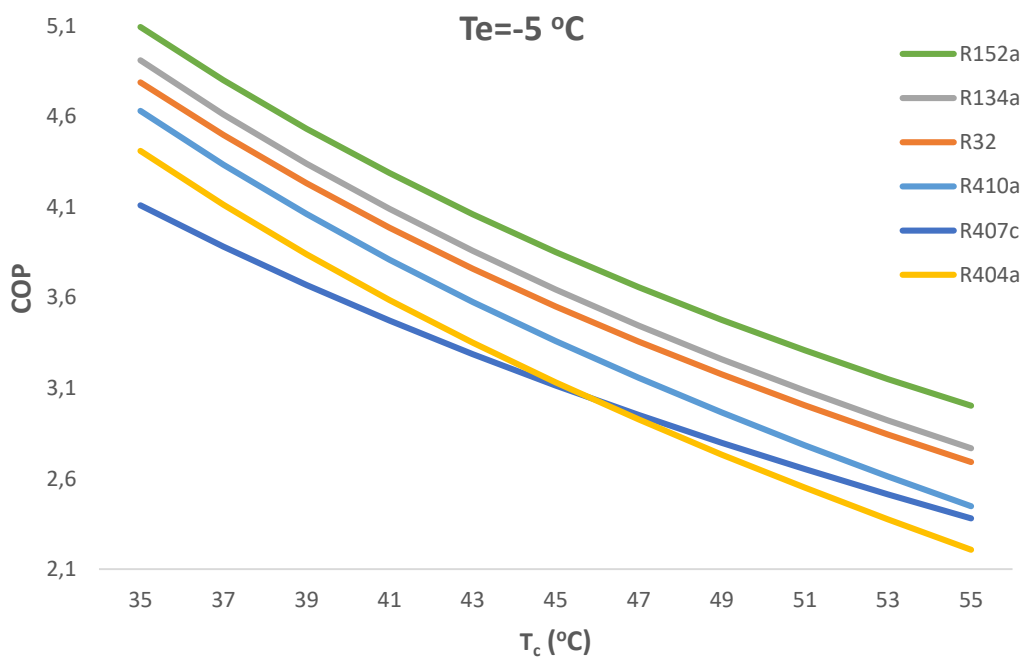
Διάγραμμα 7.1.1: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -20\text{ }^\circ\text{C}$



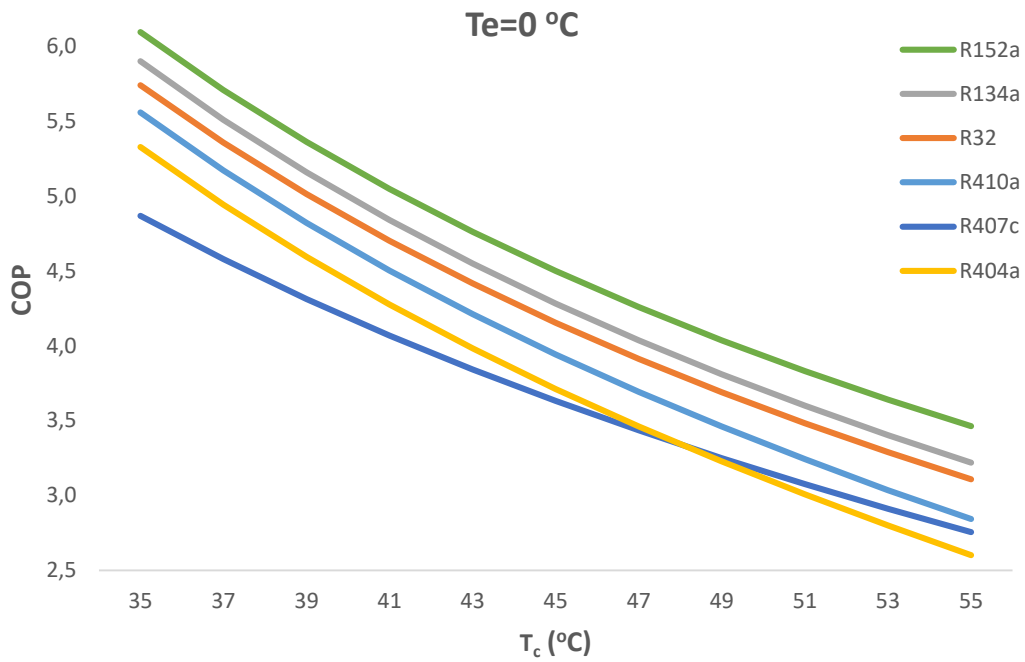
Διάγραμμα 7.1.2: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -15\text{ }^\circ\text{C}$



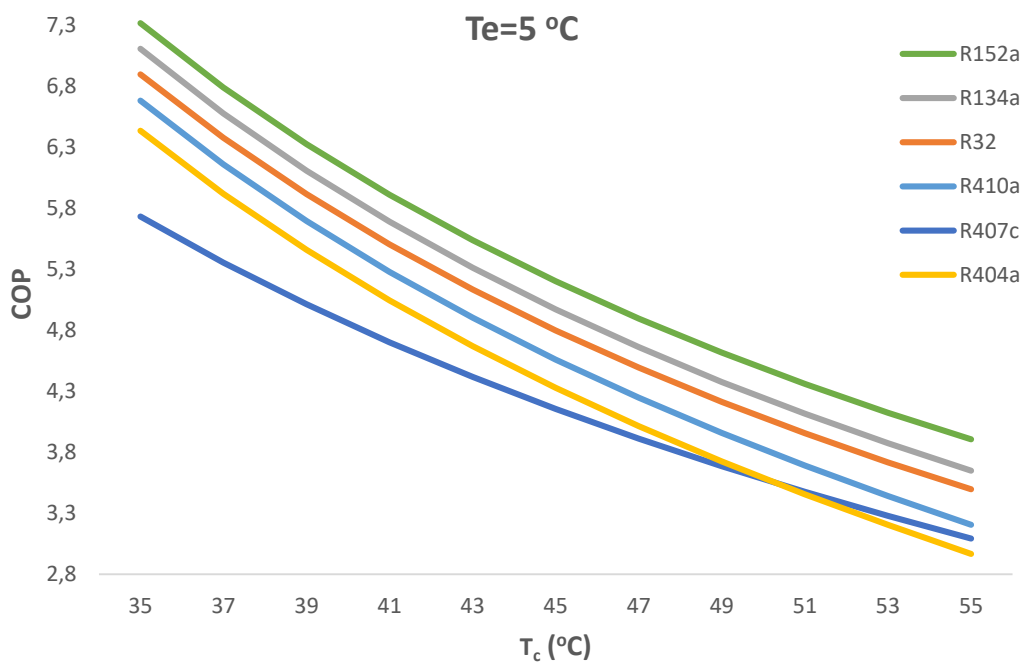
Διάγραμμα 7.1.3: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -10\text{ °C}$



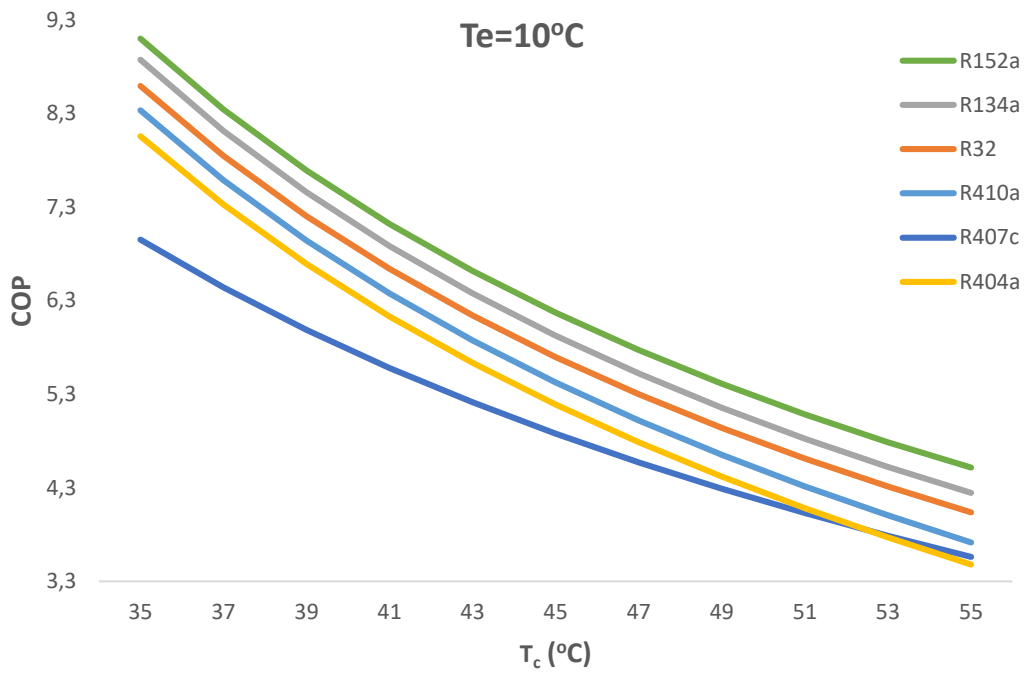
Διάγραμμα 7.1.4: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -5\text{ °C}$



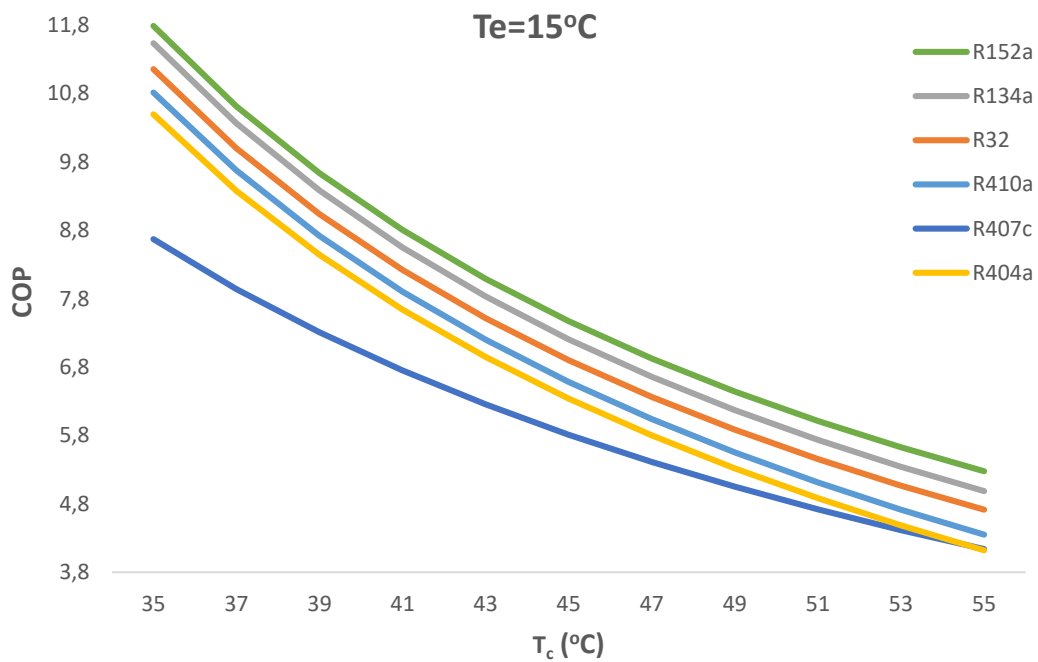
Διάγραμμα 7.1.5: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 7.1.6: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 7.1.7: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 7.1.8: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Αφού παρουσιάστηκαν όλα τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή για τις διάφορες θερμοκρασίες ατμοποίησης, παρατηρούνται τα εξής στοιχεία.

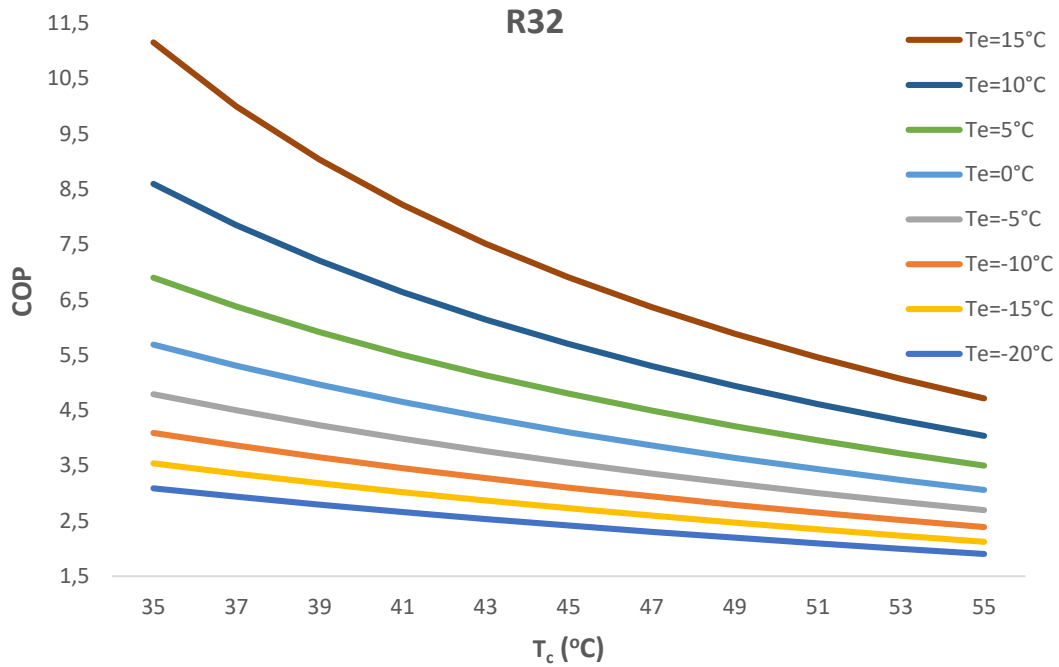
Αρχικά όπως αναμένεται ο συντελεστής συμπεριφοράς έχει φθίνουσα πορεία όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία του συμπυκνωτή. Η συμπεριφορά αυτή είναι λογική καθώς μπορεί να εξηγηθεί με πολλούς τρόπους. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία συμπύκνωσης οδηγεί σε μεγαλύτερο έργο στο συμπιεστή (μεγαλύτερη αύξηση πίεσης) κάτι που επιδρά αρνητικά στο συντελεστή συμπεριφοράς. Επίσης παρατηρείται ότι αρχικά η πτωτική πορεία του συντελεστή συμπεριφοράς για τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης είναι γραμμική ενώ όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται εκθετικά.

Ακόμα είναι φανερό πως υπάρχει αισθητή διαφορά στην απόδοση του ψύκτη όταν αυτός λειτουργεί με διαφορετικά ψυκτικά μέσα. Η κατάταξη των ψυκτικών μέσων δεν φαίνεται να αλλάζει καθώς αλλάζουν οι θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπύκνωσης εκτός κάποιων περιπτώσεων.

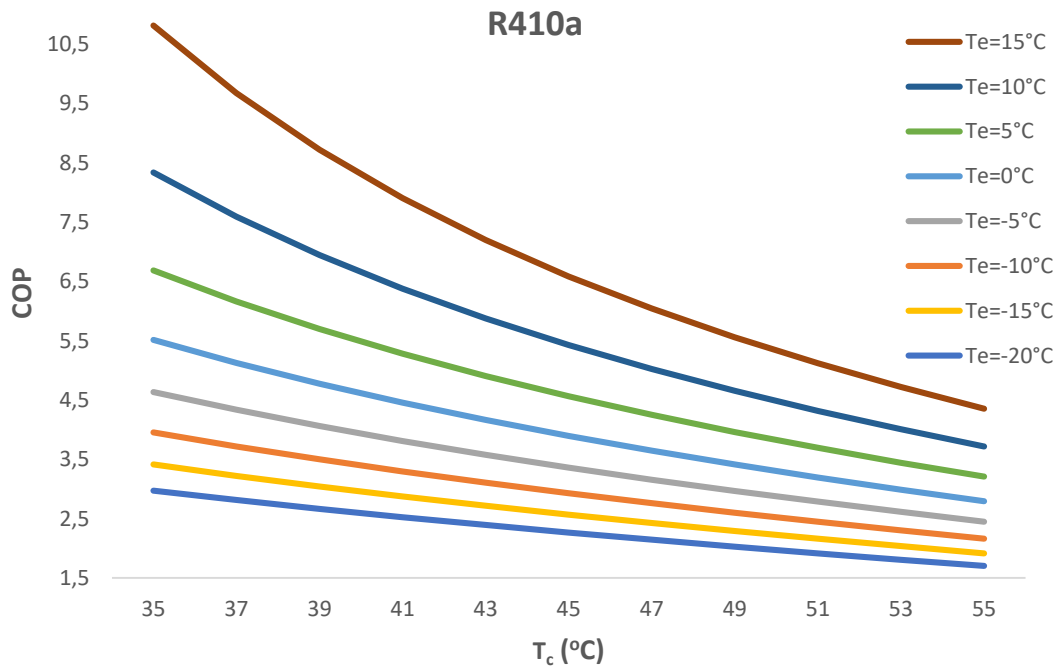
Αναλυτικά στο διάγραμμα 7.1.1 το R152a έχει τον υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα. Στην δεύτερη και τρίτη θέση ακολουθούν τα ψυκτικά R134a και R32, με λίγο υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς του R134a σε θερμοκρασίες συμπύκνωσης στο εύρος από 35 έως 40, ενώ για πιο υψηλές θερμοκρασίες οι καμπύλες ταυτίζονται. Έπονται τα ψυκτικά μέσα R410a, R404a, R407c με την σειρά που αναφέρθηκαν. Ο συντελεστής συμπεριφοράς του R407c υπερτερεί σε σχέση με το R404a σε θερμοκρασίες συμπύκνωσης στο διάστημα 40 έως 55.

Στα επόμενα διαγράμματα 7.1.2-7.1.8 η κατάταξη των ψυκτικών μέσων παραμένει η ίδια. Όμως παρατηρούνται οι εξής διαφοροποιήσεις: το R134a έχει αισθητά καλύτερο συντελεστή συμπεριφοράς από το R32 καθώς αυξάνει η θερμοκρασία ατμοποίησης. Επίσης γίνεται εμφανές ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς του R407c, όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία ατμοποίησης, μειώνεται αισθητά σε σχέση με όλα τα άλλα ψυκτικά μέσα.

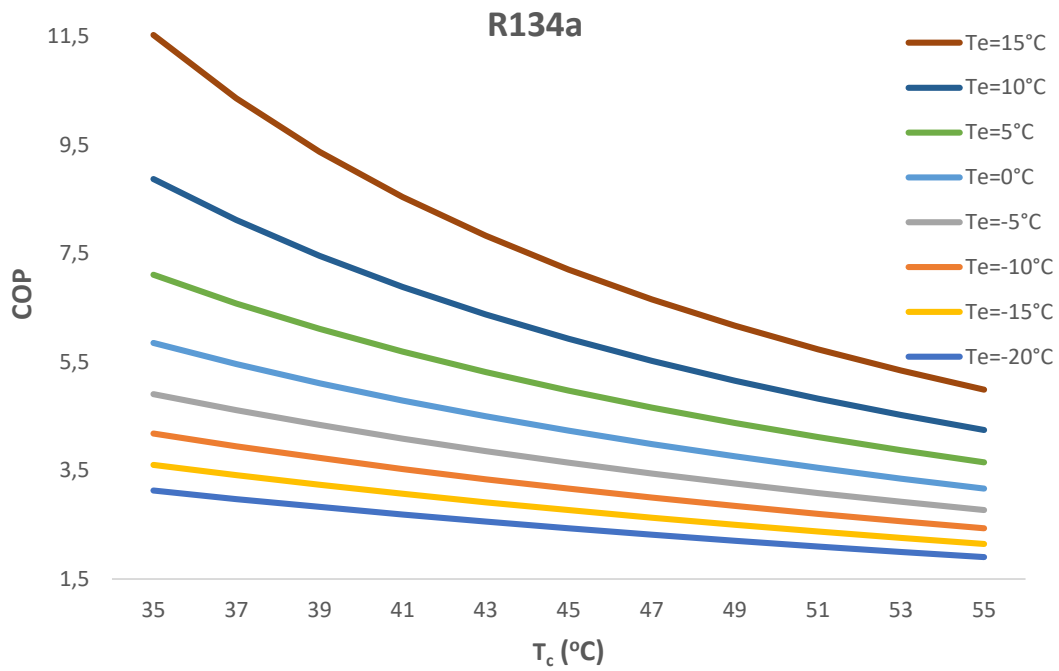
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή για κάθε εργαζόμενο μέσο, σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες ατμοποίησης.



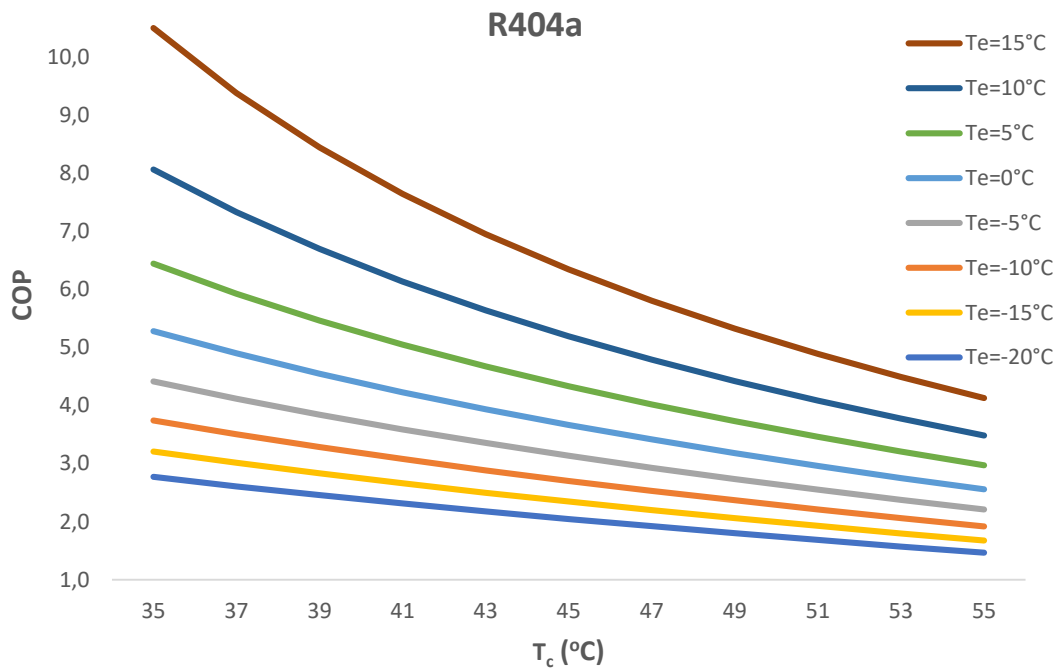
Διάγραμμα 7.1.9: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R32



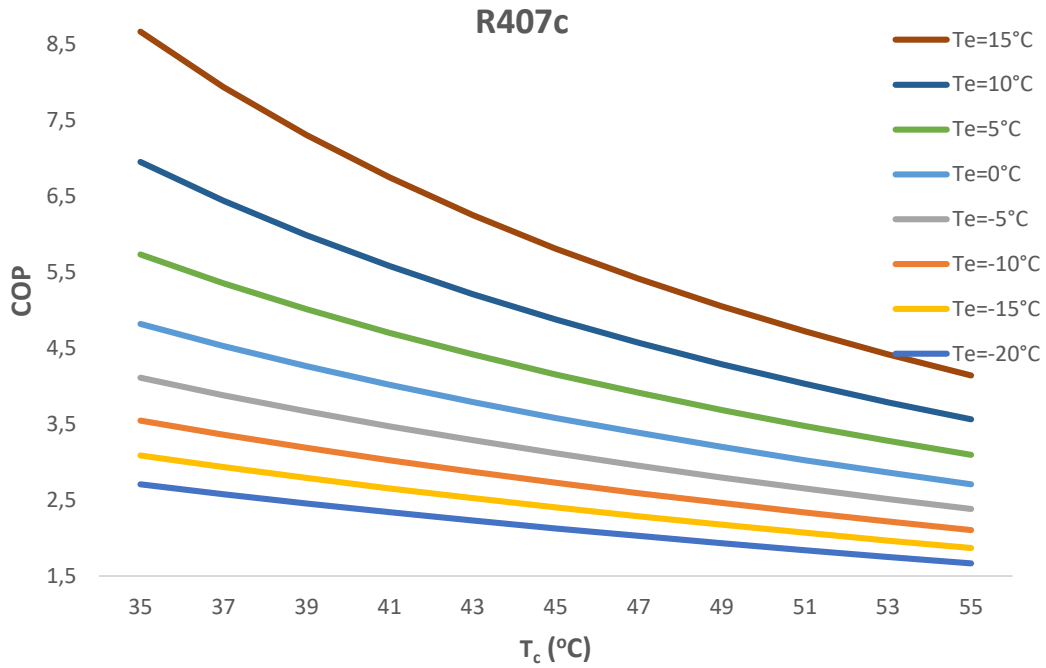
Διάγραμμα 7.1.10: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R410a



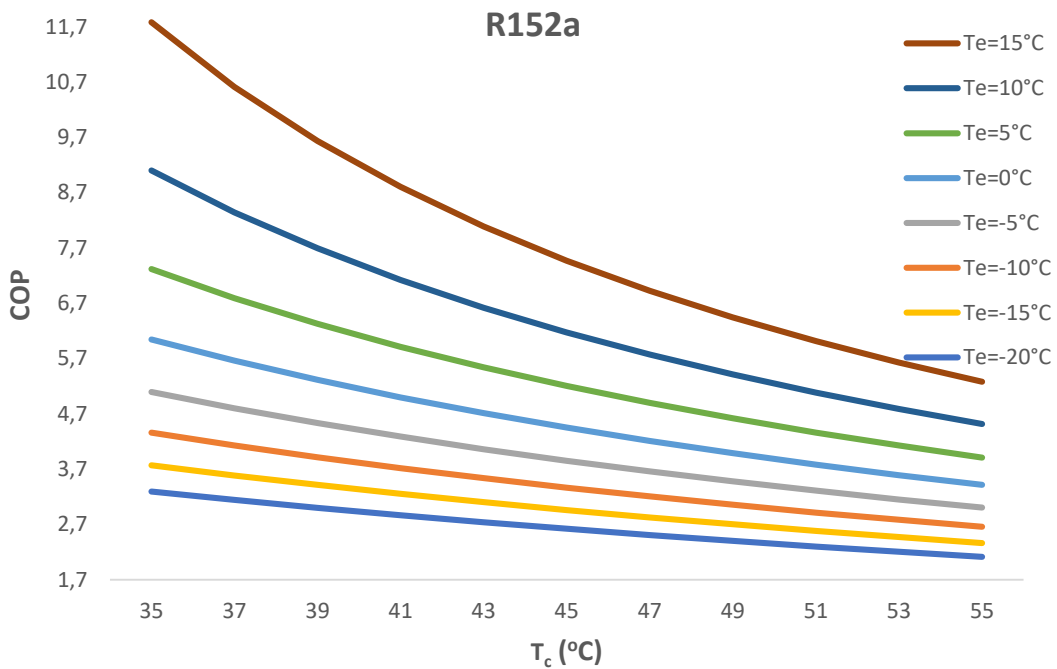
Διάγραμμα 7.1.11: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R134a



Διάγραμμα 7.1.12: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R404a



Διάγραμμα 7.1.13: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R407c



Διάγραμμα 7.1.14: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R152a

Όπως αναμενόταν παρατηρείται μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία συμπύκνωσης. Αρχικά η μείωση είναι εκθετική μέχρι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία συμπύκνωσης και ύστερα γίνεται γραμμική. Παρακάτω παρουσιάζεται αυτή η θερμοκρασία για κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 7.1.9, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=43,41,39,37^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=-10,-15,-20^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.1.10, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=46^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45,43,41,39^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=-10,-15,-20^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.1.11, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=47^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45,42,40,38^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=-10,-15,-20^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.1.12, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=46^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45,43,41,39^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=-10,-15,-20^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

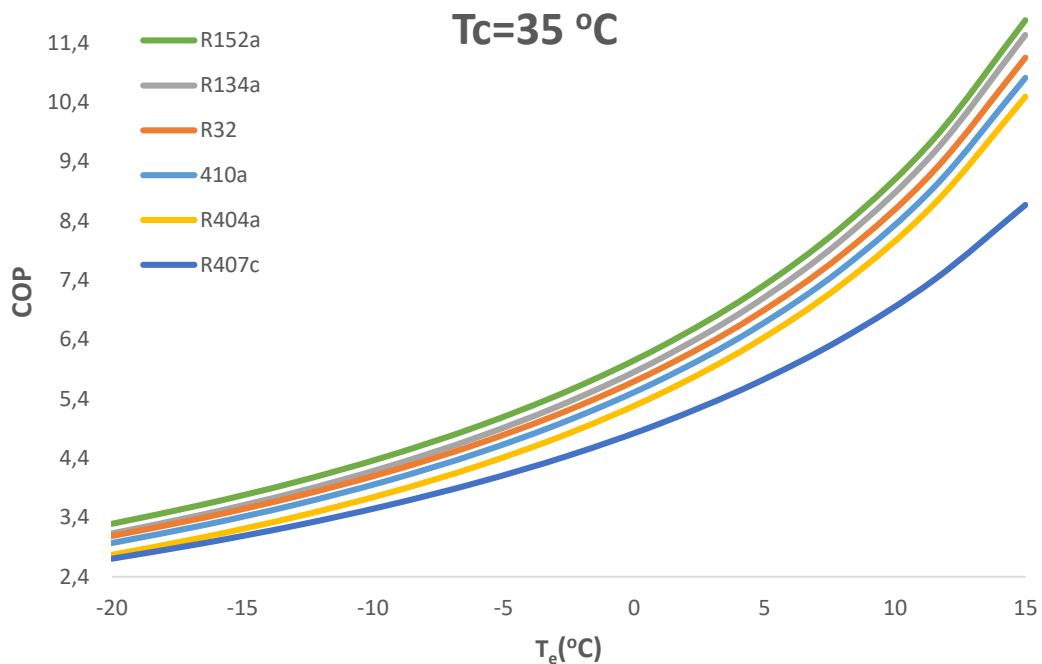
Στο διάγραμμα 7.1.13, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=44,43,42,41^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=-10,-15,-20^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.1.14, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=49^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=47,45,43,41^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος

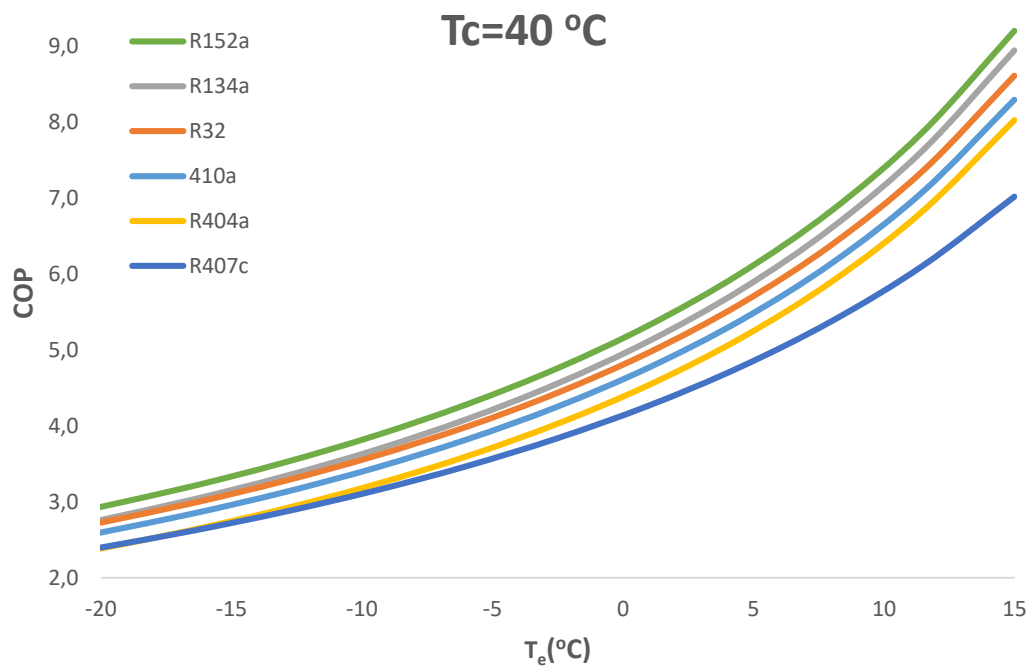
στις καμπύλες $T_e = -10, -15, -20 \text{ }^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

7.1.2 Διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης

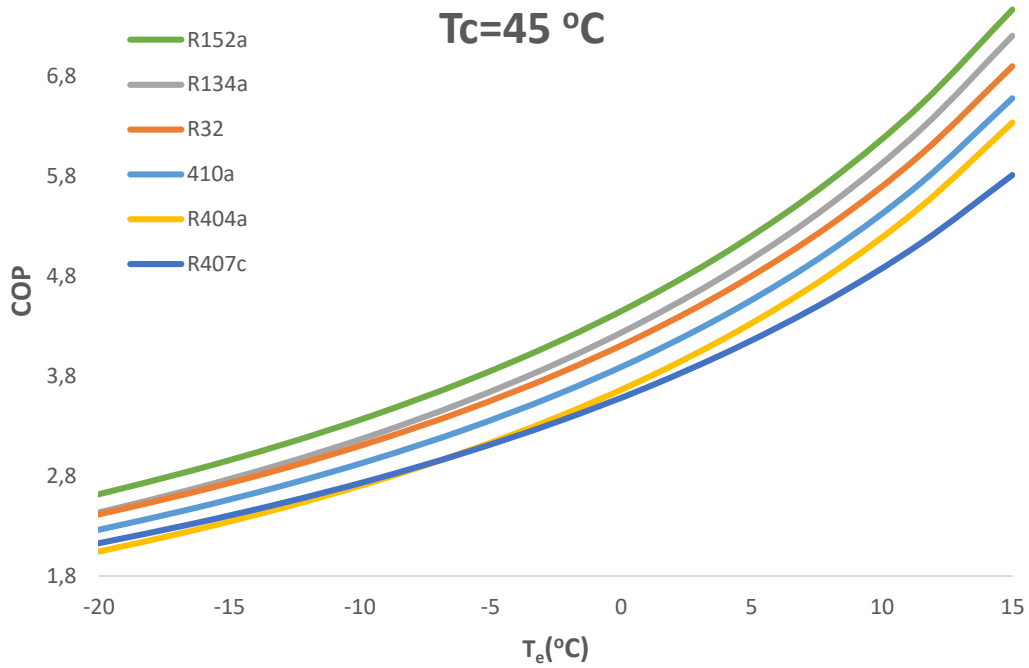
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποίησης για τα διάφορα εργαζόμενα μέσα, για συγκεκριμένες θερμοκρασίες συμπυκνωτή.



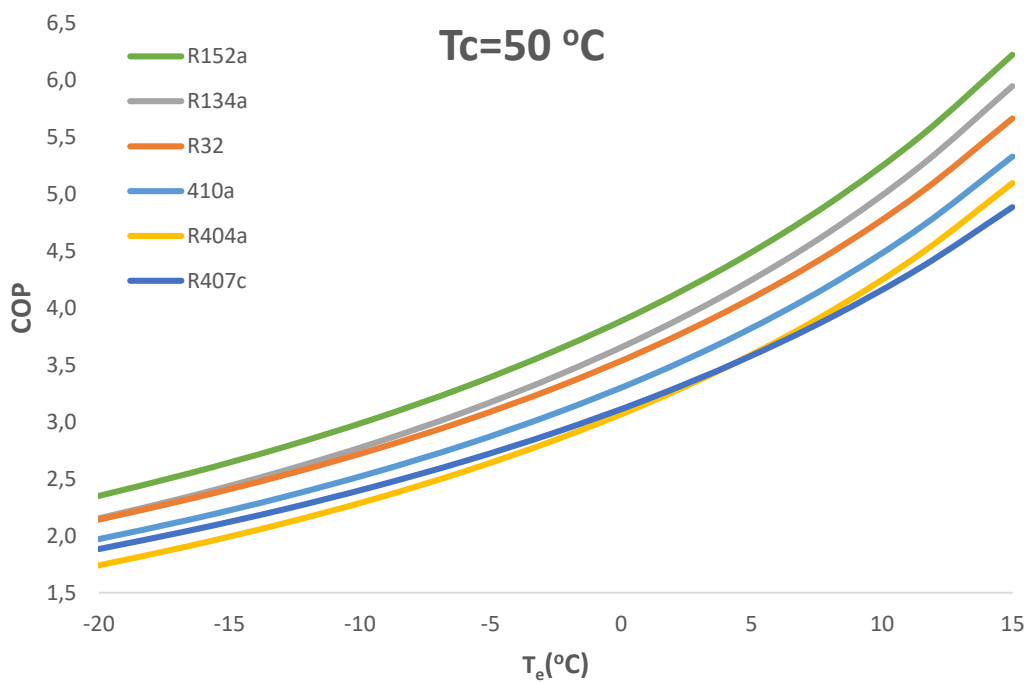
Διάγραμμα 7.1.15: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή $T_c = 35 \text{ }^\circ\text{C}$



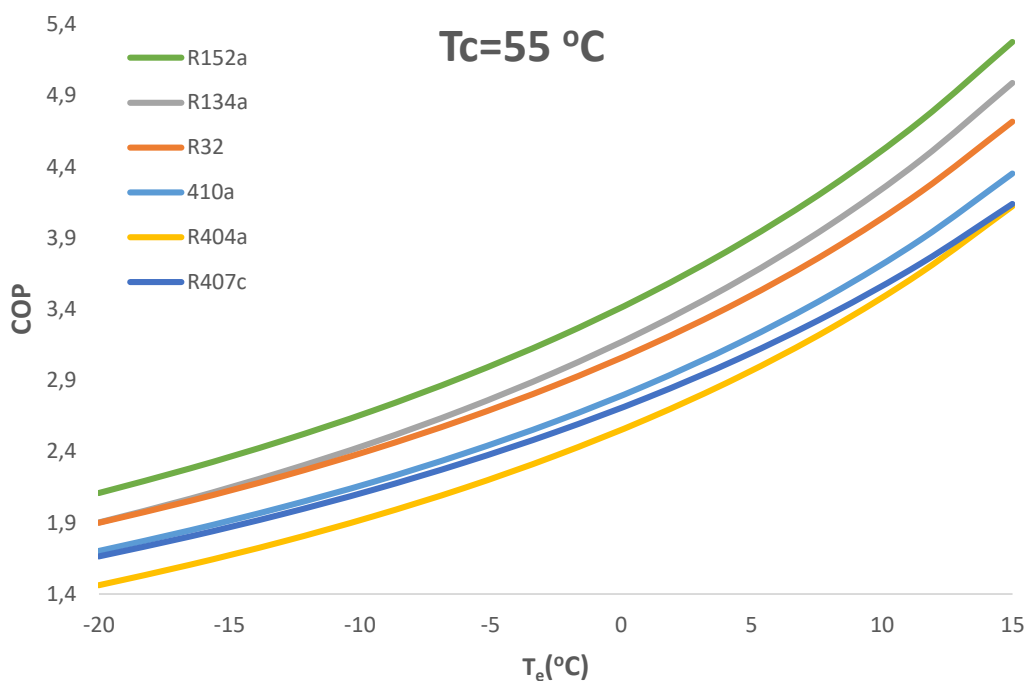
Διάγραμμα 7.1.16: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή $T_c = 40 \text{ }^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 7.1.17: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 45 °C



Διάγραμμα 7.1.18: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 50 °C



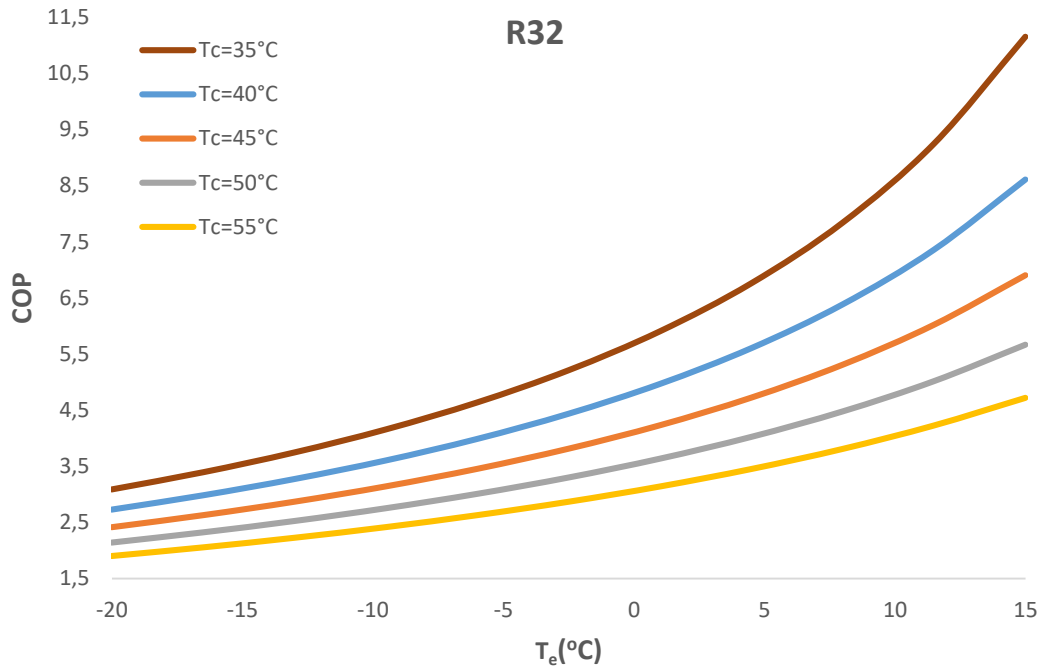
Διάγραμμα 7.1.19: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή $T_c = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

Καθιστάται προφανές μετά την παράθεση των παραπάνω διαγραμμάτων πως ο συντελεστής συμπεριφοράς του ψυκτικού κύκλου αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας του ατμοποιητή.

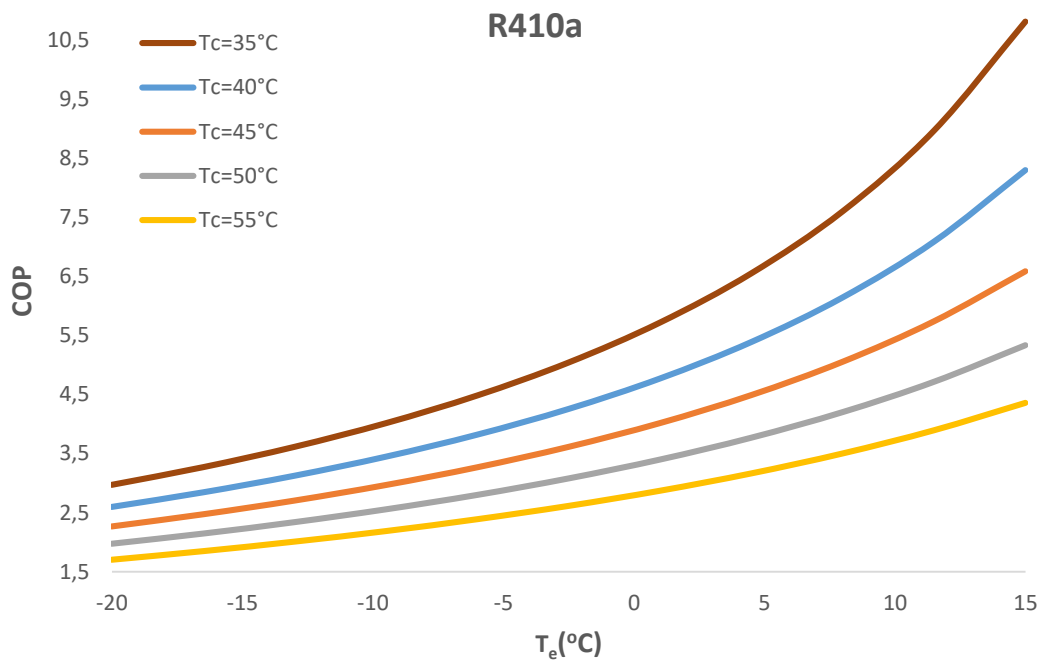
Το R152a παρουσιάζει τον υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς, ενώ έπονται το R134a και R32 με την σειρά που αναφέρονται. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προξενεί η κατάταξη των τριών ψυκτικών R410a, R404a και R407c που αρχικά λαμβάνουν και την αντίστοιχη σειρά, αλλά όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία συμπύκνωσης το R407c υπερισχύει του R404a και τείνει να ταυτιστεί με την καμπύλη του συντελεστή συμπεριφοράς του R410a.

Η συμπεριφορά αυτή των δυο ψυκτικών R404a, R407c μέσω μπορεί να εξηγηθεί καθώς είναι προορίζονται για διαφορετικές χρήσεις. Το R407c χρησιμοποιείται κατά κόρον σαν εργαζόμενο μέσο σε εφαρμογές κλιματισμού, ενώ το R404a προορίζεται σαν εργαζόμενο μέσο σε εμπορικά συστήματα ψύξης, (ψυγεία, καταψύκτες κλπ.)

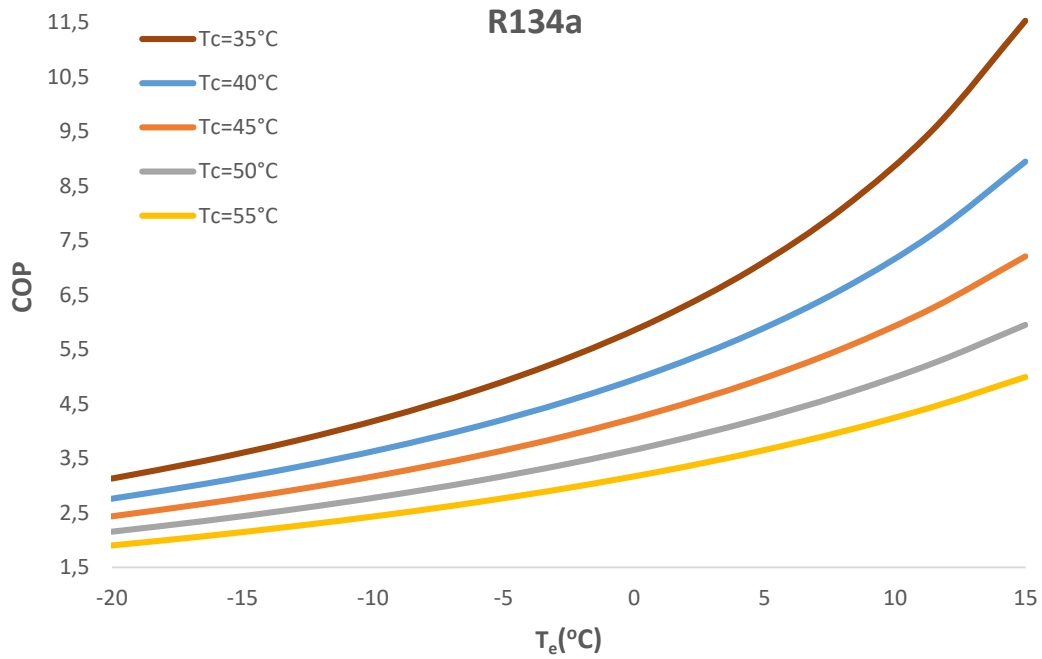
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποίησης για κάθε εργαζόμενο μέσο, για συγκεκριμένες θερμοκρασίες συμπύκνωσης.



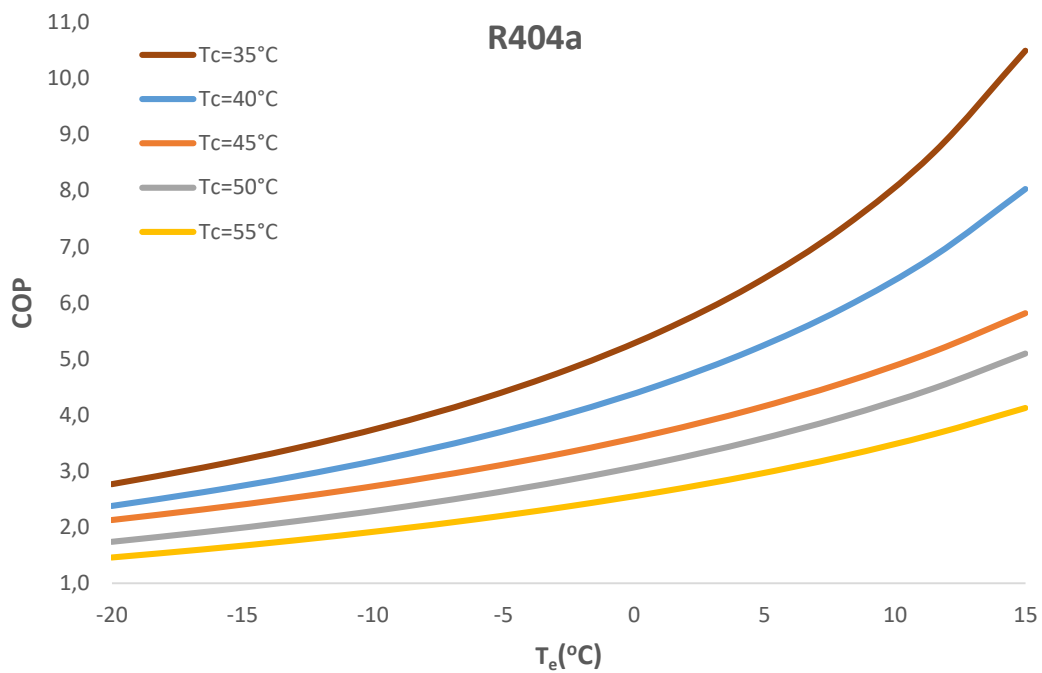
Διάγραμμα 7.1.20: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R32



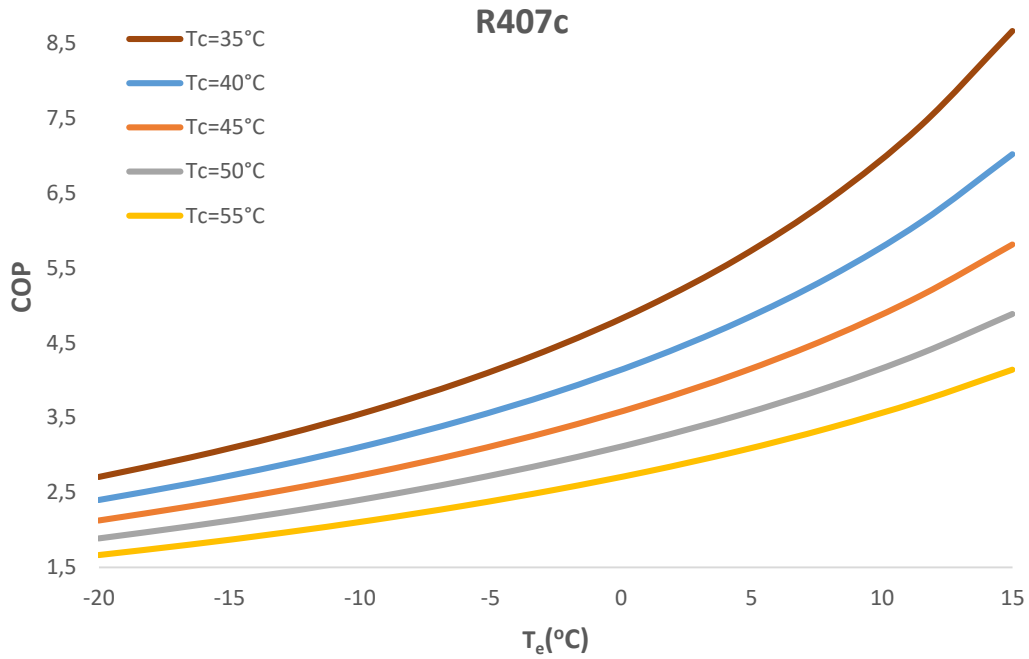
Διάγραμμα 7.1.21: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R410a



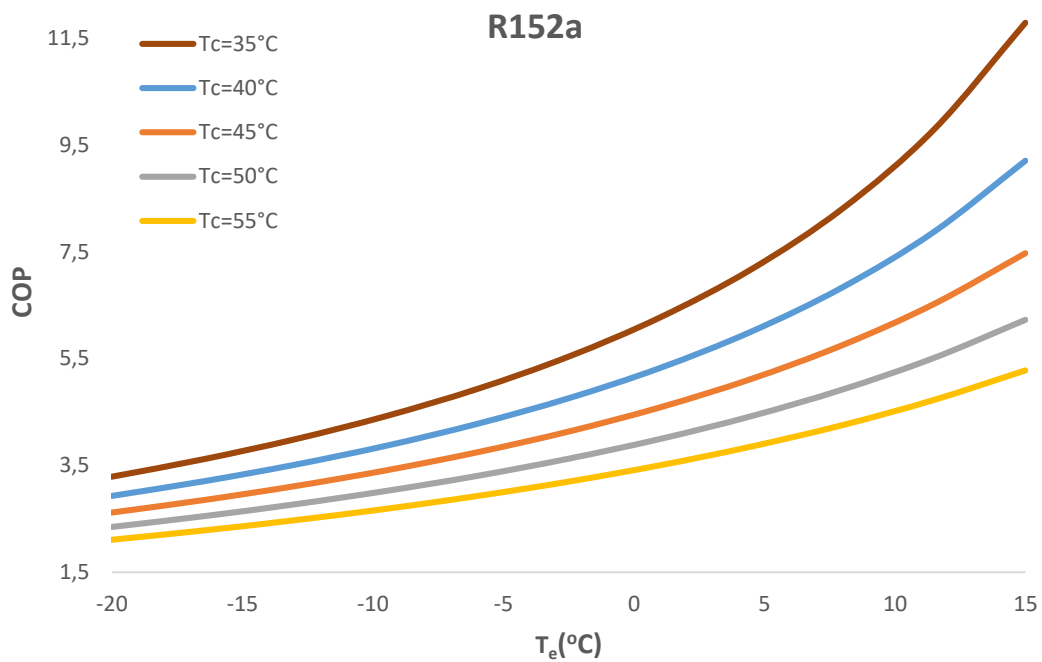
Διάγραμμα 7.1.22: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R134a



Διάγραμμα 7.1.23: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R404a



Διάγραμμα 7.1.24: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R407c



Διάγραμμα 7.1.25: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R410a

Όπως αναμενόταν παρατηρείται αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ατμοποίησης. Αρχικά φαίνεται η αύξηση να είναι γραμμική μέχρι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ατμοποίησης και ύστερα γίνεται εκθετική. Παρακάτω παρουσιάζεται αυτή η θερμοκρασία για κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 7.1.20, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-8^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-5,-3,0,3^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.1.21, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-9^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-7,-4,-2,1^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.1.22, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-10^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-8,-6,-4,-1^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.1.23, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-7^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-5,-3,0,2^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.1.24, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-6^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-5,-4,-3,-2^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

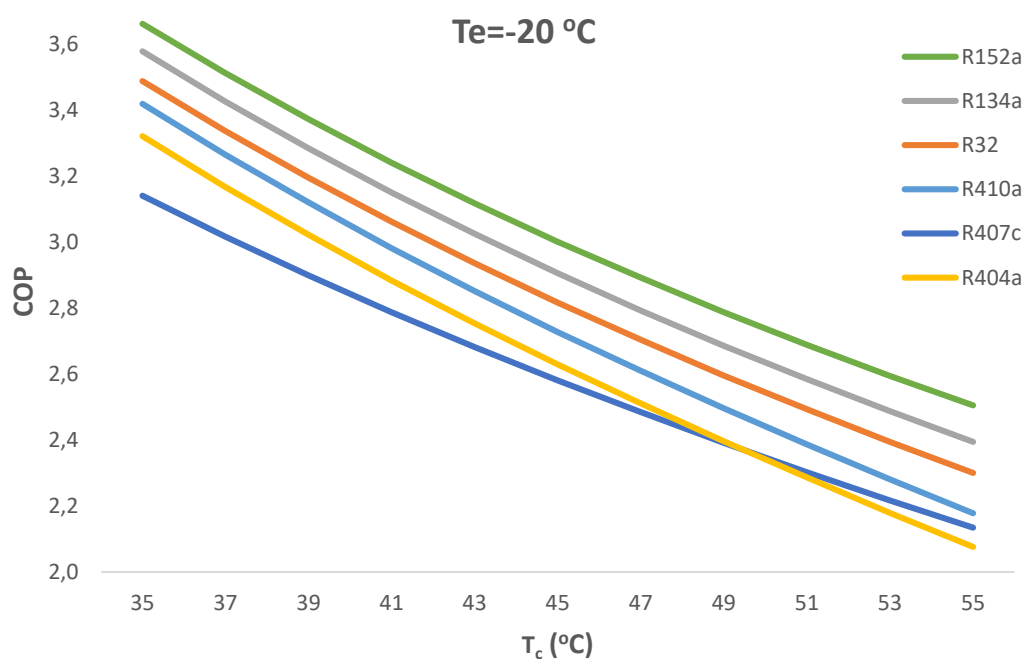
Στο διάγραμμα 7.1.25, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-12^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-9,-7,-5,-2^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

7.2 Αποτελέσματα αποδοτικότητας ψυκτικών μέσων διβάθμιας εγκατάστασης.

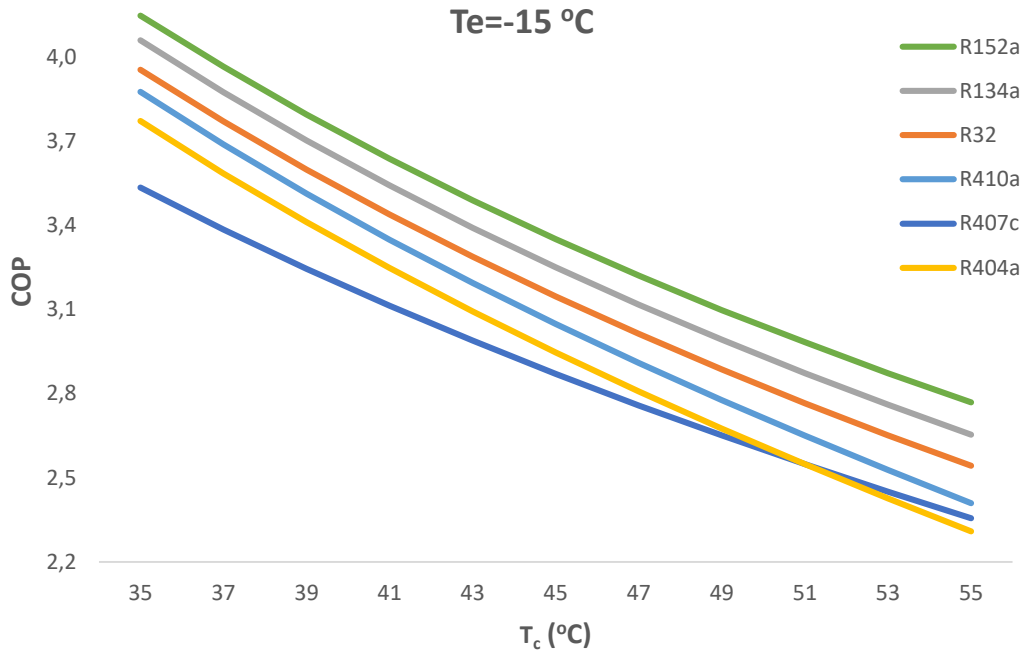
Στο κομμάτι αυτό θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα που προέκυψαν μετά από παραμετρικό υπολογισμό με την βοήθεια του προγράμματος EES για διβάθμιο κύκλο ψύξης. Συγκεκριμένα το υποκεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει, τα διαγράμματα του συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή καθώς επίσης και τα διαγράμματα του συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποιητή, για τα διάφορα ψυκτικά μέσα που εξετάστηκαν.

7.2.1 Διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας συμπυκνωτής

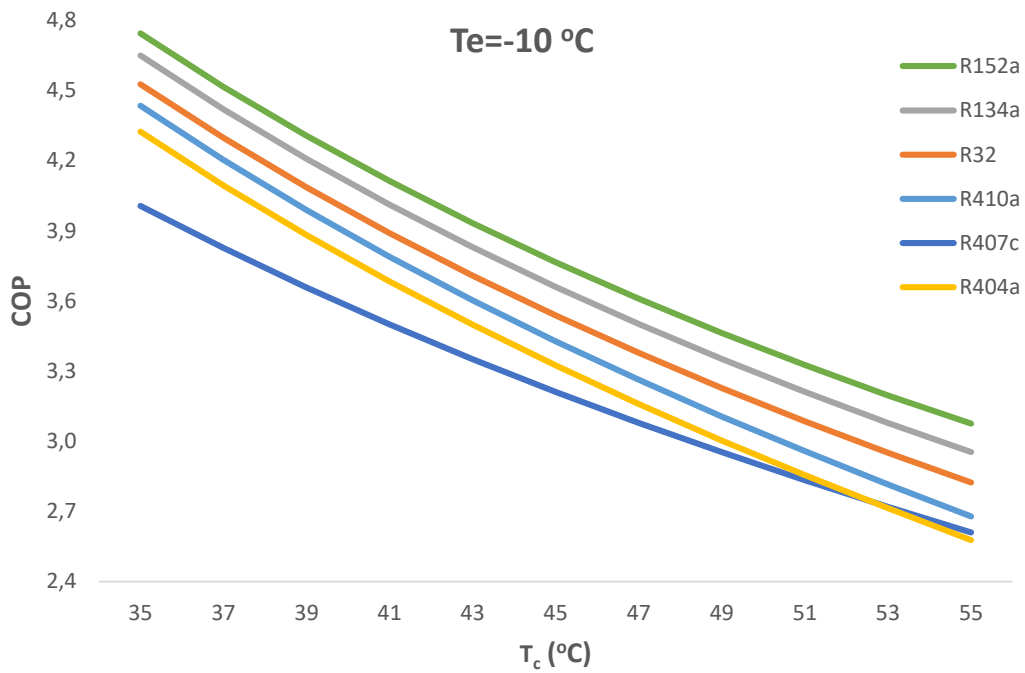
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς -θερμοκρασίας συμπυκνωτή για τα διάφορα εργαζόμενα μέσα, για συγκεκριμένες θερμοκρασίες ατμοποίησης.



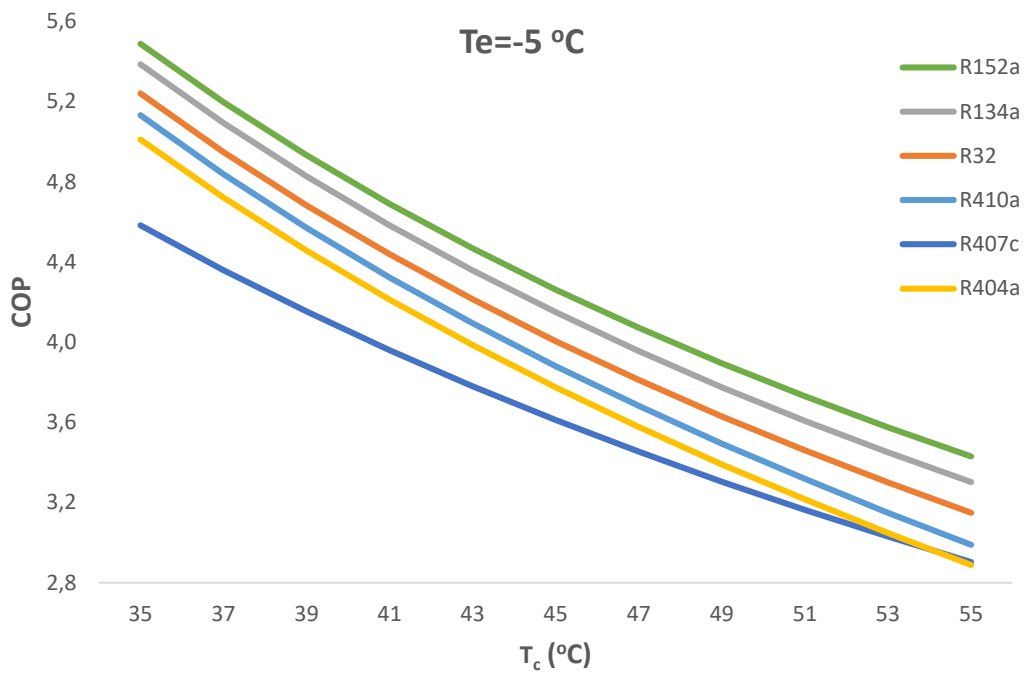
Διάγραμμα 7.2.1: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή T_e= -20 °C



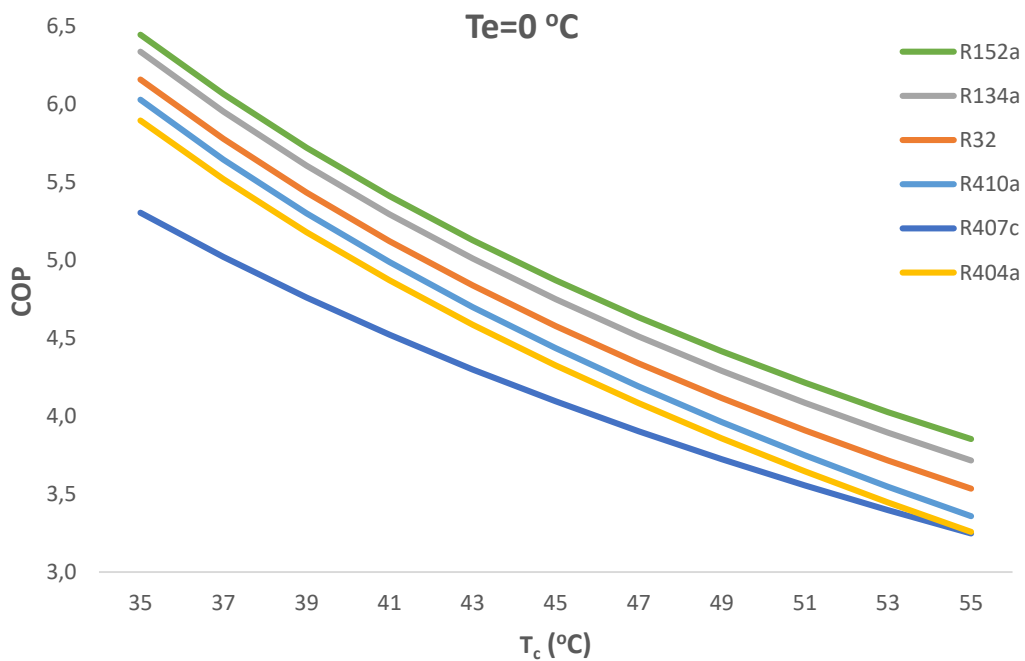
Διάγραμμα 7.2.2: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$



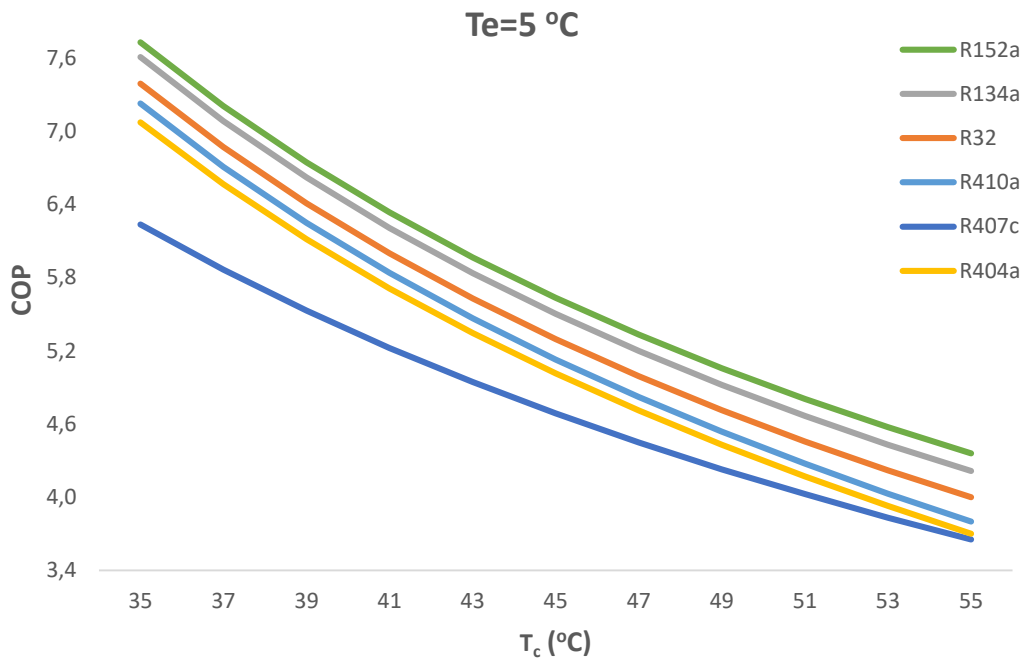
Διάγραμμα 7.2.3: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -10 \text{ }^\circ\text{C}$



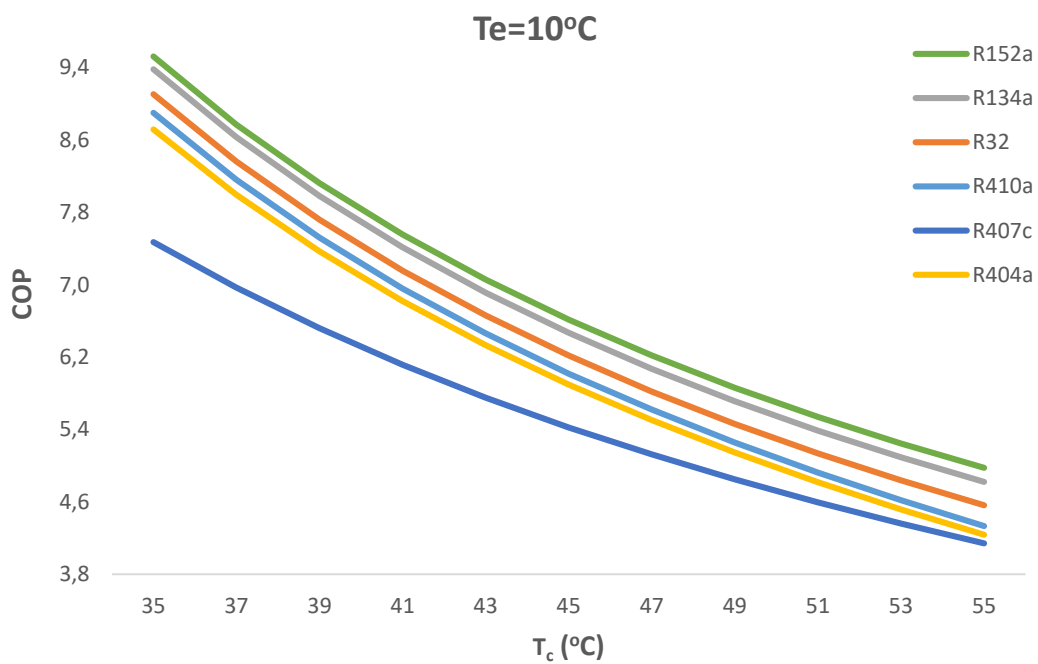
Διάγραμμα 7.2.4: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -5\text{ }^\circ\text{C}$



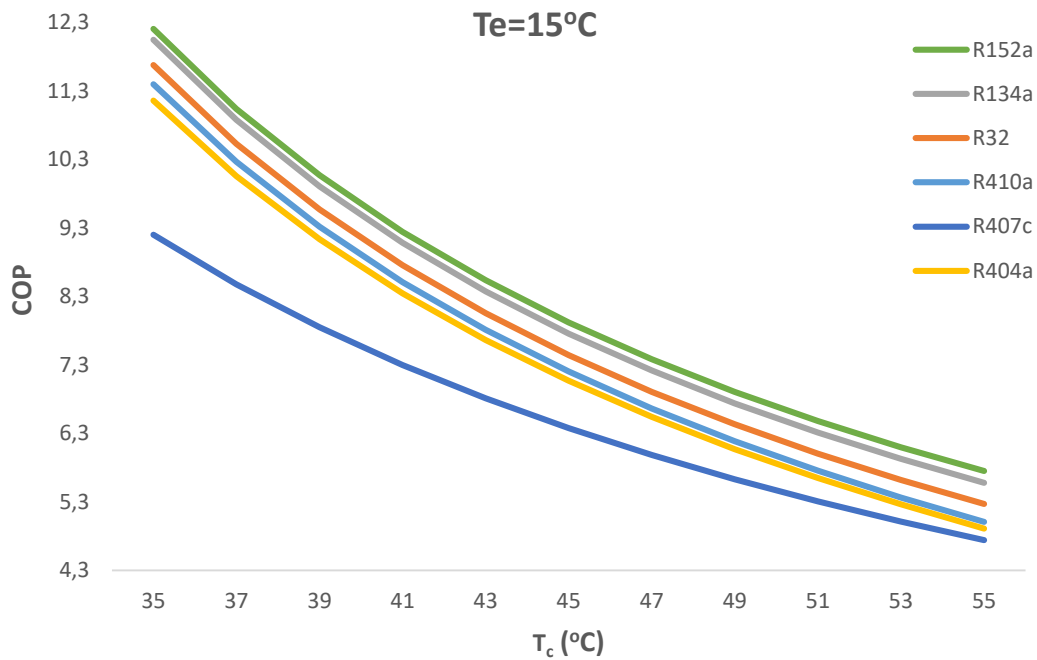
Διάγραμμα 7.2.5: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = 0\text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 7.2.6: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 7.2.7: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$



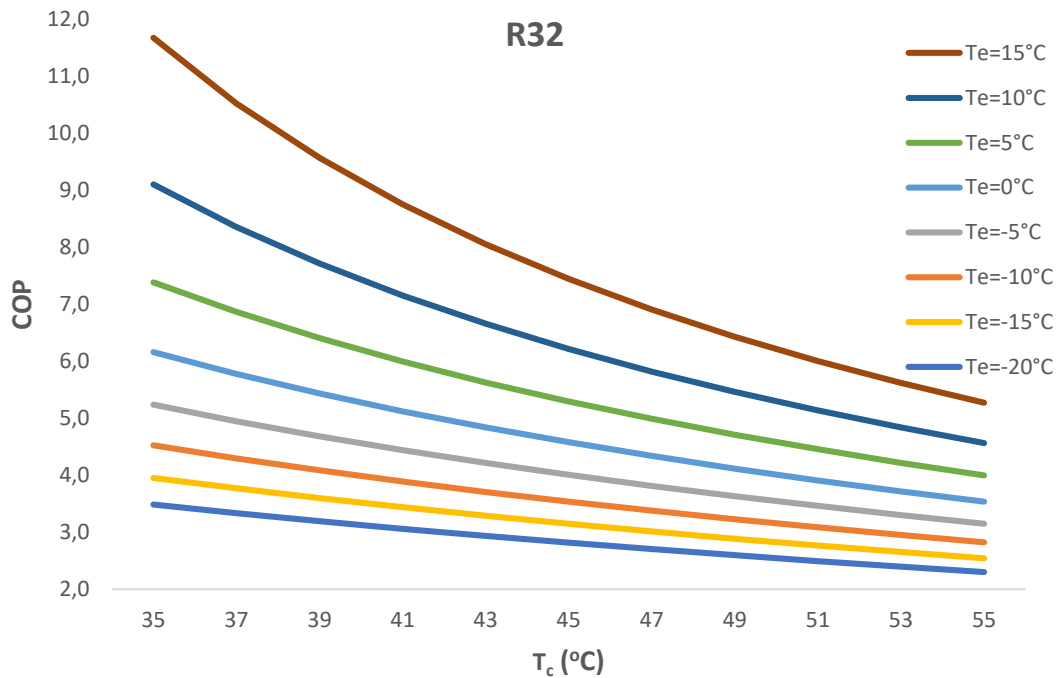
Διάγραμμα 7.2.8: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = 15\text{ }^\circ\text{C}$

Αφού παρουσιάστηκαν όλα τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας συμπυκνωτή για τις διάφορες θερμοκρασίες ατμοποίησης, παρατηρούνται τα εξής στοιχεία.

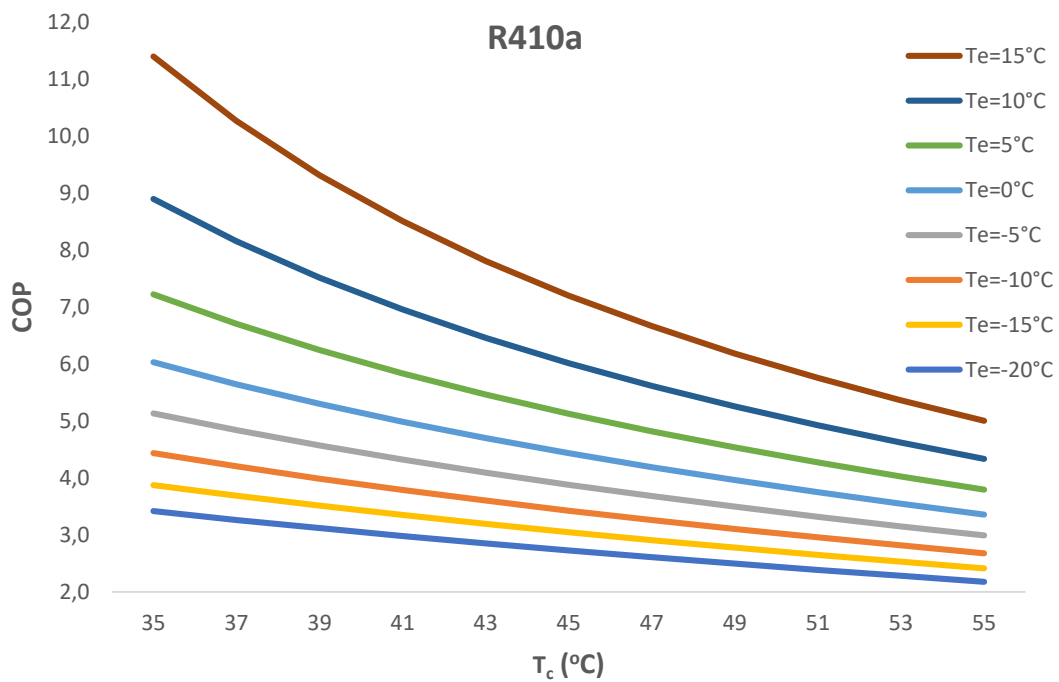
Αρχικά όπως αναμένεται ο συντελεστής συμπεριφοράς και στο διβάθμιο κύκλο ψύξης, έχει φθίνουσα πορεία όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία του συμπυκνωτή. Επίσης παρατηρείται ότι αρχικά η πτωτική πορεία του συντελεστή συμπεριφοράς για τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης είναι γραμμική ενώ όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται εκθετικά. Ακόμα είναι φανερό πως υπάρχει αισθητή διαφορά στην απόδοση του ψύκτη όταν αυτός λειτουργεί με διαφορετικά ψυκτικά μέσα. Η κατάταξη των ψυκτικών μέσων δεν φαίνεται να αλλάζει καθώς αλλάζουν οι θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπύκνωσης.

Αναλυτικά στο διάγραμμα 7.2.1 το R152a έχει τον υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα. Στην δεύτερη και τρίτη θέση ακολουθούν τα ψυκτικά R134a και R32, ενώ έπονται τα ψυκτικά μέσα R410a, R404a, R407c με την σειρά που αναφέρθηκαν. Στα επόμενα διαγράμματα 7.1.2-7.1.8 η κατάταξη των ψυκτικών μέσων παραμένει η ίδια. Όμως παρατηρείται ότι οι καμπύλες του συντελεστή συμπεριφοράς των ψυκτικών μέσων φέρουν την τάση να συγκλίνουν η μια στην άλλη όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία ατμοποίησης.

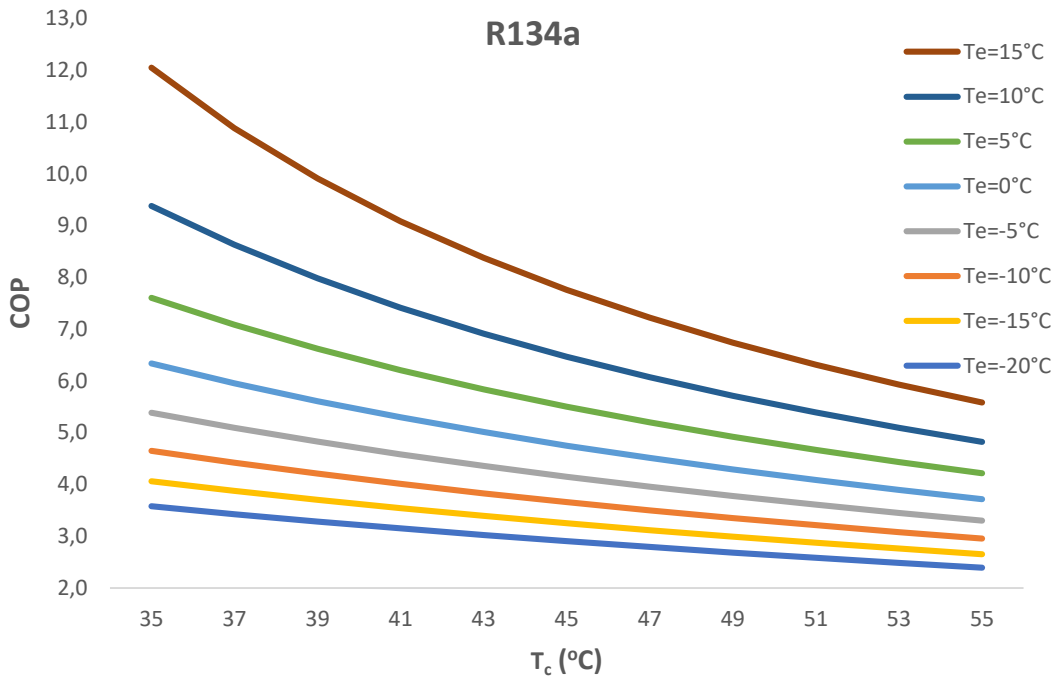
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας συμπυκνωτή για τα διάφορα εργαζόμενα μέσα, για συγκεκριμένες θερμοκρασίες ατμοποίησης.



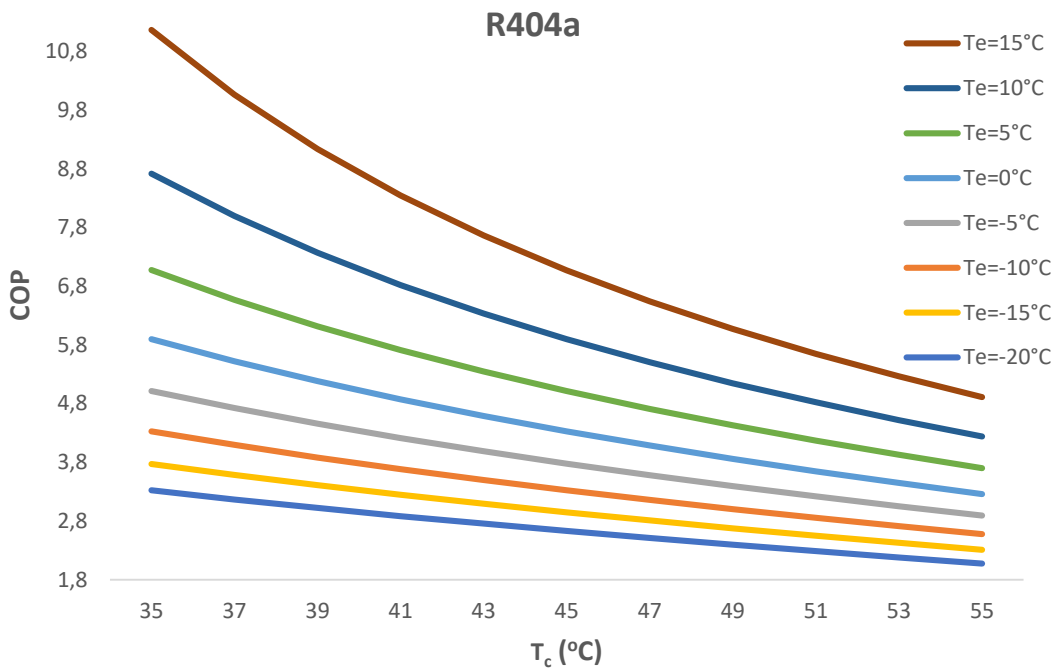
Διάγραμμα 7.2.9: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R32



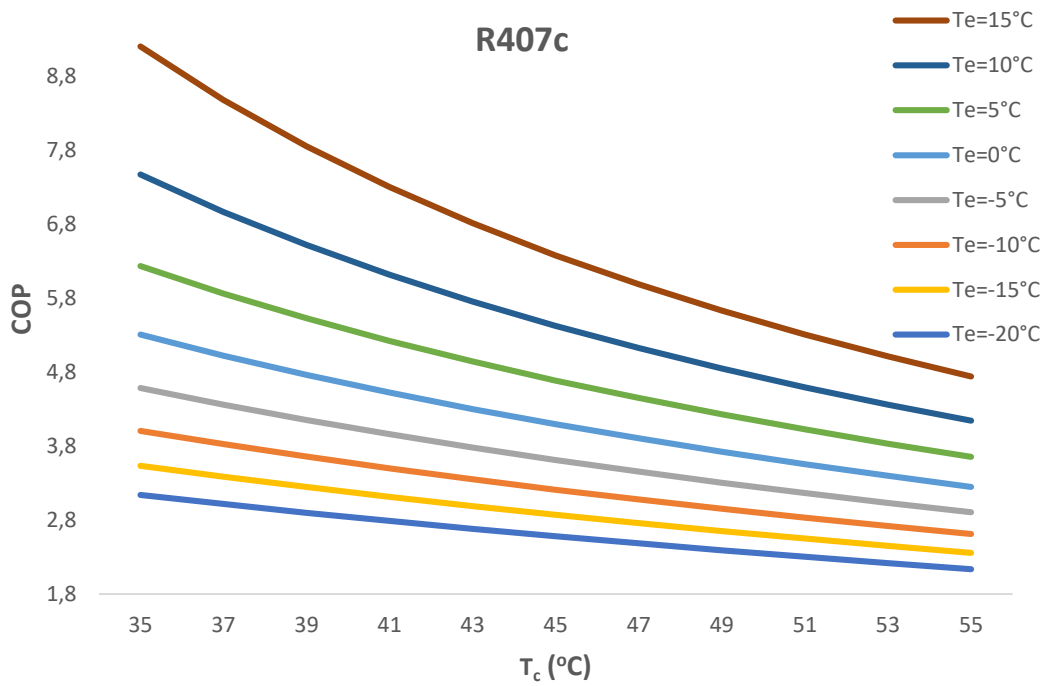
Διάγραμμα 7.2.10: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R410a



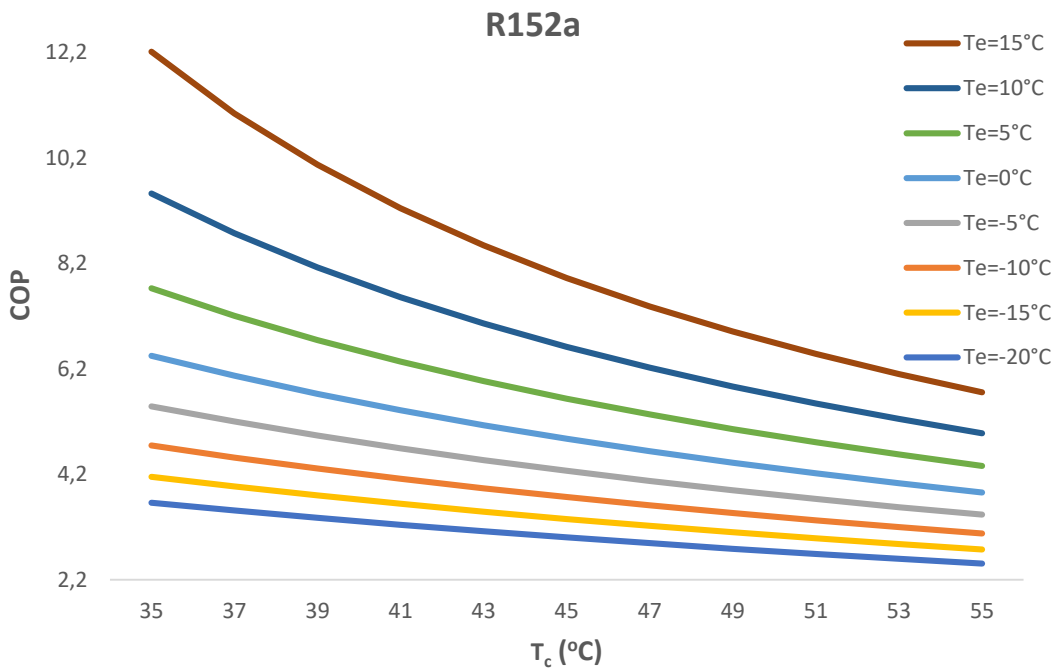
Διάγραμμα 7.2.11: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R134a



Διάγραμμα 7.2.12: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R404a



Διάγραμμα 7.2.13: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R407c



Διάγραμμα 7.2.14: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R152a

Όπως αναμενόταν παρατηρείται μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία συμπύκνωσης. Αρχικά η μείωση είναι εκθετική μέχρι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία συμπύκνωσης και ύστερα γίνεται γραμμική. Παρακάτω παρουσιάζεται αυτή η θερμοκρασία για κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 7.2.9, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=43,41,39,37^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.2.10, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=46^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45,43,41,39^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.2.11, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=47^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45,42,40,38^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

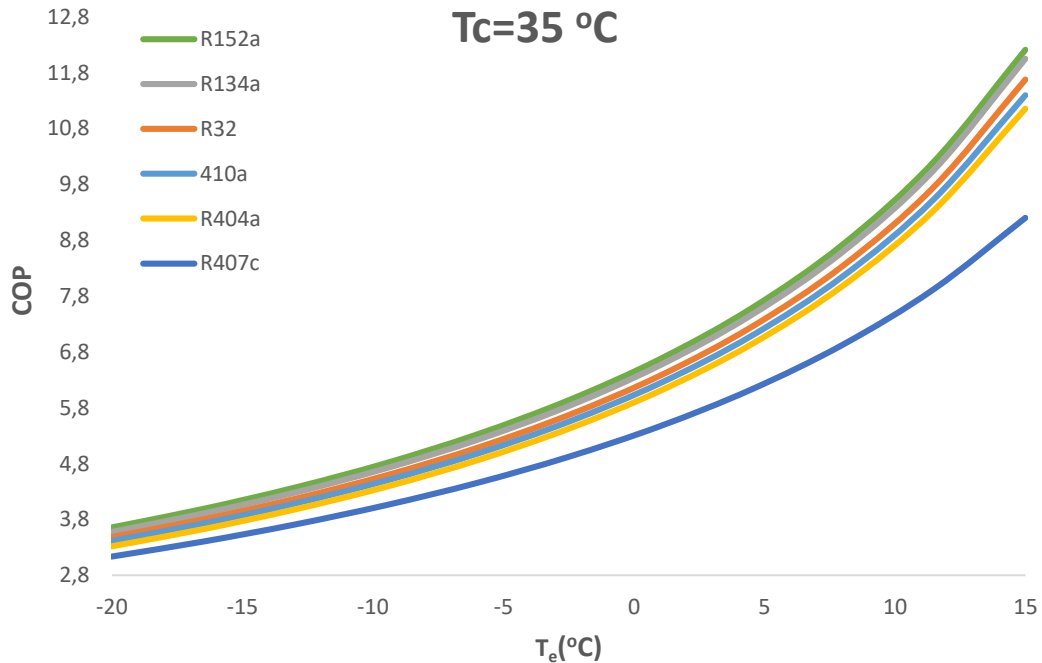
Στο διάγραμμα 7.2.12, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=46^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45,43,41,39^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

Στο διάγραμμα 7.2.13, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=45^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=44,43,42,41^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

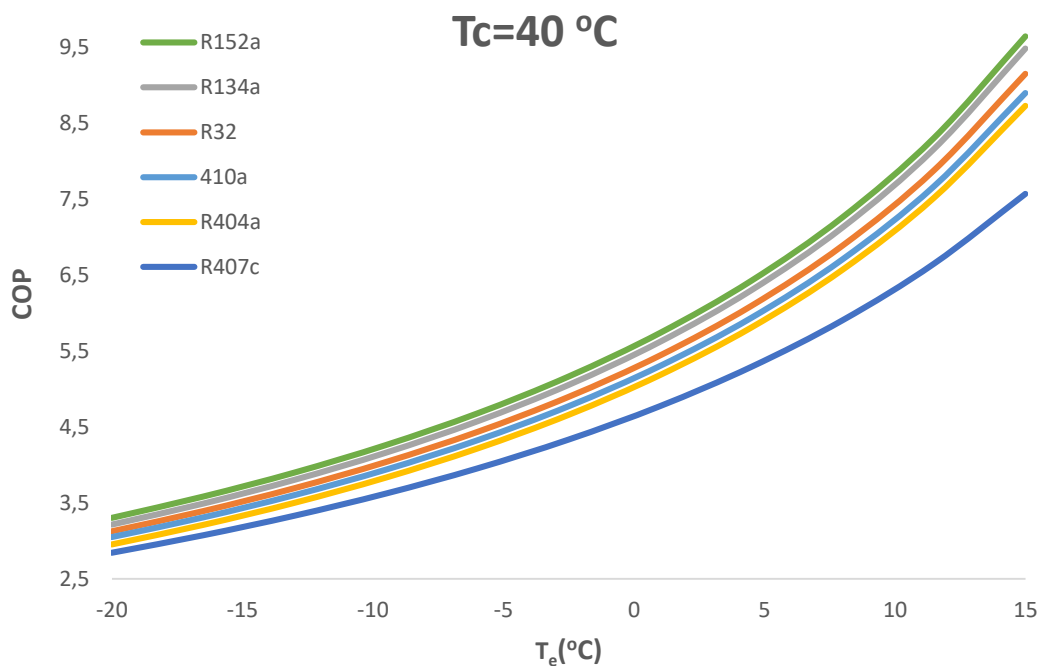
Στο διάγραμμα 7.2.14, στην καμπύλη $T_e=15^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=49^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_c=47,45,43,41^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τέλος στις καμπύλες $T_e=10,5,0,-5^\circ\text{C}$ δεν παρατηρείται μεταβατική θερμοκρασία αλλά μόνο γραμμική μείωση.

7.2.2 Διαγράμματα βαθμού απόδοσης-θερμοκρασίας ατμοποίησης

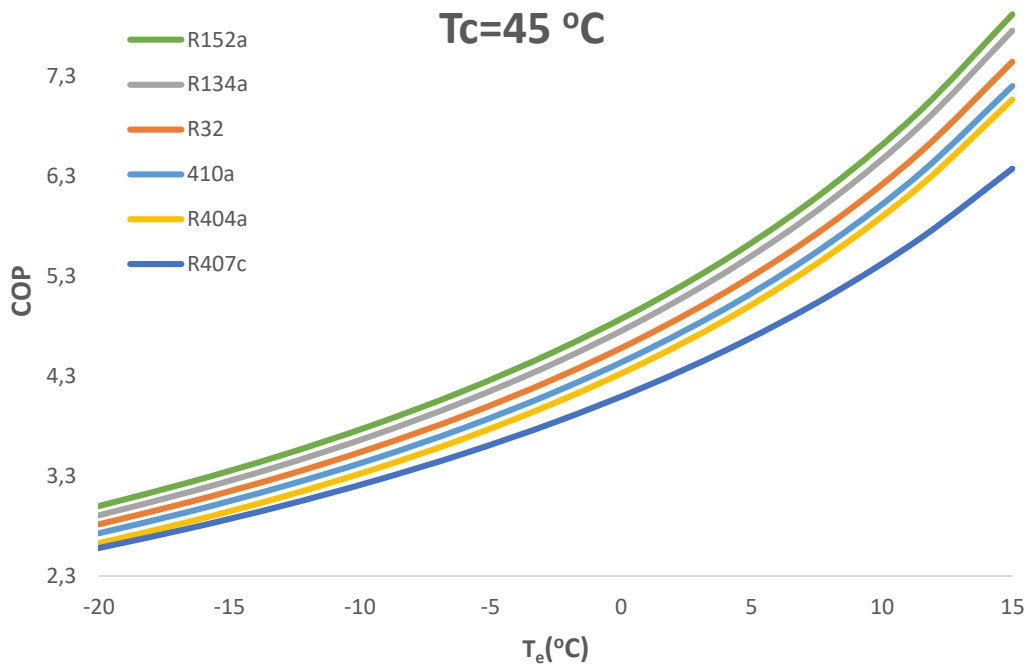
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποίησης για κάθε εργαζόμενο μέσο, για συγκεκριμένες θερμοκρασίες συμπύκνωσης.



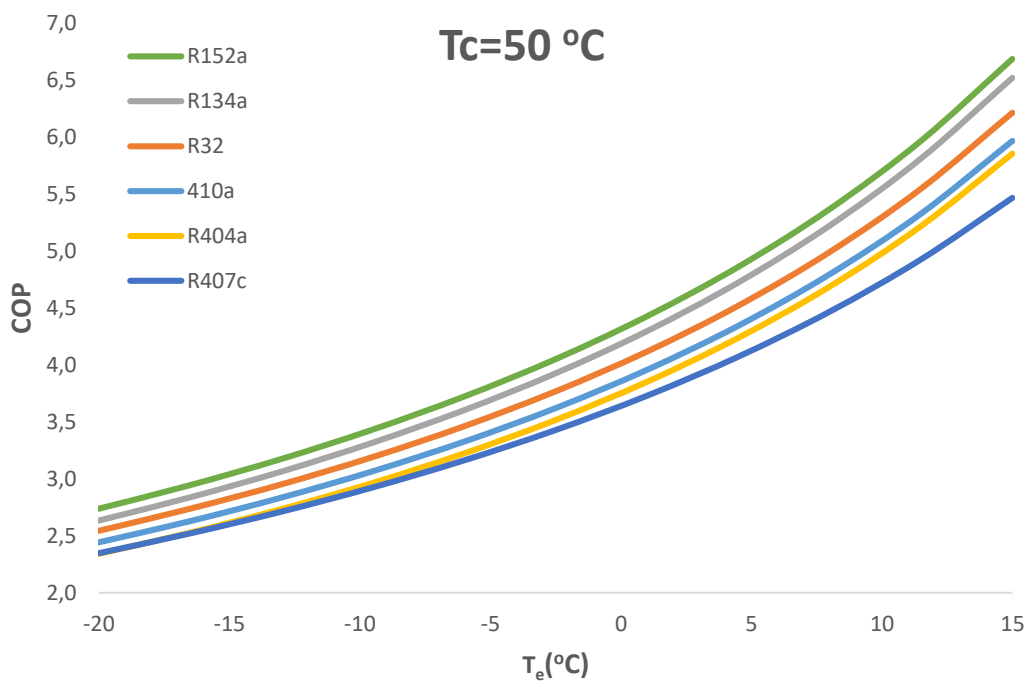
Διάγραμμα 7.2.15: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή $T_c = 35$ °C



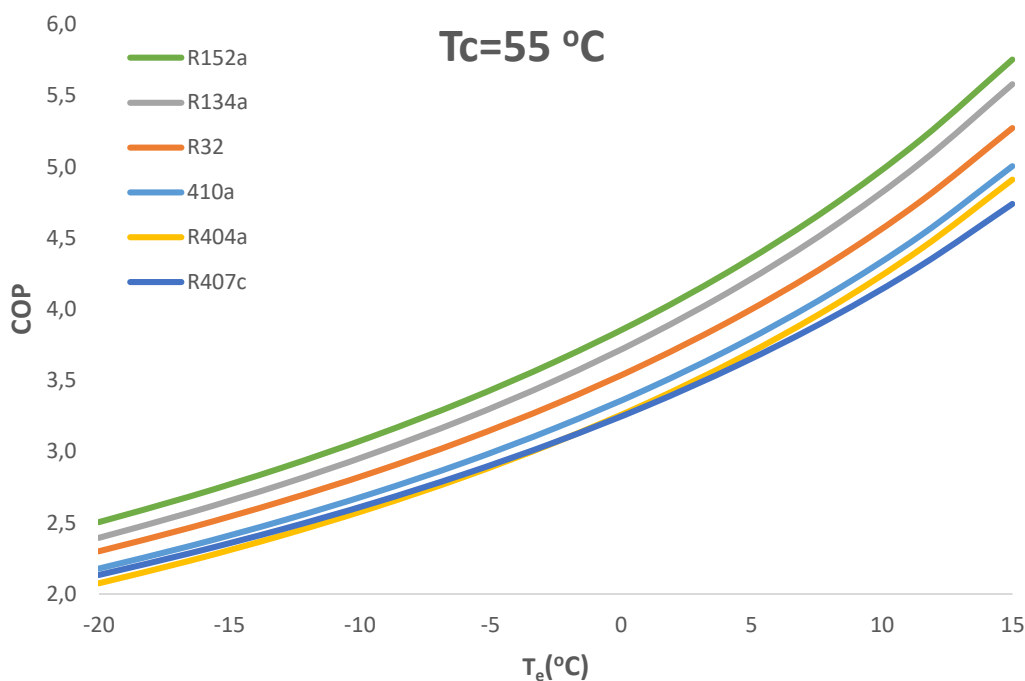
Διάγραμμα 7.2.16: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή $T_c = 40$ °C



Διάγραμμα 7.2.17: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 45 °C



Διάγραμμα 7.2.18: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 50 °C

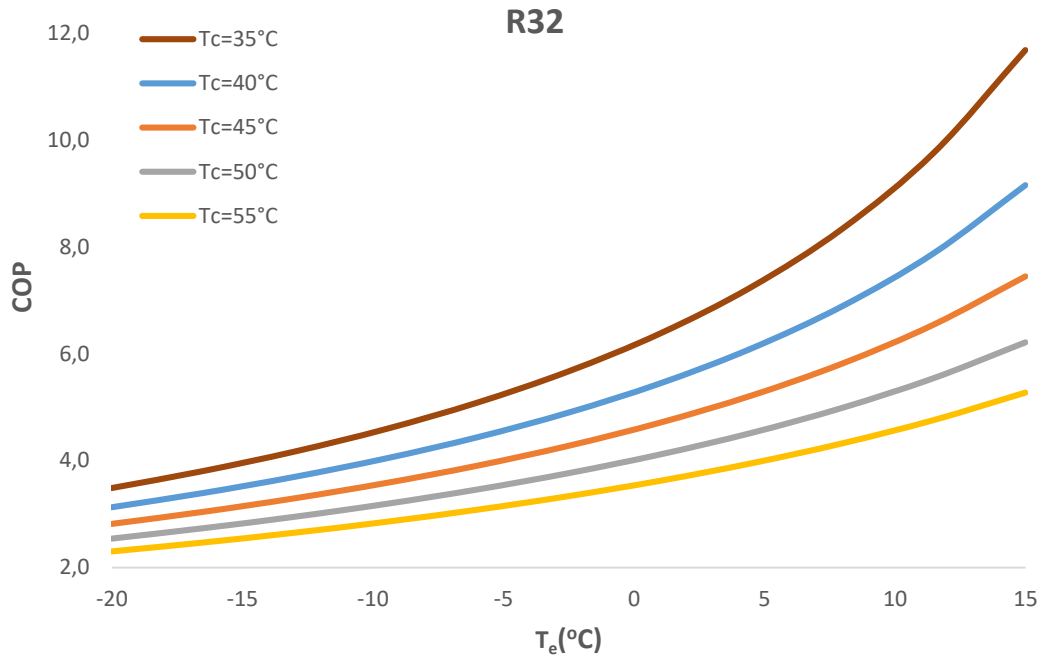


Διάγραμμα 7.2.19: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή $T_c = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

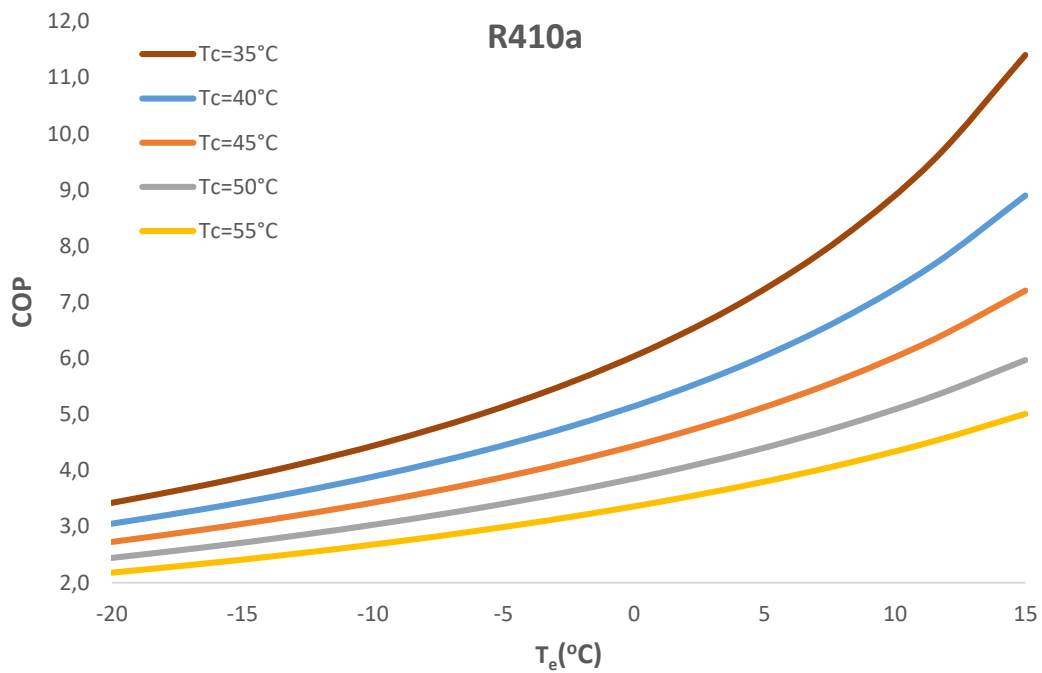
Καθιστάτε προφανές, μετά την παράθεση των παραπάνω διαγραμμάτων, ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς και του διβάθμιου ψυκτικού κύκλου αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας του ατμοποιητή, όπως αναμενόταν. Επίσης στα διαγράμματα 7.2.15-7.2.19, δηλαδή καθώς αυξάνει η θερμοκρασία συμπύκνωσης, παρατηρείται μια τάση των συντελεστών συμπεριφοράς των τεσσάρων πρώτων ψυκτικών μέσων να αποκλίνουν η μία από την άλλη.

Το R152a παρουσιάζει τον υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς, ενώ έπονται το R134a, R32 και R410a με την σειρά που αναφέρονται. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προξενεί η κατάταξη των δύο ψυκτικών μιγμάτων R404a και R407c που αρχικά λαμβάνουν και την αντίστοιχη σειρά, αλλά όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία συμπύκνωσης το R407C τείνει να ταυτιστεί με την καμπύλη του συντελεστή συμπεριφοράς του R404a, ενώ μάλιστα στο διάγραμμα 7.2.19 φαίνεται να την ξεπερνάει για θερμοκρασίες ατμοποίηση από -20 έως 0 °C.

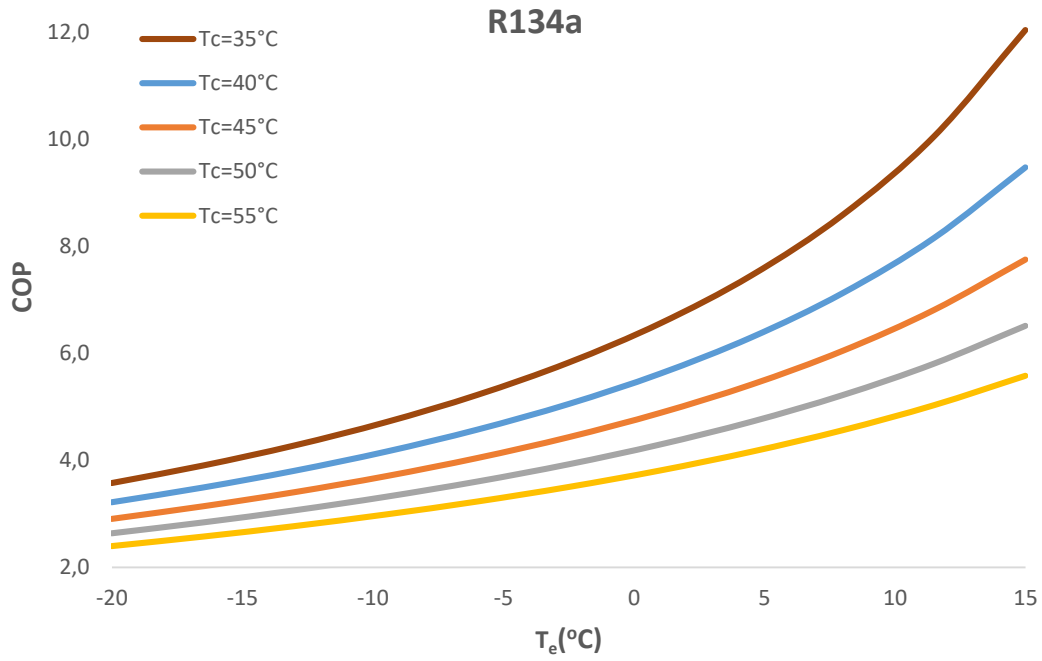
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποίησης για κάθε εργαζόμενο μέσο, σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες συμπύκνωσης.



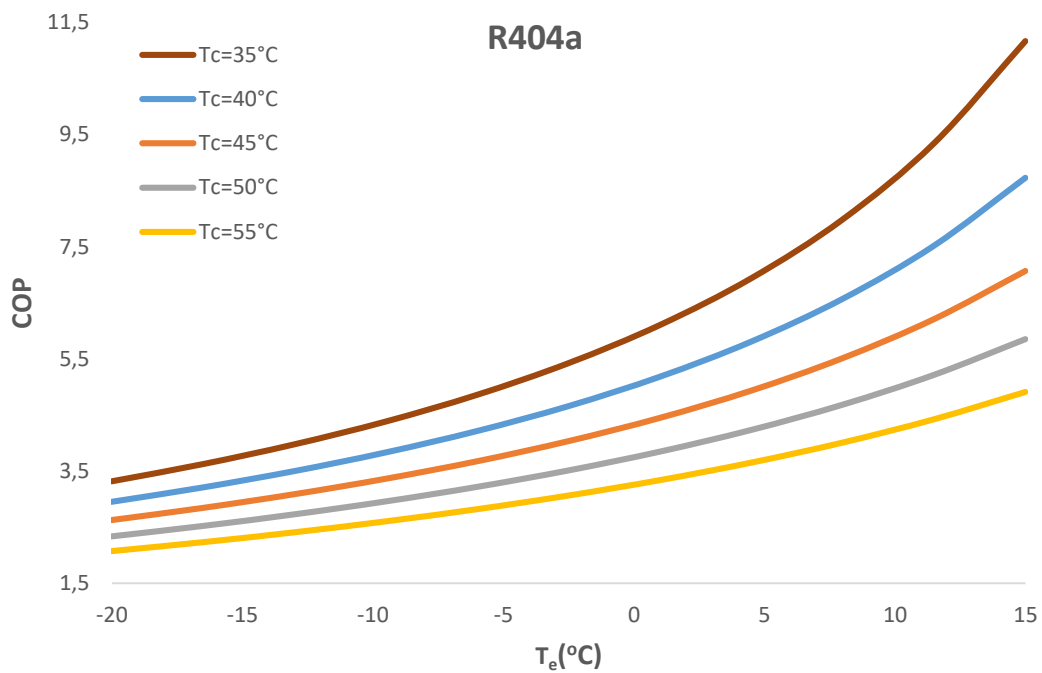
Διάγραμμα 7.2.19: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R32



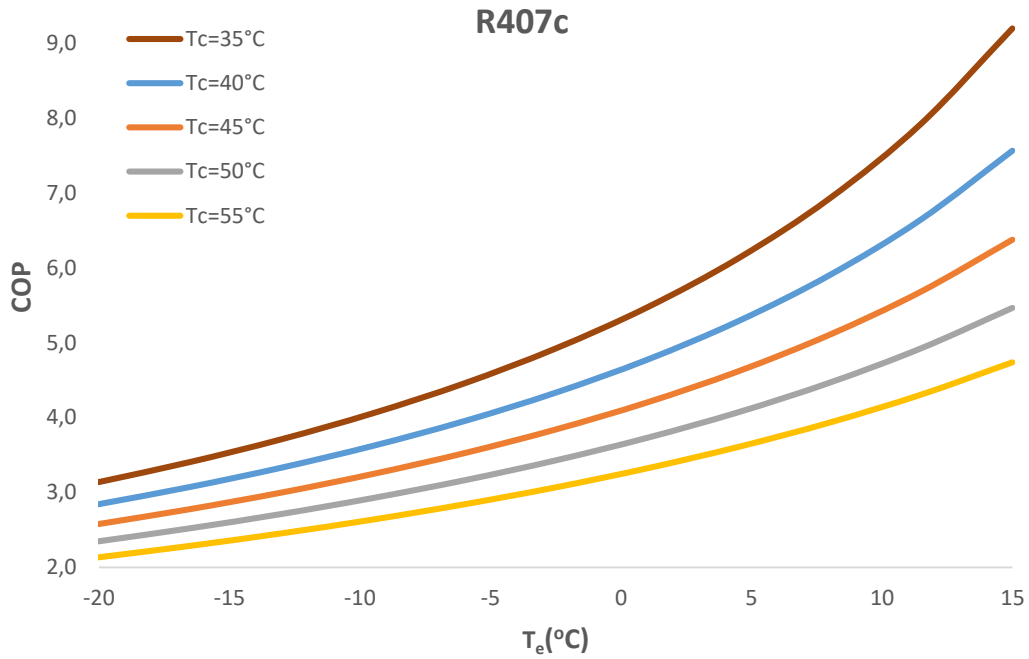
Διάγραμμα 7.2.21: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R410a



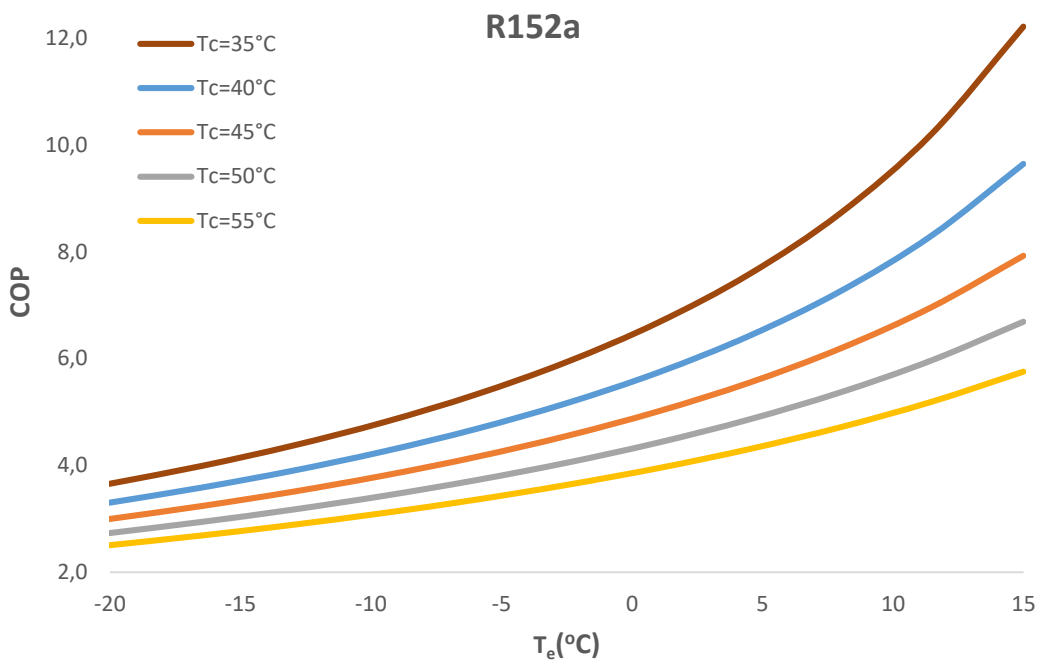
Διάγραμμα 7.2.20: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R134a



Διάγραμμα 7.2.24: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R404a



Διάγραμμα 7.2.24: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R407c



Διάγραμμα 7.2.25: Συντελεστής συμπεριφοράς διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για το ψυκτικό μέσο R152a

Όπως αναμενόταν παρατηρείται αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ατμοποίησης. Αρχικά φαίνεται η αύξηση να είναι γραμμική μέχρι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ατμοποίησης και ύστερα γίνεται εκθετική. Παρακάτω παρουσιάζεται αυτή η θερμοκρασία για κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 7.2.20, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-8^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-5,-3,0,3^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.2.21, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-9^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-7,-4,-2,1^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.2.22, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-10^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-8,-6,-4,-1^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.2.23, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-7^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-5,-3,0,2^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 7.2.24, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-6^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-5,-4,-3,-2^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

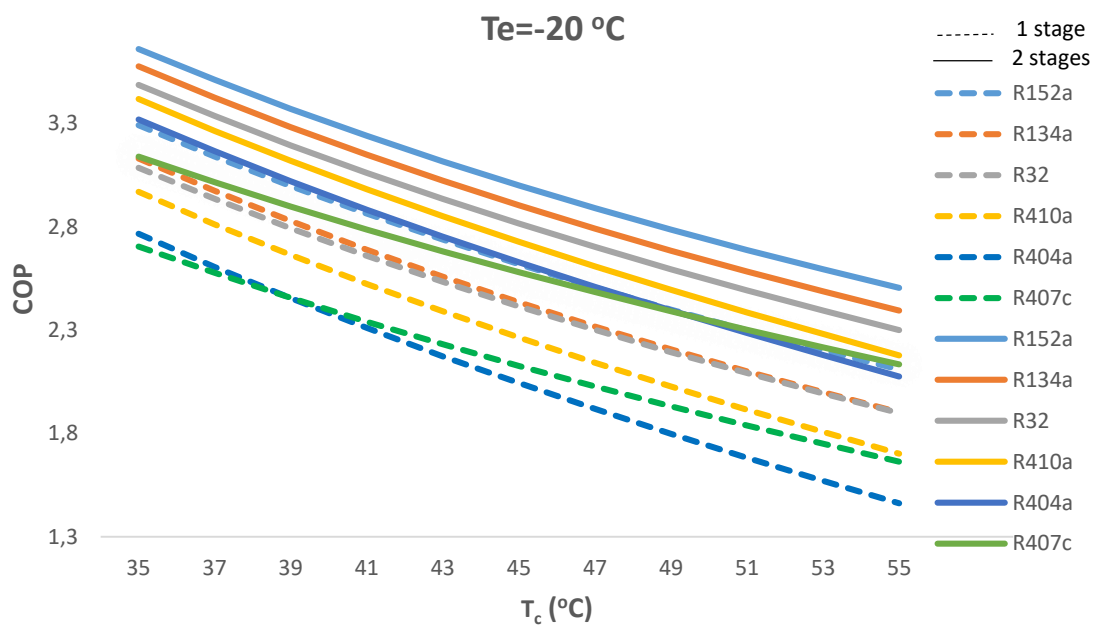
Στο διάγραμμα 7.2.25, στην καμπύλη $T_c=35^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία ατμοποίησης είναι $T_e=-12^\circ\text{C}$. Όμοια για τις καμπύλες $T_c=40,45,50,55^\circ\text{C}$ η χαρακτηριστική θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι $T_e=-9,-7,-5,-2^\circ\text{C}$ αντίστοιχα.

7.3 Σύγκριση αποδοτικότητας ψυκτικών μέσων ανάμεσα σε μονοβάθμιο και διβάθμιο κύκλο συμπίεση ατμών.

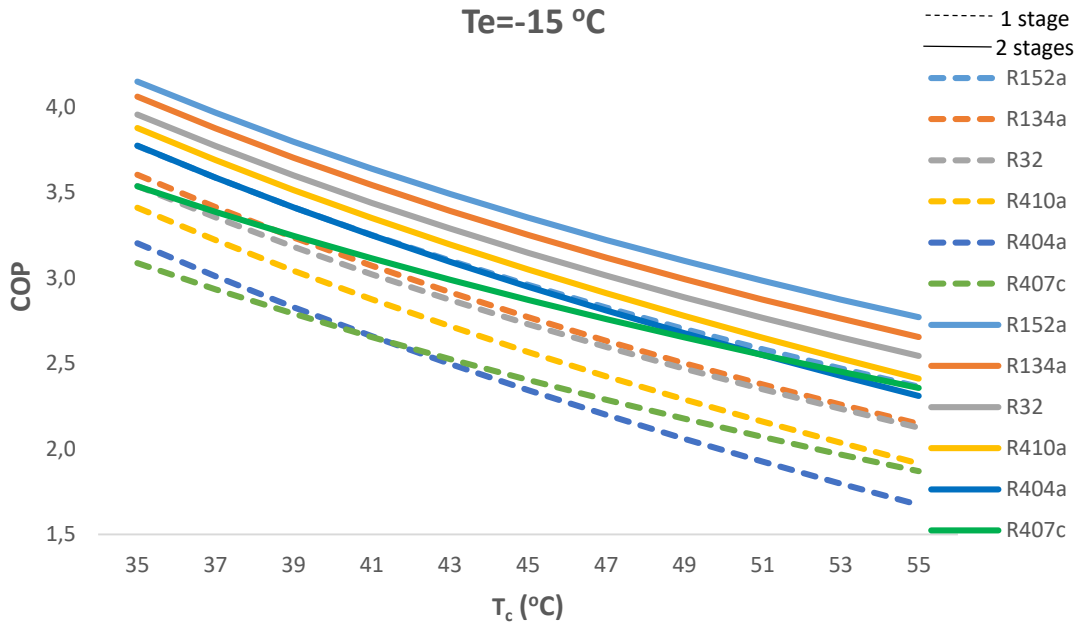
Στο υποκεφάλαιο αυτό ακολουθούν τα διαγράμματα του συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασία ατμοποίησης καθώς επίσης και τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασία συμπύκνωσης ενός μονοβάθμιου και ενός διβάθμιου κύκλου συμπίεσης ατμών.

7.3.1 Σύγκριση εγκαταστάσεων με βάση την θερμοκρασία συμπύκνωσης.

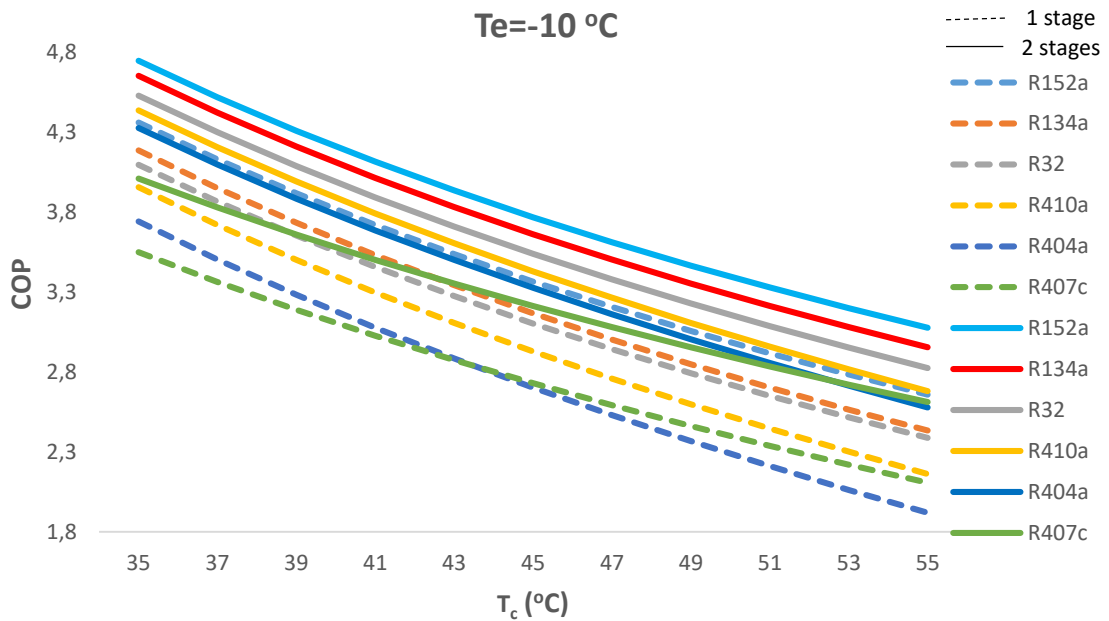
Στο κομμάτι αυτό ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα ανάμεσα σε μονοβάθμιο και διβάθμιο κύκλο ψύξης.



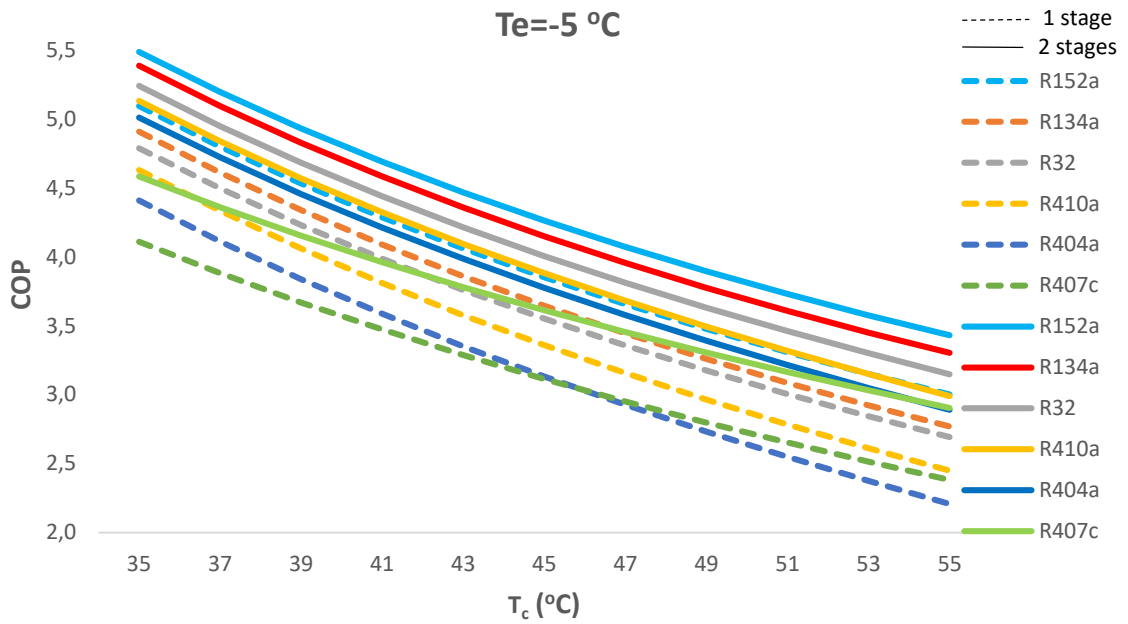
Διάγραμμα 7.3.1: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή Te = -20 °C



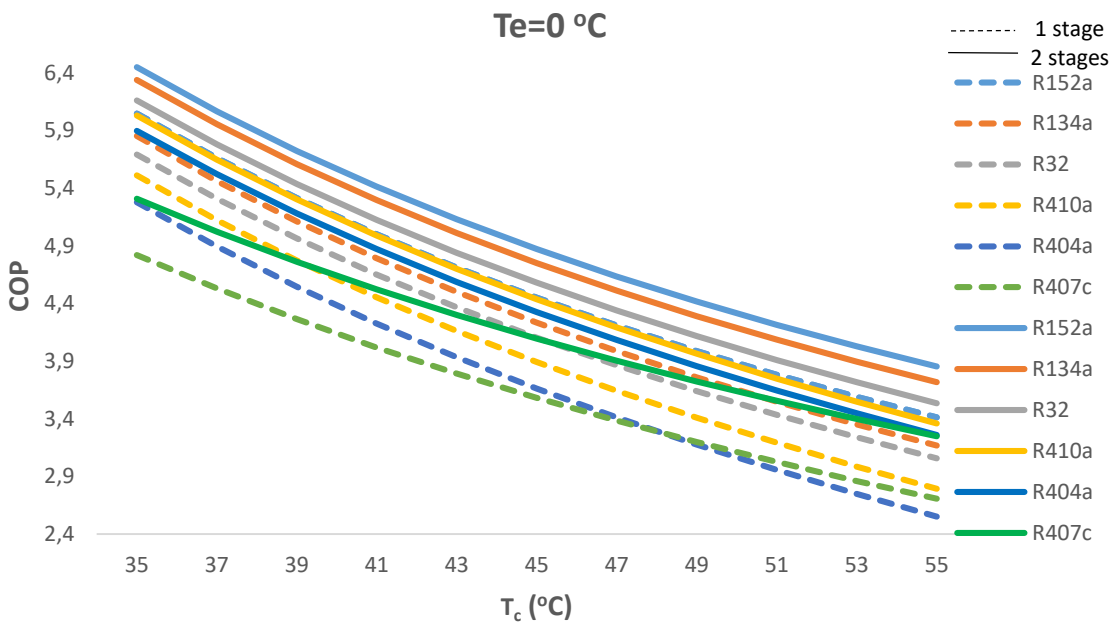
Διάγραμμα 7.3.2: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -15$ °C



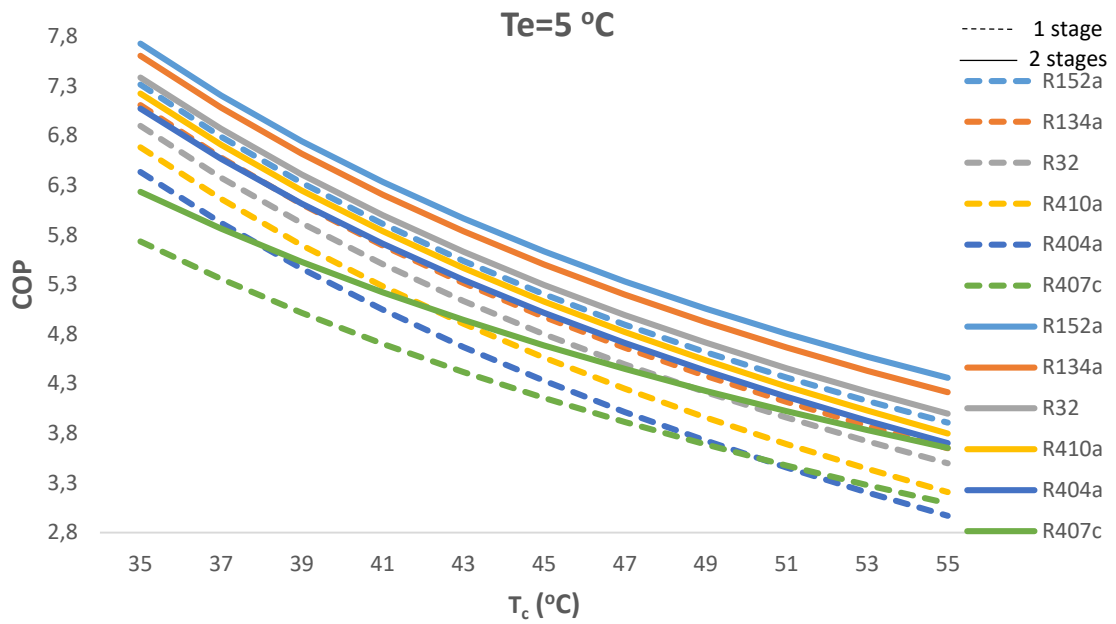
Διάγραμμα 7.3.3: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -10$ °C



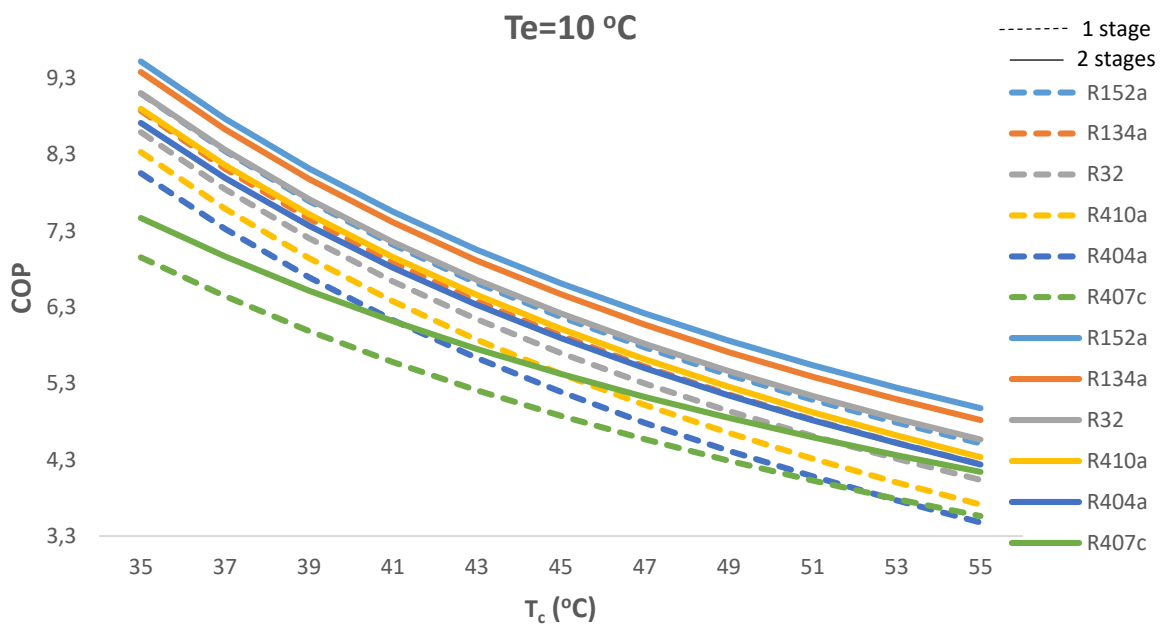
Διάγραμμα 7.3.4: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$



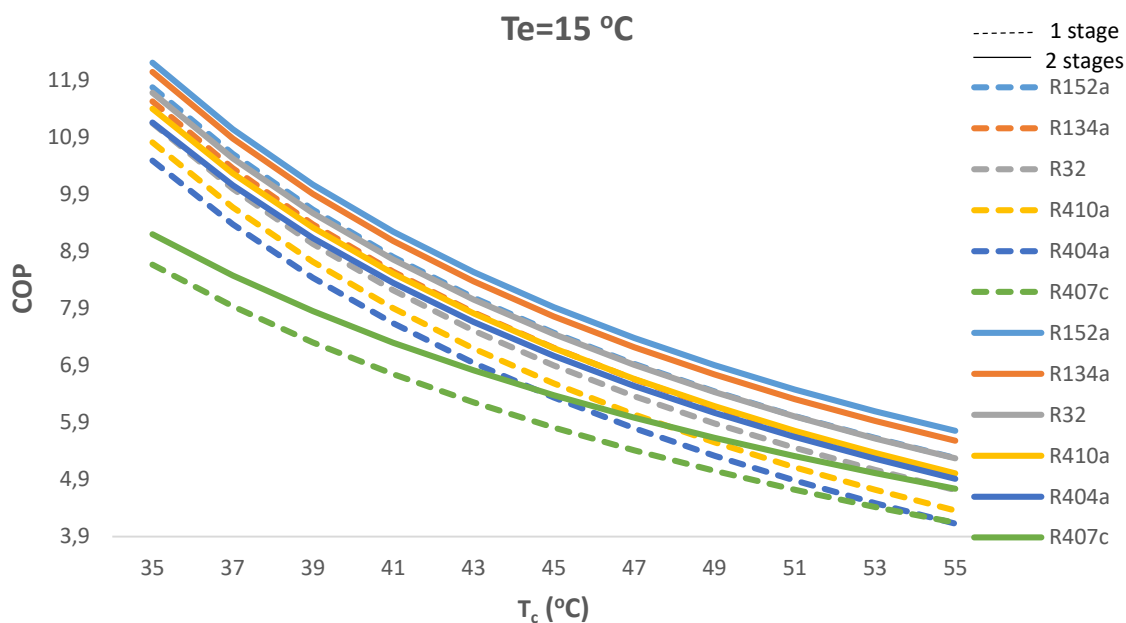
Διάγραμμα 7.3.5: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 7.3.6: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 5$ °C



Διάγραμμα 7.3.7: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποιητή $T_e = 10$ °C



Διάγραμμα 7.3.8: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = 15\text{ }^\circ\text{C}$

Στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα φαίνεται πως η χρήση ενός δευτέρου συμπιεστή επιφέρει βελτίωση του συντελεστή συμπεριφοράς του ψυκτικού κύκλου

Αναλυτικά στο διάγραμμα 7.3.1 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 11,5% έως 17,4%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 13,1% έως 21,9% , R134a από 112,4% έως 20,6%, R404a από 16,6% έως 29,5%, R407c 13,8% έως 22% και τέλος για το R152a από 10% έως 15,7%.

Στο διάγραμμα 7.3.2 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 10,5% έως 16,5%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 12% έως 20,5% , R134a από 11,3% έως 19,1%, R404a από 15,11% έως 27,58%, R407c 12,7% έως 20,7% και τέλος για το R152a από 9,1% έως 14,6%.

Στο διάγραμμα 7.3.3 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 9,5% έως 15,5%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 10,9% έως 19,3% , R134a από 10,1% έως 17,6%, R404a από 13,5% έως 25,57%, R407c 11,5% έως 19,31% και τέλος για το R152a από 8,1% έως 13,6%.

Στο διάγραμμα 7.3.4 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 8,6% έως 14,5%. Για το ψυκτικό

μέσο R410a από 9,8% έως 18,12% , R134a από 8,9% έως 16,2%, R404a από 12% έως 23,6%, R407c 10,3% έως 18% και τέλος για το R152a από 7,1% έως 12,5%.

Στο διάγραμμα 7.3.5 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 7,6% έως 13,5%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 8,6% έως 16,9% , R134a από 7,7% έως 14,7%, R404a από 10,5% έως 21,7%, R407c 9,2% έως 16,7% και τέλος για το R152a από 6,2% έως 11,4%.

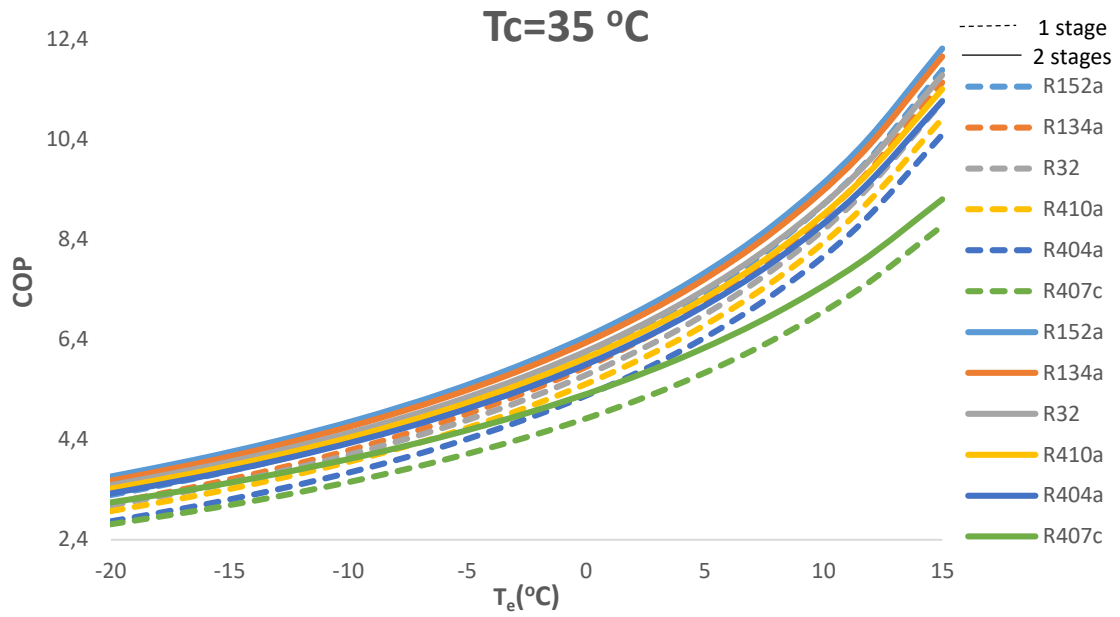
Στο διάγραμμα 7.3.6 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 6,6% έως 12,5%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 7,5% έως 16,6% , R134a από 6,5% έως 13,4%, R404a από 9% έως 19,8%, R407c 8,1% έως 15,3% και τέλος για το R152a από 5,3% έως 10,4%.

Στο διάγραμμα 7.3.7 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 5,6% έως 11,5%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 6,3% έως 14,3% , R134a από 5,4% έως 12%, R404a από 7,5% έως 17,9%, R407c 6,9% έως 14% και τέλος για το R152a από 4,4% έως 9,3%.

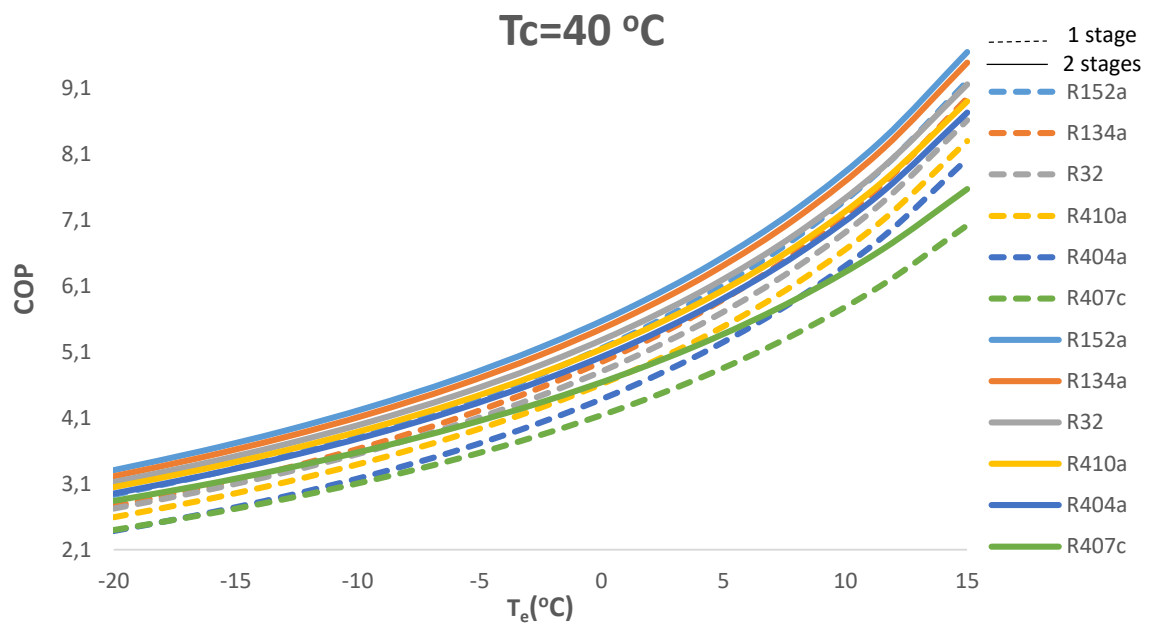
Στο διάγραμμα 7.3.8 η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς του R32 σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή κυμαίνεται από 4,5% έως 10,5%. Για το ψυκτικό μέσο R410a από 5,2% έως 13% , R134a από 4,3% έως 10,6%, R404a από 6% έως 16%, R407c 5,8% έως 12,7% και τέλος για το R152a από 3,5% έως 8,3%.

7.3.2 Σύγκριση εγκαταστάσεων με βάση την θερμοκρασία ατμοποιητή.

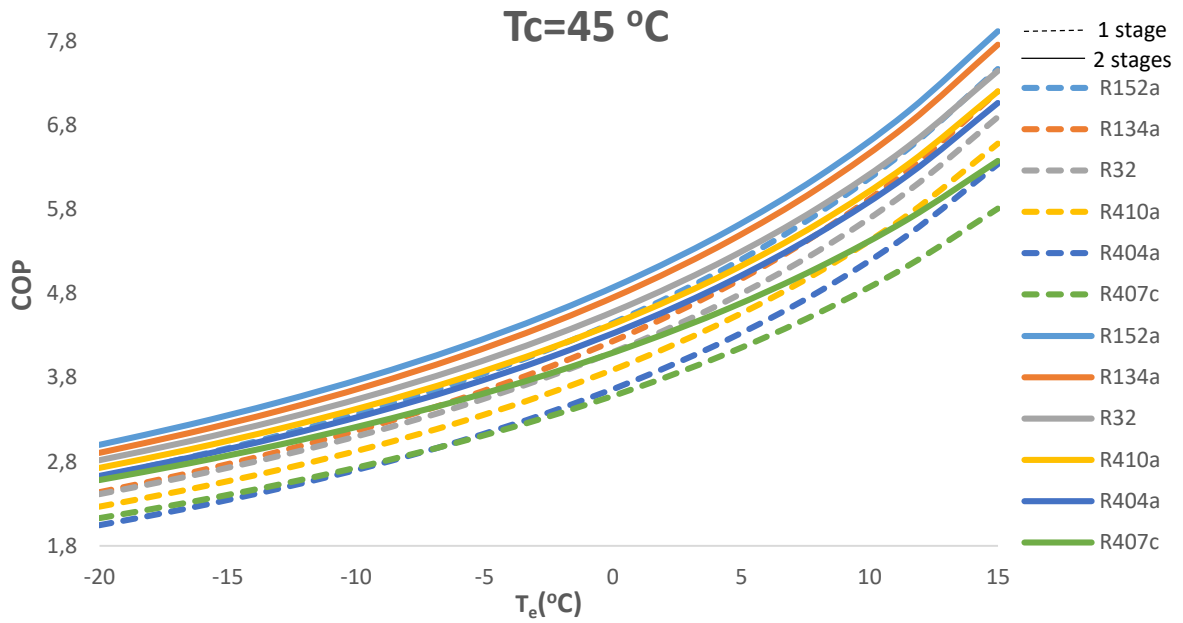
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα συντελεστή συμπεριφοράς-θερμοκρασίας ατμοποιητή, σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες συμπυκνωτή.



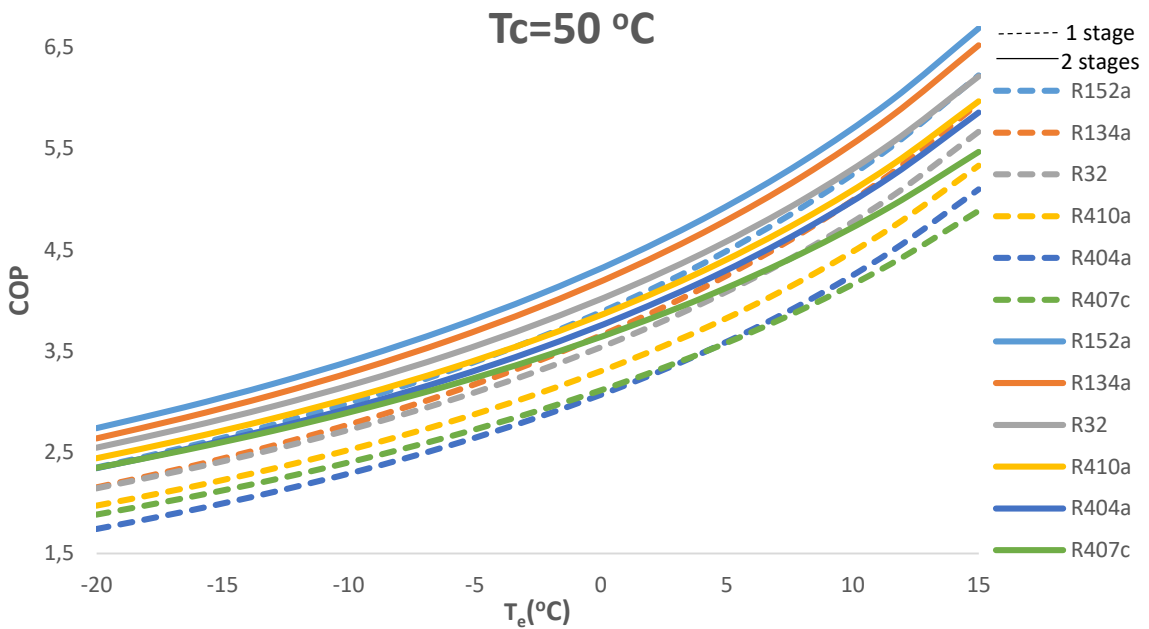
Διάγραμμα 7.3.9: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 35 °C



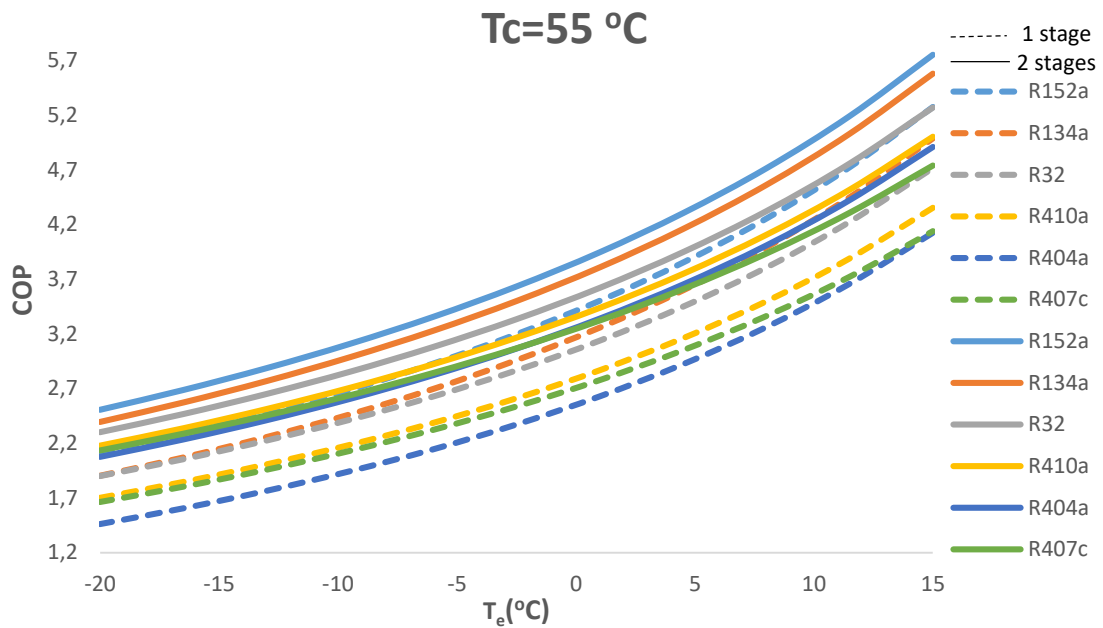
Διάγραμμα 7.3.10: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 40 °C



Διάγραμμα 7.3.11: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 45 °C



Διάγραμμα 7.3.11: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 50 °C



Διάγραμμα 7.3.12: Συντελεστής συμπεριφοράς μονοβάθμιου και διβάθμιου ψυκτικού κύκλου για θερμοκρασία συμπυκνωτή T_c= 55 °C

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι το ψυκτικό μέσο που ανταποκρίνεται καλύτερα στην προσθήκη και δεύτερου συμπιεστή είναι το R404a, με τα υπόλοιπα μέσα να ακολουθούν με την εξής σειρά : δεύτερο είναι το R410a, τρίτο το R32, ακολουθούν τα R407c και R134a ,ενώ τελευταίο με την μικρότερη αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς είναι το R152a.

Τέλος είναι φανερό πως η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς στο διβάθμιο κύκλο είναι μεγαλύτερη καθώς αυξάνει η θερμοκρασία του συμπυκνωτή.

Κεφάλαιο 8

8. Περιβαλλοντικά αποτελέσματα

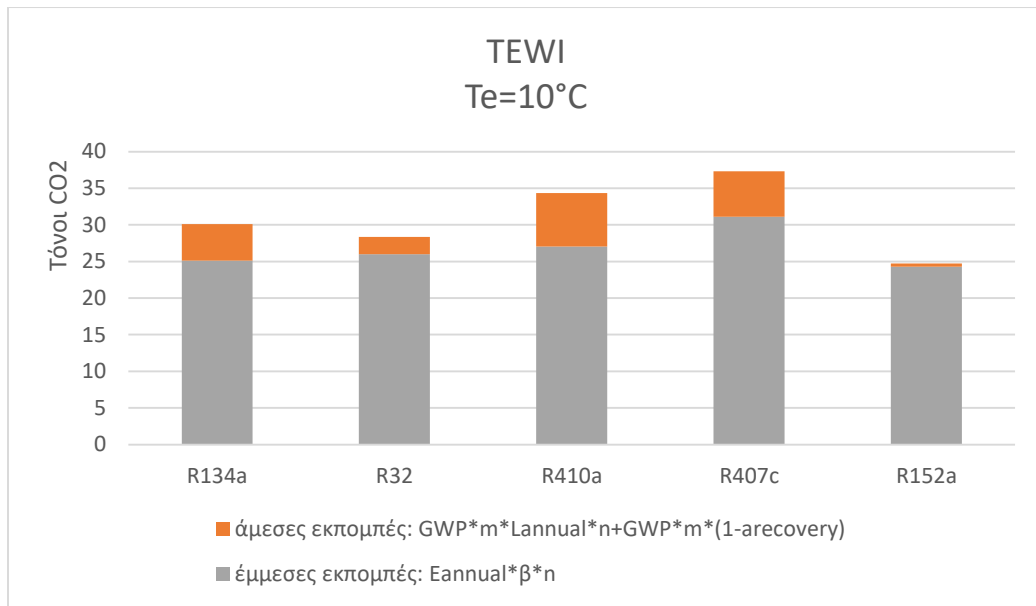
8.1 Γενικά περί περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της συνολικής ισοδύναμης επιβάρυνσης στην υπερθέρμανση της με την χρήση του δείκτη TEWI. Οι υπολογισμοί συμπεριλάμβαναν μονοβάθμια και δευτεροβάθμια ψυκτική εγκατάσταση. Η κύρια προσέγγιση έγινε για την περίπτωση που η εφαρμογή της υφιστάμενης εγκατάστασης προορίζεται για οικιακό κλιματισμό που είναι και ο κύριος στόχος της διπλωματικής. Επίσης για λόγους πληρότητας έγινε υπολογισμός του δείκτη και για την περίπτωση που η ψυκτική εγκατάσταση προορίζεται για επαγγελματική χρήση σε εφαρμογές διατήρησης τροφίμων και ποτών.

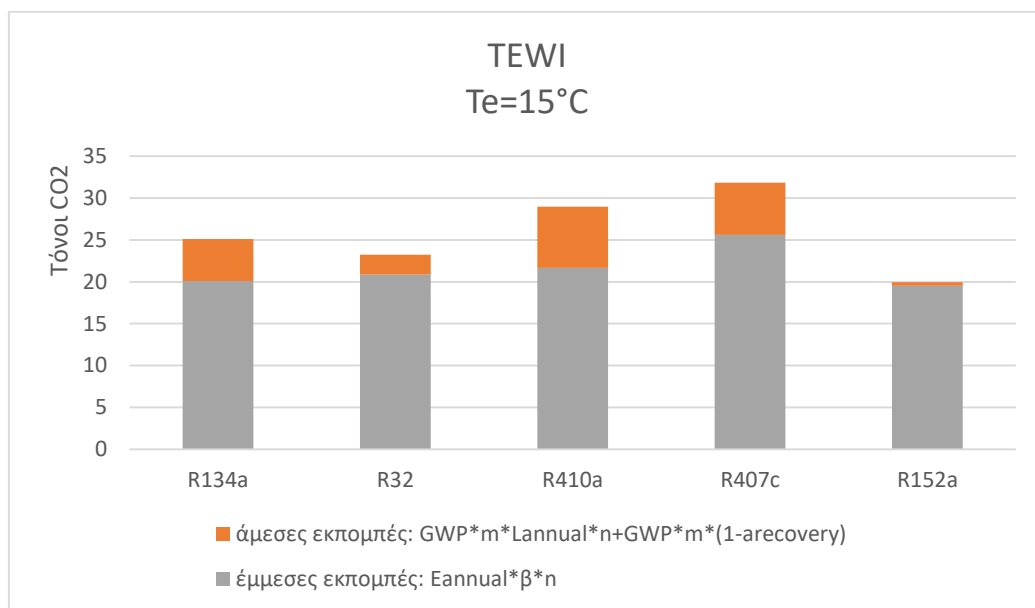
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι υποθέσεις που λήφθηκαν στο κεφάλαιο του μαθηματικού μοντέλου. Επίσης εξετάστηκε πώς επηρεάζονται οι άμεσες ισοδύναμες εκπομπών CO₂ όταν αλλάζει ο ετήσιος ρυθμός διαρροής, καθώς αποτελεί ένα μέγεθος που επηρεάζεται άμεσα από την σωστή συντήρηση της εγκατάστασης.

8.2 Περιβαλλοντικά αποτελέσματα για οικιακό κλιματιστικό

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συνολικής ισοδύναμης εκπομπής CO₂ για δυο χαρακτηριστικές θερμοκρασίες ατμοποίησης $T_e=10^{\circ}\text{C}$ και $T_e=15^{\circ}\text{C}$ που λειτουργεί μια κλιματιστική μονάδα και για θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c=40^{\circ}\text{C}$. Να σημειωθεί σε αυτό το κομμάτι ότι η συνολική ισοδύναμη εκπομπή αποτελείται από τις άμεσες και τις έμμεσες εκπομπές. Στα δύο πρώτα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, το μέγεθος που μεταβάλλεται είναι οι άμεσες εκπομπές που σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης. Οι άμεσες είναι σταθερές καθώς εξαρτούνται από τον μηχανολογικό εξοπλισμό.



Διάγραμμα 8.2.1: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός οικιακού κλιματιστικού για θερμοκρασία ατμοποίησης T_e=10°C



Διάγραμμα 8.2.2: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός οικιακού κλιματιστικού για θερμοκρασία ατμοποίησης T_e=10°C

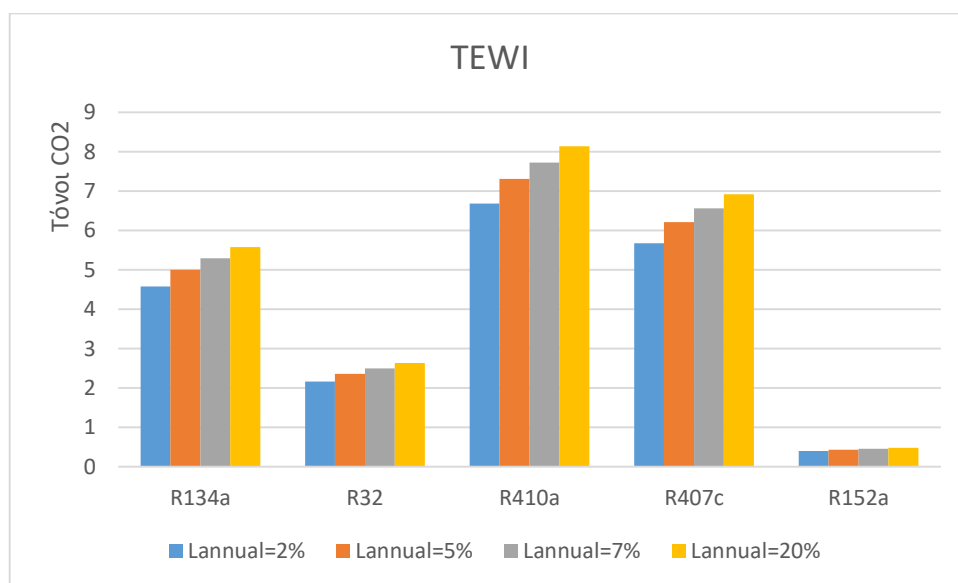
Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές ότι η συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ αποτελείται από την άμεση και την έμμεση εκπομπή. Μάλιστα η δεύτερη είναι σημαντικά μεγαλύτερη της πρώτης.

Επίσης και στα δύο διαγράμματα φαίνεται ότι το ψυκτικό μέσο R407C είναι πιο ζημιόγono για το περιβάλλον. Αναλυτικά η κατάταξη των ψυκτικών μέσων, ως προς το

φιλικότερο για περιβάλλον είναι η εξής: με την χαμηλότερη συνεισφορά στην υπερθέρμανση είναι το R152a ακολουθούν τα R32, R134a και το R410a. Ενώ το R407c έρχεται τελευταίο με την μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση, όπως αναφέρθηκε.

Μια τελευταία παρατήρηση που προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα είναι πως καθώς αυξάνει η θερμοκρασία ατμοποίησης, μειώνεται η συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂. Η μείωση αυτή αναμενόταν, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης οδηγεί και σε αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς, δηλαδή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των έμμεσων εκπομπών.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα της άμεσης ισοδύναμης εκπομπής CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός οικιακού κλιματιστικού, για διαφορετικά ετήσια ποσοστά διαρροής.

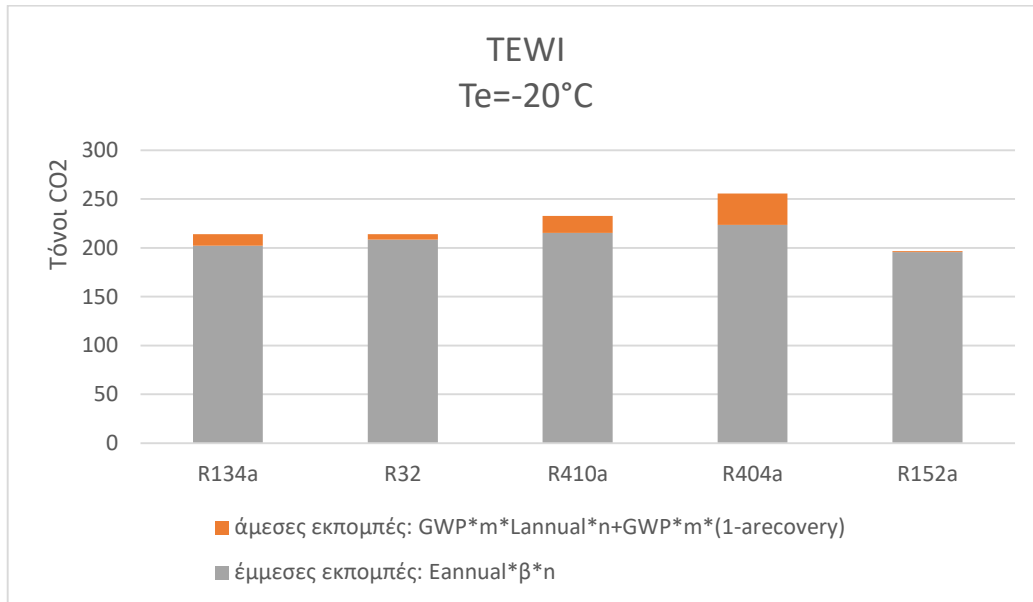


Διάγραμμα 8.2.3: Άμεση ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός οικιακού κλιματιστικού για διαφορετικά ετήσια ποσοστά διαρροής

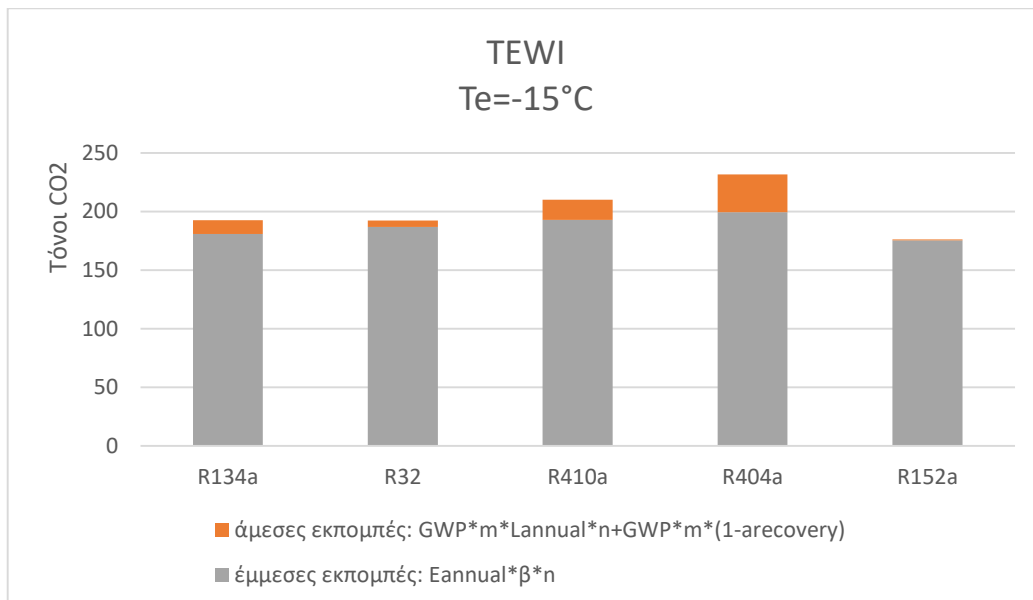
Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ο ετήσιος ρυθμός διαρροής είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος καθώς έχει σημαντική συνεισφορά στην άμεση ισοδύναμη εκπομπή CO₂. Έτσι οι προσπάθειες για την μείωση αυτών των εκπομπών πρέπει να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση των διαρροών καθώς μπορεί να επιτευχθεί με την σωστή συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.

8.3 Περιβαλλοντικά αποτελέσματα για ψυγιοκαταψύκτης

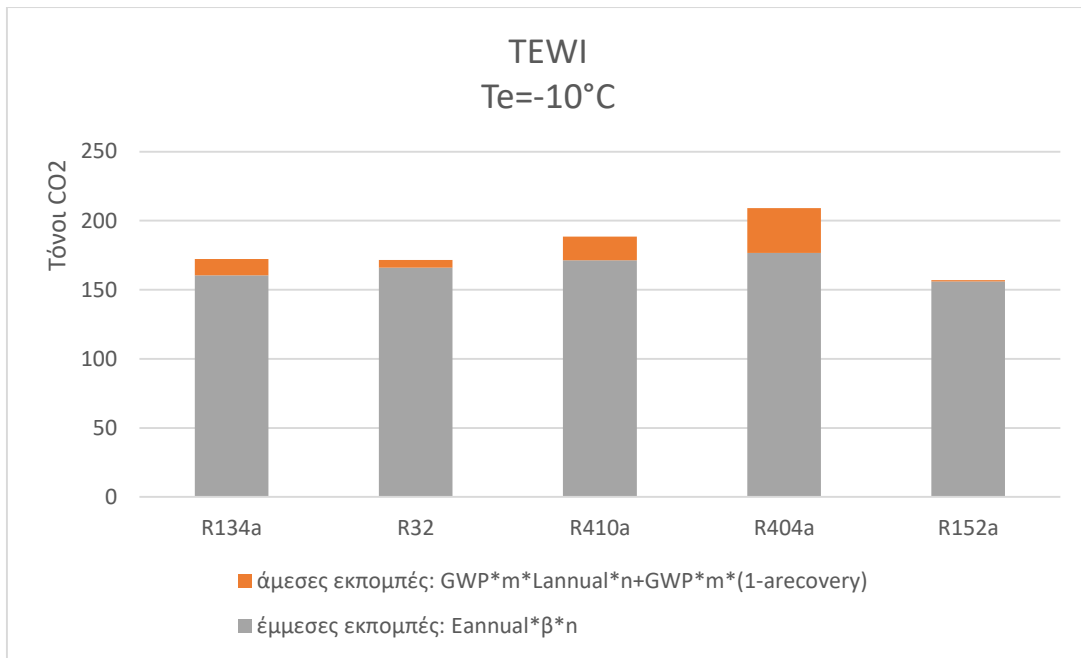
Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα συνολικής ισοδύναμης εκπομπής CO₂ για τις πιο χαρακτηριστικές θερμοκρασίες ατμοποίησης που λειτουργεί ένας επαγγελματικός ψυγιοκαταψύκτης ανάλογα με την εφαρμογή που προορίζεται.



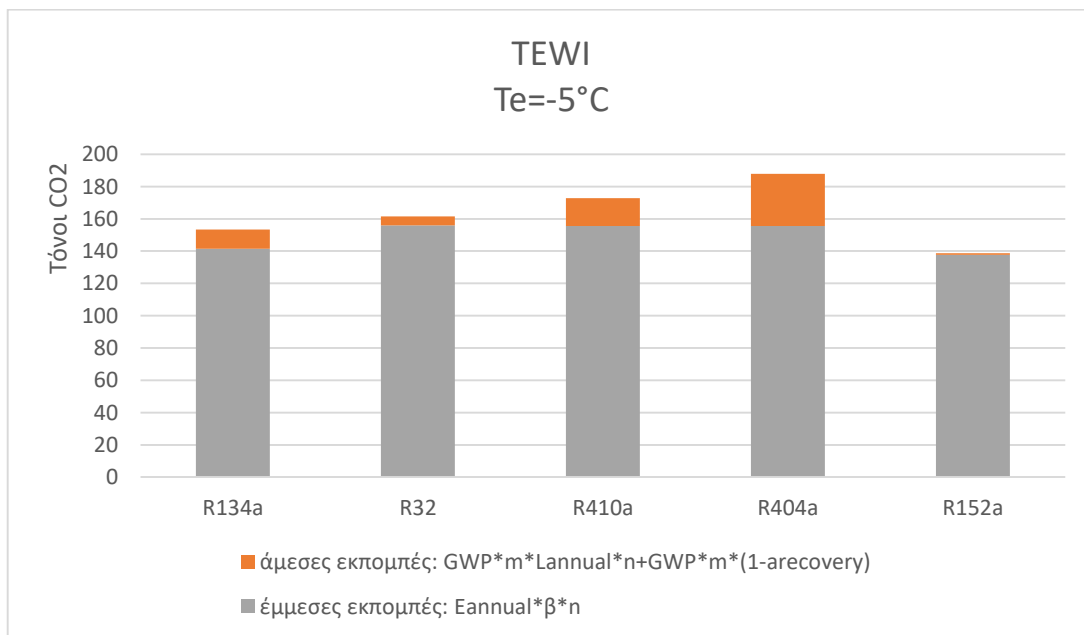
Διάγραμμα 8.3.1: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγιοκαταψύκτη για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -20^\circ C$



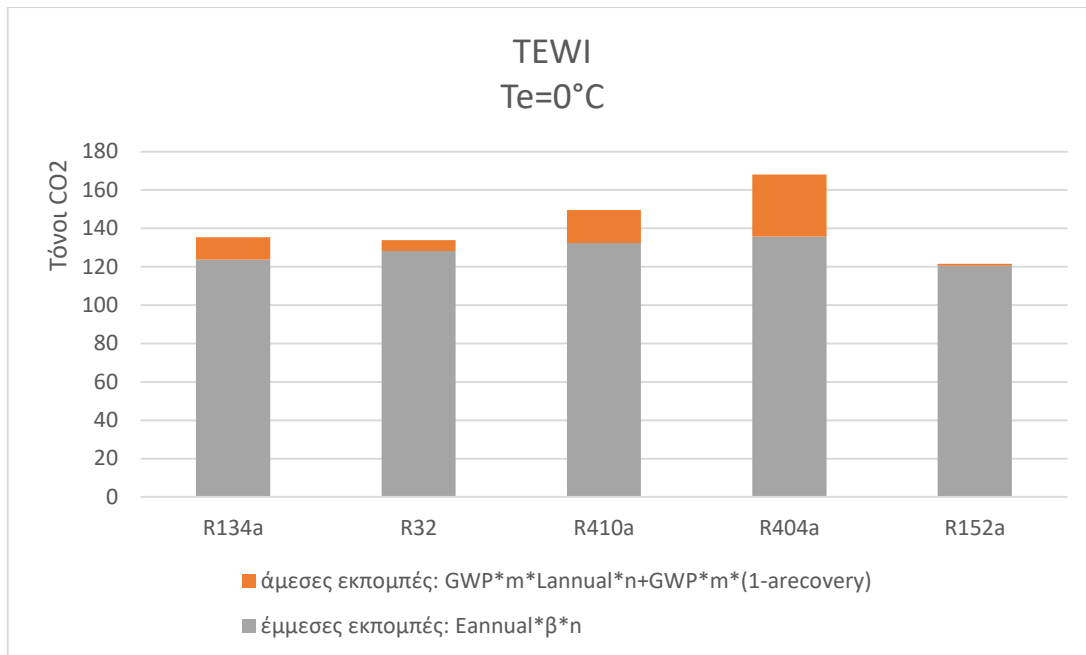
Διάγραμμα 8.3.2: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγιοκαταψύκτη για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -15^\circ C$



Διάγραμμα 8.3.3: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγείοκαταψύκτη για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -10^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 8.3.4: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγείοκαταψύκτη για θερμοκρασία ατμοποίησης $T_e = -5^\circ\text{C}$



Διάγραμμα 8.3.5: Συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγειοκαταψύκτη για θερμοκρασία ατμοποίησης T_e=0°C

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ για χαρακτηριστικές θερμοκρασίες ατμοποίησης. Το εύρος των θερμοκρασιών που εξετάστηκαν είναι από -20 °C έως 0 °C, τιμές που συναντάμε σε ένα εμπορικό ψυγειοκαταψύκτη, σε εφαρμογές βαθιάς κατάψυξης ή συντήρησης προϊόντων.

Επίσης στα πιο πάνω διαγράμματα φαίνεται η σπουδαιότητα της σωστής επιλογής ψυκτικού μέσου, καθώς η διακύμανση των συνολικών εκπομπών είναι μεγάλη ανάλογα το εργαζόμενο μέσο. Κάποιες χαρακτηριστικές τιμές των εκπομπών παρουσιάζονται παρακάτω.

Στο διάγραμμα 8.3.1 την ελαχιστοποίηση των εκπομπών την πετυχαίνουμε με την χρήση του ψυκτικού μέσο R152a που κυμαίνονται στους 197 τόνους CO₂. Οι μέγιστες εκπομπές παρουσιάζονται όταν χρησιμοποιείται το R410a που κυμαίνονται στους 266 τόνους CO₂.

Στο διάγραμμα 8.3.2 την ελαχιστοποίηση των εκπομπών την πετυχαίνουμε με την χρήση του ψυκτικού μέσο R152a που κυμαίνονται στους 176 τόνους CO₂. Οι μέγιστες εκπομπές παρουσιάζονται όταν χρησιμοποιείται το R410a που κυμαίνονται στους 232 τόνους CO₂.

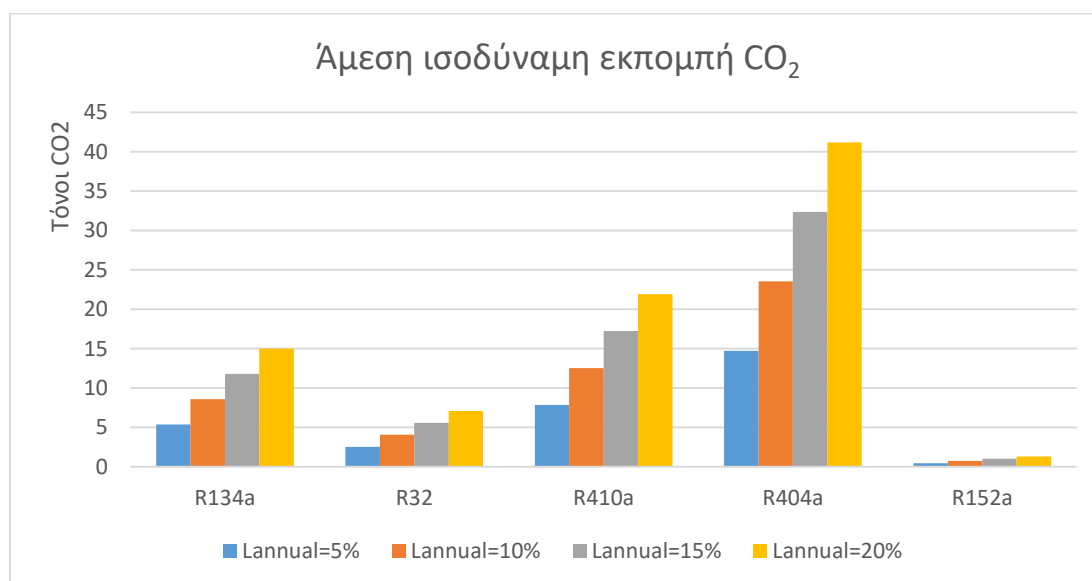
Στο διάγραμμα 8.3.3 την ελαχιστοποίηση των εκπομπών την πετυχαίνουμε με την χρήση του ψυκτικού μέσο R152a που κυμαίνονται στους 157 τόνους CO₂. Οι μέγιστες

εκπομπές παρουσιάζονται όταν χρησιμοποιείται το R410a που κυμαίνονται στους 209 τόνους CO₂.

Στο διάγραμμα 8.3.4 την ελαχιστοποίηση των εκπομπών την πετυχαίνουμε με την χρήση του ψυκτικού μέσο R152a που κυμαίνονται στους 139 τόνους CO₂. Οι μέγιστες εκπομπές παρουσιάζονται όταν χρησιμοποιείται το R410a που κυμαίνονται στους 188 τόνους CO₂.

Τέλος στο διάγραμμα 8.3.5 την ελαχιστοποίηση των εκπομπών την πετυχαίνουμε με την χρήση του ψυκτικού μέσο R152a που κυμαίνονται στους 122 τόνους CO₂. Οι μέγιστες εκπομπές παρουσιάζονται όταν χρησιμοποιείται το R410a που κυμαίνονται στους 168 τόνους CO₂.

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται το διάγραμμα της άμεσης ισοδύναμης εκπομπής CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγείοκαταψύκτης, για διαφορετικά ετήσια ποσοστά διαρροής.



Διάγραμμα 8.2.3: Άμεση ισοδύναμη εκπομπή CO₂ στον κύκλο λειτουργίας ενός επαγγελματικού ψυγείοκαταψύκτη για διαφορετικά ετήσια ποσοστά διαρροής.

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αισθητή η ανάγκη για την προγραμματισμένη και σωστή συντήρηση της εγκατάστασης καθώς όσο μεγαλώνει το μέγεθος της εφαρμογής αυξάνονται και οι άμεσες εκπομπές. Επίσης φαίνεται η επιτακτική ανάγκη της αντικατάστασης του ψυκτικού μέσου R410a, ένα εργαζόμενο μέσο που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην βιομηχανία ψύξης προϊόντων, και επιφέρει την μεγαλύτερη ζημιογόνα επίδραση για το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 9

9. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, η διπλωματική αυτή είχε στόχο τη μελέτη του ψυκτικού μέσου R32 προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα οικιακού κλιματισμού καθώς και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Για την εξαγωγή ολοκληρωμένων συμπερασμάτων, έγινε σύγκριση και άλλων ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εφαρμογές.

Το πρώτο σκέλος της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε αφορούσε τον τρόπο που επιδρούν τα διάφορα εργαζόμενα μέσα στο συντελεστή συμπεριφοράς ενός μονοβάθμιου και ενός διβάθμιου ψυκτικού κύκλου μηχανικής συμπίεσης ατμών. Επίσης για αυτούς τους δυο κύκλους εξετάστηκαν τα πιο πιθανά σενάρια θερμοκρασιών, που μπορούν να συναντηθούν στην περίπτωση που ο ψυκτικός κύκλος χρησιμοποιείται για τον κλιματισμό ενός σπιτιού. Στην περίπτωση που η εφαρμογή του ψυκτικού κύκλου προορίζεται για βιομηχανικό σκοπό, εξετάστηκε όλο το εύρος θερμοκρασιών που συναντάμε, από την βαθεία κατάψυξη έως την συντήρηση προϊόντων.

Το δεύτερο σκέλος της ανάλυσης αφορούσε τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιφέρει το κάθε ψυκτικό μέσο στα πλαίσια των δύο εφαρμογών. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της άμεσης ισοδύναμης εκπομπής CO₂ με την χρήση του δείκτη TEWI. Ο δείκτης αυτός αποτελείται από τις άμεσες και έμμεσες εκπομπές. Οι πρώτες σχετίζονται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων, δηλαδή πόση μάζα ψυκτικού μέσου χρησιμοποιείται, τι συντελεστή υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) έχει το εργαζόμενο μέσο, καθώς και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως το ποσοστό διαρροών και το ποσοστό ανάκτησης του εργαζόμενου μέσου μετά το κύκλο ζωής της εγκατάστασης. Οι έμμεσες απώλειες σχετίζονται με τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των εργαζόμενων μέσων καθώς αποτελούνται από το γινόμενο της ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης με το ενεργειακό μίγμα της χώρας και τα χρόνια λειτουργίας της μονάδας.

Από το πρώτο σκέλος της ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα. Το ψυκτικό μέσο R152a είναι το εργαζόμενο μέσο που η χρήση του επιφέρει το μεγαλύτερο συντελεστή συμπεριφοράς στην εγκατάσταση, είτε αυτή αποτελείται από μονοβάθμιο ή διβάθμιο κύκλο ψύξης. Το αρνητικό με αυτό το μέσο, είναι ότι κατατάσσεται ως προς την αναφλεξιμότητα, κατά την ASHRAE, στην κατηγορία της

A2 δηλαδή ως μερικώς εύφλεκτο, περιορίζοντας την χρήση του στον τομέα κλιματισμού αυτοκινήτων. Σίγουρα πάντως αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον ψυκτικό μέσο, που θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον και σε άλλες εφαρμογές όταν ξεπεραστεί το πρόβλημα της αναφλεξιμότητας. Το αμέσως καλύτερο ψυκτικό μέσο με τον υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς είναι το R134a που συναντάται σχεδόν σε όλα τα εύρη του κλιματισμού. Μάλιστα λόγω των πολύ καλών θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του αποτελεί και συστατικό πολλών ψυκτικών μιγμάτων. Το R32 έρχεται στην τρίτη θέση και σε συνδυασμό με τις εξαιρετικά φιλικές περιβαλλοντικές του ιδιότητες, αποτελεί μια πολύ ελκυστική λύση για την αντικατάσταση των πολύ ζημιογόνων χλωροφθορανθράκων που χρησιμοποιούνται σε παλιές εγκαταστάσεις. Το μειονέκτημα και σε αυτό το ψυκτικό μέσο είναι ότι ανήκει στην κατηγορία A2 ως προς την αναφλεξιμότητα, με την επιστημονική κοινότητα να είναι επιφυλακτική με την χρήση του. Όμως οι πετυχημένες δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί στο εξωτερικό, σε συστήματα οικιακού κλιματισμού, δίνουν ενθαρρυντικά σημάδια και μπορεί να αποτελέσει ένα ψυκτικό μέσο με πρωταγωνιστικό ρόλο στο μέλλον. Τα υπόλοιπα τρία ψυκτικά μέσα που εξετάστηκαν ακολουθούν με σημαντικά πιο χαμηλούς συντελεστές συμπεριφοράς.

Από το δεύτερο σκέλος της ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα. Το φιλικότερο μέσο, με την χαμηλότερη συνολική ισοδύναμη εκπομπή CO₂ και στις δύο εφαρμογές που εξετάστηκαν, προκύπτει το R152a, βέβαια η σύγκριση αυτή δεν είναι δίκαιο καθώς μέχρι στιγμής αυτό το μέσο χρησιμοποιείται μόνο στην αυτοκινητοβιομηχανία. Από τα υπόλοιπα μέσα στην περίπτωση του οικιακού κλιματισμού το R32 είναι το φιλικότερο με το R134a να ακολουθεί. Τρίτο και τέταρτο έρχονται το R410a και R407c. Στην περίπτωση που τα ψυκτικά μέσα χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, το R134a αποδεικνύεται το καλύτερο με τις μικρότερες ισοδύναμες εκπομπές, με το R32 να ακολουθεί στην δεύτερη θέση. Ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί ότι το ψυκτικό μέσο με τις μεγαλύτερες εκπομπές είναι το R404a, ένα μέσο που είναι άμεσα συνδεδεμένο με στις περισσότερες εφαρμογές βιομηχανικής ψύξης.

Τέλος μετά την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής γίνεται κατανοητό ότι δεν υπάρχει ιδανικό ψυκτικό μέσο. Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου σε μία εφαρμογή πρέπει να είναι συνάρτηση των προτεραιοτήτων της εφαρμογής, υψηλό συντελεστή συμπεριφοράς, ασφάλεια ή μείωση περιβαλλοντικών επιδράσεων. Η μελλοντική μελέτη θα πρέπει να επικεντρωθεί σε τρόπους μείωσης των διαρροών των εγκαταστάσεων και την δημιουργία μιας πιο “καθαρής” ηλεκτρικής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- [1] Β. Παπαευθυμίου, “Ψυκτικές και Κλιματιστικές Εγκαταστάσεις Ισχύος», Αθήνα 2006.
- [2] Κουρεμένου. “Ψυκτικές Μηχανές και Εγκαταστάσεις”, Εκδότης Ίδρυμα Ευγενίδου, 2001.
- [3] Σ. Χατζηδάκης, ««Σημειώσεις Ψύξης Α και Β Μέρος»», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003
- [4] Γρ. Βροχόπουλος, ««Ψυκτικές Διατάξεις»», Εκδόσεις Ιων, 2000
- [5] Σ.Π. Αναστασιάδη, ««Τεχνολογία Ψύξεως»», Εκδόσεις Τεχνικών και Επιστημονικών Βιβλίων, Αθήνα 1984
- [6] Λ. Γοματά & Κ. Λύτρα, Ψύξη-Κλιματισμός, Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα 2004
- [7] Σ.Π. Αναστασιάδη, Συμπιεστές Ψυκτικών Εφαρμογών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- [8] Διπλωματική εργασία με θέμα: ««Βελτιστοποίηση απόδοσης Ψυκτικών Συμπιεστών»», Δαλαβούρας Κωνσταντίνος, Αθήνα 2014, <http://dspace.lib.ntua.gr/>
- [9] Διπλωματική εργασία με θέμα: ««Παραμετρική Επίλυση Θερμοδυναμικού Κύκλου Ψυκτικής Εγκατάστασης με Αριθμητική Προσομοίωση Ψυκτικού Μέσου R-134a»», Αθήνα 2011, <http://dspace.lib.ntua.gr/>
- [10] A.R. Trott and T.c. Welch, ««Refrigeration & Air-Conditioning»», Butterworth Heinemann, 2000
- [11] Δ. Ιωαννίδη, ««Κλιματισμός»», Εκδόσεις Ευγενίδου Ιδρύματος, Β» Έκδοση, Αθήνα 1998
- [12] Τ.Ε.Ε., Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών, Εκπαιδευτικό υλικό, Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων Ψύξης και Κλιματισμού Κτηρίων, Αθήνα 2011.
- [13] Refrigerating Engineering, Eric Granryd, Ingvar Ekroth, Per Lundqvist, Ake Melinder, Bjorn Palm, Peter Rohlin, KTH Department of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration
- [14] ASHRAE (1997) Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA , <https://www.ashrae.org/>
- [15] ASHRAE, Position Document on Refrigerants and their Responsible Use, Approved by ASHRAE Board of Directors, January 25, 2012, <https://www.ashrae.org/>

- [16] Designation and Safety Classifications of Refrigerants, <https://www.ashrae.org/>
- [17] Performance test of residential heat pump after partial optimization using low GWP refrigerants, <http://www.sciencedirect.com/>
- [18] Experimental investigations on a R134a ejector applied in a refrigeration system, <http://www.sciencedirect.com/>
- [19] Testing, simulation and soft-optimization of R410A low-GWP alternatives in heat pump system, <http://www.sciencedirect.com/>
- [20] Low GWP Replacements for R404A in Commercial Refrigeration Applications, <http://www.sciencedirect.com/>
- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change
- [22] <http://www.meteo.gr/meteoplus/pdf/thermokipio.pdf>
- [23] <http://climate.nasa.gov>
- [24] https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_depletion
- [25] Signatures of the Antarctic ozone hole in Southern Hemisphere surface climate change
- [26] Α. Στέγγου-Σαγιά, Φιλικά Προς Το Περιβάλλον Ψυκτικά Μέσα Σε Συστήματα Ψύξης & Κλιματισμού, Αθήνα 2005
- [27] The Australian Institute Of Refrigeration, Air Conditioning and Heating, Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012
- [28] https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_depletion_potential
- [29] Refrigerants Environmental Data, Ozone Depletion and Global Warming Potential, Linde Gases AG Gases Division, Seitnerstrasse 70, 82049 Pullach, Germany
- [30] Γεώργιος Ξηρός, Διαχείριση Ψυκτικών Ουσιών Θερμοκηπιού, , 2014