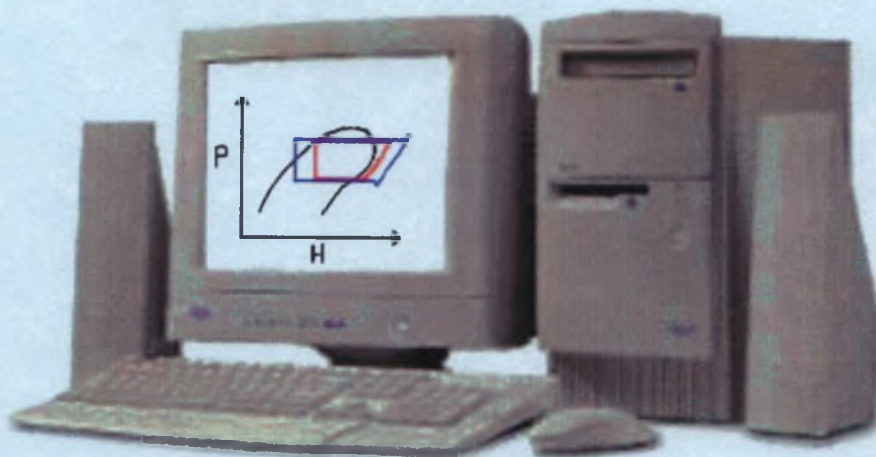


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ :

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

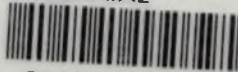
ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΦΩΤΙΟΣ Χ. ΣΠΥΡΟΥ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ

ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1999

αρ. εισ. 154/Π.Α.....



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000046467

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2320/1

Ημερ. Εισ.: 01-10-1999

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ

1999

ΣΠΥ

στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής αυτής εργασίας, Δρ. Β. Μποντόζογλου, Αν. Καθηγητή Π. Θ., για τη βοήθεια που μου προσέφερε, τόσο στην επιλογή του θέματος της εργασίας, όσο και στην καθοδήγηση, τη στήριξη και τη διάθεσή του, που ήταν άμεση.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απονείμω, επίσης, στον Υποψήφιο Διδάκτορα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας Βλαχογιάννη Μιχάλη, για την τεχνική υποστήριξη που μου παρείχε, καθώς και στον Μεταπτυχιακό φοιτητή Πανούτσο Χρήστο, ο οποίος με βοήθησε να κατανοήσω τις αρχές λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, τόσο σε πρακτικό, όσο και σε θεωρητικό επίπεδο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και προπάντων τους γονείς μου, οι κόποι και οι θυσίες των οποίων, με οδήγησαν σε αυτό το σημείο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες η χρήση αντλιών θερμότητας παγκοσμίως, γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι μικρές αντλίες θερμότητας, με βάση τον κύκλο συμπίεσης ψυχρών ατμών, που παράγονται κατά εκατοντάδες χιλιάδες κάθε χρόνο και χρησιμοποιούνται για θέρμανση και ψύξη σε πολλές χώρες. Ιδιαίτερα μεγάλη εφαρμογή έχουν στη χώρα μας, όπου, λόγω των ήπιων κλιματολογικών συνθηκών και της μεγάλης ευκολίας ενσωμάτωσής τους στην αρχιτεκτονική οποιαδήποτε κτιρίου, θα μπορούσαν να εκτοπίσουν τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης, ακόμα και σε υπάρχουσες κατασκευές.

Από τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό, πόσο μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει κάθε δυνατότητα βελτιστοποίησης των συσκευών αυτών, η οποία είναι εφικτή μόνο κατόπιν εξοικείωσης με τα θερμοδυναμικά φαινόμενα που τις διέπουν. Ύστερα από την καταγραφή των χαρακτηριστικών μεγεθών τους, μέσω πειραματικών εργασιών, κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία ενός μοντέλου που θα επισπεύδει τη διαδικασία ανάλυσης της συμπεριφοράς των μεγεθών αυτών.

Βασικό στόχος αυτής της εργασίας είναι η επίτευξη ενός αξιόπιστου υπολογιστικού μοντέλου, που θα προσομοιάζει τη συμπεριφορά των διαφόρων χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας θερμότητας. Για το σκοπό αυτό, καταστρώθηκαν ισοζύγια μόνιμης κατάστασης για τον εξατμιστή, το συμπυκνωτή, το συμπιεστή και τη βαλβίδα στραγγαλισμού. Τα ισοζύγια ενσωματώθηκαν σε πρόγραμμα H/Y, το οποίο υπολογίζει τις μόνιμες συνθήκες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, χρησιμοποιώντας κατάλληλη επαναληπτική διαδικασία.

Το υπολογιστικό μοντέλο, αφού ελέγχθηκε ώστε να επαληθεύει τις χαρακτηριστικά λειτουργίας της υπάρχουσας αντλίας του εργαστηρίου, χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της μεταβολής της απόδοσης της συσκευής (θερμική /ψυκτική ισχύς, COP, κλπ), συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της υπερθέρμανσης που υφίσταται το ψυκτικό στην έξοδο του εξατμιστή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν να συσχετιστούν με μετρήσεις που εκτελούνται στο εργαστήριο Φυσικών και Χημικών Διεργασιών και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση πιθανών μετατροπών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	3
2.1 : Βασικές έννοιες.....	3
2.2 : Ανάλυση αντλίας θερμότητας.....	7
2.3 : Βαλβίδα στραγγαλισμού.....	10
2.4 : Συμπιεστής.....	11
2.5 : Εναλλάκτες θερμότητας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	16
3.1 : Το μοντέλο προσομοίωσης.....	16
3.2 : Δεδομένα εισόδου.....	21
3.3 : Το πρόγραμμα και οι μεταβλητές του.....	22
3.4 : Υπολογισμός του συντελεστή V_{neck}	29
3.5 : Η υπορουτίνα fluids.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	32
4.1 : Διαγράμματα ταυτόχρονα για θερμότητα προς διάθεση, έργο συμπίεσης και COP συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή (συνθήκες θέρμανσης).....	34
4.2 : Διαγράμματα για θερμότητα προς διάθεση, έργο συμπίεσης, COP, πίεσης συμπυκνωτή, θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο του συμπυκνωτή και μαζικής παροχής του ψυκτικού, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή (συνθήκες θέρμανσης).....	38
4.3 : Διαγράμματα για θερμότητα προς διάθεση, έργο συμπίεσης, COP, πίεσης συμπυκνωτή, θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο του συμπυκνωτή και μαζικής παροχής του ψυκτικού, συναρτήσει της υπερθέρμανσης (συνθήκες θέρμανσης).....	42
4.4 : Διαγράμματα ταυτόχρονα για θερμότητα προς διάθεση, έργο συμπίεσης και COP συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή (συνθήκες ψύξης).....	47

4.5 : Διαγράμματα για θερμότητα προς διάθεση, έργο συμπίεσης, COP, πίεσης συμπυκνωτή, θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο του συμπυκνωτή και μαζικής παροχής του ψυκτικού, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή (συνθήκες ψύξης).....	51
4.6 : Διαγράμματα για θερμότητα προς διάθεση, έργο συμπίεσης, COP, πίεσης συμπυκνωτή, θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο του συμπυκνωτή και μαζικής παροχής του ψυκτικού, συναρτήσει της υπερθέρμανσης (συνθήκες ψύξης).....	55
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</u>	59
5.1 : Συμπεράσματα.....	59
5.2 : Προτάσεις	61
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	62
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	63
A : Αποτελέσματα θέρμανσης συναρτήσει της συχνότητας για σταθερή υπερθέρμανση 5 °C.....	64
B : Αποτελέσματα θέρμανσης συναρτήσει της υπερθέρμανσης για συχνότητα 90 Hz.....	70
Γ : Αποτελέσματα ψύξης συναρτήσει της συχνότητας για σταθερή υπερθέρμανση 5 °C.....	72
Δ : Αποτελέσματα ψύξης συναρτήσει της υπερθέρμανσης για συχνότητα 90 Hz.....	78
E : Το αρχείο εισόδου.....	80
ΣΤ : Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σημαντικές εφαρμογές αντλιών θερμότητας στη θέρμανση είναι γνωστές από το 1945 στη Ελβετία, ενώ στον κλιματισμό από τη δεκαετία του '60 στις Η.Π.Α. Το γεγονός που ώθησε τη χρήση τους, ήταν οι δύο πετρελαϊκές κρίσεις στη δεκαετία του '70.

Σήμερα, οι πλέον διαδεδομένες είναι οι μικρές αντλίες θερμότητας με βάση τον κύκλο συμπίεσης ψυχρού ατμού, που γνωρίζουν ιδιαίτερη επιτυχία στη χώρα μας λόγω των ήπιων κλιματολογικών συνθηκών και της ευκολίας ενσωμάτωσής τους στην αρχιτεκτονική οποιουδήποτε κτιρίου. Η ευρεία χρήση αντλιών θερμότητας σε εφαρμογές θέρμανσης χώρων και νερού χρήσης, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή και από τις εταιρίες διανομής ηλεκτρισμού και αερίου, εξαιτίας της εξομάλυνσης που επιφέρει η χρήση τους στις παρατηρούμενες ημερήσιες και εποχιακές αιχμές ζήτησης. Και αυτό, παρά το γεγονός ότι δεν αναμένονται ραγδαίες εξελίξεις στην επιστημονική γνώση σχετικά με τις αντλίες θερμότητας, παρά μόνο σταθερή βελτίωση της διάρκειας ζωής και της απόδοσής τους.

Στην Ελλάδα, οι μικρές κλιματιστικές μονάδες αποτελούν το 80% του συνόλου, στην Ισπανία το 60%, στην Ιταλία το 20%, ενώ στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες κάτω του 10%. Αλλά ακόμη και στις Η.Π.Α., χώρα με μεγάλη παράδοση στον κλιματισμό, η διείσδυση των μικρών κλιματιστικών μονάδων ήδη έχει προβληματίσει το Υπουργείο Ενέργειας (DOE), το οποίο ανάθεσε στο Lawrence Berkeley National Laboratory να μελετήσει τις επιπτώσεις εναλλακτικών σεναρίων καθορισμού ορίων ενεργειακής απόδοσης των συσκευών αυτών, στο ενεργειακό ισοζύγιο και την οικονομία της χώρας*. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που παρουσιάζει κάθε δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσης της αποδοτικότητας των συσκευών αυτών.

Η γενίκευση της εφαρμογής τέτοιων συστημάτων, προϋποθέτει βελτίωση του ενεργειακού βαθμού απόδοσής τους με βελτιστοποίηση τόσο του σχεδιασμού όσο και του συστήματος αυτόματου ελέγχου. Το σύστημα ελέγχου είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν κυρίως σε μεταβατικές συνθήκες. Η αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνικών ελέγχου (MIMO, Nonlinear control, optimal control) και των διαθέσιμων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων (variable speed

* Πρόταση στα πλαίσια του ΠΕΝΕΔ, Εργ. Φυσικών & Χημικών Διεργασιών, 1999.

drives), απαιτεί λεπτομερή κατανόηση του θερμοδυναμικού κύκλου και της εξάρτησής του από όλες τις μεταβλητές εισόδου. Η κατανόηση αυτή είναι σήμερα εφικτή, μόνο μέσω ενός αξιόπιστου υπολογιστικού μοντέλου, που θα εφαρμόζεται τόσο κατά την μόνιμη όσο και για την μεταβατική λειτουργία του κύκλου.

Προσπάθεια για δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου, που αφορά τη μόνιμη κατάσταση, γίνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αξίζει να αναφερθεί ότι προηγήθηκαν άλλες διπλωματικές εργασίες, στις οποίες πραγματοποιήθηκε πειραματική μελέτη της λειτουργίας και του συστήματος ελέγχου της αντλίας θερμότητας. Έτσι, δημιουργήθηκε το κατάλληλο υπόστρωμα που έκανε εφικτή την πραγμάτωση του μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

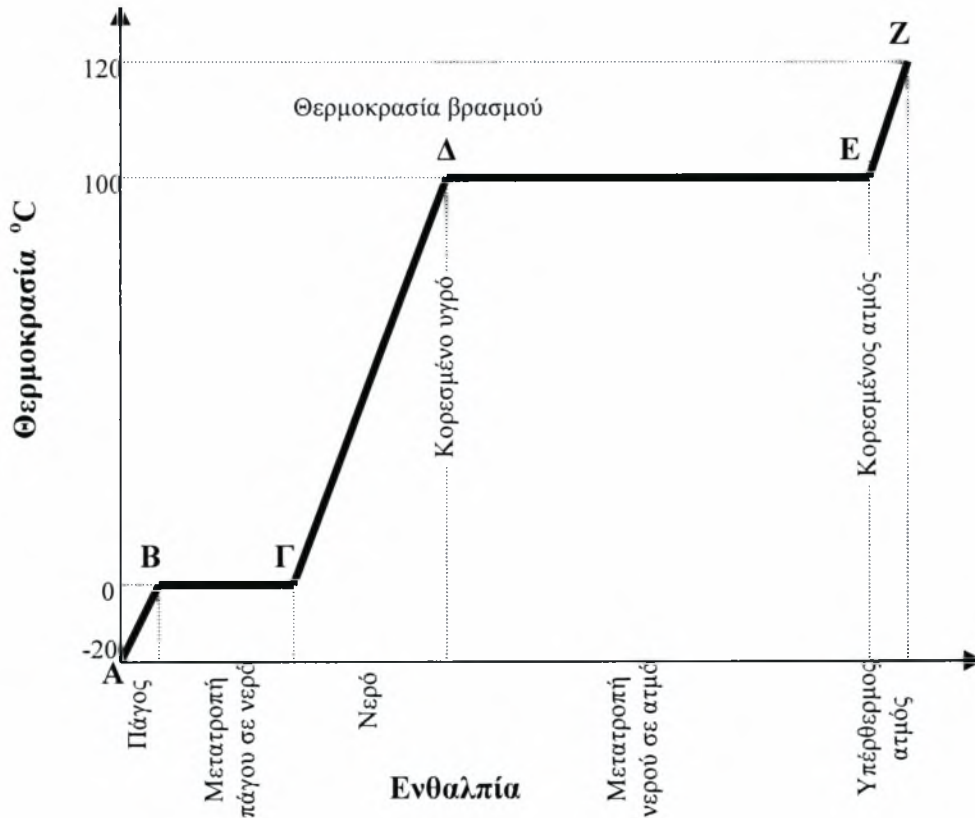
2.1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Λανθάνουσα θερμότητα τήξης μιας ουσίας ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την αλλαγή φάσης , από την στερεή στην υγρή, 1 kg της ουσίας, σε σταθερή θερμοκρασία.

Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης μιας ουσίας ονομάζεται το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να προκληθεί αλλαγή φάσης 1 kg της ουσίας από την κορεσμένη υγρή κατάσταση στην κατάσταση κορεσμένου ατμού. Η θερμότητα αυτή που απορροφά η ουσία, μπορεί να αφαιρεθεί από το περιβάλλον , που με αυτό τον τρόπο ψύχεται. Συνεπώς, όσο περισσότερο μειωμένη θερμοκρασία βρασμού και υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης έχει μια ουσία, τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας αποσπώνται από το περιβάλλον ή το ρευστό προς ψύξη. Στις συσκευές κλιματισμού λοιπόν, γίνεται χρήση αυτής ακριβώς της ιδιότητας που έχουν ορισμένες ενώσεις, που ονομάζονται *ψυκτικά ρευστά*.

Προκειμένου να γίνουν περισσότερο αντιληπτές οι έννοιες, παρατίθεται το επόμενο διάγραμμα της κατάστασης του νερού σε σχέση με τη θερμότητα που του προσδίδεται (σχήμα 2.1).

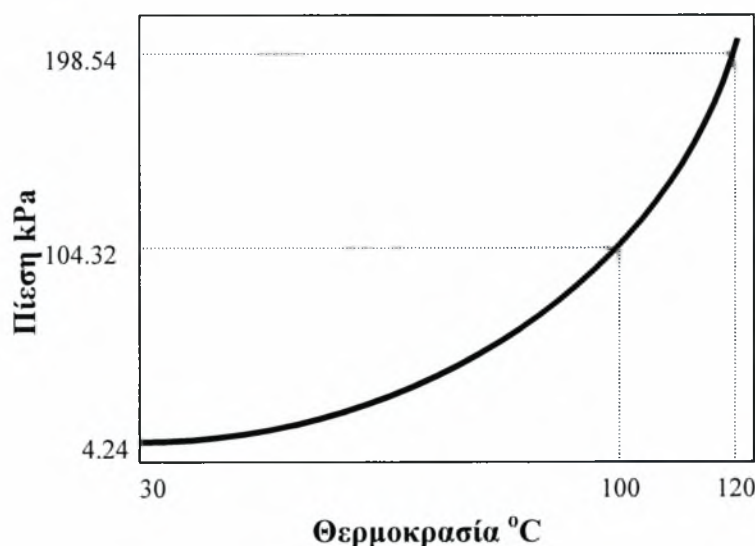


Σχήμα 2.1 : Αλλαγές της κατάστασης του νερού σε σχέση με τη θερμότητα που του χορηγείται.

Στο τμήμα **A-B** διακρίνεται μια γραμμική αύξηση της θερμοκρασίας του πάγου. Αντίθετα στο τμήμα **B-Γ** η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, αφού όλη η προσδιδόμενη θερμότητα αναλώνεται στη μετατροπή του πάγου σε νερό. Στο τμήμα **Γ-Δ** παρατηρείται επίσης γραμμική αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μέχρι τους 100 °C, δηλαδή τη *θερμοκρασία βρασμού* ή *κορεσμού* του. Ακολουθεί η μετατροπή του κορεσμένου υγρού σε κορεσμένο ατμό στο τμήμα **Δ-Ε**, σε σταθερή θερμοκρασία. Κάθε περαιτέρω ποσότητα θερμότητας που χορηγείται στον ατμό, προκαλεί μία υπερθέρμανση, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του, που διακρίνεται στο τμήμα **Ε-Ζ**.

Σχέση θερμοκρασίας – πίεσης.

Η θερμοκρασία βρασμού ενός ρευστού επηρεάζεται από την πίεση στην οποία αυτό βρίσκεται. Για το νερό, η καμπύλη που συσχετίζει τα δύο αυτά μεγέθη παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα. Στην περιοχή κάτω από την καμπύλη το νερό βρίσκεται σε κατάσταση υποψυγμένου υγρού, ενώ στην πάνω περιοχή βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμένου ατμού.

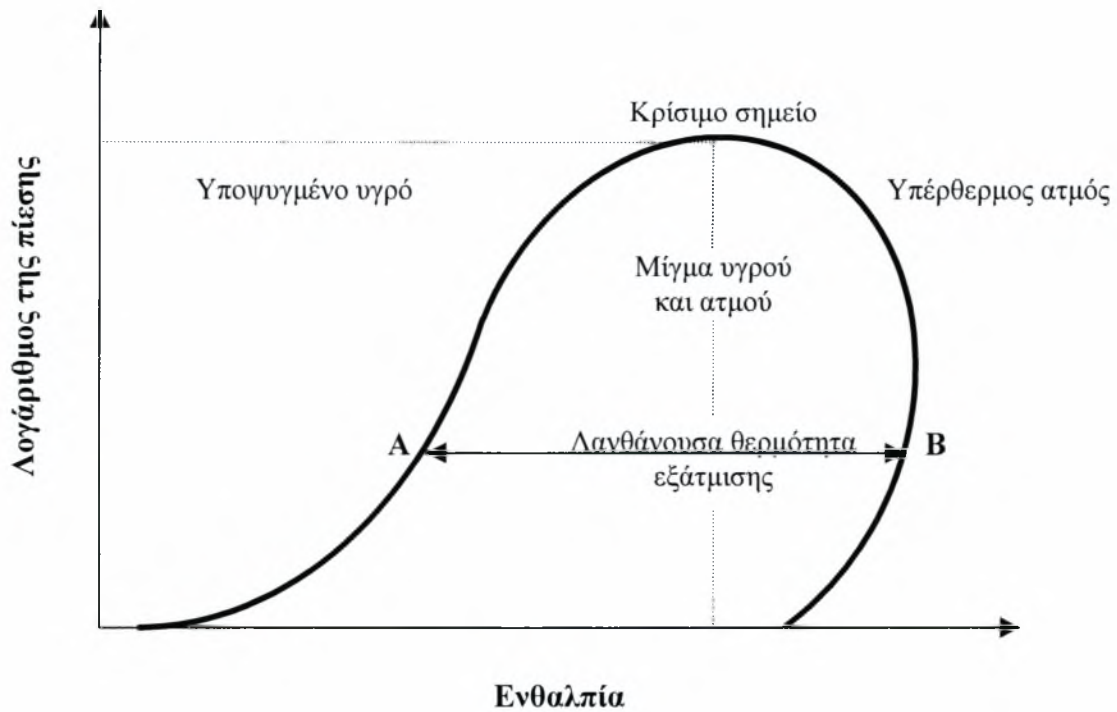


Σχήμα 2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας βρασμού του νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Το διάγραμμα αυτό επιτρέπει την άμεση συσχέτιση μίας θερμοκρασίας με συγκεκριμένη πίεση ή και αντίστροφα, πράγμα που βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην περίπτωση πολύπλοκων υπολογισμών.

Σχέση ενθαλπίας – πίεσης.

Ενθαλπία ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας που περιέχεται σε 1 kg μιας ουσίας σε ορισμένη θερμοκρασία. Η ενθαλπία είναι ανάλογη της θερμοκρασίας. Πολύ σημαντικό ρόλο για την εκτίμηση της κατάστασης και της ενθαλπίας του κορεσμένου υδρατμού, παίζει το διάγραμμα που ακολουθεί, το οποίο παριστάνει την ενθαλπία 1kg κορεσμένου ρευστού σε σχέση με την πίεση. Από την πίεση, εύκολα προσδιορίζεται και η θερμοκρασία.



Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας του νερού.

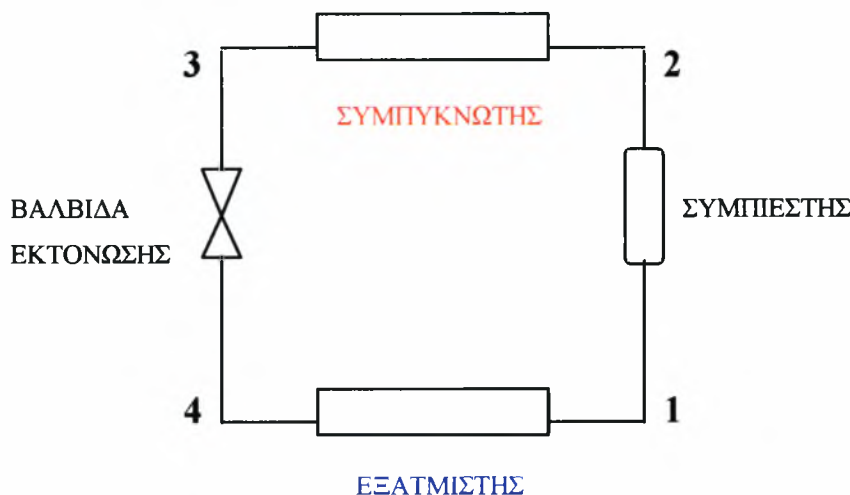
Η καμπύλη συμβατικά υποδιαιρείται σε δύο μέρη: αριστερά η *καμπύλη του κορεσμένου υγρού* και δεξιά η *καμπύλη του κορεσμένου ατμού*. Το σημείο τομής τους ονομάζεται *κρίσιμο σημείο*. Σε αυτό συνυπάρχει υγρό και ατμός. Συνεπώς, αρκεί μια απειροστή μεταβολή της ενθαλπίας για να περάσει το ρευστό σε κατάσταση υγρού ή ατμού. Αριστερά της καμπύλης το ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση *υποψυγμένου υγρού*, δηλαδή σε θερμοκρασία κατώτερη από εκείνη του βρασμού στην ίδια πίεση. Δεξιά της καμπύλης υπάρχει *υπέρθερμος ατμός*, δηλαδή ατμός υψηλότερης θερμοκρασίας από αυτήν του βρασμού, στην ίδια πίεση.

Το τμήμα **A-B**, που είναι κάθετο στον άξονα της πίεσης, δηλαδή αναφέρεται σε συγκεκριμένη πίεση (άρα και θερμοκρασία), αντιπροσωπεύει το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για τη μετατροπή 1kg κορεσμένου υγρού σε κορεσμένο ατμό. Πρόκειται ουσιαστικά για τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης. Αυτή η ποσότητα θερμότητας, αφαιρείται ή προσδίδεται στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη ψύξη ή τη θέρμανσή του.

2.2

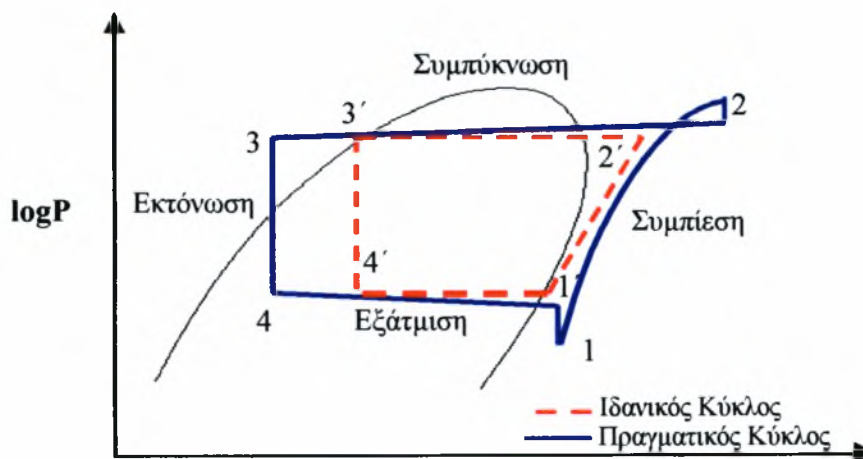
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Κάθε αντλία θερμότητας αποτελείται από τέσσερα βασικά τμήματα: τον εξατμιστή, το συμπιεστή, το συμπυκνωτή και τη βαλβίδα στραγγαλισμού (εκτόνωσης). Στον εξατμιστή το υγρό ψυκτικό ατμοποιείται με αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από το θερμότερο περιβάλλον. Ο συμπιεστής αναρροφά το ψυκτικό σε κατάσταση ατμού, το συμπιέζει αυξάνοντας την πίεση και τη θερμοκρασία του και το στέλνει προς το συμπυκνωτή. Εκεί το ψυκτικό αλλάζει φάση, προσδίδοντας τη θερμότητα που απορρόφησε στο ψυχρότερο περιβάλλον. Ο κύκλος ολοκληρώνεται με το πέρασμα του ψυκτικού, σε υγρή κατάσταση από το συμπυκνωτή στον εξατμιστή, που ρυθμίζεται από τη βαλβίδα εκτόνωσης. Μία σχηματική διάταξη τυπικής αντλίας θερμότητας αναπαριστάνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4 : Τυπική αντλία θερμότητας.

Τα θερμοδυναμικά φαινόμενα καθώς και η κατάσταση του ψυκτικού μέσου σε κάθε τμήμα δεικνύεται στο διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας του παρακάτω σχήματος (Κακας, 1991).



Σχήμα 2.5 : Διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας ταυτόχρονα με τον κύκλο συμπίεσης του ατμού.

Διακρίνεται τόσο ο ιδανικός όσο και ο πραγματικός κύκλος, ο οποίος αναφέρεται σε μη ιδανικά φαινόμενα, όπως η πτώση πίεσης στον εξατμιστή και το συμπυκνωτή. Αυτό που αρχικά παρατηρείται από το διάγραμμα είναι ότι ο συμπυκνωτής λειτουργεί σε υψηλές πιέσεις σε αντίθεση με τον εξατμιστή ο οποίος λειτουργεί σε χαμηλές πιέσεις. Αυτό είναι λογικό αφού η συμπύκνωση του υπέρθερμου ατμού υπό σταθερή θερμοκρασία απαιτεί υψηλή πίεση ενώ η εξάτμιση του μίγματος υγρού – αέριου σαφώς χαμηλότερη. Εξίσου εμφανές είναι το γεγονός της πτώσης πίεσης του ψυκτικού κατά την είσοδο και έξοδό του από συμπιεστή γεγονός που οφείλεται στις απώλειες της βαλβίδας αναρρόφησης και κατάθλιψης.

Ιδανικός κύκλος

Το ψυκτικό ρευστό εγκαταλείπει τον εξατμιστή σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού (1') και φτάνει στο συμπιεστή. Αφού το αναρροφήσει, ο συμπιεστής το συμπιέζει προσδίδοντάς του το μηχανικό έργο με τη μορφή θερμότητας συμπίεσης. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ρευστού που αντιστοιχεί στο τμήμα (1'-2'). Στη θέση (2') το ρευστό εισέρχεται στο συμπυκνωτή παραμένοντας σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού. Εκεί αρχίζει να διοχετεύεται στο περιβάλλον όλο το ποσό θερμότητας που περιέχεται στο ψυκτικό έως ότου εξέλθει στο σημείο (3'). Το φαινόμενο της συμπύκνωσης μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο φάσεις. Στην πρώτη, η θερμοκρασία του ψυκτικού μειώνεται μέχρι το σημείο κορεσμού, στην πίεση του συμπυκνωτή, ενώ στη δεύτερη επικρατεί αλλαγή φάσης του ψυκτικού, από κορεσμένο ατμό σε κορεσμένο υγρό. Τώρα το ψυκτικό είναι έτοιμο να περάσει από τη βαλβίδα εκτόνωσης. Εκεί ένα μέρος του εξατμίζεται, εξαιτίας της πτώσης πίεσης. Επειδή η μεταβολή πραγματοποιείται ακαριαία συμβολίζεται με το κάθετο στον άξονα της ενθαλπίας ευθύγραμμο τμήμα (3'-4') (καμία ανταλλαγή θερμότητας). Έτσι, το ψυκτικό φτάνει στον εξατμιστή σε κατάσταση μίγματος υγρού και ατμού (4'). Εκεί αφαιρεί θερμότητα από το θερμότερο περιβάλλον με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του και την εξάτμισή του.

Πραγματικός κύκλος

Ο ιδανικός κύκλος απέχει από τον πραγματικό, γιατί σε αυτόν δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι αναπόφευκτες απώλειες λόγω τριβής του ψυκτικού υγρού μέσα στο κύκλωμα, που προξενούν πτώση πίεσης. Για αυτό το λόγο τα τμήματα (2-3) και (4-1) δεν είναι τελείως κάθετα στον άξονα της πίεσης. Τα κάθετα στον άξονα της ενθαλπίας τμήματα, πριν και μετά τη συμπίεση, οφείλονται στις απώλειες των βαλβίδων αναρρόφησης και κατάθλιψης. Τα τμήματα αυτά είναι ισενθαλπικά γιατί, όπως και στη βαλβίδα εκτόνωσης, το πέρασμα του ψυκτικού από τις βαλβίδες γίνεται σε πολύ μικρό χρόνο και σε ελάχιστη επιφάνεια. Τέλος, παρατηρείται το γεγονός της

υπόψυξης του ψυκτικού κατά την έξοδό του από το συμπυκνωτή (3-4), που πραγματοποιείται για λόγους καλύτερης απόδοσης του κύκλου. Βάσει αυτού του κύκλου μπορούν να ορισθούν τα παρακάτω μεγέθη:

Ψυκτικό αποτέλεσμα είναι η θερμότητα που αντιστοιχεί στο τμήμα (4-1), δηλαδή στην θερμότητα που απορροφά το ψυκτικό από το περιβάλλον ψύχοντάς το.

$$\text{Ψυκτικό αποτέλεσμα} = H_1 - H_4$$

Θερμότητα συμπίεσης είναι το απαιτούμενο έργο για την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ψυκτικού, μέσα στο συμπιεστή.

$$\text{Θερμότητα συμπίεσης} = H_2 - H_1$$

Θερμότητα προς διάθεση είναι το άθροισμα της θερμότητας που απορροφά το ψυκτικό από το περιβάλλον και του προσδιδόμενου από το συμπιεστή έργο, δηλαδή το άθροισμα ψυκτικού αποτελέσματος και θερμότητας συμπίεσης.

$$\text{Θερμότητα προς διάθεση} = H_2 - H_4$$

Εκτίμηση της απόδοσης του ψυκτικού κύκλου.

Η αποτελεσματικότητα του ψυκτικού κύκλου ελέγχεται με τη βοήθεια του συντελεστή απόδοσης *COP*, που εκφράζεται με τη μορφή αδιάστατου αριθμού. Το *COP* ορίζεται διαφορετικά για την περίπτωση παραγωγής ψύχους ή θερμότητας. Έτσι:

- για παραγωγή ψύχους

$$\text{COP} = \text{Ψυκτικό αποτέλεσμα} / \text{Θερμότητα συμπίεσης}$$

- για παραγωγή θερμότητας

$$\text{COP} = (\text{Ψυκτικό αποτέλεσμα} + \text{Θερμότητα συμπίεσης}) / \text{Θερμότητα συμπίεσης}$$

Παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις, το εναλλασσόμενο με το περιβάλλον ποσό θερμότητας, διαιρείται με το προσδιδόμενο, στο ψυκτικό, έργο.

2.3

ΒΑΛΒΙΔΑ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ

Βαλβίδα στραγγαλισμού ονομάζεται κάθε είδους διάταξη που περιορίζει τη ροή, προκαλώντας σημαντική πτώση πίεσης στο ρευστό (*βαλβίδα εκτόνωσης*). Η πτώση πίεσης συνοδεύεται συχνά από μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας του ρευστού και για το λόγο αυτό γίνεται συχνή χρήση της σε εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού. Στην περίπτωση που εξετάζεται, η διάταξη αυτή είναι ένας τριχοειδής σωλήνας.

Χαρακτηριστικό στοιχείο των βαλβίδων αυτών είναι το γεγονός ότι προκαλούν πτώση πίεσης χωρίς να παράγουν έργο. Όντας συνήθως μικρές σε μέγεθος, η ροή μέσα από αυτές μπορεί να θεωρηθεί αδιαβατική, γιατί δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος ή αρκετά μεγάλη επιφάνεια ώστε να πραγματοποιηθεί μεταφορά θερμότητας με αξιοσημείωτους ρυθμούς. Συνεπώς, οι τιμές της ενθαλπίας του ρευστού στην είσοδο και την έξοδο μιας βαλβίδας στραγγαλισμού είναι ίσες. Για το λόγο αυτό η βαλβίδα στραγγαλισμού ονομάζεται και ισενθαλπική διάταξη.

Για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης Δp , κατά μήκος του τριχοειδούς αγγείου, χρησιμοποιείται η τροποποιημένη εξίσωση των *Darcy – Weisbach* :

$$\Delta p = f l \rho u^2 / 2 d$$

όπου ο f συντελεστής τριβής, l το μήκος και d η εσωτερική διάμετρος του τριχοειδούς αγγείου, ρ η πυκνότητα και u η ταχύτητα του ψυκτικού.

Αν θεωρηθεί ότι ο αριθμός *Reynolds* της ροής παραμένει σταθερός για τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας, τότε ο όρος $f l \rho / 2 d$ μπορεί να αντικατασταθεί από τον εμπειρικά προσδιοριζόμενο συντελεστή V_{neck} . Έτσι, η αρχική εξίσωση της πτώσης πίεσης μπορεί να τροποποιηθεί και αφού εκφραστεί συναρτήσει της μαζικής παροχής m , που είναι ανάλογη της ταχύτητας, να πάρει τη μορφή:

$$\sqrt{\Delta p} = V_{neck} m$$

Η τιμή του συντελεστή V_{neck} προσδιορίζεται με την εφαρμογή του προγράμματος και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με δεδομένα λειτουργίας της συσκευής σε συγκεκριμένες συνθήκες. Παρατηρείται ότι η μεταβολή του V_{neck} επηρεάζει ελάχιστα το Δp , πράγμα που δικαιολογεί την αρχική υπόθεση.

2.4

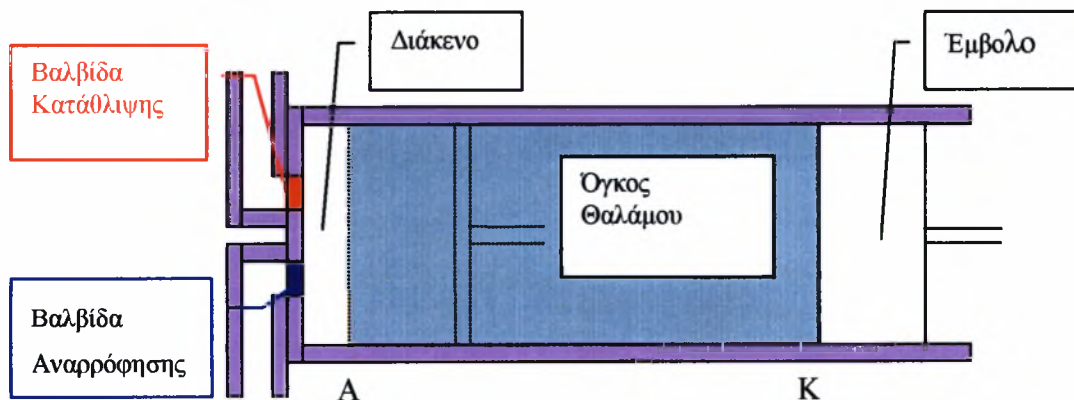
ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Ο συμπιεστής αποτελεί την καρδιά του ψυκτικού κυκλώματος γιατί ευθύνεται για την διατήρηση της κυκλοφορίας του ψυκτικού ρευστού. Πιο συγκεκριμένα, ο συμπιεστής παραλαμβάνει τον ψυκτικό ατμό σε χαμηλές τιμές πίεσης και θερμοκρασίας και τον μεταφέρει σε υψηλότερες. Σαν συνέπεια έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

- Στον εξατμιστή δημιουργείται μια πτώση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ψυκτικού, που του δίνει τη δυνατότητα να απορροφήσει θερμότητα από το περιβάλλον.
- Στο συμπυκνωτή δημιουργείται μια αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ψυκτικού, που του δίνει τη δυνατότητα να αποδώσει θερμότητα στο περιβάλλον.

Αυτή η διαφορά πίεσης ανάμεσα στην πλευρά της εισόδου (*αναρρόφηση*) και την πλευρά της εξόδου (*κατάθλιψη*) είναι η αιτία που διατηρεί την κυκλοφορία του ψυκτικού ρευστού.

Στην περίπτωση που εξετάζεται, χρησιμοποιείται ένας παλινδρομικός συμπιεστής ο οποίος αποτελείται από ένα έμβολο, που εκτελώντας μια παλινδρομική κίνηση στο εσωτερικό ενός κυλίνδρου, εξασφαλίζει την αναρρόφηση και συμπίεση του ψυκτικού ρευστού. Είναι σημαντικό, για λόγους ασφάλειας του συμπιεστή, το εισερχόμενο ψυκτικό ρευστό να βρίσκεται πλήρως σε αέρια φάση. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται μια υπερθέρμανση του ρευστού πριν την είσοδό του στο συμπιεστή. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένας παλινδρομικός συμπιεστής.



Σχήμα 2.6 : Τυπικός παλινδρομικός συμπιεστής.

Διακρίνονται η βαλβίδα αναρρόφησης, από την οποία το αέριο εισέρχεται στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της αναρρόφησης και η βαλβίδα κατάθλιψης από την οποία εξέρχεται το συμπιεσμένο πλέον αέριο. Παρατηρείται επίσης ότι το έμβολο μπορεί να κινηθεί μεταξύ των σημείων Α και Κ, - που ονομάζονται αντίστοιχα άνω και κάτω νεκρό σημείο - δημιουργώντας πάντοτε ένα κενό, που ονομάζεται διάκενο. Σε αυτό παραμένει πάντοτε μια ορισμένη ποσότητα του ψυκτικού, που το έμβολο δεν

καταφέρνει να ωθήσει προς τα έξω. Ο όγκος θαλάμου είναι αυτός που υπολογίζεται από το γινόμενο της διαμέτρου του θαλάμου επί την απόσταση ΑΚ.

Ο ωφέλιμος όγκος V , δηλαδή ο όγκος που αν πολλαπλασιαστεί με τη συχνότητα περιστροφής του εμβόλου και την πυκνότητα του ψυκτικού θα προκύψει η μαζική παροχή του ψυκτικού, σύμφωνα με τη σχέση

$$m = Vfp \quad \text{ή} \quad m = (Vf)/u$$

όπου u ο ειδικός όγκος του ψυκτικού, διαφέρει από τον όγκο του θαλάμου V_c , κατά ένα συντελεστή n_v που ονομάζεται ογκομετρική αποτελεσματικότητα. Ισχύει δηλαδή

$$V = n_v V_c$$

και αντίστοιχα

$$m = n_v V_c f p \quad \text{ή} \quad m = (n_v V_c f)/u$$

Η ογκομετρική αποτελεσματικότητα λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την ογκομετρική απώλεια λόγω της επανεκτόνωσης του παγιδευμένου μέσα στο διάκενο του συμπιεστή αερίου, αλλά και όλες τις άλλες απώλειες, συμπεριλαμβανομένης της διαρροής αερίου καθώς και της πτώσης πίεσης των βαλβίδων αναρρόφησης και κατάθλιψης, μέσω του εμπειρικά προσδιοριζόμενου συντελεστή C_v . Πιο συγκεκριμένα ισχύει

$$n_v = C_v \{ 1 + r [1 - (p_1/p_2)^{1/n}] \}$$

όπου C_v ο ογκομετρικός συντελεστής της συμπίεσης, r ο λόγος του «νεκρού» όγκου προς τον όγκο του θαλάμου του συμπιεστή, p_1/p_2 ο λόγος της πίεσης αναρρόφησης προς την πίεση κατάθλιψης και n ο πολυτροπικός δείκτης της συμπίεσης (Herbas et al., 1993).

2.5

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Πρόκειται ουσιαστικά για το συμπυκνωτή και τον εξατμιστή στους οποίους πραγματοποιείται η μετάδοση θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού μέσου και του περιβάλλοντος. Πρέπει να τονιστεί, ότι το ρόλο του συμπυκνωτή και του εξατμιστή τον εναλλάσσουν τόσο η εσωτερική όσο και η εξωτερική μονάδα του κλιματιστικού. Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας της συσκευής, μια βαλβίδα τεσσάρων διευθύνσεων, ρυθμίζει την πορεία του ψυκτικού. Έτσι, για συνθήκες θέρμανσης η συμπύκνωση (υψηλή θερμοκρασία ψυκτικού) πραγματοποιείται στο χώρο που πρόκειται να θερμανθεί, δηλαδή στην εσωτερική μονάδα. Αντίθετα, για συνθήκες ψύξης, στην εσωτερική μονάδα λαμβάνει χώρα η εξάτμιση (χαμηλή θερμοκρασία ψυκτικού). Η θερμορροή η οποία μεταφέρεται από το ένα μέσο στο άλλο υπολογίζεται με τη βασική εξίσωση

$$Q = U A \Delta T_{ln}$$

όπου U ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη, A η επιφάνεια εναλλαγής του και ΔT_{ln} η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται όταν είναι γνωστές όλες οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των εναλλασσόμενων ρευμάτων.

Όταν υπάρχει κάποια άγνωστη θερμοκρασία, η προηγούμενη εξίσωση δεν ενδείκνυται, αφού προκειμένου να καταλήξει σε αποτέλεσμα απαιτείται διαδικασία δοκιμής και σφάλματος. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά η έννοια της αποτελεσματικότητας ε του εναλλάκτη, που ορίζεται ως ο λόγος της απόλυτης τιμής της διαφοράς θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του ρευστού με την ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή $(mc_p)_{min}$, προς τη μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας των ρευστών. Η αποτελεσματικότητα εκφράζεται συναρτήσει του αριθμού μονάδων μεταφοράς N , όπου

$$N = (U A) / (mc_p)_{min}$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η εξίσωση της θερμορροής έχει την εξής μορφή

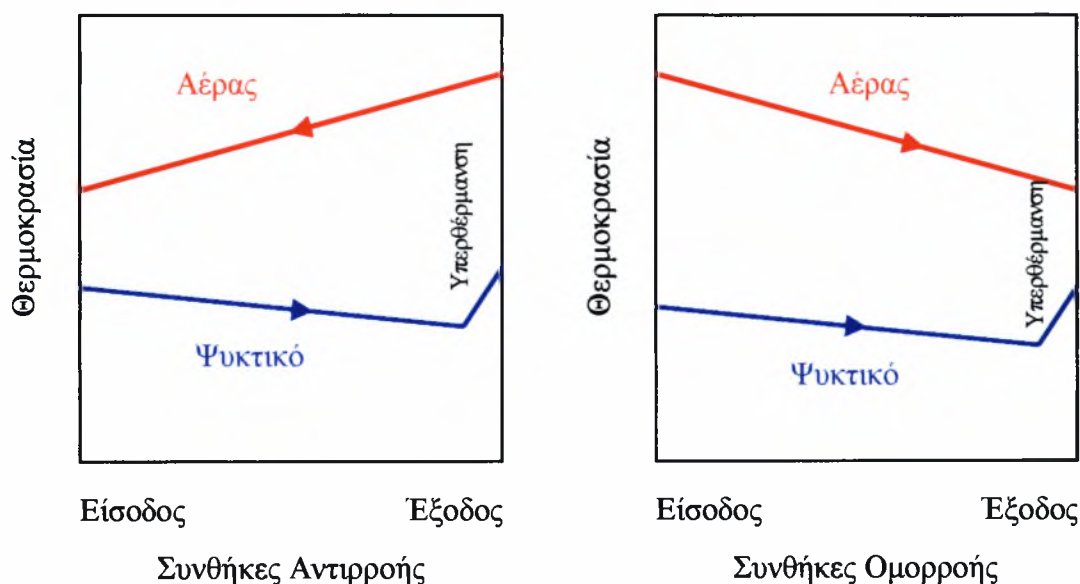
$$Q = m c_p \varepsilon \Delta T$$

$$\text{με } \varepsilon_{cd} = 1 - \exp [- (U A) / (m c_p)]$$

όπου m και c_p η μαζική παροχή και η ειδική θερμότητα του ρευστού αντίστοιχα και ΔT η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά των δύο ρευμάτων.

Τυπική Συμπεριφορά Εξατμιστή

Το ψυκτικό που ρέει στο εσωτερικό ενός εξατμιστή απορροφά θερμότητα καθώς ψύχει ένα ρευστό (συνήθως νερό ή αέρα) . Αυτό ακριβώς το φαινόμενο αποτελεί το λόγο ύπαρξης του συστήματος ψύξης στις περισσότερες εφαρμογές. Λεπτομέρειες για τη συμπεριφορά του εξατμιστή μπορούν να ληφθούν αναλύοντας προφίλ θερμοκρασίας συναρτήσει της απόστασης από την είσοδο και έξοδο του εξατμιστή, τόσο στην περίπτωση της ομορροής όσο και της αντιρροής (Κακας, 1991).

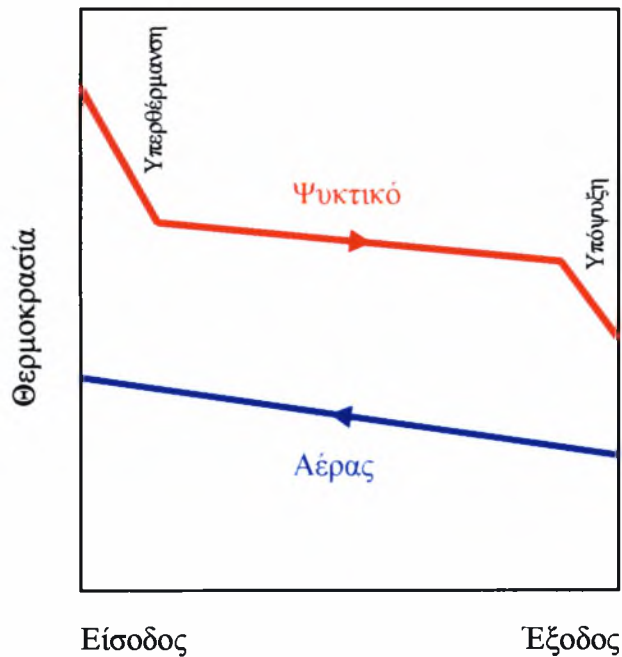


Σχήμα 2.7 : Συνθησιμένα θερμοκρασιακά προφίλ για έναν εξατμιστή.

Το ψυκτικό που εισέρχεται στον εξατμιστή βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού, συνήθως με ποιότητα περίπου 10%. Η υγρή φάση του ψυκτικού αρχίζει να εξατμίζεται, καθώς διασχίζει τον εξατμιστή, αυξάνοντας κατά αυτό τον τρόπο την ποιότητα του μίγματος. Σε μερικούς τύπους εξατμιστών το ψυκτικό εξέρχεται αυτών ως κορεσμένος ατμός με ποιότητα 100%. Σε άλλους τύπους, όπως στην περίπτωση που εξετάζεται, το ψυκτικό υπερθερμαίνεται πριν εξέλθει. Η υπερθέρμανση, που διακρίνεται ως η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας κοντά στην έξοδο, αποτρέπει τη εισροή υγρού ψυκτικού στο συμπιεστή, διασφαλίζοντας την ασφαλή του λειτουργία καθώς και το μέγιστο ψυκτικό αποτέλεσμα.

Τυπική Συμπεριφορά Συμπυκνωτή

Ο ρόλος του συμπυκνωτή είναι η αποβολή τόσο της θερμότητας που απορροφήθηκε από τον εξατμιστή, όσο και του έργου που προσέδωσε ο συμπιεστής στο περιβάλλον. Για να είναι εφικτή αυτή η αποβολή θερμότητας, θα πρέπει η θερμοκρασία του ψυκτικού στον συμπυκνωτή να είναι μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Όπως και στον εξατμιστή, η χρήση διαγράμματος θερμοκρασίας – απόστασης βοηθά στην αναπαράσταση της συμπεριφοράς ενός τυπικού συμπυκνωτή (Κακας, 1991).



Σχήμα 2.8 : Συνηθισμένο θερμοκρασιακό προφίλ για ένα συμπυκνωτή.

Το ψυκτικό εισέρχεται στο συμπυκνωτή σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού, δηλαδή στις ίδιες περίπου συνθήκες με τις οποίες εξέρχεται του συμπιεστή. Αυτό βέβαια εξαρτάται από την απόδοση της μετάδοσης θερμότητας και την πτώση πίεσης στις σωληνώσεις που συνδέουν τις δύο εξαρτήματα. Σε μικρή απόσταση από την είσοδο, το ψυκτικό ψύχεται ως το σημείο κορεσμού. Τότε αρχίζει η συμπύκνωση, η οποία διεξάγεται στο μεγαλύτερο μέρος του συμπυκνωτή, με αποτέλεσμα την πτώση της ποιότητας από 100% σε 0%. Η πτώση της θερμοκρασίας σε αυτή τη διαφασική περιοχή είναι συνέπεια της πτώσης πίεσης του ψυκτικού. Πέραν του σημείου της πλήρους συμπύκνωσης του ατμού, το ψυκτικό υποψύχεται έως ότου εξέλθει του συμπυκνωτή και εισέλθει στη βαλβίδα εκτόνωσης. Ο αέρας καθώς απορροφά ενέργεια, αυξάνει τη θερμοκρασία του όπως διακρίνεται από το παραπάνω διάγραμμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

3.1

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το μοντέλο προσομοίωσης αντλίας θερμότητας, που λειτουργεί υπό σταθερές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι για συγκεκριμένη θερμοκρασία εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, το μοντέλο προβλέπει τη συμπεριφορά της αντλίας. Για κάθε τμήμα της, εφαρμόστηκαν απλές μαθηματικές σχέσεις που οδήγησαν στη δημιουργία ενός συστήματος μη γραμμικών εξισώσεων, το οποίο επιλύεται αριθμητικά. Η προσομοίωση βασίστηκε στο μοντέλο των Herbas et al.,(1993).

ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Αρχικά εκτιμείται η θερμοκρασία ισορροπίας του ψυκτικού στον εξατμιστή και το συμπυκνωτή, ώστε με τη χρήση της υπορουτίνας *fluids** να υπολογιστούν οι αντίστοιχες πιέσεις ισορροπίας. Στην ουσία προκύπτουν οι πίεση αναρρόφησης p_1 και κατάθλιψης p_2 του συμπιεστή. Έτσι, αν θεωρήσουμε ότι πραγματοποιείται πολυτροπική συμπίεση με σταθερό δείκτη n , η σχέση που συνδέει τον ειδικό όγκο του ψυκτικού στην είσοδο u_1 και την έξοδο u_2 του συμπιεστή είναι

$$u_2 = u_1 (p_1 / p_2)^{1/n} \quad (1)$$

Για τον υπολογισμό του u_1 χρησιμοποιείται πάλι η υπορουτίνα, θεωρώντας αυτή τη φορά γνωστή την πίεση ισορροπίας και τη θερμοκρασία, στην είσοδο του συμπιεστή, ίση με το άθροισμα της θερμοκρασίας ισορροπίας στον εξατμιστή και της υπερθέρμανσης που πραγματοποιείται για λόγους ασφάλειας του συμπιεστή. Η υπερθέρμανση αυτή είναι γνωστή και ίση με 5°C . Έτσι, υπολογίζονται οι ιδιότητες του ψυκτικού στην έξοδο του συμπιεστή, γεγονός που επιτρέπει τον υπολογισμό της παροχής του σύμφωνα με τη σχέση

$$m_f = (V_c f n_v) / u_1 \quad (2)$$

* Η υπορουτίνα αυτή υπολογίζει τις φυσικές ιδιότητες του ψυκτικού και αναλύεται στο κεφάλαιο 3.5 .

όπου

- V_c : ο όγκος θαλάμου του συμπιεστή
- f : η συχνότητα του συμπιεστή
- n_v : η ογκομετρική αποτελεσματικότητα η οποία δίνεται από τη σχέση

$$n_v = C_v \{ 1 + r [1 - (p_1 / p_2)^{1/n}] \} \quad (3)$$

όπου

- C_v : ο ογκομετρικός συντελεστής της συμπίεσης
- r : ο λόγος του «νεκρού» όγκου προς τον όγκο του θαλάμου του συμπιεστή

Η ογκομετρική αποτελεσματικότητα λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την ογκομετρική απώλεια, λόγω της επανεκτόνωσης του παγιδευμένου μέσα στο διάκενο του συμπιεστή αερίου, αλλά και όλες τις άλλες απώλειες, συμπεριλαμβανομένης της διαρροής αερίου καθώς και της πτώσης πίεσης των βαλβίδων αναρρόφησης και κατάθλιψης, μέσω του εμπειρικά προσδιοριζόμενου συντελεστή C_v .

ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ

Ο συμπυκνωτής θεωρείται ότι έχει σταθερό συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας U_{cd} , βασισμένο στη μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά. Έτσι, γνωρίζοντας την επιφάνειά του, όπως και τα χαρακτηριστικά του εισερχόμενου σε αυτόν αέρα, δηλαδή τη θερμοκρασία εισόδου σε αυτόν, την παροχή του και την ειδική του θερμότητα, μπορεί να υπολογιστεί η εξίσωση μετάδοσης θερμότητας μεταξύ ψυκτικού και αέρα με τη μέθοδο της αποτελεσματικότητας. Θα είναι

$$Q_{cd} = m_c C_{Pc} \epsilon_{cd} (T_2 - T_{ci}) \quad (4)$$

$$\text{με } \epsilon_{cd} = 1 - \exp [- (U_{cd} A) / (m_c c_{pc})] \quad (5)$$

όπου

- Q_{cd} : η θερμορροή στο συμπυκνωτή
- m_c : η παροχή του αέρα
- C_{Pc} : η ειδική θερμότητα του αέρα η οποία θεωρείται σταθερή αφού η μεταβολή της θερμοκρασίας έχει ελάχιστη επίδραση στο συνολικό αποτέλεσμα
- ϵ_{cd} : η αποτελεσματικότητα
- T_2 : η θερμοκρασία ισορροπίας του ψυκτικού στο συμπυκνωτή
- T_{ci} : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του συμπυκνωτή
- A : το εμβαδόν της επιφάνειας του συμπυκνωτή

Το Q_{cd} είναι μια αρχική προσέγγιση της πραγματικής θερμορροής. Στην πραγματικότητα, επειδή το ψυκτικό αρχικά βρίσκεται σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού ο οποίος μετατρέπεται τελικά σε κορεσμένο υγρό, ο συμπυκνωτής χωρίζεται σε δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα υπάρχει υπέρθερμος ατμός ενώ στο δεύτερο μίγμα υγρού – ατμού.

Από το αρχικό Q_{cd} προκύπτει μια προσέγγιση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από το συμπυκνωτή με τη βοήθεια της εξίσωσης που καθορίζει τη θερμότητα που προσδίδεται στον αέρα, , βάσει της θερμοκρασίας εισόδου T_{ci} και εξόδου T_{co} του αέρα και έχει τη μορφή

$$Q_{cd} = m_c C_{Pc} (T_{co} - T_{ci}) \Rightarrow \quad (6)$$

$$T_{co} = T_{ci} + Q_{cd} / (m_c C_{Pc}) \quad (7)$$

Για τη θερμότητα που αποβάλλει το ψυκτικό Q_{cd1} ,θα ισχύει

$$Q_{cd1} = m_f (h_2 - h_3) \quad (8)$$

όπου

- m_f : η γνωστή παροχή του ψυκτικού
- h_2 : η ενθαλπία του ψυκτικού στη θερμοκρασία εισόδου του στο συμπυκνωτή
- h_3 : η ενθαλπία του ψυκτικού στη θερμοκρασία ισορροπίας στο συμπυκνωτή

Αν T_{cm} η θερμοκρασία για την οποία παύει να υφίσταται υπέρθερμος ατμός, προκειμένου να υπολογίσουμε τις επιφάνειες των δύο τμημάτων, ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Αρχικά υπολογίζουμε την T_{cm} μέσω της σχέσης (6). Θα είναι δηλαδή

$$T_{cm} = T_{co} + Q_{cd1} / (m_c C_{Pc}) \quad (9)$$

Το Q_{cd1} είναι ίσο με τη θερμορροή του συμπυκνωτή που προκύπτει από τη σχέση

$$Q_{cd1} = A_1 U_{cd} \Delta T_{ln} \quad (10)$$

όπου

- A_1 : το εμβαδόν της επιφάνειας στην οποία πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας μεταξύ υπέρθερμου ψυκτικού και αέρα
- ΔT_{ln} : η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά

$$\Delta T_{ln} = [(T_{f1} - T_{co}) - (T_2 - T_{cm})] / \ln [(T_{f1} - T_{co}) / (T_2 - T_{cm})]$$

όπου T_{f1} η θερμοκρασία του ψυκτικού στην είσοδο του συμπυκνωτή

Αφαιρώντας το A_1 από τη συνολική επιφάνεια A προκύπτει το εμβαδόν της επιφάνειας στην οποία πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας μεταξύ μίγματος υγρού και αέριου ψυκτικού και αέρα, A_2 . Υπολογίζεται τώρα η υπόλοιπη θερμορροή του συμπυκνωτή βάσει των σχέσεων (4) και (5) για την επιφάνεια A_2 . Η θερμορροή αυτή προστίθεται στο Q_{cd1} για να καταλήξουμε στην νέα βελτιωμένη προσέγγιση της συνολικής θερμορροής στο συμπυκνωτή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου η διαφορά δύο διαδοχικών προσεγγίσεων της θερμοκρασίας εξόδου T_{co} ελαχιστοποιηθεί στους 0.01°C .

Η μοντελοποίηση του συμπυκνωτή μπορεί να βελτιωθεί, αν χρησιμοποιηθεί το μοντέλο που πρότειναν οι Martins Costa και Parise, (1993). Στο άρθρο τους αυτό, παρουσιάζουν ένα μοντέλο στο οποίο ο συμπυκνωτής υποδιαιρείται σε τρία τμήματα (υπέρθερμου ατμού, διφασικού μίγματος και υποψυγμένου υγρού), στα οποία επικρατούν διαφορετικές συνθήκες μετάδοσης θερμότητας.

ΒΑΛΒΙΔΑ ΕΚΤΩΝΩΣΗΣ

Στην ουσία πρόκειται για ένα τριχοειδές αγγείο που εξασφαλίζει σταθερή πτώση πίεσης στο ψυκτικό. Επειδή η μεταβολή αυτή γίνεται πολύ γρήγορα, χωρίς να αποδίδεται ή απορροφάται θερμότητα, θεωρείται ισοενθαλπική. Η πτώση πίεσης συνδέεται με την παροχή σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση

$$(\rho_2 - \rho_1)^{1/2} = V_{\text{neck}} m_f \quad (11)$$

όπου

- ρ_2 : η πίεση ισορροπίας στο συμπυκνωτή
- ρ_1 : η πίεση ισορροπίας στον εξατμιστή
- V_{neck} : ένας εμπειρικός συντελεστής που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τριχοειδούς αγγείου

Επιπλέον πληροφορίες για την μοντελοποίηση της βαλβίδας εκτόνωσης μπορούν να εξαχθούν από το άρθρο των Malo et al.(1992).

ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΣ

Ο εξατμιστής θεωρείται ότι έχει και αυτός σταθερό ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας U_{ev} . Έτσι, γνωρίζοντας την επιφάνειά του A' καθώς και την παροχή του αέρα, μπορούν να εφαρμοστούν οι αντίστοιχες σχέσεις της αποτελεσματικότητας

$$Q_{ev} = m_{ev} C_{Pe} \varepsilon_{ev} (T_{ei} - T_1) \quad (12)$$

$$\text{με } \varepsilon_{ev} = 1 - \exp [- (U_{ev} A') / (m_{ev} C_{Pe})] \quad (13)$$

όπου

- Q_{cd} : η θερμορροή στον εξατμιστή
- m_{ev} : η παροχή του αέρα
- C_{Pev} : η ειδική θερμότητα του αέρα η οποία θεωρείται σταθερή αφού η μεταβολή της θερμοκρασίας έχει ελάχιστη επίδραση στο συνολικό αποτέλεσμα
- ε_{ev} : η αποτελεσματικότητα
- T_{ei} : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του εξατμιστή
- T_1 : η θερμοκρασία ισορροπίας του ψυκτικού στον εξατμιστή
- A' : το εμβαδόν της επιφάνειας του εξατμιστή

Αυτό που προκύπτει από τις σχέσεις (4) και (12) είναι η νέα εκτίμηση της θερμοκρασίας ισορροπίας στο συμπυκνωτή και εξατμιστή αντίστοιχα, οπότε «κλείνει» ο κύκλος του ψυκτικού.

Σκοπός του προγράμματος που χρησιμοποιείται, είναι ο προσδιορισμός, μέσω επαναλήψεων, των θερμοκρασιών T_1 και T_2 , για τις οποίες ικανοποιείται αφενός το ισοζύγιο ενέργειας:

$$Q_{ev} = (h_o - h_i) m_f \quad (14)$$

όπου

- Q_{ev} : η θερμορροή στον εξατμιστή που δίνεται από τη σχέση (12)
- h_o : η ενθαλπία του ψυκτικού στην είσοδο του εξατμιστή
- h_i : η ενθαλπία του ψυκτικού στην έξοδο του εξατμιστή

και αφετέρου η σχέση (11) που αναφέρεται στη βαλβίδα εκτόνωσης. Οι ενθαλπίες h_o και h_i υπολογίζονται με τη βοήθεια της υπορουτίνας *fluids*. Στην ουσία, το πρόγραμμα επιλύει ένα σύστημα δύο εξισώσεων (11 και 14) με δύο αγνώστους (T_1 και T_2). Η επίλυση γίνεται με τη χρήση της μεθόδου Newton – Raphson για σύστημα 2 x 2.

3.2

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Οι επόμενες μεταβλητές απαρτίζουν το σύνολο των δεδομένων εισόδου που απαιτεί το μοντέλο:

- **nref** : ο τύπος του χρησιμοποιούμενου ψυκτικού
- V_{neck} : ο εμπειρικός συντελεστής που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τριχοειδούς αγγείου
- V_c : ο όγκος θαλάμου του συμπιεστή
- f : η συχνότητα του συμπιεστή
- n : ο δείκτης της πολυτροπικής συμπίεσης
- C_v : ο ογκομετρικός συντελεστής της συμπίεσης
- r : ο λόγος του «νεκρού» όγκου προς τον όγκο του θαλάμου του συμπιεστή
- m_c : η παροχή του αέρα στο συμπυκνωτή
- C_{pc} : η ειδική θερμότητα του αέρα στο συμπυκνωτή
- T_{ei} : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του συμπυκνωτή
- A : το εμβαδόν της επιφάνειας του συμπυκνωτή
- U_{cd} : ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του συμπυκνωτή
- m_{ev} : η παροχή του αέρα στον εξατμιστή
- C_{pev} : η ειδική θερμότητα του αέρα στον εξατμιστή
- T_{ei} : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του εξατμιστή
- A' : το εμβαδόν της επιφάνειας του εξατμιστή
- U_{ev} : ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εξατμιστή
- **dtsh** : η υπερθέρμανση στην έξοδο του εξατμιστή

Οι πληροφορίες για τις παραπάνω μεταβλητές προέρχονται κυρίως από το εγχειρίδιο λειτουργίας της κλιματιστικής μονάδας, εκτός από το *nref*, που είναι επιλογή στην υπορουτίνα *fluids*, το V_{neck} , που εκτιμάται εμπειρικά και το *dtsh*, που υπολογίζεται με τη βοήθεια θερμοστοιχείων πάνω στη μονάδα. Η ειδική θερμότητα του αέρα στο συμπυκνωτή και τον εξατμιστή θεωρείται ίδια και ίση με 1 kJ/kgK. Η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του συμπυκνωτή για συνθήκες θέρμανσης είναι ίση με 22 °C (θερμοκρασία δωματίου για τη χειμερινή περίοδο), ενώ για συνθήκες ψύξης κυμαίνεται από 29 ως 40 °C. Αντίστοιχα η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του εξατμιστή για συνθήκες ψύξης είναι 27 °C (θερμοκρασία δωματίου για τη καλοκαιρινή περίοδο), ενώ για συνθήκες θέρμανσης κυμαίνεται από -2 ως 10 °C.

3.3

ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ

Το πρόγραμμα που είναι γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού *Fortran*, έχει την εξής μορφή:

```

c
c   Program HEAT4.f calculates performance of a heat pump
c   DTSH, evaporator superheat, is treated as input (2 eqs)
c   System 2x2 solved manually
c
c   VARIABLES
c   -----
c   tc1      : fluid temperature at condenser inlet
c   tc2      : fluid temperature at condenser outlet
c   dtsc     : subcooling at condenser outlet
c   tc_eq    : equilibrium temperature at condenser pressure
c   pc_eq    : condenser pressure
c
c   tev1     : fluid temperature at evaporator inlet
c   tev2     : fluid temperature at evaporator outlet
c   dtsh     : superheating at evaporator exit
c   tev_eq   : equilibrium temperature at evaporator pressure
c   pev_eq   : evaporator pressure
c
c   vneck    : coefficient of expansion valve
c
c   pol      : index of polytropic compression
c   svol     : compressor swept volume
c   rvol     : compressor clearance volume ratio
c   ccomp    : compression volumetric coefficient
c   freq     : rotational speed, rad/s
c   xmf      : mass flow rate of refrigerant, kg/s
c
c   tca1     : inlet air temperature to condenser
c   tca2     : outlet air temperature from condenser
c   xmc      : air mass flow rate in condenser
c   cpc      : specific heat of air in condenser
c   areac    : surface area of condenser
c   coefc    : overall heat transfer coefficient of condenser
c
c   teva1    : inlet air temperature to evaporator
c   teva2    : outlet air temperature from evaporator
c   xmev     : air mass flow rate in evaporator
c   cpev     : specific heat of air in evaporator
c   areaev   : surface area of evaporator
c   coefev   : overall heat transfer coefficient of evaporator
c
c   Implicit Real (a-h,o-z)
c
c   Dimension xe(2),dxe(2),ye(2),ye1(2),aj(2,2)
c-----
c   Common blocks
c-----
c   common/cond/tc_eq,pc_eq,hc1,hc2,tc1,tc2,sc1,
+       coefc1,coefc2,areac,xmc,cpc,tca1,tca2
c   common/evap/tev_eq,pev_eq,hev1,hev2,tev1,tev2,sev2,
+       coefev,areaev,xmev,cpev,teva1,teva2
c   common/pres/svol,rvol,ccomp,freq,xmf,pol,
+       nref,dtsh,vneck,qcond,qevap

```

C-----

c Read from data file

C-----

open (11,file='heat2.dat')

Άνοιγμα του αρχείου με τα δεδομένα

```

read (11,*) nref
read (11,*) pol
read (11,*) svol
read (11,*) rvol
read (11,*) ccomp
read (11,*) freq
read (11,*) dtsh
read (11,*) vneck
read (11,*) tca1
read (11,*) xmc
read (11,*) cpc
read (11,*) areac
read (11,*) coefc1
read (11,*) coefc2
read (11,*) teva1
read (11,*) xmev
read (11,*) cpev
read (11,*) areaev
read (11,*) coefev

```

close (11)

C-----

c Input of initial guess

C-----

```

xe(1)=60.
xe(2)=5.

```

Αρχική εκτίμηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης και εξάτμισης, στις αντίστοιχες πιέσεις ισορροπίας του συμπυκνωτή και του εξατμιστή.

C=====

c Newton iteration

C=====

do iter=1,100

Έναρξη των επαναλήψεων της μεθόδου Newton. Η σύγκλιση επέρχεται συνήθως μετά από 4 ή 5 επαναλήψεις.

C-----

c Check of convergence

C-----

```

test=0.
call equation(xe,ye)
do icheck=1,2
  test1=abs(ye(icheck))
  if(test1.gt.test) test=test1
enddo

```

Έλεγχος σύγκλισης. Απόκλιση των τιμών κατά 0.0001

```

c write(6,*) iter,test
if(test.le.0.0001) goto99

```

C-----

c Jacobian matrix

C-----

```

dxmin=0.001
do j=1,2
  xe(j)=xe(j)+dxmin
  call equation(xe,ye1)
  do i=1,2
    aj(i,j)=(ye1(i)-ye(i))/dxmin
  enddo

```



```

xe(jj)=xe(j)-dxmin
enddo

C-----
c New iteration
C-----
det=aj(1,1)*aj(2,2)-aj(1,2)*aj(2,1)

dxe(1)=(ye(1)*aj(2,2)-ye(2)*aj(1,2))/det
dxe(2)=(ye(2)*aj(1,1)-ye(1)*aj(2,1))/det

do jj=1,2
xe(jj)=xe(jj)-dxe(jj)
enddo

C-----
c Conclusion of Newton iteration
C-----
enddo
write(6,*) 'Newton iteration didnot converge'

99 write(6,*) 'Solution reached after',iter,'iterations'

call final(ecompr,cop)

stop
end

C=====
c Subroutine equation
C=====
subroutine equation(xe,ye)

Implicit Real (a-h,o-z)

dimension xe(2),ye(2)

C-----
c Common blocks
C-----
common/cond/tc_eq,pc_eq,hc1,hc2,tc1,tc2,sc1,
+ coefc1,coefc2,areac,xmc,cpc,tca1,tca2
common/evap/tev_eq,pev_eq,hev1,hev2,tev1,tev2,sev2,
+ coefev,areaev,xmev,cpev,teva1,teva2
common/pres/svol,rvol,ccomp,freq,xmf,pol,
+ nref,dtsh,vneck,qcond,qevap

C-----
c Constants
C-----
pi=3.141592654
xpol=1./pol

tc_eq=xe(1)
tev_eq=xe(2)

```

Κατάληξη των επαναλήψεων:

Μήνυμα μη σύγκλισης.

Μήνυμα σύγκλισης.

```

c Computation of equilibrium pressures          Υπολογισμός των πιέσεων ισορροπίας
C-----
  call fluids('SI',tc_eq,pc_eq,hc_veq,sc_veq,1.,
+          vc_veq,u,mu,mk,nref,15)           ! evaluation of pc_eq,pev_eq
  call fluids('SI',tev_eq,pev_eq,hev_veq,sev_veq,1.,
+          vev_veq,u,mu,mk,nref,15)         ! properties at due point

C-----
c Properties at compressor inlet              Υπολογισμός των ιδιοτήτων του ψυκτικού
C-----
                                           στην είσοδο του συμπιεστή.

  tev2=tev_eq+dtsh                          Η θερμοκρασία εισόδου στο συμπιεστή είναι
                                           ίση με το άθροισμα θερμοκρασίας ισορροπίας
                                           συν την υπερθέρμανση.

  call fluids('SI',tev2,pev_eq,hev2,sev2,xev2,
+          vvev2,u,mu,mk,nref,12)

C-----
c Compressor outlet specific volume          Υπολογισμός του ειδικού όγκου στην έξοδο
C-----
                                           του συμπιεστή.

  vvc1=vvev2*(pev_eq/pc_eq)**xpol           (σχέση 1)

C-----
c Properties at compressor outlet
C-----
  call fluids('SI',tc1,pc_eq,hc1,sc1,xc1,
+          vvc1,u,mu,mk,nref,26)

C-----
c Refrigerant mass flow rate                Υπολογισμός της μαζικής παροχής
C-----
                                           του ψυκτικού.

  zz=1.+rvol*(1.-(pc_eq/pev_eq)**xpol)     (σχέση 3)
  xmf=ccomp*svol*freq*zz/vvev2           (σχέση 2)

C-----
c Computation of evaporator                Υπολογισμός της θερμορροής στον εξατμιστή.
C-----
  yy=coefev*areaev/xmev/cpev             (σχέση 13)
  effev=1.-exp(-yy)
  qevap=xmev*cpev*effev*(teva1-tev_eq)   (σχέση 12)

C-----
c Computation of condenser                Αρχική εκτίμηση της θερμορροής
C-----
                                           στο συμπυκνωτή.

  xx=coefc2*areac/xmc/cpc                (σχέση 5)
  effc=1.-exp(-xx)
  qcond=xmc*cpc*(tc_eq-tca1)*effc        (σχέση 4)

  do i=1,20
                                           Προσέγγιση της θερμοκρασίας έξοδο
                                           του αέρα από το συμπυκνωτή
                                           (σχέση 7)

  tca2=tca1+qcond/xmc/cpc

  if(i.ne.1) then
                                           Έλεγχος σύγκλισης της θερμοκρασίας.

    test=abs(tca2-told)
    if(test.le.0.01) goto 19
  endif

```

```

told=tca2
qcond1=xmf*(hc1-hc_veq)
tca3=tca2-qcond1/xmc/cpc
dt1=tc1-tca2
dt2=tc_eq-tca3
dtln1=(dt1-dt2)/alog(dt1/dt2)
areac1=qcond1/coefc1/dtln1

```

(σχέση 8)
(σχέση 9)
**Υπολογισμός της μέσης
λογαριθμικής διαφοράς.**

(σχέση 10)

```

areac2=areac-areac1
xx=coefc2*areac2/xmc/cpc
effc=1.-exp(-xx)
qcond2=xmc*cpc*(tc_eq-tca1)*effc
qcond=qcond1+qcond2
enddo

```

**Υπολογισμός της επιφάνειας που πραγματοποιείται
μετάδοση θερμότητας μεταξύ μίγματος ψυκτικού
και αέρα.**

Υπολογισμός της θερμορροής στο συμπυκνωτή.

```

c-----
c Specific enthalpy at condenser exit
c-----

```

**Υπολογισμός της ενθαλπίας στην έξοδο
του συμπυκνωτή, βάσει της σχέσης 8
για την τελική θερμορροή.**

```

19 hc2=hc1-qcond/xmf

```

```

c=====
c EQUATIONS
c=====
c-----
c Equation 1: Expansion valve
c-----

```

Πρώτη εξίσωση: Βαλβίδα εκτόνωσης

```

ye(1)=1.e-3*sqrt(pc_eq-pev_eq)-vneck*xmf

```

(σχέση 11)

```

c-----
c Equation 2: (h_evap_in)-(h_evap_out)+(q_evap)=0
c-----

```

Δεύτερη εξίσωση: Ισοζύγιο ενέργειας

```

ye(2)=xmf*(hc2-hev2)+xmev*cpev*effev*(teva1-tev_eq)

```

(σχέση 14)

```

return
end
c

```

```

c=====
c Subroutine final
c=====
subroutine final(ecmpr,cop)

Implicit Real (a-h,o-z)

```

```

c-----
c Common blocks
c-----
common/cond/tc_eq,pc_eq,hc1,hc2,tc1,tc2,sc1,
+   coefc1,coefc2,areac,xmc,cpc,tca1,tca2
common/evap/tev_eq,pev_eq,hev1,hev2,tev1,tev2,sev2,
+   coefev,areaev,xmev,cpev,teva1,teva2
common/pres/svol,rvol,ccomp,freq,xmf,pol,
+   nref,dtsh,vneck,qcond,qevap

```

```

c-----
c Constants
c-----

```

```
pi=3.141592654
xpol=1./pol
```

c CALCULATION OF AIR OUTLET TEMPERATURE

```
tca2=tca1+qcond/cpc/xmc
teva2=teva1-qevap/cpev/xmev
```

Υπολογισμός της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από τον συμπυκνωτή και τον εξατμιστή.

c CALCULATION OF COP

c =====

```
wcomp=xmf*(hc1-hev2)
cop=qcond/wcomp
```

Υπολογισμός του έργου συμπίεσης και του συντελεστή απόδοσης.

c FINAL RESULTS

c =====

```
write(6,*) 'Input data'
write(6,*) '-----'
write(6,100) 'teva1',teva1

write(6,*)
write(6,*)
write(6,*) 'Output data'
write(6,*) '-----'
write(6,100) 'cop=',cop
write(6,100) 'qcond=',qcond
write(6,100) 'wcomp=',wcomp
write(6,100) 'ecompr=',ecompr
write(6,100) 'xmf=',xmf

write(6,*)
write(6,100) 'pc_eq=',(pc_eq/1000.)
write(6,100) 'pev_eq=',(pev_eq/1000.)
write(6,100) 'tca2',tca2
write(6,100) 'teva2',teva2
write(6,100) 'dtsc=',dtsc
```

```
100 format(2x,a7,10x,f12.4)
```

```
return
end
```

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα είναι οι εξής:

- **tc1** : η θερμοκρασία του ψυκτικού στην είσοδο του συμπυκνωτή (°C)
- **tc2** : η θερμοκρασία του ψυκτικού στην έξοδο του συμπυκνωτή (°C)
- **dtsc** : η υπόψυξη στην έξοδο του συμπυκνωτή (°C)
- **tc_eq** : η θερμοκρασία ισορροπίας στην πίεση του συμπυκνωτή (°C)
- **pc_eq** : η πίεση του συμπυκνωτή (Pa)

- **tev1** : η θερμοκρασία του ψυκτικού στην είσοδο του εξατμιστή (°C)
- **tev2** : η θερμοκρασία του ψυκτικού στην έξοδο του εξατμιστή (°C)
- **dtsh** : η υπερθέρμανση στην έξοδο του εξατμιστή (°C)
- **tev_eq** : η θερμοκρασία ισορροπίας στην πίεση του εξατμιστή (°C)
- **pev_eq** : η πίεση του εξατμιστή (Pa)

- **vneck** : ο εμπειρικός συντελεστής της βαλβίδας εκτόνωσης

- **pol** : ο δείκτης της πολυτροπικής συμπίεσης
- **svol** : ο όγκος θαλάμου του συμπιεστή (m³)
- **rvol** : ο λόγος του «νεκρού» όγκου προς τον όγκο του θαλάμου του συμπιεστή
- **ccomp** : ο ογκομετρικός συντελεστής της συμπίεσης
- **freq** : η συχνότητα του συμπιεστή (Hz)
- **xmf** : η μαζική παροχή του ψυκτικού (kg/s)

- **tca1** : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του συμπυκνωτή (°C)
- **tca2** : η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπυκνωτή (°C)
- **xmc** : η μαζική παροχή του αέρα στο συμπυκνωτή (kg/s)
- **cpc** : η ειδική θερμότητα του αέρα στο συμπυκνωτή (kJ/kg.K)
- **areac** : το εμβαδόν της επιφάνειας του συμπυκνωτή (m²)
- **coefc** : ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του συμπυκνωτή (kW/°C.m²)

- **teva1** : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του εξατμιστή (°C)
- **teva2** : η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του εξατμιστή (°C)
- **xmev** : η μαζική παροχή του αέρα στον εξατμιστή (kg/s)
- **cpev** : η ειδική θερμότητα του αέρα στον εξατμιστή (kJ/kg.K)
- **areaev** : το εμβαδόν της επιφάνειας του εξατμιστή (m²)
- **cofev** : ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εξατμιστή (kW/°C.m²)

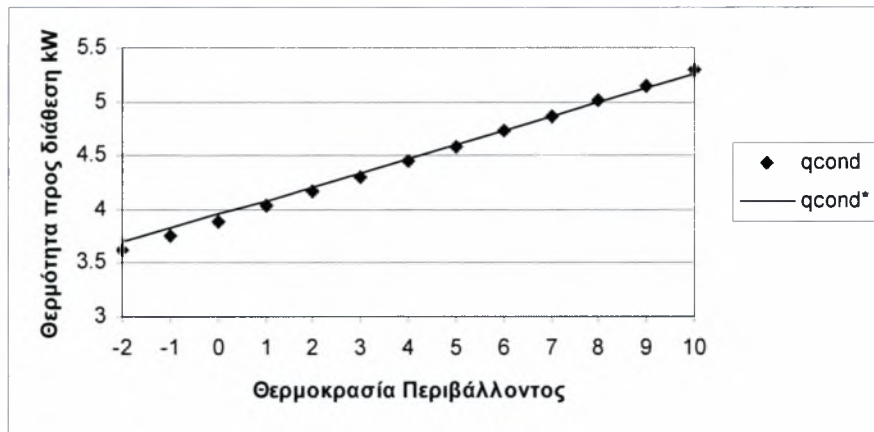
3.4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ V_{neck}

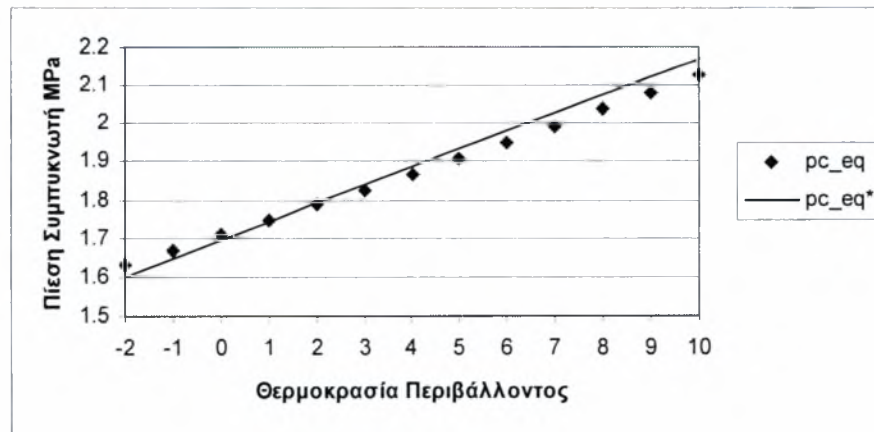
Για τον υπολογισμό της ακριβούς τιμής του συντελεστή αυτού, χρειάστηκε να «τρέξει» το πρόγραμμα αρκετές φορές, έως ότου τα αποτελέσματά του να συγκλίνουν με τα δεδομένα λειτουργίας της μονάδας. Από τα δεδομένα αυτά, χρησιμοποιήθηκαν:

- ◆ Η θερμοκρασία εξόδου του αέρα από το συμπυκνωτή $tca2$, η θερμότητα προς διάθεση του συμπυκνωτή $qcond$ καθώς και η πίεση ισορροπίας του, pc_eq , για τις συνθήκες θέρμανσης (Συχνότητα συμπιεστή : rated frequency = 98 Hz).
- ◆ Η θερμοκρασία εξόδου του αέρα από τον εξατμιστή $tena2$, το ψυκτικό αποτέλεσμα του εξατμιστή $qevap$ καθώς και η πίεση ισορροπίας του, pen_eq , για τις συνθήκες ψύξης (Συχνότητα συμπιεστή : rated frequency = 78 Hz).

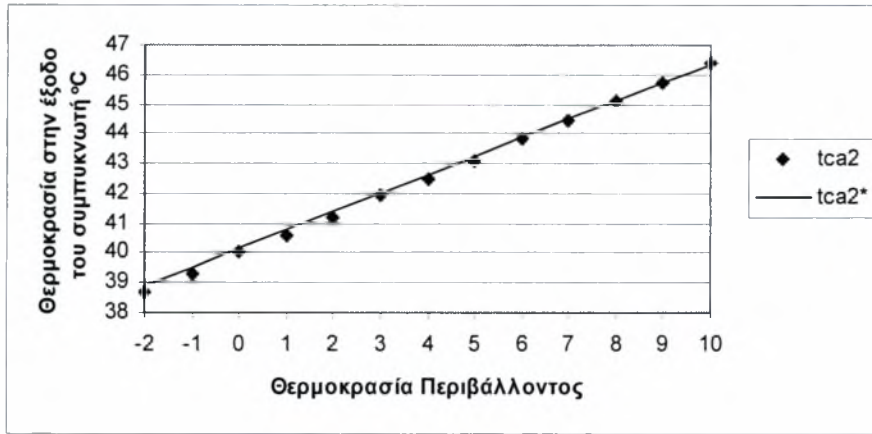
Τελικά, το πρόγραμμα συνέκλιε για $V_{neck} = 98$ για τη θέρμανση και 73 για την ψύξη. Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται ακριβώς αυτή η σύγκλιση. Στον αστερίσκο αντιστοιχούν οι τιμές από το εγχειρίδιο λειτουργίας (βλ. Παράρτημα).



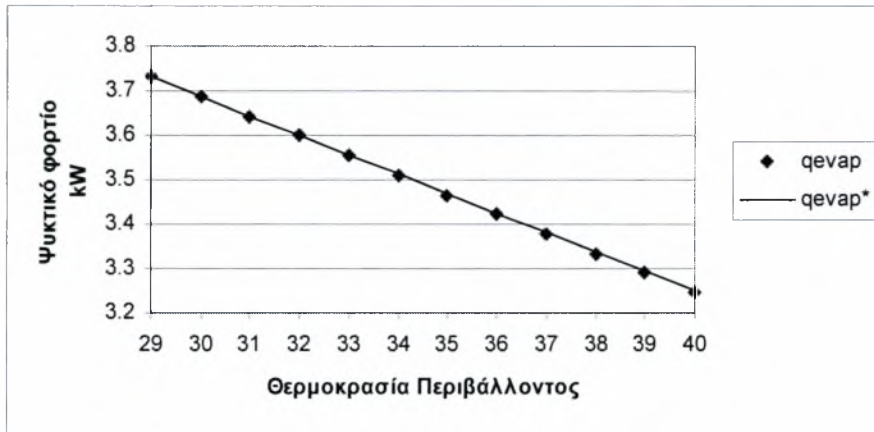
Διάγραμμα 3.1 : Σύγκριση της θερμότητας προς διάθεση για συνθήκες θέρμανσης.



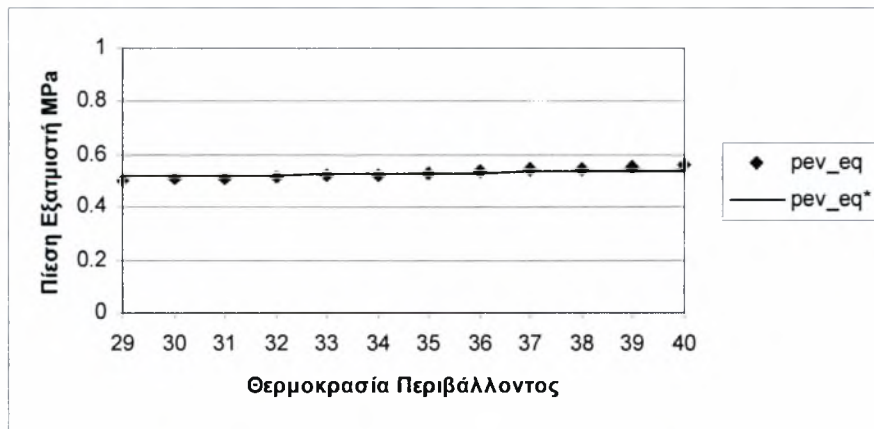
Διάγραμμα 3.2 : Σύγκριση της πίεσης του συμπυκνωτή για συνθήκες θέρμανσης.



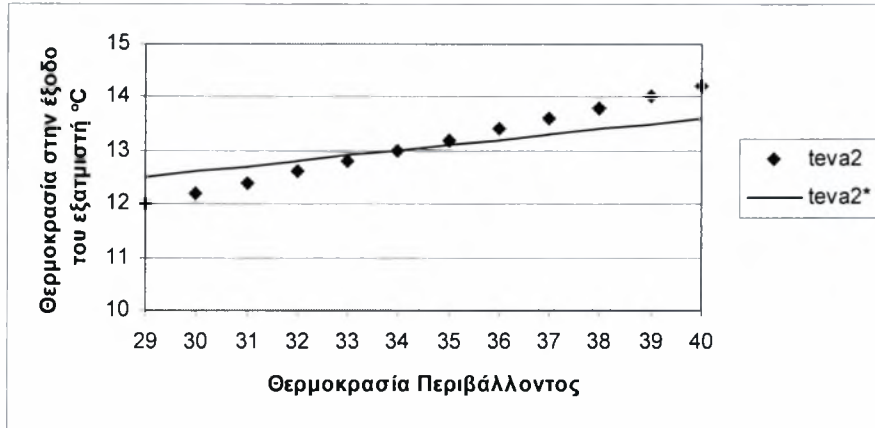
Διάγραμμα 3.3 : Σύγκριση της θερμοκρασίας στην έξοδο της εσωτερικής μονάδας για συνθήκες θέρμανσης.



Διάγραμμα 3.4 : Σύγκριση ψυκτικού φορτίου για συνθήκες ψύξης.



Διάγραμμα 3.5 : Σύγκριση της πίεσης του εξατμιστή για συνθήκες ψύξης.



Διάγραμμα 3.6 : Σύγκριση της θερμοκρασίας στην έξοδο της εσωτερικής μονάδας για συνθήκες ψύξης.

3.5

H ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ FLUIDS

Η υπορουτίνα αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων πολλών διαφορετικών ψυκτικών, μεταξύ των οποίων ανήκει και το R22, που χρησιμοποιεί η κλιματιστική μονάδα του εργαστηρίου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση δύο τουλάχιστον ιδιοτήτων του ψυκτικού. Η υπορουτίνα έχει τη μορφή:

FLUIDS(UNITS,T,P,H,S,X,V,U,MU,K,NREF,ITYPE)

Η μεταβλητή *UNITS* μπορεί να πάρει την τιμή 'EN' όταν οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι του αγγλοσαξονικού συστήματος ή 'SI' όταν οι μονάδες είναι του διεθνούς συστήματος. Η μεταβλητή *NREF* αναφέρεται στο νούμερο του ψυκτικού του οποίου οι ιδιότητες αναζητούνται. Η μεταβλητή *ITYPE* καθορίζει τις δύο γνωστές ιδιότητες του ψυκτικού οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να προκύψουν και οι υπόλοιπες. Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στην πρώτη ιδιότητα και ο δεύτερος στην άλλη. Όπως φαίνεται από τη σύνταξη της υπορουτίνας, η πρώτη ιδιότητα είναι η θερμοκρασία και η τελευταία ο ειδικός όγκος. Έτσι αν οι γνωστές ιδιότητες είναι η πίεση και η εντροπία, τότε η μεταβλητή παίρνει την τιμή 24. Οι θερμοκρασίες εισάγονται είτε σε βαθμούς Κελσίου είτε σε βαθμούς Φαρενάιτ, ανάλογα με το ποιο σύστημα χρησιμοποιείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει τη συμπεριφορά τις κλιματιστικής μονάδας, τόσο σε συνθήκες θέρμανσης, όσο και ψύξης. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές που τέθηκαν υπό έλεγχο ήταν:

- Η θερμότητα προς διάθεση και το ψυκτικό φορτίο
- Το έργο του συμπιεστή (θερμότητα συμπίεσης).
- Ο συντελεστής απόδοσης
- Η πίεση ισορροπίας στο συμπυκνωτή και τον εξατμιστή
- Η θερμοκρασία εξόδου του αέρα από το συμπυκνωτή και τον εξατμιστή στον κλιματιζόμενο χώρο.
- Η παροχή του ψυκτικού

Οι παράγοντες που μεταβάλλονταν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν:

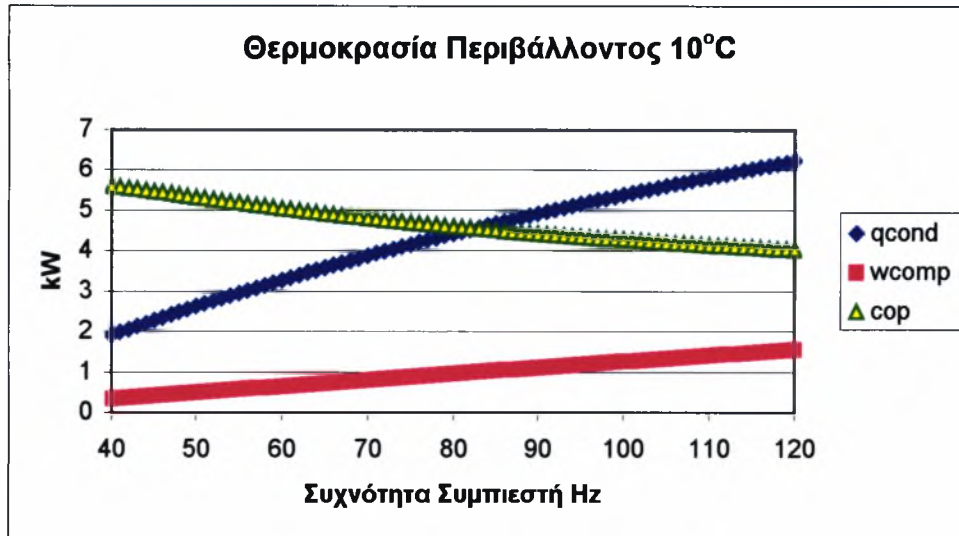
- Η συχνότητα του συμπιεστή f_{req} .
- Η υπερθέρμανση στην έξοδο του εξατμιστή dt_{sh} .
- Η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του εξατμιστή και του συμπυκνωτή από το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα μπορούν έτσι να διαιρεθούν σε υποκατηγορίες, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας και ανάλογα με την ανεξάρτητη μεταβλητή. Κατά αυτόν τον τρόπο υπάρχουν αποτελέσματα:

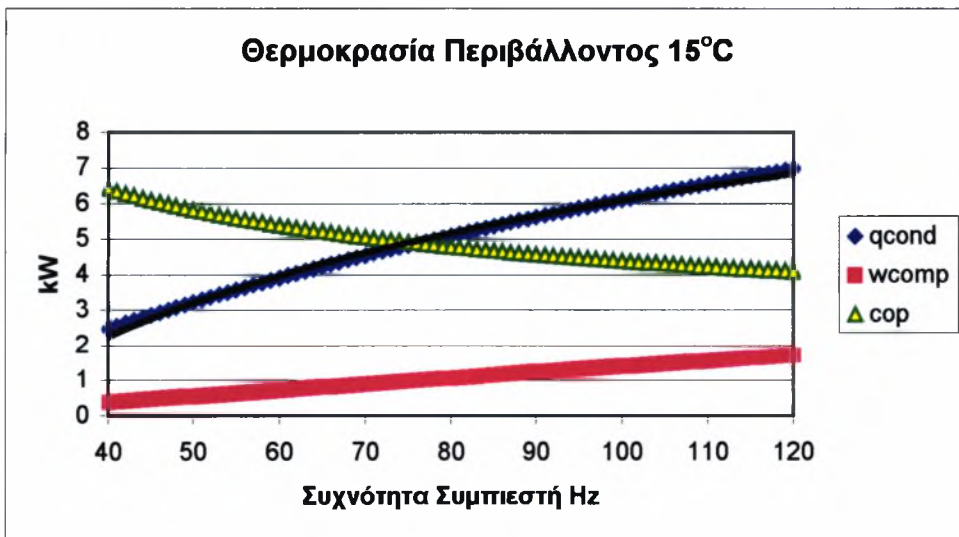
1. Ταυτόχρονα για q_{cond} , w_{comp} , COP με σταθερή υπερθέρμανση $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για συχνότητα συμπιεστή από 40 ως 120 Hz και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 0, 5, 10 και $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Ξεχωριστά για καθένα από τα: q_{cond} , w_{comp} , COP , pc_{eq} , $tca2$ και xmf με σταθερή υπερθέρμανση $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, για συχνότητα συμπιεστή από 40 ως 120 Hz και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 0, 5, 10 και $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Ξεχωριστά για καθένα από τα: q_{cond} , w_{comp} , COP , pc_{eq} , $tca2$ και xmf για συχνότητα συμπιεστή 40, 60, 90 και 120 Hz, για υπερθέρμανση από 5 ως $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 0, 5, 10 και $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Ταυτόχρονα για q_{evap} , w_{comp} , COP με σταθερή υπερθέρμανση $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για συχνότητα συμπιεστή από 40 ως 120 Hz και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 30, 35, 40 και $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Ξεχωριστά για καθένα από τα: q_{evap} , w_{comp} , COP , p_{ev_eq} , $teva2$ και xmf με σταθερή υπερθέρμανση 5 °C, για συχνότητα συμπιεστή από 40 ως 120 Hz και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 30,35,40 και 45 °C.
6. Ξεχωριστά για καθένα από τα: q_{evap} , w_{comp} , COP , p_{ev_eq} , $teva2$ και xmf για συχνότητα συμπιεστή 40, 60, 90 και 120 Hz, για υπερθέρμανση από 5 ως 15 °C και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 30,35,40 και 45 °C.

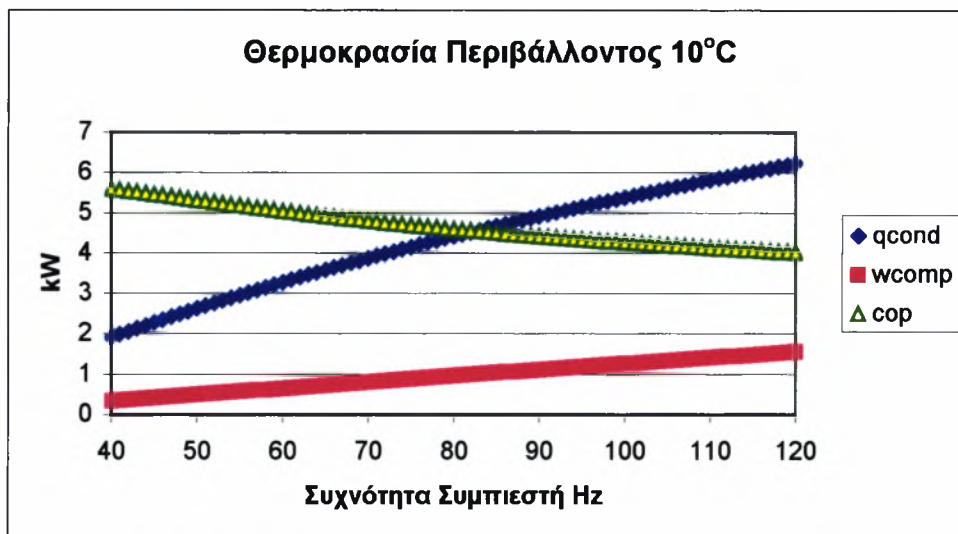
4.1) Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται η ταυτόχρονη μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση, του έργου του συμπιεστή καθώς και του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για διάφορες εξωτερικές θερμοκρασίες (περίπτωση θέρμανσης).



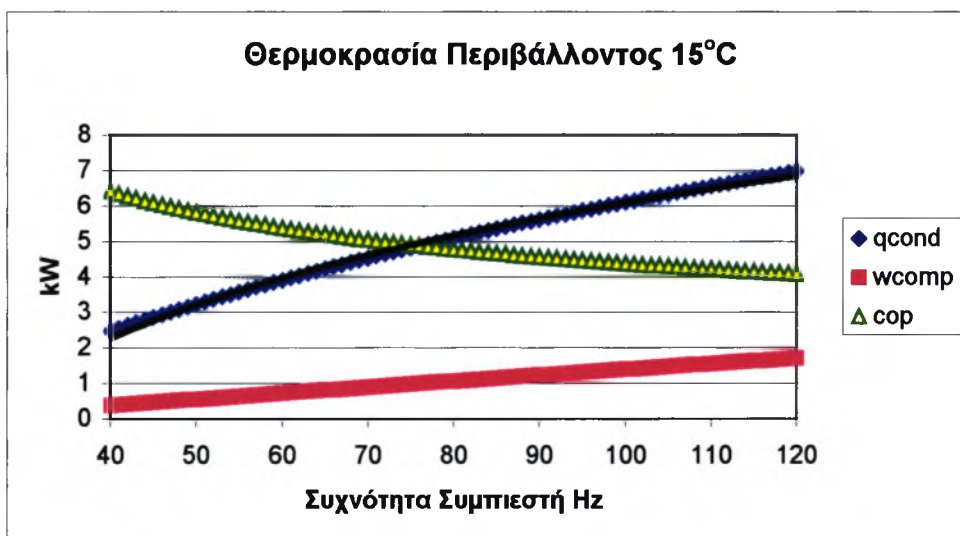
Διάγραμμα 4.1.1 : Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση, του έργου του συμπιεστή και του COP συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0 °C.



Διάγραμμα 4.1.2 : Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση, του έργου του συμπιεστή και του COP συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασία περιβάλλοντος 5 °C.



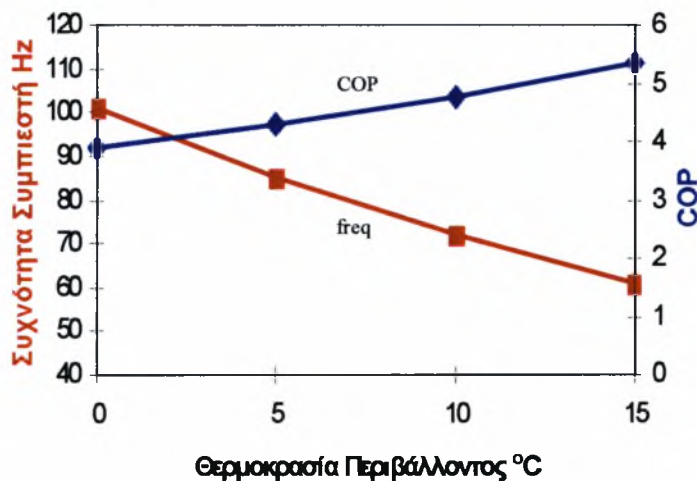
Διάγραμμα 4.1.3 : Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση, του έργου του συμπιεστή και του COP συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασία περιβάλλοντος 10 °C.



Διάγραμμα 4.1.4 : Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση, του έργου του συμπιεστή και του COP συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασία περιβάλλοντος 15 °C.

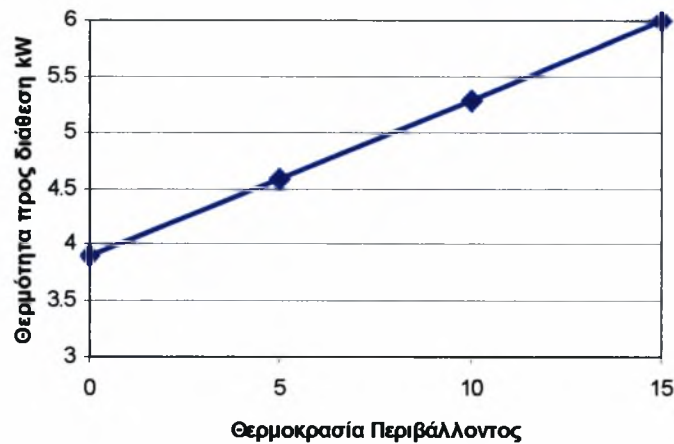
Αυτό που καθίσταται προφανές και από τα τέσσερα διαγράμματα, είναι η αναμενόμενη αύξηση του έργου συμπίεσης με την αύξηση της συχνότητας και η επακόλουθη αύξηση της θερμότητας προς διάθεση. Υπενθυμίζεται ότι η θερμότητα προς διάθεση είναι ίση με το άθροισμα του ψυκτικού φορτίου και του έργου συμπίεσης. Στις πολύ μεγάλες συχνότητες, ο ρυθμός αύξησης της θερμότητας προς διάθεση μειώνεται συνεχώς, έως ότου ταυτιστεί με αυτόν του έργου συμπίεσης. Αυτό συμβαίνει γιατί, ενώ το έργο συμπίεσης αυξάνεται συνεχώς, το ψυκτικό φορτίο περιορίζεται από τη θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού και αέρα. Επίσης

παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση των απολύτων τιμών τους καθώς μεγαλώνει η εξωτερική θερμοκρασία. Αυτό συμβαίνει γιατί σε χαμηλές θερμοκρασίες το ψυκτικό φορτίο είναι μικρό, αφού η διαφορά θερμοκρασίας εξάτμισης του ψυκτικού και του αέρα, δηλαδή η κινούσα δύναμη της μετάδοσης θερμότητας, είναι μικρή. Το αποτέλεσμα είναι ο μικρός βαθμός απόδοσης των κλιματιστικών μονάδων σε θερμοκρασίες κοντά και κάτω από το μηδέν. Έτσι το για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0 °C έχει μέγιστη τιμή περίπου 4 (διάγραμμα 4.1.1), ενώ για 15 °C πλησιάζει το 6,5 (διάγραμμα 4.1.4). Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό από τα διαγράμματα που ακολουθούν. Στο πρώτο (4.1.5), απεικονίζεται η πτώση της συχνότητας του συμπιεστή και η αύξηση του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για συνθήκες όπου η θερμότητα προς διάθεση είναι ίση με 4 kW (συνηθισμένη τιμή για τη θέρμανση ενός δωματίου). Στο δεύτερο (4.1.6), διακρίνεται η αύξηση της θερμότητας προς διάθεση συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για συγκεκριμένη συχνότητα συμπιεστή (τη συχνότητα διεξαγωγής της σύγκρισης δεδομένων – μοντέλου: 98 Hz).



Διάγραμμα 4.1.5 : Μεταβολή της συχνότητας του συμπιεστή και του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για θερμότητα προς διάθεση είναι ίση με 4 kW. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται, ο συμπιεστής λειτουργεί σε χαμηλότερες στροφές ανά δευτερόλεπτο.

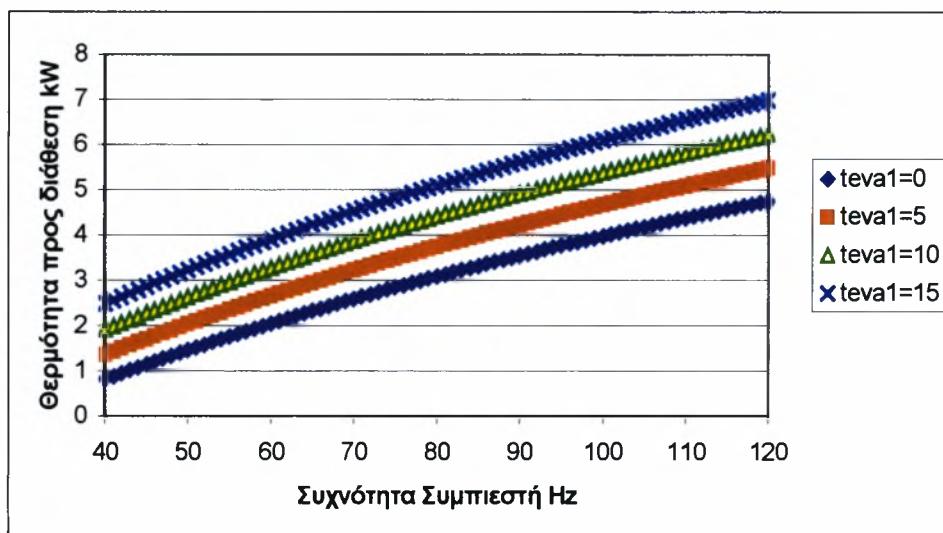
Σταθερή Συχνότητα Συμπιεστή (98 Hz)



Διάγραμμα 4.1.5 : Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για σταθερή συχνότητα συμπιεστή. Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μεγαλύτερο θερμικό αποτέλεσμα.

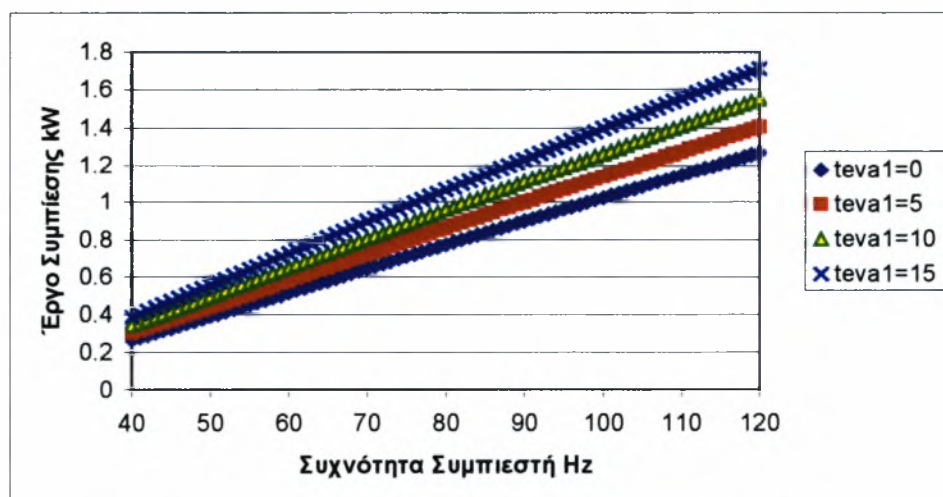
Εξίσου εμφανές από τα τέσσερα πρώτα διαγράμματα είναι το γεγονός ότι, για να προκύψει το μέγιστο θερμικό αποτέλεσμα θα πρέπει ο συμπιεστής να λειτουργεί με τη μέγιστη συχνότητα. Αυτό όμως δεν είναι οικονομικό, γιατί οδηγεί σε μεγάλη κατανάλωση ρεύματος. Προκειμένου να γίνει βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας είναι απαραίτητη η παρακολούθηση του συντελεστή απόδοσης, ώστε ο συμπιεστής να λειτουργεί σε συχνότητες που αντιστοιχούν στο μέγιστο . Παρατηρείται, λοιπόν, ότι για χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες 0 και 5 °C (διάγραμμα 4.1.1 και 4.1.2), το παρουσιάζει ένα μέγιστο στα 70 και 50 Hz αντίστοιχα. Αυτό που το περιορίζει, είναι η ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά που προαναφέρθηκε, στις χαμηλές συχνότητες, και η αύξηση του έργου συμπίεσης στις υψηλές. Για θερμοκρασίες 10 και 15 °C (διάγραμμα 4.1.3 και 4.1.4), παύει να υφίσταται ο πρώτος λόγος, ενώ παραμένει το υψηλό έργο συμπίεσης. Για αυτό το λόγο οι καμπύλες δεν εμφανίζουν μέγιστο αλλά φθίνουν.

4.2) Στα επόμενα διαγράμματα απεικονίζεται η μεταβολή των μεγεθών: q_{cond} , w_{comp} , COP , pe_{eq} , $tca2$ και xmf με σταθερή υπερθέρμανση 5 °C, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για διάφορες εξωτερικές θερμοκρασίες (περίπτωση θέρμανσης).



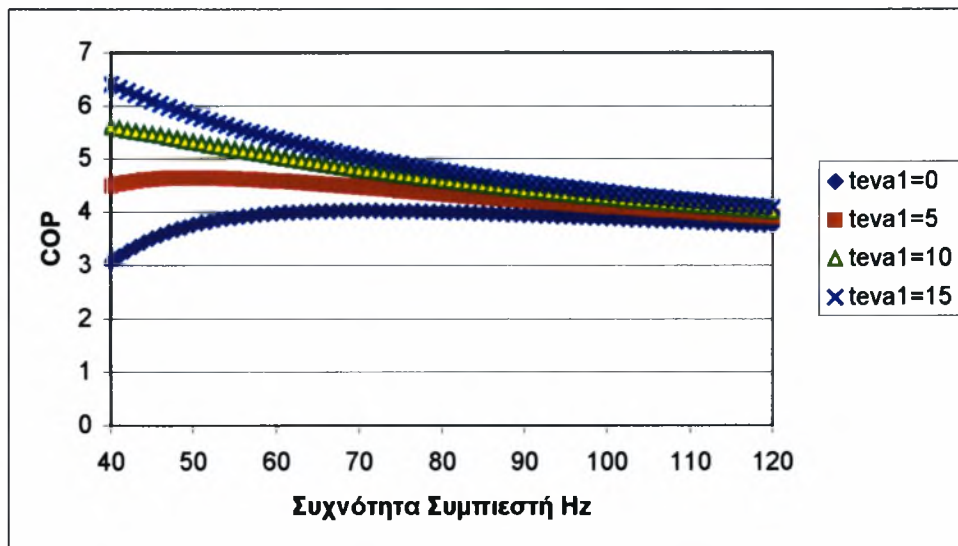
Διάγραμμα 4.2.1 : Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Στο διάγραμμα 4.2.1, εκτός από την αναμενόμενη αύξηση της θερμότητας προς διάθεση συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, γίνεται καλύτερα αντιληπτή η αύξηση των απολύτρων τιμών της, κάθε φορά που αυξάνεται η εξωτερική θερμοκρασία.



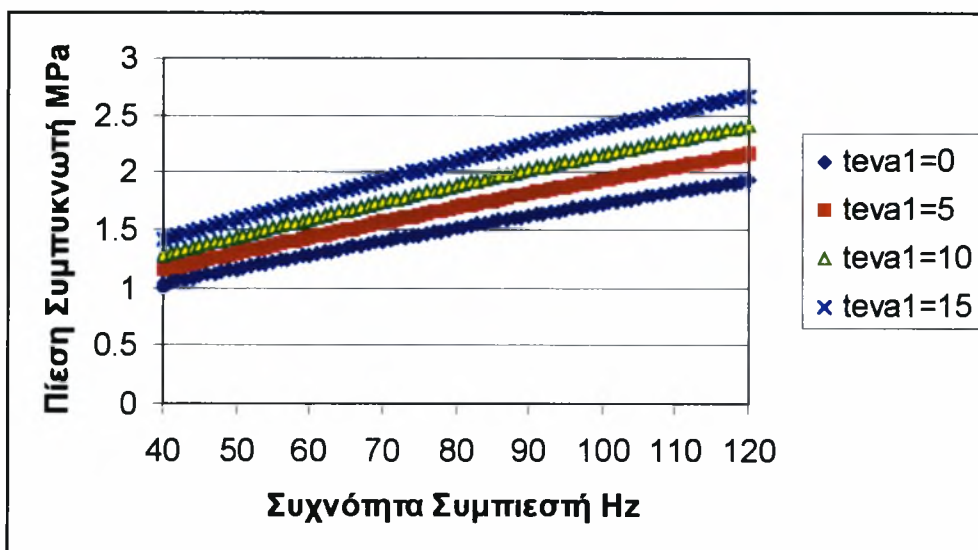
Διάγραμμα 4.2.2 : Μεταβολή του έργου συμπίεσης συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Στο διάγραμμα 4.2.2 διακρίνεται καθαρά η γραμμικότητα στη σχέση μεταξύ συχνότητας και έργου του συμπιεστή. Ταυτόχρονα, φαίνεται και η εξάρτηση της απόλυτης τιμής του έργου με την εξωτερική θερμοκρασία: αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μεγαλύτερη κλίση στην ευθεία του έργου.



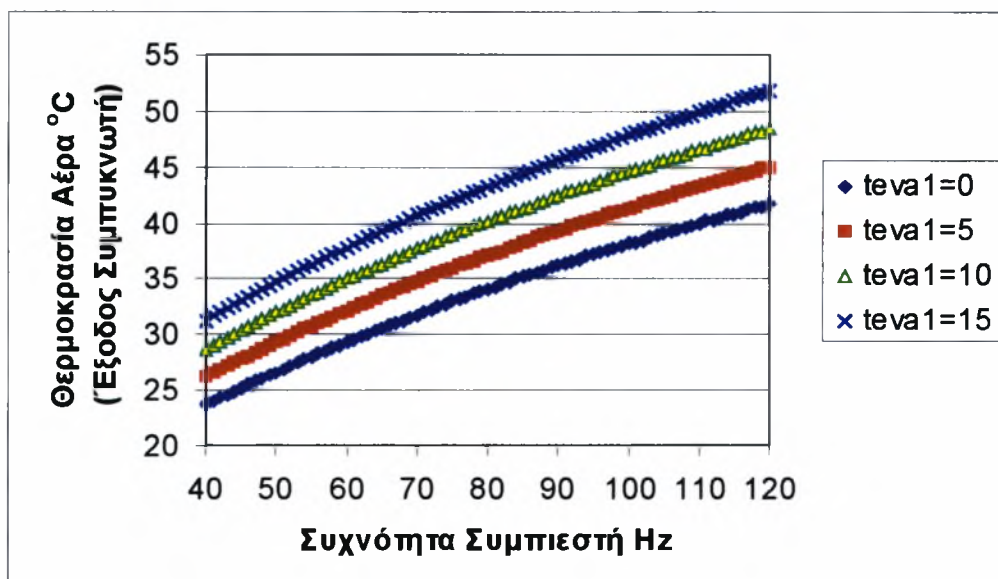
Διάγραμμα 4.2.3 : Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Στο διάγραμμα 4.2.3 διακρίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας στο συντελεστή απόδοσης της κλιματιστικής μονάδας. Είναι εμφανές ότι η επίδραση αυτή είναι πιο έντονη σε χαμηλές συχνότητες, ενώ ελαχιστοποιείται όσο η συχνότητα αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί, αύξηση της συχνότητας του συμπιεστή επιφέρει αυξημένο έργο συμπίεσης, το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο του *COP* (κεφάλαιο 2).



Διάγραμμα 4.2.4 : Μεταβολή της πίεσης του συμπυκνωτή συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

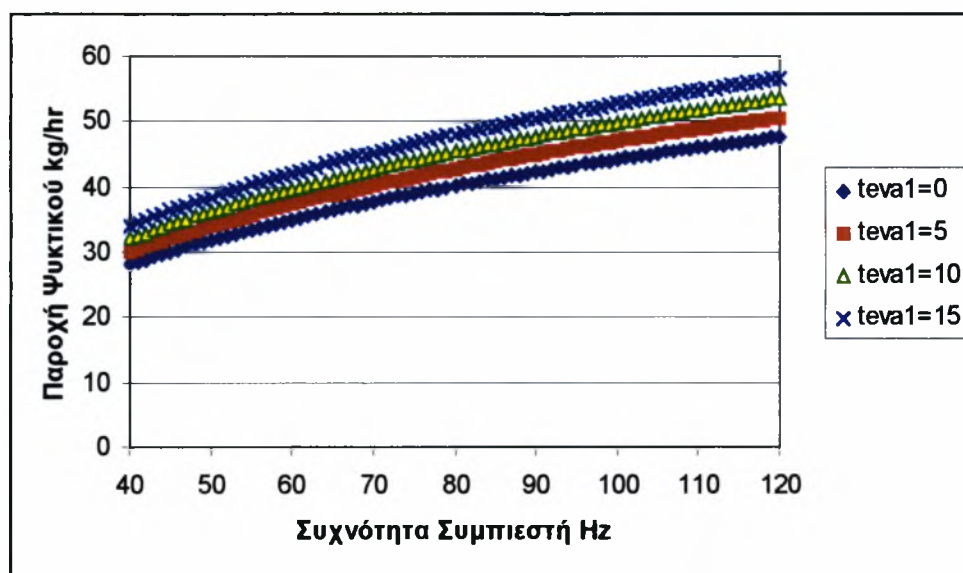
Στο διάγραμμα 4.2.4 παρατηρείται η αναλογία της πίεσης ισορροπίας του συμπυκνωτή (πίεση συμπύκνωσης του ψυκτικού), σε σχέση με τη συχνότητα του συμπιεστή και την εξωτερική θερμοκρασία.



Διάγραμμα 4.2.5 : Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο της εσωτερικής μονάδας συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Στο διάγραμμα 4.2.5 φαίνεται η εξάρτηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα, από την εσωτερική μονάδα, τόσο από τη συχνότητα του συμπιεστή, όσο και από την εξωτερική θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση της συχνότητας του συμπιεστή

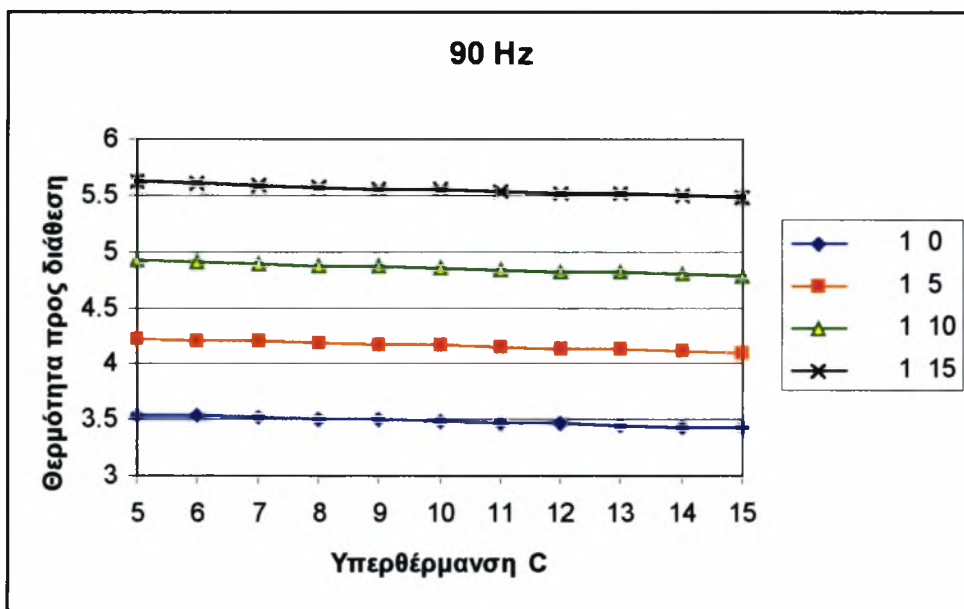
συνεπάγεται αύξηση της θερμότητας προς διάθεση, οπότε, προκειμένου να διατηρηθεί το ισοζύγιο ενέργειας, σύμφωνα με τη σχέση (7) του κεφαλαίου 3, αυξάνεται και η θερμοκρασία εξόδου του αέρα. Κατά τον ίδιο τρόπο, αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας, οδηγεί σε αύξηση της θερμότητας προς διάθεση, οπότε από την ίδια σχέση, επέρχεται αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα. Είναι εμφανές ότι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας αυτής μειώνεται συνεχώς, γεγονός που οφείλεται στο ότι περιορίζεται η θερμότητα προς διάθεση, αλλά και στο ότι η θερμοκρασία του αέρα δε μπορεί να ξεπεράσει τη θερμοκρασία συμπύκνωσης του ψυκτικού.



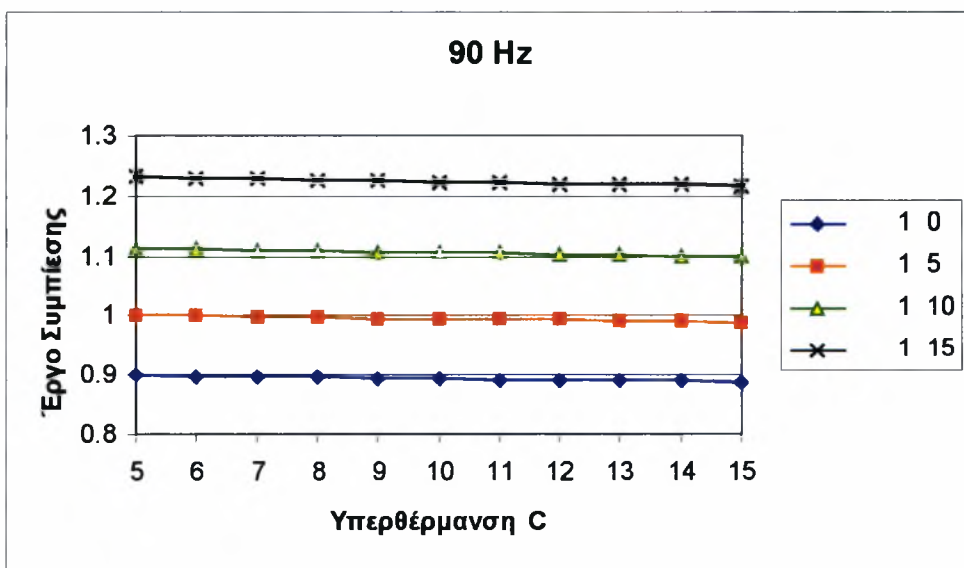
Διάγραμμα 4.2.6 : Μεταβολή της παροχής του ψυκτικού συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Στο διάγραμμα 4.2.6 φαίνεται η αναμενόμενη αναλογία της μαζικής παροχής του ψυκτικού με τη συχνότητα του συμπιεστή, καθώς και με την εξωτερική θερμοκρασία. Η μείωση της κλίσης των καμπυλών οφείλεται στην αύξηση των φαινομένων τριβής, στο εσωτερικό του συμπιεστή, με την αύξηση της συχνότητας λειτουργίας του.

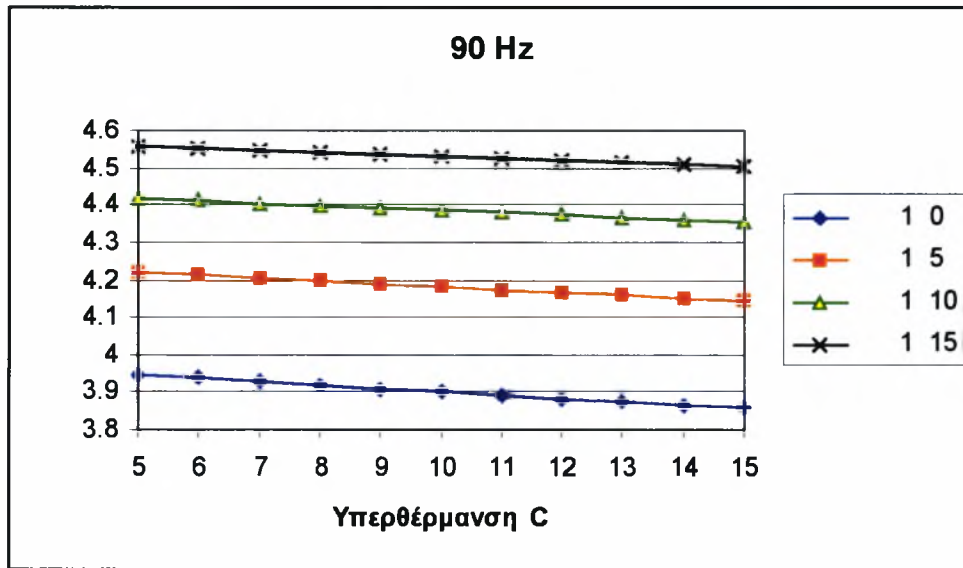
4.3) Στα διαγράμματα που ακολουθούν διακρίνεται η μεταβολή των μεγεθών: q_{cond} , w_{comp} , COP , pe_{eq} , $tca2$ και xmf για συχνότητα συμπιεστή 90 Hz, για υπερθέρμανση από 5 ως 15 °C και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 0, 5, 10 και 15 °C.



Διάγραμμα 4.3.1: Μεταβολή της θερμότητας προς διάθεση συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

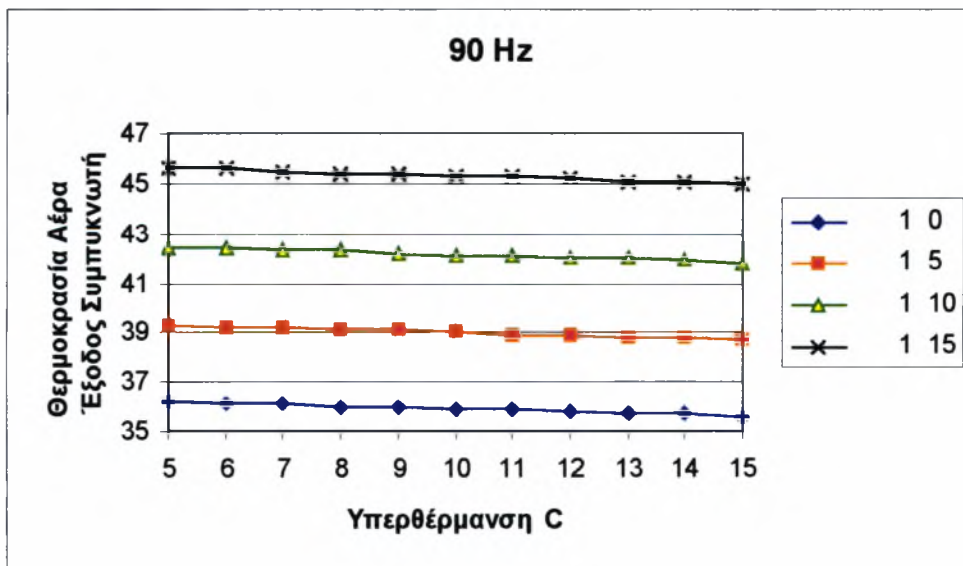


Διάγραμμα 4.3.2: Μεταβολή του έργου συμπίεσης συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.



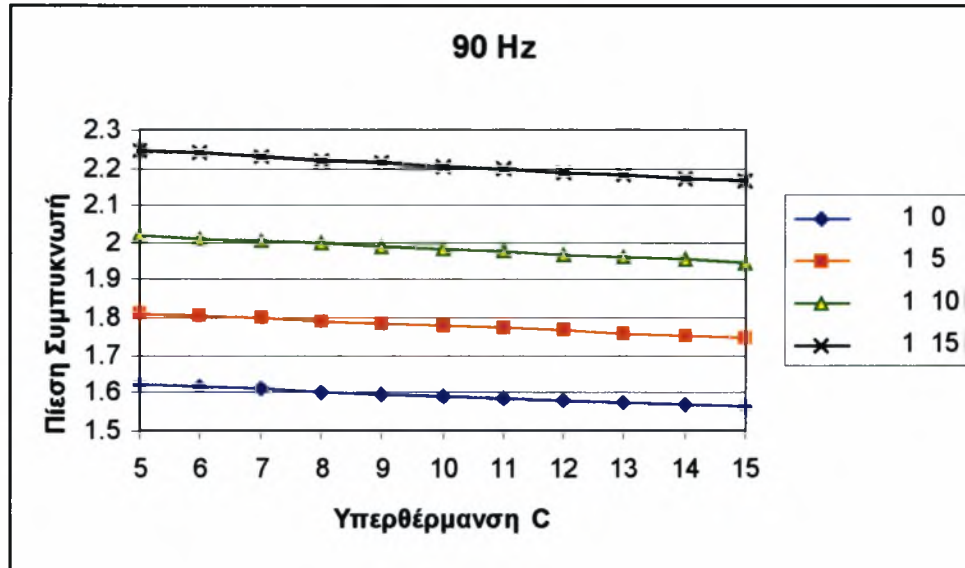
Διάγραμμα 4.3.3: Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Στο διάγραμμα 4.3.1 παρατηρείται το γεγονός της μείωσης της θερμότητας προς διάθεση, σε σχέση με την υπερθέρμανση που εφαρμόζεται στο ψυκτικό, κατά την έξοδό του από τον εξατμιστή. Η ίδια μείωση παρατηρείται και στο διάγραμμα 4.3.2, για το έργο συμπίεσης, αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Όπως είναι γνωστό, η υπερθέρμανση του ψυκτικού είναι απαραίτητη, ώστε να αποκλείεται η περίπτωση εισόδου σταγονιδίων μέσα στο συμπιεστή. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι η υπερθέρμανση θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλη, γιατί όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.3.3, η πτώση του συντελεστή απόδοσης της κλιματιστικής μονάδας είναι μεγάλη. Στο διάγραμμα 4.3.4, διακρίνεται η μείωση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα.

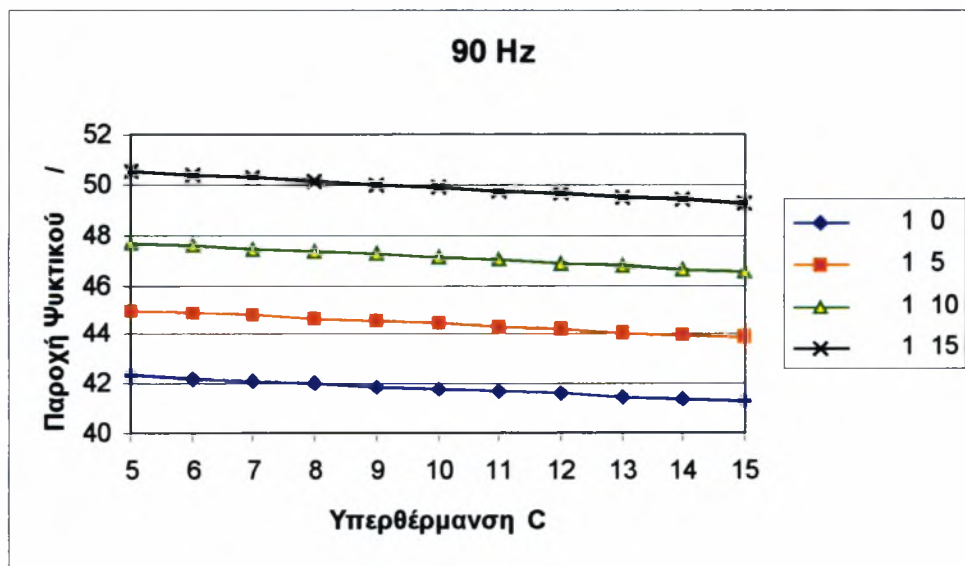


Διάγραμμα 4.3.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση της θερμότητας προς διάθεση και μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση (7) του κεφαλαίου 3. Ακολουθούν τα διαγράμματα που αφορούν την πτώση της πίεσης ισορροπίας στο συμπυκνωτή (4.3.5), καθώς και την πτώση της παροχής του ψυκτικού (4.3.6), συναρτήσει της υπερθέρμανσης.

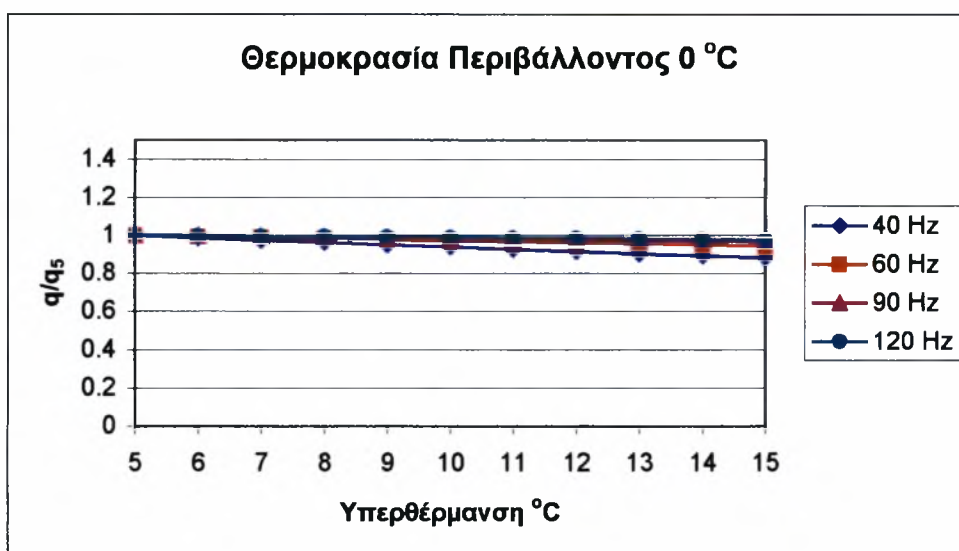


Διάγραμμα 4.3.5: Μεταβολή της πίεσης του συμπυκνωτή συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξαμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

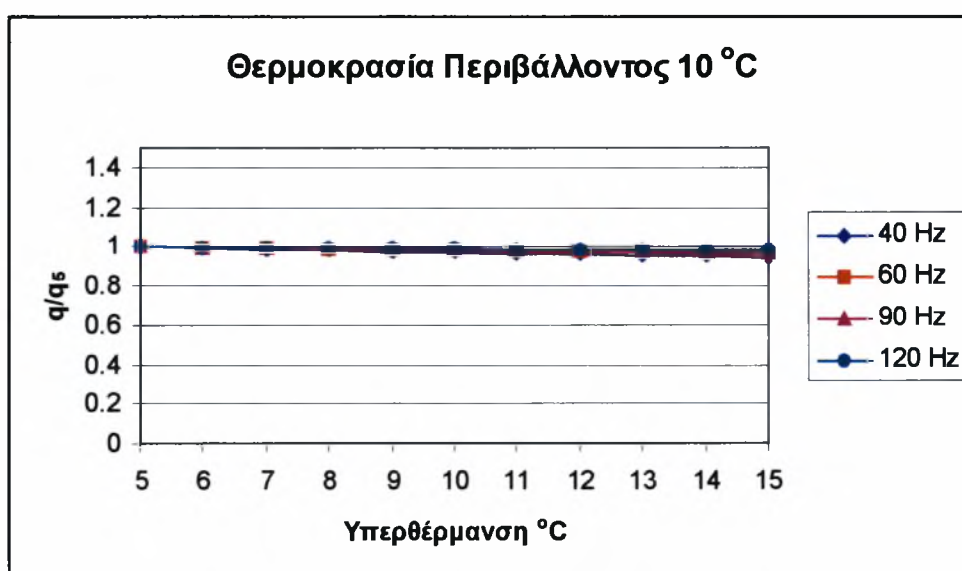


Διάγραμμα 4.3.6: Μεταβολή της παροχής του ψυκτικού συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξαμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0, 5, 10 και 15 °C.

Αυτό που γίνεται φανερό με την πρώτη ματιά, είναι η ομοιομορφία στη μεταβολή των διαφόρων μεγεθών σε σχέση με την υπερθέρμανση, καθώς και με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η επίδραση της υπερθέρμανσης, είναι παρόμοια και για τις υπόλοιπες συχνότητες λειτουργίας του συμπιεστή. Έτσι, προκειμένου να μη παραθετηθούν όλα τα διαγράμματα των έξι μεγεθών για τις συχνότητες 40, 60 και 120 Hz, παρουσιάζονται συνεπτυγμένα διαγράμματα, τεσσάρων διαφορετικών συχνοτήτων, για δύο εξωτερικές θερμοκρασίες.



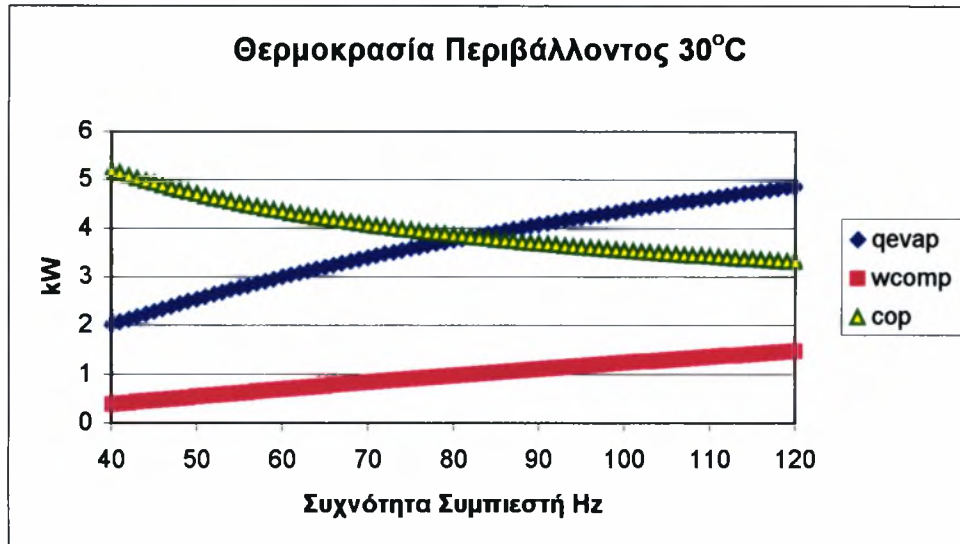
Διάγραμμα 4.3.7: Μεταβολή του λόγου q/q_5 συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 0 °C και συχνότητες συμπιεστή 40, 60, 90 και 120 Hz.



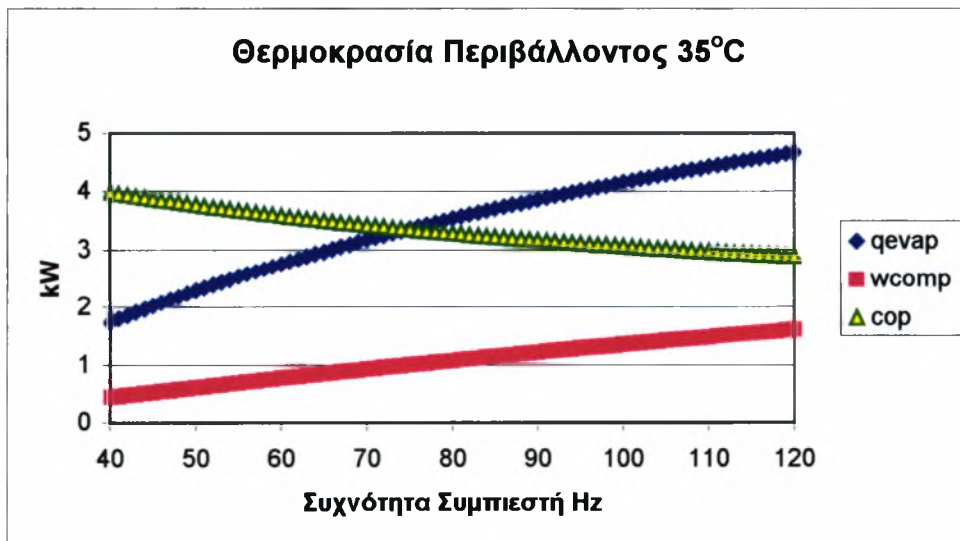
Διάγραμμα 4.3.8: Μεταβολή του λόγου q/q_5 συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 10 °C και συχνότητες συμπιεστή 40, 60, 90 και 120 Hz.

Στα διαγράμματα 4.3.7 και 4.3.8, ο λόγος q/q_5 αντιπροσωπεύει το λόγο της εκάστοτε θερμότητας προς διάθεση q , προς την αρχική θερμότητα προς διάθεση q_5 , που αντιστοιχεί στην υπερθέρμανση των 5 °C. Για αυτό το λόγο οι ευθείες έχουν αρχική τιμή ίση με τη μονάδα. Παρατηρώντας την ελάχιστη απόκλιση που έχουν οι ευθείες για την περίπτωση των 0 °C, και περισσότερο των 10 °C, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, η αλλαγή της συχνότητας του συμπιεστή επηρεάζει ανεπαίσθητα την επίδραση της υπερθέρμανσης στη θερμότητα προς διάθεση, και επομένως, και στα υπόλοιπα πέντε μεγέθη.

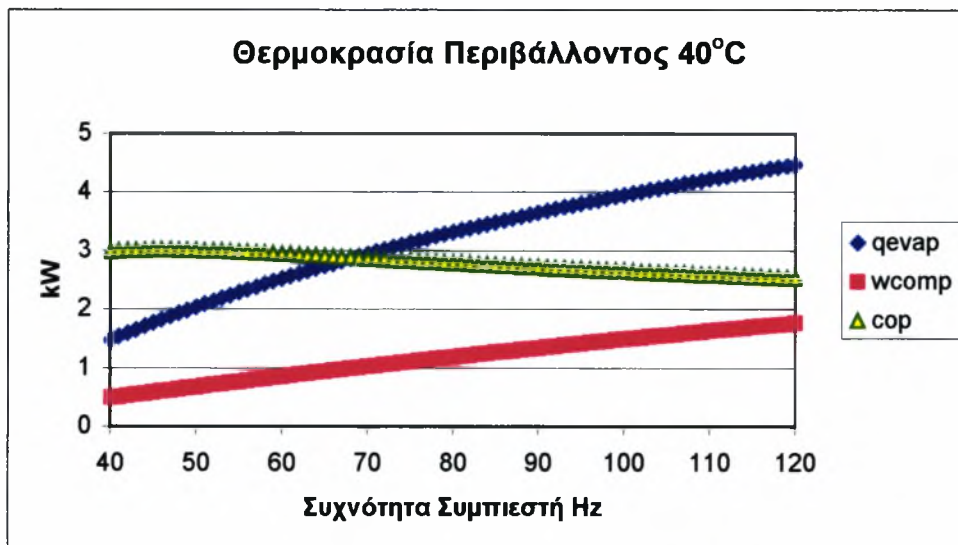
4.4) Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται η ταυτόχρονη μεταβολή του ψυκτικού φορτίου, του έργου του συμπιεστή καθώς και του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για διάφορες εξωτερικές θερμοκρασίες (περίπτωση ψύξης).



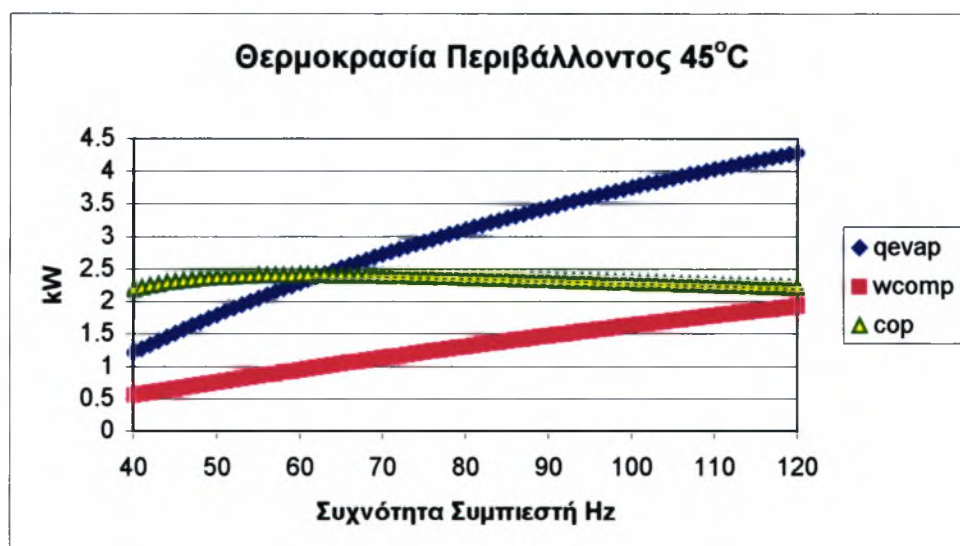
Διάγραμμα 4.4.1 : Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου, του έργου του συμπιεστή καθώς και του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για εξωτερική θερμοκρασία 30 °C.



Διάγραμμα 4.4.2 : Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου, του έργου του συμπιεστή καθώς και του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για εξωτερική θερμοκρασία 35 °C.



Διάγραμμα 4.4.3 : Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου, του έργου του συμπιεστή καθώς και του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για εξωτερική θερμοκρασία 40 °C.



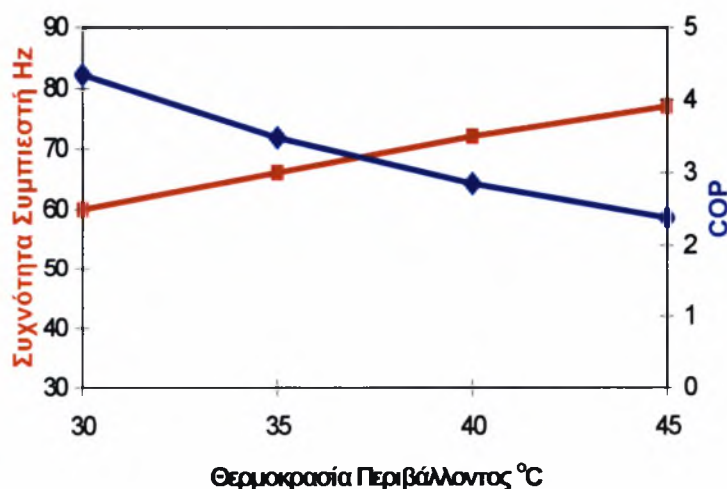
Διάγραμμα 4.4.4 : Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου, του έργου του συμπιεστή καθώς και του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, για εξωτερική θερμοκρασία 45 °C.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά τα διαγράμματα που αφορούν την περίπτωση της ψύξης είναι ταυτόσημα με αυτά της θέρμανσης. Πιο συγκεκριμένα το έργο συμπίεσης και το ψυκτικό φορτίο είναι ανάλογα της συχνότητας του συμπιεστή. Το ψυκτικό φορτίο αυξάνεται γιατί, με την αύξηση της συχνότητας, το ψυκτικό ανταλλάσσει περισσότερη θερμότητα με το περιβάλλον στη μονάδα του χρόνου.

Η αύξηση του είναι ασυμπτωτική αφού τείνει σε ένα μέγιστο, το οποίο αντιστοιχεί σε μετάδοση θερμότητας με μηδενική αντίσταση ανάμεσα σε ψυκτικό και αέρα. Οι απόλυτες τιμές των μεγεθών εδώ μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας γιατί ελαττώνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του συμπυκνούμενου ψυκτικού και του εξωτερικού αέρα. Δηλαδή στην περίπτωση της ψύξης η απόδοση της κλιματιστικής μονάδας περιορίζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό φαίνεται και από το συντελεστή απόδοσης, του οποίου η μέγιστη τιμή από 5 στους 30 °C υποδιπλασιάζεται σε 2,5 στους 45 °C.

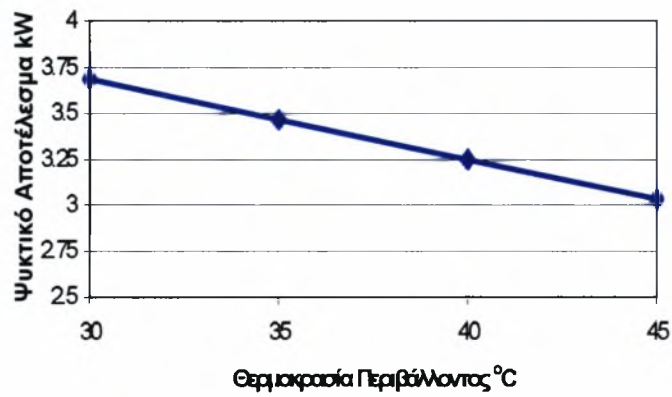
Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30 και 35 °C οι καμπύλες του *COP* είναι φθίνουσες εξαιτίας του αυξανόμενου έργου συμπίεσης, ενώ για θερμοκρασίες 40 και 45 °C, παρουσιάζουν μέγιστο στα 45 και 60 Hz αντίστοιχα, για τον επιπλέον λόγο ότι στις χαμηλές συχνότητες το ψυκτικό φορτίο είναι ελάχιστο. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι όσο επιδεινώνεται το φαινόμενο της μετάδοσης της θερμότητας, τόσο περισσότερο πρέπει να αυξάνεται η συχνότητα του συμπιεστή.

Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό από τα διαγράμματα που ακολουθούν. Στο πρώτο (4.4.5), απεικονίζεται η αύξηση της συχνότητας του συμπιεστή και η πτώση του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για συνθήκες όπου το ψυκτικό φορτίο είναι ίσο με 3 kW (συνηθισμένη τιμή για την ψύξη ενός δωματίου). Στο δεύτερο (4.4.6), διακρίνεται η πτώση του ψυκτικού φορτίου συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για συγκεκριμένη συχνότητα συμπιεστή (τη συχνότητα διεξαγωγής της σύγκρισης δεδομένων – μοντέλου: 78 Hz).



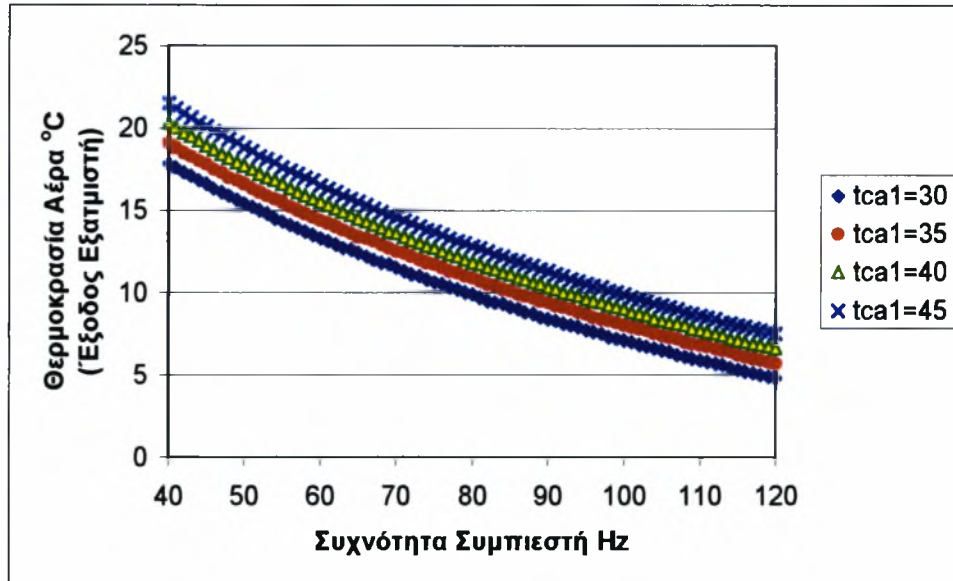
Διάγραμμα 4.4.6 : Μεταβολή της συχνότητας του συμπιεστή και του συντελεστή απόδοσης, συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για ψυκτικό φορτίο ίσο με 3 kW. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται, ο συμπιεστής λειτουργεί σε υψηλότερες στροφές ανά δευτερόλεπτο.

Σταθερή Συχνότητα Συμπίεστη (78 Hz)



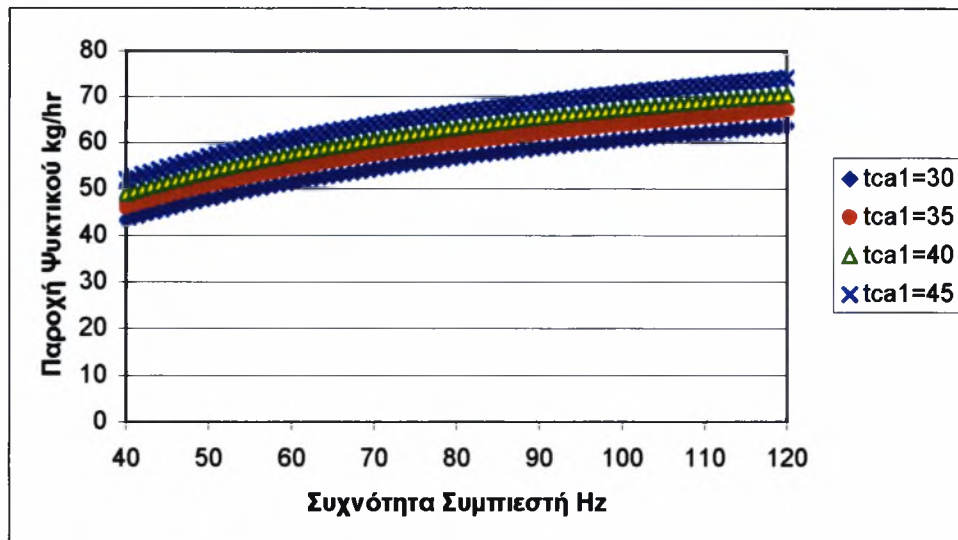
Διάγραμμα 4.4.6 : Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, για σταθερή συχνότητα συμπίεστη. Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει δυσμενέστερο ψυκτικό αποτέλεσμα.

4.5) Στα επόμενα διαγράμματα απεικονίζεται η μεταβολή των μεγεθών: q_{cond} , w_{comp} , COP , pc_{eq} , $tca2$ και xmf με σταθερή υπερθέρμανση 5 °C, συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για διάφορες εξωτερικές θερμοκρασίες (περίπτωση ψύξης).

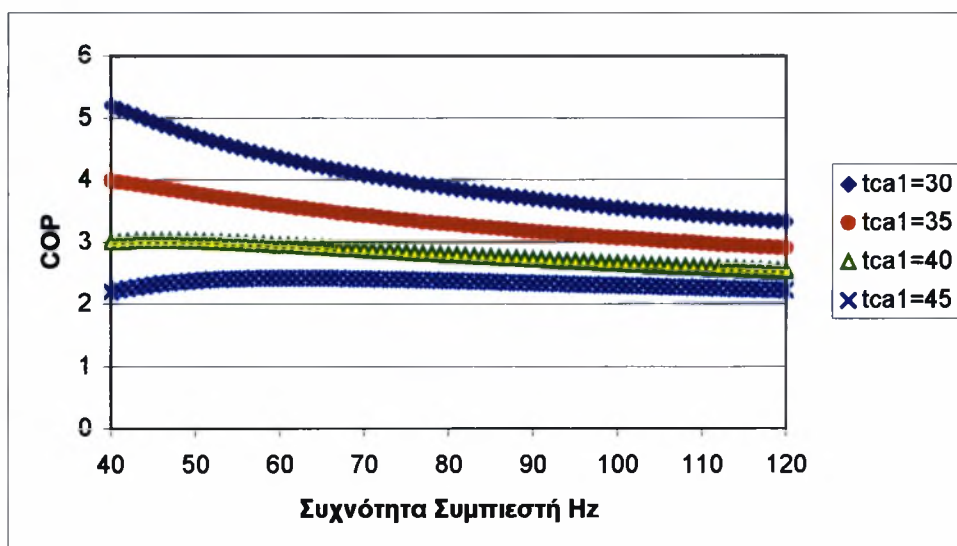


Διάγραμμα 4.5.1 : Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

Στο διάγραμμα 4.5.1, εκτός από την αναμενόμενη αύξηση του ψυκτικού φορτίου συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή, γίνεται καλύτερα αντιληπτή η μείωση των απολύτων τιμών του, κάθε φορά που αυξάνεται η εξωτερική θερμοκρασία. Γενικά, υπάρχει αντιστοιχία με τα αποτελέσματα που αφορούν την περίπτωση της θέρμανσης. Έτσι, μπορεί και εδώ να διακριθεί η γραμμικότητα στη σχέση μεταξύ συχνότητας και έργου του συμπιεστή (διάγραμμα 4.5.2), όπως επίσης και η σχεδόν πανομοιότυπη μεταβολή του συντελεστή απόδοσης (διάγραμμα 4.5.3). Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.2.3 και 4.5.3, γίνεται αντιληπτό ότι το τελευταίο αποτελεί μεγέθυνση ενός τμήματος - από περίπου 60 ως 90 Hz - του πρώτου.

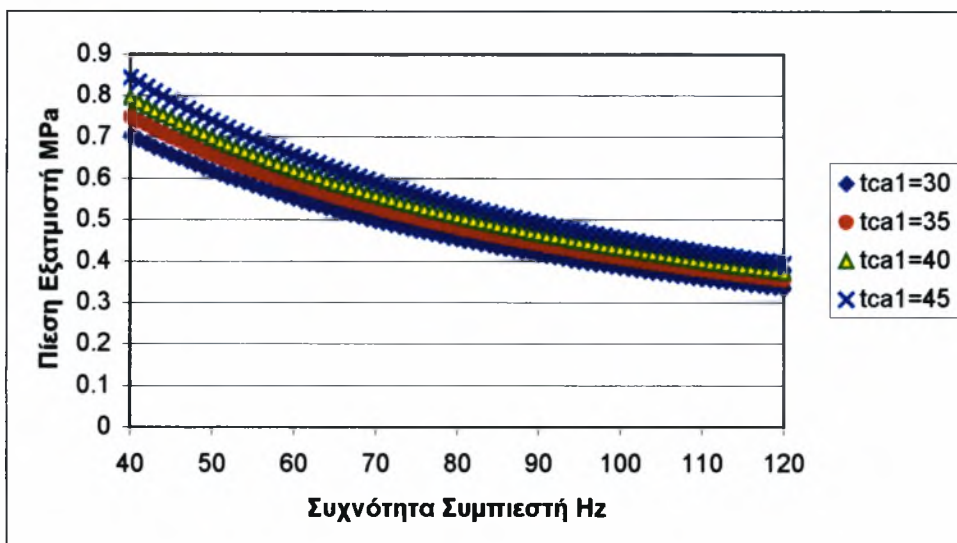


Διάγραμμα 4.5.2 : Μεταβολή του έργου συμπίεσης συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

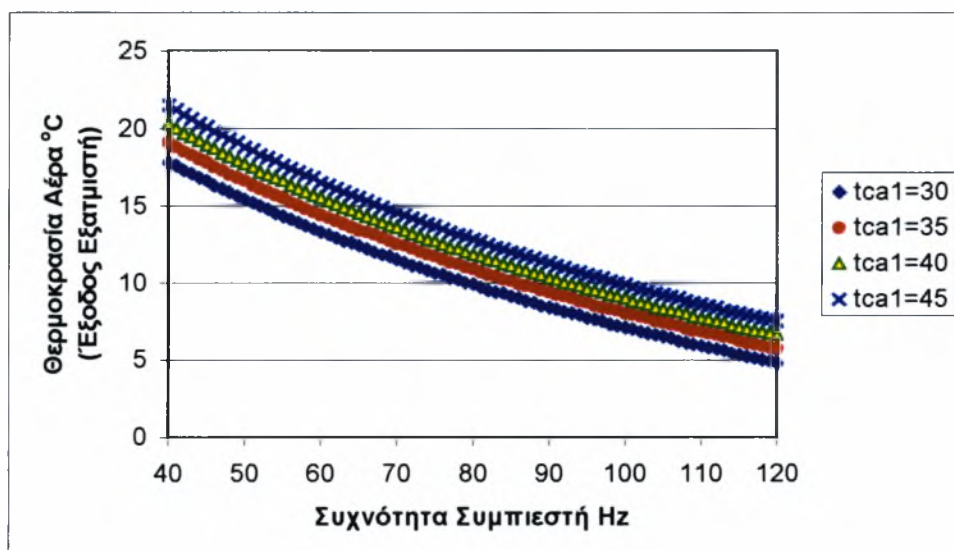


Διάγραμμα 4.5.3 : Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

Στο διάγραμμα 4.5.4, αναπαριστάται η μείωση της πίεσης ισορροπίας του ψυκτικού στον εξατμιστή (πίεση εξάτμισης).

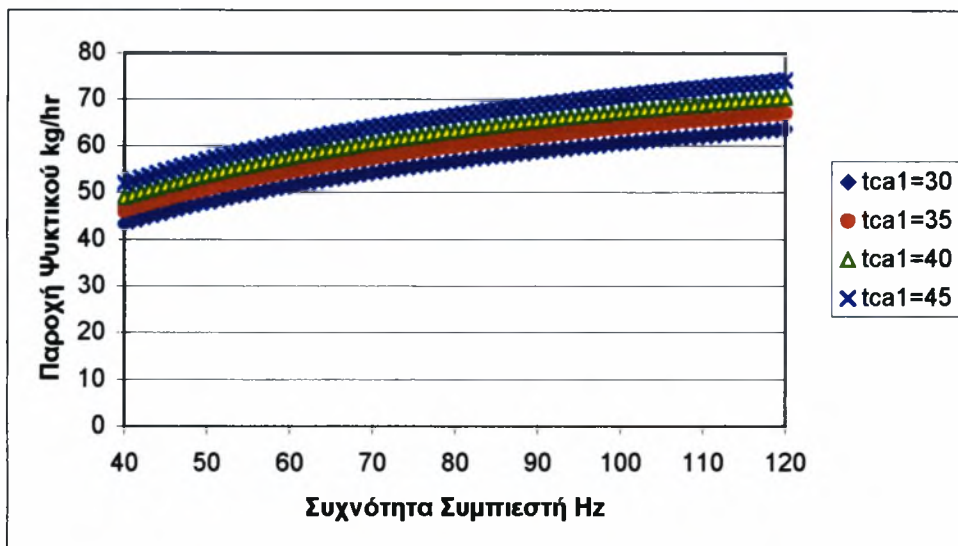


Διάγραμμα 4.5.4 : Μεταβολή της πίεσης του εξατμιστή συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.



Διάγραμμα 4.5.5 : Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

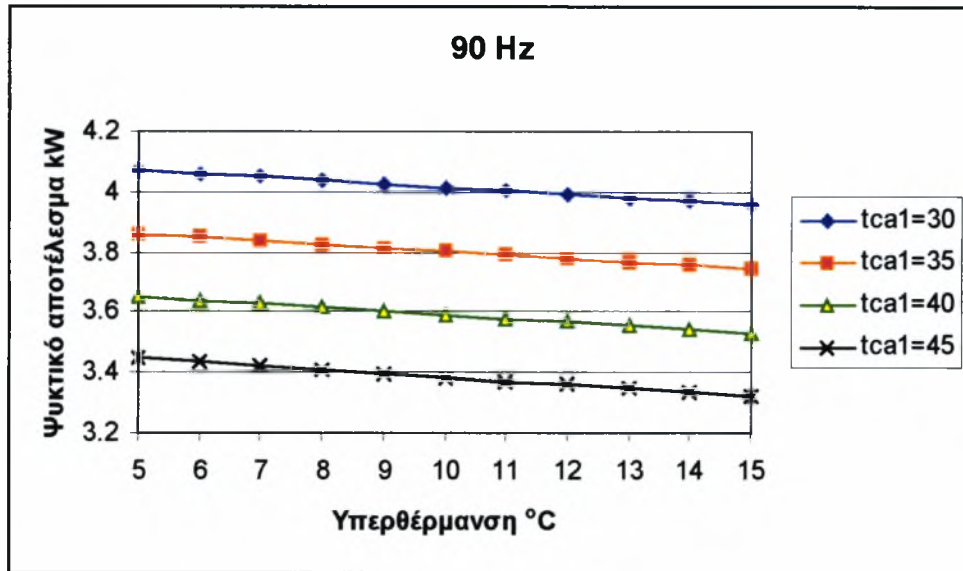
Στο διάγραμμα 4.5.5, παρατηρείται η επίδραση της συχνότητας του συμπιεστή και της εξωτερικής θερμοκρασίας, στη θερμοκρασία εξόδου του αέρα από τον εξατμιστή. Η μεταβολή της θερμοκρασίας αυτής, είναι αποτέλεσμα της μεταβολής του ψυκτικού φορτίου, το οποίο είναι ανάλογο της συχνότητας και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Έτσι, όσο το ψυκτικό φορτίο αυξάνεται, μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά στη γενική σχέση $Q = m c_p \Delta T$ που αφορά τον αέρα, οπότε ελαττώνεται η θερμοκρασία εξόδου του αέρα.



Διάγραμμα 4.5.6 : Μεταβολή της μαζικής παροχής του ψυκτικού συναρτήσει της συχνότητας του συμπιεστή για θερμοκρασίες περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

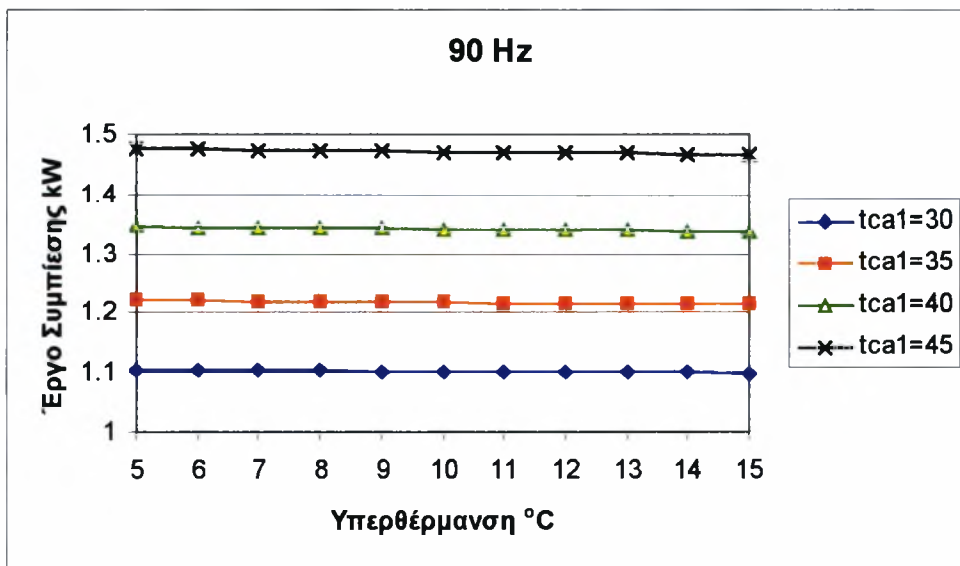
Στο διάγραμμα 4.5.6, φαίνεται η αναλογία της παροχής του ψυκτικού και της συχνότητας του συμπιεστή. Συγκρίνοντας το διάγραμμα αυτό, με το αντίστοιχο της θέρμανσης (4.2.6), διαπιστώνεται ότι, για την ίδια συχνότητα, οι τιμές στη ψύξη είναι μεγαλύτερες από αυτές στη θέρμανση. Το φαινόμενο αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού στον συμπιεστή, άρα και η πυκνότητά του, είναι διαφορετική για συνθήκες θέρμανσης και ψύξης. Μπορεί η μαζική παροχή να μεταβάλλεται, αλλά η ογκομετρική παροχή παραμένει σταθερή.

4.6) Στα διαγράμματα που ακολουθούν διακρίνεται η μεταβολή των μεγεθών: q_{cond} , w_{comp} , COP , pc_{eq} , $tca2$ και xmf για συχνότητα συμπιεστή 90 Hz, για υπερθέρμανση από 5 ως 15 °C και θερμοκρασίες περιβάλλοντος: 30, 35, 40 και 45 °C (περίπτωση ψύξης).

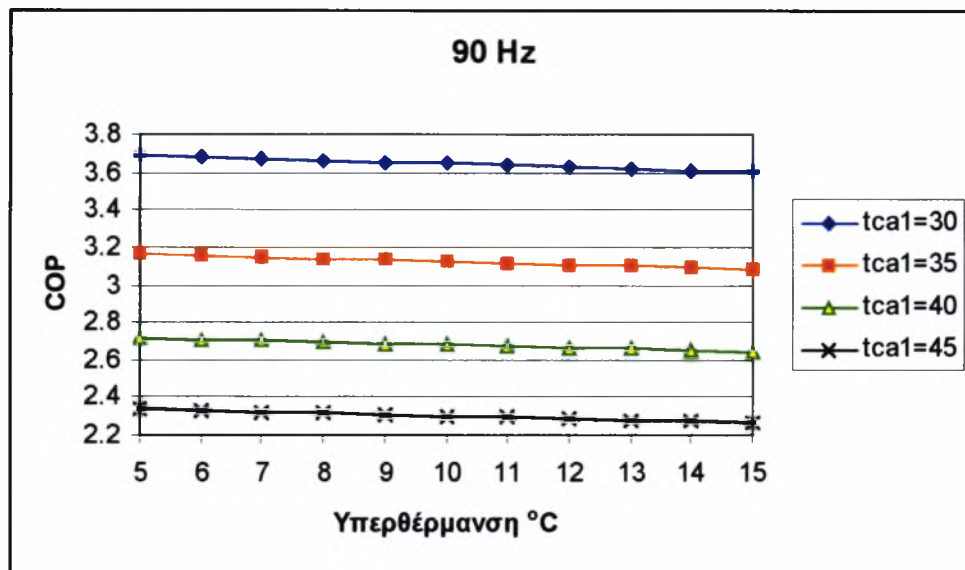


Διάγραμμα 4.6.1: Μεταβολή του ψυκτικού αποτελέσματος συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

Όπως και στην περίπτωση της θέρμανσης, έτσι και για την ψύξη, παρατηρείται μείωση του ψυκτικού αποτελέσματος με την αύξηση της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή (διάγραμμα 4.6.1). Η μείωση αυτή, είναι και εδώ μεγαλύτερη από τη μείωση του έργου συμπίεσης (διάγραμμα 4.6.2), με αποτέλεσμα την πτώση του συντελεστή απόδοσης της κλιματιστικής μονάδας (διάγραμμα 4.6.3).

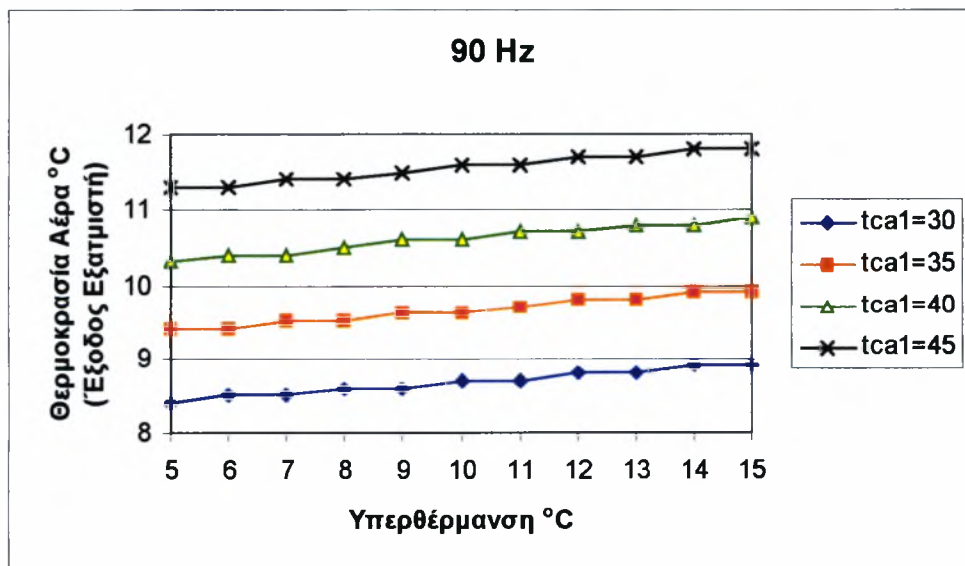


Διάγραμμα 4.6.2: Μεταβολή του έργου του συμπιεστή συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.



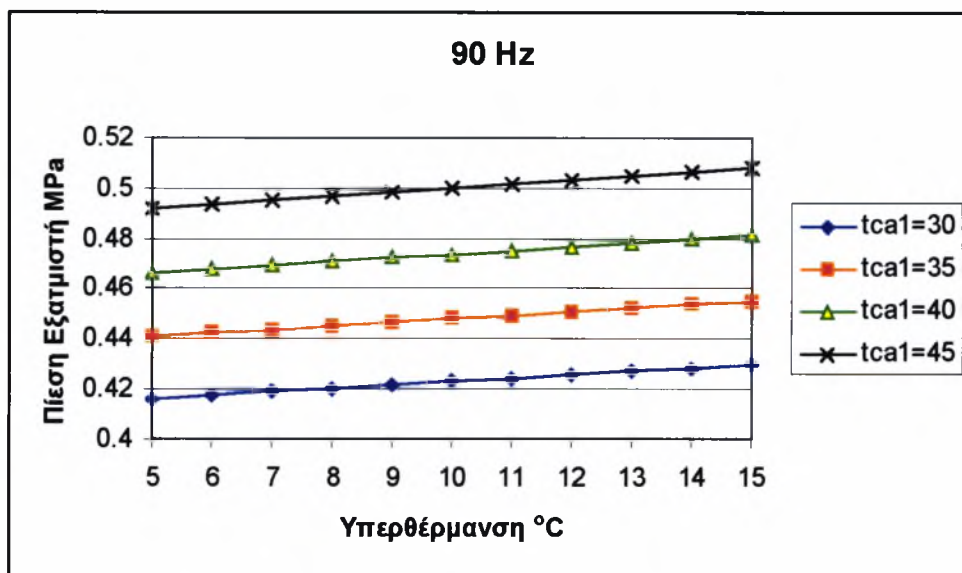
Διάγραμμα 4.6.3: Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

Η ελάττωση του ψυκτικού αποτελέσματος μεταφράζεται σε αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα, γεγονός που φαίνεται στο διάγραμμα 4.6.4 . Αν εφαρμοστεί η γενική εξίσωση μετάδοσης θερμότητας $Q = m c_p \Delta T$ για τον αέρα και θεωρήσουμε τη θερμοκρασία εισόδου του στον εξατμιστή, σταθερή, τότε μείωση του Q συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου.

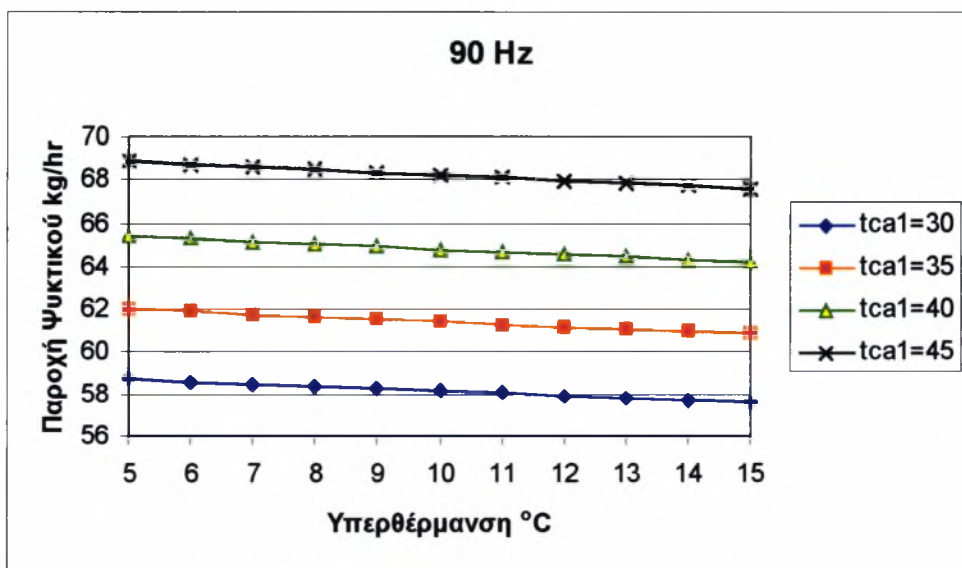


Διάγραμμα 4.6.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

Στα επόμενα διαγράμματα διακρίνεται η αύξηση της πίεσης ισορροπίας του ψυκτικού στον εξατμιστή (πίεση εξάτμισης) (4.6.5), καθώς και η πτώση της παροχής του ψυκτικού (4.6.6) συναρτήσει της υπερθέρμανσης.

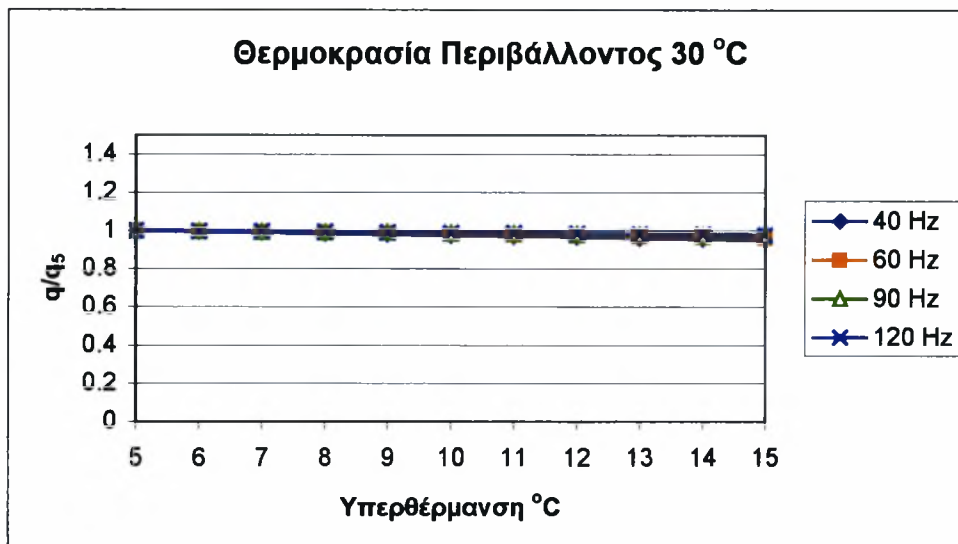


Διάγραμμα 4.6.5: Μεταβολή της πίεσης στον εξατμιστή συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

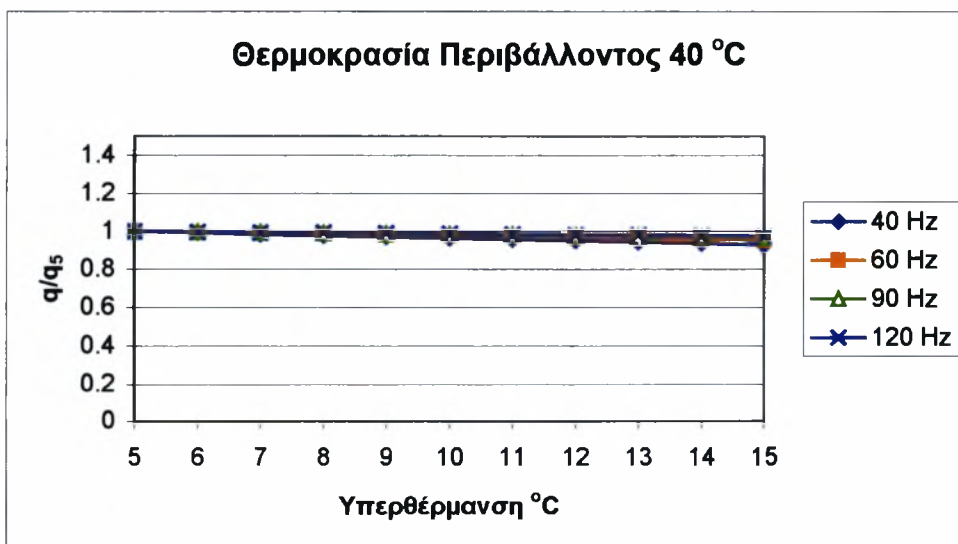


Διάγραμμα 4.6.6: Μεταβολή της μαζικής παροχής του ψυκτικού συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30, 35, 40 και 45 °C.

Παρόμοιες είναι οι μεταβολές των μεγεθών και για τις υπόλοιπες συχνότητες λειτουργίας του συμπιεστή. Αυτό που αποδεικνύει την ελάχιστη επιρροή της αλλαγής της συχνότητας, στην επίδραση της υπερθέρμανσης στα μεγέθη αυτά, είναι τα παρακάτω διαγράμματα (4.6.7 και 4.6.8). Όπως και στην περίπτωση της θέρμανσης, ο λόγος q/q_5 συμβολίζει το πηλίκο του εκάστοτε ψυκτικού αποτελέσματος q , προς αυτό που αντιστοιχεί σε υπερθέρμανση $5\text{ }^\circ\text{C}$, q_5 .



Διάγραμμα 4.6.7: Μεταβολή του λόγου q/q_5 συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για συχνότητες συμπιεστή 40, 60, 90 και 120 Hz και εξωτερική θερμοκρασία $30\text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 4.6.8: Μεταβολή του λόγου q/q_5 συναρτήσει της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, για συχνότητες συμπιεστή 40, 60, 90 και 120 Hz και εξωτερική θερμοκρασία $40\text{ }^\circ\text{C}$.

Οι τιμές του λόγου q/q_5 απέχουν ελάχιστα για τις διάφορες συχνότητες, επηρεάζοντας εξίσου ελάχιστα και τις μεταβολές των υπολοίπων μεγεθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτό που προκύπτει ως συμπέρασμα μετά το πέρας της εργασίας αυτής, είναι η ύπαρξη ενός μοντέλου, στο οποίο μπορεί να βασιστεί κάποιος για να προβλέψει τη συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας. Το μοντέλο αυτό, παρότι αναφέρεται σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας, αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο, που μπορεί να μην είναι τελείως ακριβές στις προβλέψεις των διαφόρων παραμέτρων, αλλά είναι ικανό να παρέχει ενδείξεις των τάσεων μεταβολής των μεγεθών συναρτήσει των μεταβλητών εισόδου. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να αποτελέσει προπομπό ενός πιο εξελιγμένου-και πιο ακριβούς- μοντέλου, που θα αφορά σε μεταβατικές συνθήκες λειτουργίας, και το οποίο θα επιφέρει βελτιστοποίηση των αντλιών θερμότητας, τόσο στο σχεδιασμό των εναλλακτών θερμότητας όσο και στο σύστημα ελέγχου λειτουργίας του κύκλου (π.χ. σύστημα *inverter*, που ελέγχει τη διεργασία συμπίεσης μέσω των στροφών του συμπιεστή).

Όσο αφορά, τώρα, το καθαρά υπολογιστικό μέρος των αποτελεσμάτων, μπορεί να λεχθεί ότι, το μοντέλο έρχεται να επιβεβαιώσει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές εργασίες που προηγήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώνεται ότι η **συχνότητα λειτουργίας του συμπιεστή** αποτελεί το ρυθμιστικό παράγοντα, από τον οποίο εξαρτάται το σύνολο των μετρούμενων μεγεθών (Πανούτσος, 1999). Έτσι, αύξηση της συχνότητας οδηγεί σε:

(συνθήκες θέρμανσης)

- αύξηση της θερμότητας προς διάθεση,
- αύξηση του έργου συμπίεσης,
- αύξηση του συντελεστή απόδοσης για πολύ χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες και σταδιακή μείωσή του για υψηλότερες,
- αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα,
- αύξηση της πίεσης του συμπυκνωτή,
- αύξηση της μαζικής παροχής του ψυκτικού,

(συνθήκες ψύξης)

- αύξηση του ψυκτικού αποτελέσματος,
- αύξηση του έργου συμπίεσης,
- αύξηση του συντελεστή απόδοσης για πολύ υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες και σταδιακή μείωσή του για χαμηλότερες,
- πτώση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα,
- πτώση της πίεσης του εξατμιστή,
- αύξηση της μαζικής παροχής του ψυκτικού.

Επίσης, διαπιστώθηκε η έντονη εξάρτηση των μεγεθών από τη **θερμοκρασία του περιβάλλοντος**. Έτσι, αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού χώρου προκαλεί:

(συνθήκες θέρμανσης)

- αύξηση της θερμότητας προς διάθεση,
- αύξηση του έργου συμπίεσης,
- αύξηση του συντελεστή απόδοσης,
- αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα,
- αύξηση της πίεσης του συμπυκνωτή,
- αύξηση της μαζικής παροχής του ψυκτικού,

(συνθήκες ψύξης)

- μείωση του ψυκτικού αποτελέσματος,
- αύξηση του έργου συμπίεσης,
- μείωση του συντελεστή απόδοσης,
- αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα,
- αύξηση της πίεσης του εξατμιστή,
- αύξηση της μαζικής παροχής του ψυκτικού.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος της επίδρασης της **υπερθέρμανσης** στην έξοδο του εξατμιστή, που μπορεί γενικά να χαρακτηριστεί ασθενής. Από αυτόν, εξήχθη το συμπέρασμα ότι αύξηση της υπερθέρμανσης προξενεί:

(συνθήκες θέρμανσης)

- πτώση της θερμότητας προς διάθεση,
- πτώση του έργου συμπίεσης,
- πτώση του συντελεστή απόδοσης,
- πτώση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα,
- πτώση της πίεσης του συμπυκνωτή,
- πτώση της μαζικής παροχής του ψυκτικού,

(συνθήκες ψύξης)

- πτώση του ψυκτικού αποτελέσματος,
- πτώση του έργου συμπίεσης,
- πτώση του συντελεστή απόδοσης,
- αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από την εσωτερική μονάδα,
- αύξηση της πίεσης του εξατμιστή,
- πτώση της μαζικής παροχής του ψυκτικού.

5.2

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το παρόν μοντέλο παρουσιάζει κάποιες ατέλειες, οι οποίες δύναται να καλυφθούν μέσω της εκπόνησης νέων διπλωματικών εργασιών. Στις εργασίες αυτές θα πρέπει:

- Να πραγματοποιηθεί λεπτομερείς σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές εργασίες που αφορούσαν την αντλία θερμότητας.
- Να γίνει μοντελοποίηση της βαλβίδας εκτόνωσης βάσει του άρθρου των Melo et al.,(1992).
- Να επεκταθεί η προσομοίωση του συμπυκνωτή από δύο σε τρία τμήματα βάσει του άρθρου των Martins Costa και Parise, (1993).
- Να γίνει ακριβής προσδιορισμός του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας των εναλλακτών θερμότητας, μέσω του υπολογισμού των συντελεστών συναγωγής από τη μεριά του ψυκτικού και από την μεριά του αέρα(Κακαρ,1991).
- Να γίνει προσπάθεια εισαγωγής του χρονικού παράγοντα στις μαθηματικές σχέσεις του μοντέλου, ώστε να προσομοιάζει και τις μεταβατικές συνθήκες λειτουργίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Herbas, T. B., Berling, E. C., Uriu, C. A. T., Marques, R. P. and Parise, J. A. R., 'Steady-state simulation of vapour-compression heat pumps', *International Journal of Energy Research*, Vol. 17, pp. 801-816, 1993.
- Kakaç, S., *Boilers, Evaporators and Condensers*, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- Martins Costa, M. L. and Parise, J. A. R., 'A three-zone simulation model for air-cooled condensers', *Journal of Heat Recovery Systems & CHP*, vol. 13, No. 2, pp 97-113, 1993.
- Melo, C., Ferreira, R. T. S. and Pereira, R. H., 'Modelling adiabatic capillary tubes: a critical analysis', *Proceedings of the 1992 International Refrigeration Conference – Energy Efficiency and New Refrigerants*, 14-17 July 1992, Purdue University, West Lafayette, Indiana, Vol. 1, pp. 113-122, 1992.
- Panasonic, *Service Manual of CS/CU-G120KE Room Air Conditioner*, Matsushita Air - Conditioning Corp. Sdn. Bhd., Malaysia, 1996.
- Ασημακόπουλου, Δ. Α., *Εργαστήριο Θερμάνσεως - Ψύξεως – Κλιματισμού*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα , 1997.
- Βλαχογιάννης, Μ., Πανούτσος, Χρ., Μποντόζογλου, Β. & Σταματέλλος, Α., 1999, 'Πειραματική και υπολογιστική διερεύνηση χαρακτηριστικών λειτουργίας αντλίας θερμότητας', *6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ηλιακής Τεχνικής*, Βόλος, Νοέμβριος 1999.
- Πανούτσος Χρ., *Πειραματική Μελέτη Αντλίας Θερμότητας σε Λειτουργία Θέρμανσης και Ψύξης* , Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φυσικών και Χημικών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 1999.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Α : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΣΤΑΘΕΡΗ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ 5 °C**

freq	teva1	qcond	wcomp	cop	tca2	pc_eq	xmf
40	0	0.81	0.265	3.056	23.7	1032651	0.0077933
41	0	0.877	0.277	3.167	24	1045298	0.0079082
42	0	0.943	0.289	3.265	24.3	1057943	0.0080208
43	0	1.009	0.301	3.353	24.6	1070561	0.0081312
44	0	1.075	0.313	3.432	24.9	1083160	0.0082394
45	0	1.139	0.325	3.502	25.2	1095727	0.0083455
46	0	1.204	0.338	3.565	25.5	1108275	0.0084496
47	0	1.268	0.35	3.621	25.8	1120810	0.0085518
48	0	1.331	0.363	3.671	26.1	1133302	0.0086521
49	0	1.393	0.375	3.715	26.4	1145765	0.0087506
50	0	1.455	0.388	3.755	26.6	1158177	0.0088474
51	0	1.517	0.4	3.791	26.9	1170569	0.0089425
52	0	1.578	0.413	3.822	27.2	1182923	0.009036
53	0	1.639	0.425	3.851	27.5	1195261	0.0091278
54	0	1.698	0.438	3.876	27.8	1207544	0.0092182
55	0	1.758	0.451	3.898	28	1219789	0.0093071
56	0	1.817	0.464	3.918	28.3	1231998	0.0093946
57	0	1.875	0.476	3.935	28.6	1244173	0.0094806
58	0	1.933	0.489	3.95	28.8	1256332	0.0095654
59	0	1.99	0.502	3.964	29.1	1268396	0.0096489
60	0	2.047	0.515	3.975	29.3	1280442	0.009731
61	0	2.103	0.528	3.985	29.6	1292484	0.0098121
62	0	2.159	0.541	3.994	29.9	1304449	0.0098918
63	0	2.214	0.554	4.001	30.1	1316353	0.0099705
64	0	2.269	0.566	4.006	30.4	1328235	0.010048
65	0	2.324	0.579	4.011	30.6	1340059	0.0101244
66	0	2.378	0.592	4.015	30.9	1351867	0.0101998
67	0	2.431	0.605	4.018	31.1	1363645	0.0102741
68	0	2.484	0.618	4.02	31.3	1375325	0.0103474
69	0	2.536	0.631	4.021	31.6	1386982	0.0104199
70	0	2.589	0.644	4.021	31.8	1398627	0.0104913
71	0	2.64	0.657	4.021	32.1	1410206	0.0105618
72	0	2.692	0.669	4.021	32.3	1421747	0.0106314
73	0	2.742	0.682	4.019	32.5	1433207	0.0107002
74	0	2.793	0.695	4.017	32.8	1444695	0.010768
75	0	2.843	0.708	4.015	33	1456108	0.0108351
76	0	2.892	0.721	4.013	33.2	1467473	0.0109014
77	0	2.942	0.734	4.009	33.4	1478809	0.0109669
78	0	2.99	0.746	4.006	33.7	1490086	0.0110315
79	0	3.039	0.759	4.002	33.9	1501326	0.0110954
80	0	3.087	0.772	3.998	34.1	1512527	0.0111586
81	0	3.134	0.785	3.994	34.3	1523691	0.0112212
82	0	3.182	0.798	3.989	34.5	1534800	0.0112829
83	0	3.229	0.81	3.985	34.7	1545873	0.011344
84	0	3.275	0.823	3.98	35	1556910	0.0114044
85	0	3.321	0.836	3.974	35.2	1567896	0.0114642
86	0	3.367	0.848	3.969	35.4	1578829	0.0115235
87	0	3.413	0.861	3.963	35.6	1589767	0.0115818
88	0	3.458	0.874	3.958	35.8	1600634	0.0116397
89	0	3.503	0.886	3.952	36	1611466	0.011697
90	0	3.547	0.899	3.946	36.2	1622259	0.0117537
91	0	3.591	0.912	3.94	36.4	1633018	0.0118098
92	0	3.635	0.924	3.934	36.6	1643725	0.0118654
93	0	3.679	0.937	3.928	36.8	1654402	0.0119204
94	0	3.722	0.949	3.921	37	1665050	0.0119749
95	0	3.765	0.962	3.915	37.2	1675642	0.012029
96	0	3.808	0.974	3.909	37.4	1686193	0.0120823
97	0	3.85	0.987	3.902	37.6	1696714	0.0121353

freq	teva1	qcond	wcomp	cop	tca2	pc_eq	xmf
98	0	3.892	0.999	3.896	37.8	1707196	0.0121877
99	0	3.934	1.012	3.889	38	1717641	0.0122396
100	0	3.975	1.024	3.882	38.2	1728048	0.0122911
101	0	4.016	1.036	3.876	38.3	1738425	0.0123421
102	0	4.057	1.049	3.869	38.5	1748753	0.0123927
103	0	4.098	1.061	3.862	38.7	1759011	0.012443
104	0	4.138	1.073	3.856	38.9	1769317	0.0124924
105	0	4.178	1.086	3.849	39.1	1779538	0.0125417
106	0	4.218	1.098	3.842	39.3	1789732	0.0125904
107	0	4.258	1.11	3.836	39.4	1799862	0.0126389
108	0	4.297	1.122	3.829	39.6	1810006	0.0126867
109	0	4.336	1.134	3.822	39.8	1820090	0.0127343
110	0	4.375	1.147	3.816	40	1830136	0.0127813
111	0	4.414	1.159	3.809	40.2	1840220	0.012828
112	0	4.452	1.171	3.802	40.3	1850143	0.0128746
113	0	4.49	1.183	3.796	40.5	1860095	0.0129206
114	0	4.528	1.195	3.789	40.7	1870012	0.0129662
115	0	4.566	1.207	3.782	40.8	1879840	0.0130119
116	0	4.603	1.219	3.776	41	1889742	0.0130564
117	0	4.64	1.231	3.769	41.2	1899549	0.013101
118	0	4.677	1.243	3.762	41.4	1909339	0.0131452
119	0	4.714	1.255	3.756	41.5	1919094	0.0131891
120	0	4.75	1.267	3.749	41.7	1928800	0.0132326
40	5	1.357	0.302	4.499	26.2	1148670	0.0083331
41	5	1.428	0.315	4.534	26.5	1162983	0.0084538
42	5	1.498	0.328	4.562	26.8	1177277	0.008572
43	5	1.568	0.342	4.585	27.2	1191545	0.0086878
44	5	1.637	0.355	4.604	27.5	1205786	0.0088013
45	5	1.705	0.369	4.619	27.8	1219995	0.0089127
46	5	1.773	0.383	4.63	28.1	1234182	0.0090219
47	5	1.84	0.397	4.638	28.4	1248322	0.0091291
48	5	1.906	0.41	4.644	28.7	1262434	0.0092343
49	5	1.972	0.424	4.647	29	1276487	0.0093376
50	5	2.037	0.438	4.648	29.3	1290522	0.0094391
51	5	2.102	0.452	4.647	29.6	1304496	0.0095388
52	5	2.166	0.466	4.645	29.9	1318432	0.0096369
53	5	2.229	0.48	4.641	30.2	1332348	0.0097332
54	5	2.292	0.494	4.636	30.5	1346186	0.009828
55	5	2.354	0.508	4.63	30.7	1360001	0.0099212
56	5	2.416	0.523	4.623	31	1373743	0.0100129
57	5	2.477	0.537	4.615	31.3	1387457	0.0101032
58	5	2.538	0.551	4.606	31.6	1401137	0.0101921
59	5	2.598	0.565	4.597	31.9	1414759	0.0102795
60	5	2.657	0.579	4.587	32.1	1428328	0.0103657
61	5	2.716	0.593	4.577	32.4	1441855	0.0104506
62	5	2.774	0.608	4.566	32.7	1455283	0.0105343
63	5	2.832	0.622	4.555	32.9	1468704	0.0106167
64	5	2.89	0.636	4.543	33.2	1482090	0.010698
65	5	2.947	0.65	4.532	33.5	1495380	0.0107781
66	5	3.003	0.664	4.52	33.7	1508666	0.0108571
67	5	3.059	0.679	4.508	34	1521907	0.0109351
68	5	3.114	0.693	4.495	34.2	1535040	0.011012
69	5	3.169	0.707	4.483	34.5	1548172	0.0110879
70	5	3.224	0.721	4.47	34.7	1561217	0.0111628
71	5	3.278	0.735	4.457	35	1574245	0.0112366
72	5	3.331	0.75	4.445	35.2	1587205	0.0113097
73	5	3.384	0.764	4.432	35.5	1600150	0.0113818
74	5	3.437	0.778	4.419	35.7	1612997	0.0114529
75	5	3.489	0.792	4.406	35.9	1625815	0.0115232
76	5	3.541	0.806	4.393	36.2	1638582	0.0115927

freq	teva1	qcond	wcomp	cop	tca2	pc_eq	xmf
77	5	3.592	0.82	4.381	36.4	1651303	0.0116613
78	5	3.643	0.834	4.368	36.6	1663949	0.0117292
79	5	3.694	0.848	4.355	36.9	1676593	0.0117962
80	5	3.744	0.862	4.342	37.1	1689179	0.0118624
81	5	3.794	0.876	4.33	37.3	1701671	0.011928
82	5	3.843	0.89	4.317	37.5	1714149	0.0119927
83	5	3.892	0.904	4.305	37.8	1726612	0.0120568
84	5	3.941	0.918	4.292	38	1738983	0.0121202
85	5	3.989	0.932	4.28	38.2	1751317	0.0121828
86	5	4.037	0.946	4.267	38.4	1763605	0.012245
87	5	4.085	0.96	4.255	38.7	1775842	0.0123062
88	5	4.132	0.974	4.243	38.9	1788042	0.0123669
89	5	4.178	0.988	4.231	39.1	1800190	0.012427
90	5	4.225	1.001	4.219	39.3	1812259	0.0124866
91	5	4.271	1.015	4.207	39.5	1824347	0.0125454
92	5	4.317	1.029	4.195	39.7	1836365	0.0126037
93	5	4.362	1.043	4.184	39.9	1848318	0.0126614
94	5	4.407	1.056	4.172	40.1	1860256	0.0127185
95	5	4.452	1.07	4.161	40.3	1872119	0.0127753
96	5	4.497	1.084	4.149	40.5	1883973	0.0128313
97	5	4.541	1.097	4.138	40.7	1895780	0.0128867
98	5	4.585	1.111	4.127	40.9	1907492	0.012942
99	5	4.628	1.125	4.115	41.1	1919193	0.0129966
100	5	4.672	1.138	4.104	41.3	1930880	0.0130503
101	5	4.715	1.152	4.094	41.5	1942519	0.0131038
102	5	4.757	1.165	4.083	41.7	1954101	0.0131568
103	5	4.8	1.179	4.072	41.9	1965608	0.0132095
104	5	4.842	1.192	4.061	42.1	1977077	0.0132618
105	5	4.884	1.206	4.051	42.3	1988591	0.0133131
106	5	4.925	1.219	4.041	42.5	2000060	0.0133641
107	5	4.967	1.232	4.03	42.7	2011385	0.013415
108	5	5.008	1.246	4.02	42.9	2022714	0.0134654
109	5	5.048	1.259	4.01	43.1	2034050	0.0135152
110	5	5.089	1.272	4	43.2	2045286	0.0135647
111	5	5.129	1.286	3.99	43.4	2056495	0.0136139
112	5	5.169	1.299	3.98	43.6	2067674	0.0136625
113	5	5.209	1.312	3.97	43.8	2078823	0.0137108
114	5	5.248	1.325	3.961	44	2089930	0.0137587
115	5	5.288	1.338	3.951	44.1	2100989	0.0138062
116	5	5.327	1.351	3.941	44.3	2112017	0.0138533
117	5	5.365	1.365	3.932	44.5	2123012	0.0139001
118	5	5.404	1.378	3.923	44.7	2133963	0.0139466
119	5	5.442	1.391	3.914	44.9	2144876	0.0139926
120	5	5.48	1.404	3.904	45	2155758	0.0140383
40	10	1.914	0.342	5.592	28.7	1275189	0.0088943
41	10	1.988	0.357	5.568	29.1	1291354	0.0090208
42	10	2.062	0.372	5.543	29.4	1307489	0.0091448
43	10	2.135	0.387	5.517	29.7	1323590	0.0092662
44	10	2.207	0.402	5.49	30.1	1339647	0.0093853
45	10	2.279	0.417	5.463	30.4	1355670	0.009502
46	10	2.35	0.432	5.435	30.7	1371657	0.0096165
47	10	2.421	0.448	5.407	31.1	1387586	0.0097289
48	10	2.49	0.463	5.378	31.4	1403474	0.0098391
49	10	2.559	0.478	5.349	31.7	1419320	0.0099474
50	10	2.628	0.494	5.321	32	1435102	0.0100538
51	10	2.695	0.509	5.292	32.3	1450838	0.0101583
52	10	2.762	0.525	5.264	32.6	1466520	0.010261
53	10	2.829	0.54	5.236	32.9	1482171	0.0103619
54	10	2.895	0.556	5.208	33.2	1497736	0.0104612
55	10	2.96	0.571	5.18	33.5	1513269	0.0105589

freq	teva1	qcond	wcomp	cop	tca2	pc_eq	xmf
56	10	3.025	0.587	5.153	33.8	1528734	0.010655
57	10	3.089	0.603	5.125	34.1	1544142	0.0107496
58	10	3.152	0.618	5.098	34.4	1559473	0.0108427
59	10	3.215	0.634	5.072	34.7	1574767	0.0109343
60	10	3.277	0.649	5.046	35	1590028	0.0110246
61	10	3.339	0.665	5.02	35.2	1605195	0.0111135
62	10	3.4	0.681	4.994	35.5	1620292	0.0112011
63	10	3.46	0.696	4.969	35.8	1635379	0.0112875
64	10	3.52	0.712	4.945	36.1	1650386	0.0113726
65	10	3.58	0.728	4.92	36.3	1665336	0.0114566
66	10	3.639	0.743	4.896	36.6	1680212	0.0115394
67	10	3.697	0.759	4.872	36.9	1695009	0.011621
68	10	3.755	0.774	4.849	37.1	1709794	0.0117016
69	10	3.812	0.79	4.826	37.4	1724496	0.011781
70	10	3.869	0.805	4.804	37.7	1739141	0.0118594
71	10	3.926	0.821	4.781	37.9	1753745	0.0119369
72	10	3.982	0.837	4.759	38.2	1768286	0.0120135
73	10	4.037	0.852	4.738	38.4	1782756	0.0120889
74	10	4.092	0.868	4.717	38.7	1797153	0.0121635
75	10	4.147	0.883	4.696	38.9	1811560	0.0122372
76	10	4.2	0.898	4.675	39.2	1825814	0.01231
77	10	4.254	0.914	4.655	39.4	1840110	0.0123819
78	10	4.307	0.929	4.635	39.7	1854283	0.0124529
79	10	4.36	0.945	4.615	39.9	1868387	0.0125232
80	10	4.413	0.96	4.596	40.1	1882504	0.0125926
81	10	4.465	0.975	4.577	40.4	1896572	0.012661
82	10	4.516	0.991	4.558	40.6	1910496	0.0127291
83	10	4.567	1.006	4.54	40.9	1924412	0.0127962
84	10	4.618	1.021	4.521	41.1	1938251	0.0128627
85	10	4.668	1.037	4.504	41.3	1952059	0.0129284
86	10	4.718	1.052	4.486	41.5	1965835	0.0129933
87	10	4.768	1.067	4.469	41.8	1979534	0.0130576
88	10	4.817	1.082	4.452	42	1993211	0.0131212
89	10	4.866	1.097	4.435	42.2	2006779	0.0131842
90	10	4.914	1.112	4.418	42.4	2020315	0.0132466
91	10	4.962	1.127	4.402	42.7	2033811	0.0133083
92	10	5.01	1.142	4.386	42.9	2047246	0.0133695
93	10	5.057	1.157	4.37	43.1	2060641	0.0134299
94	10	5.105	1.172	4.354	43.3	2073997	0.0134897
95	10	5.151	1.187	4.339	43.5	2087280	0.0135492
96	10	5.198	1.202	4.323	43.7	2100507	0.0136079
97	10	5.244	1.217	4.308	43.9	2113696	0.0136661
98	10	5.29	1.232	4.294	44.2	2126833	0.0137236
99	10	5.335	1.247	4.279	44.4	2139923	0.0137809
100	10	5.38	1.262	4.265	44.6	2152969	0.0138375
101	10	5.425	1.276	4.25	44.8	2165959	0.0138936
102	10	5.469	1.291	4.236	45	2178901	0.0139492
103	10	5.514	1.306	4.222	45.2	2191786	0.0140043
104	10	5.558	1.32	4.209	45.4	2204659	0.0140589
105	10	5.601	1.335	4.195	45.6	2217466	0.014113
106	10	5.645	1.35	4.182	45.8	2230224	0.0141667
107	10	5.688	1.364	4.169	46	2242952	0.0142201
108	10	5.73	1.379	4.156	46.2	2255614	0.0142727
109	10	5.773	1.393	4.143	46.4	2268245	0.0143254
110	10	5.815	1.408	4.131	46.6	2280873	0.0143769
111	10	5.857	1.422	4.118	46.7	2293380	0.0144285
112	10	5.899	1.437	4.106	46.9	2305828	0.0144797
113	10	5.94	1.451	4.094	47.1	2318331	0.01453
114	10	5.982	1.465	4.082	47.3	2330726	0.0145804
115	10	6.022	1.48	4.07	47.5	2342990	0.0146307

freq	teva1	qcond	wcomp	cop	tca2	pc_eq	xmf
116	10	6.063	1.494	4.058	47.7	2355407	0.0146796
117	10	6.104	1.508	4.047	47.9	2367684	0.0147287
118	10	6.144	1.522	4.036	48.1	2379929	0.0147776
119	10	6.184	1.537	4.024	48.2	2392109	0.0148257
120	10	6.224	1.551	4.013	48.4	2404299	0.0148735
40	15	2.479	0.387	6.406	31.3	1413093	0.0094776
41	15	2.557	0.403	6.339	31.7	1431298	0.0096102
42	15	2.634	0.42	6.273	32	1449463	0.0097401
43	15	2.711	0.437	6.21	32.4	1467582	0.0098673
44	15	2.787	0.453	6.149	32.7	1485647	0.009992
45	15	2.862	0.47	6.09	33.1	1503668	0.0101142
46	15	2.937	0.487	6.032	33.4	1521632	0.0102341
47	15	3.011	0.504	5.976	33.7	1539537	0.0103518
48	15	3.084	0.521	5.922	34.1	1557392	0.0104673
49	15	3.156	0.538	5.87	34.4	1575176	0.0105807
50	15	3.228	0.555	5.819	34.7	1592912	0.010692
51	15	3.298	0.572	5.77	35.1	1610580	0.0108014
52	15	3.369	0.589	5.721	35.4	1628183	0.0109089
53	15	3.438	0.606	5.675	35.7	1645709	0.0110146
54	15	3.507	0.623	5.629	36	1663181	0.0111185
55	15	3.575	0.64	5.585	36.3	1680595	0.0112208
56	15	3.643	0.657	5.542	36.6	1697921	0.0113213
57	15	3.71	0.674	5.501	36.9	1715215	0.0114203
58	15	3.776	0.692	5.46	37.2	1732400	0.0115177
59	15	3.842	0.709	5.42	37.5	1749555	0.0116137
60	15	3.907	0.726	5.382	37.8	1766620	0.0117082
61	15	3.971	0.743	5.344	38.1	1783624	0.0118013
62	15	4.035	0.76	5.308	38.4	1800534	0.011893
63	15	4.098	0.777	5.272	38.7	1817418	0.0119834
64	15	4.161	0.794	5.237	39	1834191	0.0120725
65	15	4.223	0.812	5.203	39.3	1850937	0.0121603
66	15	4.284	0.829	5.17	39.6	1867580	0.0122469
67	15	4.345	0.846	5.138	39.8	1884198	0.0123324
68	15	4.406	0.863	5.106	40.1	1900676	0.0124168
69	15	4.466	0.88	5.075	40.4	1917131	0.0125
70	15	4.525	0.897	5.045	40.7	1933528	0.0125821
71	15	4.584	0.914	5.015	40.9	1949832	0.0126632
72	15	4.642	0.931	4.987	41.2	1966119	0.0127432
73	15	4.7	0.948	4.958	41.5	1982278	0.0128222
74	15	4.757	0.965	4.931	41.7	1998400	0.0129003
75	15	4.814	0.982	4.904	42	2014475	0.0129774
76	15	4.871	0.999	4.877	42.2	2030482	0.0130536
77	15	4.927	1.016	4.851	42.5	2046371	0.0131289
78	15	4.982	1.032	4.826	42.8	2062254	0.0132033
79	15	5.037	1.049	4.801	43	2078050	0.0132768
80	15	5.092	1.066	4.777	43.3	2093781	0.0133496
81	15	5.146	1.083	4.753	43.5	2109440	0.0134214
82	15	5.2	1.099	4.73	43.7	2125044	0.0134925
83	15	5.253	1.116	4.707	44	2140585	0.0135627
84	15	5.306	1.133	4.684	44.2	2156067	0.0136323
85	15	5.359	1.149	4.662	44.5	2171496	0.013701
86	15	5.411	1.166	4.64	44.7	2186827	0.0137691
87	15	5.462	1.183	4.619	44.9	2202136	0.0138364
88	15	5.514	1.199	4.598	45.2	2217374	0.0139031
89	15	5.565	1.216	4.578	45.4	2232565	0.013969
90	15	5.615	1.232	4.558	45.6	2247700	0.0140342
91	15	5.665	1.248	4.538	45.9	2262720	0.0140989
92	15	5.715	1.265	4.519	46.1	2277723	0.0141629
93	15	5.764	1.281	4.5	46.3	2292659	0.0142262
94	15	5.814	1.297	4.481	46.5	2307544	0.014289

freq	teva1	qcond	wcomp	cop	tca2	pc_eq	xmf
95	15	5.862	1.314	4.462	46.8	2322352	0.0143511
96	15	5.911	1.33	4.444	47	2337138	0.0144127
97	15	5.959	1.346	4.427	47.2	2351852	0.0144737
98	15	6.006	1.362	4.409	47.4	2366561	0.014534
99	15	6.054	1.378	4.392	47.6	2381148	0.014594
100	15	6.101	1.395	4.375	47.9	2395685	0.0146533
101	15	6.148	1.411	4.358	48.1	2410183	0.014712
102	15	6.194	1.427	4.342	48.3	2424627	0.0147703
103	15	6.24	1.443	4.326	48.5	2439007	0.014828
104	15	6.286	1.459	4.31	48.7	2453336	0.0148852
105	15	6.331	1.474	4.294	48.9	2467617	0.0149419
106	15	6.377	1.49	4.279	49.1	2481855	0.014998
107	15	6.421	1.506	4.264	49.3	2496018	0.0150539
108	15	6.466	1.522	4.249	49.5	2510141	0.0151091
109	15	6.51	1.538	4.234	49.7	2524210	0.015164
110	15	6.554	1.553	4.219	49.9	2538228	0.0152183
111	15	6.598	1.569	4.205	50.1	2552204	0.0152722
112	15	6.642	1.585	4.191	50.3	2566124	0.0153257
113	15	6.685	1.6	4.177	50.5	2579985	0.0153787
114	15	6.728	1.616	4.163	50.7	2593807	0.0154314
115	15	6.771	1.631	4.15	50.9	2607581	0.0154835
116	15	6.813	1.647	4.137	51.1	2621195	0.0155358
117	15	6.855	1.662	4.124	51.3	2634984	0.0155867
118	15	6.897	1.678	4.111	51.5	2648605	0.0156377
119	15	6.939	1.693	4.098	51.7	2662186	0.0156883
120	15	6.98	1.709	4.085	51.9	2675709	0.0157385

**Β : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
ΓΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 90 Hz**

qcond

dtsh	teva1=0	teva1=5	teva1=10	teva1=15
5	3.547	4.225	4.914	5.615
6	3.534	4.212	4.9	5.601
7	3.522	4.199	4.887	5.587
8	3.509	4.186	4.873	5.573
9	3.497	4.173	4.86	5.559
10	3.485	4.16	4.847	5.546
11	3.472	4.147	4.834	5.532
12	3.46	4.135	4.821	5.519
13	3.448	4.123	4.808	5.506
14	3.437	4.11	4.796	5.492
15	3.425	4.098	4.783	5.479

wcomp

dtsh	teva1=0	teva1=5	teva1=10	teva1=15
5	0.899	1.001	1.112	1.232
6	0.898	1	1.111	1.23
7	0.897	0.999	1.11	1.229
8	0.896	0.998	1.108	1.227
9	0.894	0.996	1.107	1.226
10	0.893	0.995	1.105	1.224
11	0.892	0.994	1.104	1.223
12	0.891	0.993	1.103	1.221
13	0.89	0.992	1.101	1.22
14	0.889	0.99	1.1	1.218
15	0.888	0.989	1.099	1.217

COP

dtsh	teva1=0	teva1=5	teva1=10	teva1=15
5	3.946	4.219	4.418	4.558
6	3.937	4.211	4.411	4.552
7	3.928	4.203	4.404	4.546
8	3.918	4.195	4.398	4.541
9	3.909	4.188	4.391	4.535
10	3.901	4.18	4.385	4.53
11	3.892	4.173	4.378	4.524
12	3.883	4.165	4.372	4.519
13	3.874	4.158	4.366	4.513
14	3.866	4.151	4.36	4.508
15	3.857	4.143	4.354	4.503

pc_eq

dtsh	teva1=0	teva1=5	teva1=10	teva1=15
5	1622259	1812259	2020315	2247700
6	1616249	1805525	2012679	2239047
7	1610286	1798779	2005088	2230581
8	1604382	1792121	1997584	2222106
9	1598531	1785538	1990162	2213757
10	1592737	1778971	1982795	2205481
11	1586994	1772479	1975488	2197260
12	1581302	1766056	1968271	2189128
13	1575656	1759698	1961076	2181074
14	1570067	1753362	1953964	2172985
15	1564506	1747093	1946935	2165118

tca2					
dtsh	teva1=0	teva1=5	teva1=10	teva1=15	
5	36.2	39.3	42.4	45.6	
6	36.1	39.2	42.4	45.6	
7	36.1	39.2	42.3	45.5	
8	36	39.1	42.3	45.4	
9	36	39.1	42.2	45.4	
10	35.9	39	42.1	45.3	
11	35.9	38.9	42.1	45.3	
12	35.8	38.9	42	45.2	
13	35.7	38.8	42	45.1	
14	35.7	38.8	41.9	45.1	
15	35.6	38.7	41.8	45	

xmf					
dtsh	teva1=0	teva1=5	teva1=10	teva1=15	
5	42.31	44.95	47.68	50.52	
6	42.2	44.83	47.56	50.39	
7	42.09	44.72	47.44	50.27	
8	41.99	44.61	47.32	50.14	
9	41.88	44.5	47.21	50.02	
10	41.78	44.39	47.09	49.89	
11	41.67	44.28	46.97	49.77	
12	41.57	44.17	46.86	49.65	
13	41.47	44.06	46.74	49.53	
14	41.37	43.95	46.63	49.41	
15	41.26	43.84	46.52	49.29	

**Γ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΣΤΑΘΕΡΗ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ 5 °C**

freq	tca1	qevap	wcomp	cop	teva2	pev_eq	xmf
40	30	2.012	0.387	5.202	17.8	702052.1	0.0120141
41	30	2.068	0.402	5.144	17.6	692756.4	0.0121545
42	30	2.123	0.417	5.088	17.3	683690.4	0.0122913
43	30	2.178	0.433	5.034	17.1	674836.9	0.0124244
44	30	2.231	0.448	4.982	16.8	666192.6	0.0125539
45	30	2.284	0.463	4.932	16.6	657748.8	0.0126801
46	30	2.336	0.478	4.884	16.3	649502.8	0.0128031
47	30	2.388	0.494	4.837	16.1	641449.1	0.012923
48	30	2.439	0.509	4.792	15.9	633579.3	0.01304
49	30	2.489	0.524	4.748	15.6	625891.1	0.0131541
50	30	2.538	0.539	4.706	15.4	618377.7	0.0132655
51	30	2.587	0.555	4.665	15.2	611033.8	0.0133743
52	30	2.635	0.57	4.625	15	603855.3	0.0134806
53	30	2.682	0.585	4.587	14.8	596836.1	0.0135845
54	30	2.729	0.6	4.55	14.5	589971.8	0.013686
55	30	2.775	0.615	4.513	14.3	583258.4	0.0137853
56	30	2.82	0.63	4.478	14.1	576690.3	0.0138825
57	30	2.865	0.645	4.444	13.9	570266.4	0.0139776
58	30	2.909	0.66	4.411	13.7	563979.1	0.0140706
59	30	2.953	0.674	4.379	13.5	557825.2	0.0141618
60	30	2.996	0.689	4.348	13.3	551801.8	0.0142511
61	30	3.039	0.704	4.318	13.1	545903	0.0143386
62	30	3.081	0.718	4.288	12.9	540127	0.0144243
63	30	3.122	0.733	4.259	12.7	534469.8	0.0145084
64	30	3.163	0.748	4.231	12.6	528928.5	0.0145909
65	30	3.204	0.762	4.204	12.4	523498.8	0.0146718
66	30	3.244	0.777	4.177	12.2	518178.1	0.0147512
67	30	3.283	0.791	4.151	12	512962.5	0.0148291
68	30	3.322	0.805	4.126	11.8	507850.5	0.0149055
69	30	3.36	0.819	4.101	11.7	502838.9	0.0149807
70	30	3.399	0.834	4.077	11.5	497924.2	0.0150545
71	30	3.436	0.848	4.053	11.3	493103.5	0.015127
72	30	3.473	0.862	4.03	11.1	488374.8	0.0151982
73	30	3.51	0.876	4.008	11	483735.7	0.0152682
74	30	3.546	0.89	3.986	10.8	479183	0.015337
75	30	3.582	0.904	3.964	10.6	474716.2	0.0154048
76	30	3.617	0.917	3.943	10.5	470331.1	0.0154713
77	30	3.652	0.931	3.922	10.3	466024.9	0.0155368
78	30	3.687	0.945	3.902	10.2	461798	0.0156013
79	30	3.721	0.958	3.883	10	457647.9	0.0156647
80	30	3.755	0.972	3.863	9.9	453570.6	0.0157272
81	30	3.789	0.986	3.844	9.7	449565.9	0.0157887
82	30	3.822	0.999	3.826	9.5	445632.5	0.0158492
83	30	3.854	1.012	3.807	9.4	441766.7	0.0159089
84	30	3.887	1.026	3.79	9.3	437967.4	0.0159676
85	30	3.919	1.039	3.772	9.1	434232.9	0.0160255
86	30	3.95	1.052	3.755	9	430562.9	0.0160825
87	30	3.982	1.065	3.738	8.8	426954.1	0.0161387
88	30	4.013	1.078	3.721	8.7	423404.6	0.0161941
89	30	4.044	1.091	3.705	8.5	419916.1	0.0162488
90	30	4.074	1.104	3.689	8.4	416483.8	0.0163026
91	30	4.104	1.117	3.674	8.3	413109.8	0.0163558

freq	tca1	qevap	wcomp	cop	teva2	pev_eq	xmf
92	30	4.134	1.13	3.658	8.1	409787.6	0.0164082
93	30	4.163	1.143	3.643	8	406520	0.0164599
94	30	4.193	1.156	3.628	7.9	403303.1	0.0165109
95	30	4.221	1.168	3.614	7.7	400139.9	0.0165612
96	30	4.25	1.181	3.599	7.6	397025.6	0.016611
97	30	4.278	1.193	3.585	7.5	393956.9	0.0166599
98	30	4.306	1.206	3.571	7.3	390938.8	0.0167084
99	30	4.334	1.218	3.558	7.2	387966.9	0.0167562
100	30	4.362	1.231	3.544	7.1	385042	0.0168035
101	30	4.389	1.243	3.531	7	382157.2	0.01685
102	30	4.416	1.255	3.518	6.8	379319	0.0168961
103	30	4.443	1.267	3.505	6.7	376519.9	0.0169415
104	30	4.469	1.28	3.493	6.6	373765.7	0.0169865
105	30	4.496	1.292	3.48	6.5	371050.7	0.0170308
106	30	4.522	1.304	3.468	6.4	368374.4	0.0170747
107	30	4.547	1.316	3.456	6.2	365738.9	0.0171181
108	30	4.573	1.328	3.444	6.1	363139.7	0.0171609
109	30	4.598	1.34	3.432	6	360574.9	0.0172031
110	30	4.623	1.352	3.421	5.9	358056.5	0.0172453
111	30	4.648	1.363	3.409	5.8	355566.7	0.0172867
112	30	4.673	1.375	3.398	5.7	353110.2	0.0173276
113	30	4.697	1.387	3.387	5.6	350690.2	0.0173681
114	30	4.722	1.398	3.376	5.4	348298.6	0.0174079
115	30	4.745	1.41	3.366	5.3	345949.4	0.0174478
116	30	4.769	1.421	3.355	5.2	343627.7	0.017487
117	30	4.793	1.433	3.345	5.1	341343.9	0.0175261
118	30	4.816	1.444	3.334	5	339077.2	0.0175641
119	30	4.84	1.456	3.324	4.9	336846.5	0.017602
120	30	4.863	1.467	3.314	4.8	334650.8	0.0176398
40	35	1.741	0.438	3.977	19.1	748283.6	0.0127913
41	35	1.799	0.455	3.958	18.8	738187.7	0.0129369
42	35	1.856	0.471	3.938	18.5	728328.7	0.0130783
43	35	1.913	0.488	3.917	18.3	718733.3	0.0132163
44	35	1.968	0.505	3.897	18	709336.9	0.0133501
45	35	2.023	0.522	3.876	17.8	700192.7	0.0134807
46	35	2.077	0.539	3.855	17.5	691263.8	0.013608
47	35	2.13	0.556	3.834	17.3	682543.6	0.013732
48	35	2.182	0.572	3.814	17	674031.9	0.0138529
49	35	2.234	0.589	3.793	16.8	665720.3	0.0139708
50	35	2.285	0.606	3.773	16.6	657602.7	0.014086
51	35	2.335	0.622	3.753	16.3	649672.4	0.0141984
52	35	2.385	0.639	3.733	16.1	641925.1	0.0143082
53	35	2.434	0.655	3.713	15.9	634353.4	0.0144155
54	35	2.482	0.672	3.694	15.7	626953.6	0.0145204
55	35	2.529	0.688	3.675	15.5	619719.4	0.0146229
56	35	2.576	0.705	3.656	15.2	612646.6	0.0147233
57	35	2.622	0.721	3.637	15	605729.3	0.0148214
58	35	2.668	0.737	3.619	14.8	598963.5	0.0149176
59	35	2.713	0.753	3.601	14.6	592344.1	0.0150117
60	35	2.757	0.769	3.583	14.4	585866.6	0.0151039
61	35	2.801	0.785	3.566	14.2	579527.1	0.0151942
62	35	2.844	0.801	3.548	14	573322.5	0.0152827
63	35	2.886	0.817	3.531	13.8	567246.3	0.0153695
64	35	2.928	0.833	3.515	13.6	561297.4	0.0154546

freq	tca1	qevap	wcomp	cop	teva2	pev_eq	xmf
65	35	2.97	0.849	3.498	13.4	555469.9	0.0155381
66	35	3.011	0.865	3.482	13.3	549761.1	0.01562
67	35	3.051	0.88	3.466	13.1	544167.9	0.0157005
68	35	3.091	0.896	3.451	12.9	538686.6	0.0157794
69	35	3.131	0.911	3.435	12.7	533314.4	0.0158569
70	35	3.17	0.927	3.42	12.5	528046.9	0.0159331
71	35	3.208	0.942	3.405	12.4	522883.6	0.0160079
72	35	3.246	0.957	3.391	12.2	517819	0.0160814
73	35	3.284	0.973	3.376	12	512852.6	0.0161537
74	35	3.321	0.988	3.362	11.8	507978.9	0.0162247
75	35	3.358	1.003	3.348	11.7	503198.2	0.0162946
76	35	3.394	1.018	3.335	11.5	498506.7	0.0163633
77	35	3.43	1.033	3.321	11.3	493901.3	0.0164309
78	35	3.465	1.048	3.308	11.2	489382.2	0.0164974
79	35	3.5	1.062	3.295	11	484943.7	0.0165629
80	35	3.535	1.077	3.282	10.9	480586	0.0166273
81	35	3.569	1.092	3.27	10.7	476305.9	0.0166908
82	35	3.603	1.106	3.257	10.5	472101.9	0.0167532
83	35	3.637	1.121	3.245	10.4	467972.8	0.0168148
84	35	3.67	1.135	3.233	10.2	463914.4	0.0168754
85	35	3.702	1.15	3.221	10.1	459927.7	0.0169352
86	35	3.735	1.164	3.209	9.9	456008.6	0.016994
87	35	3.767	1.178	3.198	9.8	452156.1	0.017052
88	35	3.799	1.192	3.186	9.7	448369.6	0.0171092
89	35	3.83	1.206	3.175	9.5	444646.6	0.0171657
90	35	3.861	1.22	3.164	9.4	440983.1	0.0172212
91	35	3.892	1.234	3.153	9.2	437383	0.0172761
92	35	3.922	1.248	3.142	9.1	433842.6	0.0173302
93	35	3.952	1.262	3.132	9	430355.3	0.0173835
94	35	3.982	1.276	3.122	8.8	426927.2	0.0174362
95	35	4.012	1.289	3.111	8.7	423552.8	0.0174881
96	35	4.041	1.303	3.101	8.5	420233.3	0.0175394
97	35	4.07	1.317	3.091	8.4	416965.1	0.0175901
98	35	4.098	1.33	3.081	8.3	413748.6	0.01764
99	35	4.127	1.343	3.072	8.2	410581.8	0.0176894
100	35	4.155	1.357	3.062	8	407461.8	0.0177381
101	35	4.183	1.37	3.053	7.9	404391.9	0.0177862
102	35	4.21	1.383	3.043	7.8	401368.4	0.0178338
103	35	4.237	1.397	3.034	7.7	398390	0.0178808
104	35	4.265	1.41	3.025	7.5	395454.3	0.0179271
105	35	4.291	1.423	3.016	7.4	392565.6	0.017973
106	35	4.318	1.436	3.007	7.3	389720.1	0.0180184
107	35	4.344	1.449	2.999	7.2	386910.3	0.0180631
108	35	4.37	1.462	2.99	7	384142.5	0.0181072
109	35	4.396	1.474	2.981	6.9	381421.5	0.0181512
110	35	4.422	1.487	2.973	6.8	378733.1	0.0181944
111	35	4.447	1.5	2.965	6.7	376084.1	0.0182371
112	35	4.472	1.513	2.957	6.6	373472.2	0.0182794
113	35	4.497	1.525	2.948	6.5	370897.6	0.0183212
114	35	4.522	1.538	2.94	6.4	368354.1	0.0183624
115	35	4.546	1.55	2.933	6.2	365854.9	0.0184035
116	35	4.57	1.563	2.925	6.1	363387.9	0.0184441
117	35	4.594	1.575	2.917	6	360957	0.0184844
118	35	4.618	1.587	2.909	5.9	358546.9	0.0185237

freq	tca1	qevap	wcomp	cop	teva2	pev_eq	xmf	
119	35	4.642		1.6	2.902	5.8	356176.6	0.0185629
120	35	4.665		1.612	2.894	5.7	353837.1	0.0186017
40	40	1.475		0.493	2.99	20.3	795804.3	0.0135926
41	40	1.535		0.512	2.999	20	784874.6	0.0137432
42	40	1.594		0.53	3.006	19.7	774206.4	0.0138895
43	40	1.653		0.549	3.011	19.5	763817.8	0.0140319
44	40	1.71		0.567	3.014	19.2	753686.9	0.0141705
45	40	1.767		0.586	3.016	18.9	743792.8	0.0143052
46	40	1.822		0.604	3.016	18.7	734155.6	0.0144366
47	40	1.877		0.623	3.015	18.4	724759.4	0.0145648
48	40	1.931		0.641	3.013	18.2	715578.5	0.0146895
49	40	1.984		0.659	3.01	17.9	706615.9	0.0148111
50	40	2.037		0.677	3.007	17.7	697872.9	0.0149299
51	40	2.089		0.696	3.003	17.5	689342.4	0.015046
52	40	2.14		0.714	2.998	17.2	681007.6	0.0151593
53	40	2.19		0.732	2.993	17	672868.5	0.01527
54	40	2.239		0.75	2.987	16.8	664916.2	0.0153782
55	40	2.288		0.768	2.981	16.6	657145.3	0.015484
56	40	2.336		0.785	2.974	16.3	649550.6	0.0155875
57	40	2.383		0.803	2.968	16.1	642127.1	0.0156888
58	40	2.43		0.821	2.961	15.9	634868.5	0.0157879
59	40	2.476		0.838	2.954	15.7	627769.4	0.015885
60	40	2.522		0.856	2.946	15.5	620825.9	0.01598
61	40	2.567		0.873	2.939	15.3	614033.3	0.0160732
62	40	2.611		0.891	2.931	15.1	607385.7	0.0161645
63	40	2.655		0.908	2.924	14.9	600879.6	0.016254
64	40	2.698		0.925	2.916	14.7	594510.5	0.0163417
65	40	2.74		0.942	2.908	14.5	588274.3	0.0164278
66	40	2.782		0.959	2.9	14.3	582166.8	0.0165123
67	40	2.824		0.976	2.892	14.1	576184.7	0.0165952
68	40	2.865		0.993	2.884	13.9	570324	0.0166766
69	40	2.905		1.01	2.876	13.7	564581.2	0.0167565
70	40	2.945		1.027	2.868	13.6	558952.6	0.016835
71	40	2.985		1.043	2.861	13.4	553435.7	0.0169122
72	40	3.023		1.06	2.853	13.2	548026.4	0.016988
73	40	3.062		1.076	2.845	13	542721.8	0.0170625
74	40	3.1		1.093	2.837	12.8	537519.8	0.0171357
75	40	3.137		1.109	2.829	12.7	532416.4	0.0172077
76	40	3.175		1.125	2.821	12.5	527410.3	0.0172786
77	40	3.211		1.141	2.813	12.3	522497.5	0.0173483
78	40	3.247		1.157	2.806	12.2	517675.7	0.0174169
79	40	3.283		1.173	2.798	12	512943.1	0.0174844
80	40	3.319		1.189	2.79	11.8	508296.8	0.0175508
81	40	3.354		1.205	2.783	11.7	503734.1	0.0176162
82	40	3.388		1.221	2.775	11.5	499253.6	0.0176806
83	40	3.422		1.237	2.768	11.4	494852.8	0.0177441
84	40	3.456		1.252	2.76	11.2	490529.5	0.0178066
85	40	3.49		1.268	2.753	11.1	486282.2	0.0178682
86	40	3.523		1.283	2.746	10.9	482108	0.0179289
87	40	3.556		1.298	2.738	10.8	478005.1	0.0179887
88	40	3.588		1.314	2.731	10.6	473973.6	0.0180477
89	40	3.62		1.329	2.724	10.5	470010	0.0181059
90	40	3.652		1.344	2.717	10.3	466112.2	0.0181632
91	40	3.683		1.359	2.71	10.2	462279.3	0.0182197

freq	tca1	qevap	wcomp	cop	teva2	pev_eq	xmf
92	40	3.714	1.374	2.703	10	458510.5	0.0182755
93	40	3.745	1.389	2.696	9.9	454801.9	0.0183305
94	40	3.775	1.404	2.689	9.8	451153.8	0.0183848
95	40	3.805	1.418	2.683	9.6	447567	0.0184385
96	40	3.835	1.433	2.676	9.5	444034.8	0.0184913
97	40	3.865	1.448	2.669	9.4	440559.3	0.0185435
98	40	3.894	1.462	2.663	9.2	437140	0.0185951
99	40	3.923	1.477	2.656	9.1	433772.1	0.0186459
100	40	3.951	1.491	2.65	9	430458.9	0.0186963
101	40	3.98	1.506	2.643	8.8	427194.2	0.0187459
102	40	4.008	1.52	2.637	8.7	423975.7	0.0187947
103	40	4.036	1.534	2.631	8.6	420816.4	0.0188434
104	40	4.063	1.548	2.625	8.4	417698.9	0.0188912
105	40	4.091	1.562	2.618	8.3	414626.8	0.0189385
106	40	4.118	1.576	2.612	8.2	411601	0.0189852
107	40	4.144	1.59	2.606	8.1	408622.6	0.0190315
108	40	4.171	1.604	2.6	8	405684.9	0.0190771
109	40	4.197	1.618	2.594	7.8	402790.1	0.0191223
110	40	4.223	1.632	2.589	7.7	399936.5	0.0191669
111	40	4.249	1.645	2.583	7.6	397122.9	0.0192109
112	40	4.275	1.659	2.577	7.5	394342.2	0.0192542
113	40	4.3	1.672	2.571	7.4	391619.5	0.0192978
114	40	4.325	1.686	2.566	7.2	388924.6	0.0193405
115	40	4.35	1.699	2.56	7.1	386265.8	0.0193827
116	40	4.375	1.713	2.554	7	383646.2	0.0194245
117	40	4.399	1.726	2.549	6.9	381062.8	0.0194659
118	40	4.424	1.739	2.544	6.8	378506.3	0.0195064
119	40	4.448	1.752	2.538	6.7	375998.2	0.0195472
120	40	4.472	1.766	2.533	6.6	373514.9	0.0195872
40	45	1.214	0.554	2.194	21.5	844526.8	0.0144169
41	45	1.276	0.574	2.224	21.2	832750.6	0.0145728
42	45	1.338	0.594	2.251	20.9	821248.5	0.0147238
43	45	1.398	0.614	2.274	20.6	810065.8	0.0148711
44	45	1.457	0.635	2.295	20.3	799127.6	0.0150136
45	45	1.515	0.655	2.314	20.1	788490.3	0.0151527
46	45	1.572	0.675	2.33	19.8	778128.6	0.0152884
47	45	1.629	0.695	2.344	19.6	768006.5	0.0154202
48	45	1.685	0.715	2.356	19.3	758148.8	0.0155489
49	45	1.739	0.735	2.367	19.1	748533.4	0.0156745
50	45	1.793	0.755	2.376	18.8	739148.4	0.0157969
51	45	1.847	0.775	2.384	18.6	729985.9	0.0159164
52	45	1.899	0.794	2.391	18.3	721053.5	0.0160332
53	45	1.95	0.814	2.397	18.1	712330.1	0.0161474
54	45	2.001	0.833	2.401	17.9	703816.1	0.016259
55	45	2.051	0.853	2.405	17.6	695490.5	0.016368
56	45	2.101	0.872	2.409	17.4	687360.4	0.0164746
57	45	2.149	0.891	2.411	17.2	679415.4	0.0165789
58	45	2.197	0.911	2.413	17	671650.9	0.016681
59	45	2.245	0.93	2.414	16.8	664059.6	0.016781
60	45	2.291	0.949	2.415	16.5	656638.4	0.0168789
61	45	2.337	0.968	2.415	16.3	649378.9	0.0169749
62	45	2.383	0.986	2.415	16.1	642277.6	0.0170689
63	45	2.427	1.005	2.415	15.9	635329.8	0.0171611
64	45	2.471	1.024	2.414	15.7	628530.1	0.0172515

freq	tca1	qevap	wcomp	cop	teva2	pev_eq	xmf
65	45	2.515	1.042	2.413	15.5	621873.8	0.0173402
66	45	2.558	1.061	2.412	15.3	615357.6	0.0174272
67	45	2.6	1.079	2.41	15.1	608975.9	0.0175126
68	45	2.642	1.097	2.408	14.9	602726.4	0.0175964
69	45	2.684	1.115	2.406	14.7	596603.4	0.0176787
70	45	2.724	1.133	2.404	14.6	590603.8	0.0177596
71	45	2.765	1.151	2.401	14.4	584724.5	0.017839
72	45	2.805	1.169	2.398	14.2	578961.6	0.0179171
73	45	2.844	1.187	2.396	14	573311.8	0.0179938
74	45	2.883	1.205	2.393	13.8	567772	0.0180693
75	45	2.921	1.222	2.39	13.7	562338.7	0.0181435
76	45	2.959	1.24	2.387	13.5	557009.2	0.0182164
77	45	2.996	1.257	2.383	13.3	551780.3	0.0182882
78	45	3.033	1.275	2.38	13.1	546649.9	0.0183589
79	45	3.07	1.292	2.376	13	541614.8	0.0184284
80	45	3.106	1.309	2.373	12.8	536672.4	0.0184968
81	45	3.142	1.326	2.369	12.7	531819.8	0.0185642
82	45	3.177	1.343	2.366	12.5	527055.8	0.0186306
83	45	3.212	1.36	2.362	12.3	522377.2	0.0186959
84	45	3.247	1.377	2.358	12.2	517781.9	0.0187603
85	45	3.281	1.393	2.355	12	513266.8	0.0188238
86	45	3.315	1.41	2.351	11.9	508831.5	0.0188863
87	45	3.348	1.426	2.347	11.7	504472.7	0.0189479
88	45	3.381	1.443	2.343	11.6	500189.5	0.0190087
89	45	3.414	1.459	2.339	11.4	495979.4	0.0190686
90	45	3.446	1.475	2.336	11.3	491840.4	0.0191277
91	45	3.478	1.492	2.332	11.1	487770.2	0.0191859
92	45	3.51	1.508	2.328	11	483768.2	0.0192434
93	45	3.541	1.524	2.324	10.8	479832.9	0.0193001
94	45	3.572	1.54	2.32	10.7	475960.4	0.019356
95	45	3.603	1.556	2.316	10.5	472151.6	0.0194112
96	45	3.633	1.571	2.312	10.4	468404.6	0.0194657
97	45	3.663	1.587	2.308	10.3	464717.5	0.0195195
98	45	3.693	1.603	2.304	10.1	461088.1	0.0195726
99	45	3.722	1.618	2.3	10	457516.3	0.0196251
100	45	3.751	1.634	2.296	9.9	454000.5	0.0196769
101	45	3.78	1.649	2.292	9.7	450536.9	0.0197279
102	45	3.809	1.664	2.289	9.6	447129	0.0197785
103	45	3.837	1.68	2.285	9.5	443774.7	0.0198285
104	45	3.865	1.695	2.281	9.3	440468.4	0.0198778
105	45	3.893	1.71	2.277	9.2	437213.3	0.0199265
106	45	3.921	1.725	2.273	9.1	434007.2	0.0199747
107	45	3.948	1.74	2.269	9	430846.9	0.0200223
108	45	3.975	1.755	2.265	8.8	427733.6	0.0200693
109	45	4.002	1.77	2.262	8.7	424664.2	0.0201158
110	45	4.028	1.784	2.258	8.6	421642.9	0.0201619
111	45	4.055	1.799	2.254	8.5	418663.1	0.0202074
112	45	4.081	1.814	2.25	8.4	415725.7	0.0202523
113	45	4.107	1.828	2.246	8.2	412830.4	0.0202968
114	45	4.132	1.843	2.243	8.1	409970.8	0.0203406
115	45	4.158	1.857	2.239	8	407161.2	0.0203844
116	45	4.183	1.871	2.235	7.9	404386.3	0.0204275
117	45	4.208	1.886	2.232	7.8	401646.7	0.02047
118	45	4.232	1.9	2.228	7.7	398947	0.0205121

119	45	4.257	1.914	2.224	7.6	396282.2	0.0205538
120	45	4.281	1.928	2.221	7.5	393656.7	0.0205952

**Δ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
ΓΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 90 Hz**

qevap

dtsh	tca1=30	tca1=35	tca1=40	tca1=45
5	4.074	3.861	3.652	3.446
6	4.062	3.849	3.639	3.433
7	4.05	3.837	3.627	3.42
8	4.038	3.825	3.614	3.408
9	4.027	3.813	3.602	3.395
10	4.015	3.801	3.59	3.383
11	4.004	3.789	3.578	3.371
12	3.992	3.778	3.566	3.359
13	3.981	3.766	3.555	3.347
14	3.97	3.755	3.543	3.335
15	3.959	3.743	3.532	3.323

wcomp

dtsh	tca1=30	tca1=35	tca1=40	tca1=45
5	1.104	1.22	1.344	1.475
6	1.104	1.22	1.343	1.475
7	1.103	1.219	1.343	1.474
8	1.103	1.218	1.342	1.473
9	1.102	1.218	1.341	1.472
10	1.101	1.217	1.34	1.471
11	1.101	1.216	1.34	1.47
12	1.1	1.216	1.339	1.47
13	1.1	1.215	1.338	1.469
14	1.099	1.214	1.337	1.468
15	1.098	1.214	1.336	1.467

COP

dtsh	tca1=30	tca1=35	tca1=40	tca1=45
5	3.689	3.164	2.717	2.336
6	3.68	3.156	2.709	2.328
7	3.671	3.147	2.701	2.321
8	3.663	3.139	2.694	2.314
9	3.654	3.131	2.686	2.307
10	3.645	3.123	2.679	2.3
11	3.637	3.115	2.671	2.293
12	3.629	3.107	2.664	2.286
13	3.62	3.1	2.657	2.279
14	3.612	3.092	2.65	2.272
15	3.604	3.084	2.642	2.265

pev_eq

dtsh	pev_eq	pev_eq	pev_eq	pev_eq
5	416483.8	440983.1	466112.2	491840.4
6	417834.5	442426.8	467649.7	493475.6
7	419176.6	443859.1	469176.4	495099.2
8	420505.6	445281.5	470691.4	496711.3
9	421828.4	446692.1	472196	498312.4
10	423141.3	448094.7	473691.1	499901.1

11	424442.2	449487.6	475175.7	501479
12	425738.3	450869.3	476648.5	503046
13	427026	452242.7	478112	504602.5
14	428301.8	453606.8	479565.3	506147.7
15	429571.3	454962.2	481009.7	507682.4

teva2

dtsh	tca1=30	tca1=35	tca1=40	tca1=45
5	8.4	9.4	10.3	11.3
6	8.5	9.4	10.4	11.3
7	8.5	9.5	10.4	11.4
8	8.6	9.5	10.5	11.4
9	8.6	9.6	10.6	11.5
10	8.7	9.6	10.6	11.6
11	8.7	9.7	10.7	11.6
12	8.8	9.8	10.7	11.7
13	8.8	9.8	10.8	11.7
14	8.9	9.9	10.8	11.8
15	8.9	9.9	10.9	11.8

xmf

dtsh	tca1=30	tca1=35	tca1=40	tca1=45
5	58.68	61.99	65.38	68.85
6	58.57	61.87	65.26	68.72
7	58.46	61.76	65.13	68.59
8	58.35	61.64	65.01	68.46
9	58.24	61.52	64.89	68.33
10	58.13	61.41	64.77	68.21
11	58.02	61.29	64.65	68.08
12	57.91	61.18	64.53	67.95
13	57.81	61.06	64.41	67.82
14	57.7	60.95	64.29	67.7
15	57.59	60.84	64.17	67.57

E : TO APXEIO EISOΔΟΥ

Περίπτωση Θέρμανσης

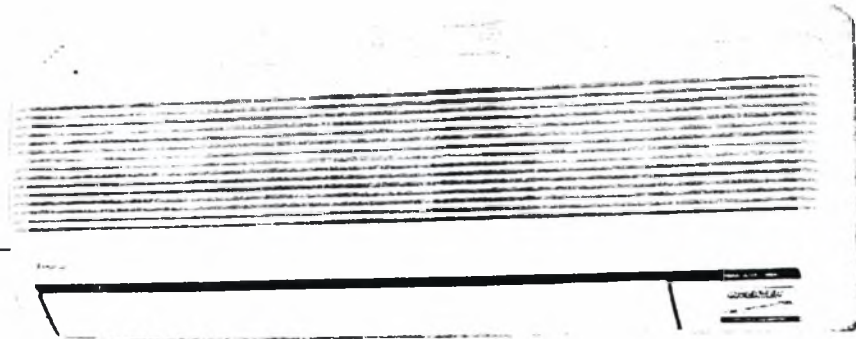
22	nref:	type of refrigerant
1.26	pol:	polytropic index of compression
0.000013	svol:	compressor swept volume
0.0	rvol:	compressor clearance volume ratio
0.8	ccomp:	compression volumetric coefficient
100.	freq:	rotational speed, Hz
5.0	dtsh:	evaporator outlet superheat
98.	vneck:	valve coefficient
22.28	tca1:	inlet air temperature to condenser
0.219	xmc:	air mass flow rate in condenser
1.	cpc:	specific heat of air in condenser[=]kJ/kgK
0.50	areac:	surface area of condenser
0.42	coefc1:	sensible heat transfer coefficient of condenser[=]kW/m ² K
0.42	coefc2:	latent heat transfer coefficient of condenser[=]kW/m ² K
10.	teva1:	inlet air temperature to evaporator
0.47	xmev:	air mass flow rate in evaporator
1.	cpev:	specific heat of air in evaporator[=]kJ/kgK
0.65	areaev:	surface area of evaporator
0.34	coefev:	overall heat transfer coefficient of evaporator[=]kW/m ² K

Περίπτωση Ψύξης

22	nref:	type of refrigerant
1.26	pol:	polytropic index of compression
0.000013	svol:	compressor swept volume
0.0	rvol:	compressor clearance volume ratio
0.8	ccomp:	compression volumetric coefficient
100.	freq:	rotational speed, Hz
5.0	dtsh:	evaporator outlet superheat
73.	vneck:	valve coefficient
40.	tca1:	inlet air temperature to condenser
0.47	xmc:	air mass flow rate in condenser
1.	cpc:	specific heat of air in condenser[=]kJ/kgK
0.65	areac:	surface area of condenser
0.575	coefc1:	sensible heat transfer coefficient of condenser[=]kW/m ² K
0.575	coefc2:	latent heat transfer coefficient of condenser[=]kW/m ² K
27.	teva1:	inlet air temperature to evaporator
0.219	xmev:	air mass flow rate in evaporator
1.	cpev:	specific heat of air in evaporator[=]kJ/kgK
0.5	areaev:	surface area of evaporator
0.375	coefev:	overall heat transfer coefficient of evaporator[=]kW/m ² K

Functions

Indoor Unit



FOR ALL OPERATIONS

POWER ① **Power Switch OFF / ON ①**

AUTO OFF / ON **Automatic Operation Switch**

- Used when the remote control cannot be used.

Remote Control Signal Receiving Sound Control OFF/ON ✕

- It can be controlled by pressing Automatic Operation Switch for 10 seconds.

TEST RUN OFF / ON **Test Run Operation**

- Used when test running or servicing.
- Compressor operation: rated frequency
Cooling: 72Hz (CS-G90KE), 78Hz (CS-G120KE)
Heating: 92Hz (CS-G90KE), 98Hz (CS-G120KE)

Operation Indication Lamps

- POWER (Red) – Lights up in operation, blinks in Automatic Operation judging and Hot Start operation.
- TIMER (Orange) – Lights up in Timer Setting. Blinks in Self Diagnosis Control.
- SLEEP (Orange) – Lights up in Sleep Mode Operation.

Power Monitor Display ✕

- Lights up during compressor operation.

Operation Mode

- Automatic, Heating, Cooling, Soft Dry and Fan Operation.

Automatic Restart Control ✕

- Operation is restarted after power failure at previous setting mode.

Sleep Operation Mode ✕

Timer Operation ✕

Powerful Mode ✕

- For quick cooling or heating



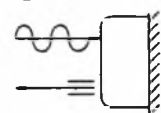
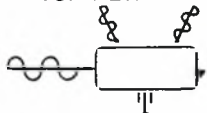
Indoor Fan Speed Control ✕

Airflow Direction Control ✕

Product Specifications

E6WT.

E3WT.

		Unit	CS-G120KE	CU-G120KE	
Cooling Capacity		kW Btu/h	3.45 (1.06 - 3.85) 11,700 (3,600 - 13,100)		
Heating Capacity		kW Btu/h	4.80 (0.98 - 6.10) 16,300 (3,300 - 20,800)		
Moisture Removal		ℓ/h Pint/h	2.0 4.2		
Power Source		Phase V Cycle	Single 230 50		
Airflow Method		OUTLET  INTAKE 	SIDE VIEW 	TOP VIEW 	
Air Volume	Indoor Air (Lo)	m ³ /min (cfm)	Cooling ; 7.4 (261) Heating ; 7.6 (268)	-	
	Indoor Air (Me)	m ³ /min (cfm)	Cooling ; 8.1 (286) Heating ; 8.3 (293)	-	
	Indoor Air (Hi)	m ³ /min (cfm)	Cooling ; 9.3 (328) Heating ; 9.8 (346)	-	
	Outdoor Air	m ³ /min (cfm)	-	26.4 (930)	
Noise Level		dB (A)	Cooling ; High 41, Low 37 Heating ; High 41, Low 37	Cooling ; 49 Heating ; 51	
Electrical Data	Input	kW	Cooling ; 1.24 (0.355 - 1.53) Heating ; 1.70 (0.34 - 2.10)		
	Running Current	A	Cooling ; 5.5 (max. 6.7) Heating ; 7.5 (max. 9.1)		
	COP	W/W	Cooling ; 2.8 Heating ; 2.9		
	Starting Current	A	9.1		
Piping Connection Port (Flare piping)		inch	G ; Half Union 1/2" L ; Half Union 1/4"	G ; 3-way valve 1/2" L ; 2-way valve 1/4"	
Pipe Size (Flare piping)		inch	G (gas side) ; 1/2" L (liquid side) ; 1/4"	G (gas side) ; 1/2" L (liquid side) ; 1/4"	
Drain Hose	Inner diameter	mm	12	-	
	Length	m	0.7	-	
Power Cord Length			2.1 m	-	
Number of core-wire			3 core wires x 1.5 mm ²	-	
Dimensions	Height	inch (mm)	11-7/16 (290)	19-29/32 (505)	
	Width	inch (mm)	31-15/32 (799)	30-23/32 (780)	
	Depth	inch (mm)	6-29/32 (175)	9-21/32 (245)	
Net Weight		lb (kg)	18 (8.0)	92 (42)	
Compressor	Type		-	Rotary (1 cylinder) rolling piston type	
	Motor Type		-	Induction (2-poles)	
	Rated Output	W	-	650	
Air Circulation	Type		Cross-flow Fan	Propeller Fan	
	Material		AS + Glass Fiber 30%	AES + Glass Fiber 12%	
	Motor Type		Transistor (4-poles)	Induction (6-poles)	
	Input	W	-	70	
	Rated Output	W	20	30	
	Fan Speed	Low	rpm	1,200	-
		Medium	rpm	1,310	-
High (Heating)		rpm	1,500 (1,550)	780	

Product Specifications

		Unit	CS-G120KE	CU-G120KE
Heat Exchanger	Description		Evaporator	Condenser
	Tube material		Copper	Copper
	Fin material		Aluminium	Aluminium
	Fin Type		Slit Fin	Corrugated Fin
	Row / Stage		(Plate fin configuration, forced draft)	
	FPI		21	17
	Size (W x H x L)	mm	600 x 252 x 25.4	646.2 x 482.6 x 44
Refrigerant Control Device			-	Capillary Tube
Refrigeration Oil		(c.c)	-	SUNISO 4GDID or ATMOS M60 (270)
Refrigeration (R-22)		g (oz)	-	970 (34.2)
Thermostat			Electronic Control	-
Protection Device			-	Electronic Control
Capillary Tube	Length	mm	-	Cooling ; 880, Heating ; 535
	Flow Rate	ℓ/min	-	Cooling ; 6.75, Heating ; 15.0
	Inner Diameter	mm	-	Cooling ; 1.2, Heating ; 1.6
Air Filter	Material		P.P.	-
	Style		Honeycomb	-
Capacity Control			Capillary Tube	
Fan Motor Capacitor		μF, VAC	-	1.5 μF, 400 VAC

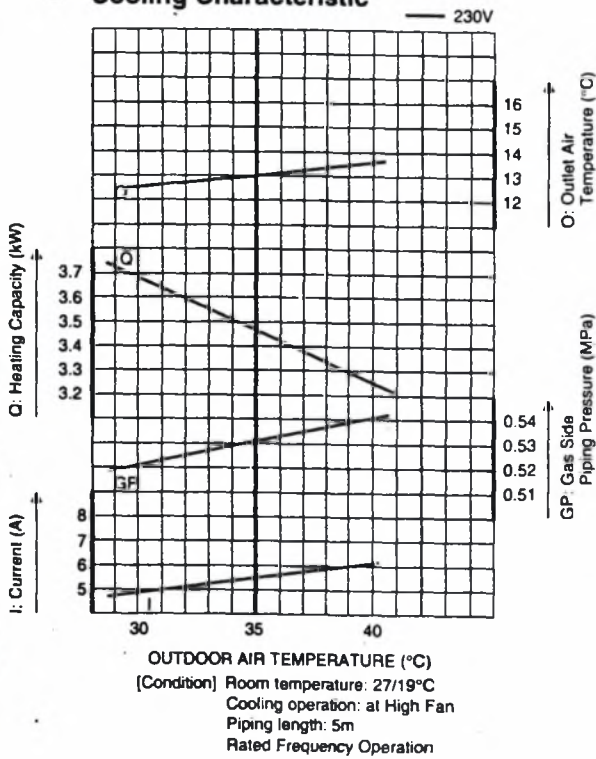
• Specifications are subject to change without notice for further improvement.

Technical Data

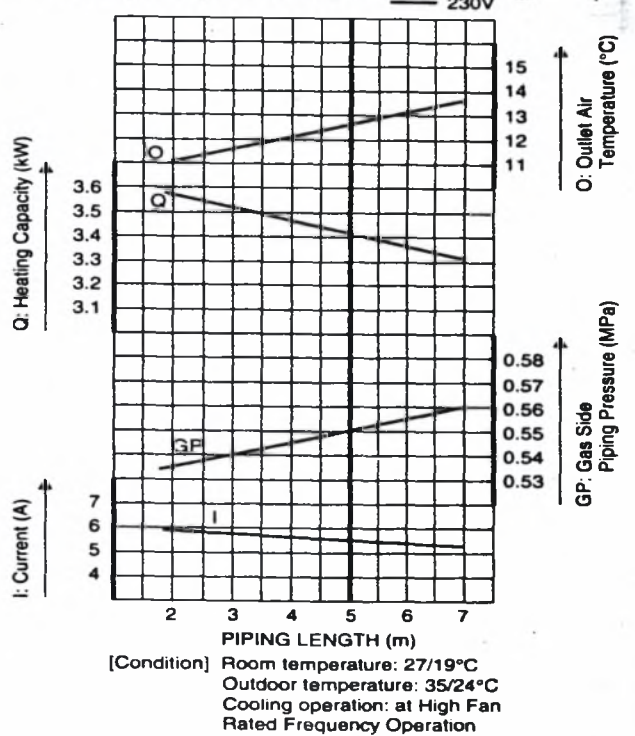
■ Operation characteristics

CS-G120KE / CU-G120KE

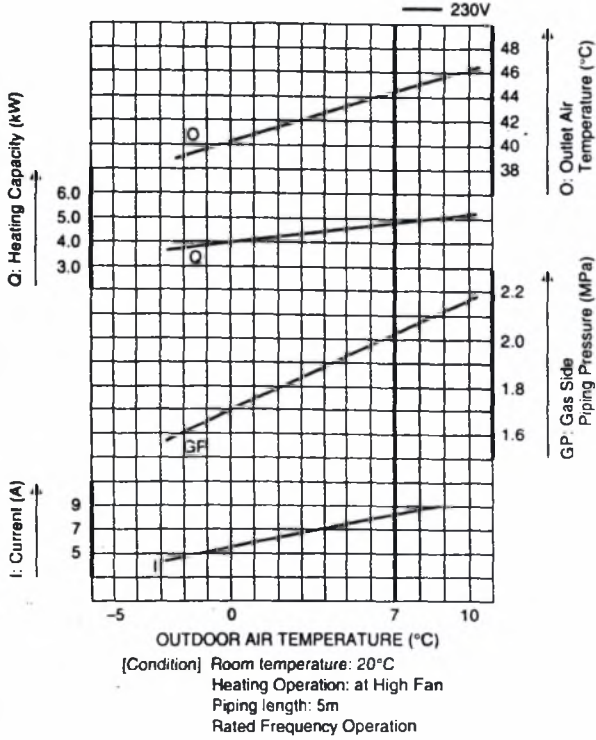
● Cooling Characteristic



● Piping Length Characteristic (Cooling)



● Heating Characteristic



● Piping Length Characteristic (Heating)

