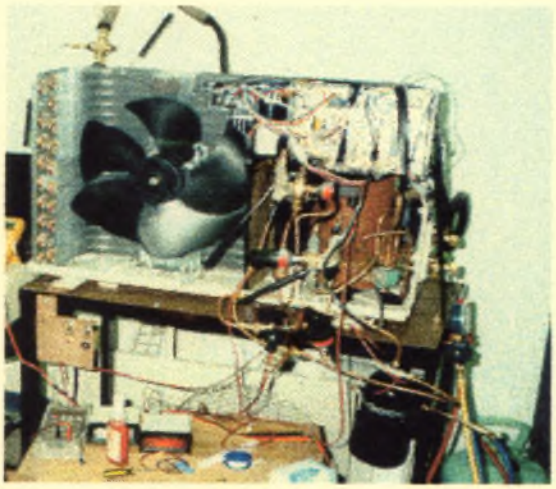
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: 'ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ'

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΑΚΡΗΣ Α. ΓΕΩΡΓΙΟΣ

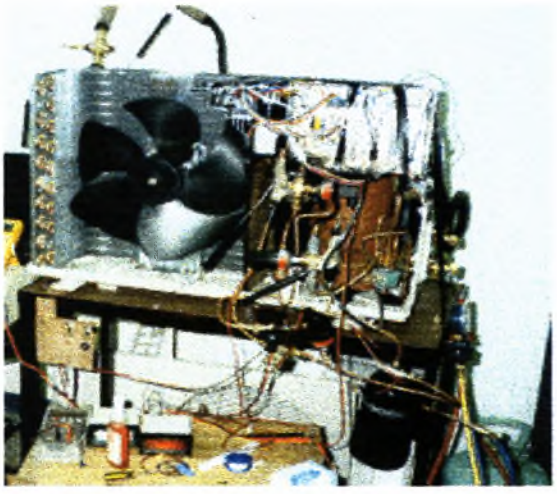
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, Αν. Καθηγητής Π. Θ

ΒΟΛΟΣ 26 - 2 - 1998

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 1868/1
Ημερ. Εισ.: 16-07-1998
Δωρεά:
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
1998
ΜΑΚ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: 'ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ'

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΑΚΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, Αν. Καθηγητής Π. Θ

ΒΟΛΟΣ 26 - 2 - 1998

αρ. βιβ 93/Π.Α.....

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
004000050821

Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας Δρ. Β. Μποντόζογλου Αναπλ. Καθηγητή Π.Θ, θα ήθελα να απονείμω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες για την συμπαράσταση και καθοδήγηση του για την εκπλήρωση αυτής της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απονείμω στον Δρ. Αναστ. Σταματέλο τόσο για την ουσιαστική και πολύτιμη βοήθεια του, όσο και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου για την διεκπεραίωση αυτής της μελέτης.

Τέλος θερμότατες ευχαριστίες θα ήθελα να απονείμω στον Υπ. Διδάκτορα του Τμήματος Μ. Βλαχογιάννη, χωρίς τον οποίο η εκπλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στους σύγχρονους χώρους κατοικίας και εργασίας έχει γενικευτεί η χρήση συσκευών κλιματισμού και αντλιών θερμότητας, ιδιαίτερα των αντλιών τύπου *αέρα - αέρα*. Η τάση αυτή έχει ως συνέπεια την απαίτηση για περαιτέρω βελτίωση της λειτουργικής ευελιξίας και ενεργειακής αποδοτικότητας των συσκευών αυτών. Στόχος από την δεδομένη συσκευή είναι η απόδοση ικανοποιητικού θερμικού (ή ψυκτικού) φορτιού για μεγάλο εύρος εξωτερικών συνθηκών και η ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος (μεγιστοποίηση θερμοδυναμικού βαθμού απόδοσης).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η πειραματική μελέτη της εξάρτησης της απόδοσης αντλίας θερμότητας από τις συνθήκες λειτουργίας και ειδικότερα από την ποσότητα ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα. Ελεγχόμενη μεταβολή της ποσότητας ψυκτικού, επιτρέπει αυξομείωση της στάθμης υψηλής / χαμηλής πίεσης του κύκλου και συνεπώς των θερμοκρασιών απορρόφησης και απόρριψης θερμότητας.

Για τον σκοπό αυτό εμπορική αντλία θερμότητας εγκαταστάθηκε και εξοπλίστηκε με μετρητικά θερμοκρασίας και πίεσης και σύστημα καταγραφής των μετρήσεων. Εκτελέστηκε με επιτυχία μια πρώτη σειρά μετρήσεων με μεταβλητή την ποσότητα ψυκτικού μέσου στο κύκλωμα. Με βάση το διάγραμμα *πίεσης - ενθαλπίας* του ψυκτικού μέσου, έγιναν υπολογισμοί θερμικών φορτίων και βαθμών απόδοσης για τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

1. Ο *ισοεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή* είναι φθίνουσα συνάρτηση της ποσότητας ψυκτικού και παρουσιάζει μείωση κατά 10% για δεκαπλασιασμό της ποσότητας ψυκτικού.
2. Ο *συντελεστής απόδοσης της αντλίας* παρουσιάζει μικρή αύξηση με την ποσότητα του ψυκτικού. Επειδή όμως ο ιδανικός συντελεστής ισχύος αυξάνεται αισθητά για αντίστοιχη μεταβολή, ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης (συντελεστής ισχύος) / (ιδανικός συντελεστή) μειώνεται σταθερά με αύξηση του ψυκτικού.

Κατά την δεύτερη σειρά μετρήσεων μελετήθηκε η εξάρτησης της απόδοσης αντλίας θερμότητας, κατά την λειτουργία του INVERTER. Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις και τους υπολογισμούς των συντελεστών απόδοσης δεν ήταν τα αναμενόμενα. Κάτι τέτοιο μπορεί να αιτιολογηθεί λόγω της μικρής χρονικής διάρκειας λειτουργίας του INVERTER, αλλά και της χαμηλής απόκρισης των θερμοστοιχείων, τα οποία δεν ήταν δυνατό να απεικονίσουν μεγάλες θερμοκρασιακές αλλαγές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

-ΕΙΣΑΓΩΓΗ-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ ΘΕΜΑ ΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

1.1. ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	
1.1.1 Γενικά.	σελ. 6
1.1.2 Βασικοί Κανόνες Λειτουργίας	σελ. 6
1.1.3 Είδη Κλιματιστικών Συσκευών	σελ. 7
α) Ground Coil	σελ. 7
β) Lake Coil	σελ. 8
γ) Well Coil	σελ. 9
δ) Air Coil	σελ. 9
1.1.4 Περιγραφή Κύκλου Συμπίεσης Ψυχρών Ατμών	σελ. 10
1.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ	
1.2.1 Περιγραφή Ιδανικού Κύκλου	σελ. 11
1.2.2 Περιγραφή Πραγματικού Κύκλου	σελ. 13
1.2.3 Ενεργειακός Ισολογισμός και Διαφορές Θερμοκρασίας	σελ. 14
1.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
1.3.1.Βασικά Εξαρτήματα	σελ. 16
α) Συμπιεστής	σελ. 16
β) Συμπυκνωτής	σελ. 17
γ) Εξατμιστής	σελ. 17
1.3.2 Όργανα Ρύθμισης.	σελ. 19
α) Τριχοειδείς σωλήνες	σελ. 19
β) Inverter	σελ. 19
γ) Βαλβίδα Εναλλαγής	σελ. 20
1.4 ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ	σελ. 22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	σελ. 24
2.2 ΟΡΓΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	σελ. 26
2.1.1 Μετρητικά Πίεσης - Βαθμονόμηση	σελ. 27
2.1.2. Μέτρηση Θερμοκρασίας	σελ. 30
2.1.3.Δοχείο Αποθήκευσης R22	σελ. 31
2.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	σελ. 32
2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	σελ. 34
2.3.1 Πρώτη Σειρά Μετρήσεων	σελ. 34

2.3.2 Δεύτερη Σειρά Μετρήσεων σελ. 35
2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ σελ. 36
2.4.1 Βλάβη Κάρτας Συλλογής Δεδομένων σελ. 36
2.4.2 Συνδέσεις – Διαρροές σελ. 36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1ης ΣΕΙΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ σελ. 38
3.1.1 Ανάλυση 1ης Σειράς Πειραματικών Μετρήσεων σελ. 40
3.1.2 Ισοεντροπικός και Θερμοδυναμικός Βαθμός Απόδοσης σελ. 42
3.1.3 Ερμηνεία Μεταβολής Συντελεστών σελ. 47
3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2ης ΣΕΙΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ σελ. 48
3.2.1 Ανάλυση 2ης Σειράς Πειραματικών Μετρήσεων σελ. 49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ σελ. 52
4.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ σελ. 54

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ σελ. 55

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

1. Χαρακτηριστικά Μετρητικών Πίεσης σελ. 57
2. Χαρακτηριστικά Συνδέσμων σελ. 59

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

1. Διαγράμματα 1ης Σειράς Μετρήσεων σελ. 69-80
2. Πίνακες 1ης Σειράς Μετρήσεων σελ. 81-85

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

1. Διαγράμματα 2ης Σειράς Μετρήσεων σελ.87-95
2. Πίνακες 2ης Σειράς Μετρήσεων σελ.96-99

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1). Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά Κλιματιστικής Συσκευής *PANASONIC*

2). Πίνακας 2.2: *Ενδείξεις Μετρητικών Πιέσεως*

3). Πίνακας 3.1: *Πειραματικά Αποτελέσματα 1ης Σειράς Μετρήσεων*

4). Πίνακας 3.2 *Ισοεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Συμπιεστή 1ης Σειράς Μετρήσεων*

5). Πίνακας 3.3: *Ιδανικός - Πραγματικός Συντελεστής Ισχύος 1ης Σειράς Μετρήσεων*

6). Πίνακας 3.4: *Προστιθέμενη Μάζα R22 1ης Σειράς Μετρήσεων*

7). Πίνακας 3.5: *Πειραματικές Μετρήσεις 2ης Σειράς Μετρήσεων*

8). Πίνακας 3.6: *Ισοεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Συμπιεστή 2ης Σειράς Μετρήσεων*

9). Πίνακας 3.7: *Ιδανικός - πραγματικός συντελεστής ισχύος 2ης Σειράς Μετρήσεων*

10). Πίνακας. Β.1. *Θερμοκρασία Υπόψυξης*

11). Πίνακας. Β.2. *Εύρεση Ενθαλπιών Λειτουργίας Συμπιεστή*

12). Πίνακας. Β.3. *Εύρεση Θερμοκρασιών Ατμοποίησης-Υγροποίησης*

13). Πίνακας. Β.4. *Εύρεση Ενθαλπιών Λειτουργίας Συμπυκνωτή*

14). Πίνακας. Β.5. *Εύρεση Ειδικού Όγκου*

15). Πίνακας. Γ.1. *Θερμοκρασία Υπόψυξης*

16). Πίνακας. Γ.2. *Εύρεση Θερμοκρασιών Ατμοποίησης-Υγροποίησης*

17). Πίνακας. Γ.3. *Εύρεση Θερμοκρασιών Ατμοποίησης-Υγροποίησης*

18). Πίνακας. Γ.4. *Εύρεση Ενθαλπιών Λειτουργίας Συμπυκνωτή*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: *Ground Coil*

Σχήμα 1.2: *Κύκλος Συμπίεσης Ψυχρών Ατμών*

Σχήμα 1.3: *Θερμοδυναμικός Κύκλος*\

Σχήμα 1.4: *Θερμοκρασιακές διαφορές για κύκλο συμπίεσης ψυχρών ατμών*

Σχήμα 1.5: «*Ερμητικός*» *συμπιεστής*

Σχήμα 1.6: *Βέλτιστο Σημείο Λειτουργίας*

Σχήμα 1.7: *Βαλβίδα Εναλλαγής*

Σχήμα 1.8: Καμπύλες Πίεσης Ατμών Διάφορων Ψυκτικών

Σχήμα 1.9: *"Καμπάνα" R22*

Σχήμα 2.1: *Πειραματική Διάταξη*

Σχήμα 2.2: *Κύκλωμα Βαθμονόμησης*

Σχήμα 2.3: *Εξίσωση JUMO 6*

Σχήμα 2.4: *Εξίσωση JUMO 25*

Σχήμα 2.5: *Εξίσωση JUMO 40*

Σχήμα 2.6: *Δοχείο Αποθήκευσης*

Σχήμα 2.7: *Συνδεσμολογία Ηλεκτροβανών*

Σχήμα 2.8: *Απεικόνιση Πειραματικής Διάταξης*

Σχήμα 3.1:*Συνάρτηση (ΔP συμπιεστή) - (μάζα ψυκτικού μέσου R22)*

Σχήμα 3.2: *Συνάρτηση (ΔT συμπιεστή) - (μάζα ψυκτικού μέσου R22)*

Σχήμα 3.3: *Μεταβολή* ($\varepsilon/\varepsilon_o$) *κατά την προσθήκη μάζας R22 (Kg)*

Σχήμα 3.4: *Μεταβολή (η) κατά την προσθήκη μάζας R22(Kg)*

Σχήμα 3.5: *Απεικόνιση μορφών θερμοδυναμικού κύκλου κατά την λειτουργία του INVERTER*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η απεικόνιση και ο υπολογισμός του θερμοδυναμικού κύκλου λειτουργίας αντλίας θερμότητας, με κύρια μεταβλητή την ποσότητα του ψυκτικού μέσου στο σύστημα.

Για την πραγματοποίηση του παραπάνω στόχου, εγκαταστάθηκε στο Εργαστήριο Φυσικών Χημικών Διεργασιών εμπορική αντλία θερμότητας. Ακολούθησε η μετατροπή του πρωτοτύπου σε πειραματική διάταξη με την τοποθέτηση στη μονάδα βαθμονομημένων μετρητικών πίεσης, θερμοστοιχείων, ηλεκτροβανών, και του δοχείου αποθήκευσης ψυκτικού μέσου.

Η διαδικασία αυτή αποδείχθηκε εξαιρετικά χρονοβόρα λόγω πολλών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά τις μετατροπές, όπως η βλάβη της κάρτας συλλογής δεδομένων με αποτέλεσμα να μην μπορούν να μελετηθούν μεταβατικά φαινόμενα και οι πολλές διαρροές. Εφόσον αντιμετωπίστηκαν τα συγκεκριμένα προβλήματα, ελήφθησαν κάποιες προκαταρκτικές μετρήσεις ώστε να μελετηθεί η λειτουργική συμπεριφορά της μονάδας για διαφορετικές ποσότητες ψυκτικού μέσου R22. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί του βαθμού απόδοσης και του συντελεστή ισχύος όπως και η συσχέτιση τους με την ποσότητα του ψυκτικού μέσου για τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην παρούσα φάση πειραματικών μετρήσεων η πλήρωση της μονάδας έγινε με πολύ μικρές ποσότητες R22 σε αέρια μορφή. Η μεταβολή της ποσότητας του ψυκτικού στο σύστημα έγινε μέσω του τοποθετημένου στην μονάδα, δοχείου αποθήκευσης. Στόχος της ελεγχόμενης ποσότητας φρέον R22 είναι η αυξομείωση των θερμοκρασιών απορρόφησης και απόρριψης θερμότητας, ώστε για μεγάλο εύρος εξωτερικών συνθηκών να αποδίδεται ικανοποιητικό θερμικό ή ψυκτικό φορτίο.

Κατά την δεύτερη σειρά πειραματικών μετρήσεων επιχειρήθηκε μια ερμηνεία και ποιοτική ανάλυση των συνθηκών λειτουργίας της μονάδας κατά την λειτουργία του INVERTER. Οι μετρήσεις όμως οι οποίες συλλέχθηκαν εκδηλώνουν απλά την τάση μεταβολής του θερμοδυναμικού κύκλου και όχι τις οριστικές συνθήκες στις οποίες λειτουργεί η μονάδα με INVERTER. Ο λόγος που συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι η χαμηλή απόκριση του θερμοστοιχείου το οποίο δεν μπορεί, για το μικρό χρονικό διάστημα λειτουργίας του INVERTER, να απεικονίσει τις σημαντικές μεταβολές θερμοκρασίας που υφίσταται το ψυκτικό μέσο. Σε αντίθεση με τους παραπάνω βαθμούς απόδοσης και ισχύος από τη πρώτη σειρά μετρήσεων, οι συντελεστές που υπολογίστηκαν κατά την δεύτερη σειρά πειραματικών μετρήσεων δεν απεικονίζουν ακριβώς τις συνθήκες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας βάση της λειτουργίας του INVERTER

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1. ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

1.1.1 ΓΕΝΙΚΑ.

Η δημιουργία εγκαταστάσεων κλιματισμού έχει προορισμό στο να διατηρεί την κατάσταση του αέρα ενός χώρου μέσα σε ορισμένα πλαίσια ως προς τη θερμοκρασία, υγρασία, μετακίνηση και καθαρότητα. Οι απαιτήσεις που ζητάμε να εκπληρώνονται από την κατάσταση του αέρα, διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, ανάλογα με το είδος του χώρου. Με την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, κατασκευάζονται όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις κλιματισμού για κατοικίες , κτίρια γραφείων και άλλους χώρους παραμονής. Η τάση αυτή ενισχύεται από την αλλαγή της οικοδομικής τεχνικής (περισσότερο γυαλί, ελαφρότερη κατασκευή), τη μεγαλύτερη χρήση των χωρών (περισσότερο φως και μηχανήματα), και εξαιτίας της επιδεινώσεις των συνθηκών του περιβάλλοντος (θόρυβος , σκόνη, καυσαέρια).

Σχεδόν όλες οι εγκαταστάσεις κλιματισμού χρειάζονται εκτός από ένα θερμαντικό μέσο για την θέρμανση του αέρα το χειμώνα, και ένα ψυκτικό μέσον για την ψύξη και την αφύγρανση του αέρα το καλοκαίρι. Ο τρόπος λειτουργίας των κλιματιστικών βασίζεται στο ότι με την προσαγωγή ενέργειας αφαιρείται θερμότητα από τον αέρα που πρόκειται να ψυχθεί ή προστίθεται θερμότητα στον αέρα που πρόκειται να θερμανθεί (αντλία θερμότητας).

1.1.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η έννοια ψυκτική μηχανή είναι κανονικά λανθασμένη, γιατί καμία μηχανή δεν μπορεί να παραγάγει ψύξη, αφού αν δούμε το θέμα από το πρίσμα της φυσικής δεν υπάρχει ψύξη. Η φυσική ορίζει τη θερμότητα σαν μια μοριακή κινητική κατάσταση της ύλης, που παύει στο απόλυτο μηδέν δηλαδή $T=0\ K$ η $t=-273,15\ °C$.

Στο απόλυτο μηδέν όλες οι μορφές της ύλης γίνονται στέρεα σώματα, ενώ σε όλες τις θερμοκρασίες πάνω από αυτή υπάρχει κιόλας θερμότητα. Για να ψύξουμε λοιπόν, πρέπει να απάγουμε θερμική ενέργεια από εκεί που θέλουμε να είναι ψυχρότερα. Επειδή όμως η ενέργεια δεν μπορεί να εξαφανιστεί, πρέπει η επαγόμενη ποσότητα θερμότητας να αποδοθεί πάλι σε αντίστοιχα υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα διατιθέμενο ψυκτικό μέσον. Η ποσότητα θερμότητας πρέπει λοιπόν να «αντληθεί» από την χαμηλή θερμοκρασιακή στάθμη της επιθυμητής απαγωγής θερμότητας σε μια υψηλότερη θερμοκρασιακή στάθμη για την απόδοση

θερμότητας. Αυτό σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα δεν μπορεί ποτέ να γίνει από μόνο του, αλλά μόνο με κατανάλωση ενέργειας.

Μια μηχανή ή εγκατάσταση, που εκτελεί έναν τέτοιο θερμοδυναμικό καταστατικό κύκλο, ονομάζεται ανάλογα με το επιθυμητό ωφέλιμο αποτέλεσμα :

Ψυκτική μηχανή (ψυκτική εγκατάσταση), εάν η ποσότητα θερμότητας που αφαιρείται στη χαμηλή θερμοκρασία, η οποία είναι η ψυκτική ισχύς *Qo*, αποτελεί το επιθυμητό όφελος.

Αντλία θερμότητας, εάν η αποδιδόμενη θερμότητα σε υψηλότερη θερμοκρασία, η οποία είναι η απόδοση θερμότητας *Q*, αποτελεί το επιθυμητό όφελος ή ακόμη εάν και οι δυο ποσότητες θερμότητας είναι ολόκληρες η εν μέρει ωφέλιμη ισχύς.

Με άλλα λόγια για την κατανόηση του όρου «αντλία θερμότητας» θα λέγαμε ότι είναι μια συσκευή με την οποία θερμαίνουμε σπίτια και δημόσιους χώρους το χειμώνα ενώ τους ψύχουμε το καλοκαίρι. Το χειμώνα αντλεί θερμότητα από το περιβάλλον και την αποβάλει στο θερμαινόμενο χώρο. Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται εξαερώνεται σε σπείρες οι οποίες βρίσκονται στο έδαφος ή στο αέρα, και στην συνέχεια ο ατμός αυτός συμπιέζεται. Ακολούθως πραγματοποιείται διαδικασία συμπυκνώσεως όπου ο ατμός αποβάλλει θερμότητα στον αέρα, που πρόκειται να θερμάνει το χώρο πάνω από μια επιθυμητή στάθμη θερμοκρασίας.

1.1.3 ΕΙΔΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Τα είδη των κλιματιστικών μονάδων ποικίλουν ανάλογα με το μέσο στο οποίο η εξωτερική μονάδα απορροφά ή προσδίδει θερμότητα. Ξεχωρίζονται λοιπόν στα παρακάτω :

1. Κλιματιστικές μονάδες τοποθέτησης εξωτερικής μονάδας στο έδαφος

2. Κλιματιστικές μονάδες νερού - αέρα

Οι τελευταίες, σε σχέση με την ύπαρξη του νερού, διακρίνονται σε : *α)* Νερό από κάποιο πηγάδι

β) Νερό λίμνης

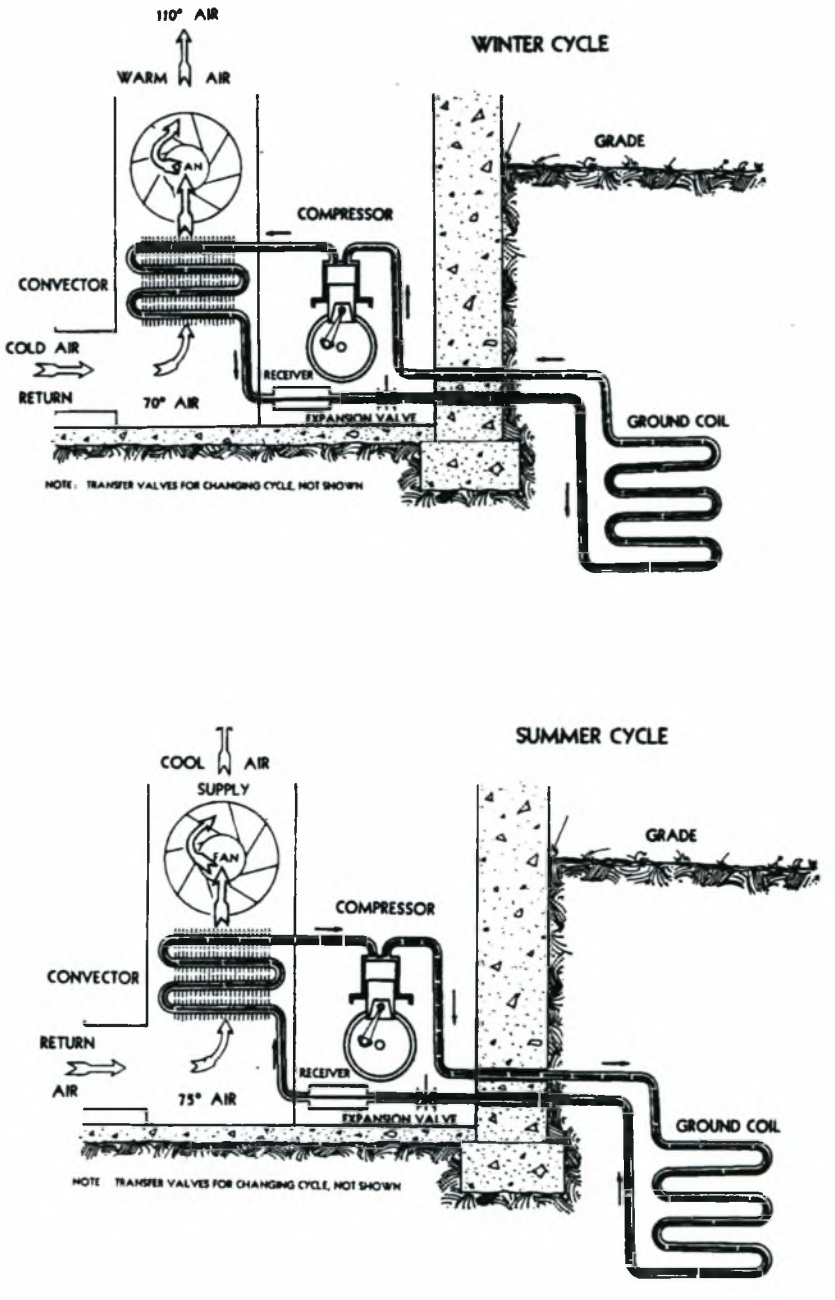
3. Κλιματιστικές μονάδες αέρα

Παρακάτω δίνεται περιληπτικά μια περιγραφή των μονάδων και πραγματοποιείται μια σύγκριση σε σχέση με το κόστος και άλλες παραμέτρους.

α) Ground Coil

Ένας τύπος εγκατάστασης που μπορεί να προσφέρει καλούς συντελεστές απόδοσης, είναι η τοποθέτηση της κλιματιστικής μονάδας στο έδαφος (Σχήμα 1.1). Έχει βρεθεί ότι άσχετα από τις αλλαγές στην θερμοκρασία του αέρα και το γεωγραφικό πλάτος, η θερμοκρασία στο έδαφος

σε βάθος 1,5 - 2 m αλλάζει πολύ λίγο. Αυτές οι θερμοκρασίες κυμαίνονται ανάμεσα στους 5° και 16° C . Με άλλα λόγια το έδαφος είναι κατάλληλο και για αποδέκτης αλλά και για να προσφέρει θερμότητα. Όσον αφορά το κόστος της εγκατάστασης μιας τέτοιας μονάδας, ασφαλώς και είναι υψηλότερο από την εγκατάσταση κλιματιστικού με αέρα.



Σχήμα 1.1: *Ground Coil*

β) Lake Coil

Όπως αποδεικνύεται από τη θερμοδυναμική ανάλυση, η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας αυξάνεται καθώς οι θερμοκρασίες υγροποίησης και εξάτμισης προσεγγίζουν η μια την άλλη. Για αυτό κατά την διάρκεια του κύκλου αν μπορεί να βρεθεί μία ζεστότερη πηγή από τον

περιβάλλοντα αέρα, τότε θα μπορέσουμε να επιτύχουμε αύξηση στην απόδοση της μονάδας. Έχουν επιχειρηθεί πολλές εγκαταστάσεις αλλά από τις βέλτιστες είναι η τοποθέτηση της εξωτερικής μονάδας στον πάτο μιας λίμνης. Έτσι κατά την διάρκεια του θερμικού κύκλου ο εξατμιστήρας απορροφά θερμότητα από το νερό της λίμνης, το οποίο είναι σε υψηλότερη θερμοκρασιακή στάθμη από τον αέρα του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα αύξηση της απόδοσης της αντλίας θερμότητας.

γ) Well Coil

Το νερό κάποιου πηγαδιού μπορεί να χαρακτηρισθεί σαν μία επαρκής μονάδα απορρόφησης θερμότητας, ενώ παράλληλα μπορεί και να προσφέρει θερμότητα (ψυκτικός κύκλος). Το κόστος της εγκατάστασης είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα, όπως και στην περίπτωση χρησιμοποίησης νερού από λίμνη, αλλά αυτό θα μπορέσει να αποσβεσθεί από το χαμηλό κόστος λειτουργίας.

δ) Air Coil

Είναι το πιο εύκολο στην εγκατάσταση και το πιο φθηνό. Η εξωτερική μονάδα απορροφά ή προσδίδει θερμότητα στον αέρα του περιβάλλοντος. Αυτός ο τύπος κλιματιστικού έχει πολλά πλεονεκτήματα σε κλίματα όπου η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται περίπου από *-2°* εως και *40° C*. Ο τύπος αυτός καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των κλιματιστικών εγκαταστάσεων, λόγω του μικρού σε σχέση με τα υπόλοιπα κόστους εγκατάστασης αλλά και λόγω των ήπιων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην χώρα μας.

Σε σχέση τώρα με τις διαφορετικές φυσικές διαδικασίες, όσο και με τις φάσεις του ψυκτικού μέσου, έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις μεθόδων πραγματοποίησης του θερμοδυναμικό κύκλου :

Ψυκτικός κύκλος - συμπίεσης, με προσαγωγή μηχανικής ενέργειας :

Ψυκτικός κύκλος-ψυχρού ατμού με ψυκτικά μέσα, το οποία επιτρέπουν στις θερμοκρασίες λειτουργίας μια μεταβολή κατάστασης μεταξύ της φάσης ατμού και της φάσης υγρού

Ψυκτικός κύκλος-ψυχρού αέρα με αέρα σαν ψυκτικό μέσον, χωρίς μεταβολή κατάστασης

Ψυκτικός κύκλος-ρεύματος ατμού με υδρατμό σαν μέσον μεταφοράς και νερό σαν ψυκτικό μέσον,

Ψυκτικός κύκλος-απορρόφησης, με προσαγωγή θερμικής ενέργειας

Θερμοηλεκτρικός ψυκτικός κύκλος με προσαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.1.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΚΛΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΨΥΧΡΩΝ ΑΤΜΩΝ

Από τους παραπάνω κύκλους, αυτός της συμπίεσης ψυχρών ατμών καλύπτει περισσότερο από το 90% των κλιματιστικών εγκαταστάσεων (Σχήμα 1.2). Το χαρακτηριστικό αυτού του κύκλου είναι η χρησιμοποίηση ψυκτικών μέσων τα οποία εξατμίζονται από την υγρή κατάσταση, παραλαμβάνοντας μία όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας, και τα οποία μπορούν πάλι να υγροποιηθούν, προσδίδοντας αυτή τη φορά θερμότητα.

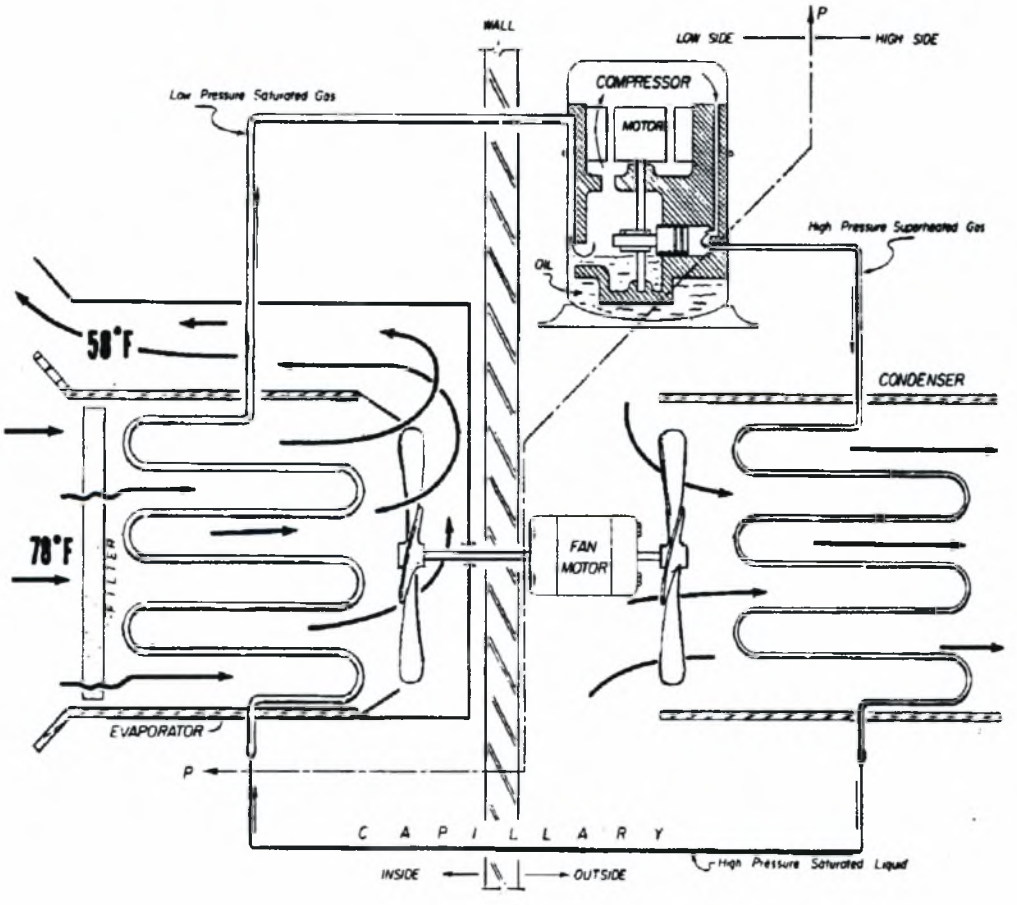
Μια μονάδα συμπίεσης ψυχρών ατμών αποτελείται από τα παρακάτω βασικά εξαρτήματα:

1. *Συμπιεστή* για την προσαγωγή ενέργειας

2. *Συμπυκνωτή (υγροποιητή)* για την απόδοση θερμότητας

3. *Διάταξη εκτόνωσης (στραγγαλισμός)* για την μείωση της πίεσης

4. *Εξατμιστή* για την παραλαβή θερμότητας



Σχήμα 1.2: *Κύκλος Συμπίεσης Ψυχρών Ατμών*

Ο συμπιεστής αναρροφά υπέρθερμο ατμό ψυκτικού μέσου από τον εξατμιστή και τον συμπιέζει σε μια ορισμένη πίεση, ώστε στην συνέχεια όταν ψυχθεί ο ατμός, διάμεσου ψυκτικού νερού ή αέρα ψύξης, να συμπυκνωθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία. Την υγροποίηση αυτή την αναλαμβάνει ο συμπυκνωτής, ενώ το υγρό ψυκτικό μέσον στην συνέχεια ρέει προς ένα ρυθμιστικό όργανο που είναι διαμορφωμένο σαν στραγγαλιστική βαλβίδα, μέσα στο οποίο εκτονώνεται στην πίεση εξάτμισης. Κατά τη διαδικασία αυτή, εξατμίζεται ένα μικρό μέρος του υγρού. Ο εξατμιστής αναλαμβάνει την πραγματική παραγωγή ψύξης, αφαιρώντας από το περιβάλλον θερμότητα για την εξάτμιση του υγρού ψυκτικού μέσου.

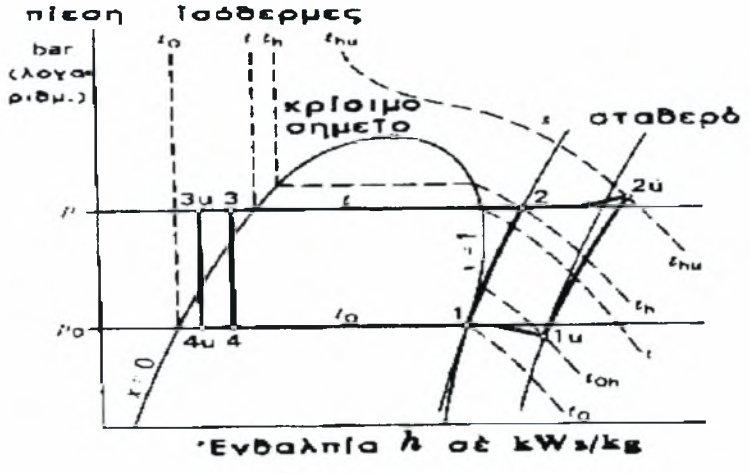
Η λειτουργία του συμπιεστή χωρίζει τον κύκλο σε δύο τμήματα, ένα σε υψηλή και ένα σε χαμηλή πίεση. Τα επίπεδα πίεσης, σε συνδυασμό με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ψυκτικού (καμπύλη Τ, Ρ), καθορίζουν τις θερμοκρασίες αλλαγής φάσης στον συμπυκνωτή και τον εξατμιστή. Οι θερμοκρασίες αυτές πρέπει να διαφέρουν αισθητά από τις αντίστοιχες του θερμού και του ψυχρού χώρου, ώστε να οδηγούν σε ικανοποιητικούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας στους δύο εναλλάκτες.

1.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ

1.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Για την αναπαράσταση μιας διαδικασίας ψύξης ή θέρμανσης χρησιμοποιούνται διαγράμματα *h - log p*, των διαφόρων ψυκτικών μέσων. Στο παρακάτω Σχήμα (1.3) *ενθαλπίας - πίεσης* δείχνεται σχηματικά η πορεία του κύκλου λειτουργίας για κάποιο ψυκτικό μέσο.

Ο ιδανικός κύκλος συμπίεσης ψυχρού ατμού διατρέχει τις παρακάτω αλλαγές καταστάσεως:



Σχήμα 1.3: *Θερμοδυναμικός Κύκλος*

1 - 2 : (Συμπιεστής) Αδιαβατική συμπίεση κορεσμένου ατμού από p_o σε p, με θερμοκρασία συμπίεσης t_h

2 - 3 : (Συμπυκνωτής) Ισοβαρής απόδοση θερμότητας υπερθέρμανσης και υγροποίησης στην θερμοκρασία t

3 - 4 : (Βαλβίδα εκτόνωσης) Ισοενθαλπική εκτόνωση από p σε p_o με μερική εξάτμιση.

4 - 1: (Εξατμιστής) Ισοβαρής εξάτμιση στην θερμοκρασία t_o

Ο ιδανικός λοιπόν κύκλος αποτελείται από δύο ισοβαρή τμήματα, όπου στο ένα θερμότητα $|Q_0|$ απορροφάται από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας t_0, ενώ στο άλλο τμήμα θερμότητα $|Q|$ μεταφέρεται σε χώρο υψηλής θερμοκρασίας t. Ο κύκλος κλείνει με δύο αδιαβατικά βήματα όπου στο ένα έχουμε την προσθήκη του έργου $|W|$ στο σύστημα. Επειδή η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας, ΔV, του μέσου στον κύκλο είναι ίση με μηδέν, τότε σύμφωνα με το πρώτο θερμοδυναμικό νόμο προκύπτει :

$$|W| = |Q| - |Q_0| \qquad (1.1)$$

Άρα το μέτρο απόδοσης για ένα ψυκτικό κύκλο ορίζεται σαν :

ε = απορροφημένη θερμότητα από χώρο χαμηλής θερμοκρασίας / ολικό έργο

$$\text{Δηλαδή : } \varepsilon_1 = |Q_0| / |W| \qquad (1.2)$$

Ενώ σε μία αντλία, ο συντελεστής απόδοσης του κύκλου παραγωγής θερμότητας, θα ισούται με :

ε = προσδιδόμενη θερμότητα σε χώρο υψηλής θερμοκρασίας / ολικό έργο

$$\text{Δηλαδή : } \varepsilon_2 = |Q| / |W| \qquad (1.3)$$

Έτσι ανά μονάδα παροχής μάζας του ψυκτικού μέσου, η θερμότητα $|Q_0|$ που απορροφάται στον εξατμιστή θα ισούται με :

$$|Q_0| = \Delta H = H_1 - H_4 \qquad (1.4)$$

Ομοίως η θερμότητα που αποβάλλεται από τον συμπυκνωτή θα ισούται με :

$$|Q| = H_2 - H_3 \qquad (1.5)$$

Έτσι σύμφωνα με την εξίσωση του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης κίνησης θα ισούται με:

$$|W| = (H_2 - H_3) - (H_1 - H_4)$$

Παρατηρείται όμως ότι το βήμα **3 - 4** παριστάνει ισοενθαλπικό στραγγαλιστικό φαινόμενο. Άρα το έργο του συμπιεστή θα ισούται με :

$$|W| = H_2 - H_1 \qquad (1.6)$$

Για τον ψυκτικό κύκλο τότε, ο συντελεστής απόδοσης *(ε)* είναι :

$$\varepsilon_1 = (H_1 - H_4) / (H_2 - H_1) \qquad (1.7)$$

ενώ για τον κύκλο παραγωγής θέρμανσης ο συντελεστής θα είναι :

$$\varepsilon_2 = (H_2 - H_3) / (H_2 - H_1) \qquad (1.8)$$

Ο σχεδιασμός όμως του εξατμιστή, του συμπιεστή, του συμπυκνωτή, και των άλλων εξαρτημάτων απαιτεί την γνώση της ταχύτητας με την οποία κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο στην μονάδα. Αυτή ορίζεται από την θερμότητα που απορροφάται στον εξατμιστή σύμφωνα με την εξίσωση :

$$m = |\dot{Q}_0| / (H_1 - H_4) \qquad (1.9)$$

1.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Ο πραγματικός τεχνικός κύκλος παρουσιάζει διάφορες αποκλίσεις από τον ιδανικό. Αρχικώς θα πρέπει ο συμπιεστής να προφυλαχθεί από το να αναρροφήσει υγρό ψυκτικό μέσο, το οποίο δεν έχει εξατμιστεί εντελώς. Κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία υγρών πληγμάτων στο συμπιεστή με επακόλουθο την βλάβη του. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με την δημιουργία υπέρθερμου ατμού στο στόμιο αναρρόφησης του. Η υπερθέρμανση αυτή μπορεί να γίνει στον εξατμιστή με μία ανάλογη ρύθμιση της βαλβίδας εκτόνωσης ενώ συγχρόνως εξακολουθεί αυτή η υπερθέρμανση να παράγει ωφέλιμη ψυκτική ισχύς. Εκτός αυτού όμως παρατηρείται και μία πτώση πίεσης στον αγωγό αναρρόφησης που οφείλεται στην αντίσταση που παρουσιάζεται στην ροή του ψυκτικού και που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3 με το σημείο 1_u.

Μία άλλη διαφορά που παρατηρείται κατά τον πραγματικό κύκλο είναι ότι η συμπίεση πραγματοποιείται με μία μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας έναντι της ιδανικής. Παρατηρείται επίσης και μία ελαφρώς αυξημένη τελική πίεση στον αγωγό κατάθλιψης, σε σχέση με το ιδανική, πράγμα που οφείλεται πάλι στην αντίσταση ροής. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο σημείο 2_u του σχήματος 1.3. Βάσει της διαφοράς αυτής, είναι δυνατόν να υπολογιστεί για κάθε κύκλο η απόδοση του συμπιεστή σε σύγκριση με την ιδανική συμπεριφορά. Ως κριτήριο έτσι,

της απόδοσης ενός συμπιεστή ορίζεται ο ισοεντροπικός βαθμός του, ο οποίος ισούται με το πηλίκο του θεωρητικού ή ιδανικού του έργου προς το πραγματικό.

$$n = (W_C)_s / W_C = (H_2 - H_1)_s / (H_2 - H_1) \qquad (1.10)$$

Λόγω των απωλειών στον συμπιεστή δεν υπεισέρχεται στο σύστημα ολόκληρη η προσαγόμενη ενέργεια αλλά περίπου ένα 70 με 90% με αποτέλεσμα η εξίσωση του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου να παίρνει την μορφή :

$$|Q| = |Q_0| + |W_S| / n \qquad (1.11)$$

1.2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΙΣΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Σε κάθε διαδικασία μετατροπής ενέργειας, συνεπώς και σε ένα θερμοδυναμικο κύκλο, πρέπει το άθροισμα των προσαγόμενων ενεργειών να ισούται με το άθροισμα των επαγόμενων ενεργειών. Συνεπώς κάτι τέτοιο ισχύει και για μια ψυκτική μηχανή όπως και για την αντλία θερμότητας, παραλείποντας όμως τις απώλειες και τις βοηθητικές ενέργειες .

Η λειτουργική συμπεριφορά μιας ψυκτικής μηχανής ή μιας εγκατάστασης αντλιών θερμότητας δεν εξαρτάται όμως μόνον από την βασική εξίσωση του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου. Το ίδιο σημαντικοί είναι και οι ενεργειακοί ισολογισμοί για τη ροή των μαζών αέρα στην ψυχρή και τη θερμή πλευρά, με τις θερμοκρασιακές διαφορές που απορρέουν από τη ροή τους , καθώς επίσης και τις θερμοκρασιακές διαφορές, που δημιουργούνται λόγω των εγκαταστημένων επιφανειών των εναλλακτών θερμότητας και τους επιτυχούμενους συντελεστές θερμοπερατότητας. Στο Σχήμα: 2.3-1 παρουσιάζεται ένας ολικός ισολογισμός των μετατροπών ενέργειας και των θερμοκρασιακών διαφορών που απορρέουν από τις μετατροπές αυτές, για κύκλο συμπίεσης ψυχρών ατμών.

Σχήμα 1.4: *Θερμοκρασιακές διαφορές για κύκλο συμπίεσης ψυχρών ατμών*

$$Q_0 = G_K\, c_K\, (t_{KE}-t_{KA}) = F_K\ k_k\ \Delta t_K \quad (1.12)$$

$$Q_0 = f(t, t_0, V_h) \quad (1.13)$$

$$W = f(t, t_0, V_h) \quad (1.14)$$

$$Q = Q_0 + W = F_W\ k_W\ \Delta t_W = G_W\, C_W\, (t_{WA}-t_{WE}) \quad (1.15)$$

Στους τύπους που γράφονται δεξιά από το Σχήμα: 2.3-1 ο δείκτης *K* αναφέρεται στην ψυχρή πλευρά, ενώ ο δείκτης *W* αναφέρεται στη θερμή πλευρά του κύκλου. Ο δεύτερος δείκτης χαρακτηρίζει με *E* την είσοδο και με *A* την έξοδο του μέσου που αποδίδει η απαγάγει τη θερμότητα. Εκτός από τα ήδη γνωστά μεγέθη *Q*, *Qo* και *W*, οι συμβολισμοί έχουν την παρακάτω σημασία:

G = ροή μάζας (kg/s)

t_o = θερμοκρασία εξάτμισης (°C) ή θερμοκρασία λειτουργίας στην ψυχρή πλευρά

t = θερμοκρασία υγροποίησης (°C) η θερμοκρασία λειτουργίας στη θερμή πλευρά.

V_h = γεωμετρικός μεταφερόμενος όγκος του συμπιεστή (m^3/h)

k = συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m^2K)

c = ειδική θερμότητα (kJ/kg K)

F = επιφάνεια (m^2)

Δt = λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά (K).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ψυκτική ισχύς *Qo* και η κατανάλωση ενέργειας *W* δεν εξαρτώνται μόνον από το μέγεθος του εγκατεστημένου συμπιεστή - όγκος μεταφοράς V_h - αλλά επίσης και από τη θέση των θερμοκρασιών λειτουργίας t_o και *t*. Οι σχέσεις αυτές οδηγούν μαζί με τη βασική εξίσωση :

$|Qo| + |W| \approx |Q|$ στο ότι κάθε ψυκτική εγκατάσταση ή εγκατάσταση αντλίας θερμότητας λειτουργεί σε ένα σημείο που πληρεί συγχρόνως όλες τις εξισώσεις και εξαρτήσεις που δόθηκαν στο Σχήμα 1.4. Αυτό το σημείο λειτουργίας ή *σημείο ισορροπίας* υπολογίζεται συνήθως για τις απαιτούμενες συνθήκες μιας εγκατάστασης και με αυτό προσδιορίζονται οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας και το μέγεθος του συμπιεστή. Εάν οι συνθήκες λειτουργίας αποκλίνουν από τις ονομαστικές συνθήκες λόγω π.χ. της μεταβολής της ροής μάζας ή μιας μεταβολής των θερμοκρασιακών εισόδου στην ψυχρή και την θερμή πλευρά, τότε θα επιτυγχάνονταν καινούργιες συνθήκες ισορροπίας με τη βοήθεια κατάλληλων ρυθμιστικών επεμβάσεων.

Στο Σχήμα 1.4 παρατηρείται ακόμη, ότι η θερμοκρασία του κύκλου t_o (εξάτμισης) της ψυχρής πλευράς του κύκλου της ψυκτικής μηχανής είναι διαρκώς σημαντικά χαμηλότερη από

τη θερμοκρασία εισόδου t_{KE} του μέσου που πρόκειται να ψυχθεί ή της διατιθέμενης πηγής θερμότητας (για μια αντλία θερμότητας). Επίσης η θερμοκρασία του κύκλου t (συμπύκνωσης) στη θερμή πλευρά είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία εισόδου t_{WE} του μέσου που πρόκειται να θερμανθεί.

1.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.3.1.ΒΑΣΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ:

α) Συμπιεστής

Για κλιματιστικές μονάδες με ψυκτική ισχύ μέχρι 25 kW κατασκευάζονται συμπιεστές που είναι συγκολλητοί και ενσωματώνονται στις συσκευές. Αυτού του είδους οι συμπιεστές ονομάζονται " πλήρως ερμητικοί " (Σχήμα 1.5). Από τα βασικότερα προτερήματα αυτών των συμπιεστών είναι καταρχήν η προσιτή τιμή τους ενώ παράλληλα εξοικονομούν χώρο και είναι συνήθως αθόρυβοι.

Όσον αφορά την λειτουργία τους, εξαιτίας του ότι η φόρτιση μίας αντλίας ποικίλει κατά την διάρκεια μια ημέρας ή μιας εποχής, χρησιμοποιούνται συμπιεστές με ποικίλες χωρητικότητες. Αυτοί μπορούν να αλλάζουν την χωρητικότητα τους θέτοντας σε λειτουργία διάφορες βαλβίδες οι οποίες π.χ. αποφορτίζουν έναν κύλινδρο από τον συμπιεστή ή πραγματοποιούν διάφορες άλλες λειτουργίες που περιγράφονται παρακάτω. Ο μηχανισμός αυτός συνήθως λειτουργεί ηλεκτρονικά. Αναλυτικότερα η ρύθμιση ισχύος ενός συμπιεστή ή αλλιώς η ρύθμιση ροής για αμετάβλητη σχέση πίεσης, μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους :

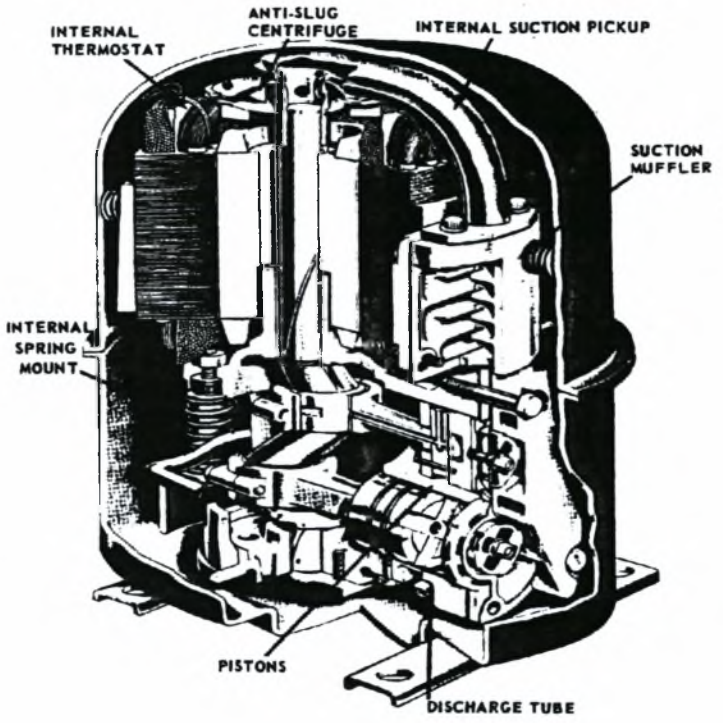
1. Μεταβολή του *αριθμού στροφών* με την χρήση ρυθμιζόμενων κινητήρων.

2. Μεταβολή του *νεκρού χώρου* με την προσάρτηση συμπληρωματικών χώρων στους κυλίνδρους (μεγάλες εγκαταστάσεις).

3. *Ρύθμιση by - pass* όπου ο ατμός που βρίσκεται υπό πίεση ρέει προς την πλευρά αναρρόφησης.

4. *Διακοπή των κυλίνδρων* διατηρώντας ανοιχτές τις βαλβίδες αναρρόφησης.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος συμπιεστή για μονοβάθμιες κλιματιστικές εγκαταστάσεις με μια ψυκτική ισχύ της τάξης των 300-500kW (kJ/s) είναι ο εμβολοφόρος. Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως τα R12 και R22 χωρίς να αποκλείεται η χρήση και άλλων φθοριωμένων υδρογονανθράκων.



Σχήμα 1.5: «*Ερμητικός*» *συμπιεστής*

β) Συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής είναι το εξάρτημα της μονάδας, μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η υγροποίηση του ατμοποιημένου ψυκτικού μέσου, απάγοντας ισχύ συμπύκνωσης στον αέρα ή στο νερό. Οι συμπυκνωτές που χρησιμοποιούνται σε μικρές εγκαταστάσεις είναι συνήθως αερόψυκτοι, δηλαδή συστήματα πτερυγιοφόρων σωλήνων εξοπλισμένων με ανεμιστήρα. Έτσι το ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται μέσα στους σωλήνες, ενώ ο αέρας ψύξης προσφυσάται εξωτερικά επάνω σε αυτούς. Όσον αφορά τους ανεμιστήρες, προτιμούνται συνήθως φυγοκεντρικοί οι οποίοι είναι σχετικά αθόρυβοι.

Η απόφαση σχετικά με το αν πρέπει να χρησιμοποιηθεί υδρόψυκτος ή αερόψυκτος συμπυκνωτής, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ιδίως από την τιμή του ρεύματος, του νερού, την στάθμη θορύβων κ.α. Κύριο πλεονέκτημα των αερόψυκτων συμπυκνωτών είναι το μικρό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης που έχουν. Σημαντικό μειονέκτημα όμως είναι η απαίτηση υψηλότερης ενέργειας από τον συμπιεστή που προέρχεται από υψηλότερη θερμοκρασία υγροποίησης.

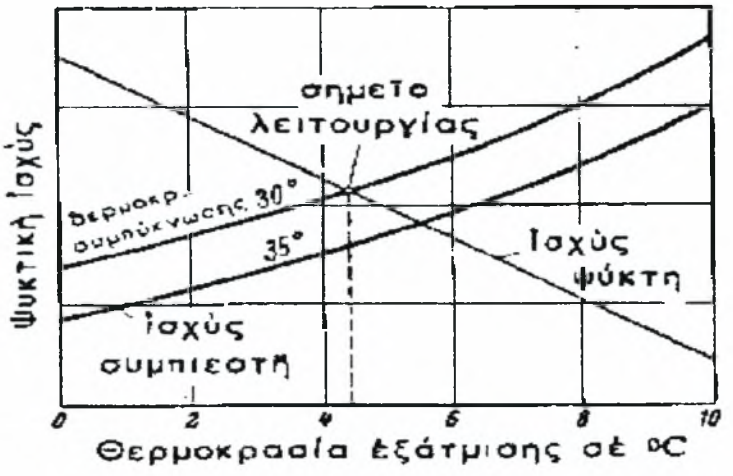
γ) Εξατμιστής

Ο εξατμιστής είναι το εξάρτημα της μονάδας στο οποίο πραγματοποιείται απορρόφηση θερμότητας, συνεπώς εκείνο το μέρος της εγκατάστασης παράγει ψύξη. Αποτελείται συνήθως

από ένα σύστημα πτερυγιοφόρων σωλήνων διαμέτρου από 15-18 mm, με πτερύγια αλουμινίου ή ελάσματα με απόσταση μεταξύ τους από 3-5 mm. Έτσι το ψυκτικό μέσο διασχίζοντας τους σωλήνες εξατμίζεται, ενώ ο αέρας που έχει απορροφηθεί από τον ανεμιστήρα σαρώνει κάθετα το σύστημα (σταυρωτή ροή).

Οι σωλήνες του εξατμιστή θα πρέπει να έχουν την ίδια ακριβώς διάμετρο και το ίδιο μήκος ώστε να προκαλούν ενιαία αντίσταση ροής, ενώ επίσης θα πρέπει να προσεχθεί ώστε οι ατμοί του ψυκτικού μέσου σε κάθε κύκλο να μην ξεπερνάνε μια ταχύτητα της τάξης των 8 έως 12 m/s στην έξοδό τους. Κάτι τέτοιο μπορεί να αντιμετωπισθεί με μία ομοιόμορφη διανομή του ψυκτικού στους σωλήνες, πράγμα που αναλαμβάνει ένας διανομέας. Ο διανομέας αυτός μοιράζει ομοιόμορφα το εξερχόμενο από τον στραγγαλισμό μίγμα υγρού - ατμού, διαμέσου σωλήνων μικρής διαμέτρου, στους σωλήνες του εξατμιστή.

Όπως αναφέρεται παραπάνω οι εξατμιστές είναι όργανα παραγωγής ψυκτικής ισχύος. Αυτή η ισχύς [$Q_0 = F_k\ k_k\ (t_{KE} + t_{KA}/2 - t_0)$] θα αυξάνεται όταν η θερμοκρασία εξάτμισης (t_0) πέφτει, ενώ αντίθετα η ισχύς της μηχανής θα μειώνεται. Το βέλτιστο σημείο λειτουργίας θα μπορεί σε κάθε περίπτωση να βρεθεί (για ορισμένο συμπιεστή και εξατμιστή δεδομένης επιφάνειας) αναπτύσσοντας ένα διάγραμμα παρόμοιο με το παρακάτω :



Σχήμα 1.6: *Βέλτιστο Σημείο Λειτουργίας*

Τέλος σε σχέση με την επιφάνεια εναλλαγής, παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο υψηλότερη θερμοκρασία εξάτμισης θα έχουμε. Κάτι τέτοιο εξασφαλίζει υψηλότερο συντελεστή απόδοσης της μονάδας, άρα και μικρότερη ενεργειακή απαίτηση.

1.3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

α) Τριχοειδείς σωλήνες

Είναι το απλούστερο στραγγαλιστικό και ρυθμιστικό όργανο. Κατασκευάζεται συνήθως από χαλκοσωλήνα με εσωτερική διάμετρο 0,4 έως 2 mm και μήκος που μπορεί και περισσότερο από 2 m. Συνδέεται στην γραμμή αναρρόφησης με συγκόλληση, ώστε το υγρό ψυκτικό μέσον να μπορεί να αποψυχθεί διάμεσου εναλλαγής θερμότητας. Χρησιμοποιείται σε συσκευές μικρότερης ισχύος, των οποίων η πλήρωση με ψυκτικό υγρό πρέπει να εκτελεστεί με ακρίβεια, όπως π.χ. σε ψυγεία , καταψύκτες, και κλιματιστικές συσκευές μέχρι μέγιστη απορροφημένη ισχύ 4kW.

Από την εξάρτηση της παροχής, από την πτώση πίεσης και την υπόψυξη, απορρέει μια δυνατότητα ρύθμισης της ποσότητας του ψυκτικού.

Με άλλα λόγια, στον τριχοειδή σωλήνα λόγω της πτώσης πίεσης που υφίσταται το ψυκτικό σε αυτόν, έχουμε μια απώλεια ισχύος. Αυτή, σε άλλες εγκαταστάσεις μπορεί να αποδοθεί, με την προσθήκη ενός στροβίλου. Τέτοιες μονάδες χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή μεγάλης ισχύος όπως σε βιομηχανικές μονάδες κ.α.

β) INVERTER

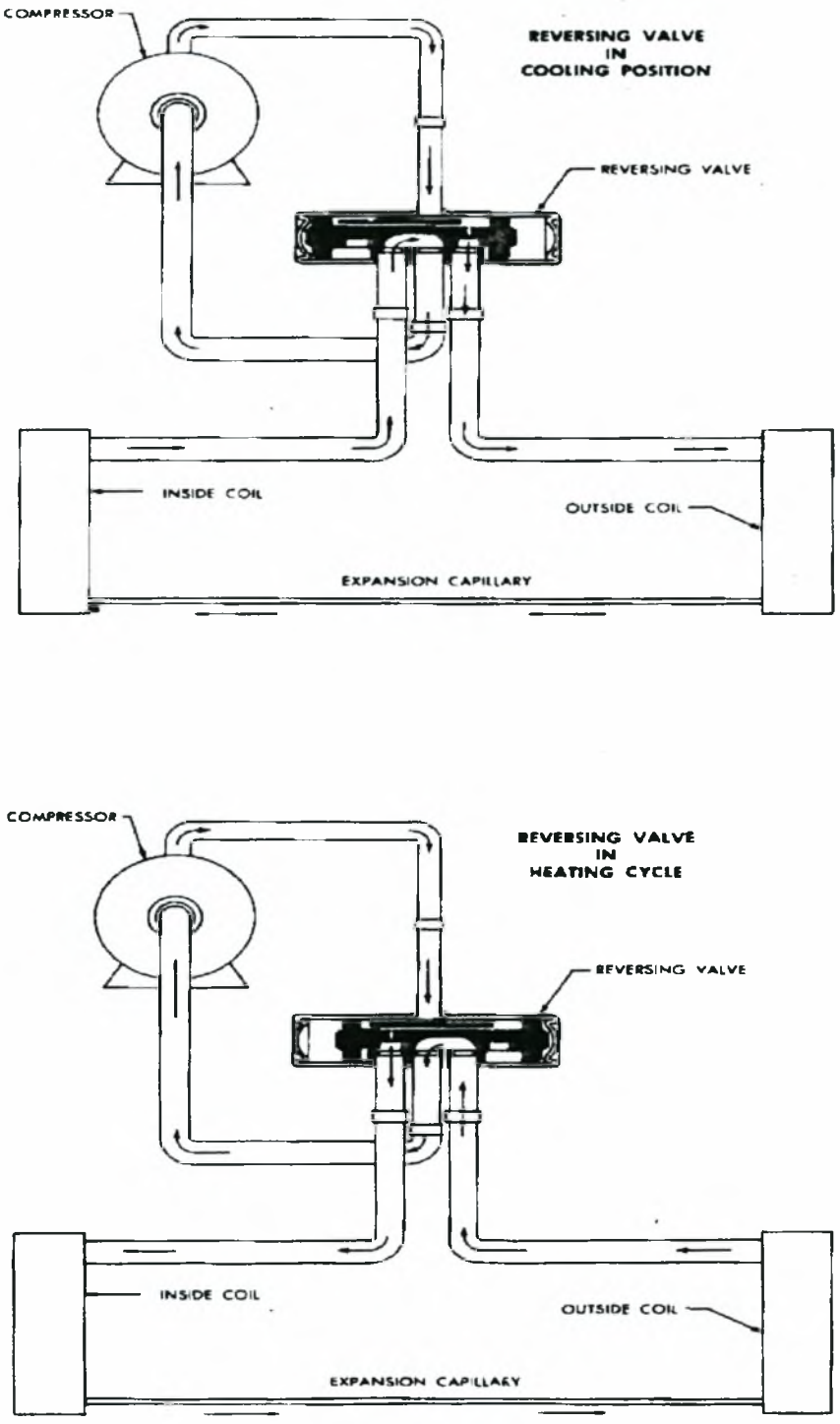
Το *INVERTER* είναι ένας μηχανισμός ο οποίος ρυθμίζει τις στροφές λειτουργίας του συμπιεστή. Λειτουργεί με ηλεκτρονικό τρόπο και η ενεργοποίηση του είναι αυτόματη, όταν η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία. Σαν αισθητήριο όργανο χρησιμοποιεί ένα θερμόμετρο, το οποίο είναι προσαρμοσμένο στην εσωτερική μονάδα του κλιματιστικού.

Η ενεργοποίηση του *INVERTER* εκδηλώνεται όταν η θερμοκρασιακή στάθμη στον εσωτερικό χώρο πλησιάσει σε μεγάλο βαθμό την θερμοκρασια η οποία έχει ορισθεί να εξέρχεται ο αέρας από τον εσωτερικό εναλλάκτη (δηλαδή όταν η *t* εισόδου του αέρα προσεγγίζει την *t* εξόδου του) ενώ η λειτουργία του σταματάει, όταν η διαφορά αυτή αρχίζει να μεγαλώνει, οπότε και η μονάδα επιστρέφει στην αρχική της λειτουργία. Όταν πραγματοποιείται κάτι τέτοιο το *INVERTER* κατεβάζει τις στροφές του συμπιεστή, πράγμα το οποίο επιφέρει κάποιες αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας. Μια από αυτές είναι η ελάτωση της διαφοράς των πιέσων εισόδου και εξόδου του ψυκτικού από τον συμπιεστή. Με άλλα λόγια πραγματοποιείται μια τάση ελάτωσης της διαφοράς ανάμεσα στην θερμοκρασία υγροποίησης (του συμπυκνωτή) από την θερμοκρασία ατμοποίησης (του εξατμιστή). Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση της ψυκτικής ισχύος (όταν πρόκειται για ψύξη), όπως και η μείωση της προσδιδόμενης θερμότητας (θέρμανση), ενώ παράλληλα ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή θα αυξάνεται.

Ο σκοπός της προσθήκης του *INVERTER* στις κλιματιστικές συσκεύες είναι κυρίως για λόγους οικονομικούς, αφού κατά την λειτουργία του έχουμε μικρότερη απαίτηση για κατανάλωση ενέργειας.

γ) Βαλβίδα Εναλλαγής

Οι βαλβίδες εναλλαγής αποτελούν ίσως την βασική διαφορά ανάμεσα στις ψυκτικές μηχανές και τις αντλίες θερμότητας. Τοποθετούνται με σκοπό την αλλαγή της ροής του ψυκτικού μέσου από τον σωλήνα εξόδου του συμπιεστή, ενώ η κίνησή τους γίνεται συνήθως με ηλεκτρονικό τρόπο. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούνται βαλβίδες τεσσάρων διαδρόμων, όπως δείχνεται στο Σχήμα 1.7. Ο τρόπος λειτουργίας τους βασίζεται στην ικανότητα περιστροφής περί τον άξονά τους, ώστε να ρυθμίζεται κάθε φορά η διαδρομή του ψυκτικού μέσου. Έχει την δυνατότητα δηλαδή να συνδέει κάθε φορά τον σωλήνα αναρρόφησης του συμπιεστή, με έναν από τις δύο σωλήνες εισόδου των εναλλακτών επιτρέποντας συγχρόνως την ροή του ψυκτικού από την άλλη. Με άλλα λόγια έχει την δυνατότητα μεταβολής π.χ. της εσωτερικής μονάδας από εξατμιστή (για παραγωγή ψύξης) σε συμπυκνωτή (για παραγωγή θέρμανσης) ή και το αντίστροφο. Την ίδια μεταβολή επιβάλει συγχρόνως και στην εξωτερική μονάδα.



Σχήμα 1.7: *Βαλβίδα Εναλαγής*

1.4 ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

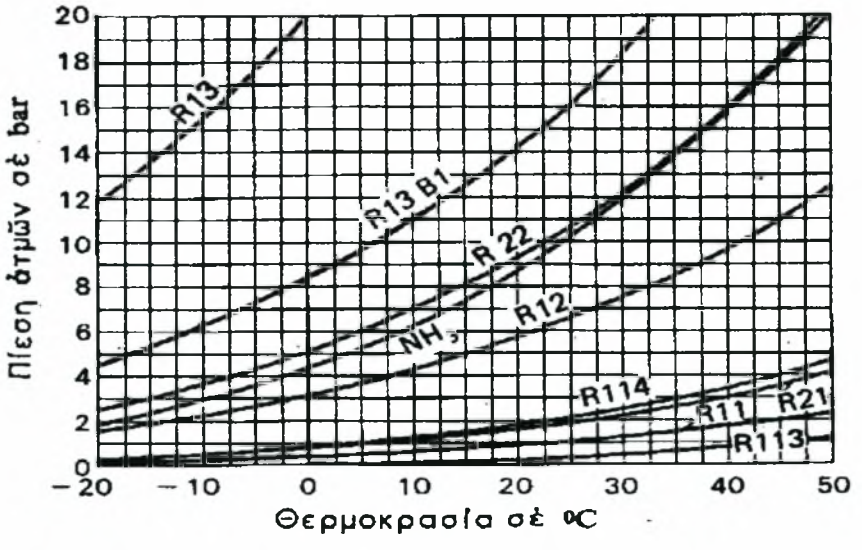
Σαν ψυκτικό μέσο χαρακτηρίζουμε το ρευστό που ανακυκλοφορεί σε μία ψυκτική εγκατάσταση, και του οποίου οι καταστατικές μεταβολές επενεργούν στην παραγωγή ψύχους ή θέρμανσης. Ο λόγος χρησιμοποίησης των ψυκτικών αποδίδεται στην μη-αντιστρεψιμότητα του κύκλου συμπίεσης ατμών, ο οποίος και εξαρτάται από την απόδοση του μέσου που χρησιμοποιείται. Παρόλα αυτά το ενδιαφέρον στην επιλογή του ψυκτικού είναι πιο στενά δεμένο με την τοξικότητα, την αναφλεκτικότητα, το κόστος, τις διαβρωτικές ιδιότητες και την σχέση πίεσης ατμών - θερμοκρασίας. Έτσι ο αέρας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ψυκτικό μέσο, αφού η πίεση ατμών του στην θερμοκρασία εξαέρωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Από την άλλη πλευρά η πίεση των ατμών στη θερμοκρασία συμπύκνωσης δεν θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη λόγο υψηλού κόστους στο μηχάνημα συμπίεσης. Η επιλογή του ψυκτικού εξαρτάται επίσης από την περιοχή θερμοκρασιών, αλλά και από το είδος της εγκατάστασης.

Περιληπτικά οι απαιτήσεις για την επιλογή ενός ψυκτικού είναι οι παρακάτω:

1.Ευνοϊκή πορεία της *καμπύλης πίεσης ατμού*

α) μεγάλη πίεση σε θερμοκρασία εξάτμισης, για να εμποδίζεται η διείσδυση του αέρα

β) χαμηλή πίεση σε θερμοκρασία συμπύκνωσης, για να είναι επιτρεπτά λεπτά τοιχώματα και συνεπώς ελαφριά κατασκευή του συμπυκνωτή. Μερικές καμπύλες πίεσης ατμών διάφορων ψυκτικών δίνονται στο παρακάτω Σχήμα 1.8



Σχήμα 1.8: Καμπύλες Πίεσης Ατμών Διάφορων Ψυκτικών

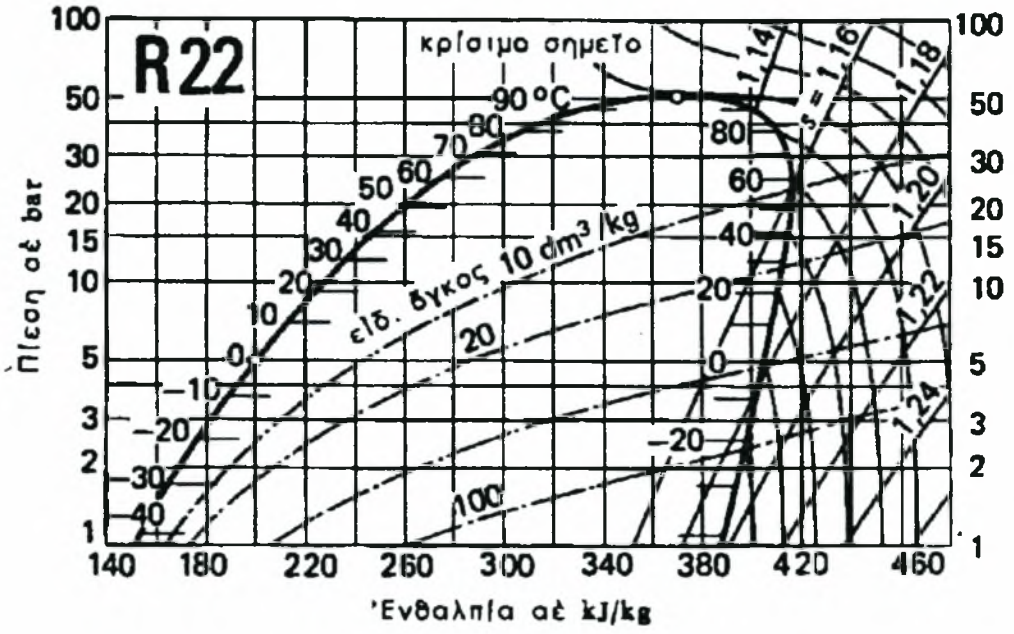
2. *Μεγάλη ποσότητα θερμότητας εξάτμισης*, ώστε η ποσότητα του ψυκτικού να είναι όσο το δυνατόν λιγότερη
3. Ψυκτικό μέσον, *μη δηλητηριώδες, με χημική ευστάθεια, άκαυστο, αντιεκρηκτικό και αντιδιαβρωτικό*.

Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες κλιματιστικές μονάδες, ανήκουν στην κατηγορία των φθοριωμένων υδρογονανθράκων τα λεγόμενα και ως *ψυκτικά μέσα αλογονίου*. Αυτά παριστάνονται με το γράμμα «*R*» και έναν συνδυασμό αριθμών, ενώ χαρακτηρίζονται από το ότι είναι μη δηλητηριώδη αλλά και άοσμα.

Στον παρακάτω Πίνακα 1.1 δίνονται μερικές από τις φυσικές ιδιότητες του *R22*, μέσο το οποίο ανήκει στην κατηγορία των ψυκτικών αλογονίου, ενώ στη συνέχεια απεικονίζεται το Σχήμα 1.9, (*H - logP*) του ίδιου ψυκτικού.

Χημικός τύπος	μοριακό βάρος	σημείο βρασμού σε (1,013 bar)	σημείο πήξης	κρίσιμη θερμοκρασία	κρίσιμη πίεση
CHF_2Cl	**86,48**	**-40,80**	**-160**	**96**	**49,3**

Πίνακας 1.1: Φυσικές Ιδιότητες του *R22*



Σχήμα 1.9: *"Καμπάνα" R22*

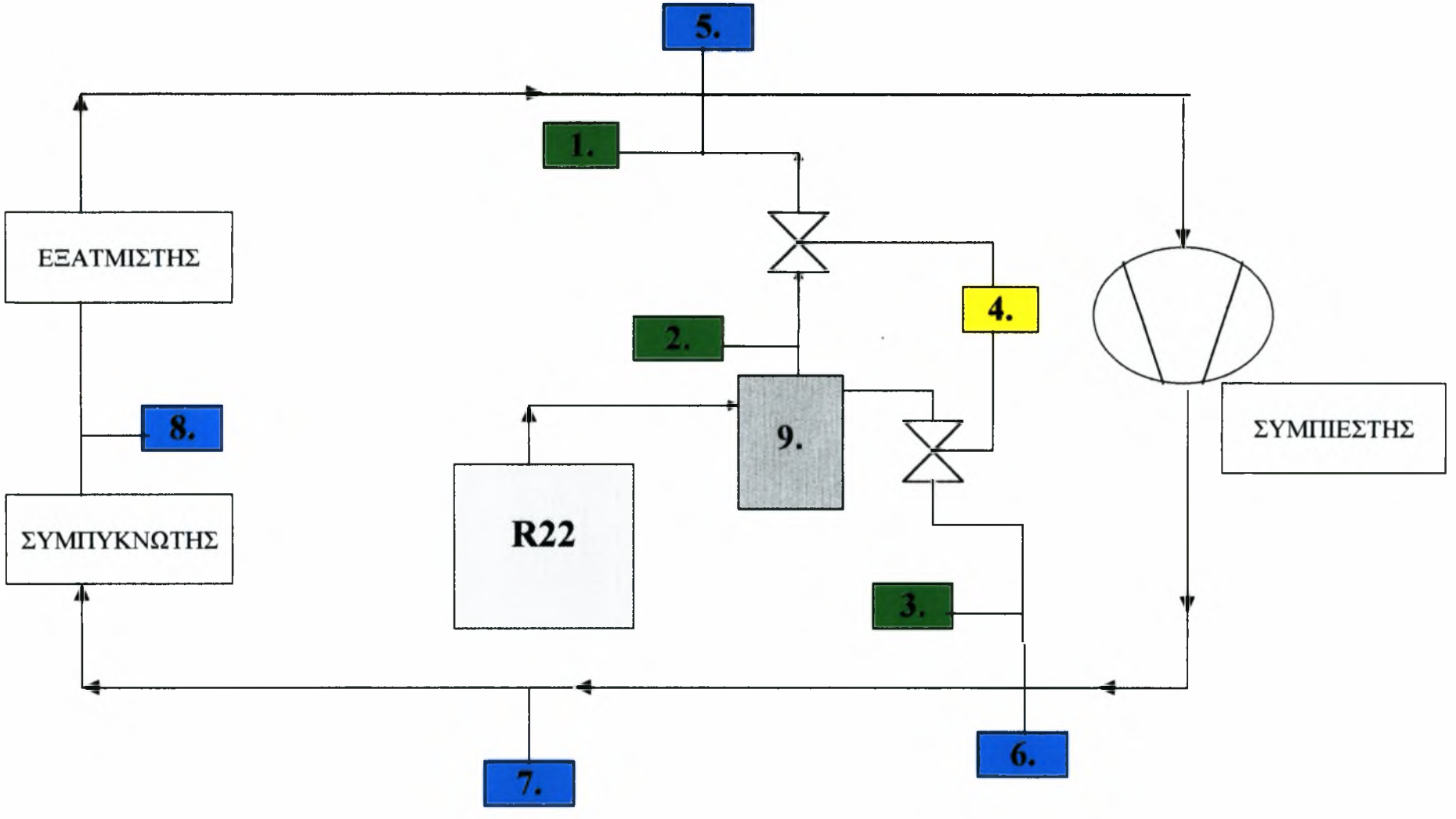
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

2.1: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς της μονάδας σε σχέση με τις συνθήκες λειτουργίας της και ειδικότερα σε σχέση με την ποσότητα του ψυκτικού μέσου που πληρώνει το σύστημα αλλά και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η τοποθέτηση στην μονάδα διαφόρων μετρητικών πιέσεως, θερμοκρασίας όπως και άλλων εξαρτημάτων σε κατάλληλες θέσεις. Η τοποθέτηση των μετρητικών αυτών στη μονάδα έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε με τις ενδείξεις που θα συλλεχθούν να είναι δυνατή η απεικόνιση του θερμοδυναμικού κύκλου σε κάθε πειραματική μέτρηση. Για την πραγματοποίηση των παραπάνω στόχων εγκαταστάθηκε στο *Εργαστήριο Φυσικών Χημικών Διεργασιών*, εμπορική αντλία θερμότητας η οποία στην συνέχεια εξοπλίστηκε με τα παρακάτω μετρητικά και εξαρτήματα στις θέσεις που απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα (2.1).

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

1. **ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΕΩΣ JUMO 6**
2. **ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΕΩΣ JUMO 25**
3. **ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΕΩΣ JUMO 40**
4. **ΗΛΕΚΤΡΟΒΑΝΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΟΗΣ R22**
5. **ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ**
6. **ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ**
7. **ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ**
8. **ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ**
9. **ΔΟΧΕΙΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ R22**



Σχήμα 2.1: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

2.2 ΟΡΓΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Για την πραγματοποίηση του παραπάνω προγράμματος εργασίας αγοράστηκε αρχικώς κλιματιστικό (αντλία θερμότητας), με τα εξής χαρακτηριστικά :

INSIDE UNIT		OUTSIDE UNIT
Model: CS -G120KE		Model: CU -120KE
Rated voltage:230V~50Hz		Rated voltage:230V~50Hz
Maximum Input: 2,10 kW /9,1A		Refrigerant: R22 -970g
Outdoors input: CU-G 120 KE		Permissible Excessive Pressure:40 bar
	COOLING	HEATING
CAPACITY	3,45 kW	4,80 kW
CURRENT	5,5 A	7,5 A
POWER INPUT	1,24 kW	1,70 kW

Πίνακας 2.1: *Χαρακτηριστικά Κλιματιστικής Συσκευής PANASONIC*

Για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας ήταν αναγκαία η προμήθεια ή χρησιμοποίηση των ακολούθων οργάνων :

1. Για την μέτρηση της πιέσεως στα σημεία επιλογής αγοράστηκαν 3 μετρητικά τύπου JUMO με εύρος: α) 0 -6 bar
   β) 0 -25 bar
   γ) 0 -40 bar
2. Χρησιμοποίηση τεσσάρων θερμοστοιχείων τύπου J
3. Αγορά τριών πολυμέτρων που θα είναι οι αποδέκτες του σήματος των αισθητήρων πιέσεως.
4. Χρησιμοποίηση υπάρχοντος ηλεκτρονικού πολυθερμομέτρου τύπου "COLE PARMER"
5. Αγορά δυο ηλεκτροβανών τύπου " C.E.M.E. S.p.A "
6. Προμήθεια δοχείου αποθηκεύσεως R22
7. Αγορά φιάλης εμπορίου R22
8. Κατάλληλοι σύνδεσμοι ενώσεως μετρητικών και σωληνώσεων.

Η κατασκευή της πειραματικής διάταξης περιλάμβανε την τοποθέτηση των παραπάνω οργάνων, τη βαθμονόμηση τους (όπου ήταν αναγκαία) και το κλείσιμο όλων των διαρροών. Οι διαρροές αυτές αποτέλεσαν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα, το οποίο όμως λύθηκε με τη βοήθεια διαφόρων μεθόδων που περιγράφονται παρακάτω. Η κατασκευή της πειραματικής διάταξης έγινε στο εργαστήριο *Φυσικών και Χημικών Διεργασιών.*

2.1.1 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΠΙΕΣΗΣ - ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή της πειραματικής διάταξης ήταν η βαθμονόμηση των αισθητήρων πιέσεως, χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Α.** Οι αισθητήρες αυτοί έχουν την δυνατότητα να μετατρέπουν την πίεση που ασκείται σε διαφορά δυναμικού. Η σχέση πιέσεως και διαφοράς δυναμικού είναι γραμμική σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\mathbf{P}=A\,\Delta\mathbf{V}+B \qquad (2.1)$$

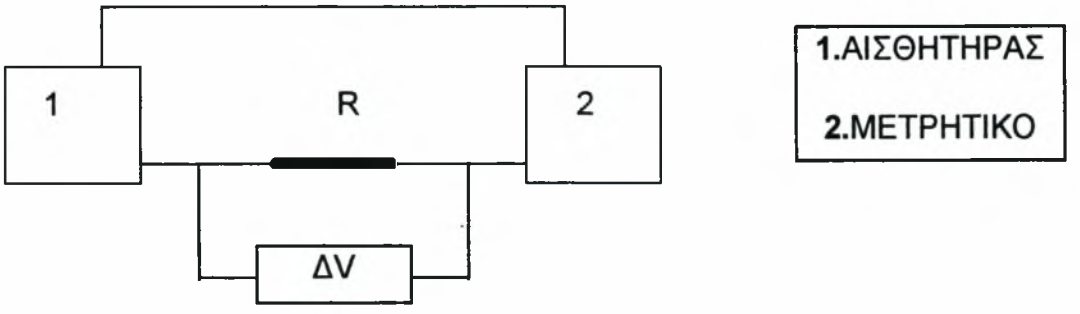
Άρα αντικειμενικός μας σκοπός για την βαθμονόμηση των αισθητήρων είναι για κάθε ένα, να βρεθούν οι κατάλληλοι συντελεστές ***A*** και ***B***, ώστε να δοθεί πλήρως η σχέση **ΔV** και **P**. Η διάταξη μας όπως έχει αναφερθεί, διαθέτει 3 αισθητήρες με εύρος πιέσεων:

1) 0 –6 bar

2) 0 – 25 bar

3) 0 – 40 bar

Για την διαδικασία της βαθμονόμησης χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω κύκλωμα:



Σχήμα 2.2: *Κύκλωμα Βαθμονόμισης*

Το επιτρεπτό εύρος έντασης ρεύματος που περνά από τον αισθητήρα είναι μεταξύ 4 και 20mA. Η ελάχιστη ένταση που περνά από τον αισθητήρα, αντιστοιχεί στην ελάχιστη πίεση που μπορεί να ασκηθεί σε αυτό, η οποία είναι η ατμοσφαιρική. Αντίστοιχα, η μέγιστη ένταση ρεύματος που περνά το μετρητικό αντιστοιχεί στην άσκηση της μέγιστης πίεσης που αυτό μπορεί να δεχθεί :

4mA↔1atm

20mA↔max P

Για την μετατροπή της έντασης του ρεύματος σε διαφορά δυναμικού τοποθετήθηκε η εκάστοτε ηλεκτρική αντίσταση. Αυτή επιλέχτηκε, σε κάθε περίπτωση, με βάση το εύρος της διαφοράς δυναμικού που θέλουμε να πάρουμε από το κύκλωμα, μέσω του προγράμματος του υπολογιστή *GLOBAL LAB*.Το εύρος που χρησιμοποιήθηκε για τον κάθε αισθητήρα ήταν:

1. **±1Volt ⇒ 0-6 bar**
2. **±1Volt ⇒ 0-25 bar**
3. **±10Volt ⇒ 0-40 bar**

Ο λόγος της χρησιμοποίησης μεγάλου εύρους τάσης στο τρίτο μετρητικό, είναι ότι δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η ακρίβεια των τιμών της πίεσης η οποία αντιστοιχεί σε μικρές διαφορές δυναμικού. Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, προκύπτει για κάθε περίπτωση η κατάλληλη αντίσταση :

$$R_6 = \frac{V}{I} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = 50\Omega \qquad (2.2)$$

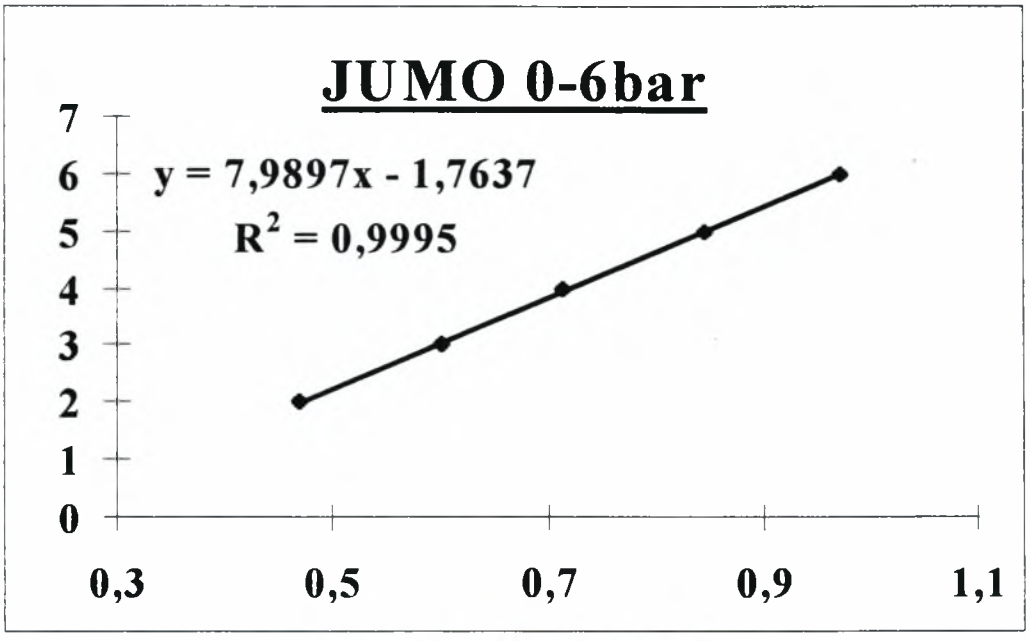
$$R_{25} = 50\Omega \qquad (2.3)$$

$$R_{40} = \frac{10}{20 \cdot 10^{-3}} = 500\Omega \qquad (2.4)$$

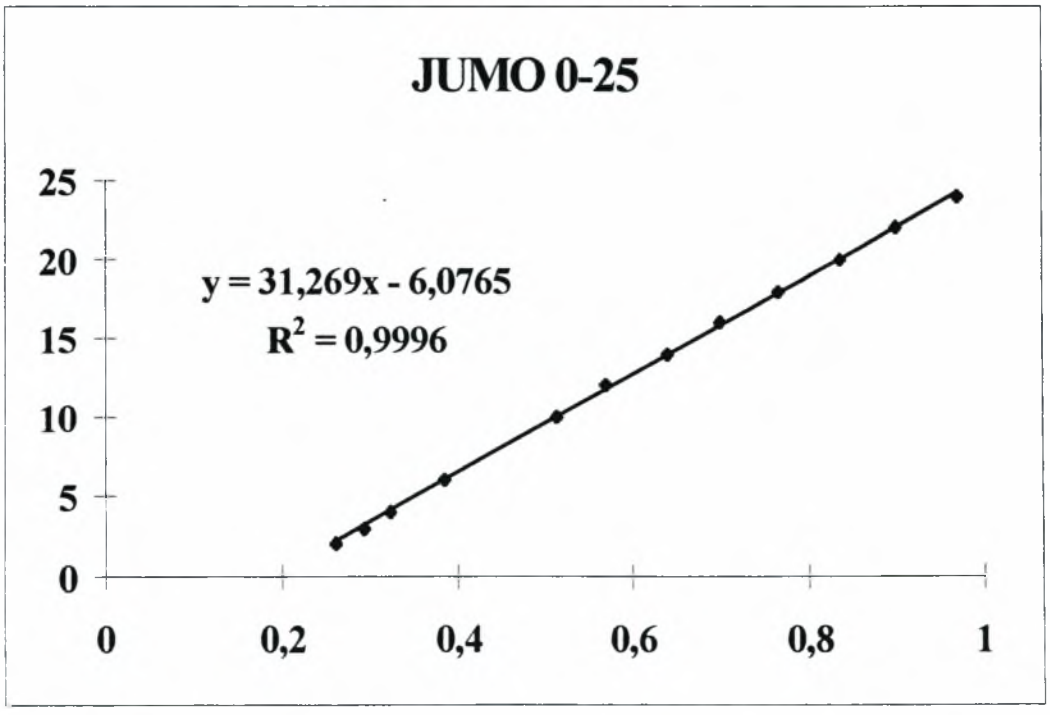
JUMO 6		JUMO 25		JUMO 40	
ΔV	P	ΔV	P	ΔV	P
0,973	6	0,262	2	2,4	2
0,847	5	0,294	3	2,6	3
0,715	4	0,325	4	2,8	4
0,602	3	0,386	6	3	5
0,47	2	0,513	10	3,2	6
		0,57	12	4	10
		0,64	14	4,37	12
		0,7	16	4,77	14
		0,765	18	5,2	16
		0,835	20	5,57	18
		0,9	22	6	20
		0,971	24	6,42	22
				6,85	24
				7,26	26
				7,61	28
				8	30
				8,45	32

Πίνακας 2.2: *Ενδείξεις Μετρητικών Πιέσεως*

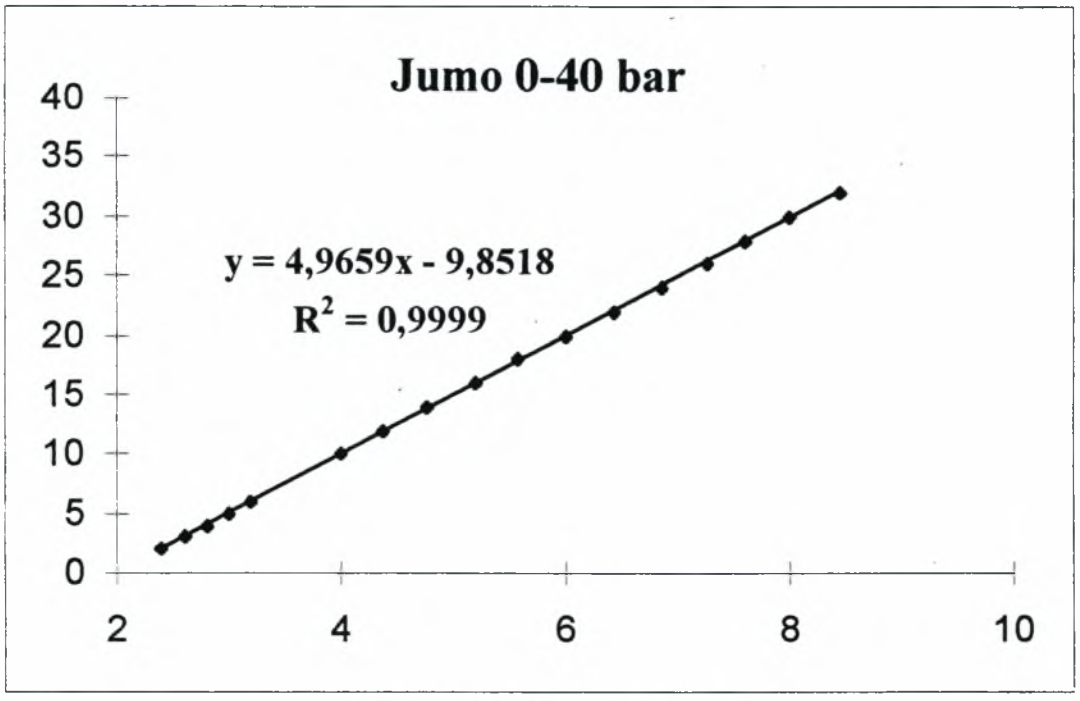
Το επόμενο βήμα, εφόσον έχουν βρεθεί τα στοιχεία του κυκλώματος *(R,ΔV)*, είναι η βαθμονόμηση των μετρητικών. Αυτή πραγματοποιήθηκε με την σύνδεση των μετρητικών σε κατάλληλες φιάλες αερίων, οι οποίες διέθεταν ενσωματωμένο μετρητικό πίεσης ακριβείας. Η καταγραφή των τιμών της τάσης, για κάθε μια τιμή της πίεσης που ασκείται στον αισθητήρα και διαβάζεται από το ενσωματωμένο μετρητικό, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2. Με βάση τις τιμές αυτές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα και οι σχέσεις πιέσεως - διαφοράς δυναμικού σε κάθε ένα από τα τρία μετρητικά:



Σχήμα 2.3: *Εξίσωση JUMO 6*



Σχήμα 2.4: *Εξίσωση JUMO 25*



Σχήμα 2.5: *Εξίσωση JUMO 40*

Οι αισθητήρες αυτοί, εφόσον έχουν βαθμονομηθεί, είναι έτοιμοι για να συνδεθούν στα κατάλληλα κανάλια συλλογής δεδομένων. Από εκεί υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης, μέσω του υπολογιστή με την χρήση του προγράμματος **GLOBAL LAB**, των μεταβολών πιέσεως και ανάλυση των τιμών τους μέσω του στατιστικού πακέτου του προγράμματος.

Η σύνδεση των αισθητήρων πάνω στην συσκευή πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια κατάλληλων συνδέσμων (**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Α.**). Η στεγανοποίηση των σπειρωμάτων έγινε με την χρησιμοποίηση κατάλληλων κολλητικών ουσιών. Οι διαρροές από τα σπειρώματα των αισθητήρων ήταν μεγάλες και πολλές φορές χρησιμοποιήθηκε εποξική κόλλα δύο συστατικών βραδείας πήξεως.

2.1.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού στα σημεία επιλογής, που αναφέρονται στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν θερμοστοιχεία τύπου *J* διαμέτρου *1,5mm*, χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Α.** Αρχικός σκοπός ήταν η σύνδεση των θερμοστοιχείων αυτών με μία κάρτα συλλογής δεδομένων, όπου μέσω του προγράμματος *GLOBAL LAB* θα απεικονίζονταν κάθε φορά οι μεταβολές της θερμοκρασίας του ψυκτικού (λόγω αλλαγής συνθηκών λειτουργίας της μονάδας) σε σχέση με τον χρόνο.

Κάτι τέτοιο όμως δεν στάθηκε δυνατόν λόγω βλάβης της συγκεκριμένης κάρτας, με επακόλουθο την ανάγκη χρησιμοποίησης του υπάρχοντος στο εργαστήριο πολυθερμομέτρου *COLE PARMER*. Μέσω αυτού θα λαμβάνονταν οι ενδείξεις θερμοκρασίας, των συνδεδεμένων μέσω καναλιών σε αυτό, θερμοστοιχείων. Για την σωστή όμως εξαγωγή των μετρήσεων, από το ήδη βαθμονομημένο πολυθερμόμετρο, έπρεπε να προηγηθεί μία ρύθμιση του σε σχέση με το είδος του χρησιμοποιούμενου θερμοστοιχείου, των συνδεδεμένων καναλιών με τα θερμοστοιχεία κ.α. Λόγω αδυναμίας δειγματοληψίας σε υψηλή συχνότητα, οι θερμοκρασίες που καταγράφονται και παρουσιάζονται αναφέρονται στις μόνιμες συνθήκες λειτουργίας. Μεταβατικά φαινόμενα δεν μελετήθηκαν.

2.1.3.ΔΟΧΕΙΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ R22

Όπως έχει αναφερθεί, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να απεικονίσει μερικώς τις μεταβολές του κύκλου σε σχέση με την αλλαγή κάποιων συνθηκών λειτουργίας της μονάδας. Μια από αυτές τις συνθήκες είναι και η μεταβολή της ποσότητας τουR22 με το οποίο πληρώνεται και λειτουργεί το σύστημα. Κάτι τέτοιο πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτηση στην μονάδα ενός δοχείου αποθήκευσης από το οποίο θα υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής ψυκτικού μέσου στο σύστημα. Το δοχείο αυτό θα γεμίζει με φρεον από την φιάλη εμπορίου R22, με το οποίο στη συνέχεια θα πληρώνει την μονάδα.

Ένα παράδειγμα της λειτουργίας του δοχείου που κάνει κατανοητή τη χρήση του είναι το ακόλουθο : Έστω ότι επικρατεί θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος -10˚C και το ψυκτικό μέσο στην μονάδα εξατμίζεται στους -10˚C. Τότε θα είχαμε ως αποτέλεσμα την μη απορρόφηση θερμότητας από τον εξατμιστή, δηλαδή την μη λειτουργία της μονάδας. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να αντιμετωπιστεί με μία πτώση στην πίεση λειτουργίας του εξατμιστή, πράγμα το οποίο γίνεται μόνο με την απορρόφηση ψυκτικού μέσου από την μονάδα. Το δοχείο δηλαδή με μία ηλεκτρονική ρύθμιση, για συνθήκες όμοιες με αυτές που περιγράφονται παραπάνω, θα απορροφάει φρεον ώστε ουσιαστικά να μπορέσει να λειτουργήσει η μονάδα.

Η σύνδεση και ο τρόπος λειτουργίας του δοχείου δίνονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

2.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Η τοποθέτηση των παραπάνω μετρητικών πίεσης απαιτούσε αρχικώς την σωστή κοπή των σωληνώσεων και την δημιουργία κατάλληλων υποδοχών για τα μετρητικά, ώστε να μην υπάρχουν απώλειες οι οποίες θα είχαν σαν αποτέλεσμα λανθασμένες μετρήσεις.

Εφόσον δημιουργήθηκαν οι κατάλληλοι σύνδεσμοι σωληνώσεων και αισθητήρων, το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση των μετρητικών σε κατάλληλες θέσεις πάνω στην διάταξη. Η τοποθέτηση αυτή έγινε ως εξής:

Είσοδος συμπιεστή ↔ JUMO 6

Έξοδος συμπιεστή ↔ JUMO 40

Έξοδος δοχείου αποθήκευσης R22 ↔ JUMO 25

Εκτός από τα μετρητικά πίεσης, στην διάταξη τοποθετήθηκαν και θερμοστοιχεία τύπου J στις παρακάτω θέσεις:

Είσοδος συμπιεστή

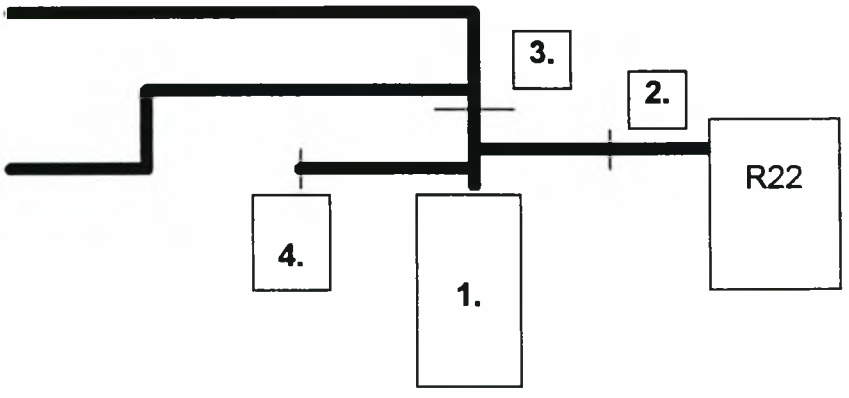
Έξοδος συμπιεστή

Είσοδος συμπυκνωτή

Έξοδος συμπυκνωτή

Αυτά τα θερμοστοιχεία, όπως και οι αισθητήρες πίεσης, μπορούν να συνδεθούν με την κάρτα on-line data acquisition & control η οποία είναι τοποθετημένη σε υπάρχων PC – 486 του εργαστηρίου *Φυσικών και Χημικών Διεργασιών*, και από την οποία θα λαμβάνονται ενδείξεις θερμοκρασίας για κάθε θέση που μας ενδιαφέρει.

Το επόμενο στάδιο είναι η τοποθέτηση του δοχείου αποθήκευσης R22 και η εν σειρά σύνδεσή του με την φιάλη εμπορίου. Το δοχείο αυτό κατασκευάστηκε με την μορφή που παριστάνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.6: *Δοχείο Αποθήκευσης*

Όπου: **1.** Δοχείο αποθήκευσης R22.

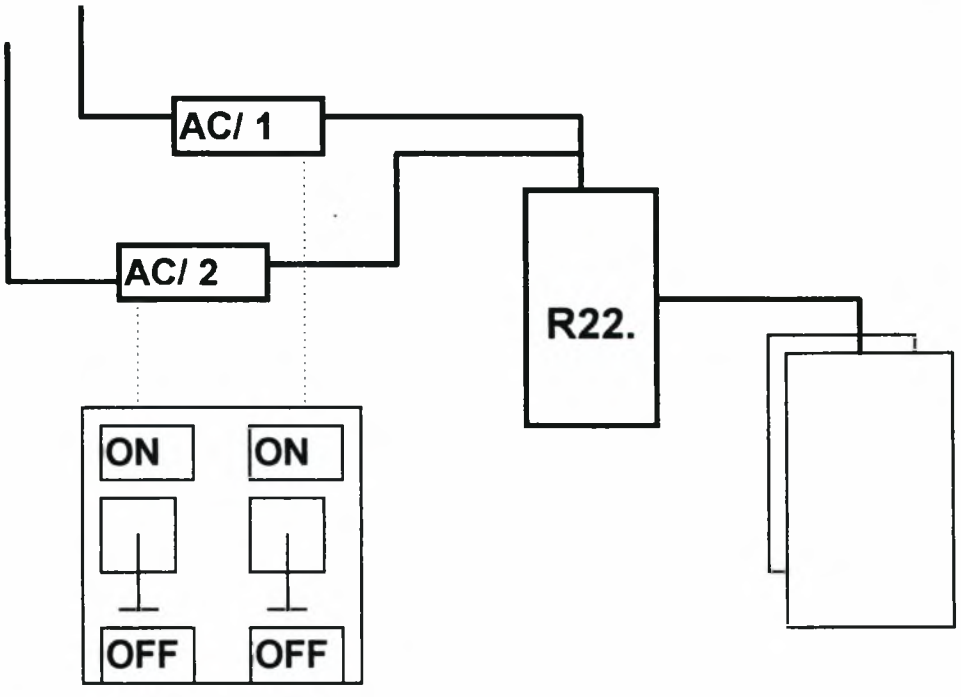
2. Υποδοχή για την σύνδεση σωλήνα και την μεταφορά R22 από την φιάλη εμπορίου.

3. Υποδοχή για την σύνδεση με τους σωλήνες εισόδου και εξόδου του συμπιεστή.

4. Ρυθμιστική βάνα για το άνοιγμα – κλείσιμο των υποδοχών **2, 3**

Με την προσθήκη του δοχείου αυτού στην διάταξη, στόχος μας είναι να μεταβάλουμε το συνολικό περιεχόμενο του συστήματος σε R22, το οποίο θα έχεί σαν αποτέλεσμα την απαιτούμενη προσαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου στις εξωτερικές συνθήκες, σε κάθε πλήρωση της διάταξης. Στο δοχείο αποθήκευσης το R22 θα υφίσταται μια ενδιάμεση πίεση (ένδειξη - JUMO 25), η οποία θα βοηθήσει στην εύρεση της ποσότητας του φρέον που προστίθεται ή αφαιρείται από το σύστημα. Η πλήρης λειτουργία του δοχείου και τα αποτελέσματα χρησιμοποίησης του δίνονται στην περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας.

Η διάταξη ολοκληρώνεται με την προσθήκη δυο ηλεκτροβανών τύπου "C.E.M.E. S.p.A. στην είσοδο και έξοδο του δοχείου αποθήκευσης. Με τις ηλεκτροβάνες αυτές επιδιώκεται ο έλεγχος της ροής από και προς το δοχείο. Η τοποθέτηση των ηλεκτροβανών γίνεται εν σειρά, της μεν πρώτης στον σωλήνα που συνδέει την είσοδο του συμπιεστή με το δοχείο αποθήκευσης, ενώ της δεύτερης στον σωλήνα που συνδέει την έξοδο του συμπιεστή με το δοχείο. Η διάταξη συνδέσεως των δύο ηλεκτροβανών με τους διακόπτες ON - OFF και με το δοχείο αποθήκευσης παριστάνεται παρακάτω στο Σχήμα.2.7



Σχήμα 2.7: *Συνδεσμολογία Ηλεκτροβανών*

Όπου:

1. Ηλεκροβάνα ελέγχου ροής R22, σε σύνδεση με τον σωλήνα εισόδου του συμπιεστή
2. Ηλεκροβάνα στην σωλήνα εξόδου του συμπιεστή για το "άδειασμα" του συστήματος από R22.
3. Διακόπτες *ON – OFF* για το άνοιγμα – κλείσιμο των ηλεκτροβανών.

Με τις κατάλληλες έτσι τοποθετήσεις των διαφόρων αισθητήρων και των άλλων οργάνων ολοκληρώθηκε η δημιουργία της πειραματικής διάταξης της μονάδος. Η διάταξη αυτή, που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1, είναι πλέον έτοιμη προς λειτουργία και συλλογή μετρήσεων.

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

2.3.1 ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Αντικειμενικός σκοπός των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν ήταν η μελέτη των μεταβολών του θερμοδυναμικού κύκλου, κατά την αλλαγή τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας του κλιματιστικού. Βάση αυτών των μεταβολών θα μπορέσουν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, όσον αφορά τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας της μονάδας, σε σχέση με τις μεταβαλλόμενες κάθε φορά παραμέτρους λειτουργίας της.

Στην πρώτη φάση μετρήσεων μελετήθηκαν οι μεταβολές του θερμοδυναμικού κύκλου σε σχέση με την ποσότητα του ψυκτικού μέσου (αέρια μορφή) που πληρώνει κάθε φορά το σύστημα. Βασικό ρόλο σε κάτι τέτοιο έπαιξε η εισαγωγή στην μονάδα του δοχείου αποθήκευσης *R22*, έτσι ώστε να είναι δυνατή κάθε φορά η μέτρηση της ακριβής ποσότητας του ψυκτικού που εισέρχεται στο σύστημα.

Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε περιγράφεται στα βήματα :

1. *Σύνδεση της κλιματιστικής μονάδας με αντλία κενού.* Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε την δημιουργία κενού στην εγκατάσταση, ώστε αρχίζοντας την πλήρωση να γνωρίζουμε ακριβώς την ποσότητα του ψυκτικού που εισέρχεται στην μονάδα. Η τοποθέτηση της αντλίας κενού γίνεται στο σωλήνα εισόδου του δοχείου αποθήκευσης μέσω ενός κατάλληλου συνδέσμου.
2. Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία παραγωγής κενού, το επόμενο στάδια είναι η *σύνδεση της φιάλης εμπορίου με R22 με τον ίδιο σωλήνα του δοχείου αποθήκευσης*. Με το άνοιγμα έτσι των βαλβίδων ασφαλείας της φιάλης πραγματοποιείται το « γέμισμα » του

δοχείου αποθήκευσης με ψυκτικό, η ροή του οποίου οφείλεται στην διαφορά πιέσεως μεταξύ των δύο δοχείων. Συγχρόνως το σύστημα είναι αποκομμένο από τις δύο φιάλες, αφού οι ηλεκτροβάνες παραμένουν κλειστές *(OFF)*. Εφόσον ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, δηλαδή σταματήσει να εισέρχεται άλλο ψυκτικό στο δοχείο, ακολουθεί η πρώτη συλλογή μέτρησης, μέσω του αισθητήρα πιέσεως *JUMO 25* και του συνδεδεμένου σε αυτό πολυμέτρου. Στο πολύμετρο αυτό θα αναγράφεται μία ΔV, με την οποία στην συνέχεια με την χρήση της εξίσωσης (2.1) του συγκεκριμένου μετρητικού, βρίσκεται η πίεση κάτω από την οποία βρίσκεται το ψυκτικό στο δοχείο.

3. Το επόμενο βήμα είναι το *άνοιγμα της ηλεκτροβάνας εισόδου (AC- 1), ενώ συγχρόνως θέτουμε την μονάδα σε λειτουργία.* Η ποσότητα που απορροφά το σύστημα από το δοχείο σταματά όταν επέλθουν συνθήκες ισορροπίας για την συγκεκριμένη ποσότητα *R22* στην μονάδα, δηλαδή εξισορροπηθεί η πίεση του δοχείου με την πίεση στην είσοδο του συμπιεστή. Σε αυτό το σημείο λαμβάνονται και οι ενδείξεις από όλα τα μετρητικά. Συγχρόνως πραγματοποιείται και η αφαίρεση της αρχικής ένδειξης ΔV_1 του *JUMO 25* (πριν το άνοιγμα της ηλεκτροβάνας *AC- 1*), από την τελική ένδειξη ΔV_2 (κατάσταση ισορροπίας) ώστε μετά την μετατροπή σύμφωνα με την εξίσωση (2.1), να βρεθεί η πίεση, η οποία μέσω του ψυκτικού εισχωρεί στο σύστημα.
4. Το επόμενο βήμα είναι το *κλείσιμο της ηλεκτροβάνας εισόδου (AC- 1)* και η επανάληψη των παραπάνω βημάτων, δηλαδή :

- Γέμισμα του δοχείου από την φιάλη εμπορίου με *R22* και παραλαβή ένδειξης *JUMO 25*.
- Πλήρωση συστήματος μέχρι αποκατάσταση συνθηκών ισορροπίας, παραλαβή ενδείξεων από όλα τα μετρητικά και αφαίρεση $\Delta V_1 - \Delta V_2$.
- Κλείσιμο ηλεκτροβάνας εισόδου και επανάληψη των παραπάνω.

5. Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας και θέλοντας να «αδειάσουμε » το σύστημα από το ψυκτικό, χρησιμοποιούμε την ηλεκτροβάνα εξόδου *(AC- 1)* κρατώντας την ανοιχτή ώστε να μεταφερθεί το *R22* στο δοχείο αποθήκευσης.

2.3.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΦΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Σκοπός της παρούσας φάσης μετρήσεων ήταν η μελέτη των επιδόσεων της κλιματιστικής μονάδας κατά την πλήρωση του συστήματος με φρεον υγρής μορφής. Επίσης μελετήθηκε η συμπεριφορά του *INVERTER* κατά την αλλαγή των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε με την πλήρωση του συστήματος με *1Kg R22*. Μια άλλη διαφορά από την προηγούμενη φάση μετρήσεων είναι ότι εκτός από τις ενδείξεις των

πολυμέτρων που είχαν συνδεθεί στην μονάδα, λαμβάνουμε μέσω θερμομέτρων, και τις ενδείξεις στο περιβάλλον της εσωτερικής και της εξωτερικής μονάδας. Οι ενδείξεις αυτές λαμβάνονται σχεδόν κάθε *5* έως *6* λεπτά ενώ συγχρόνως σε ορισμένες περιπτώσεις μεταβάλουμε τις συνθήκες της εσωτερικής μονάδας. Για παράδειγμα κατά την θέρμανση, με ένδειξη του *INVERTER - 2 λαμπάκια*, ένα άνοιγμα του παραθύρου θα έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας, με επακόλουθο την απαίτηση μεγαλύτερης απόδοσης θερμότητας *Q* από τον συμπυκνωτή, ώστε να φθάσει ο εσωτερικός χώρος στη δεδομένη θερμοκρασία, δηλαδή αύξηση της ισχύος του συμπιεστή το οποίο απεικονίζεται από την ένδειξη του *INVERTER στα 5 λαμπάκια*.

2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Κατά την δημιουργία, τόσο της πειραματικής διάταξης με την προσθήκη των διαφόρων μετρητικών, όσο και στην διαδικασία συλλογής μετρήσεων, παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα τα οποία εκθέτονται στην συνέχεια μαζί με τους τρόπους αντιμετώπισης τους.

2.4.1 ΒΛΑΒΗ ΚΑΡΤΑΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Λόγω βλάβης της κάρτας συλλογής δεδομένων στάθηκε αδύνατη η χρησιμοποίηση του προγράμματος GLOBAL LAB. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν τα πολύμετρα πίεσης και θερμοκρασίας, που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2.1, τα οποία όμως δίνουν ένα συγκεκριμένο κάθε φορά σήμα. Αντίθετα με την χρησιμοποίηση του προγράμματος, θα υπήρχε η δυνατότητα απεικόνισης κάθε είδους μεταβολών της πίεσης σε σχέση με τον χρόνο. Με άλλα λόγια υπήρξε περιορισμός σε αυτού του είδους την μέτρηση, στην μελέτη δηλαδή για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή των πιέσεων και των θερμοκρασιών που ασκούνται στους αισθητήρες.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έτσι, ελήφθησαν από την χρήση του πολυθερμομέτρου τύπου *COLE PARMER*. Στο πολυθερμόμετρο αυτό συνδέθηκαν μέσω καναλιών, τα θερμοστοιχεία (τύπου J), οι ενδείξεις των οποίων αναγράφονταν στην οθόνη του θερμομέτρου και οι οποίες λαμβάνονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όταν δηλαδή στο σύστημα, με τις δεδομένες αλλαγές συνθηκών λειτουργίας, είχαμε αποκατάσταση ισορροπίας.

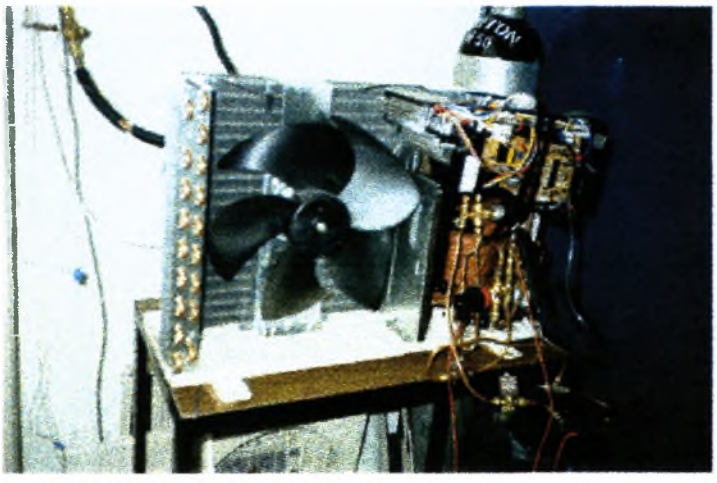
2.4.2 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ – ΔΙΑΡΡΟΕΣ

Η κατασκευή της πειραματικής διάταξης αποτέλεσε σημαντικό τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι συνδέσεις των οργάνων μέτρησης και λειτουργίας της πειραματικής

διάταξης έλαβαν χώρα στο εργαστήριο *Φυσικών και Χημικών Διεργασιών*. Αρχικώς, υπήρξε πρόβλημα στην τοποθέτηση των συνδέσμων μεταξύ σωλήνων και μετρητικών. Οι σύνδεσμοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου *HOKE*, χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.Α.** Το υλικό των συνδέσμων, έπρεπε να ήταν πιο μαλακό από τους χάλκινους σωλήνες, ώστε να παραμορφωθεί πλαστικά και να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη σύσφιξη μεταξύ τους. Αρχικώς όμως έπρεπε να γίνει σωστή κοπή των σωληνώσεων της μονάδας, αλλά και διάνοιξη της διαμέτρους των στην κόψη τους, ώστε να "δένουν" με τα μετρητικά ή τους συνδέσμους. Το υλικό των συνδέσμων ήταν ορείχαλκος και πολλές φορές δεν γινόταν σωστή σύσφιξη και στεγανοποίηση. Έτσι θεωρήθηκε αναγκαία σε ορισμένες περιπτώσεις η συγκόλληση των συνδέσμων με τους σωλήνες του κλιματιστικού.

Παρόλα αυτά όμως, κατά την πλήρωση του συστήματος παρατηρήθηκαν αρκετές διαρροές. Ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης αυτών των διαρροών επιλέχτηκε ήταν η χρησιμοποίηση κατάλληλης ισχυρής κόλλας. Η περίπτωση "λυσίματος" και "δεσίματος", για δεύτερη φορά, των συνδέσμων και των μετρητικών αποκλείστηκε για τον λόγο ότι, κάτι τέτοιο μόνο επιζήμιο θα μπορούσε να ήταν για τις σωληνώσεις, αλλά και για τα όργανα. Θα έπρεπε λοιπόν να επιλεγεί κατάλληλη κόλλα ώστε να εξαλειφθούν ή και να μειωθούν στο ελάχιστο οι διαρροές, εξαιτίας της ελαττωματικής συνδεσμολογίας ή και των συστολών και διαστολών των σωληνώσεων, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου. Κάτι τέτοιο πραγματοποιήθηκε επιτυχώς με την τοποθέτηση στην μονάδα "*Εποξικής κόλλας δυο συστατικών Βραδείας πήξεως*"

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών, η μονάδα είναι πλέον έτοιμη ώστε να ληφθούν από αυτήν πειραματικές μετρήσεις, οι οποίες περιγράφονται και αναλύονται στην συνέχεια.



Σχήμα 2.8: *Απεικόνιση Πειραματικής Διάταξης*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα που εξήχθησαν σε δύο σειρές πειραμάτων, η ανάλυσή τους καθώς και οι υπολογισμοί των διαφόρων συντελεστών, οι οποίοι δίδουν μία ποιοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1^{ης} ΣΕΙΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κατά την πρώτη φάση μετρήσεων, ελήφθησαν οι ενδείξεις των μετρητικών πίεσης, τα οποία μετρούν την πίεση στα διάφορα μέρη της πειραματικής διάταξης, χρησιμοποιώντας ως παράμετρο (μεταβλητή), την μεταβολή της ποσότητας του ψυκτικού μέσου στο σύστημα. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν εκείνη τη χρονική στιγμή κατά την οποία προέκυπτε ισορροπία στην λειτουργία της μονάδας. Στον Πίνακα 3.1 αναγράφονται τα πειραματικά αποτελέσματα των μετρήσεων, σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

Πραγματοποιήθηκαν 13 μετρήσεις, από τις οποίες η 1^{η} έγινε με το σύστημα *εκτός λειτουργίας*. Με τη δημιουργία κενού και την πλήρωση του συστήματος με την κατάλληλη ποσότητα φρέον R22, θεωρείται επιτακτική ανάγκη η διάγνωση διαρροών από το σύστημα. Το χρονικό διάστημα των 10 λεπτών θεωρείται αρκετό για την διάγνωση των διαρροών. Εφόσον οι ενδείξεις των μετρητικών πίεσης δεν μεταβάλλονται οι διαρροές είναι αμελητέες. Κατά την διάρκεια του πειράματος η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου δεν επιτρέπει σημαντικές διαρροές από το σύστημα. Έτσι, γνωρίζοντας τις ενδείξεις των μετρητικών, άρα και την ποσότητα του φρέον στο δοχείο αποθήκευσης, τίθεται το σύστημα σε λειτουργία και γίνεται η καταγραφή των μετρήσεων.

Στον πίνακα 3.1 απεικονίζονται οι μετρήσεις που ελήφθησαν κατά την 1^{η} σειρά των πειραμάτων. Οι παράμετροι του προβλήματος είναι:

P_6(bar): *Πίεση στην σωλήνα εισόδου του συμπιεστή*. Η μέτρηση λαμβάνεται από το πολύμετρο το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον αισθητήρα πιέσεως *JUMO 6*

P_{25}(bar): *Διαφορά πιέσεως κατά την προσθήκη ποσότητας ψυκτικού από το δοχείο αποθήκευσης*. Η μέτρηση αυτή προκύπτει αφαιρώντας από την ένδειξη του *JUMO 25,* όταν το δοχείο αποθήκευσης είναι γεμάτο με φρέον, την ένδειξη του ίδιου μετρητικού όταν ανοίγοντας την ηλεκτροβάνα εισόδου εισέλθει ψυκτικό μέσο στο σύστημα έως ότου αποκατασταθεί ισορροπία μεταξύ μονάδας και δοχείου (βλ. Κεφάλαιο 2.3).

P_{40}(bar): *Πίεση στην σωλήνα εξόδου του συμπιεστή*. Η ένδειξη αυτή λαμβάνεται από το

πολύμετρο το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον αισθητήρα πιέσεως *JUMO 40*.

T_1: Θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού στον συμπιεστή.

T_2: Θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού στον συμπυκνωτή.

T_3: Θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού από τον συμπυκνωτή.

T_4: Θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού από τον συμπιεστή.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1(^{O}C)	T2(^{O}C)	T3(^{O}C)	T4(^{O}C)
ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	**7,680**	**6,399**	**7,628**	**21,6**	**21,6**	**21,9**	**21,4**
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	**2,143**	**6,399**	**11,600**	**27,4**	**78,2**	**26,8**	**111,8**
3η ΜΕΤΡΗΣΗ	**2,790**	**2,476**	**11,898**	**27,9**	**81,7**	**27,3**	**112,6**
4η ΜΕΤΡΗΣΗ	**2,966**	**3,7565**	**12,345**	**27,9**	**82,1**	**28,2**	**111,4**
5η ΜΕΤΡΗΣΗ	**3,189**	**2,966**	**12,643**	**27,4**	**87,7**	**28,8**	**110,7**
6η ΜΕΤΡΗΣΗ	**3,437**	**3,6365**	**13,090**	**27,1**	**83**	**29,4**	**109,4**
7η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,004**	**3,6265**	**14,679**	**26,2**	**83,8**	**34,3**	**107,4**
8η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,332**	**3,1365**	**15,176**	**26,3**	**84,4**	**35,4**	**106,2**
9η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,476**	**0,2665**	**15,523**	**26,1**	**84,1**	**36**	**105,1**
10η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,652**	**2,7265**	**15,871**	**26,1**	**83,9**	**36,8**	**104,2**
11η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,803**	**2,5065**	**16,119**	**26,1**	**84,1**	**37,4**	**103,8**
12η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,947**	**2,2265**	**16,517**	**25,8**	**84,3**	**38,1**	**103,6**
13η ΜΕΤΡΗΣΗ	**5,051**	**2,3765**	**16,616**	**25,7**	**84,5**	**38,4**	**103,3**

Πίνακας 3.1: *Πειραματικά Αποτελέσματα 1ης Σειράς Μετρήσεων*

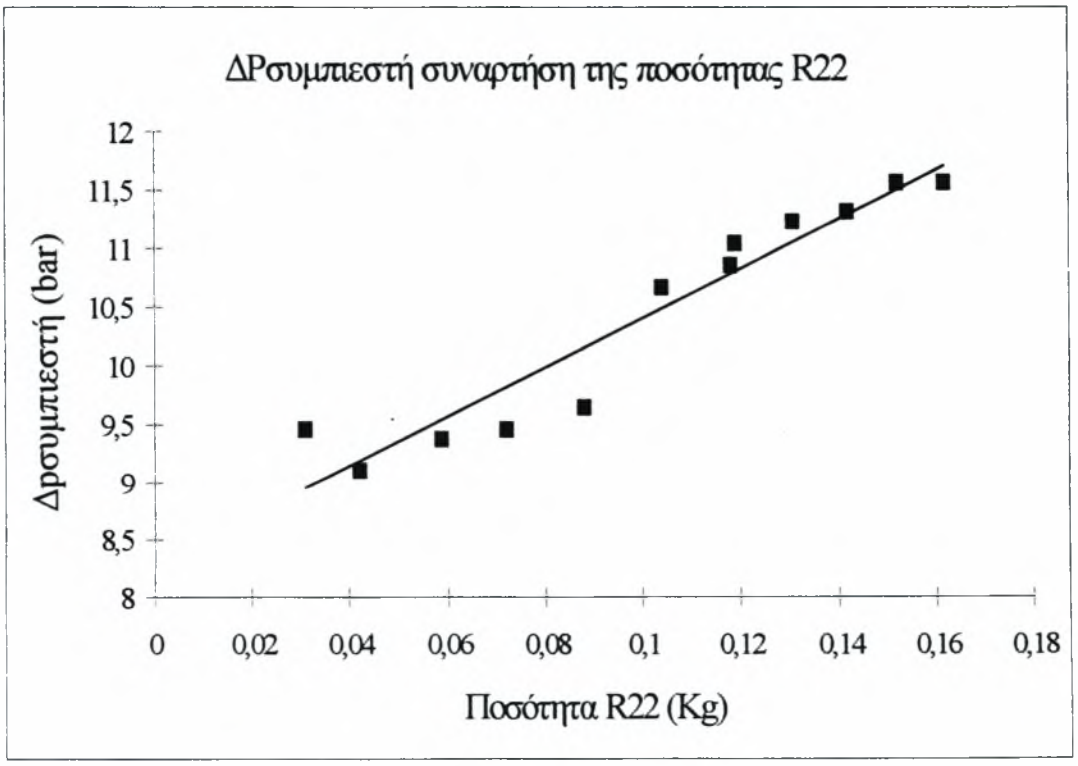
Οι ενδείξεις των παραπάνω θερμοκρασιών αναγράφονταν στο, συνδεδεμένο με τα θερμοστοιχεία (*τύπου J*), πολυθερμόμετρο της *COLE PARMER*.

3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ 1ης ΣΕΙΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

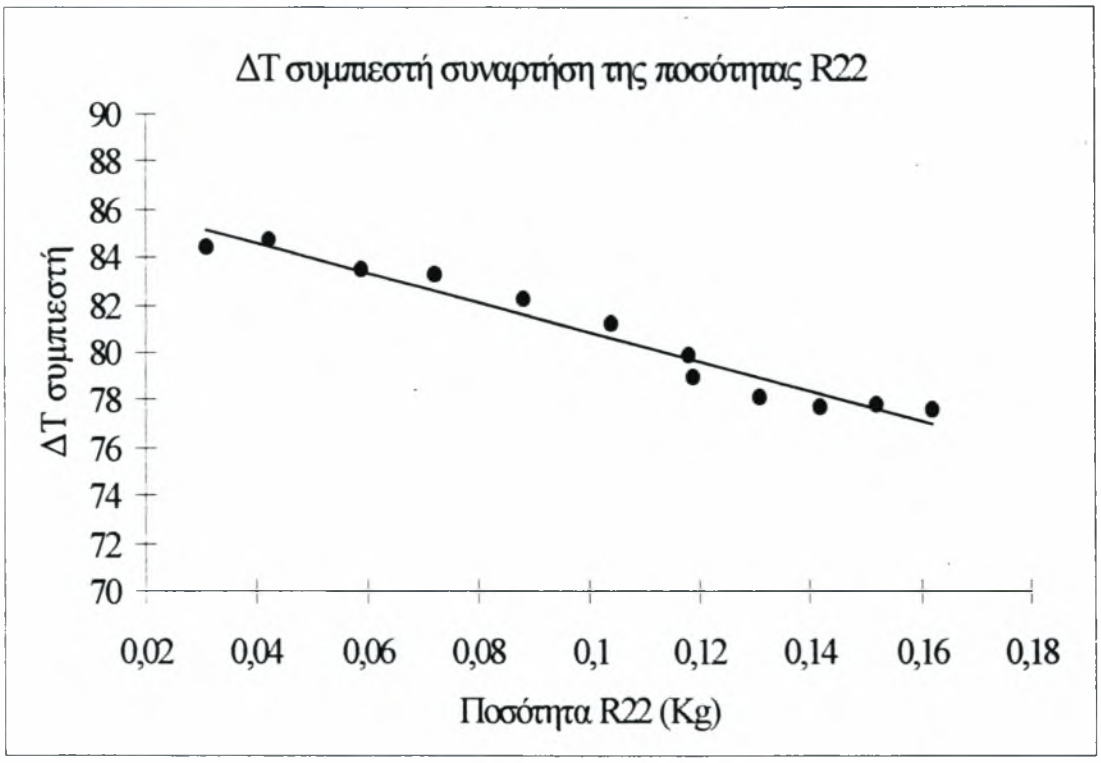
Από τον πίνακα 3.1 υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής διαφόρων συμπερασμάτων. Παρατηρείται λοιπόν μια μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων πράγμα που οφείλεται στην μεταβαλλόμενη ποσότητα του ψυκτικού μέσου στο σύστημα.

Αρχικώς θα πρέπει να τονιστεί ότι το εισαγόμενο φρέον R22 βρισκόταν σε αέρια μορφή. Παρατηρείται μια τάση αυξήσεως της *πιέσεως εισόδου* (P_6) του ψυκτικού στον συμπιεστή γεγονός που οφείλεται στην μεγαλύτερη αντίσταση ροής που προκαλείται στον αγωγό αναρρόφησης λόγω της προσθήκης του ψυκτικού μέσου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την παράλληλη αύξηση της *πιέσεως εξόδου* του συμπιεστή (P_{40}), η οποία προκαλείται λόγω της τάσης του συμπιεστή να διατηρεί σταθερή την διαφορά ανάμεσα στις πιέσεις λειτουργίας του *(αναρρόφησης και εκτόνωσης)*.

Επίσης, η διαφορά της θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του συμπιεστή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2, συναρτήσει της ποσότητας R22 που προσθέτουμε στο σύστημα, παρουσιάζει πολύ μικρή πτώση. Αντιθέτως, η διαφορά των πιέσεων λειτουργίας του συμπιεστή αυξάνει ελαφρώς με την προσθήκη ψυκτικού μέσου (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1:*Συνάρτηση (ΔP συμπιεστή) - (μάζα ψυκτικού μέσου R22)*



Σχήμα 3.2: *Συνάρτηση (ΔΤ συμπιεστή) - (μάζα ψυκτικού μέσου R22)*

3.1.2 ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η ανάλυση των μετρήσεων, απαιτεί αρχικώς την δημιουργία του θερμοδυναμικού κύκλου για κάθε μία μέτρηση ξεχωριστά. Το πρώτο στοιχείο που θα πρέπει να μελετηθεί, είναι η δημιουργία ή όχι υπόψυκτου υγρού κατά την έξοδο του ψυκτικού από τον συμπυκνωτή. Στην περίπτωση μη υπόψυξης, δεν θα ήταν δυνατή η εύρεση του ακριβούς σημείου κατά το οποίο θα έβγαινε το ψυκτικό μέσο από τον συμπυκνωτή, αφού η ένδειξη της θερμοκρασίας θα απεικόνιζε ένα σημείο μέσα στην καμπάνα του διαγράμματος *H - logP* και του οποίου η εύρεση - με τα μέσα που είχαμε στην διάθεσή μας - είναι αδύνατη.

Συνεπώς για κάθε μια μέτρηση, πρέπει να βρεθούν οι θερμοκρασίες υγρού κορεσμού του *R22* για δεδομένες πιέσεις (P_{40} έξοδος συμπιεστή) και να συγκριθούν με τις υπάρχουσες από τα πειράματα θερμοκρασίες εξόδου του ψυκτικού από τον συμπυκνωτή. Στην περίπτωση κατά την οποία $T_{κορεσμού} > T_{πειράματος}$ τότε συνεπάγεται και ύπαρξη υπόψυκτου υγρού. Για την εύρεση των

θερμοκρασιών κορεσμού, για κάθε μέτρηση, χρησιμοποιήθηκε η κατάλληλη βιβλιογραφία [1] με ένθετη δισκέτα προγράμματος, η οποία περιείχε φυσικές ιδιότητες για τα περισσότερα ψυκτικά μέσα. Οι παραπάνω θερμοκρασίες δίνονται στον Πίνακας Β.1 **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.Β)**.

Παρατηρείται λοιπόν ότι σε όλες τις μεταβολές του θερμοδυναμικού κύκλου προέκυψε δημιουργία υπόψυκτου υγρού *R22*. Έτσι δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα *H - log P* για το συγκεκριμένο ψυκτικό μέσο **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β)**. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι υπήρχε διαφορά στις *συνθήκες αναφοράς* με τις οποίες δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα *Β.3 - Β.13* [T=273K, H=500kJ/kg, s=1kg/(kgK)] και των πινάκων ελέγχου υπόψυκτου υγρού [T=233K, H=233,2kJ/kg, s=1kJ/kgK].

Κατόπιν βρέθηκε για κάθε κύκλο ο ισοεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή. Οπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 1.2 ο ισοεντροπικός βαθμός απόδοσης είναι:

$$n = W_S / W = \Delta H_S / \Delta H = (H_2 - H_1)_S / (H_2 - H_1) \qquad (3.1)$$

όπου: H_1 είναι η ενθαλπία εισόδου του ψυκτικού μέσου στον συμπιεστή

H_2 είναι η ενθαλπία εξόδου του ψυκτικού μέσου από τον συμπιεστή

H_{2S} είναι η ενθαλπία εξόδου του ψυκτικού μέσου από τον συμπιεστή, για ισοεντροπική μεταβολή (ιδανική συμπεριφορά).

Η εύρεση των παραπάνω ενθαλπιών έγινε με την χρήση πινάκων και προγραμμάτων που είναι διαθέσιμα από την βιβλιογραφία [1].

Με την βοήθεια του Πίνακα Β.2 **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.Β)** προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για τον ισοεντροπικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή.

	ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ
ΜΕΤΡΗΣΗ 3η	**0,8242**
ΜΕΤΡΗΣΗ 4η	**0,8244**
ΜΕΤΡΗΣΗ 5η	**0,7311**
ΜΕΤΡΗΣΗ 6η	**0,7738**
ΜΕΤΡΗΣΗ 7η	**0,7610**
ΜΕΤΡΗΣΗ 8η	**0,7438**
ΜΕΤΡΗΣΗ 9η	**0,7479**
ΜΕΤΡΗΣΗ 10η	**0,7457**
ΜΕΤΡΗΣΗ 11η	**0,7393**
ΜΕΤΡΗΣΗ 12η	**0,7339**
ΜΕΤΡΗΣΗ 13η	**0,7231**

Πίνακας 3.2 *Ισοεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Συμπιεστή 1ης Σειράς Μετρήσεων*

Στην προσπάθεια μελέτης της συμπεριφοράς της μονάδας με τις αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας της, κρίθηκε αναγκαία η εύρεση για κάθε μέτρηση, του συντελεστή ισχύος *(ε)*, όπως και ο λόγος του με τον συντελεστή ισχύος που προκύπτει από ιδανικές μεταβολές *(ε_{carnot})*.

1. Ιδανικός συντελεστής ισχύος $\varepsilon_c = T / T - T_0$ *(3.2)*

όπου: T είναι η θερμοκρασία *(K)* υγροποίησης του συμπυκνωτή.

T_0 είναι η θερμοκρασία *(K)* ατμοποίησης του εξατμιστή

2. Πραγματικός συντελεστής ισχύος *(για αντλία θερμότητας)*

$$\varepsilon = Q / P = H_3-H_2(\text{συμπυκνωτή})/H_2-H_1 \qquad (3.3)$$

όπου: Q είναι η αποδιδόμενη ενέργεια από τον συμπυκνωτή *(kW)*.

P είναι η προσαγόμενη ενέργεια στον συμπιεστή *(kW)*.

H_1 είναι η ενθαλπία εισόδου του ψυκτικού μέσου στον συμπιεστή.

H_2 είναι η ενθαλπία εξόδου του ψυκτικού μέσου από τον συμπιεστή και εισόδου στον συμπυκνωτή.

H_2 *(συμπυκνωτή)* είναι η ενθαλπία εισόδου του ψυκτικού μέσου στον συμπυκνωτή, η οποία δεν είναι ίδια με την H_2 *(συμπιεστή)* λόγω απωλειών στους σωλήνες.

H_3 είναι η ενθαλπία εξόδου του ψυκτικού μέσου από τον συμπυκνωτή.

Αρχικώς υπολογίστηκε η θερμοκρασία T_0 *ατμοποίησης* για όλες τις μετρήσεις, δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία το ψυκτικό μέσο, κατά την διαδικασία της εξάτμισης, γίνεται κορεσμένος ατμός. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η θερμοκρασία T *υγροποίησης* κατά την οποία το μέσο στη διαδικασία της συμπύκνωσης γίνεται κορεσμένο υγρό. Οι τιμές των παραπάνω θερμοκρασιών αναγράφονται στον Πίνακα. Β.3 **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ. Β.)** Με την βοήθεια των παραπάνω τιμών T, T_0, μπορεί να βρεθεί ο (ε_c) για κάθε μέτρηση.

Η εύρεση του συντελεστή ισχύος *(ε)* έγινε μέσω του υπολογισμού των ενθαλπιών H_1, H_2, H_3. Οι τιμές των παραπάνω ενθαλπιών αναγράφονται στους Πίνακες Β.2 και Β.4 **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.Β).**

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 3.3 στον οποίο αναγράφονται, για την κάθε μέτρηση ο ιδανικός και ο πραγματικός συντελεστής ισχύος, όπως επίσης και ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης ($\varepsilon/\varepsilon_c$).

	ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ε_c)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ε)	$\varepsilon/\varepsilon_c$
ΜΕΤΡΗΣΗ 3η	**6,55**	**4,19**	**0,640**
ΜΕΤΡΗΣΗ 4η	**6,58**	**4,25**	**0,645**
ΜΕΤΡΗΣΗ 5η	**6,75**	**4,33**	**0,641**
ΜΕΤΡΗΣΗ 6η	**6,92**	**4,31**	**0,622**
ΜΕΤΡΗΣΗ 7η	**6,98**	**4,29**	**0,614**
ΜΕΤΡΗΣΗ 8η	**7,16**	**4,35**	**0,607**
ΜΕΤΡΗΣΗ 9η	**7,17**	**4,39**	**0,612**
ΜΕΤΡΗΣΗ 10η	**7,26**	**4,43**	**0,610**
ΜΕΤΡΗΣΗ 11η	**7,3**	**4,45**	**0,609**
ΜΕΤΡΗΣΗ 12η	**7,29**	**4,44**	**0,609**
ΜΕΤΡΗΣΗ 13η	**7,38**	**4,43**	**0,600**

Πινακας 3.3: *Ιδανικός - Πραγματικός Συντελεστής Ισχύος 1ης Σειράς Μετρήσεων*

Για την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων κρίθηκε αναγκαία η μελέτη της επίδρασης της μάζας του ψυκτικού μέσου, στο σύστημα. Βέβαια, η επίδραση της μάζας στις συνθήκες λειτουργίας της συσκευής μπορεί να μελετηθεί από τις μεταβολές που υφίστανται οι παραπάνω συντελεστές n, ε, ε_c.

Αρχικά λοιπόν θα έπρεπε να βρεθεί η ποσότητα (μάζα) του ψυκτικού μέσου το οποίο με το άνοιγμα της ηλεκτροβάνας εισόδου (AC 1) πληρώνει κάθε φορά το σύστημα. Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2.3 έχει συλλεχθεί για κάθε μέτρηση η διαφορά των πιέσεων του γεμάτου με φρέον δοχείου αποθήκευσης από τις πιέσεις, όταν με το άνοιγμα της ηλεκτροβάνας εισόδου στην μονάδα (AC 1), αποκατασταθεί ισορροπία μεταξύ δοχείου και συσκευής. Με δεδομένες αυτές τις πιέσεις μπορεί να βρεθεί, σε κάθε μέτρηση, η μάζα που αντιστοιχεί σε αυτές, ώστε να γνωρίζουμε ακριβώς πόση ποσότητα φρέον R22 προσθέτουμε κάθε φορά στο σύστημα.

Με την χρήση λοιπόν του συγκεκριμένου προγράμματος που είναι διαθέσιμο από την βιβλιογραφία [1] μπορεί να βρεθεί ο ειδικός όγκος για κάθε μέτρηση. Οι τιμές αυτές του ειδικού όγκου αναγράφονται στον Πίνακα Β.5 **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β).** Για την εύρεση του εσωτερικού όγκου του δοχείου υποθέτουμε ότι το πάχος του τοιχώματος του δοχείου είναι 2mm οπότε ο όγκος του δοχείου είναι 0,00122 m^3 ενώ η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου στο δοχείο ίση με 19°C (περιβάλλοντος). Μέσω αυτών των τιμών καθίσταται δυνατή η εύρεση της μάζας του ψυκτικού μέσου η οποία εισέρχεται στο σύστημα:

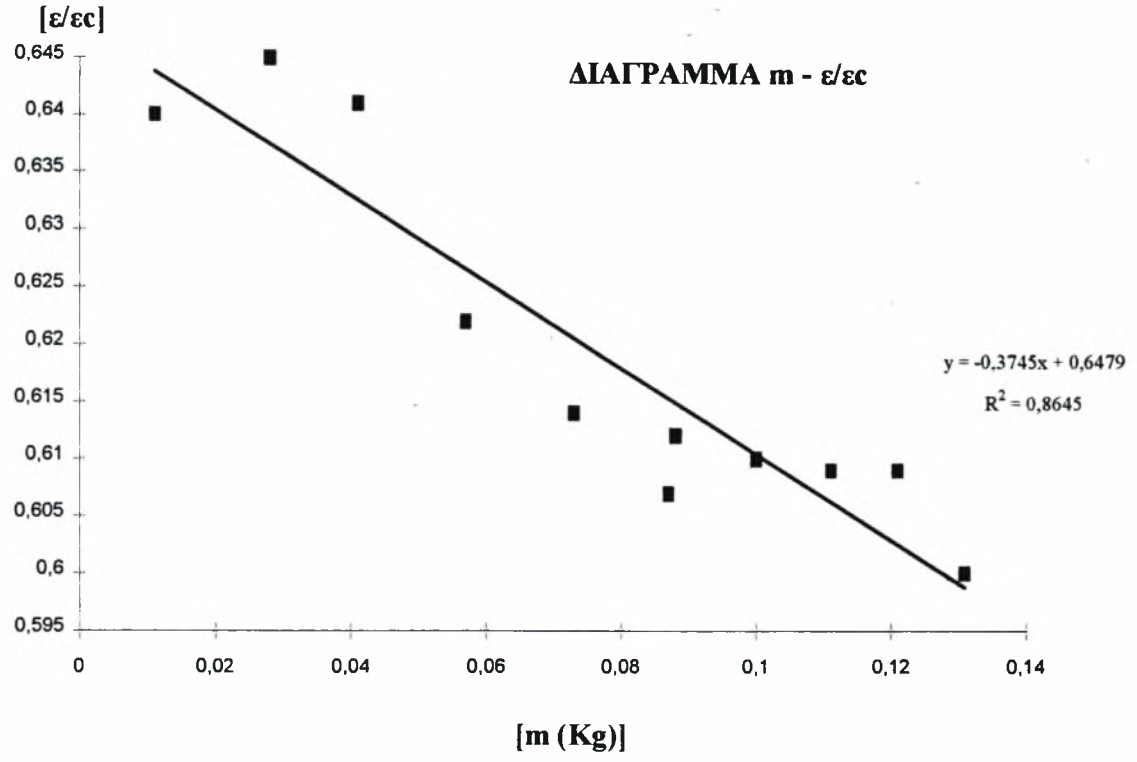
Ειδικός όγκος = Συνολικός όγκος (δοχείου) / Μάζα *(3.4)*

Οι τιμές που προέκυψαν αναγράφονται στο παρακάτω Πίνακα. 3.4

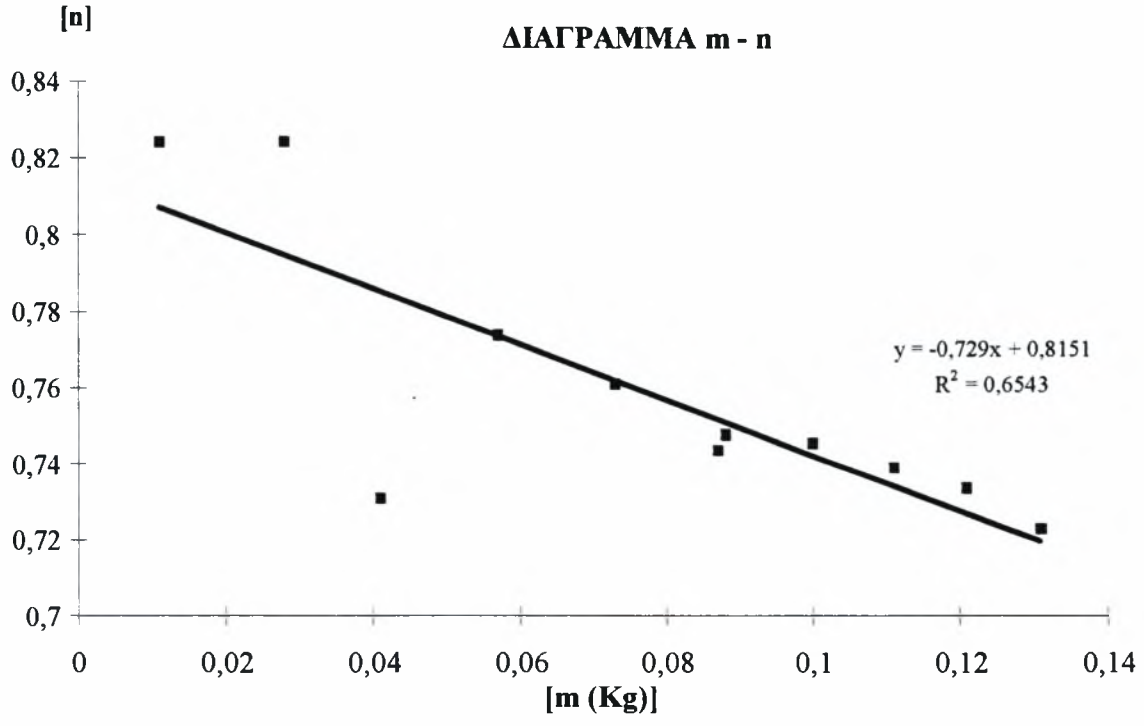
	Ειδικός όγκος (m^3 / Kg)	Μάζα (Kg)
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	**0,03912**	**0,031**
ΜΕΤΡΗΣΗ 3η	**0,109**	**0,011**
ΜΕΤΡΗΣΗ 4η	**0,0702**	**0,017**
ΜΕΤΡΗΣΗ 5η	**0,09018**	**0,013**
ΜΕΤΡΗΣΗ 6η	**0,07268**	**0,016**
ΜΕΤΡΗΣΗ 7η	**0,0729**	**0,016**
ΜΕΤΡΗΣΗ 8η	**0,08504**	**0,014**
ΜΕΤΡΗΣΗ 9η	**1,052**	**0,001**
ΜΕΤΡΗΣΗ 10η	**0,09854**	**0,012**
ΜΕΤΡΗΣΗ 11η	**0,1076**	**0,011**
ΜΕΤΡΗΣΗ 12η	**0,1217**	**0,010**
ΜΕΤΡΗΣΗ 13η	**0,1137**	**0,010**

Πίνακας 3.4: *Προστιθέμενη Μάζα R22 1ης Σειράς Μετρήσεων*

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε μια συσχέτιση μεταξύ της μάζας του ψυκτικού με τον συντελεστή *(n)* του συμπιεστή, όπως και με τον λόγο των βαθμών ισχύος $\varepsilon/\varepsilon_c$. Η σχέση αυτή απεικονίζεται στα παρακάτω *Διαγράμματα 3.1 και 3.2.*



Σχήμα 3.3: *Μεταβολή ($\varepsilon/\varepsilon_c$) κατά την προσθήκη μάζας R22 (Kg)*



Σχήμα 3.4: *Μεταβολή (n) κατά την προσθήκη μάζας R22(Kg)*

3.1.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Στην προσπάθεια ανάλυσης των παραπάνω συντελεστών και αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια ερμηνείας τους, ώστε να βρεθεί η λειτουργική συμπεριφορά της μονάδας σε σχέση με τις μεταβαλλόμενες κάθε φορά συνθήκες λειτουργίας. Αρχικώς λοιπόν κατά την προσθήκη ψυκτικού στην μονάδα, όπως αναφέρεται παραπάνω, παρατηρείται μια αυξητική τάση στις πιέσεις εισόδου και εξόδου του συμπιεστή. Κάτι τέτοιο διαφαίνεται και από το σχήμα 3.1 όπου η κατώτερες και η ανώτερες πιέσεις λειτουργίας, σε κάθε νέα πλήρωση ανέρχονται. Μέσω αυτών των διαγραμμάτων υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης του βέλτιστου κύκλου λειτουργίας ή της βέλτιστης ποσότητας ψυκτικού με την οποία πρέπει να πληρώνεται το σύστημα.

Όπως έχει αναφερθεί οι συνθήκες λειτουργίας μιας μονάδας βελτιώνονται όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης (του εξατμιστή) προσεγγίζει την θερμοκρασία υγροποίησης (συμπυκνωτή). Με άλλα λόγια, εξαιτίας των ισοβαρών διαδικασιών της εξάτμισης και της συμπύκνωσης, η βέλτιστη απόδοση του κύκλου προκύπτει στην μέτρηση εκείνη κατά την οποία η διαφορά πιέσεων εισόδου και εξόδου του συμπιεστή αποκτά την μικρότερη τιμή της. Με τον όρο *βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας* της μονάδας εννοούμε κατά βάση τις βέλτιστες τιμές του *ισοεντροπικού βαθμού απόδοσης* του συμπιεστή, και του *βαθμού ισχύος* της μονάδας. Αυτό το οποίο παρατηρείται όμως από τον πίνακα 3.3 είναι ότι ενώ οι τιμές του συντελεστή ισχύος *(ε)* έχουν μια τάση ανόδου, σε κάθε προσθήκη ψυκτικού, αντίθετα ο λόγος του με τον ιδανικό συντελεστή (ε_c), κάθε μέτρησης μειώνεται. Άρα οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, αφορούν την τάση των συντελεστών αυτών να προσεγγίσουν την ιδανική συμπεριφορά.

Στις μετρήσεις που συλλέχθηκαν, αυτή η οποία προσεγγίζει την παραπάνω συμπεριφορά είναι η $4^η$ μέτρηση, στην οποία οι δύο παραπάνω συντελεστές $(n,\ \varepsilon/\varepsilon_c)$ λαμβάνουν την υψηλότερη τιμή τους.

Αναλύοντας τώρα ξεχωριστά τον κάθε συντελεστή και μελετώντας τις μεταβολές των τιμών τους, σε σχέση με την ποσότητα του ψυκτικού παρατηρούνται τα εξής:

α) Μια πτώση της τιμής του ισοεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή εξαιτίας της μείωσης, σε κάθε προσθήκη *R22*, της διαφοράς ανάμεσα στην ενθαλπία εξόδου του συμπιεστή (H_2) με την ισοεντροπική $(H_2)_S$ $[n = (H_2)_S - H_1 / H_2 - H_1]$. Αποτέλεσμα αυτού είναι και η μείωση του συντελεστή n.

β) Μικρή αύξηση του συντελεστή *ισχύος* $(\varepsilon = Q / W = H_2 - H_3 / H_2 - H_1)$ λόγω της αισθητής πτώσης του έργου W και μιας μικρότερης πτώσης της αποδιδόμενης θερμότητας Q σε

κάθε προσθήκη ψυκτικού μέσου στο σύστημα. Έτσι σε συνδυασμό με την αισθητή άνοδο των τιμών του ιδανικού συντελεστή ισχύος *(ε_C)*, σε κάθε μεταβολή της ποσότητας του *R22* στην μονάδα, προκύπτει μια τάση μειώσεως του λόγου $\varepsilon / \varepsilon_c$.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2ης ΣΕΙΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στην παρούσα φάση μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν ακριβώς τα ίδια βήματα συλλογής μετρήσεων, με την μόνη διαφορά ότι η πλήρωση της μονάδας έγινε μια φορά με περίπου *1Kg* φρέον σε υγρή μορφή (η υγρή μορφή του ψυκτικού δημιουργείται με ένα κατακόρυφο γύρισμα της φιάλης εμπορίου).

Σκοπός των πειραμάτων ήταν, να γίνει μια ποιοτική μελέτη της συμπεριφοράς του *INVERTER* σε σχέση με κάποιες απότομες αλλαγές στις συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος στις οποίες λειτουργούσε η μονάδα. Από τα ίδια συνδεδεμένα μετρητικά ελήφθησαν οι μετρήσεις οι οποίες αναγράφονται στον παρακάτω Πίνακα.3.5. Εκτός όμως από αυτές τις μεταβλητές οι οποίες αναφέρθηκαν στην *1η* σειρά μετρήσεων [πιέσεις και θερμοκρασίες λειτουργίας συμπιεστή *(P_6, P_{40}, T_1, T_4)* και θερμοκρασίες λειτουργίας συμπυκνωτή *(T_2, T_3)*] έχουν προστεθεί στο συγκεκριμένο πίνακα και οι ενδείξεις του *INVERTER*, όπως και οι θερμοκρασιακές στάθμες *($T_{E\Xi}$, $T_{E\Sigma}$)* του περιβάλλοντος χώρου *(Εργαστήριο)* και του εσωτερικού χώρου *(Δωμάτιο)* αντίστοιχα.

	INVERTER	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{E\Xi}$	$T_{E\Sigma}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 1η	5 λαμπάκια	4,56	18,2	14,2	89,3	21,1	104,9	19	11
ΜΕΤΡΗΣΗ 2η	5 λαμπάκια	4,55	22,37	3,3	57,2	29,8	114,4	20	19
ΜΕΤΡΗΣΗ 3η	5 λαμπάκια	4,38	22,62	2,7	97,4	31,6	115,1	18	20
ΜΕΤΡΗΣΗ 4η	5 λαμπάκια	4,46	22,67	3,5	98,1	31,4	115,8	18	20
ΜΕΤΡΗΣΗ 5η	2 λαμπάκια	5,62	17,21	7,1	84,3	27,7	103	19	19
ΜΕΤΡΗΣΗ 6η	5 λαμπάκια	4,38	21,53	8,3	89,4	29,2	106,6	19	19
ΜΕΤΡΗΣΗ 7η	2 λαμπάκια	5,65	17,55	7,8	92,5	29,2	112,5	19	20
ΜΕΤΡΗΣΗ 8η	5 λαμπάκια	4,40	21,92	7,6	90,7	30,8	107,2	20	20
ΜΕΤΡΗΣΗ 9η	2 λαμπάκια	5,69	17,55	7,9	92,6	29,2	112	19	20

Πίνακας 3.5: *Πειραματικές Μετρήσεις 2ης Σειράς Μετρήσεων*

3.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ $2^{ης}$ ΣΕΙΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε ήταν η εύρεση και η ανάλυση των ίδιων συντελεστών και παραγόντων λειτουργίας *(n, ε, $ε_c$)* που αναφέρονται στην *$1^η$* φάση μετρήσεων. Τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν ήταν τα ακόλουθα:

1) Πιστοποίηση (μέσω του προγράμματος) για την ύπαρξη υπόψυκτου υγρού στην έξοδο του συμπυκνωτή. Πίνακας. Γ.1 του **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ. Γ**
2) Κατασκευή θερμοδυναμικού κύκλου σε διάγραμμα *H - logP* (για κάθε μέτρηση). Figure.Γ.1.έως Figure.Γ.9 του **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ. Γ**
3) Εύρεση (μέσω προγράμματος) των ενθαλπιών λειτουργίας του συμπιεστή (εισόδου, εξόδου, ισοεντροπική). Πίνακας. Γ.2 **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Γ**
4) Δημιουργία του παρακάτω πίνακα.. 3.6 που απεικονίζει τις μεταβολές του ισοεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή σε σχέση με την λειτουργία του *INVERTER.*

	ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ	INVERTER
ΜΕΤΡΗΣΗ $1^η$	**0,706**	**5 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $2^η$	**0,637**	**5 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $3^η$	**0,6550**	**5 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $4^η$	**0,647**	**5 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $5^η$	**0,47**	**2 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $6^η$	**0,773**	**5 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $7^η$	**0,427**	**2 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $8^η$	**0,769**	**5 λαμπάκια**
ΜΕΤΡΗΣΗ $9^η$	**0,427**	**2 λαμπάκια**

Πίνακας 3.6 *Ισοεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Συμπιεστή $2^{ης}$ Σειράς Μετρήσεων*

5) Απεικόνιση της θερμοκρασίας ατμοποίησης *(T_0)* και υγροποίησης *(T)* της μονάδας μέσω του Πίνακα.Γ.3 στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Γ.**
6) Εύρεση ενθαλπιών εισόδου και εξόδου του συμπυκνωτή, οι οποίες αναγράφονται στον Πίνακα.Γ.4 του **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ. Γ.**
7) Υπολογισμός με τα παραπάνω δεδομένα, του ιδανικού συντελεστή ισχύος *($ε_c$)*, του πραγματικού συντελεστή *(ε)*, και του λόγου μεταξύ αυτών. Αυτοί οι συντελεστές αναγράφονται για κάθε μέτρηση στον παρακάτω πίνακα. 3.7

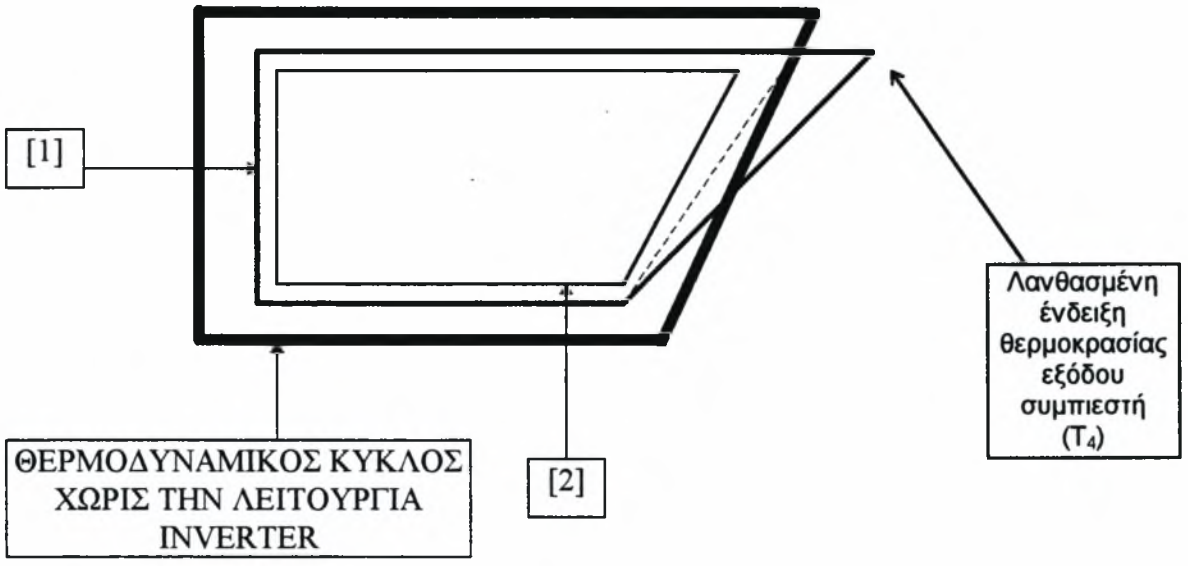
	ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ε_c)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ε)	$\varepsilon/\varepsilon_c$
ΜΕΤΡΗΣΗ 1η	**6,42**	**4,29**	**0,668**
ΜΕΤΡΗΣΗ 2η	**5,59**	**2,782**	**0,497**
ΜΕΤΡΗΣΗ 3η	**5,44**	**3,328**	**0,611**
ΜΕΤΡΗΣΗ 4η	**5,47**	**3,331**	**0,608**
ΜΕΤΡΗΣΗ 5η	**7,75**	**3,643**	**0,470**
ΜΕΤΡΗΣΗ 6η	**10,44**	**3,897**	**0,373**
ΜΕΤΡΗΣΗ 7η	**7,66**	**3,32**	**0,433**
ΜΕΤΡΗΣΗ 8η	**5,56**	**3,831**	**0,689**
ΜΕΤΡΗΣΗ 9η	**7,7**	**3,34**	**0,433**

Πίνακας 3.7: *Ιδανικός - πραγματικός συντελεστής ισχύος 2ης Σειράς Μετρήσεων*

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω μετρήσεις μπορούν να μας δώσουν κάποιες ενδείξεις για την λειτουργία της μονάδας κατά την ενεργοποίηση του *INVERTER*. Έτσι στην *5η*, *7η* και *9η* μέτρηση όπου και ο *INVERTER* ρίχνει τις στροφές του συμπιεστή, παρουσιάζεται μια αύξηση της πιέσεως εισόδου του συμπιεστή *(P_6)* με παράλληλη μείωση της πιέσεως εξόδου του *(P_{40})*. Κάτι τέτοιο φαίνεται λογικό αφού όπως έχει τονιστεί, η ενεργοποίηση του *INVERTER* επιφέρει μια μείωση της διαφοράς ανάμεσα στις πιέσεις λειτουργίας του συμπιεστή.

Στην προσπάθεια ανάλυσης των μετρήσεων των θερμοκρασιακών μεταβολών της μονάδας, πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχει η περίπτωση συλλογής λάθος ενδείξεων. Η αιτιολόγηση για κάτι τέτοιο είναι ότι η έναρξη και η παύση της λειτουργίας του *INVERTER* συντελείται σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε μέσα σε αυτό να μην είναι δυνατή η ακριβής συλλογή των ενδείξεων θερμοκρασίας. Η απόκριση του θερμοστοιχείου καθώς και η χρονικά περιορισμένη λειτουργία του INVERTER (περίπου 30sec) δεν επιτρέπουν την δημιουργία μόνιμης κατάστασης λειτουργίας. Έτσι, με την λειτουργία του INVERTER η πίεση εξόδου από τον συμπιεστή ελαττώνεται, με παράλληλη αύξηση της πιέσεως εισόδου, και φυσιολογικά θα έπρεπε να ελαττώνεται και η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπιεστή. Ωστόσο, παρατηρείται μια ανοδική τάση της θερμοκρασίας εξόδου του συμπιεστή. Η περιορισμένη χρονική διάρκεια λειτουργίας του INVERTER δεν επιτρέπει την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων. Για τον λόγο αυτό, προκύπτουν και οι λανθασμένοι υπολογισμοί του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή *(n)* και του συντελεστή ισχύος *(ε)*, κατά τις μετρήσεις *5*, *7* και *9* όπου έχουμε έναρξη της λειτουργίας του INVERTER. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η μορφή του θερμοδυναμικού κύκλου [1] που προέκυψε από τα πειράματα και την συλλογή της λάθος

ενδείξεως της θερμοκρασίας εξόδου του συμπιεστή *(T_4)*, όπως και ο κύκλος που θα προέκυπτε αν υπήρχε η δυνατότητα σωστής εξαγωγής μετρήσεων κατά την λειτουργία του INVERTER [2].



Σχήμα 3.6: *Αποικόνιση μορφών θερμοδυναμικού κύκλου κατά την λειτουργία του INVERTER*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας τροποποιήθηκε εμπορικό μοντέλο αντλίας θερμότητας ώστε να συλλέγονται λεπτομερείς μετρήσεις πίεσης - θερμοκρασίας σε διάφορες θέσεις. Αποδείχθηκε η δυνατότητα αξιόπιστου υπολογισμού των βαθμών απόδοσης του συμπιεστή και θερμοδυναμικού κύκλου με βάση τις ανωτέρω μετρήσεις. Τα συμπεράσματα από τους παραπάνω υπολογισμούς σε σχέση με την μεταβαλλόμενη (αυξανόμενη) ποσότητα του ψυκτικού μέσου στο σύστημα, είναι τα εξής:

1. Άνοδος των επιπέδων πιέσεως λειτουργίας της μονάδας *(P_6, P_{40})* με αποτέλεσμα την αλλαγή των θερμοκρασιών υγροποίησης και ατμοποίησης κατά τις οποίες πραγματοποιείται αλλαγή φάσης στον συμπυκνωτή και εξατμιστή αντίστοιχα
2. Μείωση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή *(n)* κατά την προσθήκη ψυκτικού μέσου στη μονάδα.
3. Αισθητή αύξηση του ιδανικού συντελεστή ισχύος *(ε_c)* με παράλληλη μικρή άνοδο των τιμών του πραγματικού συντελεστή ισχύος *(ε)*. Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών είναι μια σταθερή μείωση του θερμοδυναμικού βαθμού απόδοσης της *μονάδας ($\varepsilon/\varepsilon_c$)*.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τις παραπάνω μεταβολές, είναι ότι με την ελεγχόμενη ποσότητα ψυκτικού μέσου στο σύστημα, υπάρχει η δυνατότητα αυξομείωσης των θερμοκρασιών υγροποίησης και ατμοποίησης ώστε η μονάδα να λειτουργεί σε μεγάλο εύρος εξωτερικών συνθηκών.

Κατά την δεύτερη σειρά μετρήσεων επιχειρήθηκε μια ερμηνεία των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας όταν τίθονταν σε λειτουργία ο INVERTER. Λόγω όμως προβλημάτων (χαμηλή απόκριση θερμοστοιχείου, μικρός χρόνος λειτουργίας INVERTER) τόσο οι μετρήσεις οι οποίες συλλέχθηκαν όσο και οι υπολογισμοί των παραπάνω συντελεστών δεν ερμηνεύουν επακριβώς τις μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας της μονάδας. Το παραπάνω πρόβλημα εκδηλώνεται κυρίως στην λάθος ένδειξη της θερμοκρασίας εξόδου του συμπιεστή (T_4). Η μεταβολή της συγκεκριμένης θερμοκρασίας (κατά την λειτουργία του INVERTER) θα πρέπει να είναι φθίνουσα, πράγμα το οποίο για τους συγκεκριμένους λόγους δεν διαφαίνεται από τις μετρήσεις που ελήφθησαν. Αποτέλεσμα αυτού είναι και η αλλοίωση των υπολογισμών τόσο του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή όσο και του

συντελεστή ισχύος (ε) όπου κατά την λειτουργία του INVERTER θα έπρεπε να υφίστανται μια αυξητική τάση στις τιμές τους.

Ένα βασικό συμπέρασμα που προέκυψε από τις πειραματικές μετρήσεις αλλά και από την τροφοδοτούμενη ποσότητα του ψυκτικού μέσου (R22) είναι η επιβεβαίωση των κατασκευαστικών προδιαγραφών της αντλίας θερμότητας. Στην πρώτη σειρά μετρήσεων η εισαγόμενη ποσότητα του ψυκτικού μέσου βρισκόταν σε αέρια μορφή, τα επίπεδα πιέσεων λειτουργίας του συμπιεστή ήταν μεταξύ 4,5 και 15 bar, ο ισοεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή (n) είναι περίπου 0,77 ενώ ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης της μονάδας ($\varepsilon/\varepsilon_c$) είναι περίπου 0,6. Εισάγωντας 1Kg Φρέον R22 σε υγρή μορφή (σύμφωνα με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές), παρατηρείται αύξηση των επιπέδων πίεσης λειτουργίας του συμπιεστή (4,5 bar εώς 22,5 bar) καθώς επίσης και αύξηση του θερμοδυναμικού βαθμού απόδοσης της μονάδας ($\varepsilon/\varepsilon_c$=0,7). Αξίζει να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαινόταν μεταξύ 18°C και 19°C κατά τη συλλογή των συγκεκριμένων μετρήσεων.

4.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το βασικότερο πρόβλημα το οποίο θα πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι ο υπολογισμός της ροής μάζας του ψυκτικού μέσου στο σύστημα. Ο ευκολότερος αλλά παράλληλα και ο πιο δαπανηρός τρόπος εύρεσης της είναι η προμήθεια από το *Εργαστήριο Φυσικών Χημικών Διεργασιών* κατάλληλου ροόμετρου. Λόγω όμως υψηλού κόστους αγοράς θα πρέπει να μελετηθούν άλλοι τρόποι για την εύρεση της ροής $(\dot{m})$. Ένας προτεινόμενος υπολογισμός της ροής μάζας είναι μέσω της εύρεσης της έντασης του ρεύματος από τον συμπιεστή (με την χρήση αμπεροτσιμπίδας) και με γνωστές τις τιμές των διαφορών ενθαλπίας στο συμπιεστή και της ενεργού τάσης $(\dot{m} = V*I*\cos\varphi \ / \ \Delta H_{συμπιεστή})$. Με την εύρεση της ροής μάζας, υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού των θερμικών και ψυκτικών φορτίων από τους δυο εναλλάκτες και βελτιστοποίηση τους.

Προτείνεται επίσης η συμπεριφορά του συστήματος κατά την λειτουργία του INVERTER. Όπως έχει αναφερθεί η έναρξη και η παύση λειτουργίας του περιορίζονταν σε μικρό χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο δεν στάθηκε δυνατή η απεικόνιση των θερμοκρασιακών αλλαγών του ψυκτικού μέσου. Μια προτεινόμενη λύση, είναι η μορφοποίηση του χώρου της εσωτερικής μονάδας, ώστε να δημιουργούνται σε μικρό χρονικό διάστημα μόνιμες συνθήκες λειτουργίας, ενώ παράλληλα να υπάρχει η δυνατότητα σταθεροποίησης των συνθηκών αυτών ώστε να μελετηθεί η λειτουργία του INVERTER για μεγάλο χρονικό διάστημα

Τέλος προτείνεται μια εκτενέστερη μελέτη της λειτουργίας της μονάδας σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασιακή στάθμη, ώστε να μελετηθούν οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας για μεγάλο εύρος θερμοκρασιών περιβάλλοντος, όπως π.χ για θερμοκρασία περιβάλλοντος κάτω από 5°C για παραγωγή θερμικού φορτίου (χειμώνα), όπως και για πολύ υψηλές θερμοκρασίες για παραγωγή ψυκτικού φορτίου (καλοκαίρι).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

[1]. Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag. Thermodynamic and Transport Properties, Wiley & Sons, 1997.

[2]. Recknagel - Sprenger. Θέρμανση και Κλιματισμός 2. R. Oldenbourg Verlag GmbH, 1991

[3]. J.M.Smith, H.C.Van Ness, Εισαγωγή στη Θερμοδυναμική, McGraw-Hill Book Company, 1987

[4]. Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist, Alfred F. Bracciano. Modern Refrigeration and Air Conditioning, The Goodheart-Willcoh Company, 1968

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

1. Χαρακτηριστικά Μετρητικών Πίεσης

2.Χαρακτηριστικά Συνδέσεων

M. K. JUCHHEIM GmbH & Co
36035 Fulda
Germany
Phone (06 61) 60 03-0
Telex 4 9 701 juf d
Fax (06 61) 60 03-6 07

Jumo Instrument Co. Ltd.
Temple Bank,
Riverway, Harlow,
Essex CM20 2TT
Phone (0 12 79) 63 55 33
Fax (0 12 79) 63 52 62

Jumo Process Control Inc.
735 Fox Chase
Coatesville, PA 19320
Phone 610-380-8002,
800-554 JUMO
Fax 610-380-8009

JUMO
MEASUREMENT AND CONTROL

Pressure Transmitter Type 4341

ΚΟΜΕΛ επε
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
Κασσαβέτη 22 ΒΟΛΟΣ 38 221
ΤΗΛ : 0421-30598 FAX : 0421-22416

Type 4341/242

Application

Pressure transmitters are used to measure pressures in liquids and gases. The pressure is converted into a standard electrical signal.

Special advantages are:
- compact construction
- built-in amplifier
- large output signal
- advantageous price/performance ratio
- largely compatible with fluids

Type designation

4341-242		
4341		Series 4341 Pressure transmitter with thick-film sensor
	-242	output 4 - 20 mA, 2-wire
	-106	output 1 - (5) 6 V

Extra Codes

/73	with cable attached
76	wetted parts in stainless steel
/93	special ranges

Ordering example

Pressure transmitter
Type 4341-242/73
range: 0 - 4 bar

Pressure ranges

Gauge pressure

-1 to	1.5	bar
-1 to	3	bar
-1 to	5	bar
-1 to	9	bar
-1 to	15	bar
0 to	2.5	bar
0 to	4	bar
0 to	6	bar
0 to	10	bar
0 to	16	bar
0 to	25	bar
0 to	40	bar
0 to	60	bar
0 to	100	bar

Technical data

Reference conditions
to IEC 770/5.3

Case
stainless steel, Mat.Ref. 1.4301
polycarbonate

Parts in contact with medium
normally: stainless steel, Mat.Ref. 1.4762 and brass, Mat.Ref. 2.0401;
Code /76: stainless steel, Mat.Ref. 1.4762 and Mat.Ref. 1.4571

Pressure connection
normally 1/4" pipe male to DIN 16 288
other connections to special order

Electrical connection
terminal box to DIN 43 650,
Form AF,
up to 1.5 mm2 conductor cross-section.

Code /73:
attached 3-core screened PVC cable, length 2 m; other lengths to special order.

Supply
normally 11.5 to 30 V d.c.

Residual hum: the voltage peaks must not go above or below the values specified for the supply voltage.

Max. current loading: 30 mA approx.

Supply voltage error
0.03% max. per V
(nominal voltage 24 V d.c.)

Output
1 - (5) 6 V, burden 3 kOhm min.

4 - 20 mA, burden $\frac{U - 12\ V}{0.02\ A}$ max.

Burden error
less than 0.5%

Characteristic
linear

Deviation from characteristic after range start adjustment
1% of output span or less,
to IEC 770
(zero signal error:
±0.6% of output span)

Overload limit
200% full scale
to VDI/VDE 2184

Hysteresis and reproducibility
not exceeding 0.5%

Permitted ambient temperature
(temperature at case)
–40 to +85°C

Permitted temperature of medium
–40 to +85°C

Ambient temperature error
within range –20 to +70°C
zero: 0.05% /°C or less

span: 0.05% /°C or less

Electromagnetic compatibility
electrostatic discharge:
IEC 801-2 / severity 4
(test voltage 15 kV)

transient disturbance (burst):
IEC 801-4 /severity 4
(test voltage on i/O line 2 kV)

electromagnetic fields
IEC 801-3 / severity 3
(test field strength 10 V/m)

Response time
30 msec max.

Mechanical vibrations
10 g max. at 15 - 2000 Hz

Mechanical shock
500g/1 msec

Operating position
unrestricted

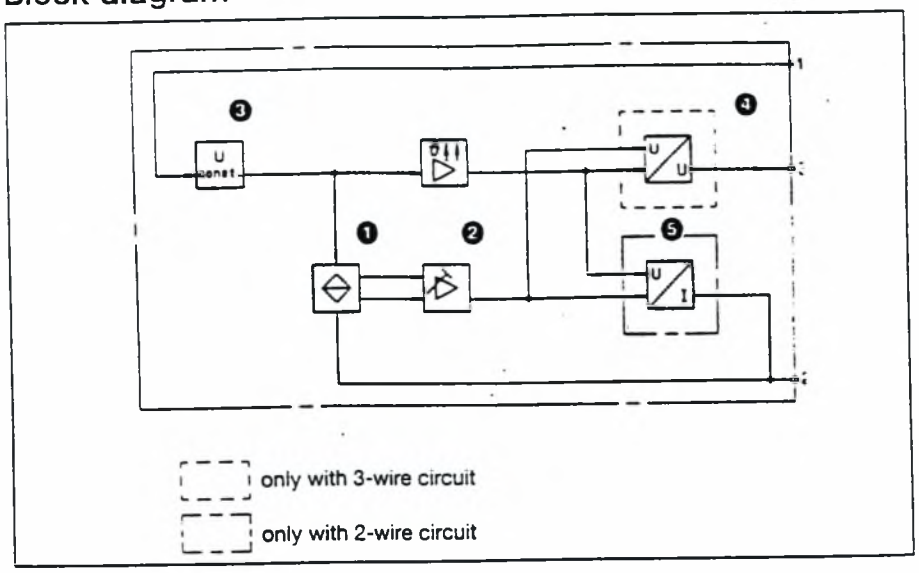
Protection
standard version IP65 to DIN 40 050
(min. connecting cable dia. 5 mm)

Code /73:
IP66 to DIN 40 050

Weight
110 g

1.95/V 00307238

Block diagram



Operation

The sensing element ❶ of the transmitter consists of a ceramic-coated steel diaphragm which deflects under pressure. A 4-arm bridge of thick-film resistors is affixed to this ceramic coating so that pairs of opposite resistors are extended or compressed under pressure. This produces a positive or negative resistance change proportional to pressure. The bridge is supplied at constant voltage ❸, resulting in a bridge output voltage proportional to the pressure. This is then amplified in the differential amplifier ❷

The resulting voltage signal is increased in a further amplifier ❸ to the standard voltage signal (1 - 6 V) or is converted in a voltage-controlled current source ❺ to the standard current signal (4 - 20 mA).

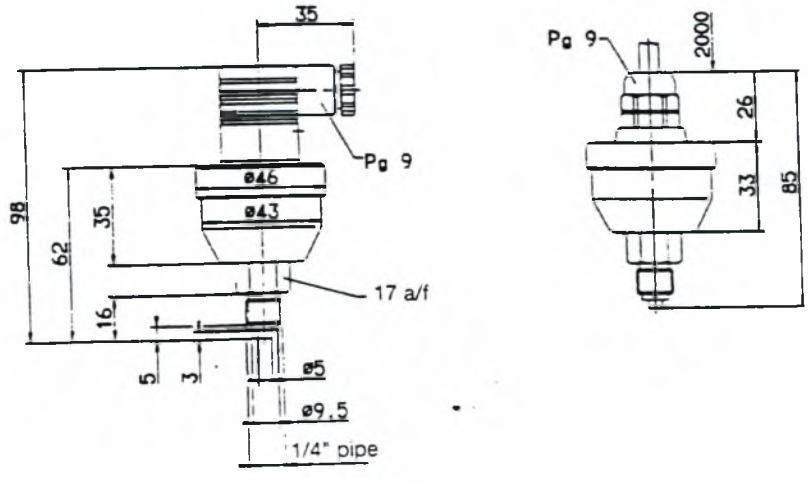
Connection chart

Connection		Termination plug cable	
Supply 12-30 V d.c.	+	1	white
	−	2	grey
Output 1 - 6 V	−	2	grey
	+	3	yellow
Output 2-wire	+	1	white
	−	2	grey
		proportional current 4-20 mA in the supply line	
Protective ground		⏚	
Screen			black

Note: the transmitter must be grounded!

Dimensions

Code /73



mm	inch
3	0.12
5	0.20
9.5	0.37
16	0.63
26	1.02
33	1.30
35	1.38
43	1.69
46	1.81
62	2.44
85	3.35
98	3.86
2000	79
2 m	7 ft
1.5 mm²	0.0025 in²

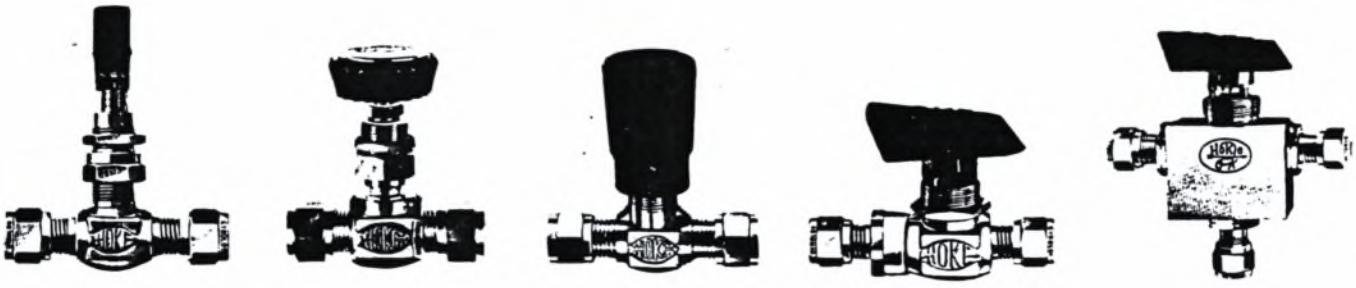
We reserve the right to introduce changes

GENERAL INFORMATION

GYROLOK

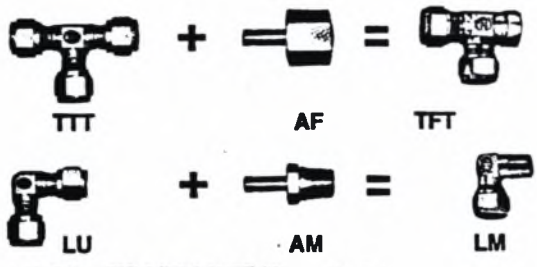
GYROLOK is the trade name of the precision two ferrule compression type fitting manufactured by HOKE. This catalogue shows fittings for metric tube. Fittings for fractional sized tubes are shown in a separate catalogue.

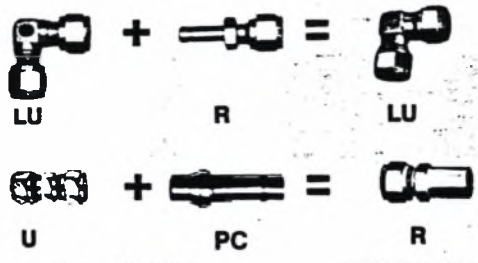
Male and female connectors are often used as adapters for HOKE valves which allows the use of standard valves with metric tubing. Using a standard valve with male or female NPT threads and fitting CM or CF connectors, will result in a valve similar to those shown below:



It is possible to adapt metric tubes to a system using fractional dimensions or vice versa via fittings with NPT threads (AF, AM, CF, CM) or directly via reducers (RU, R, PC). The system of adapters allows versatility and reduces inventory. Care has to be taken not to 'mix' parts during assembly:

EXAMPLES OF ADAPTATION





HOW TO ORDER

Descriptive example of Part Numbers –
Typical example:

6	LM	4	–316	/MM	RT
Tube O.D. in mm	Type fitting	Thread connection or pipe size in 1/16" e.g. 4/16" = 1/4"	Material Brass: no suffix 316 ss: 316 Steel: S Monel: M	Indication of metric tube dimensions	Threads to ISO

TYPES OF THREADS

NPT threads (National Pipe Taper) are the U.S. standard threads for pipes used all over the world.
Example: **6CM4-316/MM E** (see page 28 for assembly instruction).

BSP – P threads (Whitworth) to ISO 228/1 is a parallel thread for male and female threads. The connectors with male threads have a larger hex body size and have two different sealing methods:

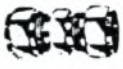
- metal to metal sealing with a metal shoulder, to DIN 3852, form 'B'. This form has the reference 'RP', example **6CM4-316/MM RP.**
- soft sealing, with a sealing washer, to DIN 3852 form 'A'. This form bears the reference 'RS', example **6CM3-316/MM RS.**

BSP – T threads (Whitworth) to ISO 7/1 is a tapered thread, for male and female threads. This form bears the reference 'RT', example **6CM4-316/MM RT.**

GYROLOK®

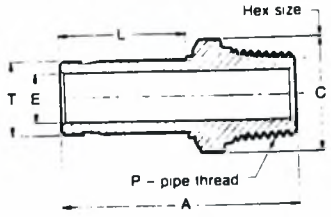
TABLE OF CONTENTS

			Page
	AF	adapter female	6
	AF-RG	adapter female (gauge)	7
	AM	adapter male	8
	AOM	adapter 'O' ring, male	9
	BA	bulkhead adapter	10
	BCF	bulkhead adapter, female	10
	BCM	bulkhead adapter, male	11
	BU	bulkhead union	11
	C	tube cross	12
	CBW	connector, butt weld	12
	CF	connector, female	13
	CF-RG	connector, female (gauge)	14
	CM	connector, male	15-17
	CMT	connector, male thermocouple	15-17
	CP	cap	18
	FF	ferrule, front	18
	FR	ferrule, rear	18

			Page
	LBW	elbow, butt weld	19
	LF	elbow, female	19
	LM	elbow, male	20
	LU	elbow, union	20
	N	nut	21
	P	plug	21
	PC	port connector	22
	R	reducer	23
	RU	reducing union	24
	Ti	tube, insert	25
	TFT	tee	26
	TMT	tee	26
	TTF	tee	26
	TTM	tee	27
	TTT	all tube tee	27
	U	union	27

ADAPTER MALE

AM



Adapter, metric tube end × male thread, parallel for gauges

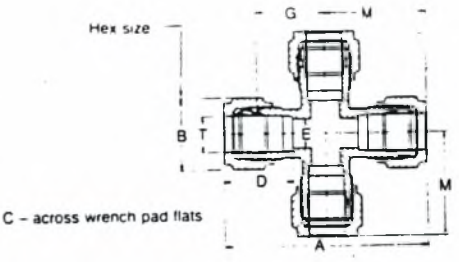
T Tube size ∅	Part numbers			Part numbers			Dimensions – mm			
	Brass	316 SS	NPT thread (inches)	Brass	316 SS	RT thread (inches)	A	C	E	L
3	3AM2 /MM E	3AM2 -316/MM E	1/8	3AM2 /MM RT	3AM2 -316/MM RT	1/8	31.0	11.0	2.0	16.0
3	3AM4 /MM E	3AM4 -316/MM E	1/4	3AM4 /MM RT	3AM4 -316/MM RT	1/4	37.0	14.0	2.0	16.0
6	6AM2 /MM E	6AM2 -316/MM E	1/8	6AM2 /MM RT	6AM2 -316/MM RT	1/8	33.0	11.0	4.5	17.0
6	6AM4 /MM E	6AM4 -316/MM E	1/4	6AM4 /MM RT	6AM4 -316/MM RT	1/4	37.0	14.0	4.5	17.0
6	6AM6 /MM E	6AM6 -316/MM E	3/8	6AM6 /MM RT	6AM6 -316/MM RT	3/8	37.0	17.5	4.5	17.0
6	6AM8 /MM E	6AM8 -316/MM E	1/2	6AM8 /MM RT	6AM8 -316/MM RT	1/2	43.0	22.0	4.5	17.0
8	8AM2 /MM E	8AM2 -316/MM E	1/8	8AM2 /MM RT	8AM2 -316/MM RT	1/8	33.0	11.0	6.4	19.0
8	8AM4 /MM E	8AM4 -316/MM E	1/4	8AM4 /MM RT	8AM4 -316/MM RT	1/4	39.0	14.0	6.4	19.0
8	8AM6 /MM E	8AM6 -316/MM E	3/8	8AM6 /MM RT	8AM6 -316/MM RT	3/8	39.0	17.5	6.4	19.0
8	8AM8 /MM E	8AM8 -316/MM E	1/2	8AM8 /MM RT	8AM8 -316/MM RT	1/2	44.0	22.0	6.4	19.0
10	10AM4 /MM E	10AM4 -316/MM E	1/4	10AM4 /MM RT	10AM4 -316/MM RT	1/4	40.0	14.0	7.6	20.0
10	10AM6 /MM E	10AM6 -316/MM E	3/8	10AM6 /MM RT	10AM6 -316/MM RT	3/8	40.0	17.5	7.6	20.0
10	10AM8 /MM E	10AM8 -316/MM E	1/2	10AM8 /MM RT	10AM8 -316/MM RT	1/2	45.0	22.0	7.6	20.0
12	12AM4 /MM E	12AM4 -316/MM E	1/4	12AM4 /MM RT	12AM4 -316/MM RT	1/4	46.0	14.0	9.0	25.0
12	12AM6 /MM E	12AM6 -316/MM E	3/8	12AM6 /MM RT	12AM6 -316/MM RT	3/8	45.0	17.5	9.0	25.0
12	12AM8 /MM E	12AM8 -316/MM E	1/2	12AM8 /MM RT	12AM8 -316/MM RT	1/2	50.0	22.0	9.0	25.0
14	14AM4 /MM E	14AM4 -316/MM E	1/4	14AM4 /MM RT	14AM4 -316/MM RT	1/4	45.0	19.0	11.1	25.0
14	14AM8 /MM E	14AM8 -316/MM E	1/2	14AM8 /MM RT	14AM8 -316/MM RT	1/2	50.0	22.0	11.1	25.0
16	16AM6 /MM E	16AM6 -316/MM E	3/8	16AM6 /MM RT	16AM6 -316/MM RT	3/8	48.0	17.5	12.7	27.0
16	16AM8 /MM E	16AM8 -316/MM E	1/2	16AM8 /MM RT	16AM8 -316/MM RT	1/2	53.0	22.0	12.7	27.0
16	16AM12/MM E	16AM12-316/MM E	3/4	16AM12/MM RT	16AM12-316/MM RT	3/4	54.0	27.0	12.7	27.0
18	18AM6 /MM E	18AM6 -316/MM E	3/8	18AM6 /MM RT	18AM6 -316/MM RT	3/8	55.0	17.5	13.8	28.0
18	18AM8 /MM E	18AM8 -316/MM E	1/2	18AM8 /MM RT	18AM8 -316/MM RT	1/2	60.0	22.0	13.8	28.0
18	18AM12/MM E	18AM12-316/MM E	3/4	18AM12/MM RT	18AM12-316/MM RT	3/4	61.0	27.0	13.8	28.0
22	22AM8 /MM E	22AM8 -316/MM E	1/2	22AM8 /MM RT	22AM8 -316/MM RT	1/2	53.0	27.0	17.0	30.0
22	22AM12/MM E	22AM12-316/MM E	3/4	22AM12/MM RT	22AM12-316/MM RT	3/4	61.0	27.0	17.0	30.0
25	25AM8 /MM E	25AM8 -316/MM E	1/2	25AM8 /MM RT	25AM8 -316/MM RT	1/2	66.0	27.0	19.5	36.0
25	25AM12/MM E	25AM12-316/MM E	3/4	25AM12/MM RT	25AM12-316/MM RT	3/4	67.0	27.0	19.5	36.0

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers.

BYROLOK

TUBE CROSS

C



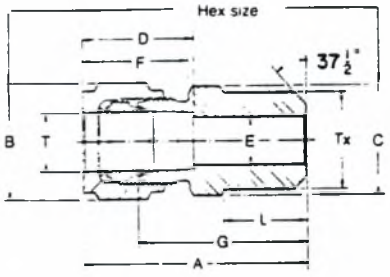
Cross for metric tube fitting

Part numbers		T Tube size ∅	Dimensions – mm						
Brass	316 SS		A	B	C	D	E	G	M
3C/MM	3C-316/MM	3	48.0	11.0	11.0	14.0	2.4	17.0	24.0
6C/MM	6C-316/MM	6	54.0	14.5	11.0	16.0	4.0	18.0	27.0
8C/MM	8C-316/MM	8	57.0	16.0	12.5	17.0	6.0	21.0	28.5
10C/MM	10C-316/MM	10	66.0	19.0	17.5	17.0	8.0	25.0	33.0
12C/MM	12C-316/MM	12	74.0	22.5	17.5	25.0	10.0	25.0	37.0
14C/MM	14C-316/MM	14	70.0	24.0	21.0	22.0	12.0	25.0	35.0
16C/MM	16C-316/MM	16	74.0	25.5	21.0	25.0	12.7	26.0	37.0
18C/MM	18C-316/MM	18	77.0	30.0	27.0	25.0	14.0	29.0	38.5
22C/MM	22C-316/MM	22	88.0	32.0	32.0	27.0	18.3	33.0	44.0
25C/MM	25C-316/MM	25	95.0	38.0	37.0	33.0	22.2	33.0	48.0

BYROLOK

CONNECTOR BUTT WELD

CBW



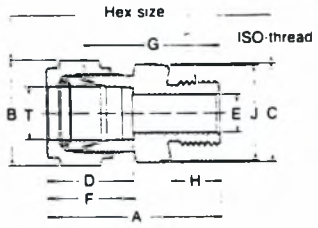
Connector, metric tube fitting × fractional butt weld end

Part numbers		T Tube size ∅	TX Butt weld end		Dimensions – mm							
Brass	316 SS		O.D.	Pipe size ∅	A	B	C	D	E	F	G	L
3CBW2 /MM E	3CBW2 -316/MM E	3	10.3	1/8	31.0	11.0	11.0	14.0	5.5	17.0	23.0	10.0
6CBW2 /MM E	6CBW2 -316/MM E	6	10.3	1/8	34.0	14.5	13.0	16.0	5.5	19.0	27.0	10.0
6CBW4 /MM E	6CBW4 -316/MM E	6	13.7	1/4	40.0	14.5	14.5	16.0	7.7	19.0	32.0	14.0
8CBW6 /MM E	8CBW6 -316/MM E	8	17.2	3/8	40.0	16.0	17.5	17.0	11.0	19.0	33.0	14.0
10CBW6 /MM E	10CBW6 -316/MM E	10	17.2	3/8	40.0	19.0	17.5	18.0	11.0	20.0	33.0	14.0
10CBW8 /MM E	10CBW8 -316/MM E	10	21.3	1/2	46.0	19.0	22.5	18.0	14.0	20.0	38.0	19.0
12CBW8 /MM E	12CBW8 -316/MM E	12	21.3	1/2	50.0	22.5	22.5	25.0	14.0	23.0	38.0	19.0
14CBW8 /MM E	14CBW8 -316/MM E	14	21.3	1/2	50.0	24.0	27.0	22.0	14.0	23.0	38.0	19.0
16CBW8 /MM E	16CBW8 -316/MM E	16	21.3	1/2	50.0	25.5	24.0	25.0	14.0	23.0	39.0	19.0
18CBW8 /MM E	18CBW8 -316/MM E	18	21.3	1/2	51.0	29.0	27.0	25.0	14.0	24.0	41.0	19.0
22CBW16/MM E	22CBW16-316/MM E	22	33.4	1"	58.0	32.0	35.0	27.0	25.6	25.0	48.0	24.0
25CBW16/MM E	25CBW16-316/MM E	25	33.4	1"	64.0	38.0	35.0	33.0	25.6	27.0	50.0	24.0

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers.

CONNECTOR MALE

CM



Connector, metric tube fitting × male threads, parallel, to ISO 228/1 with sealing form 'B' (metal to metal sealing) to DIN 3852

Part numbers		T Tube size ∅	ISO thread (inches)	Dimensions – mm								
Brass	316 SS			A	B	C	D	E min	F	G	H	J
** 3CM1 /MM RP	3CM1 -316/MM RP	3	1/16	28.0	11.0	11.0	14.0	2.4	17.0	22.0	8.0	14.0
** 3CM2 /MM RP	3CM2 -316/MM RP	3	1/8	33.0	11.0	14.0	14.0	2.4	17.0	25.0	8.0	14.0
** 3CM4 /MM RP	3CM4 -316/MM RP	3	1/4	37.0	11.0	19.0	14.0	2.4	17.0	29.0	12.0	18.0
** 6CM2 /MM RP	6CM2 -316/MM RP	6	1/8	36.0	14.5	14.5	16.0	4.0	19.0	27.0	8.0	14.0
** 6CM4 /MM RP	6CM4 -316/MM RP	6	1/4	40.0	14.5	19.0	16.0	4.0	19.0	32.0	12.0	18.0
** 6CM6 /MM RP	6CM6 -316/MM RP	6	3/8	40.0	14.5	22.0	16.0	4.0	19.0	32.0	12.0	22.0
** 6CM8 /MM RP	6CM8 -316/MM RP	6	1/2	43.0	14.5	27.0	16.0	4.0	19.0	35.0	14.0	26.0
8CM2 /MM RP	8CM2 -316/MM RP	8	1/8	35.0	16.0	15.0	17.0	4.0	19.0	27.0	8.0	14.0
** 8CM4 /MM RP	8CM4 -316/MM RP	8	1/4	39.0	16.0	19.0	17.0	6.4	19.0	33.0	12.0	18.0
** 8CM6 /MM RP	8CM6 -316/MM RP	8	3/8	40.0	16.0	22.0	17.0	6.4	19.0	35.0	12.0	22.0
** 8CM8 /MM RP	8CM8 -316/MM RP	8	1/2	45.0	16.0	27.0	17.0	6.4	19.0	39.0	14.0	26.0
** 8CM12/MM RP	8CM12-316/MM RP	8	3/4	48.0	16.0	33.0	17.0	6.4	19.0	38.0	12.0	32.0
10CM2 /MM RP	10CM2 -316/MM RP	10	1/8	34.0	19.0	17.5	18.0	4.8	20.0	28.0	8.0	14.0
10CM4 /MM RP	10CM4 -316/MM RP	10	1/4	41.0	19.0	19.0	18.0	8.0	20.0	33.0	12.0	18.0
**10CM6 /MM RP	10CM6 -316/MM RP	10	3/8	41.0	19.0	22.0	18.0	8.0	20.0	33.0	12.0	22.0
**10CM8 /MM RP	10CM8 -316/MM RP	10	1/2	44.0	19.0	27.0	18.0	8.0	20.0	36.0	14.0	26.0
12CM4 /MM RP	12CM4 -316/MM RP	12	1/4	44.0	22.5	22.0	25.0	10.0	23.0	33.0	12.0	18.0
12CM6 /MM RP	12CM6 -316/MM RP	12	3/8	45.0	22.5	22.0	25.0	10.0	23.0	33.0	12.0	22.0
**12CM8 /MM RP	12CM8 -316/MM RP	12	1/2	47.0	22.5	27.0	25.0	10.0	23.0	36.0	14.0	26.0
**12CM12/MM RP	12CM12-316/MM RP	12	3/4	50.0	22.5	33.0	25.0	10.0	23.0	38.0	16.0	32.0
14CM4 /MM RP	14CM4 -316/MM RP	14	1/4	42.0	24.0	27.0	22.0	12.0	22.0	35.0	12.0	18.0
14CM8 /MM RP	14CM8 -316/MM RP	14	1/2	45.0	24.0	27.0	22.0	12.0	21.0	36.0	14.0	26.0
16CM6 /MM RP	16CM6 -316/MM RP	16	3/8	45.0	25.5	24.0	25.0	7.9	24.0	34.0	12.0	22.0
16CM8 /MM RP	16CM8 -316/MM RP	16	1/2	47.0	25.5	27.0	25.0	11.8	24.0	36.0	14.0	26.0
**16CM12/MM RP	16CM12-316/MM RP	16	3/4	50.0	25.5	35.0	25.0	12.7	24.0	45.0	16.0	32.0
18CM8 /MM RP	18CM8 -316/MM RP	18	1/2	57.0	28.5	27.0	25.0	11.5	25.0	37.0	14.0	26.0
**18CM12/MM RP	18CM12-316/MM RP	18	3/4	49.0	28.5	33.0	25.0	15.0	25.0	39.0	16.0	32.0
22CM8 /MM RP	22CM8 -316/MM RP	22	1/2	50.0	32.0	30.0	27.0	11.5	25.0	39.0	14.0	26.0
**22CM12/MM RP	22CM12-316/MM RP	22	3/4	53.0	32.0	33.0	27.0	15.8	25.0	41.0	16.0	32.0
**22CM16/MM RP	22CM16-316/MM RP	22	1	58.0	32.0	40.0	27.0	18.3	25.0	54.0	18.0	39.0
25CM12/MM RP	25CM12-316/MM RP	25	3/4	54.0	38.0	35.0	33.0	18.3	25.0	46.0	16.0	32.0
25CM16/MM RP	25CM16-316/MM RP	25	1	59.0	38.0	40.0	33.0	18.3	25.0	54.0	18.0	39.0

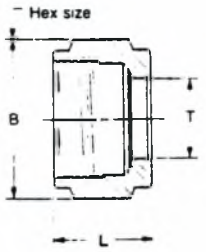
These connectors can also be delivered for use with thermocouples, the dimension E being then identical to T. To order, change designation CM to CMT, example **6CM4/MM RP** becomes **6CMT4/MM RP**. It is not always possible to transform a CM into a CMT, since a sufficient wall thickness to withstand maximum working pressure must remain. If in doubt, please contact manufacturers/distributor.

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers.

GYROLOK

NUT

N



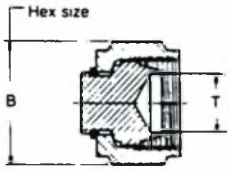
Nut

Part numbers		T	Dimensions – mm	
Brass	316 SS	Tube size ∅	B	L
3N/MM	3N-316/MM	3	11.0	13.0
6N/MM	6N-316/MM	6	14.5	13.0
8N/MM	8N-316/MM	8	16.0	14.0
10N/MM	10N-316/MM	10	19.0	15.0
12N/MM	12N-316/MM	12	22.5	18.0
14N/MM	14N-316/MM	14	24.0	17.0
16N/MM	16N-316/MM	16	25.5	18.0
18N/MM	18N-316/MM	18	28.5	18.0
22N/MM	22N-316/MM	22	32.0	20.0
25N/MM	25N-316/MM	25	38.0	21.0

GYROLOK

PLUG

P



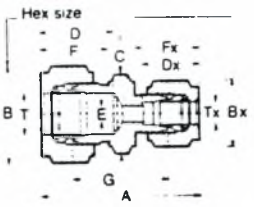
Plug

Part numbers		T	B
Brass	316 SS	Tube size ∅	
3P/MM	3P-316/MM	3	11.0
6P/MM	6P-316/MM	6	14.5
8P/MM	8P-316/MM	8	16.0
10P/MM	10P-316/MM	10	19.0
12P/MM	12P-316/MM	12	22.5
14P/MM	14P-316/MM	14	24.0
16P/MM	16P-316/MM	16	25.5
18P/MM	18P-316/MM	18	28.5
22P/MM	22P-316/MM	22	32.0
25P/MM	25P-316/MM	25	38.0

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers.

REDUCING UNION

RU



Reducing fitting for metric and fractional tubing

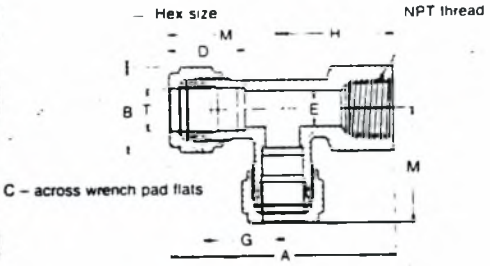
Part numbers		Tube size ∅		Dimensions – mm									
Brass	316SS	T	Tx	A	B	Bx	C	D	Dx	E	F	Fx	G
6RU3 /MM	6RU3 -316/MM	6	3	43.0	14.5	11.0	12.5	16.0	14.0	2.4	19.0	17.0	27.0
8RU6 /MM	8RU6 -316/MM	8	6	44.0	16.0	14.5	14.5	17.0	16.0	4.8	19.0	19.0	27.0
10RU6 /MM	10RU6 -316/MM	10	6	46.0	19.0	14.5	17.5	18.0	16.0	3.9	20.0	19.0	30.0
10RU8 /MM	10RU8 -316/MM	10	8	45.0	19.0	16.0	17.5	18.0	17.0	6.0	20.0	19.0	29.0
12RU6 /MM	12RU6 -316/MM	12	6	50.0	22.5	14.5	20.5	25.0	16.0	3.9	23.0	19.0	29.0
12RU10/MM	12RU10-316/MM	12	10	51.0	22.5	19.0	20.5	25.0	18.0	8.0	23.0	20.0	31.0
16RU12/MM	16RU12-316/MM	16	12	55.0	25.5	22.5	24.0	25.0	25.0	10.0	24.0	23.0	32.0
18RU12/MM	18RU12-316/MM	18	12	55.0	30.0	22.5	27.0	25.0	25.0	9.9	24.0	23.0	33.0
18RU16/MM	18RU16-316/MM	18	16	56.0	30.0	25.5	27.0	25.0	25.0	12.7	24.0	24.0	34.0
22RU18/MM	22RU18-316/MM	22	18	58.0	32.0	30.0	35.0	27.0	25.0	15.2	25.0	24.0	33.0
25RU18/MM	25RU18-316/MM	25	18	63.0	38.0	32.0	35.0	33.0	25.0	15.2	27.0	24.0	34.0
3RU1 /MM E	3RU1 -316/MM E	3	1/16	33.0	11.0	8.0	11.0	14.0	11.0	1.3	17.0	10.0	19.0
6RU1 /MM E	6RU1 -316/MM E	6	1/16	38.0	14.5	8.0	13.0	16.0	10.0	1.3	19.0	12.0	24.0
6RU2 /MM E	6RU2 -316/MM E	6	1/8	42.0	14.5	11.0	12.5	16.0	14.0	2.4	19.0	17.0	27.0
6RU4 /MM E	6RU4 -316/MM E	6	1/4	44.0	14.5	14.5	12.5	16.0	16.0	3.9	19.0	19.0	28.0
8RU4 /MM E	8RU4 -316/MM E	8	1/4	44.0	16.0	14.5	14.5	17.0	16.0	4.8	19.0	19.0	27.0
10RU4 /MM E	10RU4 -316/MM E	10	1/4	46.0	19.0	14.5	17.5	17.0	16.0	4.8	20.0	19.0	29.0
12RU4 /MM E	12RU4 -316/MM E	12	1/4	50.0	22.5	14.5	20.5	25.0	16.0	4.8	23.0	19.0	29.0
4RU3 /E MM	4RU3 -316/E MM	1/4	3	42.0	14.5	11.0	12.5	16.0	14.0	2.4	19.0	17.0	26.0
6RU8 /E MM	6RU8 -316/E MM	3/8	8	46.0	17.5	16.0	16.0	18.0	17.0	6.0	21.0	19.0	29.0
8RU6 /E MM	8RU6 -316/E MM	1/2	6	50.0	22.5	14.5	21.0	25.0	16.0	3.9	23.0	19.0	29.0

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers.

GYROLOK®

TEE

TFT



Tee for metric tube × female NPT thread

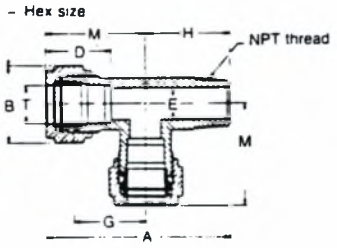
Part numbers		T Tube size ∅	NPT** thread (inches)	Dimensions – mm							
Brass	316 SS			A	B	C	D	E	G	H	M
3TFT2/MM E	3TFT2-316/MM E	3	1/8	44.0	11.0	13.0	14.0	2.4	17.0	19.0	25.0
6TFT2/MM E	6TFT2-316/MM E	6	1/8	46.0	14.5	13.0	16.0	4.7	19.0	19.0	27.0
6TFT4/MM E	6TFT4-316/MM E	6	1/4	54.0	14.5	17.0	16.0	4.7	24.0	21.0	32.0

** RT thread to ISO 7/1 on request.

GYROLOK®

TEE

TMT



Tee for metric tube × male thread

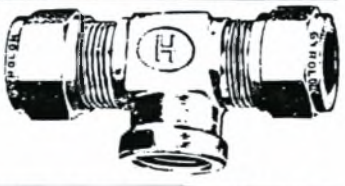
Part numbers		T Tube size ∅	NPT** thread (inches)	Dimensions – mm							
Brass	316 SS			A	B	C	D	E	G	H	M
3TMT2/MM E	3TMT2-316/MM E	3	1/8	43.0	11.0	11.0	14.0	2.4	17.0	18.0	25.0
6TMT2/MM E	6TMT2-316/MM E	6	1/8	46.0	14.5	11.0	16.0	4.8	18.0	20.0	27.0
6TMT4/MM E	6TMT4-316/MM E	6	1/4	54.0	14.5	13.0	16.0	4.8	20.0	26.0	28.0
8TMT2/MM E	8TMT2-316/MM E	8	1/8	49.0	16.0	13.0	17.0	4.8	21.0	21.0	29.0

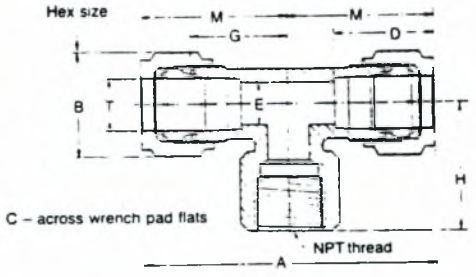
** RT thread to ISO 7/1 on request

GYROLOK®

TEE

TTF





Tee for metric tube × female NPT thread

Part numbers		T Tube size ∅	NPT** thread (inches)	Dimensions – mm							
Brass	316 SS			A	B	C	D	E	G	H	M
3TTF2/MM E	3TTF2-316/MM E	3	1/8	51.0	11.0	12.5	14.0	2.4	18.0	19.0	25.5
6TTF2/MM E	6TTF2-316/MM E	6	1/8	55.0	14.5	12.5	16.0	3.9	19.0	19.0	27.5
6TTF4/MM E	6TTF4-316/MM E	6	1/4	61.0	14.5	17.5	16.0	3.9	22.0	21.0	30.5

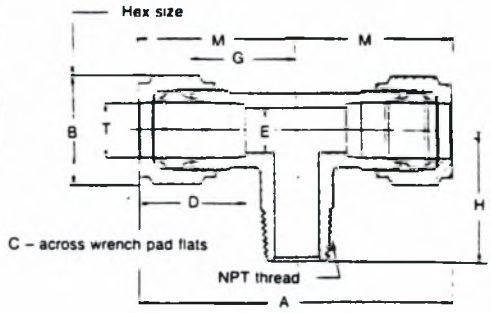
** RT thread to ISO 7/1 on request

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers.

BYROLOK

TEE

TTM



Tee for metric tube × male NPT thread

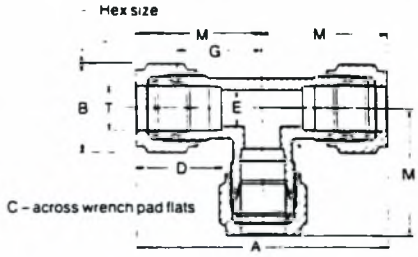
Part numbers		T Tube size ∅	NPT** thread (inches)	Dimensions – mm							
Brass	316 SS			A	B	C	D	E	G	H	M
3TTM2/MM E	3TTM2-316/MM E	3	1/8	49.0	11.0	11.0	14.0	2.4	17.0	18.0	24.5
6TTM2/MM E	6TTM2-316/MM E	6	1/8	53.0	14.5	11.0	16.0	3.9	18.0	20.0	26.5
6TTM4/MM E	6TTM4-316/MM E	6	1/4	56.0	14.5	12.5	16.0	3.9	20.0	26.0	28.0
8TTM2/MM E	8TTM2-316/MM E	8	1/8	57.0	16.0	12.5	17.0	4.8	21.0	21.0	28.5

** RT thread to ISO 7/1 on request

BYROLOK

ALL TUBE TEE

TTT



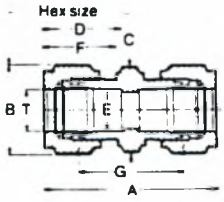
Tee

Part numbers		T Tube size ∅	Dimensions – mm						
Brass	316 SS		A	B	C	D	E	G	M
3TTT/MM	3TTT-316/MM	3	49.0	11.0	11.0	14.0	2.3	17.0	25.0
6TTT/MM	6TTT-316/MM	6	53.0	14.5	11.0	16.0	3.9	18.0	27.0
8TTT/MM	8TTT-316/MM	8	57.0	16.0	12.5	17.0	6.0	21.0	28.5
10TTT/MM	10TTT-316/MM	10	65.0	19.0	17.5	17.0	8.0	25.0	33.0
12TTT/MM	12TTT-316/MM	12	73.0	22.5	17.5	25.0	10.0	25.0	37.0
14TTT/MM	14TTT-316/MM	14	71.0	24.0	21.0	22.0	12.0	26.0	36.0
16TTT/MM	16TTT-316/MM	16	75.0	25.5	21.0	25.0	12.7	26.0	37.0
18TTT/MM	18TTT-316/MM	18	79.0	28.5	25.0	25.0	15.8	29.0	39.0
22TTT/MM	22TTT-316/MM	22	90.0	32.0	32.0	27.0	18.3	33.0	45.0
25TTT/MM	25TTT-316/MM	25	95.0	38.0	32.0	33.0	21.8	33.0	48.0

BYROLOK

UNION

U



Straight union

Part numbers		T Tube size ∅	Dimensions – mm						
Brass	316 SS		A	B	C	D	E	G	M
3U/MM	3U-316/MM	3	41.0	11.0	11.0	14.0	2.3	17.0	25.0
6U/MM	6U-316/MM	6	46.0	14.5	12.5	16.0	3.9	19.0	29.0
8U/MM	8U-316/MM	8	44.0	16.0	14.5	17.0	6.0	19.0	28.0
10U/MM	10U-316/MM	10	47.0	19.0	17.5	18.0	8.0	20.0	31.0
12U/MM	12U-316/MM	12	55.0	22.5	21.0	25.0	10.0	23.0	31.0
14U/MM	14U-316/MM	14	51.0	24.0	22.0	22.0	12.0	21.0	32.0
16U/MM	16U-316/MM	16	55.0	25.5	24.0	25.0	12.7	24.0	33.0
18U/MM	18U-316/MM	18	56.0	28.5	27.0	25.0	15.8	25.0	36.0
22U/MM	22U-316/MM	22	58.0	32.0	32.0	27.0	18.3	25.0	34.0
25U/MM	25U-316/MM	25	69.0	38.0	35.0	33.0	21.8	27.0	40.0

Dimensions for reference only, can be altered by the manufacturers

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Β.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 1ης ΦΑΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Figure. B.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Figure. B.3. ΜΕΤΡΗΣΗ 3η

Figure. B.4. ΜΕΤΡΗΣΗ 4η

Figure. B.5. ΜΕΤΡΗΣΗ 5η

Figure. B.6. ΜΕΤΡΗΣΗ 6η

Figure. B.7. ΜΕΤΡΗΣΗ 7η

Figure. B.8. ΜΕΤΡΗΣΗ 8η

Figure. B.9. ΜΕΤΡΗΣΗ 9η

Figure. B.10. ΜΕΤΡΗΣΗ 10η

Figure. B.11. ΜΕΤΡΗΣΗ 11η

Figure. B.12. ΜΕΤΡΗΣΗ 12η

Figure. B.13. ΜΕΤΡΗΣΗ 13η

ΠΙΝΑΚΕΣ 1ης ΦΑΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΠΟΨΥΞΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.2. ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.3. ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.4. ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.5. ΕΥΡΕΣΗ ΕΙΔΙΚΟΥ ΟΓΚΟΥ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	**2,143**	**6,399**	**11,600**	**27,4**	**78,2**	**26,8**	**111,8**

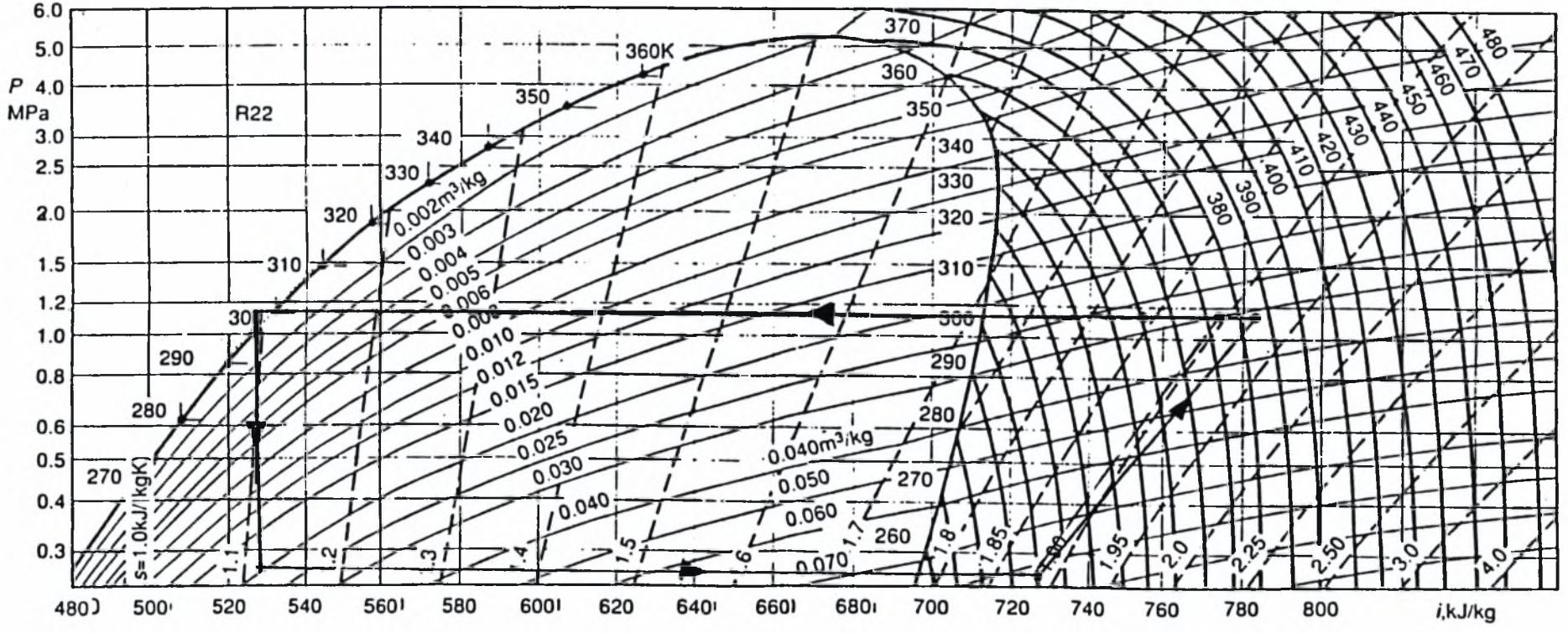


Figure. B.2. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
3η ΜΕΤΡΗΣΗ	**2,790**	**2,476**	**11,898**	**27,9**	**81,7**	**27,3**	**112,6**

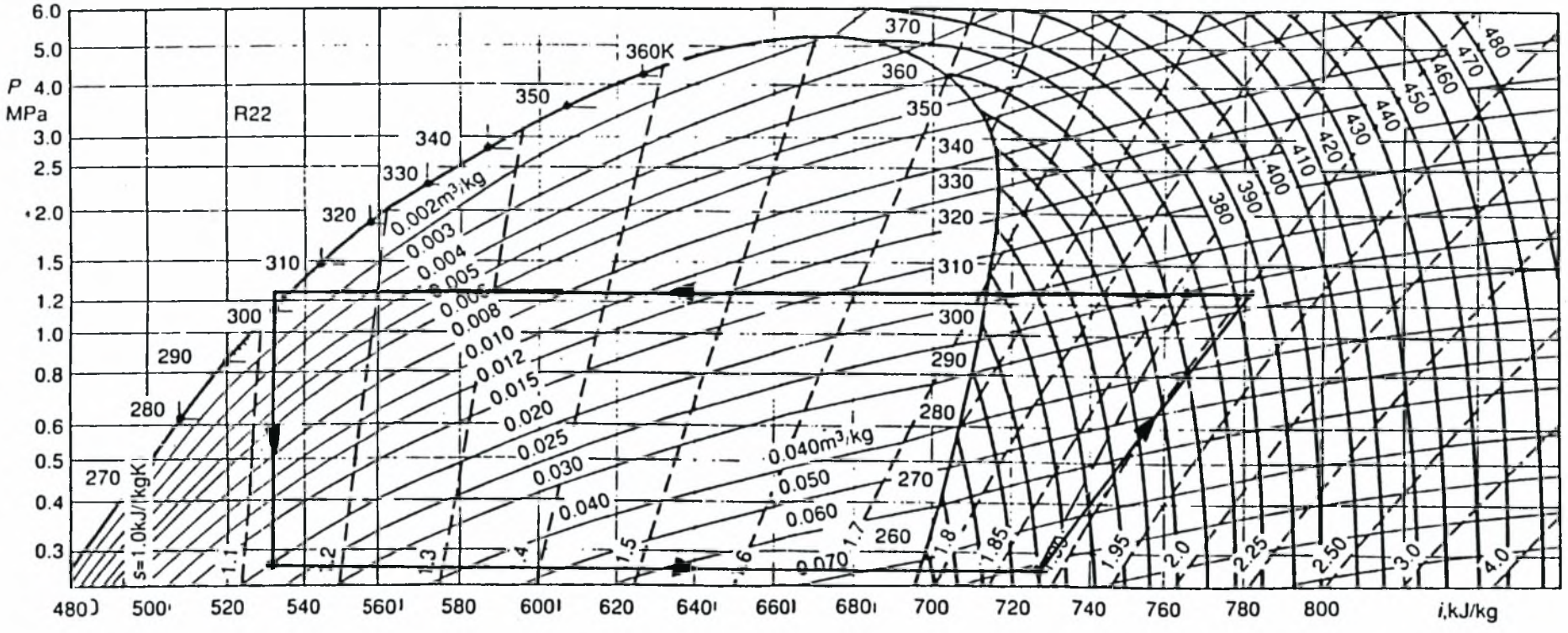


Figure. B.3. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
4η ΜΕΤΡΗΣΗ	**2,966**	**3,7565**	**12,345**	**27,9**	**82,1**	**28,2**	**111,4**

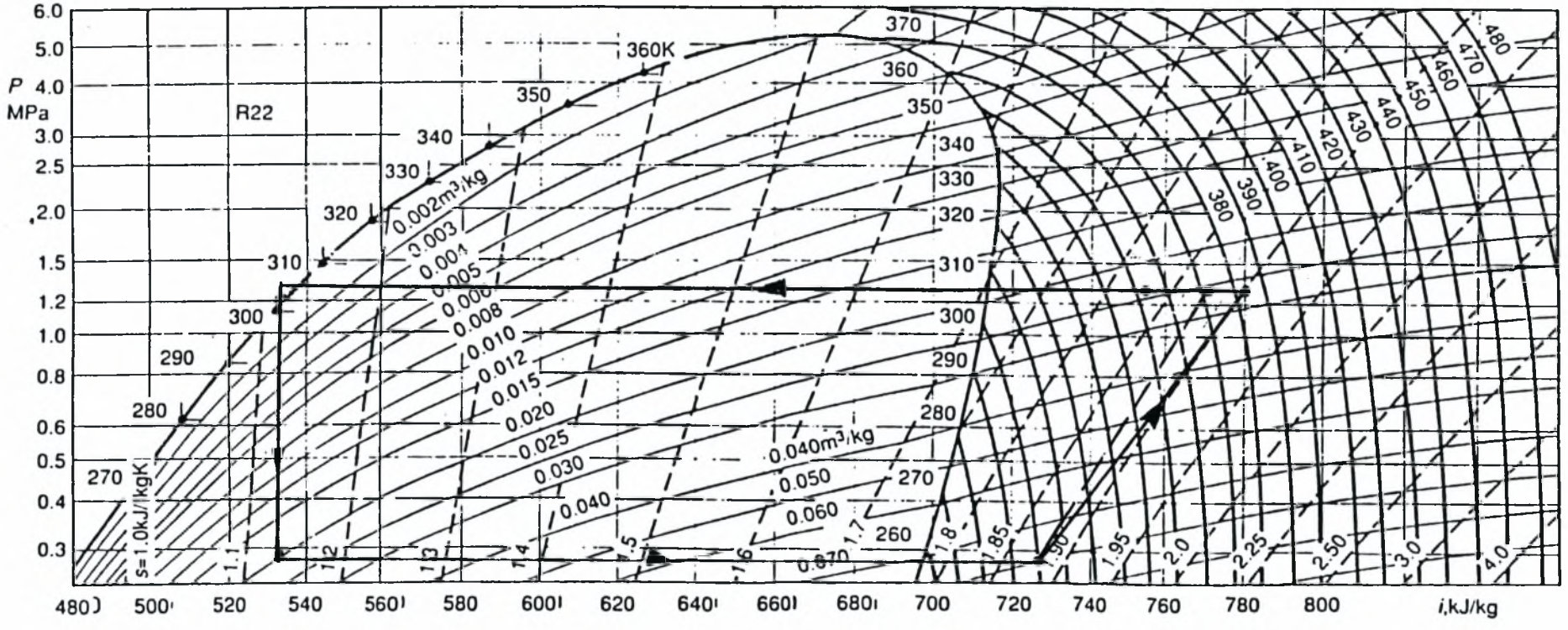


Figure. B.4. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
5η ΜΕΤΡΗΣΗ	**3,189**	**2,966**	**12,643**	**27,4**	**87,7**	**28,8**	**110,7**

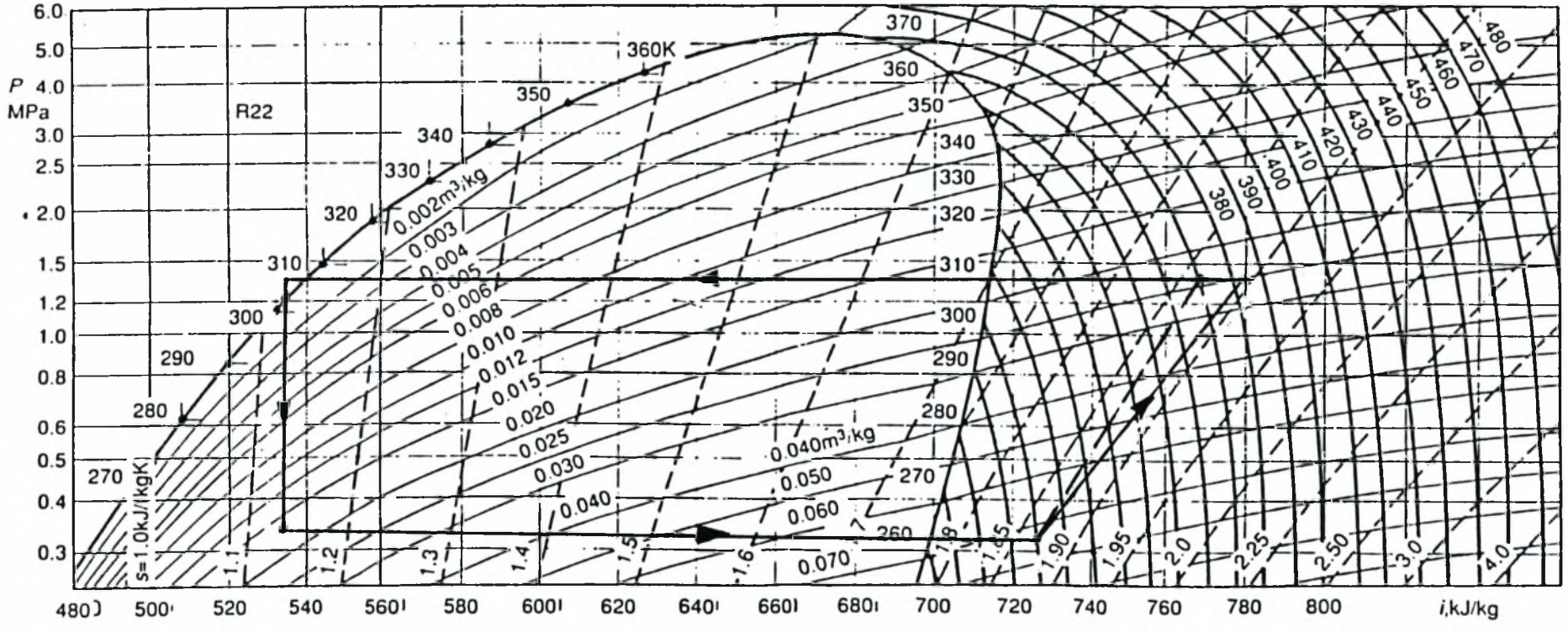


Figure. B.5. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
6η ΜΕΤΡΗΣΗ	**3,437**	**3,6365**	**13,090**	**27,1**	**83**	**29,4**	**109,4**

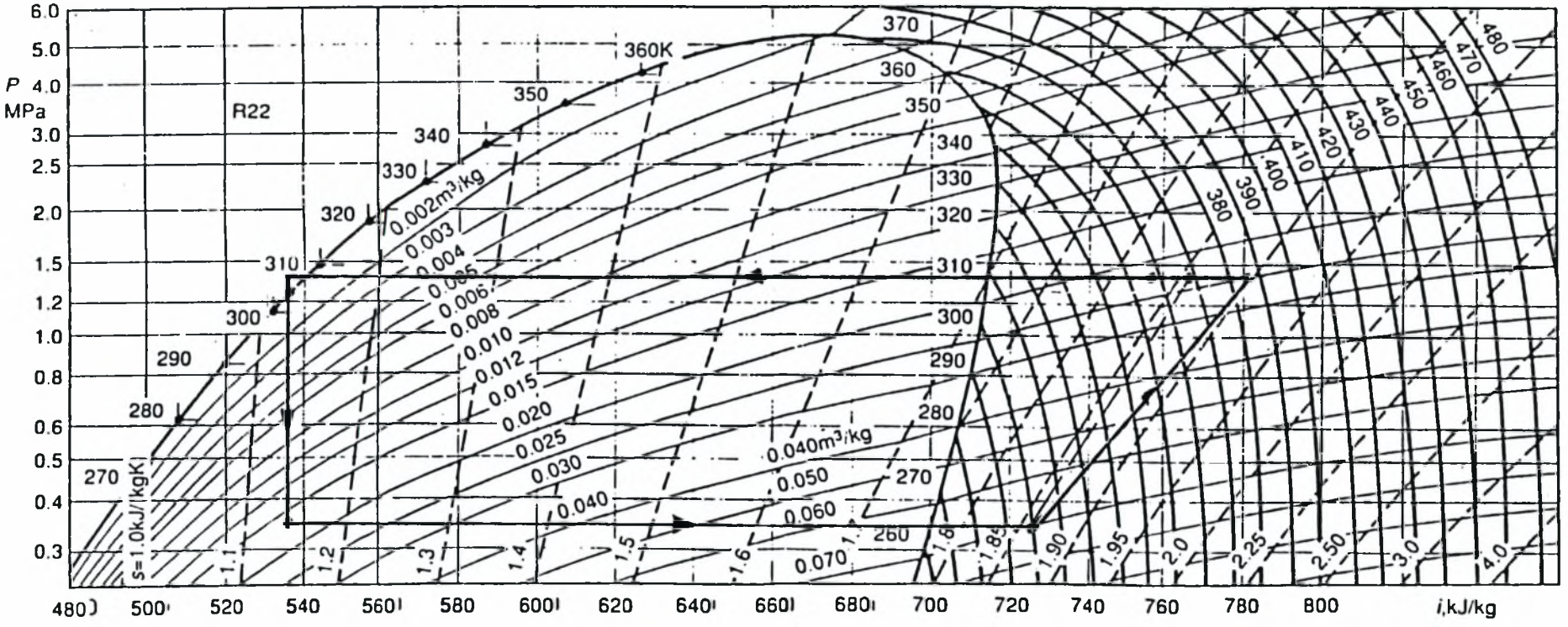


Figure. B.6. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
7η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,004**	**3,6265**	**14,679**	**26,2**	**83,8**	**34,3**	**107,4**

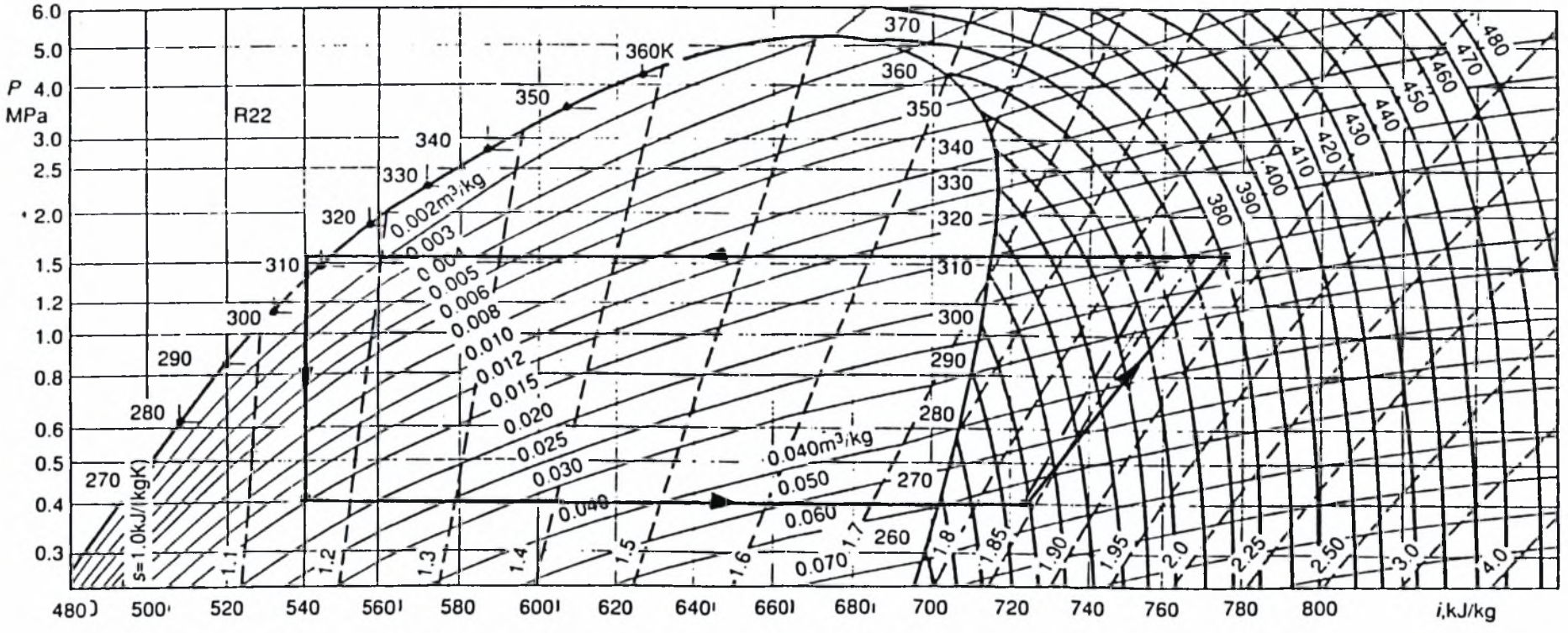


Figure. B.7. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
8η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,332**	**3,1365**	**15,176**	**26,3**	**84,4**	**35,4**	**106,2**

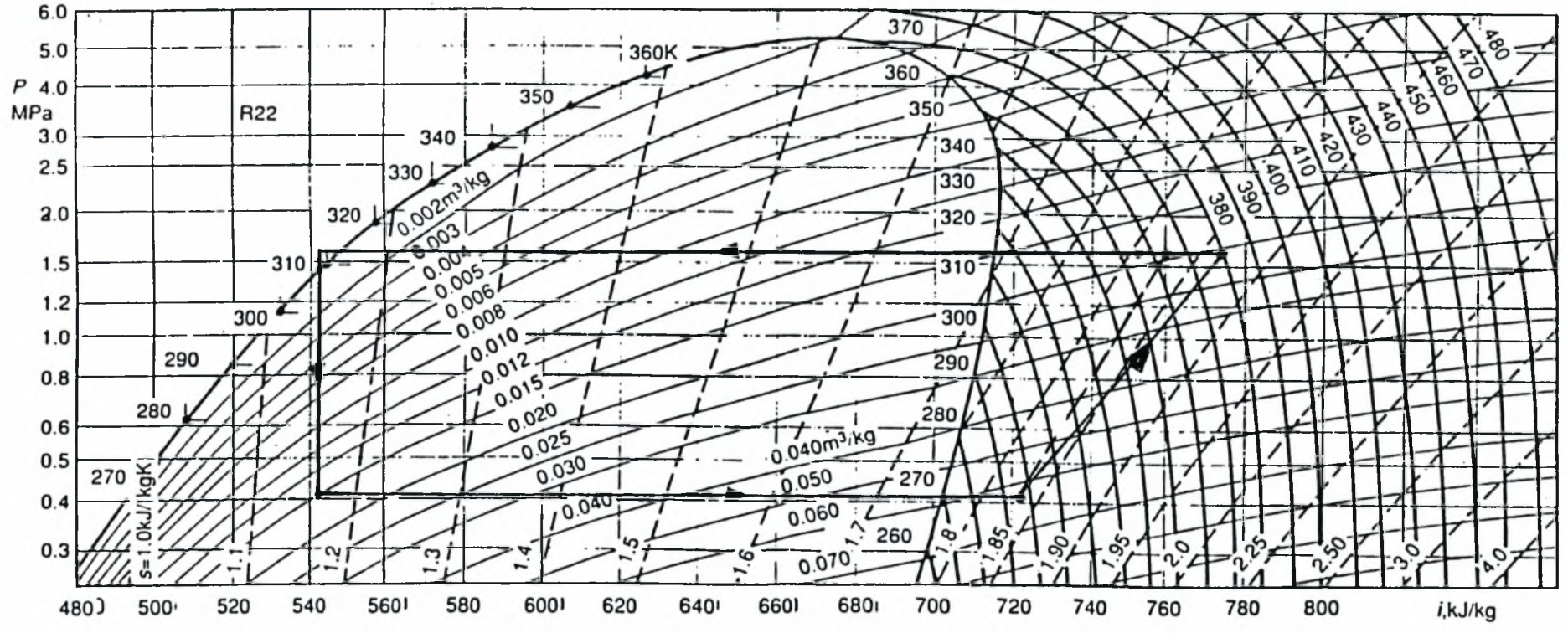


Figure. B.8. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
9η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,476**	**0,2665**	**15,523**	**26,1**	**84,1**	**36**	**105,1**

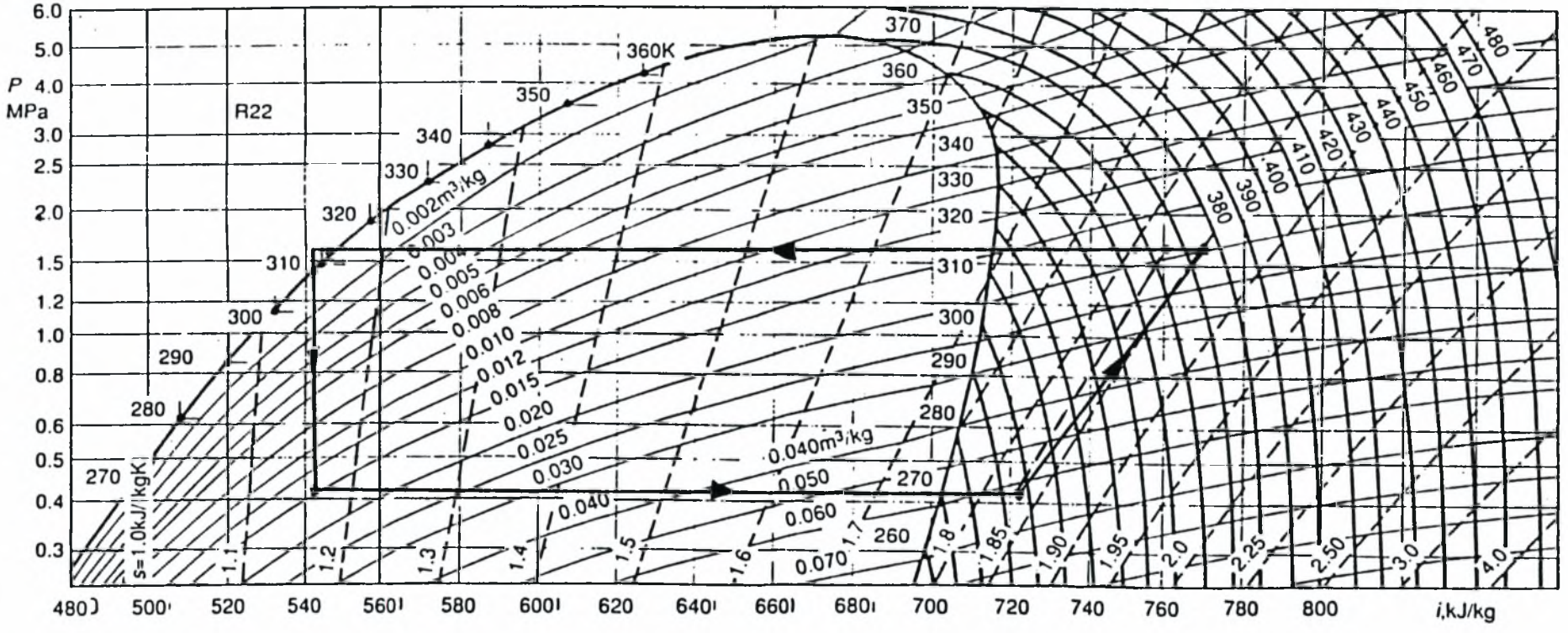


Figure. B.9. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
10η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,652**	**2,7265**	**15,871**	**26,1**	**83,9**	**36,8**	**104,2**

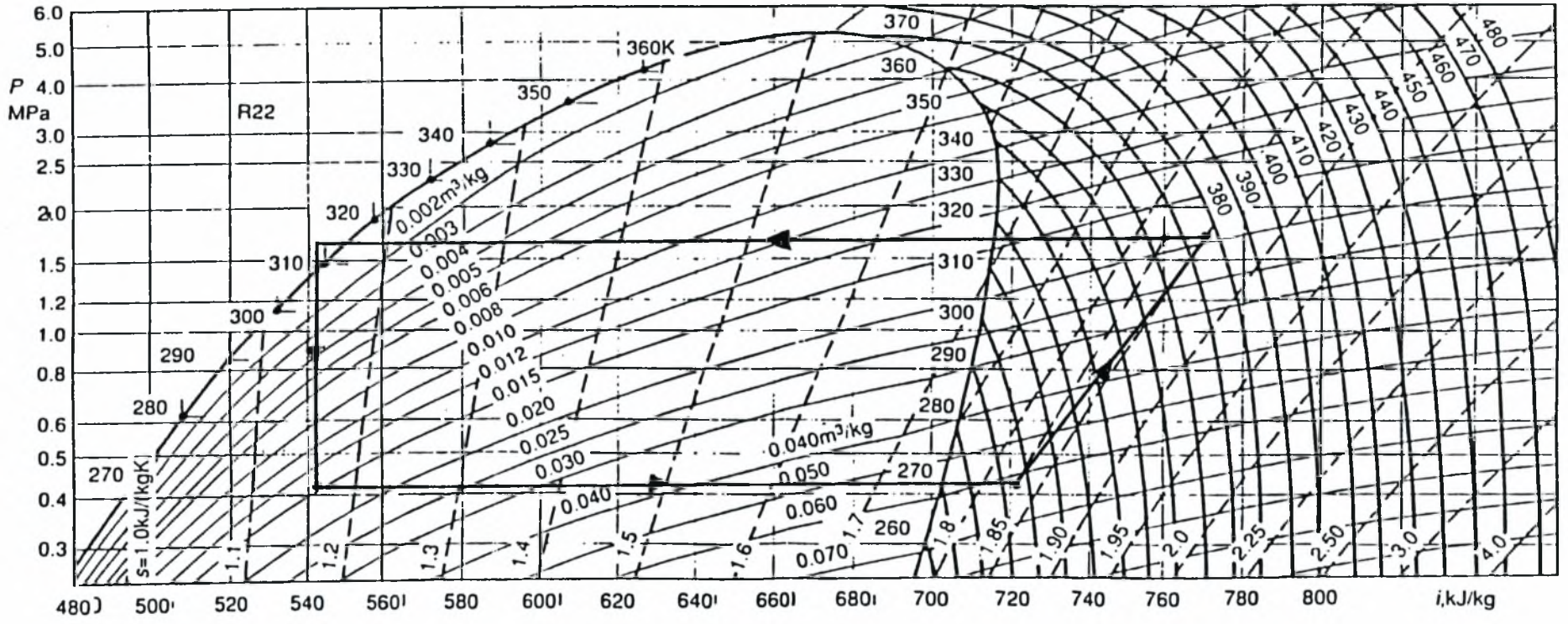


Figure. B.10. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
11η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,803**	**2,5065**	**16,119**	**26,1**	**84,1**	**37,4**	**103,8**

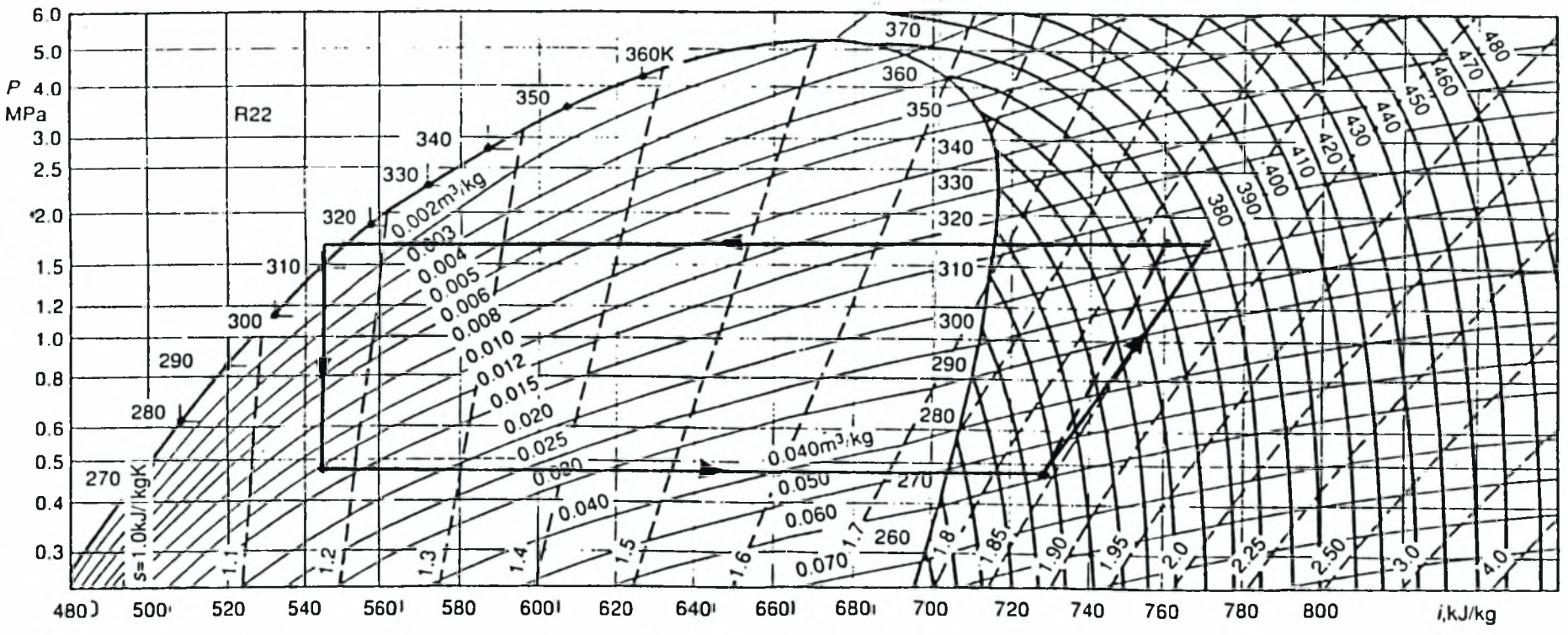


Figure. B.11. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
12η ΜΕΤΡΗΣΗ	**4,947**	**2,2265**	**16,517**	**25,8**	**84,3**	**38,1**	**103,6**

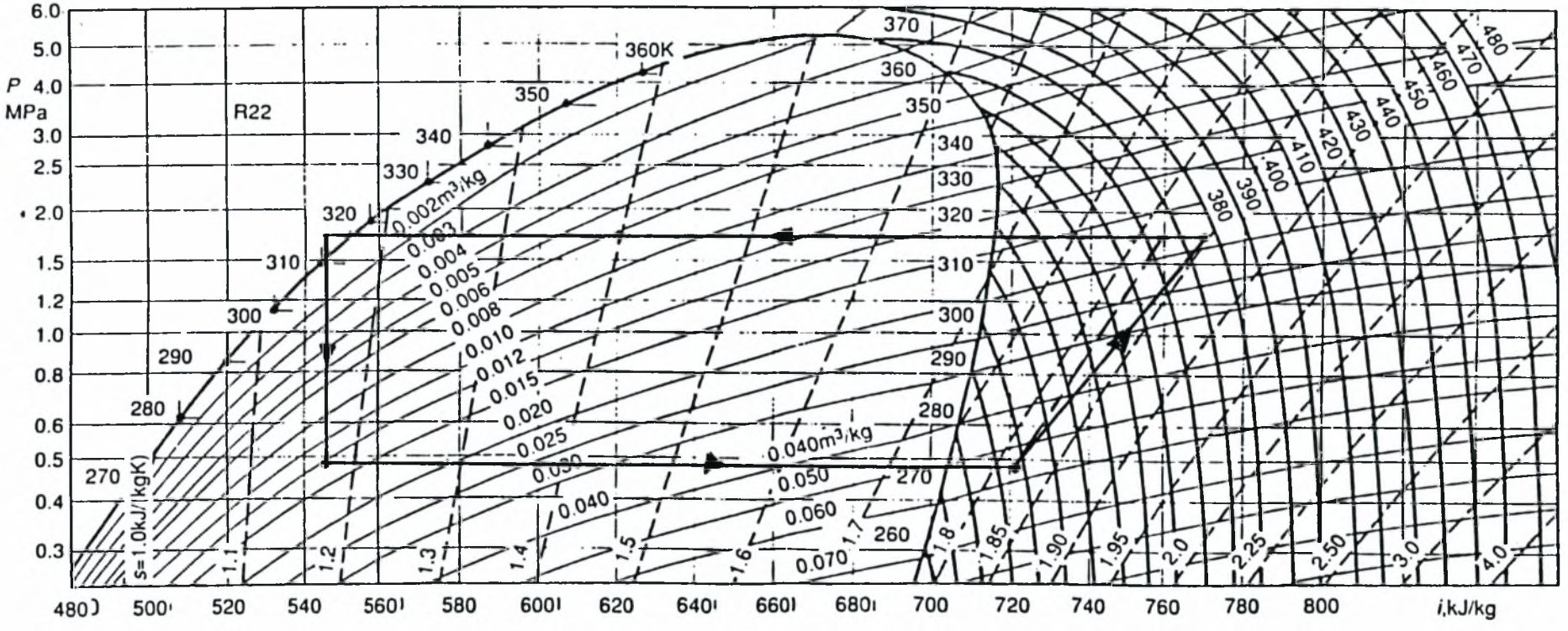


Figure. B.12. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{25}(bar)	P_{40}(bar)	T1	T2	T3	T4
13η ΜΕΤΡΗΣΗ	**5,051**	**2,3765**	**16,616**	**25,7**	**84,5**	**38,4**	**103,3**

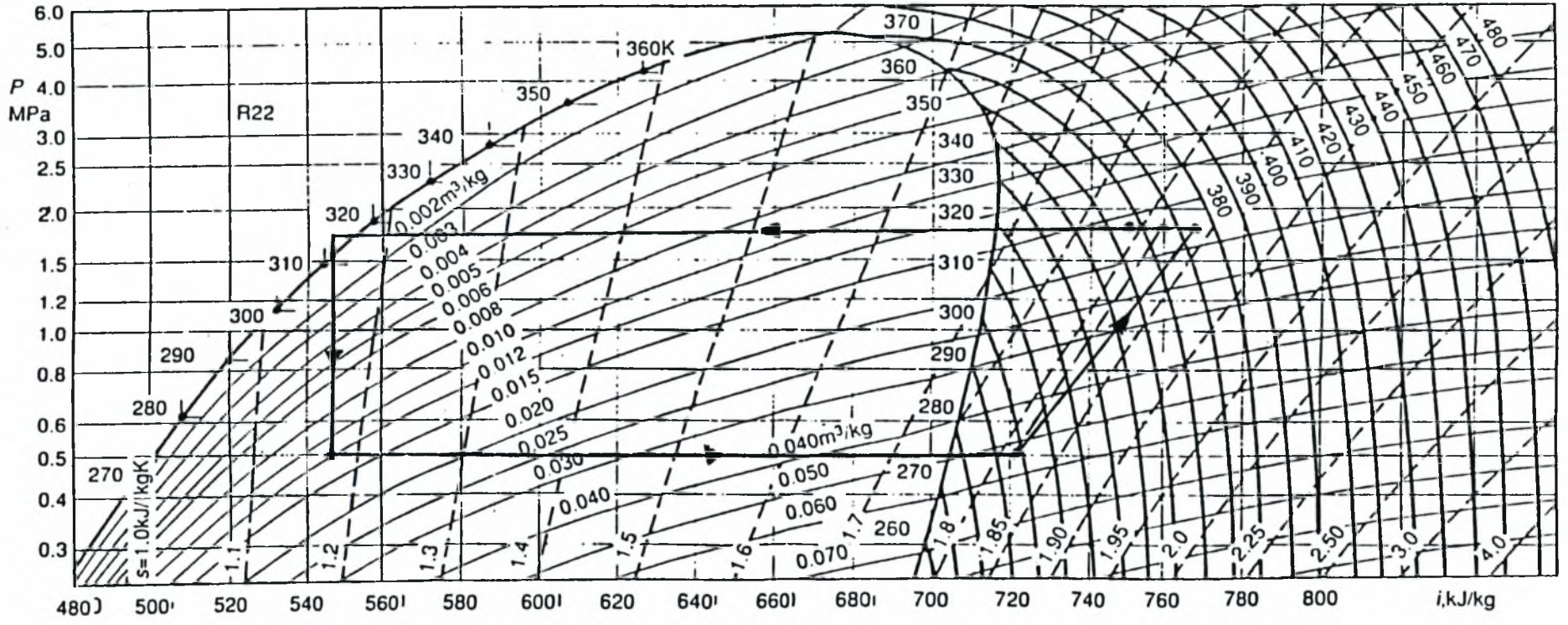


Figure. B.13. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	28,96	1,16	0,00085	78,94	79,93	0,2961	0	Saturated Liquid
2,	R-22	26,8	1,16						
3,	R-22	29,91	1,189	0,00085	80,12	81,13	0,3	0	Saturated Liquid
4,	R-22	27,3	1,189						
5,	R-22	31,34	1,234	0,00086	81,91	82,97	0,3059	0	Saturated Liquid
6,	R-22	28,2	1,234						
7,	R-22	32,27	1,264	0,00086	83,08	84,17	0,3098	0	Saturated Liquid
8,	R-22	28,8	1,264						
9,	R-22	33,64	1,309	0,00086	84,81	85,94	0,3154	0	Saturated Liquid
10,	R-22	29,4	1,309						
11,	R-22	38,19	1,467	0,00088	90,59	91,88	0,3342	0	Saturated Liquid
12,	R-22	34,3	1,467						
13,	R-22	39,56	1,517	0,00088	92,35	93,68	0,3399	0	Saturated Liquid
14,	R-22	35,4	1,517						
15,	R-22	40,49	1,552	0,00089	93,55	94,93	0,3437	0	Saturated Liquid
16,	R-22	36	1,552						
17,	R-22	41,41	1,587	0,00089	94,74	96,15	0,3475	0	Saturated Liquid
18,	R-22	36,8	1,587						
19,	R-22	42,03	1,611	0,00089	95,55	96,99	0,3501	0	Saturated Liquid
20,	R-22	37,4	1,611						
21,	R-22	43,06	1,651	0,00089	96,88	98,36	0,3543	0	Saturated Liquid
22,	R-22	38,1	1,651						
23,	R-22	43,31	1,661	0,0009	97,21	98,7	0,3554	0	Saturated Liquid
24,	R-22	38,4	1,661						

ΠΙΝΑΚΑΣ Β.1

ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	27,4	0,2143	0,1307	246	274	1,087		Superheated Vapor
2,	R-22	112,2	1,16	0,02961	292,4	326,8	1,087		Dense Fluid (T>TC)
3,	R-22	111,8	1,16	0,02958	292,2	326,5	1,086		Dense Fluid (T>TC)
4,	R-22	27,9	0,279	0,09958	245,6	273,4	1,061		Superheated Vapor
5,	R-22	101	1,189	0,02773	284,5	317,5	1,061		Dense Fluid (T>TC)
6,	R-22	112,6	1,189	0,02887	292,5	326,9	1,085		Dense Fluid (T>TC)
7,	R-22	27,9	0,2966	0,09341	245,4	273,1	1,054		Superheated Vapor
8,	R-22	100	1,234	0,02653	283,6	316,3	1,054		Dense Fluid (T>TC)
9,	R-22	111,4	1,234	0,02762	291,4	325,5	1,078		Dense Fluid (T>TC)
10,	R-22	27,4	0,3189	0,08641	244,9	272,5	1,045		Superheated Vapor
11,	R-22	97,23	1,264	0,02557	281,4	313,8	1,045		Dense Fluid (T>TC)
12,	R-22	110,7	1,264	0,02684	290,8	324,7	1,074		Dense Fluid (T>TC)
13,	R-22	27,1	0,3437	0,07976	244,5	271,9	1,036		Superheated Vapor
14,	R-22	95,16	1,309	0,0244	279,7	311,6	1,036		Superheated Vapor
15,	R-22	109,4	1,309	0,02571	289,6	323,2	1,067		Dense Fluid (T>TC)
16,	R-22	26,2	0,4004	0,06758	243,3	270,4	1,017		Superheated Vapor
17,	R-22	93,05	1,467	0,02128	277,1	308,3	1,017		Superheated Vapor
18,	R-22	107,4	1,467	0,0225	287,2	320,2	1,049		Dense Fluid (T>TC)
19,	R-22	26,3	0,4332	0,06215	243	269,9	1,009		Superheated Vapor
20,	R-22	91,16	1,517	0,02032	275,4	306,2	1,009		Superheated Vapor
21,	R-22	106,2	1,517	0,02157	286	318,7	1,043		Dense Fluid (T>TC)
22,	R-22	26,1	0,4476	0,05995	242,7	269,5	1,005		Superheated Vapor
23,	R-22	90,64	1,552	0,01975	274,7	305,4	1,005		Superheated Vapor
24,	R-22	105,1	1,552	0,02094	285	317,5	1,037		Dense Fluid (T>TC)

ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

	Type	Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
25,	R-22	26,1	0,4652	0,05751	242,5	269,2	1		Superheated Vapor
26,	R-22	90	1,587	0,01919	274	304,4	1		Superheated Vapor
27,	R-22	104,2	1,587	0,02035	284,1	316,4	1,033		Dense Fluid (T>TC)
28,	R-22	26,1	0,4803	0,05555	242,3	269	0,9966		Superheated Vapor
29,	R-22	89,28	1,611	0,0188	273,3	303,6	0,9966		Superheated Vapor
30,	R-22	103,8	1,611	0,01997	283,6	315,8	1,03		Dense Fluid (T>TC)
31,	R-22	25,8	0,4947	0,05373	242	268,6	0,9925		Superheated Vapor
32,	R-22	88,92	1,651	0,01824	272,7	302,8	0,9925		Superheated Vapor
33,	R-22	103,6	1,651	0,01941	283,2	315,2	1,026		Dense Fluid (T>TC)
34,	R-22	25,7	0,5051	0,0525	241,8	268,3	0,9898		Superheated Vapor
35,	R-22	88,14	1,661	0,01805	272,1	302	0,9898		Superheated Vapor
36,	R-22	103,3	1,661	0,01925	282,9	314,9	1,025		Dense Fluid (T>TC)

ΠΙΝΑΚΑΣ Β.2

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	-23,43	0,214	0,1054	218	240,6	0,9656	1	Saturated Vapor
2,	R-22	-16,56	0,279	0,08203	220,6	243,5	0,9532	1	Saturated Vapor
3,	R-22	-14,92	0,2966	0,0774	221,2	244,2	0,9504	1	Saturated Vapor
4,	R-22	-12,94	0,3189	0,07224	221,9	245	0,9471	1	Saturated Vapor
5,	R-22	-10,86	0,3437	0,06726	222,7	245,8	0,9436	1	Saturated Vapor
6,	R-22	-6,522	0,4	0,05817	224,2	247,5	0,9367	1	Saturated Vapor
7,	R-22	-4,194	0,433	0,05391	225	248,4	0,9332	1	Saturated Vapor
8,	R-22	-3,247	0,447	0,05228	225,4	248,7	0,9317	1	Saturated Vapor
9,	R-22	-2,061	0,465	0,05033	225,8	249,2	0,93	1	Saturated Vapor
10,	R-22	-1,099	0,48	0,04881	226,1	249,5	0,9285	1	Saturated Vapor
11,	R-22	-0,2218	0,494	0,04747	226,4	249,9	0,9272	1	Saturated Vapor
12,	R-22	0,4545	0,505	0,04647	226,7	250,1	0,9262	1	Saturated Vapor

1,	R-22	28,96	1,16	0,0008489	78,94	79,93	0,2961	0	Saturated Liquid
2,	R-22	29,62	1,18	0,0008508	79,76	80,76	0,2988	0	Saturated Liquid
3,	R-22	31,21	1,23	0,0008556	81,75	82,8	0,3054	0	Saturated Liquid
4,	R-22	32,15	1,26	0,0008584	82,93	84,01	0,3093	0	Saturated Liquid
5,	R-22	33,37	1,3	0,0008622	84,46	85,59	0,3143	0	Saturated Liquid
6,	R-22	38	1,46	0,0008771	90,34	91,63	0,3334	0	Saturated Liquid
7,	R-22	39,37	1,51	0,0008817	92,1	93,43	0,3391	0	Saturated Liquid
8,	R-22	40,44	1,55	0,0008854	93,48	94,86	0,3435	0	Saturated Liquid
9,	R-22	41,23	1,58	0,0008882	94,51	95,91	0,3468	0	Saturated Liquid
10,	R-22	42,01	1,61	0,000891	95,52	96,95	0,35	0	Saturated Liquid
11,	R-22	43,03	1,65	0,0008947	96,85	98,32	0,3542	0	Saturated Liquid
12,	R-22	43,28	1,66	0,0008956	97,18	98,66	0,3553	0	Saturated Liquid

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β. 3

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	78,2	1,16	0,02613	269,2	299,5	1,013		Superheated Vapor
2,	R-22	81,7	1,189	0,02578	271,4	302	1,018		Superheated Vapor
3,	R-22	82,1	1,23	0,02485	271,3	301,9	1,015		Superheated Vapor
4,	R-22	87,7	1,26	0,02474	274,9	306,1	1,024		Superheated Vapor
5,	R-22	83	1,3	0,02343	271,4	301,8	1,01		Superheated Vapor
6,	R-22	83,8	1,46	0,02058	270,6	300,7	0,9968		Superheated Vapor
7,	R-22	84,4	1,51	0,01984	270,6	300,6	0,9938		Superheated Vapor
8,	R-22	84,1	1,55	0,01922	270,1	299,9	0,9896		Superheated Vapor
9,	R-22	83,9	1,58	0,01878	269,7	299,4	0,9865		Superheated Vapor
10,	R-22	84,1	1,61	0,01838	269,6	299,2	0,9845		Superheated Vapor
11,	R-22	84,3	1,65	0,01787	269,4	298,9	0,9816		Superheated Vapor
12,	R-22	84,5	1,66	0,01776	269,4	298,9	0,9812		Superheated Vapor
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	26,8	1,096	0,0008427	76,26	77,18	0,2872	0	Saturated Liquid
2,	R-22	27,3	1,11	0,0008441	76,88	77,81	0,2892	0	Saturated Liquid
3,	R-22	28,2	1,137	0,000846	77,99	78,96	0,293	0	Saturated Liquid
4,	R-22	28,8	1,155	0,000848	78,74	79,72	0,2954	0	Saturated Liquid
5,	R-22	29,4	1,173	0,00085	79,49	80,48	0,2979	0	Saturated Liquid
6,	R-22	34,3	1,331	0,000865	85,64	86,79	0,3182	0	Saturated Liquid
7,	R-22	35,4	1,368	0,000868	87,03	88,22	0,3227	0	Saturated Liquid
8,	R-22	36	1,389	0,00087	87,8	89	0,3252	0	Saturated Liquid
9,	R-22	36,8	1,417	0,000873	88,81	90,05	0,3285	0	Saturated Liquid
10,	R-22	37,4	1,439	0,000875	89,58	90,84	0,331	0	Saturated Liquid
11,	R-22	38,1	1,464	0,000877	90,48	91,76	0,3338	0	Saturated Liquid
12,	R-22	38,4	1,475	0,000878	90,86	92,16	0,3351	0	Saturated Liquid

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.4

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	19	0,6399	0,03912	236	261	0,9446		Superheated Vapor
2,	R-22	19	0,2476	0,109	240,9	267,8	1,053		Superheated Vapor
3,	R-22	19	0,3756	0,0702	239,4	265,7	1,008		Superheated Vapor
4,	R-22	19	0,2966	0,09018	240,3	267	1,034		Superheated Vapor
5,	R-22	19	0,3636	0,07268	239,5	265,9	1,011		Superheated Vapor
6,	R-22	19	0,3626	0,0729	239,5	265,9	1,012		Superheated Vapor
7,	R-22	19	0,3136	0,08504	240,1	266,8	1,028		Superheated Vapor
8,	R-22	19	0,0266	1,052	243,3	271,3	1,276		Superheated Vapor
9,	R-22	19	0,2726	0,09854	240,6	267,4	1,043		Superheated Vapor
10,	R-22	19	0,2506	0,1076	240,8	267,8	1,052		Superheated Vapor
11,	R-22	19	0,2226	0,1217	241,1	268,2	1,064		Superheated Vapor
12,	R-22	19	0,2376	0,1137	241	268	1,057		Superheated Vapor

ΠΙΝΑΚΑΣ. Β.5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Γ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 2ης ΦΑΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Figure. Γ.1. ΜΕΤΡΗΣΗ 1η

Figure. Γ.2. ΜΕΤΡΗΣΗ 2η

Figure. Γ.3. ΜΕΤΡΗΣΗ 3η

Figure. Γ.4. ΜΕΤΡΗΣΗ 4η

Figure. Γ.5. ΜΕΤΡΗΣΗ 5η

Figure. Γ.6. ΜΕΤΡΗΣΗ 6η

Figure. Γ.7. ΜΕΤΡΗΣΗ 7η

Figure. Γ.8. ΜΕΤΡΗΣΗ 8η

Figure. Γ.9. ΜΕΤΡΗΣΗ 9η

ΠΙΝΑΚΕΣ 2ης ΦΑΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΠΟΨΥΞΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.2. ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.3. ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.4. ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 1η	6 λαμπακια INVERTER	4,56	18,2	14,2	89,3	21,1	104,9	19	11

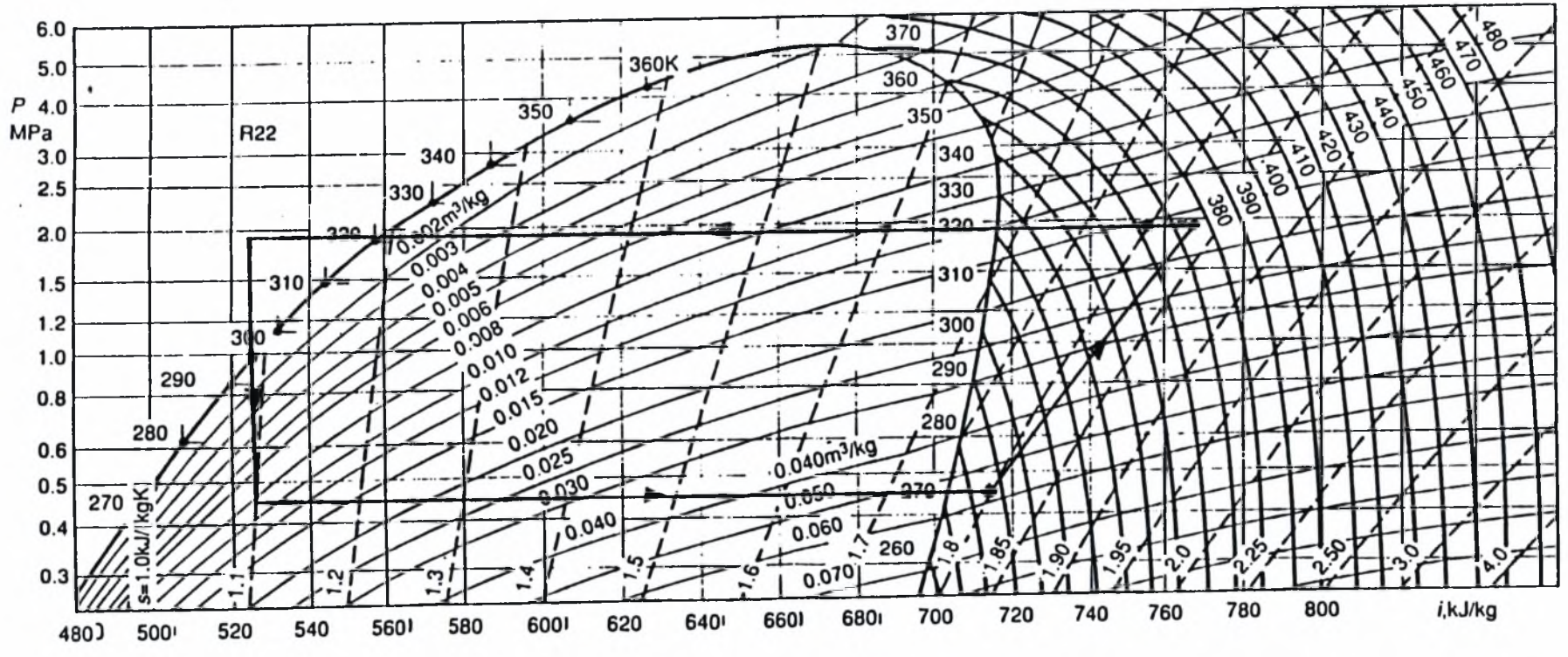


Figure. Γ.1. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 2η	6 λαμπακια INVERTER	4,55	22,37	3,3	57,2	29,8	114,4	20	19

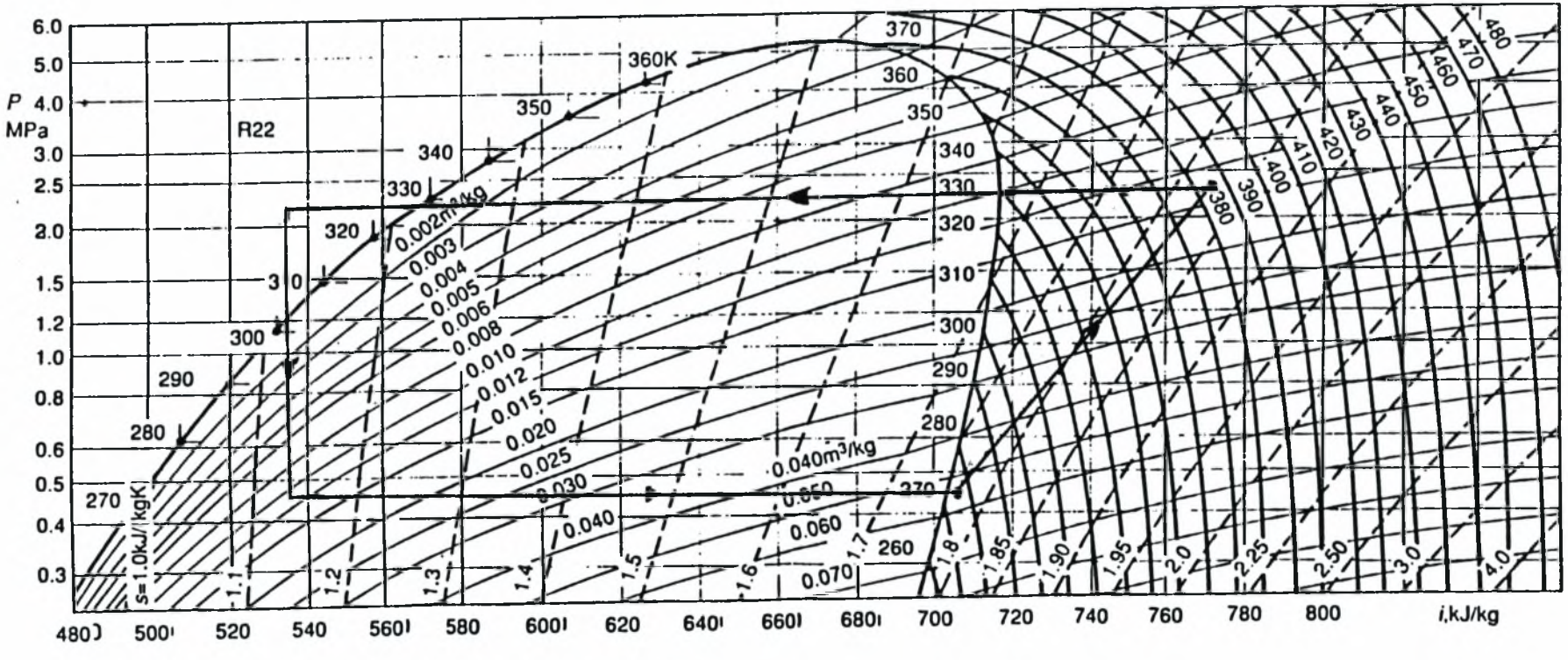


Figure. Γ.2. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 3η	6 λαμπακια INVERTER	4,38	22,62	2,7	97,4	31,6	115,1	18	20

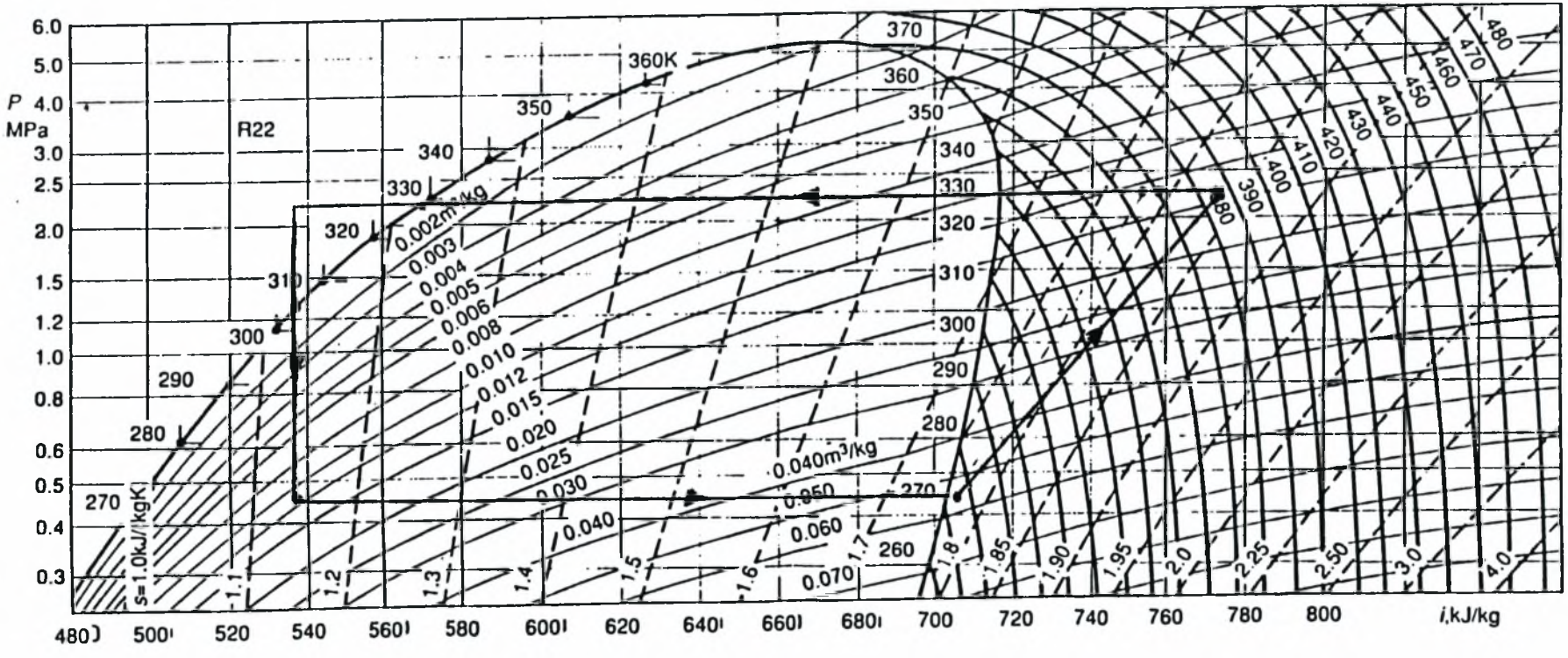


Figure. Γ.3. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 4η	6 λαμπακια INVERTER	4,46	22,67	3,5	98,1	31,4	115,8	18	20

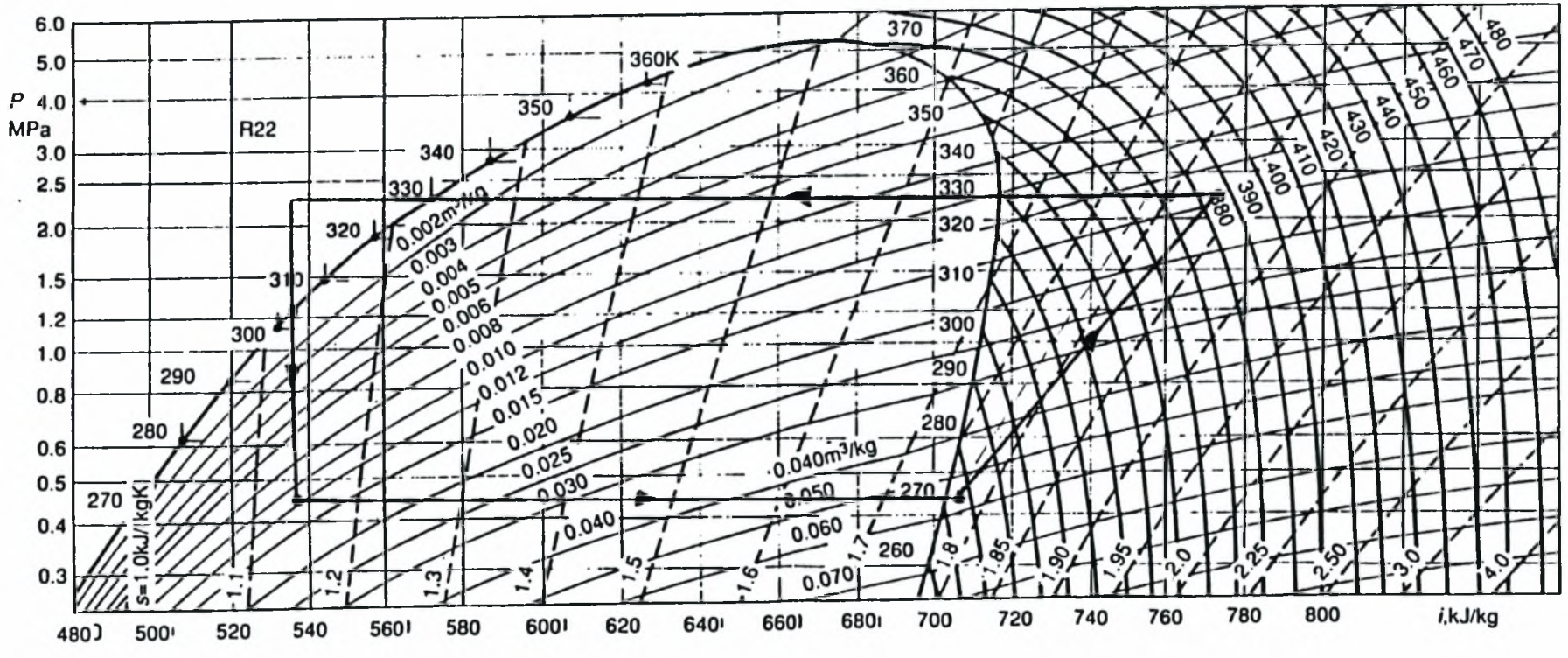


Figure. Γ.4. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 5η	6 λαμπακια INVERTER	5,62	17,21	7,1	84,3	27,7	103	19	19

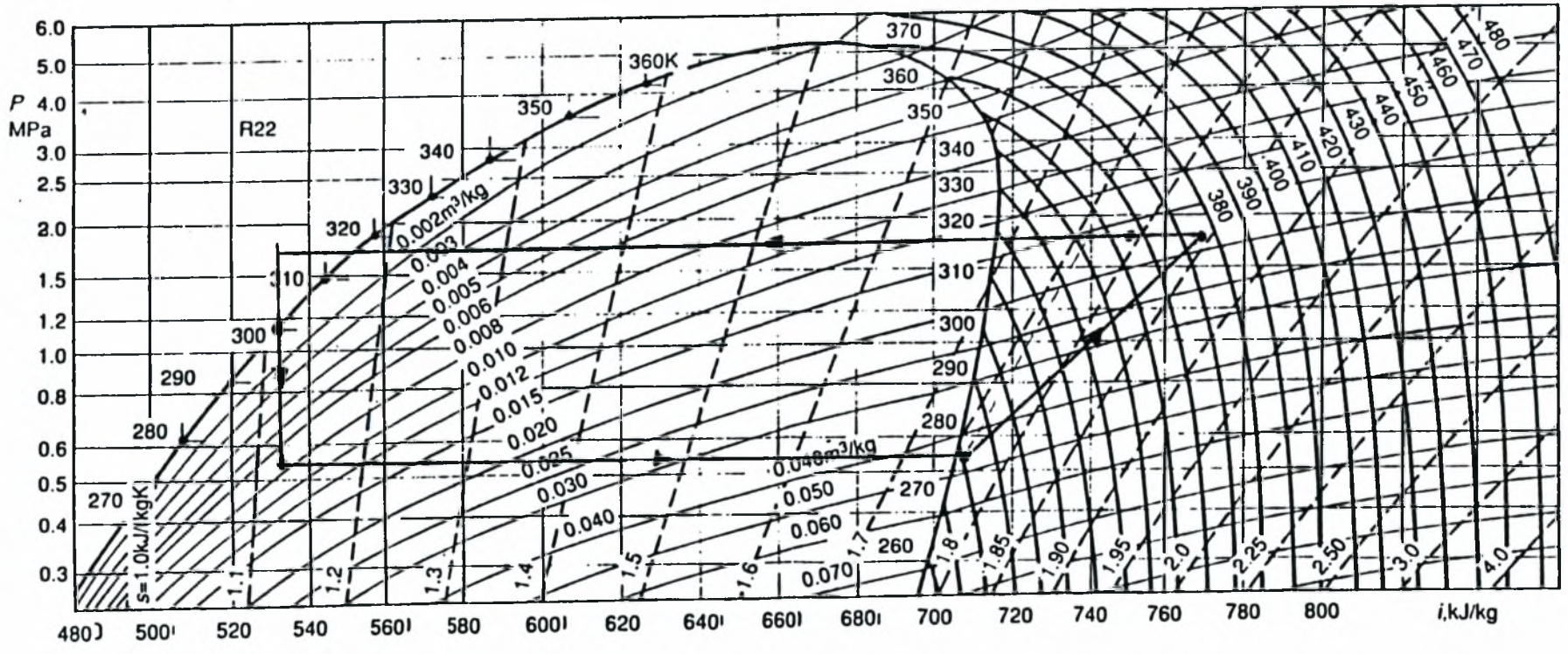


Figure. Γ.5. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 6η	2 λαμπακια INVERTER	4,38	21,53	8,3	89,4	29,2	106,6	19	19

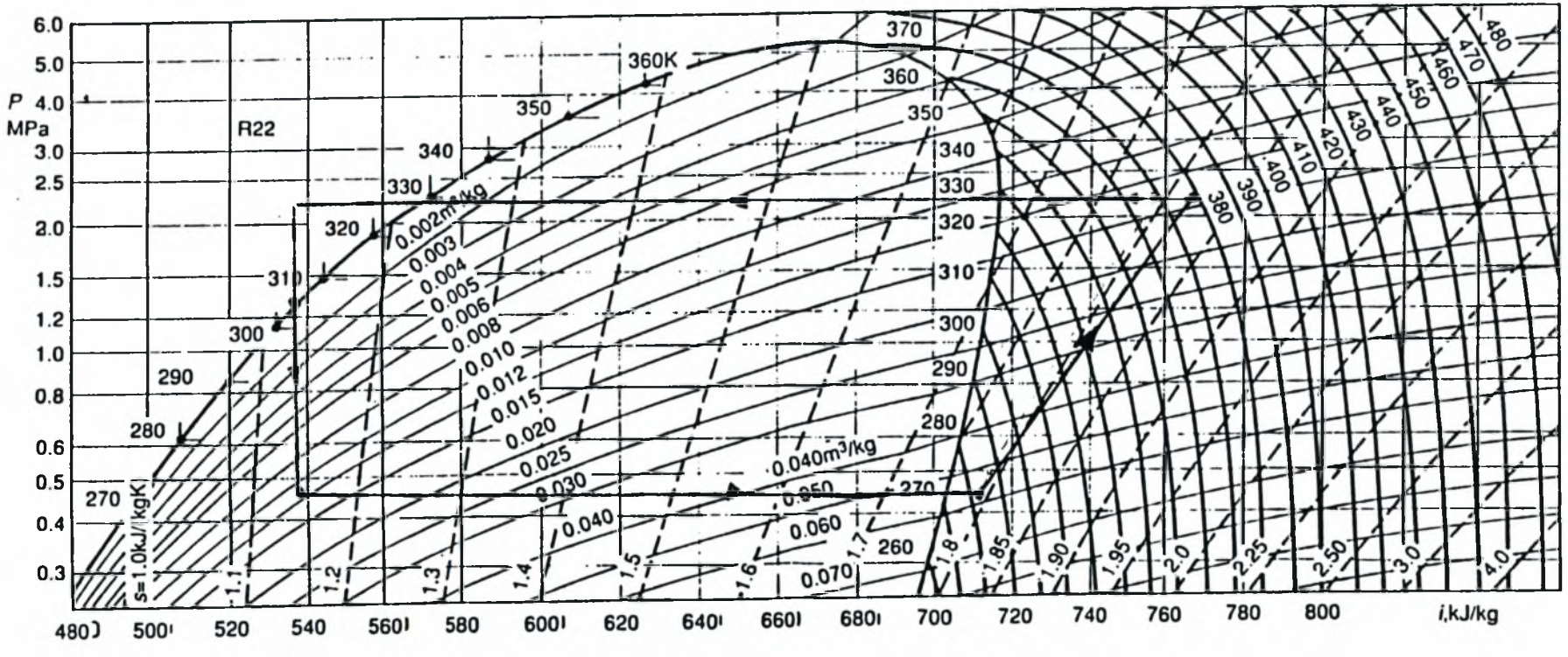


Figure. Γ.6. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 7η	2 λαμπακια INVERTER	5,65	17,55	7,8	92,5	29,2	112,5	19	20

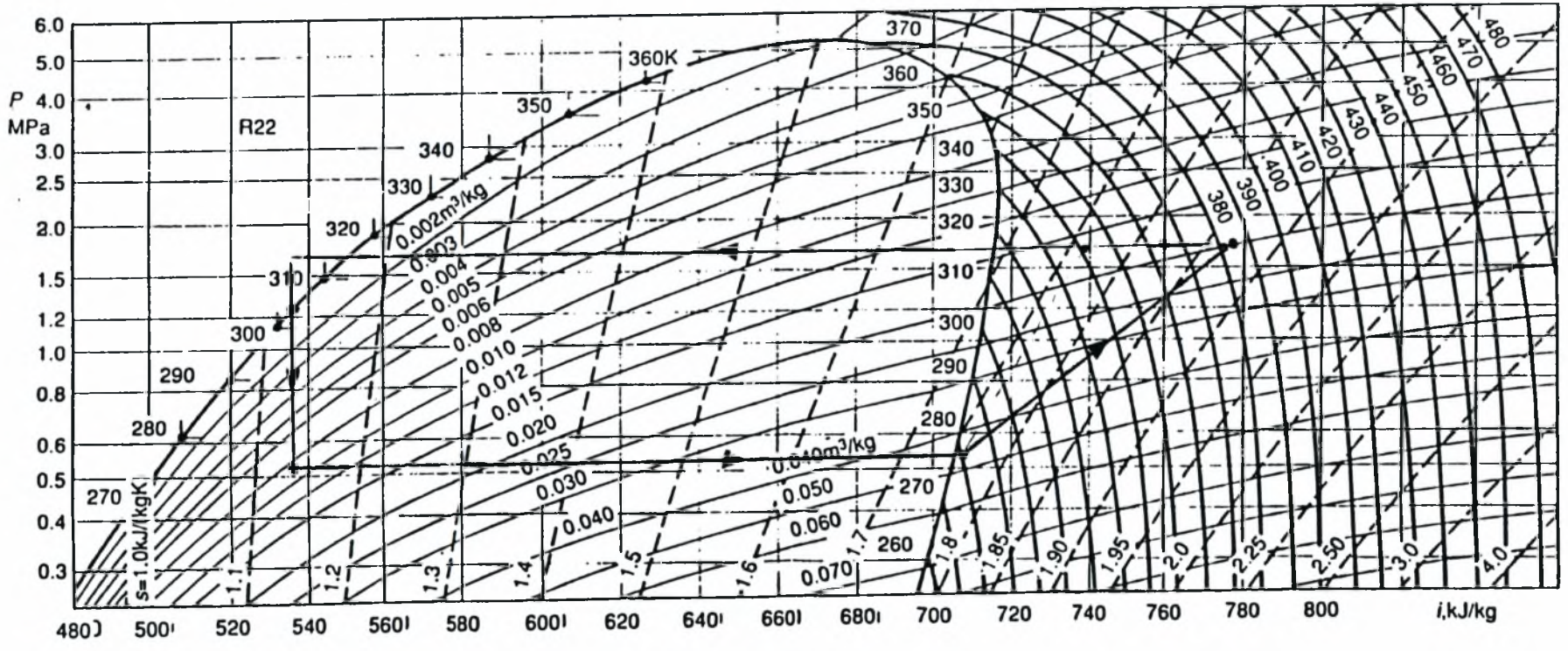


Figure. Γ.7. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 8η	6 λαμπακια INVERTER	4,40	21,92	7,6	90,7	30,8	107,2	20	20

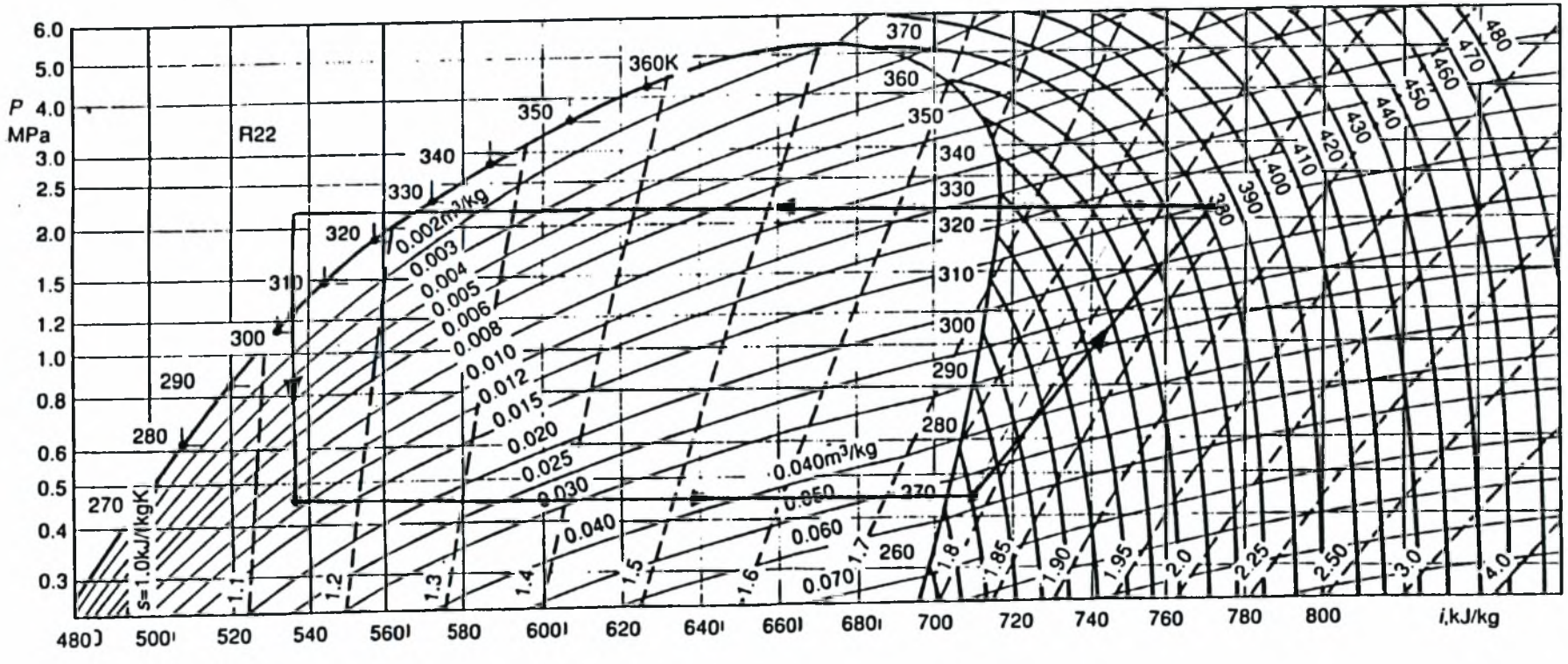


Figure. Γ.8. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	P_6(bar)	P_{40}(bar)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{ΕΞΩΤ.}$	$T_{ΕΣΩΤ.}$
ΜΕΤΡΗΣΗ 9η	2 λαμπακια INVERTER	5,69	17,55	7,9	92,6	29,2	112	19	20

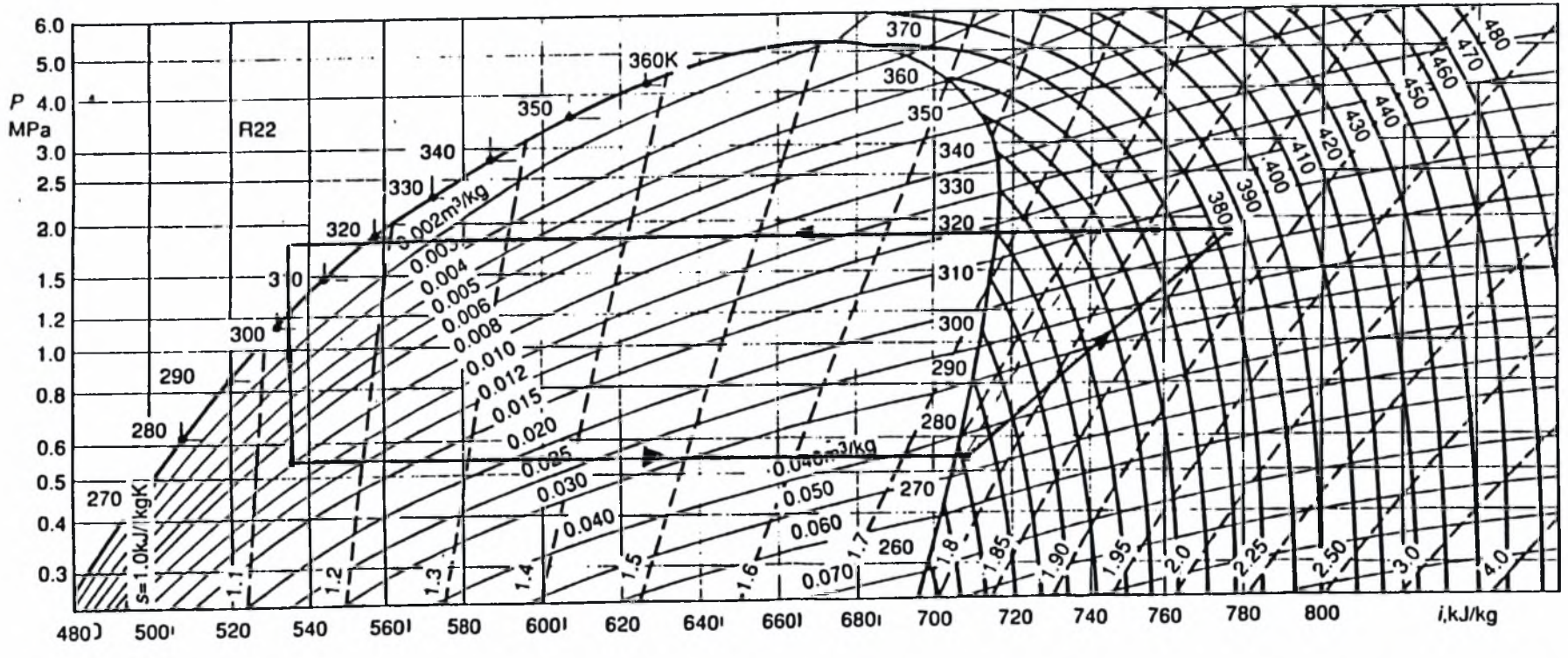


Figure. Γ.9. *log P-i chart for the R22 fluid; standard conditions for liquid: T = 273 K, i = 500 kJ/kg, s = 1kJ/(kg K)*

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temperature	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1	R-22	47,19	1,82	0,0009105	102,3	104	0,3715	0	Saturated Liquid
2		21,1	1,82						
3	R-22	56,28	2,237	0,0009501	114,6	116,7	0,4096	0	Saturated Liquid
4		29,8	2,237						
5	R-22	56,78	2,262	0,0009525	115,3	117,5	0,4118	0	Saturated Liquid
6		31,6	2,262						
7	R-22	56,88	2,267	0,000953	115,5	117,6	0,4122	0	Saturated Liquid
8		31,4	2,267						
9	R-22	44,8	1,721	0,0009013	99,16	100,7	0,3616	0	Saturated Liquid
10		27,7	1,721						
11	R-22	54,56	2,153	0,0009419	112,2	114,3	0,4023	0	Saturated Liquid
12		29,2	2,153						
13	R-22	45,63	1,755	0,0009044	100,3	101,8	0,365	0	Saturated Liquid
14		29,2	1,755						
15	R-22	55,36	2,192	0,0009457	113,4	115,4	0,4057	0	Saturated Liquid
16		30,8	2,192						
17	R-22	45,63	1,755	0,0009044	100,3	101,8	0,365	0	Saturated Liquid
18		29,2	1,755						

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.1

ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	14,2	0,456	0,05574	235.5	260,9	0,9738		Superheated Vapor
2,	R-22	86,72	1,82	0,01607	269.7	298,9	0,9738		Superheated Vapor
3,	R-22	104,9	1,82	0,01744	282.9	314,7	1,016		Dense Fluid (T>TC)
4,	R-22	3,3	0,455	0,05301	229,1	253,2	0,9466		Superheated Vapor
5,	R-22	88,16	2,237	0,01253	267	295,1	0,9466		Superheated Vapor
6,	R-22	114,4	2,237	0,01425	287	318,9	1,01		Dense Fluid (T>TC)
7,	R-22	2,7	0,438	0,05514	229	253,2	0,9496		Superheated Vapor
8,	R-22	90,02	2,262	0,01248	268,3	296,5	0,9496		Superheated Vapor
9,	R-22	115,1	2,262	0,01411	287.4	319,3	1,01		Dense Fluid (T>TC)
10.	R-22	3,5	0,446	0,05426	229,4	253,6	0,9495		Superheated Vapor
11,	R-22	90.11	2,267	0,01245	268,3	296,5	0,9495		Superheated Vapor
12.	R-22	115,8	2,267	0,01411	287.9	319,9	1,012		Dense Fluid (T>TC)
13.	R-22	7.1	0,562	0,04263	229,8	253,7	0,9302		Superheated Vapor
14.	R-22	66,31	1,721	0,01546	255,5	282,2	0,9302		Superheated Vapor
15.	R-22	103	1,721	0,01846	282.3	314	1,019		Dense Fluid (T>TC)
16.	R-22	8,3	0,438	0,05666	232,3	257,1	0,9638		Superheated Vapor
17.	R-22	92,63	2,153	0,01347	271,2	300,2	0,9638		Superheated Vapor
18.	R-22	106,6	2,153	0,01441	281,8	312,8	0,9975		Dense Fluid (T>TC)
19.	R-22	7,8	0,565	0,04253	230,2	254,2	0,9314		Superheated Vapor
20.	R-22	67.88	1,755	0,01522	256,4	283,1	0,9314		Superheated Vapor
21.	R-22	112,5	1,755	0,01874	288,9	321,8	1,038		Dense Fluid (T>TC)
22.	R-22	7,6	0,44	0,05619	231,8	256,6	0,9615		Superheated Vapor
23.	R-22	92,8	2,192	0,01318	271	299,9	0,9615		Superheated Vapor
24.	R-22	107,2	2,192	0,01414	281,9	312,9	0,9964		Dense Fluid (T>TC)

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
25,	R-22	7,9	0,569	0,04222	230,2	254,2	0,9307		Superheated Vapor
26,	R-22	67,64	1,755	0,0152	256,2	282,9	0,9307		Superheated Vapor
27,	R-22	112	1,755	0,01871	288,5	321,4	1,037		Dense Fluid (T>TC)

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.2

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	-2,649	0,456	0,05128	225.6	249	0,9308	1	Saturated Vapor
2,	R-22	-2,715	0,455	0,05139	225.6	248,9	0,9309	1	Saturated Vapor
3,	R-22	-3,853	0,438	0,05331	225.2	248,5	0,9326	1	Saturated Vapor
4,	R-22	-3,313	0,446	0,05239	225.4	248,7	0,9318	1	Saturated Vapor
5,	R-22	3,792	0,562	0,04188	227.8	251,3	0,9215	1	Saturated Vapor
6,	R-22	-3,853	0,438	0,05331	225.2	248,5	0,9326	1	Saturated Vapor
7,	R-22	3,96	0,565	0,04166	227.8	251,4	0,9212	1	Saturated Vapor
8,	R-22	-3,717	0,44	0,05308	225.2	248,6	0,9324	1	Saturated Vapor
9,	R-22	4,184	0,569	0,04138	227.9	251,4	0,9209	1	Saturated Vapor
1,	R-22	47,19	1,82	0,0009105	102,3	104	0,3715	0	Saturated Liquid
2,	R-22	56,14	2,23	0,0009494	114,4	116,5	0,409	0	Saturated Liquid
3,	R-22	56,74	2,26	0,0009523	115,3	117,4	0,4116	0	Saturated Liquid
4,	R-22	56,88	2,267	0,000953	115,5	117,6	0,4122	0	Saturated Liquid
5,	R-22	44,78	1,72	0,0009012	99,13	100,7	0,3615	0	Saturated Liquid
6,	R-22	54,49	2,15	0,0009416	112,2	114,2	0,4021	0	Saturated Liquid
7,	R-22	45,51	1,75	0,000904	100,1	101,7	0,3645	0	Saturated Liquid
8,	R-22	55,32	2,19	0,0009455	113,3	115,4	0,4056	0	Saturated Liquid
9,	R-22	45,51	1,75	0,000904	100,1	101,7	0,3645	0	Saturated Liquid

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.3

				Specific	Internal	Specific	Specific		
	Type	Temp	Pressure	Volume	Energy	Enthalpy	Entropy	Quality	Phase
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	89,3	1,82	0,01627	271,6	301,2	0,98		Superheated Vapor
2,	R-22	57,2	2,237	0,01001	241,4	263,8	0,8559		Superheated Vapor
3,	R-22	97,4	2,262	0,01298	273,9	303,3	0,9682		Dense Fluid (T>TC)
4,	R-22	98,1	2,267	0,01299	274,4	303,9	0,9696		Dense Fluid (T>TC)
5,	R-22	84,3	1,721	0,017	268,8	298	0,9758		Superheated Vapor
6,	R-22	89,4	2,153	0,01324	268,8	297,3	0,9557		Superheated Vapor
7,	R-22	92,5	1,755	0,01725	274,4	304,7	0,9926		Superheated Vapor
8,	R-22	90,7	2,192	0,01304	269,4	298	0,9562		Superheated Vapor
9,	R-22	92,6	1,755	0,01726	274,5	304,8	0,9929		Superheated Vapor
		C	MPa	m3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1,	R-22	21,1	0,9382	0,0008272	69,26	70,04	0,2636	0	Saturated Liquid
2,	R-22	29,8	1,186	0,0008513	79,99	80,99	0,2996	0	Saturated Liquid
3,	R-22	31,6	1,242	0,0008567	82,24	83,3	0,307	0	Saturated Liquid
4,	R-22	31,4	1,236	0,0008561	81,99	83,04	0,3062	0	Saturated Liquid
5,	R-22	27,7	1,122	0,0008452	77,37	78,32	0,2909	0	Saturated Liquid
6,	R-22	29,2	1,167	0,0008496	79,24	80,23	0,2971	0	Saturated Liquid
7,	R-22	29,2	1,167	0,0008496	79,24	80,23	0,2971	0	Saturated Liquid
8,	R-22	30,8	1,217	0,0008543	81,23	82,27	0,3037	0	Saturated Liquid
9,	R-22	29,2	1,167	0,0008496	79,24	80,23	0,2971	0	Saturated Liquid

ΠΙΝΑΚΑΣ. Γ.4