



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

Σχεδιασμός, Κατασκευή και Μελέτη Λειτουργίας Πειραματικής Διάταξης Αντλίας Θερμότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Διονυσίου Κρυφού

ΧΑΝΙΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ, 2022

“Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης”



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

Σχεδιασμός, Κατασκευή και Μελέτη Λειτουργίας Πειραματικής Διάταξης Αντλίας Θερμότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Διονυσίου Κρυφού

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Θεοχάρης Τσούτσος, Καθηγητής ΧΗ.ΜΗ.ΠΕΡ. (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Διονυσία Κολοκοτσά, Καθηγήτρια ΧΗ.ΜΗ.ΠΕΡ.

Βασίλειος Γαγάνης, Επίκουρος Καθηγητής Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

Περίληψη

Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που έχει δημιουργήσει η κλιματική αλλαγή, καθώς επίσης και η ενεργειακή κρίση που διανύουμε αυτήν την περίοδο έχουν στρέψει το ενδιαφέρον του ενεργειακού τομέα προς τη χρήση τεχνολογιών με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και υψηλή λειτουργική απόδοση. Μια τέτοια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, είναι αυτή των αντλιών θερμότητας.

Με αφορμή τα παραπάνω, αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η κατασκευή μίας πλήρως λειτουργικής διάταξης αντλίας θερμότητας νερού – νερού, ως πρακτική εφαρμογή της θεωρίας στην οποία βασίζεται η λειτουργία των αντλιών θερμότητας.

Πιο συγκεκριμένα η λειτουργία της διάταξης αυτής, βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών, ενώ ο σχεδιασμός και η κατασκευή της έγινε, με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει τη δυνατότητα παροχής μετρήσεων μεγεθών όπως θερμοκρασία (νερού, ψυκτικού μέσου), παροχής (νερού), πίεσης (ψυκτικού μέσου) καθώς επίσης και διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών, για τη διενέργεια πειραμάτων. Τα δεδομένα των πειραματικών μετρήσεων αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν ώστε να προσδιοριστούν οι λειτουργικές δυνατότητες της διάταξης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται ως εξής:

Αρχικά, στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της τεχνολογίας των αντλιών θερμότητας, αλλά και μια γενικότερη περιγραφή των διαφόρων τύπων και εφαρμογών των συστημάτων αντλιών θερμότητας, καθώς επίσης και της παρουσίας τους στην παγκόσμια αγορά.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρατίθεται το απαραίτητο για την εκπόνηση της εργασίας θεωρητικό υπόβαθρο, με έμφαση στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών.

Στη συνέχεια, στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή του σχεδιασμού, της διαδικασίας κατασκευής, αλλά και της πειραματικής λειτουργίας της διάταξης.

Τέλος, στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος MS excel και ενός κώδικα που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Με βάση τα αποτελέσματα προσδιορίστηκε ο συντελεστής απόδοσης και ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης της πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας νερού – νερού. Ο συντελεστής απόδοσης παρουσιάζει τιμές από 3 έως 4, ενώ ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης παρουσιάζει τιμές από 2.5 έως 3.

Abstract

Environmental concerns caused by climate change, as well as the current energy crisis, have focused the energy sector's interest on the use of technologies with a low environmental footprint and high operational efficiency. One of these promising technologies is the heat pump.

With this in mind, the subject of this thesis was the construction of a fully functional water-to-water heat pump system as a practical application of the theory on which heat pump operation is based.

More specifically, the operation of this device is based on the principle of operation of the vapor compression refrigeration cycle, where it was designed and built to be able to provide measurements of quantities such as temperature (water, refrigerant), supply (water), pressure (refrigerant), and various electrical quantities for conducting experiments. The data from the experimental measurements were analyzed and processed to determine the functionality of the device.

This thesis is organized as follows:

First, in the 1st chapter of the work, a brief historical review of the development of heat pump technology is given, but also a more general description of the different types and applications of heat pump systems and their presence in the world market.

In the 2nd chapter, the theoretical background necessary for the elaboration of the thesis is given, focusing on the vapor compression refrigeration cycle.

In the 3rd chapter, the design, the manufacturing process, but also the experimental operation of the device is described in detail.

Finally, in the 4th chapter, the results of the analysis and processing of the experimental data are presented, which were carried out using the program MS Excel and a code developed in the Python programming language. Based on the results, the coefficient of performance and energy efficiency ratio of the experimental water-to-water heat pump system were determined. The coefficient of performance shows values from 3 to 4, while the energy efficiency ratio shows values from 2.5 to 3.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η κατασκευή μιας διάταξης αντλίας θερμότητας, η λειτουργία της οποίας βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμών ψυκτικού μέσου (vapour compression refrigeration cycle) για την παραγωγή θερμού και ψυχρού νερού με τη βοήθεια του μηχανικού έργου ενός συμπιεστή. Η διάταξη αυτή σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τη δυνατότητα παροχής μετρήσεων μεγεθών όπως θερμοκρασία (νερού, ψυκτικού μέσου), παροχής (νερού), πίεσης (ψυκτικού μέσου) καθώς και διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών, για τη διενέργεια πειραμάτων για τον υπολογισμό των λειτουργικών της δυνατοτήτων.

Η μελέτη της τεχνολογίας των αντλιών θερμότητας καθώς επίσης και των οφελών που προσφέρει η χρήση της τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε ενεργειακό επίπεδο αποτελούσε προσωπικό ενδιαφέρον καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Έτσι λοιπόν, η διαδικασία της πρακτικής εφαρμογής της θεωρίας στην οποία βασίζεται η λειτουργία των αντλιών θερμότητας, μέσω της κατασκευής ενός πλήρως λειτουργικού συστήματος αποτέλεσε την ηθική ανταμοιβή για εμένα.

Η διαδικασία της κατασκευής αποτέλεσε την μεγαλύτερη πρόκληση. Η κατασκευαστική απειρία σε συνδυασμό με τις δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής λειτούργησαν ως κίνητρο για περαιτέρω προσπάθεια, με αποτέλεσμα την προσωπική μου βελτίωση και στη διαδικασία της κατασκευής.

Ευχαριστίες,

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα, Καθηγητή κ. Θεοχάρη Τσούτσο για την ευκαιρία που μου προσέφερε αναθέτοντάς μου την εκπόνηση της εργασίας αυτής, καθώς επίσης για την καθοδήγηση και την βοήθεια του σε κάθε στάδιο της.

Επίσης, τον κ. Ευπρέπιο Μπαράδακη για τη συμπαράσταση και τη συνεχή βοήθειά του, χωρίς την οποία η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας δεν θα ήταν εύκολο να πραγματοποιηθεί.

Ευχαριστώ, επίσης από καρδιάς τον θείο μου Παναγιώτη Κρυφό (Ηλεκτρολόγο/Μηχανολόγο Μηχανικό) και τον πατέρα μου Αναστάσιο Κρυφό (Υπεύθυνο του εμπορικού τμήματος της εταιρίας Climatherma), για την κάθε μορφής τεχνική και επιστημονική καθοδήγηση τους σε όλα τα στάδια της κατασκευής της πειραματικής διάταξης.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την εταιρία Wilo, για τη δωρεά των δύο κυκλοφορητών που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της διάταξης.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου, για την κατανόηση και τη συμπαράστασή που έδειξαν καθ' όλη τη περίοδο εκπόνησης της εργασίας.

Κρυφός Διονύσιος,

Δεκέμβριος 2022

Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Διαγραμμάτων/Εικόνων	9
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	12
1.1 Ιστορία αντλιών θερμότητας	14
1.2 Συστήματα αντλιών θερμότητας	14
1.2.1 Πηγή θερμότητας.....	14
1.2.2 Κατηγορίες συστημάτων αντλιών θερμότητας	16
1.3 Εφαρμογές αντλιών θερμότητας	21
1.4 Η αγορά των αντλιών θερμότητας.....	21
Κεφάλαιο 2 ^ο : Θεωρητικό υπόβαθρο.....	24
2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των αντλιών θερμότητας	24
2.2. Γενικά για τον ψυκτικό κύκλο	26
2.3 Ο ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού	30
2.3.1 Ο Ιδανικός Ψυκτικός Κύκλος με Συμπίεση Ατμού	32
2.3.2 Ο Πραγματικός Ψυκτικός Κύκλος με Συμπίεση Ατμού	36
2.4 Απόδοση αντλίας θερμότητας	37
Κεφάλαιο 3 ^ο : Μεθοδολογία.....	39
3.1 Σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας νερού – νερού....	39
3.1.1 Βάση	39
3.1.2 Ψυκτικό κύκλωμα	40
3.1.3 Ηλεκτρικό Κύκλωμα	57
3.1.4 Υδραυλικό κύκλωμα.....	62
3.2 Πειραματική λειτουργία διάταξης αντλίας θερμότητας	67
3.2.1 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	67
3.2.2 Εκτέλεση πειραμάτων	70
Κεφάλαιο 4 ^ο : Συζήτηση - Συμπεράσματα	74
4.1 Ανάλυση, επεξεργασία και σχολιασμός μετρήσεων	74
4.2 Συμπεράσματα	78
4.3 Προτάσεις για επέκταση της εργασίας	78
Βιβλιογραφία	80
Παράρτημα Α	83
Παράρτημα Β	88
Παράρτημα Γ	97

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Πρωτόκολλο εκτέλεσης πειραμάτων

Πίνακας 3.2: Πειραματικό φύλλο καταγραφής μετρήσεων

Πίνακας 4.1: Επεξεργασία δεδομένων και υπολογισμοί 38^{ου} πειράματος

Κατάλογος Διαγραμμάτων/Εικόνων

Γράφημα 1.1: Μερίδιο στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα (έτος 2016)

Γράφημα 1.2: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή (έτος 2021)

Εικόνα 1.1: Γραφική απεικόνιση συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα σε λειτουργία θέρμανσης

Εικόνα 1.2: Μέθοδοι εξαγωγής και απόδοσης θερμότητας από και προς το νερό

Εικόνα 1.3: Γραφική απεικόνιση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας νερού - νερού

Εικόνα 1.4: Ανοικτό σύστημα γεωθερμικού εναλλάκτη

Εικόνα 1.5: Οριζόντιο κλειστό κύκλωμα γεωθερμικού εναλλάκτη

Εικόνα 1.6: Κάθετο κλειστό κύκλωμα γεωθερμικού εναλλάκτη

Διάγραμμα 1.1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα

Εικόνα 2.1: Γραφική απεικόνιση φυσικής ροής θερμότητας

Εικόνα 2.2: Γραφική απεικόνιση μιας θερμικής μηχανής

Εικόνα 2.3: Γραφική απεικόνιση εξαναγκασμένης ροής θερμότητας

Εικόνα 2.4: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h)

Εικόνα 2.5: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h), καμπύλες κορεσμού

Εικόνα 2.6: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h), βασικές περιοχές

Εικόνα 2.7: Βασική συγκρότηση μιας ψυκτικής διάταξης συμπίεσης ατμού

Εικόνα 2.9: Ψυκτικός κύκλος με συμπίεση ατμού

Εικόνα 2.8: Γραφική απεικόνιση μιας αντλίας θερμότητας

Εικόνα 2.10: Γραφική απεικόνιση του ιδανικού ψυκτικού κύκλου για το R-134a σε διάγραμμα P-h

Εικόνα 2.11: Γραφική απεικόνιση του πραγματικού ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα P-h

Εικόνα 3.1: Πειραματική διάταξη αντλίας θερμότητας νερού – νερού

Εικόνα 3.2: Συμπιεστής

Εικόνα 3.3: Ερμητικός συμπιεστής

Εικόνα 3.4: Γραφική απεικόνιση τομής ερμητικού συμπιεστή

Εικόνα 3.5: Γραφική απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας ενός παλινδρομικού συμπιεστή

Εικόνα 3.6: Διαγραμματική απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας ενός παλινδρομικού συμπιεστή σε διάγραμμα πίεσης – όγκου (P-V)

Εικόνα 3.7: Γραφική απεικόνιση της φάσης αναρρόφησης (αριστερά) και της φάσης κατάθλιψης (δεξιά)

Εικόνα 3.8: Ψύκτης νερού

Εικόνα 3.9: Γραφική αναπαράσταση του εσωτερικού του δοχείου του εξατμιστή

Εικόνα 3.10: Σύνδεση δοχείων εναλλακτών με το ψυκτικό και το υδραυλικό κύκλωμα

Εικόνα 3.11: Θερμοεκτονωτική βαλβίδα

Εικόνα 3.12: Γραφική απεικόνιση μιας θερμοεκτονωτικής βαλβίδας

Εικόνα 3.13: Συλλέκτης υγρού ψυκτικού μέσου

Εικόνα 3.14: Σύνδεση συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου στο ψυκτικό κύκλωμα

Εικόνα 3.15: Δείκτης υγρού – υγρασίας

Εικόνα 3.16: Σύνδεση δείκτη υγρού – υγρασίας

Εικόνα 3.17: Φίλτρο – Ξηραντής

Εικόνα 3.18: Σύνδεση Φίλτρου - Ξηραντή στο ψυκτικό κύκλωμα

Εικόνα 3.19: Πιεσοστάτης υψηλής πίεσης

Εικόνα 3.20: Μανόμετρο γλυκερίνης

Εικόνα 3.21: Μανόμετρο υψηλής πίεσης

Εικόνα 3.22: Μανόμετρο χαμηλής πίεσης

Εικόνα 3.23: Μαλακοί χαλκοσωλήνες (προδιαγραφών σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα ASTM B-280)

Εικόνα 3.24: Χρωματισμός γραμμής κατάθλιψης

Εικόνα 3.25: Χρωματισμός γραμμής υγρού

Εικόνα 3.26: Χρωματισμός γραμμής αναρρόφησης

Εικόνα 3.27: Ψυκτικό μέσο R-134a

Εικόνα 3.28: Τυποποίηση R-134a

Εικόνα 3.29: Διακόπτης

Εικόνα 3.30: Διακόπτες χειρισμού πειραματικής διάταξης

Εικόνα 3.31: Ρελέ

Εικόνα 3.32: Πολυόργανο μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών

Εικόνα 3.33: Θερμόμετρο - Θερμοστάτης τύπου TCN4S

Εικόνα 3.34: Θερμόμετρο τύπου TCN4S

Εικόνα 3.35: Θερμοστοιχείο τύπου j

Εικόνα 3.36: Υδραυλικό κύκλωμα δοχείου συμπυκνωτή (αριστερά) και υδραυλικό κύκλωμα δοχείου εξατμιστή (δεξιά)

Εικόνα 3.37: Σφαιρικοί διακόπτες ροής νερού

Εικόνα 3.38: Ροόμετρο τύπου PS3113-0400

Εικόνα 3.39: Κυκλοφορητής τύπου Yonos Pico 25/1-6

Εικόνα 3.40: Σύνδεση κυκλοφορητή στο υδραυλικό κύκλωμα

Εικόνα 3.41: Ρυθμιστικές βάνες παροχής νερού

Διάγραμμα 4.1: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας με τη χρήση κώδικα Python, για τα πειραματικά δεδομένα της 26^{ης} μέτρησης του 38^{ου} πειράματος

Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή σε σχέση με την τιμή της παροχής νερού στο εν λόγω δοχείο

Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή σε σχέση με την τιμή της παροχής νερού στο εν λόγω δοχείο

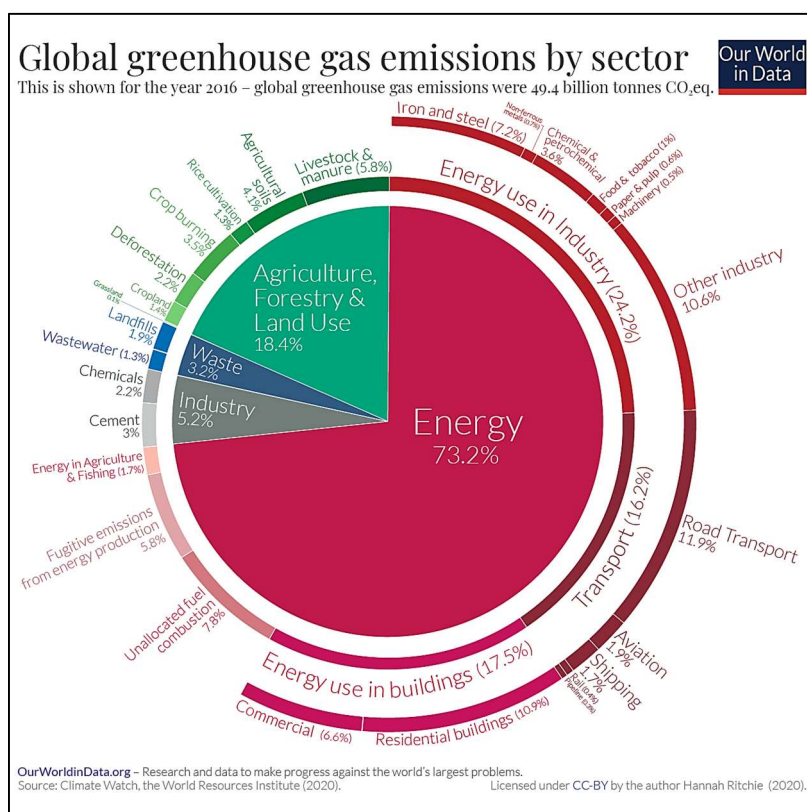
Διάγραμμα 4.4: Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης (COP) της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασιακή διαφορά που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή

Διάγραμμα 4.5: Μεταβολή του δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EER) της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασιακή διαφορά που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Στις μέρες μας, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται ολοένα και πιο αισθητές. Η συνεχής αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και οι όλο και συχνότερες εκδηλώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων απειλούν τόσο το φυσικό όσο και το ανθρωπογενές περιβάλλον. Για το λόγο αυτό η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής αποτελεί πλέον αναπόσπαστη πτυχή του ενεργειακού σχεδιασμού, της ανάλυσης και της χάραξης πολιτικής των σύγχρονων κοινωνιών. Βάση, λοιπόν, της συμφωνίας του Παρισιού (Δεκέμβριος 2015) πρέπει να καταβληθούν οι βέλτιστες προσπάθειες για τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε 1,5°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, γεγονός που θα μειώσει σημαντικά τους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί σημαντική μείωση, έως και μηδενισμό, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [Ενέργειας, Υ. Π., & Αλλαγής, Κ., 2019]

Κύρια πηγή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και επομένως της κλιματικής αλλαγής, είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Ειδικότερα, ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται για τα περίπου 2/3 των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σχεδόν το 90% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), με τις παγκόσμιες έρευνες να δείχνουν ότι αποτελεί το κλειδί για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. [Hannah Ritchie, κ.α. 2020]

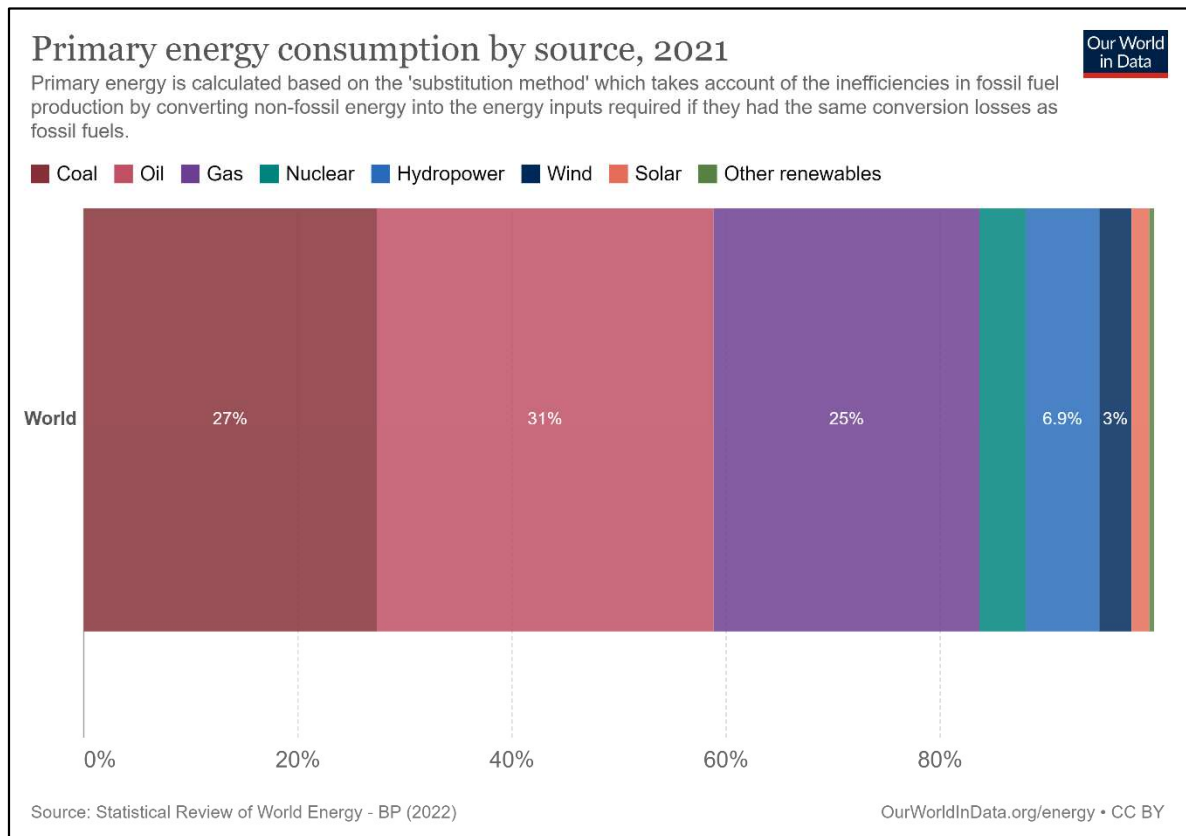


Γράφημα 1.1: Μερίδιο στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα (έτος 2016)

Πηγή: (<https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>)

Το γεγονός ότι ο ενεργειακός τομέας εξαρτάται ακόμα σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση ορυκτών καυσίμων σε όλα τα στάδια χρήσης, μετατροπής και παραγωγής ενέργειας, δυσχεραίνει κατά πολύ τις όποιες προσπάθειες γίνονται για την αντιμετώπιση των

επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Για την προστασία, λοιπόν, του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος από τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, βασική προϋπόθεση είναι η αποδέσμευση των ενεργειακών δραστηριοτήτων από τα ορυκτά καύσιμα. Κάτι τέτοιο δύναται να επιτευχθεί, εν μέρει, με την αντικατάσταση των ενεργειακών συστημάτων που βασίζουν τη λειτουργία τους στη χρήση ορυκτών καυσίμων από συστήματα που βασίζονται είτε σε πηγές ενέργειας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, είτε πιο ιδανικά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Γράφημα 1.2: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή (έτος 2021)

Πηγή: (<https://ourworldindata.org/sources-global-energy>)

Επιπλέον, η συνεχής αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας έχει και αυτή σαν αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επομένως, εκτός από τη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μείζονος σημασίας είναι και η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τεχνολογιών και καινοτομιών που έχουν τη δυνατότητα αποδοτικότερης λειτουργίας σε σχέση με αυτή των συμβατικών τεχνολογιών. [Decuyper, R., κ.α. 2022]

Η υιοθέτηση από τον ενεργειακό τομέα τεχνολογιών που παρουσιάζουν υψηλή λειτουργική απόδοση και είναι συμβατές με τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. [Gaur, A. S., κ.α. 2021]

Μια τέτοια, πολλά υποσχόμενη, τεχνολογία, είναι αυτή των αντλιών θερμότητας, η οποία αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια γενική αναφορά στις αντλίες θερμότητας, στην ιστορία τους, στα διαφορετικά συστήματά που έχουν αναπτυχθεί, τους τομείς εφαρμογής τους, αλλά και στο πως έχει διαμορφωθεί σήμερα η αγορά τους.

1.1 Ιστορία αντλιών θερμότητας

Η τεχνολογία των αντλιών θερμότητας δεν αποτελεί καινοτομία. Οι αρχές που διέπουν τη λειτουργία των συστημάτων αντλιών θερμότητας έχουν αναγνωριστεί ήδη από τον 19^ο αιώνα. Το 1852 ο βρετανός επιστήμονας William Thomson (γνωστός και ως Lord Kelvin) διατύπωσε τη θεωρία στην οποία βασίζεται η λειτουργία των αντλιών θερμότητας, ενώ το διάστημα της τριετίας 1855 – 1857 ο αυστριακός επιστήμονας Peter von Rittinger ανέπτυξε και κατασκεύασε το πρώτο λειτουργικό σύστημα αντλίας θερμότητας για την ξήρανση αλατιού σε αλυκές τις Αυστρίας. Η ανάπτυξη της τεχνολογία των αντλιών θερμότητας κατά τον 20^ο αιώνα οδήγησε στην δημιουργία πιο πρακτικών συσκευών, οι οποίες χρησιμοποιούνταν κυρίως για ψύξη. Στις μέρες μας, η τεχνολογία των αντλιών θερμότητας έχει ωριμάσει αρκετά, πράγμα που φαίνεται από την πληθώρα των διαφορετικών συστημάτων αντλιών θερμότητας που έχουν αναπτυχθεί, τις δυνατότητες που έχουν, καθώς επίσης και το πεδίο των εφαρμογών τους έναντι των συμβατικών τεχνολογιών. [Dincer, I., κ.α 2015]

1.2 Συστήματα αντλιών θερμότητας

Όπως προαναφέρθηκε, στις μέρες μας, έχει αναπτυχθεί πληθώρα συστημάτων αντλιών θερμότητας με μεγάλο εύρος δυνατοτήτων και πεδίου εφαρμογών. Όλα τα συστήματα αντλιών θερμότητας στη βάση τους έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας: χρησιμοποιώντας την ενέργεια από κάποια φυσική πηγή ενέργειας και με τη χρήση ενός μικρού ποσού συμβατικής ενέργειας παράγουν ωφέλιμη ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας, ψύξης κ.α.

1.2.1 Πηγή θερμότητας

Ως κύριες πηγές θερμότητας για τα συστήματα αντλιών θερμότητας θεωρούνται ο αέρας, το νερό και η γεωθερμική ενέργεια του εδάφους. [Grassi, W., 2017] Κάθε μια από της παραπάνω πηγές θερμότητας έχει ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά την λειτουργική απόδοση των συστημάτων αντλιών θερμότητας, ενώ επίσης αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. [Dincer, I., κ.α 2015]

Αέρας

Ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, εμπεριέχει ωφέλιμη ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας, η οποία με τη χρήση συστημάτων αντλιών θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης. Ο αέρας αποτελεί την πιο κοινή πηγή θερμότητας για τα συστήματα αντλιών θερμότητας, κυρίως λόγω της διαθεσιμότητάς του, αφού βρίσκεται παντού γύρω μας. Επιπλέον, πολύ σημαντικό είναι το γεγονός της εύκολης πρόσβασης σε ατμοσφαιρικό αέρα, πράγμα που αντικατοπτρίζεται στο χαμηλό κόστος εγκατάστασης των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας τον αέρα, αφού δεν εμφανίζουν ιδιαίτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με άλλα συστήματα. [Dincer, I., κ.α 2015]

Η χρήση του αέρα ως πηγή θερμότητας έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Η απόδοση των αντλιών θερμότητας πηγής αέρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Οι συνεχείς διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία ενός συστήματος αντλίας θερμότητας. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος τόσο μικρότερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας, με αποτέλεσμα πολλές φορές να μην καλύπτονται οι θερμικές ανάγκες, της εκάστοτε εφαρμογής, από το σύστημα. Για το λόγο αυτό, συχνά απαιτείται είτε υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος είτε χρήση συμπληρωματικής πηγής θερμότητας, πράγμα που αυξάνει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. [Dincer, I., κ.α 2015]

Τέλος, εκτός από τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, συχνά ως πηγή θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο αέρας εξαερισμού, μέσω συστήματος ανάκτησης θερμότητας, για την παραγωγή θέρμανσης και ζεστού νερού. Τα συστήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια που διαθέτουν σύστημα εξαερισμού. [Dincer, I., κ.α 2015]

Νερό

Το νερό ως πηγή θερμότητας έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα. Ως αποτέλεσμα παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμοκρασιακή σταθερότητα, πράγμα που το καθιστά ως πιο αξιόπιστη πηγή θερμότητας από τον αέρα.

Ως πηγή θερμότητας, δύναται να χρησιμοποιηθούν υπόγεια ή επιφανειακά νερά, καθώς επίσης απόβλητα νερά και λύματα.

Τα υπόγεια νερά έχουν το πλεονέκτημα της σχετικά υψηλής (περίπου 12°C) και σταθερής θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Εάν το υπόγειο νερό βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος, τότε η χρήση του ως πηγή θερμότητας είναι ιδανική. Συχνά, όμως τα υπόγεια νερά συναντώνται σε μεγάλα βάθη και απαιτείται η διάνοιξη γεωτρήσεων και η κατασκευή αρκετά μεγάλων εγκαταστάσεων. [Dincer, I., κ.α 2015]

Τα επιφανειακά νερά (ποταμών, λιμνών κλπ.) αν και παρουσιάζουν σχετικά σταθερές θερμοκρασίες εξαιτίας της μεγάλης μάζας τους, λόγω της επαφής τους με τον ατμοσφαιρικό αέρα, επηρεάζονται πιο εύκολα από της διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Ενδέχεται λοιπόν να παρουσιάσουν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τις κρύες μέρες του χειμώνα, με τον κίνδυνο δημιουργίας πάγου, πράγμα που επηρεάζει αρνητικά τη σωστή και αποδοτική λειτουργία των συστημάτων αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας τα επιφανειακά νερά. Ειδική περίπτωση επιφανειακού νερού αποτελεί το θαλασσινό νερό, το οποίο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους παρουσιάζει σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες, σε σχέση με τα υπόλοιπα επιφανειακά νερά, η σύσταση του όμως δημιουργεί συχνά προβλήματα διαβρώσεων στα τμήματα των αντλιών θερμότητας που έρχονται σε επαφή με αυτό. [Dincer, I., κ.α 2015]

Τα απόβλητα νερά και τα λύματα, χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλή και σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και αυτό τα καθιστά σημαντική πηγή θερμότητας για συστήματα αντλιών θερμότητας. Ενδεικτικά, τα λύματα δύναται να παρουσιάσουν θερμοκρασίες της τάξης των 10°C έως 20°C. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε συστήματα βιομηχανικών εφαρμογών μιας και η παρουσία τους σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές δεν είναι ευχάριστη και παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες. [Ιωαννίδης, Δ.Ι. & Γεωργακάκης, Μ.Ι., 2010]

Συνοψίζοντας, το νερό παρουσιάζει πιο υψηλές και πιο σταθερές θερμοκρασίες από τον αέρα, συμβάλλοντας στην καλύτερη απόδοση των συστημάτων αντλιών θερμότητας.

Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψιν ότι λόγω της σύστασης του νερού απαιτείται συχνή συντήρηση των συστημάτων αντλιών θερμότητας, το οποίο προστίθεται στο ήδη σχετικά αυξημένο κόστος εγκατάστασής του.

Έδαφος και γεωθερμική ενέργεια

Τα πετρώματα και τα ρευστά του εδάφους εμπεριέχουν ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, η οποία καλείται γεωθερμική ενέργεια. Πρόκειται για μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας η οποία έχει πάρα πολλές εφαρμογές. Ειδικότερα, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω ειδικά διαμορφωμένων συστημάτων αντλιών θερμότητας. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]

Γενικότερα, το γεωθερμικό δυναμικό μιας περιοχής διαμορφώνεται από την θερμότητα των επιφανειακών και των υπόγειων θερμών νερών, των γηγενών φυσικών ατμών και των γεωλογικών σχηματισμών της. Το γεωθερμικό δυναμικό μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους, ενώ ανάλογα και με το βάθος, από το οποίο πραγματοποιείται η απομάστευση της θερμότητας, οι θερμοκρασίες του εδάφους μπορεί να κυμαίνονται από μικρότερες των 25°C έως και μεγαλύτερες των 150°C. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]

Ακόμη και σε μικρά βάθη (1,00 με 2,00m) το έδαφος μπορεί να παρουσιάζει θερμοκρασίες της τάξης των 10°C έως 20°C, οι οποίες παραμένουν σχετικά σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Πιο αναλυτικά, η μάζα του εδάφους δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, ενώ επίσης, η θερμοχωρητικότητα του εδάφους είναι πολύ μεγάλη, λόγω της τεράστιας μάζας χώματος, και επομένως η θερμοκρασία του δεν μεταβάλλεται σημαντικά ακόμα και όταν απορροφηθούν από αυτό ή απορριφθούν σε αυτό σημαντικές ποσότητες θερμότητας. Αυτό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο για την σταθερή και ταυτόχρονα πιο αποδοτική λειτουργία των συστημάτων αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας τη γεωθερμική ενέργεια. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]

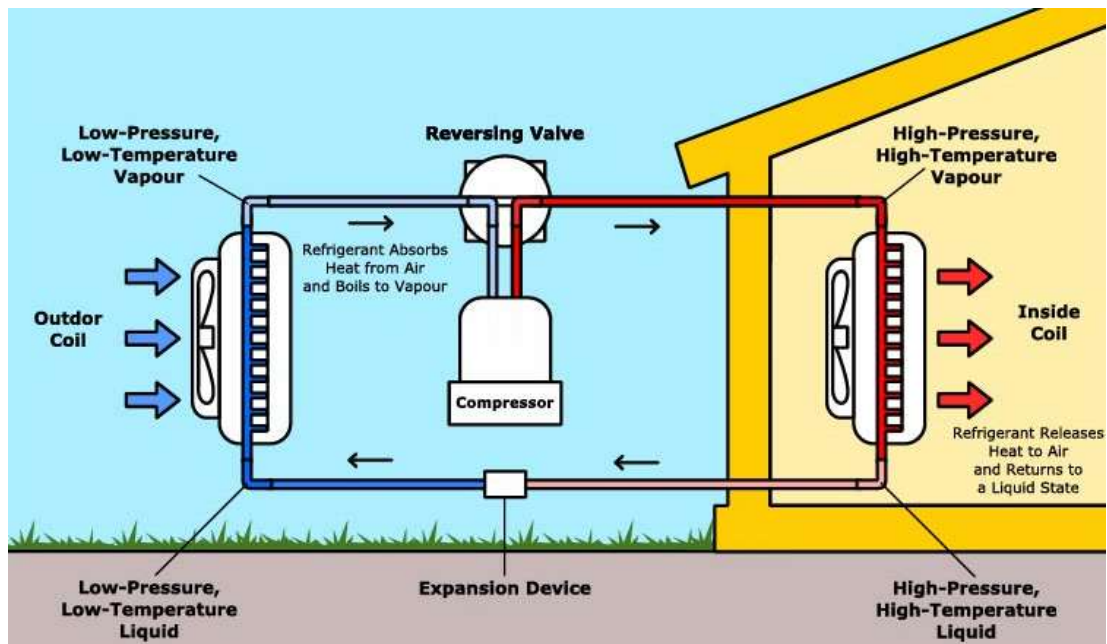
Βασικό, όμως μειονέκτημα της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι δεν είναι πάντοτε εύκολα προσβάσιμη ή γενικότερα προσβάσιμη. Επιπλέον, συνήθως λόγω της πολυπλοκότητας και του μεγέθους των εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την εκμετάλλευσή της, το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων αυτών είναι αρκετά υψηλό, καθιστώντας έτσι τη γεωθερμική ενέργεια ως, οικονομικά, μη ελκυστική πηγή θερμότητας. [Dincer, I., κ.α 2015]

1.2.2 Κατηγορίες συστημάτων αντλιών θερμότητας

Αντλίες θερμότητας αέρα – αέρα και αέρα – νερού

Και οι δύο αυτοί τύποι αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας τον αέρα.

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας αέρα – αέρα διαθέτουν δύο εναλλάκτες ψυκτικού μέσου – αέρα. Και έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη χώρων. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντιστροφή του ψυκτικού κυκλώματος. Κατά τη λειτουργία θέρμανσης εξάγεται θερμότητα από τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και αποδίδεται θερμότητα στον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Αντιθέτως, κατά τη λειτουργία ψύξης εξάγεται θερμότητα από τον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος και αποδίδεται θερμότητα στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τα συστήματα αυτά είναι τα γνωστά συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές, για την θέρμανση και την ψύξη χώρων. [European Heat Pump Association (EHPA) (n.d.)]



Εικόνα 1.1: Γραφική απεικόνιση συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα σε λειτουργία θέρμανσης

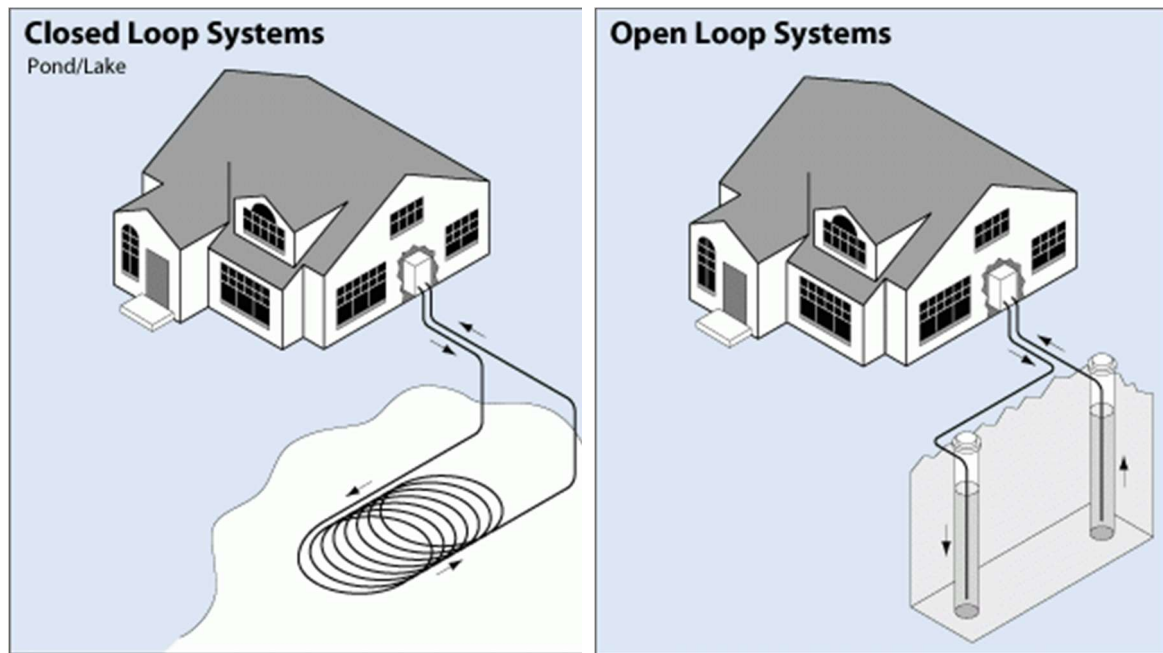
Πηγή: (<https://www.energy.gov/energysaver/air-source-heat-pumps>)

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας αέρα – νερού λειτουργούν όπως και τα συστήματα αέρα – αέρα με τη διαφορά ότι ο ένας εναλλάκτης τους είναι ψυκτικού μέσου – νερού. Έτσι, τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να παράγουν θερμό ή ψυχρό νερό, για την θέρμανση και την ψύξη χώρων αντίστοιχα. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά έχουν και τη δυνατότητα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές.

Αντλίες θερμότητας νερού – αέρα και νερού – νερού

Και οι δύο αυτοί τύποι αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας το νερό. Και διαθέτουν έναν εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικού μέσου – νερού, ο οποίος εξάγει ή αποδίδει θερμότητα από και προς το νερό αντίστοιχα, ανάλογα με τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

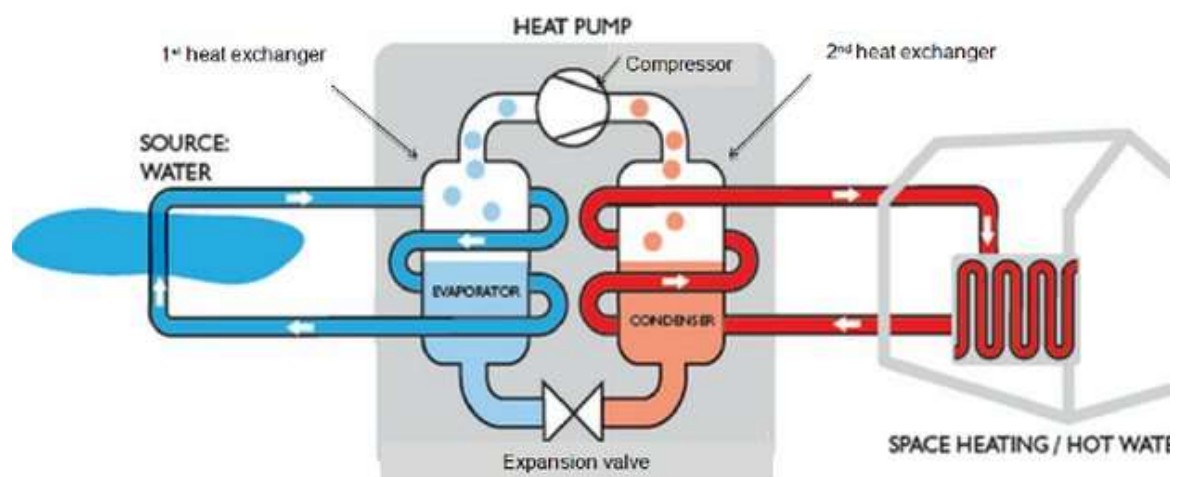
Για να πραγματοποιηθεί η εναλλαγή θερμότητας, είτε ο εναλλάκτης πρέπει να βρίσκεται σε άμεση επαφή με την πηγή του νερού, είτε να γίνει άντληση του νερού μέσο πηγαδιών προς τον εναλλάκτη. Η πρώτη μέθοδος εφαρμόζεται, συνήθως, στην περίπτωση που το νερό προέρχεται από επιφανειακές πηγές, ενώ η δεύτερη στην περίπτωση που το νερό προέρχεται από το υπέδαφος.



Εικόνα 1.2: Μέθοδοι εξαγωγής και απόδοσης θερμότητας από και προς το νερό
 Πηγή: (<https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>)

Τα συστήματα νερού – αέρα χρησιμοποιούνται όπως και τα συστήματα αέρα – αέρα, για την θέρμανση και την ψύξη χώρων. Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας θερμότητας δεν εφαρμόζεται συχνά.

Τα συστήματα νερού – νερού χρησιμοποιούνται όπως τα συστήματα αέρα – νερού, κυρίως όμως για την θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και όχι τόσο για την ψύξη χώρων. Τα συστήματα αυτά λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού και της σταθερότητας των θερμοκρασιών του, χρειάζονται λιγότερη ενέργεια για τη λειτουργία τους και εμφανίζουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης συγκριτικά με άλλα συστήματα αντλιών θερμότητας. Αυτός ο τύπος αντλίας θερμότητας χρησιμοποιείται τόσο σε οικιακές, όσο και σε εμπορικές, αλλά και βιομηχανικές εφαρμογές.

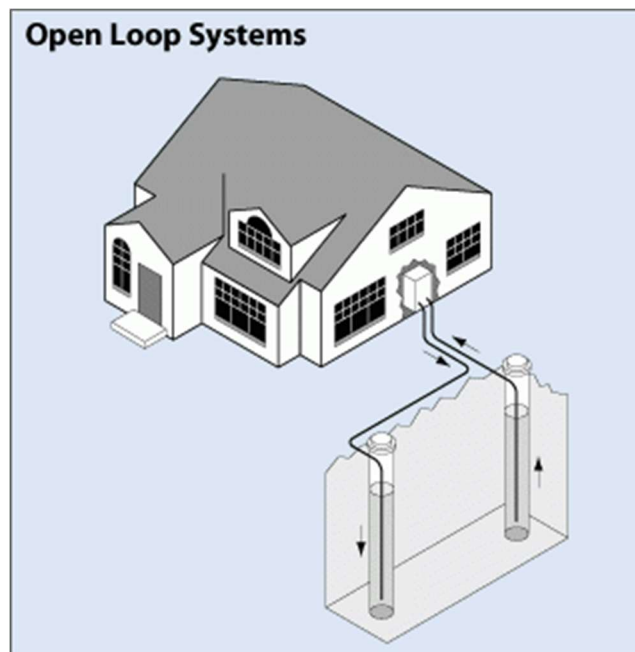


Εικόνα 1.3: Γραφική απεικόνιση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας νερού - νερού
 Πηγή: (<https://www.researchgate.net/>)

Αντλίες θερμότητας εδάφους – αέρα και εδάφους – νερού (γεωθερμικές αντλίες θερμότητας)

Τα συστήματα είναι παρόμοια με τα συστήματα νερού – αέρα και νερού – νερού, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ο ένας εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στο έδαφος. Ανάλογα με τη μορφολογία και γεωθερμικό δυναμικό του εδάφους καθορίζεται και το είδος του εναλλάκτη. Οι συνηθέστεροι τύποι εναλλακτών είναι ανοιχτού συστήματος και κλειστού κυκλώματος. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]

Το ανοιχτό σύστημα εναλλάκτη χρησιμοποιείται όταν στο έδαφος υπάρχουν υπόγεια ύδατα και απαιτείται η άντληση και η επανεισαγωγή νερού στο υπέδαφος για την εξαγωγή και την απόδοση θερμότητας σε αυτό. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]

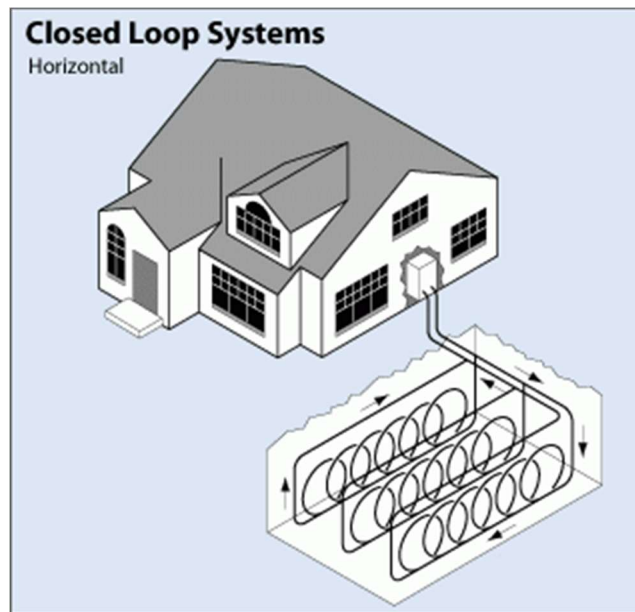


Εικόνα 1.4: Ανοιχτό σύστημα γεωθερμικού εναλλάκτη

Πηγή: (<https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>)

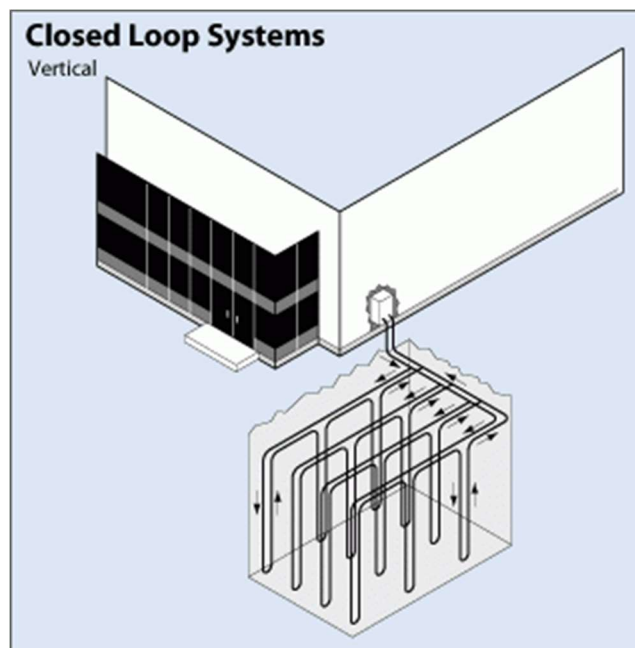
Το κλειστό κύκλωμα εναλλάκτη χρησιμοποιείται για την απευθείας εξαγωγή ή απόδοση θερμότητας από και προς το έδαφος. Τα κλειστά κυκλώματα εναλλάκτη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα οριζόντια και τα κάθετα. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]

Τα οριζόντια κλειστά κυκλώματα χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει διαθέσιμη μεγάλη επιφάνεια εδάφους, οπότε αναπτύσσεται μεγάλο μήκος σωληνώσεων σε μικρό βάθος. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]



Εικόνα 1.5: Οριζόντιο κλειστό κύκλωμα γεωθερμικού εναλλάκτη
 Πηγή: (<https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>)

Αντιθέτως, όταν δεν υπάρχει επαρκής χώρος χρησιμοποιείται κύκλωμα κάθετου κλειστού εναλλάκτη, οι σωληνώσεις του οποίου αναπτύσσονται σε βάθος από 15m έως 180m. [Κοσμόπουλος, Π. κ.α. 2017]



Εικόνα 1.6: Κάθετο κλειστό κύκλωμα γεωθερμικού εναλλάκτη
 Πηγή: (<https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>)

Όπως προαναφέρθηκε τα συστήματα εδάφους – αέρα και εδάφους – νερού είναι παρόμοια στη λειτουργία τους με τα συστήματα νερού – αέρα και νερού – νερού. Έτσι, τα συστήματα εδάφους αέρα χρησιμοποιούνται για την θέρμανση και την ψύξη χώρων. Ενώ τα συστήματα εδάφους νερού χρησιμοποιούνται κυρίως για την θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Γενικότερα, τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούνται συνήθως, σε οικιακές εφαρμογές και σε μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εφαρμογές, δεν χρησιμοποιούνται όμως ευρέως καθώς απαιτούν κατάλληλο γεωθερμικό δυναμικό και έχουν υψηλό κόστος κατασκευής. [Κοσμόπουλος, Π., κ.α. 2017]

1.3 Εφαρμογές αντλιών θερμότητας

Οικιακές εφαρμογές

Σε εγκαταστάσεις κατοικιών τα συστήματα αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούνται κυρίως ως συστήματα κλιματισμού, για τη θέρμανση και την ψύξη χώρων, ενώ επιπλέον χρησιμοποιούνται και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Εμπορικές εφαρμογές

Όπως στις οικιακές εφαρμογές, έτσι και στις εμπορικές εφαρμογές (εμπορικά κτίρια, κολυμβητήρια, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κ.α.), τα συστήματα αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούνται για την θέρμανση και την ψύξη χώρων, αλλά και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Διαφοροποιούνται κυρίως στο μέγεθος των εγκαταστάσεων και την αποδιδόμενη ισχύ καθώς έχουν να καλύψουν μεγαλύτερη ζήτηση.

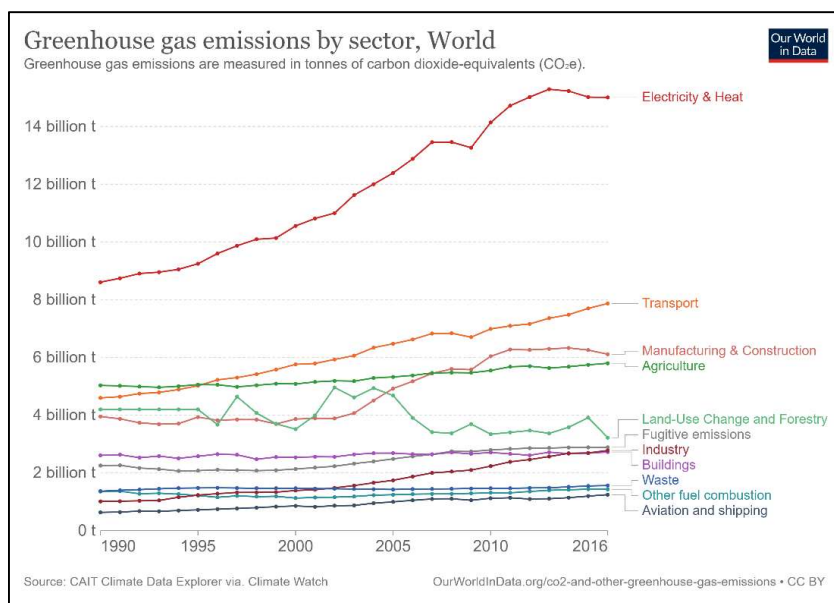
Βιομηχανικές εφαρμογές

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Τομείς όπως η χημική βιομηχανία, η βιομηχανία πετρελαίου, η βιομηχανία τροφίμων, η βιομηχανία φαρμάκων, η βιομηχανία χαρτιού καθώς επίσης και οι μονάδες επεξεργασία νερού χρησιμοποιούν συστήματα αντλιών θερμότητας για την εκτέλεση διεργασιών. Η παραγωγή θέρμανσης και ψύξης χώρων, η παραγωγή θερμού και ψυχρού νερού, η παραγωγή θερμότητας, η παραγωγή ατμού, η ξήρανση, η αφύγρανση, η εξάτμιση, η απόσταξη και η συμπύκνωση είναι βιομηχανικές διεργασίες που για να επιτευχθούν γίνεται η χρήση συστημάτων αντλιών θερμότητας. [Dincer, I., κ.α. 2015]

1.4 Η αγορά των αντλιών θερμότητας

Στις μέρες μας, σημαντικό μέρος της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης αποδίδεται στην παραγωγή θερμότητας. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) η θερμότητα αποτελεί τη μεγαλύτερη, παγκοσμίως, τελική χρήση ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 50% της παγκόσμιας τελικής κατανάλωσης ενέργειας. [International Energy Agency (IEA) (2021d)] Από το σύνολο της παραγόμενης θερμότητας, περίπου το 50% χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές διεργασίες, το 47% χρησιμοποιείται σε κτίρια για θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, ενώ ένα ποσοστό περίπου 3% χρησιμοποιείται στη γεωργία, κυρίως για θέρμανση θερμοκηπίων. [Halozan, H., 2017] Ταυτόχρονα, όμως, η ψύξη αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη τελική χρήση ενέργειας των τελευταίων δεκαετιών. Η χρήση κλιματιστικών και ηλεκτρικών ανεμιστήρων αντιπροσωπεύει ήδη το 1/5 της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια ή αλλιώς το 10% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ υπολογίζεται ότι μέχρι το 2060 η ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για ψύξη θα ξεπεράσει αυτή που χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμότητας. [International Energy Agency (IEA) (2021a)]

Τουλάχιστον το 1/10 των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκαλείται από την παραγωγή θερμικής ενέργειας και ψύξη στα κτίρια. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί για την παραγωγή θερμότητας χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο συμβατικές τεχνολογίες. [International Energy Agency (IEA) (2021a)]



Διάγραμμα 1.1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά ενεργειακό τομέα

Πηγή: (<https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>)

Σύμφωνα με την IEA, η χρήση των αντλιών θερμότητας ως βασική τεχνολογία για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση και ψύξη, θα μπορούσαν να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 50% στον οικοδομικό τομέα και κατά 5% στον τομέα της βιομηχανίας. Πρακτικά, αυτό αντιστοιχεί σε μείωση των παραγόμενων εκπομπών CO₂ κατά 1,8 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως. [International Energy Agency (IEA) (2021a)]

Το γεγονός ότι η λειτουργία των συστημάτων αντλιών θερμότητας είναι συμβατή και μπορεί να πραγματοποιηθεί εξ ολοκλήρου με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τις καθιστά ισχυρό σύμμαχο στην προσπάθεια που γίνεται για την μείωση των παγκόσμιων εκπομπών αερίων και την προστασία του περιβάλλοντος. [Wang, Y., Wang, J., & He, W. (2022)] Επιπλέον, η αξιόπιστη, αποτελεσματική και αποδοτική λειτουργία είναι βασικά χαρακτηριστικά των αντλιών θερμότητας και τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία συνθηκών εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες είναι πάντοτε επιθυμητές, ειδικότερα όμως σε περιόδους ενεργειακής κρίσης, όπως αυτή που διανύουμε τα τελευταία χρόνια. [Peñaloza, D., κ.α., 2022] Συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής θερμότητας και ψύξης, οι αντλίες θερμότητας έχουν την δυνατότητα να αποδίδουν ωφέλιμη ενέργεια, από 2 έως και 5 φορές περισσότερη από την ενέργεια που καταναλώνουν. [Dincer, I., κ.α. 2015]

Όλα τα παραπάνω, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η χρήση των αντλιών θερμότητας αποτελεί την πιο ωφέλιμη περιβαλλοντικά, λειτουργικά και οικονομικά λύση για την κάλυψη των αναγκών για παραγωγή θερμότητας και ψύξης και επίσης εξηγούν την απότομη αύξηση της χρήσης των αντλιών θερμότητας τα τελευταία χρόνια, έναντι των συμβατικών τεχνολογιών. Σύμφωνα με την IEA τα τελευταία χρόνια το παγκόσμιο απόθεμα αντλιών θερμότητας παρουσιάζει αύξηση περίπου 10% ετησίως. Μόνο το 2021 οι πωλήσεις αντλιών

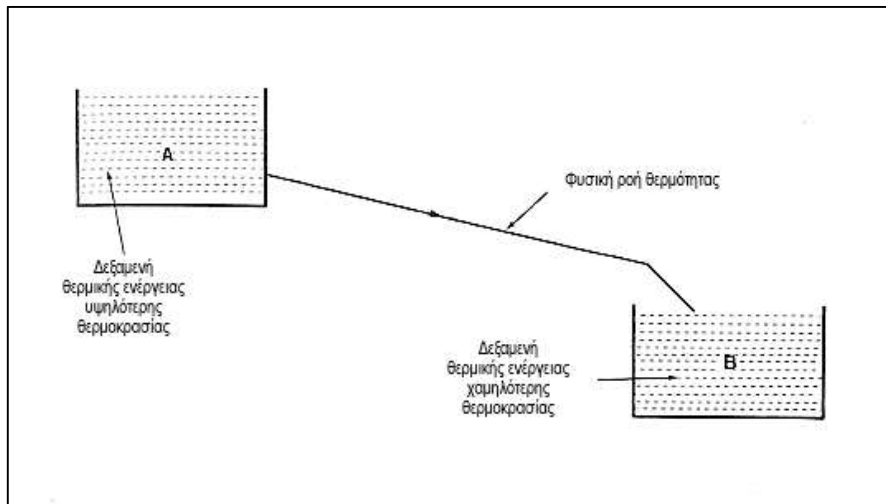
θερμότητας αυξήθηκαν κατά 13% παγκοσμίως, ενώ για πρώτη φορά το κόστος «ζωής» των αντλιών θερμότητας ήταν χαμηλότερο από αυτό των συμβατικών τεχνολογιών. [International Energy Agency (IEA) (2021c)] Αυτά τα ποσοστά αναμένεται να αυξηθούν ακόμα περισσότερο τις επόμενες δεκαετίες καθώς, αφού πλέον, η χρήση των συστημάτων αντλιών θερμότητας λαμβάνει μια άνευ προηγουμένου πολιτική στήριξη καθώς αποτελεί βασικό κομμάτι ενεργειακού σχεδιασμού και της πολιτικής των σύγχρονων κοινωνιών. [Kircher, K. J., & Zhang, K. M., 2021]

Βρισκόμαστε λοιπόν σε μια περίοδο όπου οι αντλίες θερμότητας έχουν δυναμική παρουσία στην παγκόσμια αγορά έναντι των συμβατικών τεχνολογιών και η τεχνολογία τους έχει ωριμάσει αρκετά ώστε η χρήση της μόνο πλεονεκτήματα έχει να προσφέρει, τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε ενεργειακό και οικονομικό επίπεδο. [Gaur, A. S., κ.α. 2021] Αξίζει λοιπόν να συνεχιστεί η έρευνα γύρω από τις αντλίες θερμότητας με στόχο την περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας τους, αλλά και τη δημιουργία καινοτομιών που θα συμβάλλουν στην εδραίωσή ως βασική τεχνολογία παραγωγής θερμότητας και ψύξης.

Κεφάλαιο 2^ο: Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των αντλιών θερμότητας

Με βάση τους νόμους της θερμοδυναμικής η θερμότητα ρέει «φυσικά», χωρίς εξαναγκασμό, από μία «δεξαμενή θερμικής ενέργειας υψηλότερης θερμοκρασίας A» (ή αλλιώς θερμοδοχείο υψηλότερης θερμοκρασίας A), δηλαδή υψηλότερου δυναμικού προς μια «δεξαμενή θερμικής ενέργειας χαμηλότερης θερμοκρασίας B» (ή αλλιώς ψυχοδοχείο χαμηλότερης θερμοκρασίας B), δηλαδή χαμηλότερου δυναμικού.

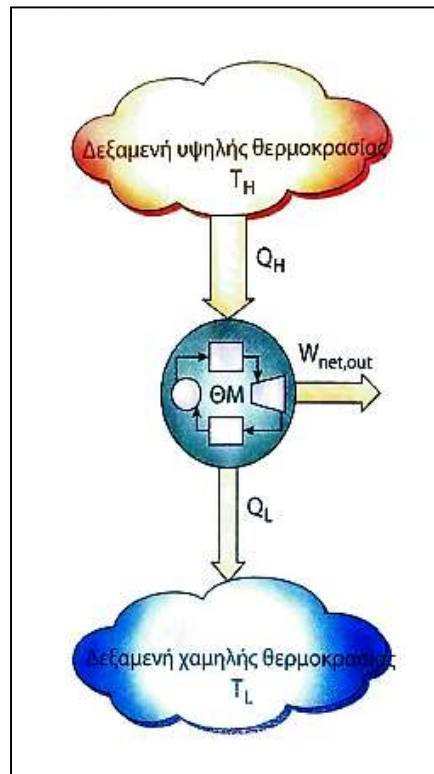


Εικόνα 2.1: Γραφική απεικόνιση φυσικής ροής θερμότητας.

(Πηγή: Ιωαννίδης κ.α., 2010)

Η φυσική ροή της θερμότητας μπορεί να αξιοποιηθεί από ειδικές διατάξεις για την παραγωγή χρήσιμου έργου. Οι διατάξεις αυτές καλούνται θερμικές μηχανές, υπακούν στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής και παρουσιάζουν τα εξής λειτουργικά χαρακτηριστικά:

1. Λαμβάνουν θερμότητα (Q_H) από μια «δεξαμενή θερμικής ενέργειας» υψηλότερης θερμοκρασίας (T_H).
2. Μετατρέπουν μέρος της θερμότητας αυτής σε έργο ($W_{net,out}$).
3. Αποβάλλουν την υπόλοιπη υποβαθμισμένη ποσότητα θερμότητας (Q_{out}) σε μια «δεξαμενή θερμικής ενέργειας» χαμηλότερης θερμοκρασίας (T_L).
4. Λειτουργούν σε κύκλο.



Εικόνα 2.2: Γραφική απεικόνιση μιας θερμικής μηχανής.

(Πηγή: Çengel κ.α., 2018)

Βάση αυτών η μέγιστη απόδοση εκμετάλλευσης θερμικής ενέργειας θα ισούται με:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad [\text{Çengel κ. α., 2018}] \quad (2.1)$$

Αυτή η απόδοση είναι η απόδοση της μηχανής Carnot και είναι η μέγιστη απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί από μια θερμική μηχανή.

Μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί θερμική μηχανή με μεγαλύτερη απόδοση από αυτή της μηχανής Carnot. Η μηχανή Stirling έχει την ίδια απόδοση με αυτή του Carnot, ενώ οι μηχανές Brayton, Diesel και Otto εμφανίζουν μικρότερες αποδόσεις αλλά χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της απλότητας και της ευχρηστίας τους.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που το ενδιαφέρον στρέφεται προς τη θέρμανση και την ψύξη. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή απαιτείται η κατανάλωση έργου για την μεταφορά θερμότητας από μια δεξαμενή θερμικής ενέργειας χαμηλότερης θερμοκρασίας B σε μία δεξαμενή θερμικής ενέργειας υψηλότερης θερμοκρασίας A.

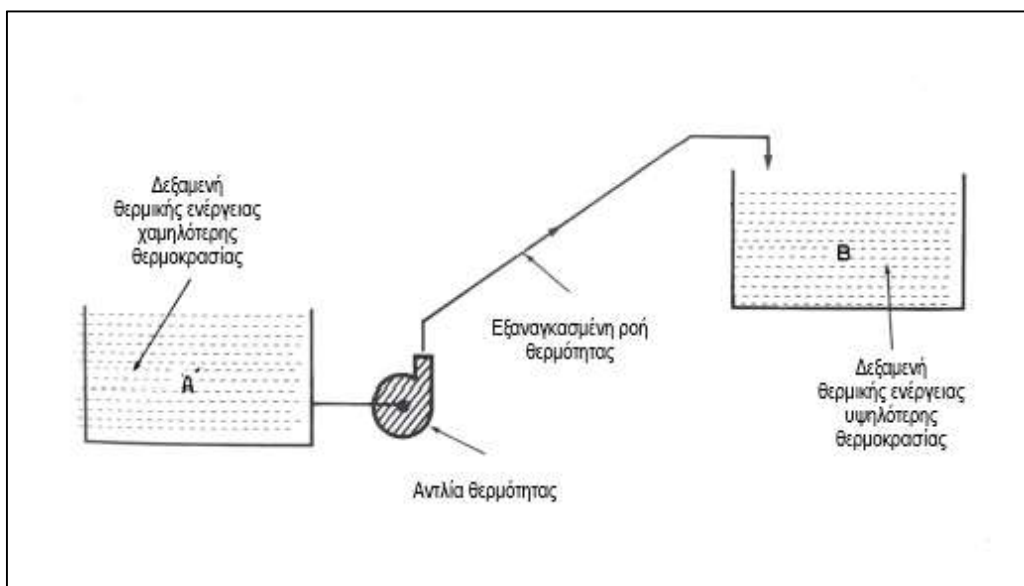
Σύμφωνα με τον 2^ο νόμο της θερμοδυναμικής (Clausius):

«Είναι αδύνατον να κατασκευαστεί μηχανή που λειτουργεί σε έναν κλειστό κύκλο, έχοντας ως μοναδικό αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας προς ένα άλλο σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας.» [Çengel κ.α., 2018]

Στην ουσία, η διατύπωση του Clausius δεν ισχυρίζεται ότι είναι αδύνατη η κατασκευή μιας μηχανής που λειτουργεί κυκλικά, η οποία να μεταφέρει θερμότητα από μια δεξαμενή

χαμηλής θερμοκρασίας προς μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας, απλά δηλώνει ότι για τη λειτουργία μιας τέτοιας μηχανής είναι απαραίτητη η κατανάλωση μιας ποσότητας ενέργειας με τη μορφή έργου.

Η μηχανή που «εξαναγκάζει» τη θερμότητα να ρέει από μια δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας προς μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας, δηλαδή αντίθετα προς τη φυσική της ροή, ονομάζεται αντλία θερμότητας και όπως υποδηλώνει και η ονομασία της, μια αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας προς μια δεξαμενή υψηλότερης θερμοκρασίας και δεν παράγει νέα ποσότητα θερμότητας. Η «άντληση» αυτή της θερμότητας πραγματοποιείται συνήθως με τη χρήση μηχανικής ενέργειας και σαν αποτέλεσμα έχει την θέρμανση (απολαβή θερμότητας) της δεξαμενής υψηλότερης θερμοκρασίας και την ταυτόχρονη ψύξη (απώλεια θερμότητας) της δεξαμενής χαμηλότερης θερμοκρασίας. Επομένως, μια αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση και για ψύξη.



Εικόνα 2.3: Γραφική απεικόνιση εξαναγκασμένης ροής θερμότητας.

(Πηγή: Ιωαννίδης κ.α., 2010)

Στις μέρες μας, η χρήση του όρου αντλία θερμότητας έχει επικρατήσει για το χαρακτηρισμό μονάδων με αντικειμενικό στόχο τη θέρμανση και ψύξη χώρων καθώς και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται μέσω της απορρόφησης θερμότητας από μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας και την απόδοσή της σε ένα μέσο (αέρας, ή νερό) υψηλής θερμοκρασίας.

Διατάξεις όπως τα ψυγεία και τα συστήματα κλιματισμού σε λειτουργία ψύξης, στην ουσία αποτελούν αντλίες θερμότητας με αντικειμενικό σκοπό της λειτουργίας τους τη διατήρηση ενός ψυχόμενου χώρου σε χαμηλή θερμοκρασία απομακρύνοντας θερμότητα από αυτόν.

2.2. Γενικά για τον ψυκτικό κύκλο

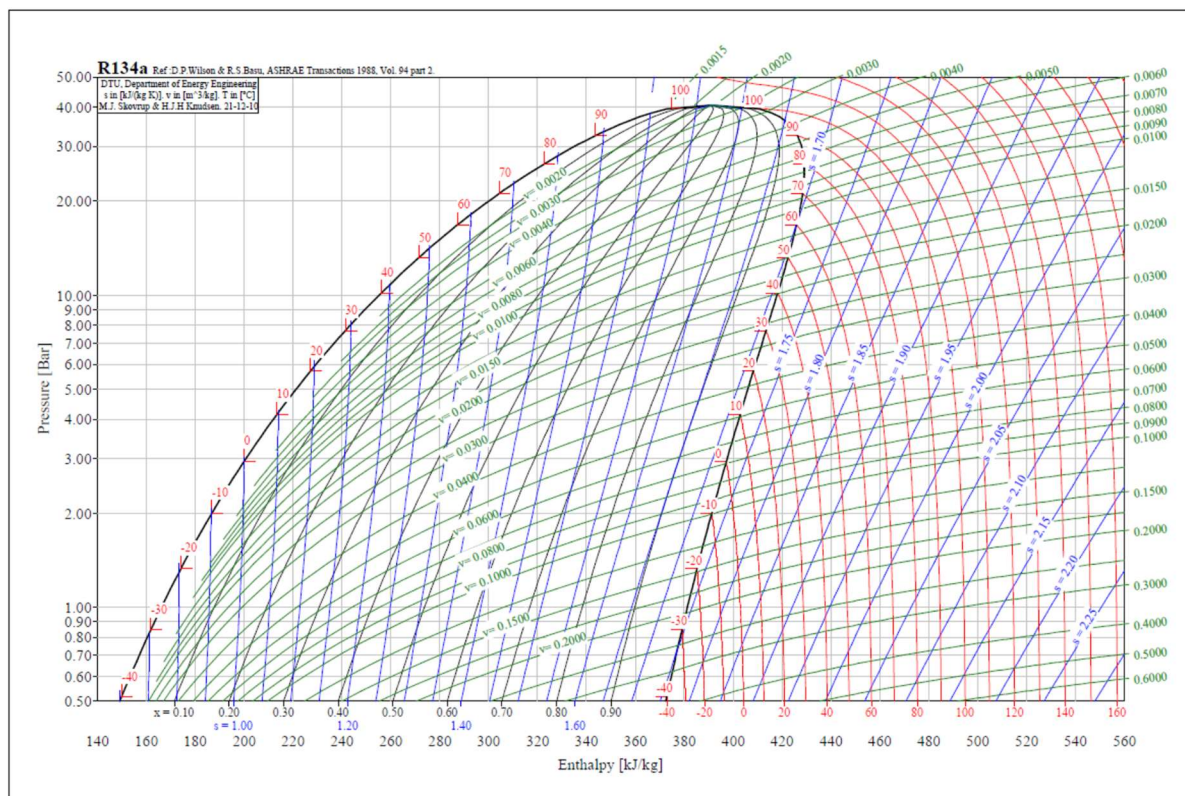
Οι αντλίες θερμότητας, όπως και οι θερμικές μηχανές, είναι διατάξεις κυκλικής λειτουργίας που εμπεριέχουν ένα ρευστό, που ονομάζεται εργαζόμενο μέσο, από και προς το οποίο μεταφέρεται θερμότητα κατά τη διάρκεια του κύκλου. Πιο συγκεκριμένα ο θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας ονομάζεται ψυκτικός κύκλος και το εργαζόμενο μέσο ονομάζεται ψυκτικό μέσο.

Ειδικότερα, ως ψυκτικό μέσο χαρακτηρίζεται κάθε ουσία που έχει την ικανότητα να αλλάζει φάση και χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τα απαιτούμενα ποσά θερμότητας, από μια δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης προς μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασιακής στάθμης, κατά τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας. Στην ουσία το ψυκτικό μέσο είναι ο φορέας της μεταφερόμενης θερμότητας, το οποίο ακολουθεί μια κυκλική διεργασία, κατά τη διάρκεια της οποίας μεταβάλλεται συνεχώς η θερμοδυναμική του κατάσταση.

Η γραφική αναπαράσταση του ψυκτικού κύκλου σε ένα διάγραμμα φάσεων απεικονίζει ποσοτικά τις σημαντικότερες εντατικές θερμοδυναμικές ιδιότητες του συστήματος σε διάφορες τιμές πίεσης θερμοκρασίας και ειδικού όγκου.

Διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας (P-h)

Το πλέον χρήσιμο και καταλληλότερο για την κατανόηση του ψυκτικού κύκλου διάγραμμα είναι το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h), γνωστό και ως διάγραμμα Mollier.

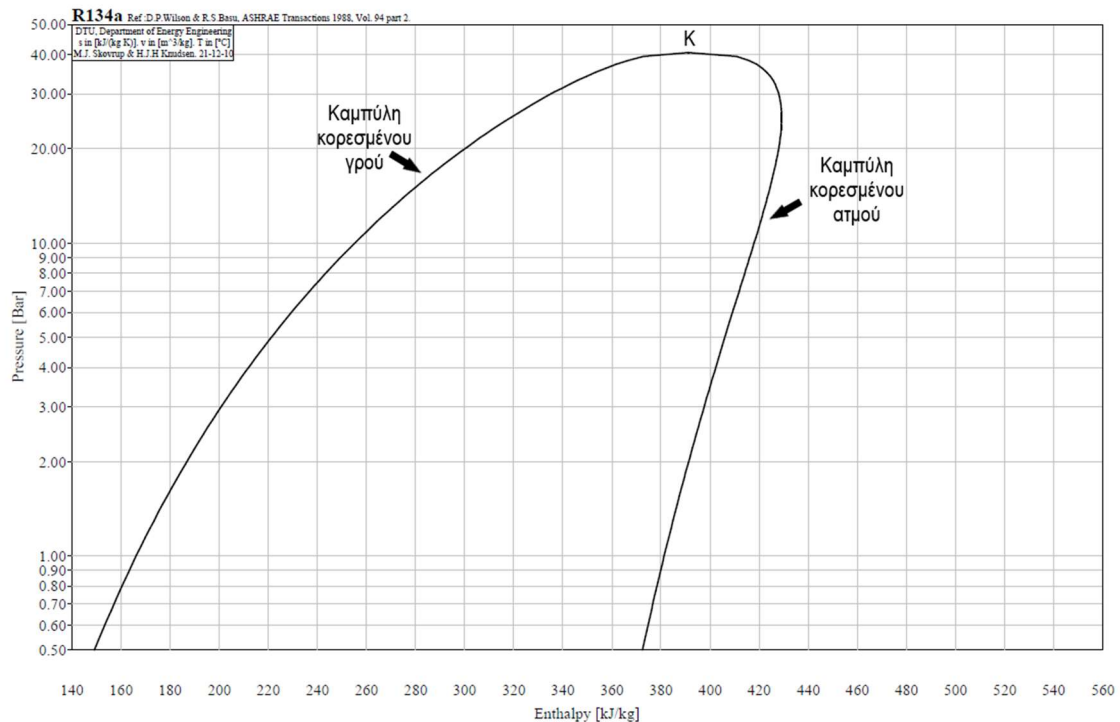


Εικόνα 2.4: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h)

(Πηγή: Εφαρμογή CoolPack)

Η κατάσταση του ψυκτικού προσδιορίζεται με ένα σημείο στο διάγραμμα P-h. Το σημείο αυτό ορίζεται, αν είναι γνωστές δύο μόνο από τις θερμοδυναμικές μεταβλητές του ψυκτικού, όπως η πίεση (P), η θερμοκρασία (T), ο ειδικός όγκος (v), η ενθαλπία (h) και η εντροπία (s). Εφόσον προσδιορισθεί το σημείο πάνω στο διάγραμμα, έπειτα είναι εύκολο να βρεθούν οι υπόλοιπες θερμοδυναμικές μεταβλητές για την εκάστοτε κατάσταση του ψυκτικού μέσου.

Στο διάγραμμα P-h, υπάρχουν τρεις βασικές περιοχές, οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους με δύο καμπύλες. Η αριστερή καμπύλη ονομάζεται καμπύλη κορεσμένου υγρού, ενώ η δεξιά ονομάζεται καμπύλη κορεσμένου ατμού. (Εικόνα 2.5)



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h), καμπύλες κορεσμού.

(Πηγή: Εφαρμογή CoolPack)

Οι καμπύλες κορεσμένου υγρού και κορεσμένου ατμού δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους, διότι τα ποσά θερμότητας για την εξαέρωση του ψυκτικού (λανθάνουσα θερμότητα) μεταβάλλονται σε συνάρτηση με την πίεση. Οι καμπύλες αυτές τέμνονται στο λεγόμενο κρίσιμο σημείο (σημείο K), όπου το ψυκτικό έχει τη μέγιστη δυνατή θερμοκρασία και παρ' όλα αυτά μπορεί να συμπυκνώνεται με άσκηση της αντίστοιχης πίεσης.

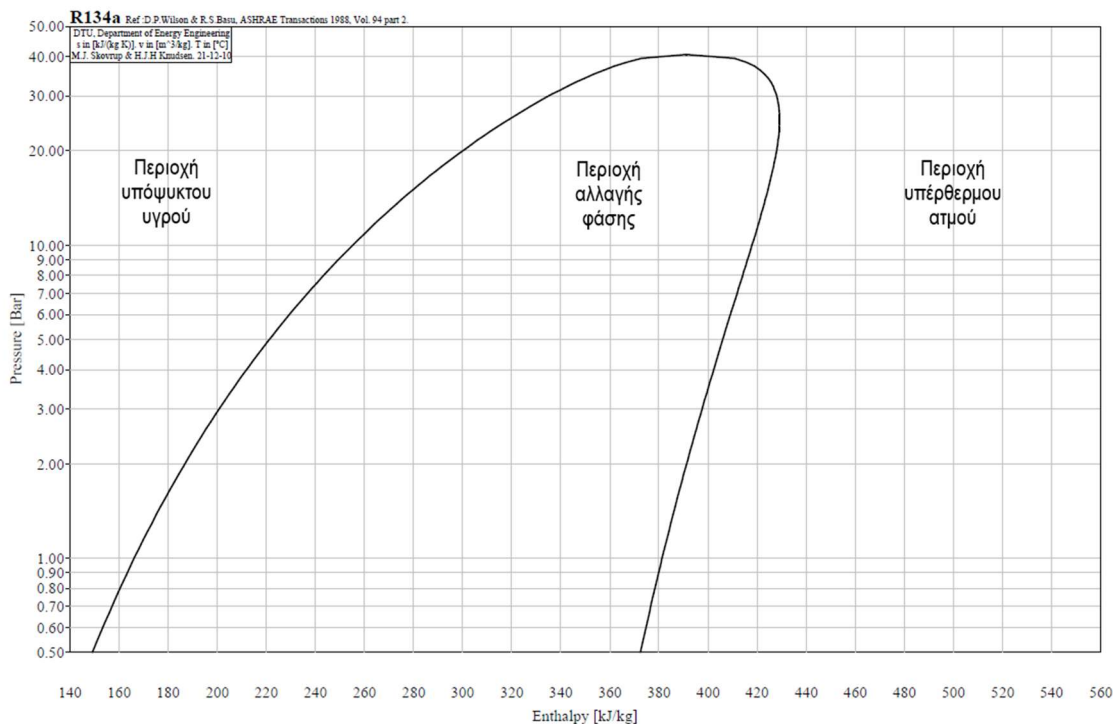
Καμπύλη κορεσμένου υγρού

Σε κάθε σημείο της καμπύλης κορεσμένου υγρού το ψυκτικό μέσο είναι έτοιμο να αρχίσει την εξαέρωσή του, δηλαδή ένα τμήμα του να αρχίσει να μετατρέπεται σε ατμό.

Καμπύλη κορεσμένου ατμού

Για κάθε σημείο της καμπύλης κορεσμένου ατμού το ψυκτικό έχει μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε ατμό και δεν περιέχει ούτε ίχνος υγρής φάσης.

Οι δύο αυτές καμπύλες χωρίζουν το διάγραμμα P-h



Εικόνα 2.6: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (P-h), βασικές περιοχές.

(Πηγή: Εφαρμογή CoolPack)

Περιοχή υπόψυκτου υγρού

Η περιοχή του διαγράμματος η οποία βρίσκεται αριστερά της καμπύλης κορεσμένου υγρού ονομάζεται περιοχή υπόψυκτου υγρού, διότι σε όλα της τα σημεία το ψυκτικό βρίσκεται σε υγρή φάση και η θερμοκρασία του είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία κορεσμού που στην αντίστοιχη πίεση.

Περιοχή υπέρθερμου ατμού

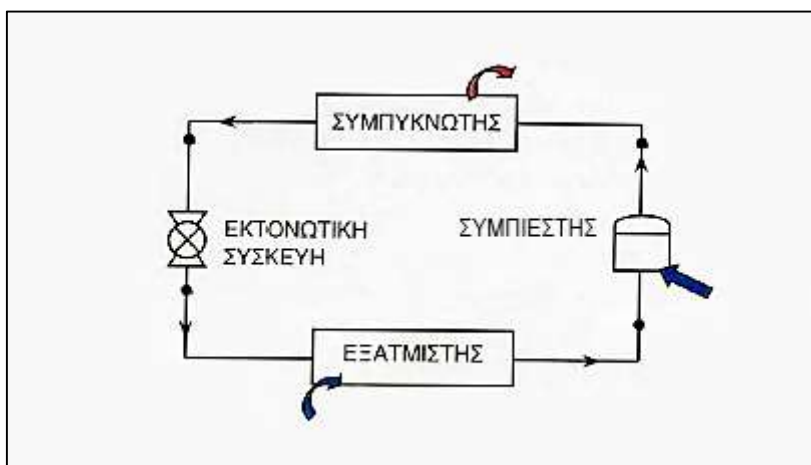
Η περιοχή του διαγράμματος η οποία βρίσκεται δεξιά της καμπύλης κορεσμένου ατμού (περιοχή B) ονομάζεται περιοχή υπέρθερμου ατμού, διότι σε όλα της τα σημεία το ψυκτικό βρίσκεται υπό μορφή υπέρθερμου ατμού, έχει δηλαδή θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εξάτμισής του στην αντίστοιχη πίεση.

Περιοχή αλλαγής φάσης

Η περιοχή του διαγράμματος ανάμεσα στις δύο καμπύλες είναι η περιοχή αλλαγής της φάσης του ψυκτικού, δηλαδή η περιοχή όπου το υγρό ψυκτικό εξατμίζεται ή συμπυκνώνεται ανάλογα με τη διεργασία που πραγματοποιείται. Επομένως, στην περιοχή αυτή θα υπάρχει μίγμα υγρού και αερίου ψυκτικού. Η εξάτμιση πραγματοποιείται από αριστερά προς τα δεξιά και συνεπώς όσο πλησιάζουμε την καμπύλη του κορεσμένου ατμού, τόσο αυξάνεται το ποσοστό του ατμού στο μίγμα. Αντίθετα, η συμπύκνωση πραγματοποιείται από δεξιά προς τα αριστερά και επομένως όσο πλησιάζουμε την καμπύλη του κορεσμένου υγρού, τόσο αυξάνεται το ποσοστό του υγρού.

2.3 Ο ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού

Ο απλούστερος και πιο διαδεδομένος ψυκτικός κύκλος είναι ο ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού ψυκτικού μέσου, και περιλαμβάνει τις εξής τέσσερις κύριες διατάξεις: το Συμπιεστή (Compressor), το Συμπυκνωτή (Condenser), την Εκτονωτική ή Στραγγαλιστική συσκευή (Expansion or Throttling device) και τον Εξατμιστή ή Ατμοποιητή (Evaporator).



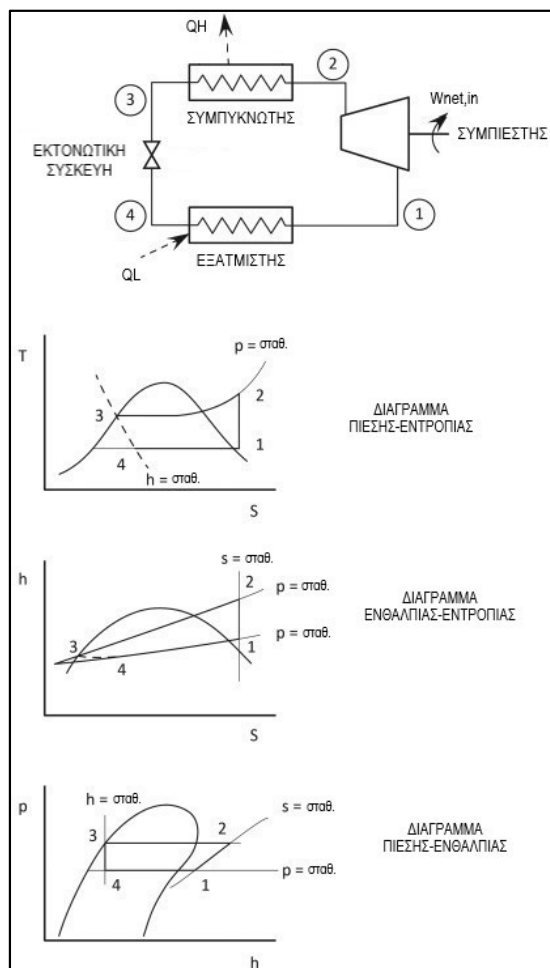
Εικόνα 2.7: Βασική συγκρότηση μιας ψυκτικής διάταξης συμπίεσης ατμού

(Πηγή: Κτενιαδάκης κ.α. 2013)

Συσκευές-Διατάξεις ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμού

1. Ο **Συμπιεστής (Compressor)** είναι μια αντλία συμπίεσης ατμών, η αντλητική δράση της οποίας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου καθώς και την κυκλοφορία του.
2. Ο **Συμπυκνωτής (Condenser)** είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο οι ατμοί του ψυκτικού μέσου συμπυκνώνονται σε υψηλή πίεση και συνήθως μέχρι την υγροποίησή του.
3. Η **Εκτονωτική ή Στραγγαλιστική συσκευή (Expansion or Throttling device)** είναι μια διάταξη περιορισμού της ροής, που προκαλεί σημαντική πτώση της πίεσης του υγροποιημένου ψυκτικού μέσου.
4. Ο **Εξατμιστής ή Ατμοποιητής (Evaporator)** είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται σε χαμηλή πίεση έτσι ώστε να επιστρέψει σε αέρια μορφή στο συμπιεστή.

Περιγραφή του Ψυκτικού Κύκλου με Συμπίεση Ατμού



Εικόνα 2.9: Ψυκτικός κύκλος με συμπίεση ατμού.

(Πηγή: Craig B. Smith κ.α., 2016)

Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον συμπιεστή ως ατμός και συμπιέζεται υπό μορφή ατμού. Από τη συμπίεση αυτή η μεταβολή που παθαίνει το ψυκτικό μέσο είναι η αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας σε σχέση με αυτή που είχε όταν εισήλθε στο συμπιεστή χωρίς να υπάρξει μεταβολή της κατάστασής του (υπό μορφή ατμού).

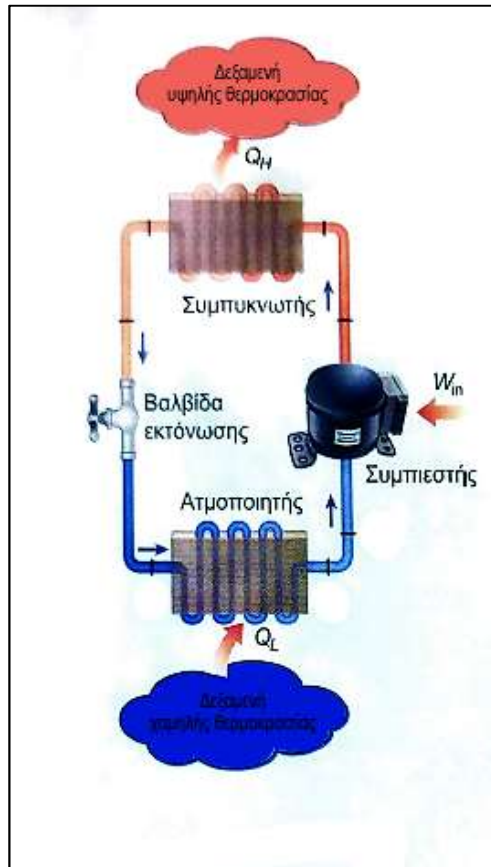
Το (υπό μορφή ατμού) ψυκτικό μέσο σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, ρέοντας διαμέσου των σπειρών του συμπυκνωτή, ψύχεται μέχρι του σημείου συμπύκνωσής του. Κατά την ψύξη του αυτή αποβάλλει θερμότητα προς το θερμαινόμενο μέσο ή χώρο γύρω από τον συμπυκνωτή.

Στη συνέχεια, το (υπό μορφή υγρού) ψυκτικό μέσο εξερχόμενο από το συμπυκνωτή εισέρχεται στην εκτονωτική συσκευή, όπου η πίεση και θερμοκρασία του ελαττώνονται δραστικά, λόγω του στραγγαλισμού της ροής του.

Το χαμηλής πλέον θερμοκρασίας και πίεσης ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον εξατμιστή (υπό μορφή νέφους, δηλαδή πλήθους σταγονιδίων), όπου εξατμίζεται. Συνεπώς η θερμοκρασία του ελατώνεται αρκετά και κατά αυτόν τον τρόπο έχει την δυνατότητα να απορροφήσει

θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο ή το χώρο γύρω από τον εξατμιστή. Η θερμοκρασία του με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται και το ψυκτικό μέσο μετατρέπεται ξανά σε ατμό.

Τέλος, ο ψυκτικός κύκλος ολοκληρώνεται καθώς το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από τον εξατμιστή και επανεισέρχεται στο συμπιεστή προκειμένου να επαναληφθούν οι παραπάνω διεργασίες.



- Q_L , είναι το μέτρο της θερμότητας η οποία αφαιρείται από τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας T_L .
- Q_H , είναι το μέτρο της θερμότητας που αποβάλλεται προς τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας T_H .
- $W_{net,in}$ είναι το ολικό έργο που απαιτείται για τη λειτουργία του συμπιεστή.

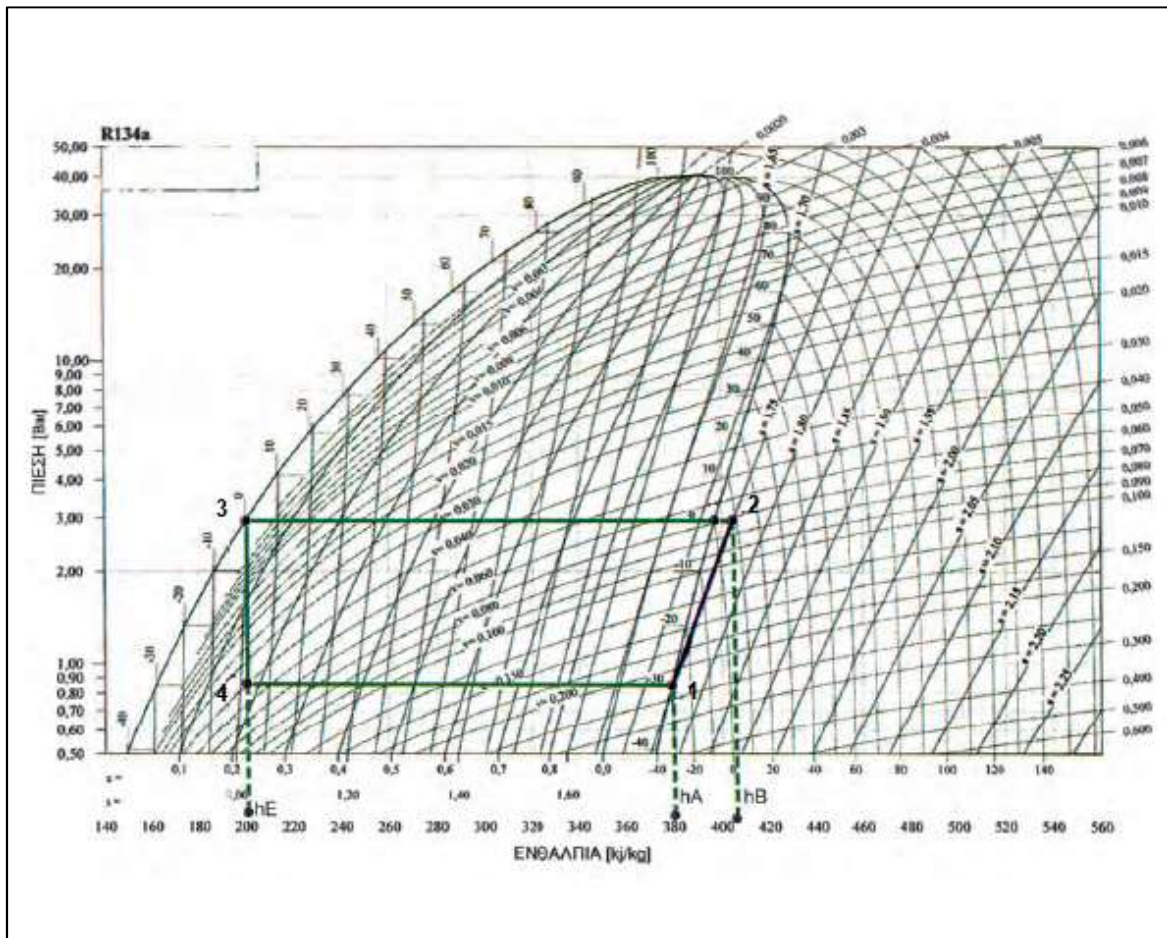
Εικόνα 2.8: Γραφική απεικόνιση μιας αντλίας θερμότητας.

(Πηγή: Çengel κ.α., 2018)

2.3.1 Ο Ιδανικός Ψυκτικός Κύκλος με Συμπύεση Ατμού

Ο ψυκτικός κύκλος με συμπύεση ατμού είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος στις αντλίες θερμότητας και χαρακτηρίζεται από τις επόμενες τέσσερις διεργασίες:

- 1 → 2 Ισεντροπική συμπίεση εντός συμπιεστή
- 2 → 3 Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας εντός συμπυκνωτή
- 3 → 4 Στραγγαλισμός εντός διάταξης εκτόνωσης
- 4 → 1 Ισοβαρής απορρόφηση θερμότητας εντός εξατμιστή



Εικόνα 2.10: Γραφική απεικόνιση του ιδανικού ψυκτικού κύκλου για το R-134a σε διάγραμμα P-h.

(Πηγή: Βραχόπουλος κ.α. 2001)

1→2 Συμπύεση

Στο σημείο 1 το ψυκτικό μέσο βρίσκεται υπό μορφή κορεσμένου ατμού και οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του ψυκτικού μέσου είναι: T_1 , P_1 , h_1 , s . Ο κορεσμένος ατμός οδηγείται στην αναρρόφηση του συμπιεστή.

Η διεργασία 1→2 (συμπύεση) πραγματοποιείται μέσα στο συμπιεστή ως μια ισεντροπική μεταβολή, κατά την οποία η εντροπία παραμένει σταθερή, ενώ η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνονται και το ψυκτικό μέσο παίρνει τη μορφή υπέρθερμου ατμού. Στο διάγραμμα P-h η μεταβολή 1→2 ακολουθεί την αντίστοιχη ισεντροπική γραμμή, όπου η ειδική εντροπία είναι s . Στο τέλος της μεταβολής 1→2 ο ατμός έχει πίεση P_2 και θερμοκρασία T_2 . Επίσης, η ενθαλπία του ατμού αμέσως μετά τη συμπύεση είναι h_2 . Το μηχανικό έργο που δίνει ο συμπιεστής (compressor) στο υπό μορφή ατμού ψυκτικό μέσο εκφράζεται με την παρακάτω μαθηματική σχέση.

$$\dot{W}_{net,in} = \dot{m}_{ref} * (h_2 - h_1) \text{ [W]} \quad (2.2) \text{ [Çengel κ. α., 2018]}$$

όπου

$\dot{m}_{ref} \left[\frac{kg}{s} \right]$, ο ρυθμός ροής μάζας του ψυκτικού μέσου

$h_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, η τιμή της ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου στο σημείο 1 κατά την είσοδό του στο συμπιεστή

$h_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, η τιμή της ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου στο σημείο 2 κατά την έξοδό του από το συμπιεστή

Ο ρυθμός ροής μάζας του ψυκτικού μέσου δίνεται από τη σχέση (2.3)

$$\dot{m}_{ref} = V_{dis} * \rho_{ref,s} * Hz * \frac{n_{vol}}{10^6} \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (2.3) [Huang \kappa. \alpha., 2013]$$

Όπου

$V_{dis} \left[\frac{cc}{round} \right]$, ο όγκος μετατόπισης του εμβόλου του συμπιεστή

$\rho_{ref,s} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, η πυκνότητα του ψυκτικού μέσου στην γραμμή αναρρόφησης του συμπιεστή

$Hz \left[\frac{rounds}{s} \right]$, η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή

$n_{vol} [-]$, ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή

2→3 Συμπύκνωση

Ακολουθεί η διεργασία 2→3 που πραγματοποιείται εντός του συμπυκνωτή. Κατά τη διεργασία αυτή, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.10, το ψυκτικό μέσο αποβάλλει τόσο τη θερμότητα που απορρόφησε κατά την εξάτμιση, όσο και την ενέργεια (ενθαλπία) που προστέθηκε κατά τη συμπίεσή του. Κατά τη μεταβολή 2→3 το ψυκτικό μέσο αποβάλλει, προς το θερμαινόμενο μέσο, αισθητή θερμότητα μέχρι το σημείο της καμπύλης κορεσμένου ατμού και στη συνέχεια αποβάλλει ενέργεια υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας χωρίς να μεταβάλλονται η πίεση και η θερμοκρασίας του (τμήμα της μεταβολής εντός της περιοχής αλλαγής φάσης). Επειδή η διεργασία της συμπύκνωσης γίνεται με σταθερή πίεση και αυτό συνεπάγεται ότι $P = P_2 = P_3$. Το ψυκτικό μέσο αποβάλλει λανθάνουσα θερμότητα προς το θερμαινόμενο μέσο μέχρις ότου να μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό στο σημείο 3, όπου έχει τις εξής θερμοδυναμικές ιδιότητες: T_3 , P_3 , h_3 . Ο ρυθμός με τον οποίο απορρίπτεται θερμότητα κατά τη διεργασία της συμπύκνωσης, μπορεί να εκφραστεί από τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{ref} * (h_2 - h_3) [W] \quad (2.4) [Herbas, T. B., \kappa. \alpha., 1993]$$

όπου

$\dot{m}_{ref} \left[\frac{kg}{s} \right]$, ο ρυθμός ροής μάζας του ψυκτικού μέσου

$h_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, η τιμή της ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου στο σημείο 2 κατά την είσοδό του στο συμπυκνωτή

$h_3 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, η τιμή της ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου στο σημείο 3 κατά την έξοδό του από το συμπυκνωτή

$$\dot{Q}_H = \dot{m} * Cp * (T_{out} - T_{in}) [W] \quad (2.5) [Herbas, T. B., \kappa. \alpha., 1993]$$

όπου

$\dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right]$, ο ρυθμός ροής μάζας του θερμαινόμενου μέσου (νερό, αέρας κτλ.)

$Cp \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$, η τιμή της ειδικής θερμοχωρητικότητας ή ειδικής θερμότητας του θερμαινόμενου μέσου

$T_{in} [K]$, η θερμοκρασία του θερμαινόμενου μέσου κατά την είσοδο του στο συμπυκνωτή

$T_{out} [K]$, η θερμοκρασία του θερμαινόμενου μέσου κατά την έξοδό του από το συμπυκνωτή

3→4 Εκτόνωση

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η εκτόνωση (ελάττωση της πίεσης) του κορεσμένου υγρού από την πίεση συμπίεσης μέχρι την πίεση της εξάτμισης. Η μεταβολή αυτή γίνεται στην εκτονωτική συσκευή, η οποία περιορίζει τη ροή του ψυκτικού μέσου. Η εκτόνωση θεωρείται ισενθαλπική μεταβολή, δηλαδή μεταβολή κατά την οποία η ενθαλπία παραμένει σταθερή. Επειδή η ενθαλπία παραμένει σταθερή κατά τη διεργασία 3→4, το σημείο 4 προσδιορίζεται ακολουθώντας την ισενθαλπική γραμμή, η οποία αρχίζει από το σημείο 3 και φυσικά είναι κάθετη στον άξονα της ενθαλπίας μέχρι το σημείο τομής με την ισοθερμοκρασιακή (σημείο 4) που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία ατμοποίησης. Κατά τον ισενθαλπικό στραγγαλισμό πραγματοποιείται μερική ατμοποίηση του υγρού ψυκτικού, οπότε στο σημείο 4 το ψυκτικό μέσο είναι μίγμα υγρού-ατμού με τις εξής θερμοδυναμικές ιδιότητες: T_4 , P_4 , h_4 .

4→1 Εξάτμιση

Η διεργασία 4→1 πραγματοποιείται εντός του εξατμιστή. Κατά τη διεργασία αυτή το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο και μέχρι να εξατμιστεί και να μετατραπεί πλήρως σε κορεσμένο ατμό. Η εξάτμιση πραγματοποιείται με σταθερή πίεση και θερμοκρασία, αυτό σημαίνει ότι το τμήμα 4→1 βρίσκεται πάνω στην ισοθερμοκρασιακή και στη γραμμή σταθερής πίεσης $P = P_4 = P_1$. Η ενθαλπία του ψυκτικού αυξάνεται κατά τη διεργασία 4→1, καθώς ρέει μέσα στον εξατμιστή και απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο. Ο ρυθμός με τον οποίο απορροφάται θερμότητα κατά τη διεργασία της εξάτμισης μπορεί από να εκφραστεί από τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{ref} * (h_1 - h_4) \quad [W] \quad (2.6) [\text{Herbas, T. B., κ. α., 1993}]$$

όπου

$\dot{m}_{ref} \left[\frac{kg}{s} \right]$, ο ρυθμός ροής μάζας του ψυκτικού μέσου

$h_4 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, η τιμή της ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου στο σημείο 4 κατά την είσοδό του στον εξατμιστή

$h_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, η τιμή της ενθαλπίας του ψυκτικού μέσου στο σημείο 1 κατά την έξοδό του από τον εξατμιστή

$$\dot{Q}_L = \dot{m} * Cp * (T_{out} - T_{in}) \quad [W] \quad (2.7) [\text{Herbas, T. B., κ. α., 1993}]$$

όπου

$\dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right]$, ο ρυθμός ροής μάζας του θερμαινόμενου μέσου (νερό, αέρας κτλ.)

$c_p \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$, η τιμή της ειδικής θερμοχωρητικότητας ή ειδικής θερμότητας του ψυχόμενου μέσου

$T_{in} [K]$, η θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου κατά την είσοδο του στον εξατμιστή

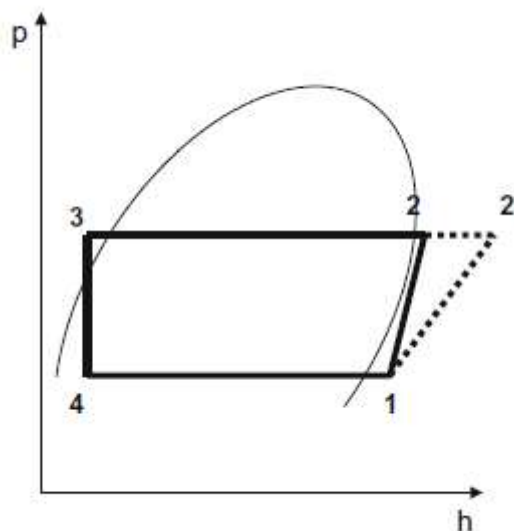
$T_{out} [K]$, η θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου κατά την έξοδο του από τον εξατμιστή

Παρατηρείται ότι στο διάγραμμα P-h η μεταφορά θερμότητας που λαμβάνει χώρα στον συμπυκνωτή Q_H και στον εξατμιστή Q_L είναι ανάλογη των μηκών των καμπυλών των αντίστοιχων διεργασιών στο διάγραμμα P-h.

2.3.2 Ο Πραγματικός Ψυκτικός Κύκλος με Συμπίεση Ατμού

Ο πραγματικός ψυκτικός κύκλος με συμπίεση ατμού διαφέρει από τον αντίστοιχο ιδανικό κυρίως λόγω της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ του ψυκτικού μέσου και του δικτύου σωληνώσεων, η οποία μπορεί να προκαλεί πτώσεις πίεσης, καθώς επίσης και λόγω των απωλειών θερμότητας προς το χώρο γύρω από την αντλία θερμότητας.

Στον ιδανικό ψυκτικό κύκλο, η διεργασία της συμπίεσης είναι εσωτερικά αντιστρεπτή και αδιαβατική, και άρα ισεντροπική. Ωστόσο η πραγματική διεργασία συμπίεσης εμπεριέχει φαινόμενα τριβής, που αυξάνουν την εντροπία και τη μεταφορά θερμότητας, η οποία ανάλογα με την κατεύθυνση προς την οποία πραγματοποιείται η διεργασία, ενδέχεται να οδηγήσει σε μείωση ή αύξηση της εντροπίας. Επομένως, κατά τη διάρκεια μιας πραγματικής διεργασίας συμπίεσης, η εντροπία του ψυκτικού μέσου δύναται να αυξάνεται ή να μειώνεται, ανάλογα με το ποια φαινόμενα υπερισχύουν. Αυτή η διεργασία συμπίεσης μπορεί να είναι περισσότερο επιθυμητή από την ισεντροπική διεργασία συμπίεσης, αφού σε αυτή την περίπτωση, ο ειδικός όγκος του ψυκτικού και συνεπώς και το απαιτούμενο έργο εισόδου, υπάρχουν περίπτωση να έχουν μικρότερες τιμές.



Εικόνα 2.11: Γραφική απεικόνιση του πραγματικού ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα P-h.

(Πηγή: Grassi, 2017)

Επιπλέον, στον πραγματικό κύκλο συμπίεσης ατμού παρατηρούνται τα φαινόμενα της υπερθέρμανσης και της υπόψυξης κατά τις διεργασίες της εξατμίσης και της συμπύκνωσης αντίστοιχα.

Υπερθέρμανση του ατμού

Στον ιδανικό κύκλο, το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από τον εξατμιστή και εισέρχεται στον συμπιεστή ως κορεσμένος ατμός. Ωστόσο, στην πράξη, κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με απόλυτη ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, μια αντλία θερμότητας συνήθως σχεδιάζεται, έτσι ώστε το ψυκτικό μέσο να εισέρχεται στο συμπιεστή ως ελαφρώς υπέρθερμος ατμός. Με αυτή τη διαδικασία εξασφαλίζεται ότι το ψυκτικό μέσο έχει εξατμισθεί πλήρως πριν από την είσοδό του στον συμπιεστή, αποφεύγοντας έτσι τον κίνδυνο δημιουργίας λειτουργικών προβλημάτων στον συμπιεστή λόγω της παρουσίας υγρού στα μηχανικά μέρη του.

Υπόψυξη του υγρού

Στον ιδανικό ψυκτικό κύκλο με συμπίεση ατμού, υποτίθεται ότι το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από τον συμπυκνωτή ως κορεσμένο υγρό στην πίεση εξόδου του συμπιεστή. Στην πραγματικότητα όμως, είναι αναπόφευκτη κάποια πτώση πίεσης στον συμπυκνωτή, καθώς επίσης και στις σωληνώσεις που συνδέουν τον συμπυκνωτή με τον συμπιεστή και τη εκτονωτική συσκευή. Επιπλέον, δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί η διεργασία συμπύκνωσης με τέτοια ακρίβεια, ώστε στο τέλος της διεργασίας το ψυκτικό μέσο να είναι κορεσμένο υγρό, και δεν είναι επιθυμητό να οδηγηθεί το ψυκτικό στην εκτονωτική συσκευή, πριν συμπυκνωθεί πλήρως. Επομένως, το ψυκτικό υποψύχεται σε κάποιο βαθμό, πριν εισέλθει στην εκτονωτική συσκευή. Στην περίπτωση αυτή το ψυκτικό εισέρχεται στον εξατμιστή με χαμηλότερη τιμή ενθαλπίας και επομένως μπορεί να απορροφά περισσότερη θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο

2.4 Απόδοση αντλίας θερμότητας

Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας μπορεί να εκφραστεί είτε ως προς το συντελεστή απόδοσης (Coefficient Of Performance, COP) είτε ως προς το δείκτη ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Ratio, EER). Οι δείκτες αυτοί περιγράφουν τη θερμική και την ψυκτική απόδοση μιας αντλίας θερμότητας, δείχνοντας την αναλογία της θερμικής και της ψυκτικής ενέργειας, αντίστοιχα, που παράγεται από μια αντλία θερμότητας σε σχέση με την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή της. Ανάλογα με το σκοπό λειτουργίας της αντλίας θερμότητας ισούται:

$$COP = \frac{\text{Θερμική ενέργεια}}{\text{Έργο που καταναλώθηκε}} = \frac{Q_H}{W_{net,in}} \quad (2.8) [\text{Çengel κ. α.}, 2018]$$

$$EER = \frac{\text{Ψυκτική ενέργεια}}{\text{Έργο που καταναλώθηκε}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}} \quad (2.9) [\text{Çengel κ. α.}, 2018]$$

Οι σχέσεις αυτές μπορούν επίσης να διατυπωθούν σε διαφορεική μορφή, αντικαθιστώντας τις ποσότητες Q_L , Q_H και $W_{net,in}$ με τους ρυθμούς \dot{Q}_L , \dot{Q}_H και $\dot{W}_{net,in}$ αντίστοιχα.

Και στις δύο περιπτώσεις οι βαθμοί απόδοσης είναι πάντοτε μεγαλύτεροι της μονάδας, για να έχει υπόσταση η έννοια της ονομασίας της ως αντλίας θερμότητας, δηλαδή μεταφορά

θερμικής ενέργειας από θερμικό σύστημα χαμηλότερης θερμοκρασιακής στάθμης σε θερμικό σύστημα υψηλότερης θερμοκρασιακής στάθμης. Στην οριακή περίπτωση που αυτοί οι παραπάνω δείκτες πάρουν τιμή ίση με τη μονάδα ή και μικρότερη, τότε χάνεται η έννοια της αντλίας θερμότητας και έχουμε να κάνουμε πλέον με έναν μετατροπέα μηχανικής ενέργειας σε θερμική.

Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι ο συντελεστής απόδοσης βελτιώνεται κατά 2% έως 4% για κάθε βαθμό Κελσίου αύξησης της θερμοκρασίας εξατμίσης ή μείωσης της θερμοκρασίας συμπύκνωσης.

Κεφάλαιο 3^ο: Μεθοδολογία

3.1 Σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας νερού – νερού

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια διάταξη αντλίας θερμότητας νερού – νερού. Στόχος ήταν, η σε βάθος κατανόηση της τεχνολογίας των αντλιών μέσα από τη διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής, ενώ επιπλέον στόχος ήταν η δημιουργία μια συσκευής με τη δυνατότητα εκτέλεσης πειραμάτων και καταγραφής μετρήσεων η οποία θα συμβάλλει στην περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου.



Εικόνα 3.1: Πειραματική διάταξη αντλίας θερμότητας νερού - νερού

Ο λόγος που επιλέχθηκε η κατασκευή ενός συστήματος νερού – νερού, είναι κυρίως η δυνατότητα που προσφέρει ένα τέτοιο να μεταβάλλονται εύκολα οι συνθήκες λειτουργίας του συμβάλλοντας έτσι στη διενέργεια μεγαλύτερου εύρους πειραμάτων. Επίσης, καθοριστικό ρόλο έπαιξε και το γεγονός ότι τα υλικά κατασκευής για ένα τέτοιο σύστημα είναι πιο εύκολο να βρεθούν και να προμηθευτούν από την αγορά.

3.1.1 Βάση

Για την τοποθέτηση όλων των απαραίτητων, για την λειτουργία της πειραματικής διάταξης, εξαρτημάτων, οργάνων και συσκευών, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια βάση. Παρατίθενται αναλυτικά σχέδια στο σχετικό παράρτημα.

Η βάση της διάταξης αποτελείται από δύο ξύλινες επιφάνειες, τοποθετημένες κάθετα μεταξύ τους, και πλαισιώνονται από έναν μεταλλικό σκελετό. Στο κάθετο τμήμα της βάσης τοποθετήθηκε μια μεταλλική λαμαρίνα επάνω στην οποία τοποθετήθηκαν όλα τα όργανα

και τα εξαρτήματα που δομούν το ηλεκτρικό κύκλωμα της διάταξης. Στο οριζόντιο τμήμα της βάσης αναπτύχθηκαν το ψυκτικό και το υδραυλικό κύκλωμα.

Τέλος, να σημειωθεί ότι όλα τα μεταλλικά τμήματα της βάσης υποβλήθηκαν σε ηλεκτροστατική βαφή για την προστασία τους από εξωγενείς παράγοντες.

****Στο Παράρτημα Α παρατίθενται τα κατασκευαστικά σχέδια της Βάσης.**

3.1.2 Ψυκτικό κύκλωμα

Το ψυκτικό κύκλωμα αποτελεί το βασικό τμήμα της πειραματικής διάταξης. Σχεδιάστηκε με βάση τα κοινά συστήματα αντλιών θερμότητας νερού – νερού και δομείται από τις κύριες συσκευές που περιλαμβάνει κάθε ψυκτικό κύκλωμα (συμπιεστής, συμπυκνωτής, εκτονωτική διάταξη και εξατμιστής), από διάφορα βοηθητικά εξαρτήματα και όργανα ελέγχου, το δίκτυο σωληνώσεων και το ψυκτικό μέσο.

****Στο Παράρτημα Α παρατίθεται το διαγραμματικό προσχέδιο του Ψυκτικού κυκλώματος της διάταξης.**

3.1.2.1 Κύριες συσκευές

Συμπιεστής

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε ένας παλινδρομικός συμπιεστής ερμητικού τύπου του οίκου Tecumseh, ο οποίος διαθέτει ηλεκτροκινητήρα ισχύος ¼ HP.



Εικόνα 3.2: Συμπιεστής

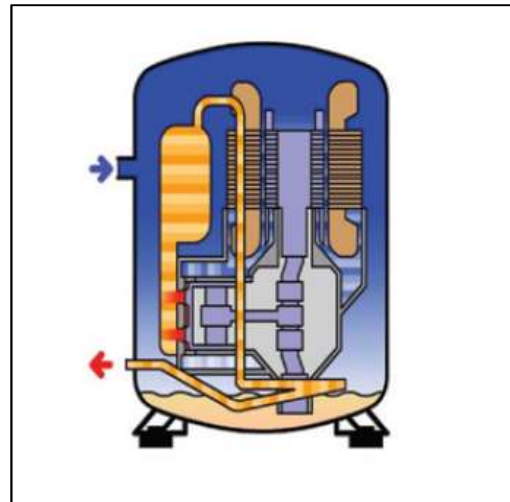
Ο συγκεκριμένος τύπος συμπιεστή επιλέχθηκε καθώς είναι ο μοναδικός τύπος συμπιεστή που βρέθηκε στην αγορά και ο οποίος είναι συμβατός με το μικρής ψυκτικής ισχύος σύστημα της πειραματικής διάταξης. Επιπλέον, η απλότητα του σχεδιασμού του, το γεγονός ότι το βάρος και ο όγκος του είναι το ελάχιστο δυνατό, καθώς επίσης και ότι το κόστος προμήθειας είναι το μικρότερο σε σχέση με άλλους τύπους συμπιεστών, αποτέλεσαν καθοριστικούς παράγοντες για την επιλογή του συγκεκριμένου τύπου συμπιεστή.

Όσον αφορά τη δομή και τη λειτουργία του συγκεκριμένου τύπου συμπιεστή:

Εις με τον τύπο του ως ερμητικός, ο συμπιεστής και ο ηλεκτροκινητήρας του βρίσκονται μέσα στο ίδιο συγκολλητό χαλύβδινο περίβλημα. Το ψυκτικό μέσο, υπό αέρια μορφή, εισέρχεται στον συμπιεστή από την πλευρά της αναρρόφησης και καταλαμβάνει όλο το χώρο, εσωτερικά του περιβλήματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στο εσωτερικό του περιβλήματος να επικρατεί πίεση ίση με την πίεση αναρρόφησης και επιπλέον ο συμπιεστής ψύχεται από το αναρροφούμενο ψυκτικό μέσο.



Εικόνα 3.3: Ερμητικός συμπιεστής



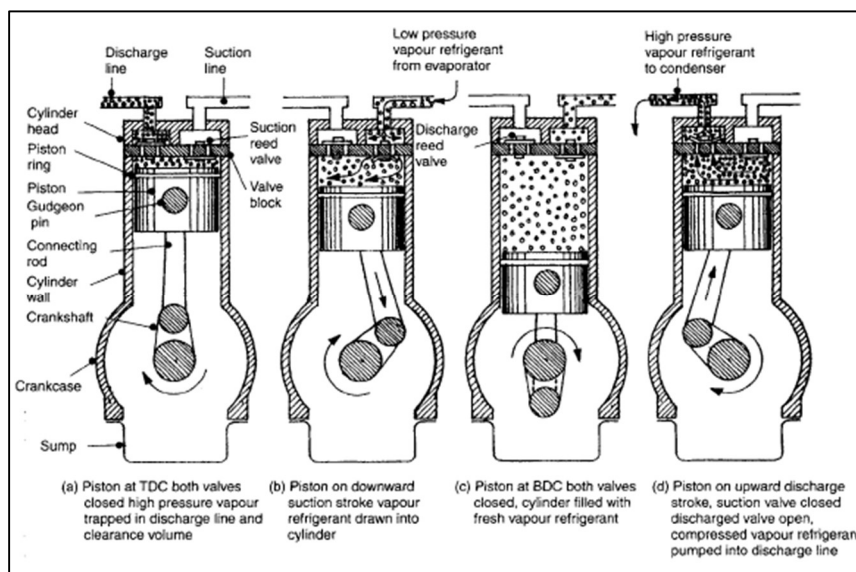
Εικόνα 3.4: Γραφική απεικόνιση τομής ερμητικού συμπιεστή

Εις μεν τον τύπο του ως παλινδρομικός, ο συμπιεστής δομείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

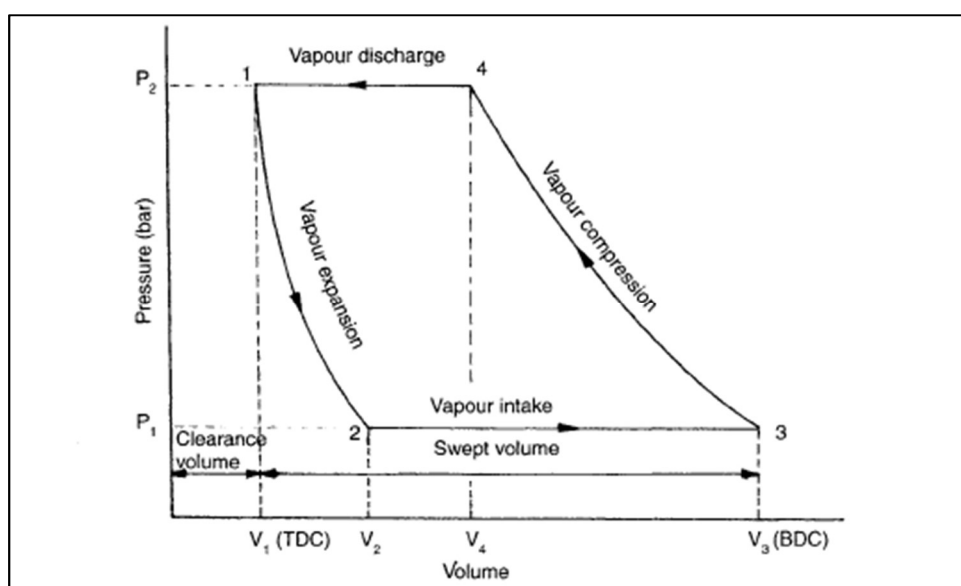
- Τον κύλινδρο
- Το έμβολο
- Τη βαλβιδοφόρο πλάκα με τις βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης

Λειτουργία του συμπιεστή

Κατά τη λειτουργία ενός παλινδρομικού συμπιεστή, το έμβολο παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, μεταξύ δύο (2) σημείων. Το ανώτατο σημείο της διαδρομής του εμβόλου λέγεται Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ), ενώ το κατώτατο σημείο της διαδρομής του λέγεται Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ). Στην ουσία, κατά τη λειτουργία ενός παλινδρομικού συμπιεστή πραγματοποιείται μια επαναλαμβανόμενη κυκλική διαδικασία, η οποία χωρίζεται σε δύο φάσεις, τη φάση αναρρόφησης και τη φάση κατάθλιψης.



Εικόνα 3.5: Γραφική απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας ενός παλινδρομικού συμπιεστή (Πηγή: Heisler, 2002)



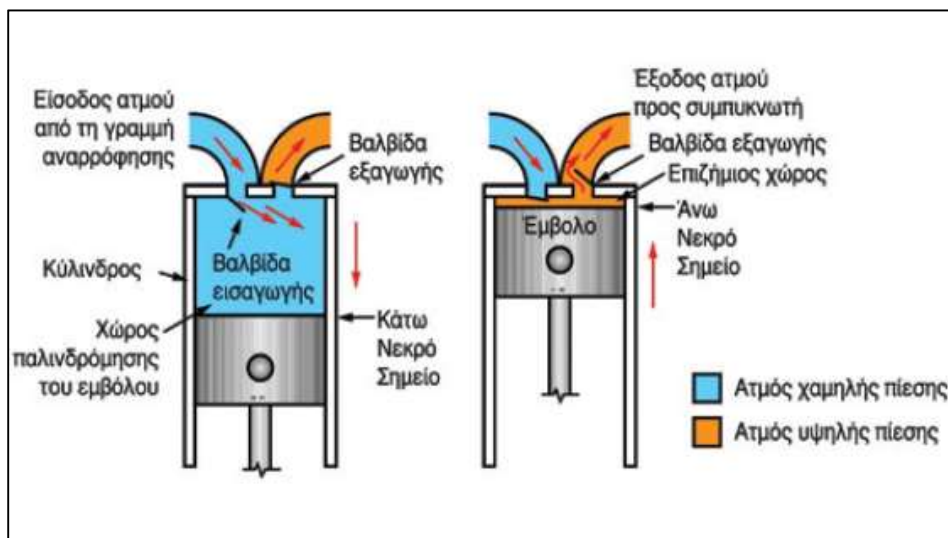
Εικόνα 3.6: Διαγραμματική απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας ενός παλινδρομικού συμπιεστή σε διάγραμμα πίεσης – όγκου (P-V) (Πηγή: Heisler, 2002)

Ι. Φάση αναρρόφησης

Κατά τη φάση αναρρόφησης το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Στο ΑΝΣ η βαλβίδα αναρρόφησης είναι κλειστή και η βαλβίδα κατάθλιψης ανοιχτή. Καθώς, λοιπόν, το έμβολο κινείται προς τα κάτω, η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου συνεχώς μειώνεται, με αποτέλεσμα να κλείσει η βαλβίδα κατάθλιψης. Όταν η πίεση γίνει μικρότερη από την πίεση που επικρατεί στη γραμμή αναρρόφησης, η βαλβίδα αναρρόφησης ανοίγει και ο χώρος του κυλίνδρου γεμίζει με ψυκτικό μέσο, σε αέρια κατάσταση. Η είσοδος ψυκτικού αερίου στον κύλινδρο συνεχίζεται μέχρι το έμβολο να φτάσει στο Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ), οπότε και ολοκληρώνεται η φάση αναρρόφησης.

II. Φάση κατάθλιψης

Κατά τη φάση κατάθλιψης το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, με αποτέλεσμα η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου αρχίζει να αυξάνεται. Όταν γίνει μεγαλύτερη από την πίεση που επικρατεί στη γραμμή αναρρόφησης κλείνει η βαλβίδα αναρρόφησης, ενώ η βαλβίδα κατάθλιψης παραμένει κλειστή. Συνεχίζοντας το έμβολο τη διαδρομή του προς τα πάνω, συμπιέζει όλο και περισσότερο το ψυκτικό μέσο που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο και όταν η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου γίνει μεγαλύτερη από την πίεση που επικρατεί στη γραμμή κατάθλιψης, τότε ανοίγει η βαλβίδα κατάθλιψης και το ψυκτικό μέσο καταθλίβεται προς το συμπυκνωτή. Μόλις το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, τότε ολοκληρώνεται η φάση της κατάθλιψης και ξεκινά νέος κύκλος λειτουργίας του συμπιεστή.



Εικόνα 3.7: Γραφική απεικόνιση της φάσης αναρρόφησης (αριστερά) και της φάσης κατάθλιψης (δεξιά)

Οι φάσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης που περιγράφηκαν πιο πάνω, επαναλαμβάνονται πολλές φορές σε κάθε λεπτό, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου συμπιεστή.

Νεκρός χώρος

Κατά τη λειτουργία ενός παλινδρομικού συμπιεστή στο χώρο μεταξύ του ΑΝΣ και της βαλβιδοφόρου πλάκας παραμένει ποσότητα ψυκτικού μέσου σε αέρια κατάσταση. Αυτός ο χώρος ονομάζεται Νεκρός χώρος και όπως είναι αναμενόμενο επηρεάζει τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο Νεκρός χώρος σε έναν συμπιεστή τόσο μικρότερος είναι ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του. Στον συγκεκριμένο συμπιεστή που τοποθετήθηκε στην πειραματική διάταξη ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του, βάση των τεχνικών χαρακτηριστικών του είναι ίσος με 90%.

Τέλος, η σύνδεση του συμπιεστή στο ψυκτικό κύκλωμα έγινε δια συγκολλήσεως με τη μέθοδο της ομοιογενούς συγκόλλησης, με τη χρήση σκληρής χαλκοκόλλησης.

Εναλλάκτες Συμπυκνωτή και Εξατμιστή

Στην πειραματική διάταξη, στη θέση των εναλλακτών του συμπυκνωτή και του εξατμιστή, τοποθετήθηκαν δύο (2) ψύκτες νερού.

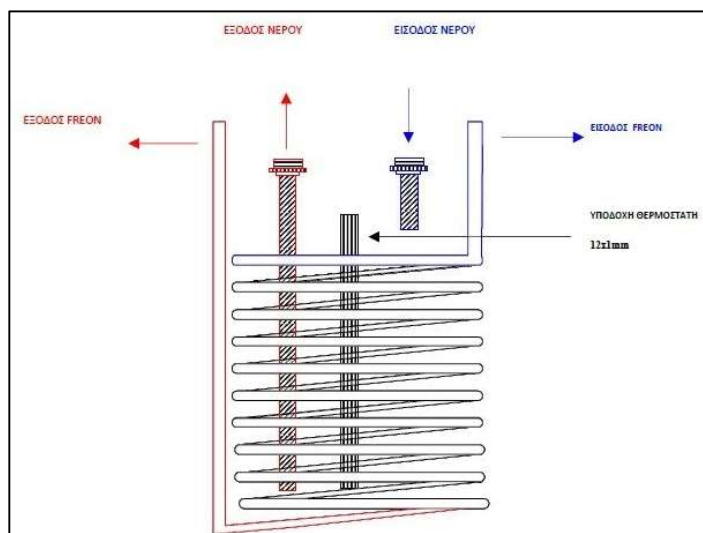


Εικόνα 3.8: Ψύκτης νερού

Κάθε ψύκτης νερού αποτελείται από ένα κυλινδρικό ανοξείδωτο δοχείο χωρητικότητας 9L νερού. Στο εσωτερικό του δοχείου αναπτύσσεται σπειροειδής εναλλάκτης από ανοξείδωτη σωλήνα 3/8inch, μέσα στον οποίο ρέει το ψυκτικό μέσο. Εξωτερικά, κάθε δοχείο νερού περιβάλλεται από γαλβανισμένη λαμαρίνα που αποτελεί και το εξωτερικό του κέλυφος. Μεταξύ του δοχείου και της λαμαρίνας παρεμβάλλεται μόνωση πολυουρεθάνης για τον περιορισμό των απωλειών θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον κατά τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης. Στην ουσία οι ψύκτες, αυτοί είναι δοχεία νερού με εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου - νερού σπειροειδούς σωλήνα, με δυνατότητα ροής και αποθήκευσης νερού.

Πιο αναλυτικά για τη διαδικασία εναλλαγής θερμότητας σε κάθε δοχείο εναλλάκτη:

Στο δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή, το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον σπειροειδή εναλλάκτη, υπό τη μορφή μείγματος (αερίου-υγρού) και μετά την απαγωγή θερμότητας από το νερό, εξέρχεται από αυτόν υπό τη μορφή υπέρθερμου αερίου. Ταυτόχρονα το νερό εισέρχεται στο επάνω μέρος του δοχείου και μετά την απόδοση θερμότητας προς το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από το κάτω μέρος του δοχείου παρουσιάζοντας χαμηλότερη θερμοκρασία.



Εικόνα 3.9: Γραφική αναπαράσταση του εσωτερικού του δοχείου του εξατμιστή

Στο δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή, το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον σπειροειδή εναλλάκτη, υπό τη μορφή υπέρθερμου αερίου και μετά την απόδοση θερμότητας προς το νερό, εξέρχεται από αυτόν υπό τη μορφή υπόψυκτου υγρού. Ταυτόχρονα το νερό εισέρχεται στο κάτω μέρος του δοχείου και μετά την απαγωγή θερμότητας από το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από το επάνω μέρος του δοχείου παρουσιάζοντας υψηλότερη θερμοκρασία.

Ο λόγος που επιλέχθηκαν αυτού του τύπου οι εναλλάκτες είναι η χωρητικότητα νερού που παρουσιάζουν το δοχεία στο υδραυλικό κύκλωμα και τα οποία λόγω της θερμοχωρητικότητας του νερού και της μάζας που εσωκλείεται σε αυτά παρουσιάζουν μια αδράνεια κατά τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης. Η αδράνεια αυτή είναι χρήσιμη για την πραγματοποίηση της εναλλαγής θερμότητας μεταξύ ψυκτικού μέσου και νερού, αλλά και για την εξασφάλιση σταθερότητας κατά τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης και την εκπόνηση πειραμάτων.

Η σύνδεση των εναλλακτών με το ψυκτικό κύκλωμα έγινε δια συγκολλήσεως με τη μέθοδο της ομοιογενούς συγκόλλησης, με τη χρήση σκληρής χαλκοκόλλησης. Ενώ η σύνδεση των δοχείων με το υδραυλικό κύκλωμα έγινε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.



Εικόνα 3.10: Σύνδεση δοχείων εναλλακτών με το ψυκτικό και το υδραυλικό κύκλωμα

Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε μια θερμοεκτονωτική βαλβίδα του οίκου Emerson.



Εικόνα 3.11: Θερμοεκτονωτική βαλβίδα

Ο λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τύπος εκτονωτικής διάταξης και όχι κάποιος άλλος τύπος, είναι ότι στην πειραματική διάταξη η παροχή ψυκτικού μέσου προς τον εξατμιστή απαιτείται να είναι ελεγχόμενη. Λόγω του ότι η διάταξη της αντλίας θερμότητας είναι πειραματική, η παροχή νερού στο δοχείο του εξατμιστή μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με της ανάγκες του εκάστοτε πειράματος. Για το λόγο αυτό είναι αυτονόητο ότι και η παροχή ψυκτικού μέσου στον εξατμιστή δεν μπορεί να είναι σταθερή (π.χ. όπως θα γινόταν εάν χρησιμοποιούταν ένας τριχοειδής σωλήνας) αλλά ελεγχόμενα μεταβλητή. Αυτή την ελεγχόμενα μεταβλητή παροχή ψυκτικού μέσου προς τον εξατμιστή, μας την εξασφαλίζει μόνο μια διάταξη θερμοεκτονωτικής βαλβίδας.

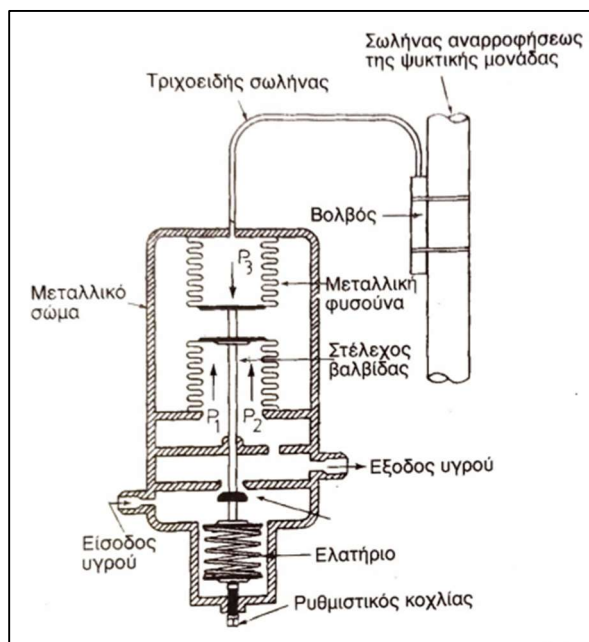
Σκοπός της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας είναι να ελέγχει τον ρυθμό με τον οποίο το ψυκτικό μέσο διέρχεται από τη γραμμή υγρού στον εξατμιστή, για να διατηρηθεί η διαφορά πίεσης μεταξύ των περιοχών υψηλής και χαμηλής πίεσης του συστήματος ψύξης. Επιπλέον, βασικό χαρακτηριστικό της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας είναι η διατήρησή σταθερής υπερθέρμανσης στον εξατμιστή ανεξάρτητα από το φορτίο στο οποίο αυτός είναι υποχρεωμένος να ανταποκριθεί. Αποτέλεσμα αυτής της λειτουργίας είναι ότι ο εξατμιστής τροφοδοτείται πάντα με την ποσότητα του ψυκτικού που απαιτείται από το παρουσιαζόμενο ψυκτικό φορτίο.

Όσον αφορά τη δομή και τη λειτουργία του συγκεκριμένου τύπου εκτονωτικής διάταξης:

Μια θερμοεκτονωτική βαλβίδα αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη:

- Το σώμα
- Το διάφραγμα
- Το σύστημα ελέγχου
- Το ελατήριο υπερθέρμανσης με τον ρυθμιστικό κοχλία

- Τον θερμοστατικό βολβό με τον τριχοειδή σωλήνα



Εικόνα 3.12: Γραφική απεικόνιση μιας θερμοεκτονωτικής βαλβίδας

Λειτουργία θερμοεκτονωτικής βαλβίδας

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας είναι ο θερμοστατικός βολβός, που είναι τοποθετημένος στην έξοδο του εξατμιστή και συνδέεται με το πάνω μέρος της βαλβίδας με έναν τριχοειδή σωλήνα. Η βαλβίδα έχει μια μεμβράνη που επάνω της έχει τοποθετηθεί το σύστημα ελέγχου της ροής του ψυκτικού μέσου. Από την πάνω μεριά της μεμβράνης ασκείται η πίεση του βολβού, η οποία τείνει να ανοίξει τη βαλβίδα, και από την κάτω πλευρά ασκείται το άθροισμα των πιέσεων του ψυκτικού μέσου από την είσοδο στον εξατμιστή και του ελατηρίου ρύθμισης. Η κίνηση της μεμβράνης παρασύρει σε αντίστοιχη κίνηση τη ρυθμιστική βελόνα και έτσι αυξομειώνεται η παροχή ψυκτικού μέσου.

Στην περίπτωση αύξησης του ψυκτικού φορτίου πραγματοποιείται γρήγορη εξάτμιση του ψυκτικού μέσου στον εξατμιστή, με αποτέλεσμα την αύξηση της υπερθέρμανσης του ψυκτικού αερίου. Όμως η αύξηση της υπερθέρμανσης προκαλεί και αύξηση της θερμοκρασίας του αερίου, άρα και αύξηση της θερμοκρασίας του βολβού. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του βολβού αυξάνεται και η πίεση που ασκείται στο πάνω μέρος της μεμβράνης. Έτσι η μεμβράνη κινείται προς τα κάτω, ανοίγοντας περισσότερο τη βαλβίδα και τροφοδοτώντας τον εξατμιστή με περισσότερο υγρό ψυκτικό μέσο. Ακριβώς οι αντίθετες ενέργειες λαμβάνουν χώρα στην περίπτωση της μείωσης του ψυκτικού φορτίου, οπότε έχουμε μείωση της υπερθέρμανσης, με αποτέλεσμα τελικά η βαλβίδα να κλείνει, ελαττώνοντας την παροχή υγρού ψυκτικού μέσου προς τον εξατμιστή.

Τέλος η σύνδεση της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας στο ψυκτικό κύκλωμα έγινε αμέσως πριν την εισαγωγή του εξατμιστή, με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις. Ο θερμοστατικός βολβός τοποθετήθηκε αμέσως επάνω στη σωλήνα αναρρόφησης αμέσως μετά την έξοδο του εξατμιστή. Επιπλέον, ο θερμοστατικός βολβός μονώθηκε με τη χρήση θερμοαγώγιμης αλοιφής.

3.1.2.2 Βοηθητικά εξαρτήματα - Όργανα ελέγχου

Εκτός από τις κύριες συσκευές του ψυκτικού κυκλώματος, στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν ορισμένα βοηθητικά εξαρτήματα και όργανα ελέγχου, με σκοπό την εξασφάλιση της ασφαλούς και σωστής λειτουργίας της, αλλά και την εποπτεία της λειτουργίας της γενικότερα.

Συλλέκτης υγρού ψυκτικού μέσου

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε ένας κατακόρυφος συλλέκτης υγρού ψυκτικού μέσου τύπου RDG-S 0,75 του οίκου Refricomp.



Εικόνα 3.13: Συλλέκτης υγρού ψυκτικού μέσου

Σκοπός του συγκεκριμένου εξαρτήματος είναι η συλλογή του συμπυκνωμένου ψυκτικού υγρού και η διάθεση του στο ψυκτικό κύκλωμα.

Πιο αναλυτικά, το συμπυκνωμένο ψυκτικό υγρό, καθώς επίσης και τυχόν υπολείμματα ατμού ψυκτικού μέσου που προέκυψαν κατά τη διεργασία της συμπύκνωσης στον εναλλάκτη του συμπυκνωτή, εισέρχονται στο συλλέκτη μέσω μιας βαλβίδας εισόδου που βρίσκεται στο πάνω μέρος του. Στο εσωτερικό του συλλέκτη επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των δύο φάσεων του ψυκτικού υγρού (αέριας και υγρής). Το συμπυκνωμένο ψυκτικό υγρό συγκεντρώνεται στο κάτω τμήμα του συλλέκτη, ενώ τα υπολείμματα ατμών παραμένουν στο πάνω τμήμα. Στη συνέχεια, μέσω ενός σωλήνα, το ελεύθερο άκρο του οποίου βρίσκεται στο κάτω τμήμα του συλλέκτη, το συμπυκνωμένο ψυκτικό υγρό αναρροφάται και τροφοδοτείται προς τη γραμμή υγρού του ψυκτικού δικτύου, μέσω μιας βαλβίδας εξόδου που βρίσκεται στο πάνω τμήμα του συλλέκτη.

Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται συνεχής τροφοδοσία κορεσμένου ψυκτικού υγρού προς την εκτονωτική βαλβίδα, για την επίτευξη της καλύτερης λειτουργικής απόδοσης του ψυκτικού κυκλώματος. Η τροφοδοσία ατμών ψυκτικού μέσου προς την εκτονωτική βαλβίδα παρεμποδίζει την πραγματοποίηση της υπόψυξης του ψυκτικού υγρού, η οποία αποτελεί βασικό βήμα για την επίτευξη του ψυκτικού κύκλου, επηρεάζοντας τη σωστή λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος.

Επιπλέον, ο συλλέκτης ψυκτικού μέσου χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του συνόλου της ποσότητας του ψυκτικού μέσου του ψυκτικού κυκλώματος στην περίπτωση που το κύκλωμα τίθεται εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα ή για την πραγματοποίηση επισκευαστικών εργασιών.



Εικόνα 3.14: Σύνδεση συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου στο ψυκτικό κύκλωμα

Ο συλλέκτης ψυκτικού μέσου σε υγρή κατάσταση τοποθετήθηκε μεταξύ του συμπυκνωτή και της εκτονωτικής διάταξης. Για την τοποθέτηση του συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια μεταλλική βάση στήριξης σχέδιο της οποίας παρατίθεται στο Παράρτημα 1.

Τέλος, η σύνδεσή του στο ψυκτικό δίκτυο έγινε δια συγκολλήσεως με τη μέθοδο της ομοιογενούς συγκόλλησης.

Δείκτης υγρού – υγρασίας

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε ένας δείκτης υγρού υγρασίας τύπος MI3S του οίκου GMC.



Εικόνα 3.15: Δείκτης υγρού - υγρασίας

Ο δείκτης υγρού - υγρασίας είναι ένα εξάρτημα οπτικού ελέγχου, η τοποθέτηση του οποίου στο ψυκτικό κύκλωμα έχει διπλό σκοπό. Αφενός αφορά τη δυνατότητα οπτικής παρακολούθησης της ροής του υγρού ψυκτικού μέσου και αφετέρου την παροχή ένδειξης ύπαρξης υγρασίας στο εσωτερικό του ψυκτικού δικτύου.

Πιο αναλυτικά:

i. Λειτουργία Δείκτη Υγρού:

Εάν στο δείκτη υγρού παρατηρείται «καθαρή» ροή υγρού ψυκτικού μέσου, χωρίς την παρουσία φυσαλίδων, αυτό υποδηλώνει την σωστή λειτουργία του συστήματος. Εάν κατά τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος παρατηρηθεί, μέσω του δείκτη υγρού, η εμφάνιση φυσαλίδων στη γραμμή υγρού, τότε υποδηλώνεται είτε η μη επαρκής συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου, είτε η ελλιπής φόρτιση του ψυκτικού κυκλώματος με ψυκτικό μέσο είτε η ύπαρξη κάποιου εμποδίου στη γραμμή υγρού. Επιπλέον, η παρουσία φυσαλίδων στη γραμμή υγρού επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος, παρεμποδίζοντας την πραγματοποίηση υπόψυξης του ψυκτικού υγρού.

ii. Λειτουργία Δείκτη Υγρασίας:

Ο δείκτης υγρασίας έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει το χρώμα του από πράσινο σε κίτρινο ανάλογα με το ποσοστό συγκέντρωσης της υγρασίας στο ψυκτικό κύκλωμα. Το πράσινο χρώμα υποδηλώνει ξηρές συνθήκες (καθόλου ή πολύ μικρό ποσοστό υγρασίας) και άρα σωστή λειτουργία του συστήματος. Ενδιάμεσος, ή κίτρινος χρωματισμός του δείκτη, υποδηλώνει αυξημένη συγκέντρωση υγρασίας, η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο ψυκτικό κύκλωμα.



Εικόνα 3.16: Σύνδεση δείκτη υγρού - υγρασίας

Ο δείκτης υγρού - υγρασίας στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε μετά το συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου προς απόδειξη της σωστής ή όχι λειτουργίας του συμπυκνωτή και του συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου. Τέλος, η σύνδεσή του στο ψυκτικό δίκτυο έγινε δια συγκολλήσεως με τη μέθοδο της ομοιογενούς συγκόλλησης.

Φίλτρο - Ξηραντής

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε ένα φίλτρο - ξηραντής του οίκου Emerson.



Εικόνα 3.17: Φίλτρο - Ξηραντής

Το φίλτρο - ξηραντής είναι ένα εξάρτημα σχεδιασμένο για την προστασία του ψυκτικού κυκλώματος από την υγρασία και τα διάφορα μικροσωματίδια που μπορεί να εμφανιστούν στο εσωτερικό του και δύναται να του προκαλέσουν σοβαρά λειτουργικά προβλήματα.

Πιο συγκεκριμένα:

Η ύπαρξη υγρασίας στο εσωτερικό του ψυκτικού κυκλώματος μπορεί να προκαλέσει τοπικά φαινόμενα παγοφραγμού στην εκτονωτική διάταξη, καθώς η ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τους 0 °C. Η δημιουργία πάγου στην εκτονωτική διάταξη παρεμποδίζει την ομαλή ροή του ψυκτικού μέσου στο ψυκτικό κύκλωμα και ενδέχεται να καταστρέψει το μηχανισμό στραγγαλισμού. Επιπλέον, η υγρασία οξειδώνει τα μεταλλικά μέρη του ψυκτικού κυκλώματος και δύναται να αντιδράσει με τα έλαια του συμπιεστή προς το σχηματισμό διαβρωτικών οξέων. Η συγκράτηση της υγρασίας επιτυγχάνεται με ένα πορώδες υλικό, συνήθως από ενεργή αλουμίνα ή οξείδιο του πυριτίου, μέσα από το οποίο διέρχεται το ψυκτικό μέσο.

Τυχόν μικροσωματίδια που κυκλοφορούν στο εσωτερικό του ψυκτικού κυκλώματος μπορεί να συσσωρευτούν σε κάποια σημεία, παρεμποδίζοντας την ομαλή ροή του ψυκτικού μέσου, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στα κινούμενα μηχανικά μέρη του συμπιεστή και της εκτονωτικής βαλβίδας. Η συγκράτηση των σωματιδίων με ψιλές σίτες.



Εικόνα 3.18: Σύνδεση Φίλτρου - Ξηραντή στο ψυκτικό κύκλωμα

Το φίλτρο - ξηραντής τοποθετήθηκε στην πειραματική διάταξη μετά το δείκτη ροής και πριν την εκτονωτική βαλβίδα, ενώ η σύνδεση του έγινε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.

Πιεσοστάτης υψηλής πίεσης

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε ένας πιεσοστάτης υψηλής πίεσης του οίκου Eliwell.



Εικόνα 3.19: Πιεσοστάτης υψηλής πίεσης

Ο πιεσοστάτης υψηλής πίεσης είναι ένα όργανο με ασφαλιστική ιδιότητα. Πιο συγκεκριμένα, είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που τοποθετείται στο τμήμα υψηλής πίεσης του ψυκτικού κυκλώματος για να εξασφαλίσει ένα ανώτατο όριο πίεσης λειτουργίας. Στην περίπτωση που η πίεση ξεπεράσει αυτό το όριο, ο πιεσοστάτης υψηλής πίεσης διακόπτει τη λειτουργία της διάταξης, προστατεύοντας έτσι το τμήμα υψηλής πίεσης του ψυκτικού δικτύου (συμπιεστής, συμπυκνωτή, σωληνώσεις).

Η ψυκτική σύνδεση του πιεσοστάτη έγινε με τη χρήση τριχοειδή σωλήνα στο τμήμα υψηλής πίεσης του ψυκτικού κυκλώματος, ενώ η ηλεκτρική του σύνδεση έγινε σε σειρά με τα όργανα που αφορούν τον έλεγχο λειτουργίας του συμπιεστή. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος πιεσοστάτης διαθέτει κουμπί για χειροκίνητη επαναφορά της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε περίπτωση που αυτή έχει διακοπεί λόγω ανάπτυξης υψηλών πιέσεων στο ψυκτικό κύκλωμα.

Μανόμετρα

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν δυο (2) μανόμετρα γλυκερίνης του οίκου P&M.



Εικόνα 3.20: Μανόμετρο γλυκερίνης

Τα μανόμετρα παρέχουν ένδειξη των πιέσεων λειτουργίας της πειραματικής διάταξης, για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε ένα μανόμετρο στο τμήμα υψηλής πίεσης (πίεση κατάθλιψης συμπιεστή) και ένα στο τμήμα χαμηλής πίεσης (πίεση αναρρόφησης συμπιεστή). Επιπλέον, τα συγκεκριμένα μανόμετρα παρέχουν και ένδειξη της θερμοκρασίας εξάτμισης του ψυκτικού μέσου για κάθε τιμή της πίεσης.



Εικόνα 3.21: Μανόμετρο υψηλής πίεσης



Εικόνα 3.22: Μανόμετρο χαμηλής πίεσης

Με τη χρήση των ενδείξεων των μανομέτρων επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των σημείων λειτουργίας των τμημάτων υψηλής και χαμηλής πίεσης του ψυκτικού κυκλώματος, εξυπηρετώντας την επιτήρηση της σωστής λειτουργίας της πειραματικής διάταξης.

Η σύνδεση των μανομέτρων στο ψυκτικό κύκλωμα έγινε με τη χρήση τριχοειδών σωλήνων στο τμήμα υψηλής πίεσης και στο τμήμα χαμηλής πίεσης του ψυκτικού κυκλώματος, αντίστοιχα.

3.1.2.3 Δίκτυο σωληνώσεων

Όλες οι συσκευές και τα εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος συνδέθηκαν μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων. Δημιουργήθηκε έτσι ένα κλειστό κύκλωμα στο εσωτερικό του οποίου ρέει το ψυκτικό μέσο.

Το δίκτυο σωληνώσεων του ψυκτικού κυκλώματος έχει δομηθεί από μαλακούς χαλκοσωλήνες (προδιαγραφών σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα ASTM B-280), κατάλληλους για ψυκτικά μέσα, καθώς επίσης και από χάλκινα και ορειχάλκινα εξαρτήματα σύνδεσης.



Standard size	Outside Diameter		Wall Thickness		Nominal Weight	Safe Working Internal Pressures			
						150°F ~ S=9000psi		300°F ~ S=8700psi	
in	in	mm	in	mm	kgs /5.8 m	Psi	kPa	Psi	kPa
3/8"	0.375	9.52	0.030	0.76	1.08	1363	9397	1317	9080
1/2"	0.500	12.70	0.035	0.89	1.71	1189	8198	1150	7929
5/8"	0.625	15.90	0.040	1.02	2.46	1087	7494	1050	7239
3/4"	0.750	19.10	0.042	1.07	3.12	940	6481	909	6267
7/8"	0.875	22.20	0.045	1.14	3.90	867	5977	838	5778
1 1/8"	1.125	28.60	0.050	1.27	5.63	740	5102	716	4936
1 3/8"	1.375	34.90	0.055	1.40	7.62	666	4592	644	4440
1 5/8"	1.625	41.30	0.060	1.52	9.81	614	4233	594	4095
2 1/8"	2.125	54.00	0.070	1.78	15.09	545	3757	527	3633
2 5/8"	2.625	66.70	0.080	2.03	21.31	505	3481	488	3364
3 1/8"	3.125	79.40	0.090	2.29	28.67	475	3275	459	3164
3 5/8"	3.625	92.10	0.100	2.54	36.93	456	3144	441	3040
4 1/8"	4.125	104.80	0.110	2.79	46.21	440	3033	425	2930

Εικόνα 3.23: Μαλακοί χαλκοσωλήνες (προδιαγραφών σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα ASTM B-280)

Η διασύνδεση των μερών του δικτύου σωληνώσεων μεταξύ τους, αλλά και με τις συσκευές και τα εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος, έγινε είτε δια συγκολλήσεως είτε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.

Η δια συγκολλήσεως διασύνδεση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ομοιογενούς συγκόλλησης, με τη χρήση σκληρής χαλκοκόλλησης.

Για τις λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της εκχείλωσης. Η εκχείλωση των σωλήνων έγινε με τη χρήση ειδικών εργαλείων εκχείλωσης και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν ορειχάλκινα ρακόρ σύνδεσης, ενώ για τη στεγανοποίηση των συνδέσεων χρησιμοποιήθηκε ειδικό υγρό στεγανοποίησης.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του ψυκτικού κυκλώματος πραγματοποιήθηκε δοκιμή στεγανότητας του δικτύου με άζωτο (N₂) υπό πίεση στα 25 bar. Κατόπιν, αφαιρέθηκε το άζωτο, με τη χρήση ειδικής αντλίας ανάκτησης, ενώ με τη βοήθεια αντλίας κενού δημιουργήθηκε κενό στο ψυκτικό κύκλωμα. Η δημιουργία κενού αποσκοπεί στην απομάκρυνση τυχόν μη συμπτυνώσιμων αερίων, προς αποφυγή της μείωσης της ενεργούς επιφάνειας του συμπυκνωτή και της αύξησης των πιέσεων λειτουργίας, καθώς επίσης και στην απομάκρυνση υγρασίας, μιας και η παρουσία της ενέχει τον κίνδυνο δημιουργίας διαβρώσεων σε συσκευές και εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος, αλλά και αποσύνθεσης του ψυκτικού μέσου.

Επιπλέον, έγινε χρωματισμός των σωληνώσεων βάση των συνθηκών που επικρατούν σε κάθε γραμμή του ψυκτικού δικτύου.

Η γραμμή κατάθλιψης από το συμπιεστή προς το συμπυκνωτή χρωματίστηκε κόκκινη, καθώς στο εσωτερικό της επικρατούν συνθήκες υψηλών πιέσεων και πολύ υψηλών θερμοκρασιών, ενώ το ψυκτικό μέσο βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.



Εικόνα 3.24: Χρωματισμός γραμμής κατάθλιψης

Η γραμμή υγρού από το συμπυκνωτή προς τη θερμοεκτονωτική βαλβίδα χρωματίστηκε μωβ, καθώς στο εσωτερικό της επικρατούν συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών, ενώ το ψυκτικό μέσο βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.



Εικόνα 3.25: Χρωματισμός γραμμής υγρού

Η γραμμή αναρρόφησης από τον εξατμιστή προς το συμπιεστή χρωματίστηκε ανοικτή μπλε, καθώς στο εσωτερικό της επικρατούν συνθήκες χαμηλών πιέσεων και θερμοκρασιών, ενώ το ψυκτικό μέσο βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.



Εικόνα 3.26: Χρωματισμός γραμμής αναρρόφησης

Αφού ολοκληρώθηκαν οι παραπάνω διαδικασίες ακολούθησε η πλήρωση του ψυκτικού κυκλώματος με συμπιεσμένο ψυκτικό μέσο σε αέρια μορφή.

3.1.2.4 Ψυκτικό μέσο

Στην πειραματική διάταξη ως ψυκτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το R-134a.



Εικόνα 3.27: Ψυκτικό μέσο R-134a

Το R-134a, με χημική ονομασία 1,1,1,2-Τετραφθοροαιθάνιο ($C_2H_2F_4$), είναι στην ουσία ένας υδροφθοράνθρακας (hydrofluorocarbon, HFC). Παρουσιάζει αρκετά χαμηλή θερμοκρασία βρασμού, της τάξης $-26.07^{\circ}C$ υπό ατμοσφαιρική πίεση, και μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, της τάξης $217kJ/kg$ σε πίεση 1atm. Είναι άχρωμο, με ανεπαίσθητη αιθέρια οσμή και δεν προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα ή τα μάτια, τουλάχιστον για τις συνήθεις συγκεντρώσεις χρησιμοποίησής του. Είναι κλάσης επικινδυνότητας A1, δηλαδή έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα, δεν είναι εύφλεκτο, δεν είναι εκρηκτικό (σε κανονικές συνθήκες) και μπορεί να ανιχνευθεί εύκολα με ανιχνευτές HFCs. Επιπρόσθετα, παρουσιάζει χαμηλό (συγκριτικά με άλλα ψυκτικά μέσα) δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential, GWP) της τάξης 1430, ενώ το δυναμικό καταστροφής του όζοντος (Ozone Depletion Potential, ODP) είναι μηδενικό, δίνοντάς του το χαρακτηρισμό του περιβαλλοντικά φιλικού ψυκτικού μέσου.



Εικόνα 3.28: Τυποποίηση R-134a

Το συγκεκριμένο ψυκτικό μέσο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην πειραματική διάταξη, καθώς είναι το πλέον διαδεδομένο ψυκτικό μέσο για μικρές ψυκτικές εγκαταστάσεις και είναι πλήρως συμβατό με όλες της συσκευές και τα εξαρτήματα της πειραματικής διάταξης χωρίς να δημιουργείται κίνδυνος διαβρώσεων και οξειδώσεων των μερών του ψυκτικού κυκλώματος. Επιπλέον, το γεγονός ότι το συγκεκριμένο ψυκτικό μέσο είναι ασφαλές για τον άνθρωπο και φιλικό προς το περιβάλλον αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την χρήση του στην πειραματική διάταξη.

3.1.3 Ηλεκτρικό Κύκλωμα

Το ηλεκτρικό κύκλωμα της πειραματικής διάταξης έχει δομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής και ταυτόχρονα πρακτική λειτουργία της κατά την εκτέλεση πειραμάτων. Περιλαμβάνει τους διακόπτες χειρισμού της πειραματικής διάταξης, τις καλωδιώσεις που τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια της συσκευές της διάταξης, καθώς επίσης και τα όργανα ασφαλείας, ελέγχου και μετρήσεων της διάταξης.

**Στο Παράρτημα 1 παρατίθεται το ηλεκτρικό διάγραμμα συνδεσμολογίας της διάταξης.

3.1.3.1 Διακόπτες χειρισμού

Για τον χειρισμό της πειραματικής διάταξης τοποθετήθηκαν τέσσερις (4) διακόπτες τύπου mosaic του οίκου Legrand.



Εικόνα 3.29: Διακόπτης

Οι διακόπτες αυτοί παρέχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονου χειρισμού και ελέγχου. Ελέγχου, διότι κάθε διακόπτης φέρει ενδεικτική λυχνία μέσω της οποίας υποδηλώνεται η ενεργοποίηση του αντίστοιχου υποκυκλώματος.

Αναλυτικότερα:

- i. Γενικός διακόπτης ελέγχου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης: Με την ενεργοποίησή του τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα όλα τα ηλεκτρικά υποκυκλώματα ένδειξης και ελέγχου της διάταξης.
- ii. Διακόπτης ελέγχου λειτουργίας συμπιεστή: Εκκίνηση και παύση της λειτουργίας του συμπιεστή και συνεπώς του ψυκτικού κυκλώματος.
- iii. Διακόπτης ελέγχου λειτουργίας κυκλοφορητή υδραυλικού κυκλώματος δοχείου συμπυκνωτή: Εκκίνηση και παύση λειτουργίας κυκλοφορητή.
- iv. Διακόπτης ελέγχου λειτουργίας κυκλοφορητή υδραυλικού κυκλώματος δοχείου εξατμιστή: Εκκίνηση και παύση λειτουργίας κυκλοφορητή.



Εικόνα 3.30: Διακόπτες χειρισμού πειραματικής διάταξης

3.1.3.2 Όργανα ασφάλειας, ελέγχου και μετρήσεων

Για τον έλεγχο της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης και τη μέτρηση των πειραματικών μεγεθών έχουν τοποθετηθεί διάφορα όργανα.

Ρελέ

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκε ένα ρελέ του οίκου hager.



Εικόνα 3.31: Ρελέ

Το συγκεκριμένο όργανο αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη (πηνίο), τον οπλισμό του πηνίου και ηλεκτρικές επαφές (διακόπτες). Στην ουσία, ένα ρελέ είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ενεργοποιείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη (πηνίο).

Όταν το ηλεκτρικό πηνίο ενεργοποιηθεί ο οπλισμός του πηνίου μετακινείται και μετακινεί τις ηλεκτρικές επαφές οι οποίες αλλάζουν την κατάσταση. Δηλαδή εάν σε ηρεμία είναι ανοικτές όταν ενεργοποιηθεί το πηνίο κλείνουν και επιτρέπουν να περάσει ρεύμα ή οποιοδήποτε σήμα απαιτεί η εγκατάσταση.

Η χρήση του ρελέ είναι απαραίτητη για τον έλεγχο εξαρτημάτων μεγάλης ισχύος, στην προκειμένη περίπτωση του ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή.

Το τμήμα των επαφών του ρελέ τροφοδοτείται από το κύκλωμα ισχύος. Το κύκλωμα ισχύος είναι κύκλωμα που διαρρέεται από ρεύμα μεγάλης έντασης ανάλογα με την εφαρμογή.

Το τμήμα του πηνίου ελέγχεται και τροφοδοτείται από το κύκλωμα αυτοματισμού. Το κύκλωμα αυτοματισμού θα μπορούσε να τροφοδοτείται από χαμηλή τάση πχ 24V. Επιπλέον επειδή το κάθε πηνίο είναι κατασκευασμένο από σύρμα μικρής διατομής θα άρα μεγάλης αντίστασης διαρρέεται από ρεύμα μικρής έντασης.

Αρά με την χρήση του ρελέ είναι δυνατός ο έλεγχος λειτουργίας κυκλωμάτων ισχύος . Στο κύκλωμα χαμηλής ισχύος συνάδονται όλα τα εξαρτήματα από τα οποία θα πάρει εντολή να ενεργοποιηθεί το ρελέ στην προκειμένη περίπτωση οι θερμοστάτες και ο πρεσοστάτης υψηλής πίεσης.

Πολυόργανο μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών

Για την πλήρη απεικόνιση του σημείου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης, εκτός από τη μέτρηση θερμοκρασιών, παροχής νερού και πίεσης ψυκτικού μέσου απαιτείται η μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών που σχετίζονται με τη λειτουργία της. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε ένας μετρητής ενέργειας τύπου ECP180D του οίκου Hager.



Εικόνα 3.32: Πολυόργανο μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών

Ο συγκεκριμένος μετρητής παρέχει μετρήσεις των εξής μεγεθών:

- i. Τάση (V)
- ii. Ένταση ρεύματος (A)
- iii. Συχνότητα (Hz)
- iv. Συντελεστής ισχύος
- v. Ενεργός ενέργεια (kWh)
- vi. Ενεργός ισχύς (kW)
- vii. Άεργος ισχύς (kVAr)
- viii. Φαινόμενη ισχύς (kVA)

Θερμόμετρα – Θερμοστάτες

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν δύο (2) ψηφιακά θερμόμετρα - θερμοστάτες τύπου TCN4S του οίκου Autonics. Τα συγκεκριμένα ψηφιακά θερμόμετρα - θερμοστάτες παρέχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης και ελέγχου της θερμοκρασίας του διαρρέοντος νερού στο υδραυλικό κύκλωμα της πειραματικής διάταξης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του διαρρέοντος νερού είναι επιθυμητός για την προστασία της πειραματικής διάταξης και την ασφάλεια των χειριστών της.



Εικόνα 3.33: Θερμόμετρο - Θερμοστάτης τύπου TCN4S

- i. Θερμοστάτης 1: Ένδειξη και έλεγχος της θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του συμπυκνωτή
- ii. Θερμοστάτης 2: Ένδειξη και έλεγχος της θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του εξατμιστή

Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο θερμόμετρο - θερμοστάτης έχει ρυθμιστεί να ελέγχει τη θερμοκρασία του νερού εξόδου από το δοχείο του συμπυκνωτή, έτσι ώστε να μην υπερβεί τους 60°C. Το δεύτερο θερμόμετρο - θερμοστάτης έχει ρυθμιστεί να ελέγχει τη θερμοκρασία εξόδου του νερού από το δοχείο του εξατμιστή έτσι ώστε να μην πέσει κάτω από τους 5°C και υπάρξει ο κίνδυνος δημιουργίας πάγου.

Οι εντολές των δύο θερμοστατών είναι συνδεδεμένες σε σειρά με τον συμπιεστή του ψυκτικού κυκλώματος έτσι ώστε στην περίπτωση που η θερμοκρασία ρύθμισής τους ξεπεράσει τα επιθυμητά όρια να διακοπεί η λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος.

Θερμόμετρα

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν έξι (6) ψηφιακά θερμόμετρα τύπου TCN4S του οίκου Autonics. Επί της ουσίας είναι ο ίδιος τύπος οργάνου με τα ψηφιακά θερμόμετρα – θερμοστάτες, μόνο που σε αυτά δεν χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία ελέγχου της θερμοκρασίας.

Τα ψηφιακά θερμόμετρα τοποθετήθηκαν στην πειραματική διάταξη για να παρέχουν μετρήσεις των θερμοκρασιών των ρευστών τόσο στο ψυκτικό όσο και στο υδραυλικό κύκλωμα (ψυκτικό μέσο και νερό) κατά τη λειτουργίας της.



Εικόνα 3.34: Θερμόμετρο τύπου TCN4S

Πιο συγκεκριμένα τα ψηφιακά θερμόμετρα παρέχουν ένδειξη θερμοκρασίας για τα εξής σημεία:

Για το υδραυλικό κύκλωμα:

- i. Θερμόμετρο 1: Ένδειξη θερμοκρασίας νερού εισόδου στο δοχείο του συμπυκνωτή
- ii. Θερμόμετρο 2: Ένδειξη θερμοκρασίας νερού εισόδου στο δοχείο του εξατμιστή

Για το ψυκτικό κύκλωμα:

- iii. Θερμόμετρο 3: Ένδειξη θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στο συμπυκνωτή
- iv. Θερμόμετρο 4: Ένδειξη θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από το συμπυκνωτή
- v. Θερμόμετρο 5: Ένδειξη θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον εξατμιστή
- vi. Θερμόμετρο 6: Ένδειξη θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον εξατμιστή

Αισθητήρια

Κάθε ψηφιακό θερμόμετρο, θερμόμετρο - θερμοστάτης για την ανάγνωση της θερμοκρασίας στα διάφορα σημεία ενδιαφέροντος χρησιμοποιεί από ένα αισθητήριο θερμοκρασίας.

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν οκτώ (8) θερμοστοιχεία τύπου j. Τα συγκεκριμένα θερμοστοιχεία είναι αισθητήρια επαφής διμεταλλικού τύπου και είναι τοποθετημένα επί των σωληνώσεων του ψυκτικού και του υδραυλικού κυκλώματος της πειραματικής διάταξης.



Εικόνα 3.35: Θερμοστοιχείο τύπου j

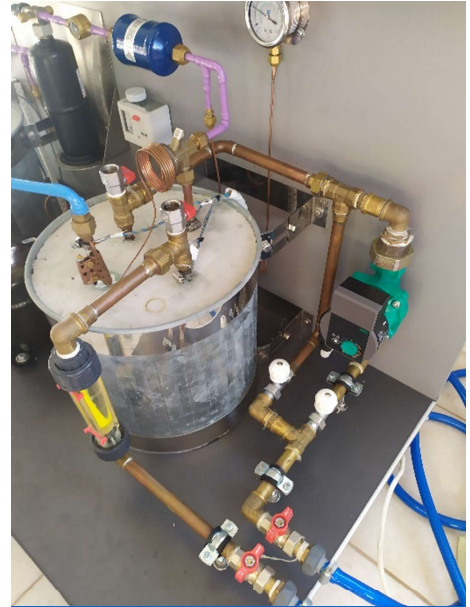
Ο συγκεκριμένος τύπος αισθητηρίου παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές, προσδίδοντας του τη δυνατότητα άμεσης απόκρισης στην ανάγνωση θερμοκρασιών. Το πλεονέκτημα αυτό αποτέλεσε και το βασικό κριτήριο για την επιλογή του συγκεκριμένου τύπου αισθητηρίου, μιας και οι θερμοκρασιακές μεταβολές του ψυκτικού μέσου είναι ταχύτατες. Επιπλέον, άλλο ένα κριτήριο αποτέλεσε η συμβατότητά του αισθητηρίου αυτού με τα όργανα μέτρησης θερμοκρασίας.

3.1.4 Υδραυλικό κύκλωμα

Όπως έχει προαναφερθεί, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής κατασκευάστηκε μία διάταξη αντλίας θερμότητας νερού – νερού. Για το λόγο αυτό, το υδραυλικό κύκλωμα της πειραματικής διάταξης αποτελείται από δύο επί μέρους, ομοιόμορφα υδραυλικά κυκλώματα, το ένα συνδεδεμένο στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή και το άλλο συνδεδεμένο στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή.

Κάθε ένα από τα επιμέρους υδραυλικά κυκλώματα παρέχει τη δυνατότητα απόδοσης του παραγόμενου θερμού νερού από το συμπυκνωτή και του ψυχρού νερού από τον εξατμιστή αντίστοιχα. Και τα δύο επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα έχουν δομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε η πειραματική διάταξη να έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με εξωτερικά ανοικτά ή κλειστά κυκλώματα θερμού και ψυχρού νερού, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες των πειραμάτων.

Κάθε υδραυλικό κύκλωμα χωρίζεται σε δύο τμήματα, το τμήμα εισόδου του νερού στο δοχείο του εναλλάκτη και το τμήμα εξόδου του νερού από το δοχείο του εναλλάκτη.



Εικόνα 3.36: Υδραυλικό κύκλωμα δοχείου συμπυκνωτή (αριστερά) και υδραυλικό κύκλωμα δοχείου εξατμιστή (δεξιά)

Το τμήμα εξόδου του νερού από το δοχείο του εναλλάκτη διαθέτει δύο κλάδους, έναν εξωτερικό και ένα εσωτερικό. Όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια η ύπαρξη των δύο κλάδων εξυπηρετεί στη διασύνδεση των επί μέρους υδραυλικών κυκλωμάτων της διάταξης σε ανοικτά ή κλειστά κυκλώματα νερού.

Τα επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα είναι παρόμοια στην κατασκευή τους και αποτελούνται από συσκευές και εξαρτήματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

3.1.4.1 Σφαιρικοί διακόπτες ροής νερού

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν τέσσερις (4) σφαιρικοί διακόπτες (ball valves), ένας σε κάθε άκρο των επί μέρους υδραυλικών κυκλωμάτων.



Εικόνα 3.37: Σφαιρικοί διακόπτες ροής νερού

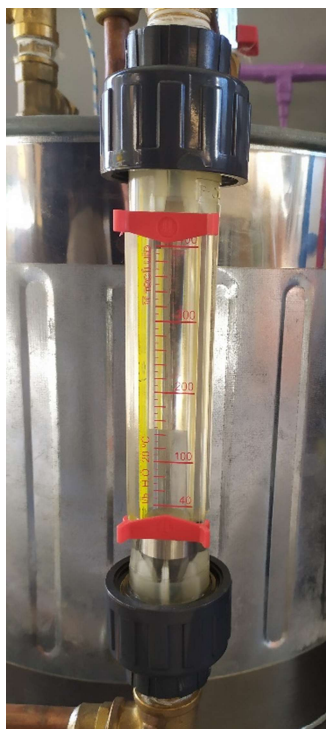
Οι διακόπτες αυτοί παρέχουν τη δυνατότητα διακοπής της ροής του νερού κατά τη σύνδεση ή την αποσύνδεση της πειραματικής διάταξης με τα εξωτερικά κυκλώματα θερμού και ψυχρού νερού.

Η σύνδεση των σφαιρικών διακοπών στο υδραυλικό κύκλωμα έγινε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.

3.1.4.2 Ροόμετρα

Για την μέτρηση της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών τοποθετήθηκαν δύο (2) ροόμετρα, ένα για το δοχείο του συμπυκνωτή και ένα για το δοχείο του εξατμιστή.

Τοποθετήθηκαν δύο (2) ροόμετρα τύπου PS3113-0400 του οίκου Tecfluid, με ένδειξη παροχής σε βαθμονομημένη κλίμακα $\frac{L}{h}$ και δυνατότητα παροχής εύρους 40-400 $\frac{L}{h}$. Κάθε ένα από τα ροόμετρα αποτελείται από έναν πλαστικό κωνικό σωλήνα στο εσωτερικό του οποίου είναι τοποθετημένος ένας κωνικός πλωτήρας. Η ροή του διερχόμενου από τον σωλήνα νερού ωθεί τον πλωτήρα σε ένα σημείο ισορροπίας. Το σημείο ισορροπίας που λαμβάνεται μεταξύ του πλωτήρα και του σωλήνα είναι ανάλογο της παροχής νερού και με τη χρήση της βαθμονομημένης κλίμακας μπορεί να ληφθεί ακριβής μέτρηση παροχής νερού σε $\frac{L}{h}$.



Εικόνα 3.38: Ροόμετρο τύπου PS3113-0400

Με κριτήριο τη μέτρηση της παροχής νερού, δύναται να ρυθμιστεί με ακρίβεια η παροχή νερού στα δοχεία των εναλλακτών. Η ρύθμιση αυτή πραγματοποιείται είτε με άνοιγμα είτε με στραγγαλισμό της ροής του νερού, με τη χρήση κατάλληλων ρυθμιστικών βανών.

Η σύνδεση των ροομέτρων στο υδραυλικό κύκλωμα έγινε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.

3.1.4.3 Κυκλοφορητές

Για τη διασύνδεση της πειραματικής διάταξης με εξωτερικά κλειστά κυκλώματα νερού απαιτείται βεβαιωμένη κυκλοφορία του νερού μέσα στο υδραυλικό κύκλωμα, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη χρήση κυκλοφορητών.

Στην πειραματική διάταξη τοποθετήθηκαν δύο (2) κυκλοφορητές τύπου Yonos Pico 25/1-6 τεχνολογίας inverter του γερμανικού οίκου Wilo, ένας σε κάθε ένα από τα επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα.



Εικόνα 3.39: Κυκλοφορητής τύπου Yonos Pico 25/1-6

Οι κυκλοφορητές είναι υδρολύπαντοι και έχουν τοποθετηθεί στην έξοδο των δοχείων των εναλλακτών. Ο έλεγχος λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα κάθε κυκλοφορητή γίνεται με μια ηλεκτρονική διάταξη μεταβολής της συχνότητας του ρεύματος (inverter), η οποία εμπεριέχεται στους κυκλοφορητές. Ο λόγος που επιλέχθηκαν τέτοιου τύπου κυκλοφορητές είναι ότι παρέχουν τη δυνατότητα μεταβολής της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με της ανάγκες σε παροχή νερού, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη μεγιστοποίηση του βαθμού αποδόσεως της πειραματικής διάταξης και την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας.



Εικόνα 3.40: Σύνδεση κυκλοφορητή στο υδραυλικό κύκλωμα

Η σύνδεση των κυκλοφορητών στα επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα έγινε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.

3.1.4.4 Ρυθμιστικές βάνες παροχής νερού

Όπως, προαναφέρθηκε στα υδραυλικά κυκλώματα της πειραματικής διάταξης, τοποθετήθηκαν ρυθμιστικές βάνες για την ακριβή ρύθμιση της παροχής νερού, ανάλογα με τις απαιτήσεις λειτουργίας της.

Στο σύνολό τους τοποθετήθηκαν τέσσερις (4) περιστροφικές ρυθμιστικές βάνες τύπου έδρας (globe valves).



Εικόνα 3.41: Ρυθμιστικές βάνες παροχής νερού

Τα σημεία τοποθέτησης των ρυθμιστικών βανών είναι στο τμήμα του υδραυλικού κυκλώματος μετά την έξοδο του δοχείου του εκάστοτε εναλλάκτη. Λόγω του ότι η πειραματική διάταξη έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με εξωτερικά ανοικτά ή κλειστά κυκλώματα θερμού και ψυχρού νερού, σε κάθε υδραυλικό κύκλωμα έχουν τοποθετηθεί δύο (2) ρυθμιστικές βάνες (μία για κάθε τύπο διασύνδεσης).

Στην περίπτωση που η πειραματική διάταξη συνδέεται σε κλειστό κύκλωμα νερού, η παροχή του νερού ρυθμίζεται με τη χρήση της ρυθμιστικής βάνας που βρίσκεται στον εξωτερικό κλάδο μετά τον κυκλοφορητή ενώ η ρυθμιστική βάνα που βρίσκεται στον εσωτερικό κλάδο κλείνει τελείως, ώστε να μην υπάρχει ροή νερού σε αυτόν.

Στην περίπτωση που η πειραματική διάταξη συνδέεται σε ανοικτό κύκλωμα νερού, η ρυθμιστική βάνα που βρίσκεται στον εξωτερικό κλάδο μετά τον κυκλοφορητή κλείνει τελείως, με αποτέλεσμα τη διακοπή της ροής νερού στον κλάδο αυτό και τη δημιουργία παράκαμψης (by pass) της ροής προς τον εσωτερικό κλάδο. Έτσι, σε αυτήν την περίπτωση η παροχή νερού ρυθμίζεται με τη χρήση της ρυθμιστικής βάνας που βρίσκεται στον εσωτερικό κλάδο.

3.1.4.5 Δίκτυο σωληνώσεων

Το δίκτυο σωληνώσεων κάθε κυκλώματος έχει δομηθεί από ημίσκληρους χαλκοσωλήνες κατάλληλους για νερό, καθώς επίσης από χάλκινα και ορειχάλκινα εξαρτήματα σύνδεσης.

Η διασύνδεση των μερών του δικτύου σωληνώσεων μεταξύ τους, αλλά και με όλα τα παρελκόμενα του υδραυλικού κυκλώματος, έγινε είτε δια συγκολλήσεως είτε με λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις.

Η δια συγκολλήσεως διασύνδεση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ετερογενούς συγκόλλησης, με τη χρήση κόλλησης η οποία είναι ένα μείγμα βασικότερων στοιχείων κασσίτερου και μόλυβδου.

Για τις λυόμενες κοχλιωτές συνδέσεις, ως παρέμβυσμα στεγανοποίησης χρησιμοποιήθηκε νήμα Teflon.

Τέλος, με την ολοκλήρωση της κατασκευής του υδραυλικού κυκλώματος πραγματοποιήθηκε έλεγχος στεγανότητας θέτοντας τα επί μέρους κυκλώματα υπό πίεση με αυξημένη παροχή νερού.

3.2 Πειραματική λειτουργία διάταξης αντλίας θερμότητας

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε λεπτομερής περιγραφή της δομής της πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας νερού - νερού, καθώς επίσης του σχεδιασμού και της διαδικασίας κατασκευής της. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της πειραματικής διάταξης πραγματοποιήθηκε σειρά πειραμάτων με στόχο τη δοκιμή, την κατανόηση και τη μελέτη της λειτουργίας της.

Όπως λοιπόν έχει προαναφερθεί, η πειραματική διάταξη είναι μια αντλία θερμότητας νερού – νερού η οποία διαθέτει δύο (2) εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου - νερού, τον συμπυκνωτή και τον εξατμιστή, μέσω των οποίων γίνεται απόδοση και απορρόφηση προς και από το νερό αντίστοιχα. Οι εν λόγω εναλλάκτες παρουσιάζουν μια πολλαπλότητα στη χρήση τους αφού καθένας έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης είτε με ανοικτό είτε με κλειστό κύκλωμα υγρού, ενώ επίσης η λειτουργία τους μπορεί να είναι είτε ανεξάρτητη είτε συνδυαστική. Ο τρόπος διασύνδεσης και λειτουργίας του καθενός (σε ανοικτό ή κλειστό κύκλωμα) επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες του διενεργούμενου, κάθε φορά, πειράματος.

Στα πλαίσια, λοιπόν, της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, αφορούν στη λειτουργία της πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας με ανοικτά κυκλώματα θερμού και ψυχρού νερού. Η επιλογή αυτή έγινε, αφού έπειτα από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι κατά τη χρήση κλειστών κυκλωμάτων η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού στα δοχεία των εναλλακτών γίνεται σχεδόν ακαριαία με αποτέλεσμα, πρώτον τη δυσκολία στην καταγραφή των μετρήσεων και δεύτερον τη δυσκολία στη λήψη επαρκούς αριθμού μετρήσεων.

Αντιθέτως, κατά τη χρήση ανοικτών κυκλωμάτων θερμού και ψυχρού νερού, η μεταβολή- παρακολούθηση-καταγραφή των θερμοκρασιών είναι ευκολότερη και άρα εφικτή. Επίσης, η λειτουργία της συσκευής παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα πράγμα που συμβάλλει στην καλύτερη και ορθότερη επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων.

3.2.1 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Κάθε πείραμα εκτελείται κάτω από ορισμένες ελεγχόμενες συνθήκες, οι οποίες παραμένουν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του. Στην παρούσα πειραματική διαδικασία οι εν λόγω συνθήκες είναι:

1. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου στο θερμό δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank}_{in}}$ [°C])

2. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου στο ψυχρό δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_in}} [^{\circ}\text{C}]$)
3. Η παροχή νερού στο θερμό δοχείο του συμπυκνωτή ($\dot{m}_{\text{hot_tank}} \left[\frac{\text{L}}{\text{h}} \right]$)
4. Η παροχή νερού στο ψυχρό δοχείο του εξατμιστή ($\dot{m}_{\text{cold_tank}} \left[\frac{\text{L}}{\text{h}} \right]$)

Μόνο αφού προσδιοριστούν οι παραπάνω συνθήκες, μπορεί να ξεκινήσει η εκτέλεση ενός πειράματος.

Κάθε πείραμα στην ουσία ξεκινά με την εκκίνηση της λειτουργίας του συμπιεστή και ολοκληρώνεται με την παύση της, η οποία συνεπάγεται τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Ο χρόνος εκτέλεσης του συμπιεστή καθορίστηκε στα 30min. Η επιλογή αυτή χρονικό διάστημα κατά το οποίο λαμβάνονται ανά 1min μετρήσεις:

1. Θερμοκρασίας του νερού εισόδου στο δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank_in}} [^{\circ}\text{C}]$)
2. Θερμοκρασίας του νερού εισόδου στο δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_in}} [^{\circ}\text{C}]$)
3. Θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank_out}} [^{\circ}\text{C}]$)
4. Θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_out}} [^{\circ}\text{C}]$)
5. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον συμπυκνωτή ($T_{\text{ref_condenser_in}} [^{\circ}\text{C}]$)
6. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον συμπυκνωτή ($T_{\text{ref_condenser_out}} [^{\circ}\text{C}]$)
7. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον εξατμιστή ($T_{\text{ref_evaporator_in}} [^{\circ}\text{C}]$)
8. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον εξατμιστή ($T_{\text{ref_evaporator_out}} [^{\circ}\text{C}]$)
9. Πίεσης κατάθλιψης του συμπιεστή [υψηλή πίεση (high pressure)] (**HP** [psi])
10. Πίεσης αναρρόφησης του συμπιεστή [χαμηλή πίεση (low pressure)] (**LP** [psi])
11. Ενεργού ισχύος ([kW])
12. Φαινόμενης ισχύος ([kVA])
13. Συντελεστή ισχύος (power factor) (**P – factor** [–])

Σημείωση: Το νερό που ρέει στα δύο επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα προέρχεται από την ίδια κεντρική παροχή, επομένως η θερμοκρασία του νερού εισόδου και στα δύο δοχεία αναμένεται να είναι η ίδια. Η λήψη δύο διαφορετικών μετρήσεων γίνεται για να υπάρξει πλήρης καταγραφή δεδομένων για κάθε δοχείο ξεχωριστά.

Επιπλέον, να σημειωθεί ότι η επιλογή του χρονικού διαστήματος των 30min για την εκτέλεση του πειράματος έγινε λόγω του ότι μετά τα 30min παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας του συμπιεστή με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή του.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί πληρότητα πειραματικών μετρήσεων, με στόχο την ολοκληρωμένη μελέτη της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης, δημιουργήθηκαν τρία (3) σενάρια εκτέλεσης πειραμάτων. Τα σενάρια αυτά διαμορφώθηκαν βάση των ελεγχόμενων συνθηκών, θερμοκρασίας νερού εισόδου και παροχής νερού στα δοχεία των δύο εναλλακτών.

- i. Σενάριο 1^ο: για τιμές μικρότερες των 17^οC
- ii. Σενάριο 2^ο: για εύρος τιμών από 17^οC έως 20^οC
- iii. Σενάριο 3^ο: για τιμές μεγαλύτερες των 20^οC

Κάθε σενάριο εκτελέστηκε για 9 διαφορετικούς συνδυασμούς μεταξύ των παροχών νερού εισόδου στα δοχεία των δύο εναλλακτών, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση που έχει η παροχή του νερού στα δοχεία των εναλλακτών, στο βαθμό απόδοσης της αντλίας θερμότητας.

Επιλέχθηκαν τρεις τιμές παροχών 260 L/h, 200 L/h και 140 L/h και με βάση αυτές δημιουργήθηκαν οι 9 διαφορετικοί συνδυασμοί όπως φαίνεται στον πίνακα παρακάτω.

Η επιλογή των τιμών παροχής νερού έγινε ως εξής: Το δίκτυο παροχής νερού έχει μέγιστη δυνατότητα παροχής περίπου 600 L/h. Επειδή τα δύο δοχεία των εναλλακτών τροφοδοτούνται από το ίδιο δίκτυο νερού ταυτόχρονα, η μέγιστη παροχή νερού με την οποία μπορούν να τροφοδοτούνται ταυτόχρονα είναι 300 L/h. Για το λόγο αυτό ως μέγιστη τιμή παροχής νερού επιλέχθηκαν τα 260 L/h προκειμένου να προλαμβάνονται τυχόν πτώσεις της πίεσης του δικτύου. Ως μέση τιμή παροχής νερού επιλέχθηκαν τα 200 L/h και ως ελάχιστη τα 140 L/h για να υπάρχει ένα μεγαλύτερο εύρος δοκιμαζόμενων παροχών το οποίο δεν θα δυσχεραίνει τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης.

Με αυτό τον τρόπο, βάση των ελεγχόμενων συνθηκών θερμοκρασίας νερού εισόδου και παροχών νερού στα δοχεία των δύο εναλλακτών δημιουργήθηκαν 27 διαφορετικά πειράματα. Για την αποφυγή σφαλμάτων και για την επαλήθευση των μετρούμενων τιμών κάθε πείραμα εκτελέστηκε και δεύτερη φορά. Συνοψίζοντας προσχεδιάστηκε η εκτέλεση 54 πειραμάτων για την καταγραφή μετρήσεων που θα οδηγήσουν στην ερμηνεία της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης.

	Θερμοκρασία νερού εισόδου στα δοχεία των εναλλακτών	Παροχή νερού στο θερμό δοχείο του συμπυκνωτή	Παροχή νερού στο ψυχρό δοχείο του εξατμιστή	Αριθμός επαναλήψεων
Σενάριο Α	<17°C	$260 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
		$200 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
		$140 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
Σενάριο Β	17°C έως 20°C	$260 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
		$200 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
		$140 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)

			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
Σενάριο C	>20°C	$260 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
		$200 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
		$140 \frac{L}{h}$	$260 \frac{L}{h}$	(x2)
			$200 \frac{L}{h}$	(x2)
			$140 \frac{L}{h}$	(x2)
Σύνολο				54

Πίνακας 3.1: Πρωτόκολλο εκτέλεσης πειραμάτων

3.2.2 Εκτέλεση πειραμάτων

Στη συνέχεια γίνεται, βήμα προς βήμα, αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθείται κατά την εκτέλεση του περάματος, αλλά και της προετοιμασίας που προηγείται αυτής.

- **Βήμα 1°:** Σύνδεση της πειραματικής διάταξης με την κεντρική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η τροφοδοσία της πειραματικής διάταξης, γίνεται μέσω ενός κεντρικού καλωδίου ρεύματος.

- **Βήμα 2°:** Ενεργοποίηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων της πειραματικής διάταξης.

Η ενεργοποίηση του ηλεκτρικού κυκλώματος της πειραματικής διάταξης, γίνεται με την ενεργοποίηση του γενικού διακόπτη λειτουργίας της. Με την ενεργοποίηση του γενικού διακόπτη ελέγχου λειτουργίας παρατηρείται η ενεργοποίηση των οργάνων μέτρησης (ψηφιακά θερμόμετρα-θερμοστάτες, ψηφιακά θερμόμετρα, πολυόργανο μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών), καθώς τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα όλα τα ηλεκτρικά υποκυκλώματα ελέγχου και ενδείξεων της διάταξης.

- **Βήμα 3°:** Σύνδεση της πειραματικής διάταξης με την κεντρική παροχή νερού.

Όπως, προαναφέρθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας η πειραματική διαδικασία αφορά στη λειτουργία της πειραματικής διάταξης σε διασύνδεση με εξωτερικά ανοικτά κυκλώματα νερού.

Επομένως, για κάθε ένα από τα επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα της πειραματικής διάταξης ακολουθείται η εξής διαδικασία προετοιμασίας:

Αρχικά, τα άκρα εισόδου και εξόδου νερού των υδραυλικών κυκλωμάτων συνδέονται με λάστιχα νερού, με την κεντρική παροχή νερού και σε ελεύθερη απορροή αντίστοιχα. Στη συνέχεια, οι σφαιρικοί διακόπτες ροής νερού στα άκρα (εισόδου-εξόδου) κάθε υδραυλικού κυκλώματος ρυθμίζονται στη θέση ΟΝ, ενώ ταυτόχρονα οι ρυθμιστικές βάνες παροχής νερού (στην προκειμένη περίπτωση οι ρυθμιστικές βάνες των εσωτερικών κλάδων) ρυθμίζονται στη μέγιστη δυνατή παροχή. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ροή νερού στα επί μέρους υδραυλικά κυκλώματα της πειραματικής διάταξης.

Τέλος, μετά τη διαδικασία προετοιμασίας των επί μέρους υδραυλικών κυκλωμάτων ξεκινά η παροχή νερού προς την πειραματική διάταξη.

➤ **Βήμα 4°:** Έλεγχος και ρύθμιση των συνθηκών εκτέλεσης του πειράματος.

Σε αυτό το στάδιο ρυθμίζονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και παροχής νερού εισόδου στα δοχεία των δύο εναλλακτών βάση των τιμών που προκαθορίζονται από το πειραματικό πρωτόκολλο.

Πιο συγκεκριμένα, για τη θερμοκρασία του νερού εισόδου στα δοχεία των εναλλακτών δεν πραγματοποιείται κάποια ρύθμιση. Μέσω της ένδειξης που παρέχουν τα ψηφιακά θερμόμετρα, επιβεβαιώνεται ότι η τιμή της βρίσκεται εντός των προκαθορισμένων, από το πειραματικό πρωτόκολλο, ορίων.

Για την παροχή νερού στα δοχεία των εναλλακτών, με τη χρήση των ενδείξεων των ροόμετρων, ρυθμίζεται η τιμή της μέσω των ρυθμιστικών βανών παροχής νερού. Όπως και με τη θερμοκρασία νερού εισόδου, η τιμή της παροχής νερού στο δοχείο κάθε εναλλάκτη ρυθμίζεται ώστε βάση του πειραματικού πρωτοκόλλου εντός των επιθυμητών ορίων.

Τέλος, η πειραματική διάταξη αφήνεται σε ηρεμία για μερικά λεπτά προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι οι συνθήκες εκτέλεσης του πειράματος έχουν σταθεροποιηθεί και δεν παρουσιάζουν κάποια μεταβολή.

Σημείωση: η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στα δοχεία των εναλλακτών επιβεβαιώνεται από τις ενδείξεις των τεσσάρων (4) ψηφιακών θερμομέτρων για τις θερμοκρασίες νερού εισόδου και εξόδου σε κάθε δοχείο. Οι τέσσερις (4) αυτές ενδείξεις θα πρέπει να μην παρουσιάζουν μεταξύ του απόκλιση μεγαλύτερη του ενός βαθμού Κελσίου, προκειμένου να θεωρηθεί ότι η θερμοκρασία νερού εισόδου στα δοχεία των εναλλακτών έχει σταθεροποιηθεί.

➤ **Βήμα 5°:** Καταγραφή πειραματικής μέτρησης μηδέν.

Αμέσως μετά τη ρύθμιση των συνθηκών εκτέλεσης του πειράματος και αφού αυτές έχουν σταθεροποιηθεί γίνεται η καταγραφή της πειραματικής μέτρησης μηδέν. Η μέτρηση μηδέν αποσκοπεί στην καταγραφή της αρχικής συνθήκης εκτέλεσης του πειράματος, η οποία αποτελεί μέτρο σύγκρισης κατά την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων προς εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων για τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης.

Κατά την καταγραφή της πειραματικής μέτρησης μηδέν καταγράφονται οι τιμές των εξής μεγεθών:

14. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου στο δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank}_{in}}$ [°C])

15. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου στο δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_in}}$ [°C])
16. Θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank_out}}$ [°C])
17. Θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_out}}$ [°C])
18. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον συμπυκνωτή ($T_{\text{ref_condenser_in}}$ [°C])
19. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον συμπυκνωτή ($T_{\text{ref_condenser_out}}$ [°C])
20. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον εξατμιστή ($T_{\text{ref_evaporator_in}}$ [°C])
21. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον εξατμιστή ($T_{\text{ref_evaporator_out}}$ [°C])
22. Πίεσης κατάθλιψης του συμπιεστή [υψηλή πίεση (high pressure)] (**HP** [psi])
23. Πίεσης αναρρόφησης του συμπιεστή [χαμηλή πίεση (low pressure)] (**LP** [psi])

Οι τιμές των παραπάνω μεγεθών καταγράφονται στο πειραματικό φύλλο έπειτα από την οπτική παρατήρηση των ενδείξεων των οργάνων μέτρησης (ψηφιακά θερμόμετρα-θερμοστάτες, ψηφιακά θερμόμετρα, μανόμετρα).

➤ **Βήμα 6°:** Ενεργοποίηση του ψυκτικού κυκλώματος.

Η ενεργοποίηση του ψυκτικού κυκλώματος πραγματοποιείται με την ενεργοποίηση του διακόπτη ελέγχου λειτουργίας του συμπιεστή. Με την εκκίνηση της λειτουργίας του συμπιεστή ξεκινά η ροή του ψυκτικού μέσου στο εσωτερικό του ψυκτικού κυκλώματος, η οποία συνεπάγεται τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

➤ **Βήμα 7°:** Καταγραφή των πειραματικών μετρήσεων.

Όπως, έχει προαναφερθεί με την εκκίνηση της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος ξεκινά και η λήψη των πειραματικών μετρήσεων ανά 1min για χρονικό διάστημα 30min.

Επομένως, λαμβάνονται συνολικά τριάντα (30) μετρήσεις κατά τις οποίες καταγράφονται οι τιμές των εξής μεγεθών:

1. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου στο δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank_in}}$ [°C])
2. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου στο δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_in}}$ [°C])
3. Θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του συμπυκνωτή ($T_{\text{water_hot_tank_out}}$ [°C])
4. Θερμοκρασίας νερού εξόδου από το δοχείο του εξατμιστή ($T_{\text{water_cold_tank_out}}$ [°C])
5. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον συμπυκνωτή ($T_{\text{ref_condenser_in}}$ [°C])
6. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον συμπυκνωτή ($T_{\text{ref_condenser_out}}$ [°C])
7. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου στον εξατμιστή ($T_{\text{ref_evaporator_in}}$ [°C])
8. Θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εξόδου από τον εξατμιστή ($T_{\text{ref_evaporator_out}}$ [°C])
9. Πίεσης κατάθλιψης του συμπιεστή [υψηλή πίεση (high pressure)] (**HP** [psi])
10. Πίεσης αναρρόφησης του συμπιεστή [χαμηλή πίεση (low pressure)] (**LP** [psi])
11. Ενεργού ισχύος ([kW])
12. Φαινόμενης ισχύος ([kVA])
13. Συντελεστή ισχύος (power factor) (**P – factor** [–])

Οι τιμές των παραπάνω μεγεθών καταγράφονται στο πειραματικό φύλλο έπειτα από την οπτική παρατήρηση των ενδείξεων των οργάνων μέτρησης (ψηφιακά θερμόμετρα-θερμοστάτες, ψηφιακά θερμόμετρα, μανόμετρα, και πολυόργανο μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών).

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0												
1	1												
2	2												
3	3												
4	4												
5	5												
6	6												
7	7												
8	8												
9	9												
10	10												
11	11												
12	12												
13	13												
14	14												
15	15												
16	16												
17	17												
18	18												
19	19												
20	20												
21	21												
22	22												
23	23												
24	24												
25	25												
26	26												
27	27												
28	28												
29	29												
30	30												

Πίνακας 3.2: Πειραματικό φύλλο καταγραφής μετρήσεων

➤ **Βήμα 8^ο:** Ολοκλήρωση του πειράματος

Με τη λήψη των 30 πειραματικών μετρήσεων διακόπτεται η λειτουργία του συμπιεστή και ολοκληρώνεται το πείραμα. Με την ολοκλήρωση του πειράματος, η παροχή νερού προς τα δοχεία των εναλλακτών συνεχίζεται με σκοπό την εξισορρόπηση των θερμοκρασιών του νερού στα δύο δοχεία, αλλά και της θερμοκρασίας και της πίεσης στο εσωτερικό του ψυκτικού κυκλώματος, έτσι ώστε η διάταξη να είναι έτοιμη για την εκτέλεση νέου πειράματος.

Στην περίπτωση που δεν πρόκειται να εκτελεστεί κάποιο άλλο πείραμα διακόπτεται η παροχή νερού προς τα δοχεία των εναλλακτών και οι σφαιρικοί διακόπτες ροής νερού στα άκρα (εισόδου-εξόδου) κάθε υδραυλικού κυκλώματος ρυθμίζονται στη θέση OFF, για να αποφευχθούν τυχόν διαρροές. Τέλος, απενεργοποιείται ο γενικός διακόπτης ελέγχου λειτουργίας της διάταξης για να σταματήσει η λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος.

Κεφάλαιο 4^ο: Συζήτηση - Συμπεράσματα

4.1 Ανάλυση, επεξεργασία και σχολιασμός μετρήσεων

Μετά την ολοκλήρωση των 54 πειραμάτων έγινε επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων με στόχο τη μελέτη των δυνατοτήτων και τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης της πειραματικής διάταξης.

Για κάθε πείραμα, έγιναν οι εξής υπολογισμοί:

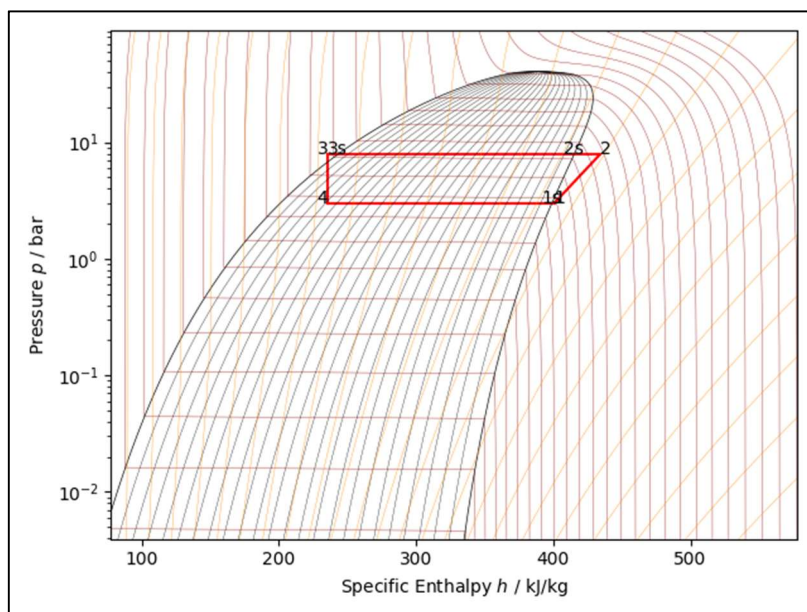
- Υπολογισμός του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας, από το ψυκτικό μέσο προς το θερμαινόμενο μέσο (νερό), στον συμπυκνωτή
- Υπολογισμός του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας, από το ψυχόμενο μέσο προς το ψυκτικό μέσο, στον εξατμιστή
- Υπολογισμός του έργου του συμπιεστή
- Υπολογισμός του συντελεστή απόδοσης (COP) της πειραματικής διάταξης
- Υπολογισμός του δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EER) της πειραματικής διάταξης
- Υπολογισμός της μέγιστης θερμοκρασίας νερού που επιτυγχάνεται στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή
- Υπολογισμός της ελάχιστης θερμοκρασίας νερού που επιτυγχάνεται στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή
- Υπολογισμός της θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή
- Υπολογισμός της θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή

Επιπλέον, αναπτύχθηκε ένας κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Python με σκοπό τη γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας, για κάθε πείραμα, της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα Πίεσης – Ενθαλπίας και επιπροσθέτως την ανάδρομη ανάλυση (back analysis) των πειραματικών δεδομένων με στόχο τον έλεγχο τους σε σύγκριση με τις αναμενόμενες θεωρητικές τιμές. Ο κώδικας παρατίθεται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

Για κάθε πείραμα δημιουργήθηκαν πίνακες και διαγράμματα, με τη μορφή που φαίνεται στη συνέχεια, με σκοπό την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων. Αναλυτικά οι πίνακες και τα διαγράμματα για κάθε πείραμα παρατίθενται στο Παράρτημα Γ.

		T _{water_in} =	15.8	°C		m _{water_hot} =	260	(L/h)		m _{water_cold} =	260	(L/h)		
Πείραμα	38	Q ^{hot}	Q ^{cold}	W ^{theoretical}	W ^{real}	COP ^{theoretical}	COP ^{real}	EER ^{theoretical}	EER ^{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	26	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1334.67	1122.33	212.33	331.50	6.29	4.03	5.29	3.39	20.4	11.9	4.4	3.7	8.1
Refrigerant		1308.07	1089.36	218.70	331.50	5.98	3.95	4.98	3.29					

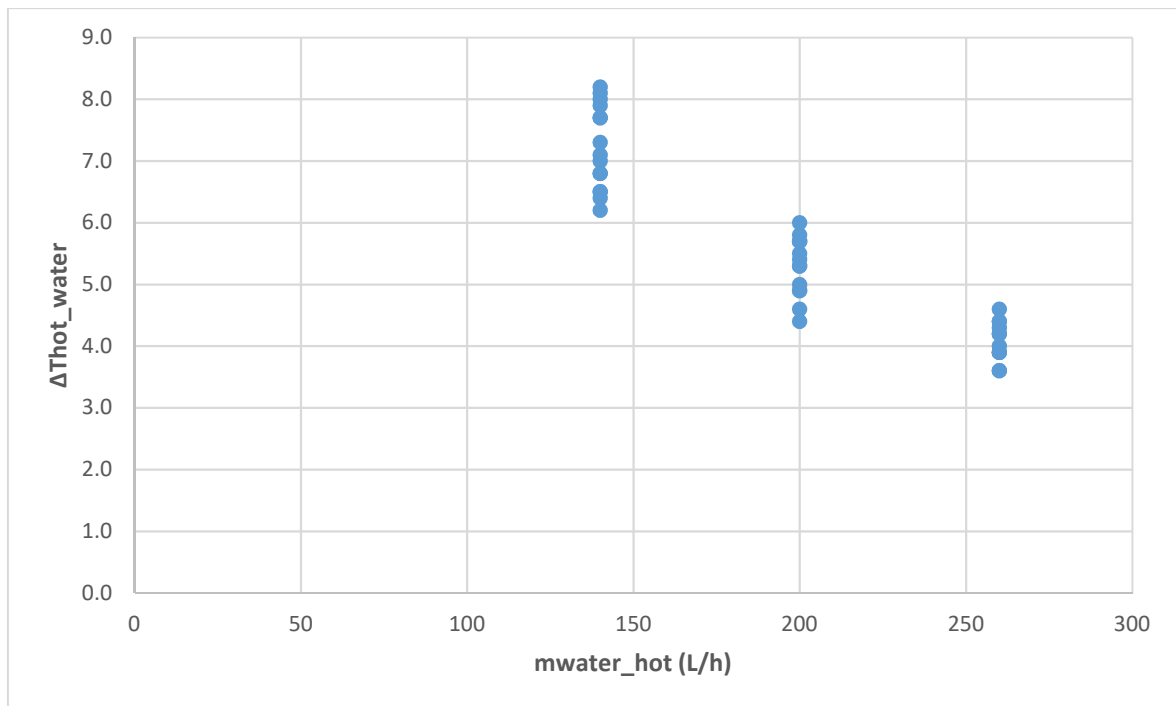
Πίνακας 4.1: Επεξεργασία δεδομένων και υπολογισμοί 38^{ου} πειράματος



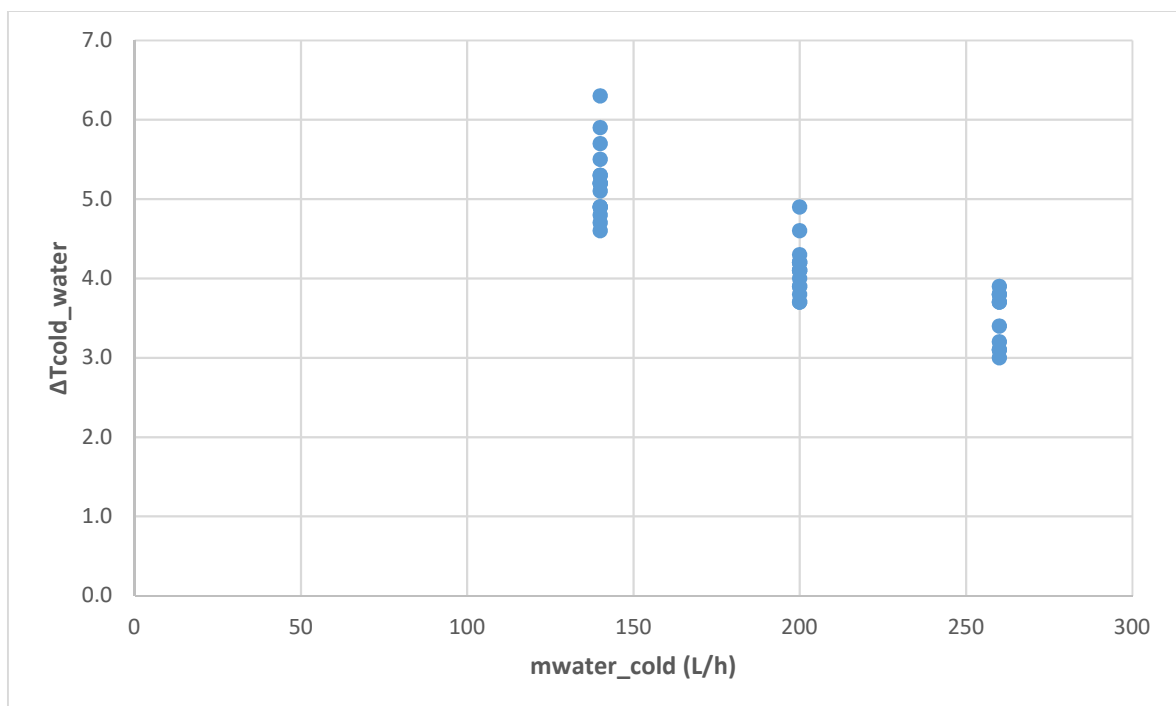
state	P(bar)	T(°C)	d(kg/m ³)	h (kJ/kg)
1	3.01	2.70	14.68	400.78
2	7.84	48.80	34.42	433.93
2s	7.84	30.61	38.22	415.12
3s	7.84	30.61	1185.05	242.61
3	7.84	25.80	1204.31	235.69
4	3.01	0.79	80.25	235.69
1s	3.01	0.79	14.83	399.06

Διάγραμμα 4.1: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας με τη χρήση κώδικα Python, για τα πειραματικά δεδομένα της 26^{ης} μέτρησης του 38^{ου} πειράματος.

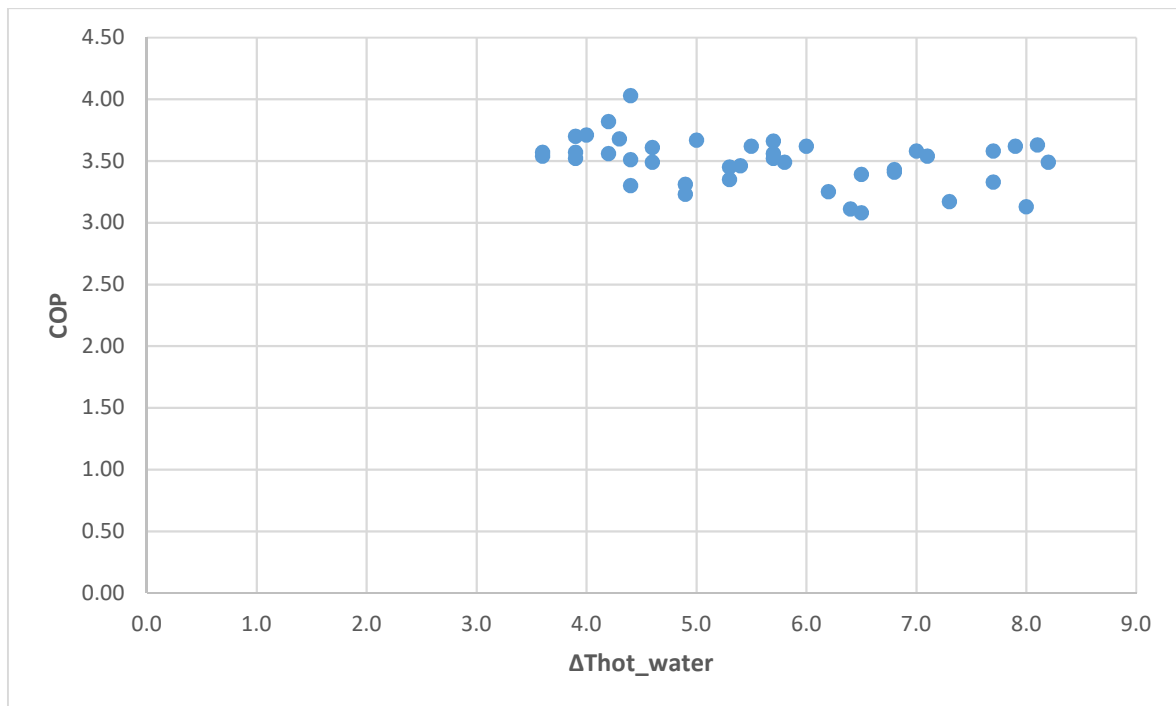
Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν διαγράμματα με στόχο την εύρεση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ των υπολογισμένων μεγεθών



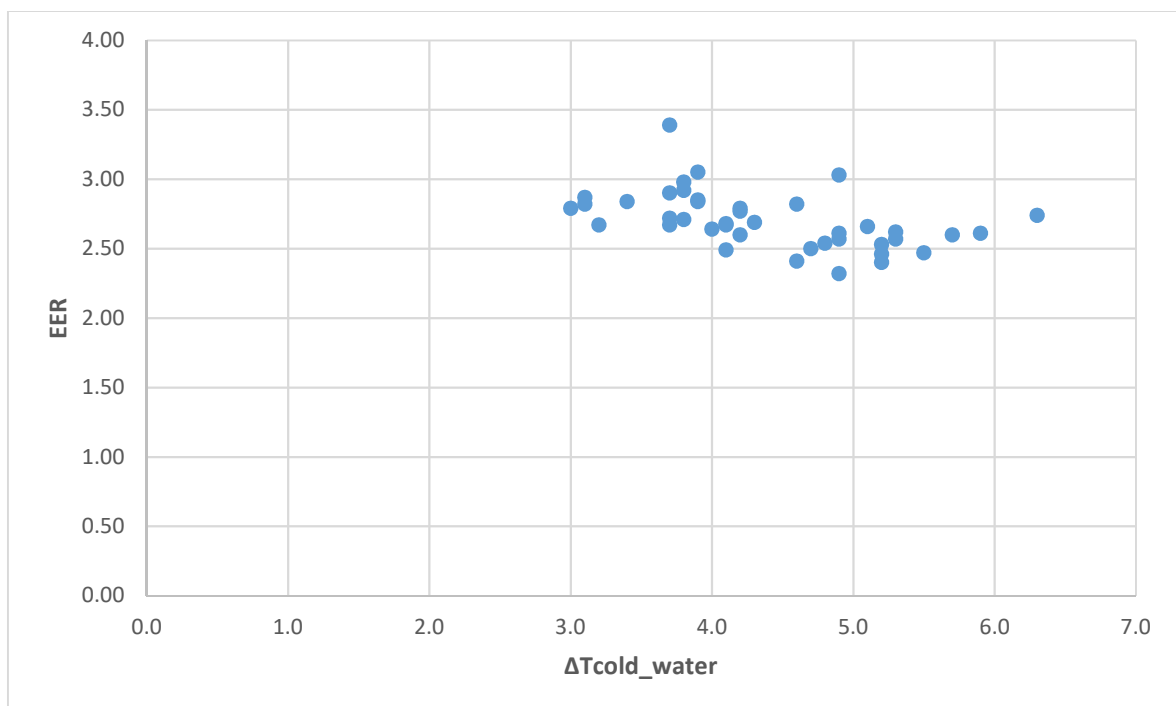
Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή σε σχέση με την τιμή της παροχής νερού στο εν λόγω δοχείο



Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή σε σχέση με την τιμή της παροχής νερού στο εν λόγω δοχείο



Διάγραμμα 4.4: Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης (COP) της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασιακή διαφορά που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο θερμό δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή



Διάγραμμα 4.5: Μεταβολή του δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EER) της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασιακή διαφορά που παρουσιάζει το νερό μεταξύ εισόδου και εξόδου, στο ψυχρό δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι κατά την εκτέλεση ορισμένων πειραμάτων παρατηρήθηκαν τα εξής φαινόμενα τα οποία δυσχέραιναν την εκτέλεση των πειραμάτων και την καταγραφή μετρήσεων:

- Μεταβολή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών της πειραματικής διάταξης, λόγω πτώσης πίεσης στο δίκτυο παροχής νερού.
- Πτώση τάσης στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, η οποία επηρέασε τη λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος της πειραματικής διάταξης.
- Υγροποίηση στην επιφάνεια των σωληνώσεων του ψυκτικού κυκλώματος, κυρίως στο τμήμα μεταξύ της εκτονωτικής βαλβίδας και του εξατμιστή, λόγω της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντα αέρα και της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της επιφάνειας των σωληνώσεων και του περιβάλλοντος αέρα.

4.2 Συμπεράσματα

Από την λειτουργία της πειραματικής διάταξης και την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά την εκτέλεση των πειραμάτων εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση της πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας, ο συντελεστής απόδοσης (COP) παρουσιάζει τιμές από 3 έως 4, ενώ ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης από 2.5 έως 3.
- Επιβεβαιώνεται ότι ο ψυκτικός κύκλος λειτουργίας της πειραματικής διάταξης έχει τη μορφή του πραγματικού ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμού και παρουσιάζει υπόψυξη και υπερθέρμανση.
- Το ψυκτικό κύκλωμα παρουσίασε σχετικά σταθερή λειτουργία κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων χωρίς σημαντικές διαφοροποιήσεις, πράγμα αναμενόμενο καθώς ο συμπιεστής έχει σταθερή λειτουργία.
- Όσο η τιμή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών αυξάνει τόσο μικραίνει η θερμοκρασιακή διαφορά του νερού μεταξύ εισόδου και εξόδου των δοχείων των εναλλακτών.
- Η τιμή του συντελεστή απόδοσης (COP) της πειραματικής διάταξης μειώνεται όσο η θερμοκρασιακή διαφορά που επιτυγχάνεται στα δοχεία των δύο εναλλακτών.
- Στο δοχείο του εναλλάκτη του συμπυκνωτή το παραγόμενο «θερμό» νερό παρουσίασε τιμές από 18.7°C έως 30°C.
- Στο δοχείο του εναλλάκτη του εξατμιστή το παραγόμενο «ψυχρό» νερό παρουσίασε τιμές από 8.9°C έως 19°C.
- Από τη συμπεριφορά της πειραματικής και τα πειραματικά δεδομένα διαπιστώνουμε ότι είναι καλό το ψυκτικό μέσο να παρουσιάζει όσο το δυνατόν μικρότερες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ τη θερμή και την ψυχρή δεξαμενή.

4.3 Προτάσεις για επέκταση της εργασίας

Με στόχο τη βελτίωση της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης, προτείνονται οι παρακάτω ενέργειες:

- Μόνωση των σωληνώσεων της πειραματικής διάταξης, για την αποφυγή απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον και την αποφυγή δημιουργίας φαινομένων υγροποίησης τα οποία δύναται να επηρεάσουν την εγκυρότητα των μετρήσεων.

- Αντικατάσταση του συμπιεστή με άλλον ο οποίος να έχει ενσωματωμένη διάταξη μεταβολής των στροφών του κινητήρα του (inverter compressor) ή προσθήκη διάταξης μεταβολής της συχνότητας του εναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοσίας του υφιστάμενου συμπιεστή (διάταξη inverter).
- Αντικατάσταση της θερμοεκτονωτική βαλβίδας από ηλεκτρονική εκτονωτική βαλβίδα.
- Προσθήκη ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου, το οποίο θα ρυθμίζει τη λειτουργία του συμπιεστή και της εκτονωτικής βαλβίδας ανάλογα με τις ενδείξεις των αισθητηρίων της πειραματικής διάταξης, καθώς επίσης και τις λειτουργικές απαιτήσεις.

Με στόχο την πληρέστερη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης προτείνεται η αναλυτική και αριθμητική προσομοίωση της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διαφορετικά σενάρια λειτουργίας.

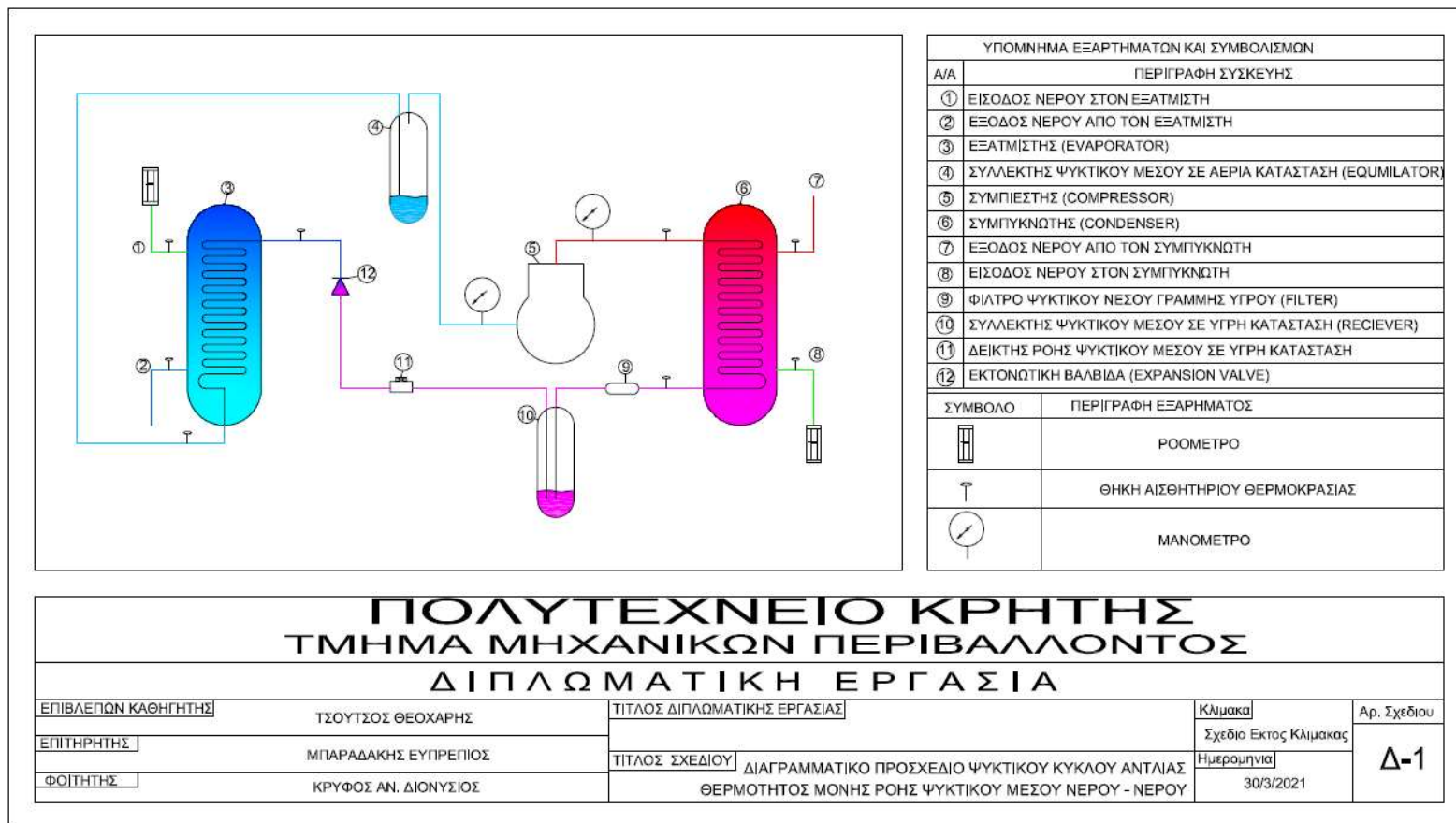
Βιβλιογραφία

1. Dincer, I., & Rosen, M. A. (2015). *Exergy analysis of heating, refrigerating and air conditioning: methods and applications*. Academic Press.
2. Grassi, W. (2017). *Heat pumps: fundamentals and applications*. Springer.
3. Abbasi, M. H., Abdullah, B., Ahmad, M. W., Rostami, A., & Cullen, J. (2021). Heat transition in the European building sector: Overview of the heat decarbonisation practices through heat pump technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48, 101630.
4. Abd Alla, S., Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L. A. (2022). Electrification of the residential heat demand: An analysis of the power market potential to accommodate heat pumps. *Thermal Science and Engineering Progress*, 27, 101173.
5. Borgnakke, C., & Sonntag, R. E. (2022). *Fundamentals of thermodynamics*. John Wiley & Sons.
6. Cengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2011). *Thermodynamics: an engineering approach* (Vol. 5, p. 445). New York: McGraw-hill.
7. Decuyper, R., Robaeyst, B., Hudders, L., Baccarne, B., & Van de Sompel, D. (2022). Transitioning to energy efficient housing: Drivers and barriers of intermediaries in heat pump technology. *Energy Policy*, 161, 112709.
8. Gaur, A. S., Fitiwi, D. Z., & Curtis, J. (2021). Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. *Energy Research & Social Science*, 71, 101764.
9. Halozan, H. (2017). The role of heat pumps in renewable heating and cooling. In *Proceedings of the 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam*.
10. Heisler, H. (2002). *Advanced vehicle technology*. Elsevier.
11. Kircher, K. J., & Zhang, K. M. (2021). Heat purchase agreements could lower barriers to heat pump adoption. *Applied Energy*, 286, 116489.
12. Von Cube, H. L., & Steimle, F. (2013). *Heat pump technology*. Elsevier.
13. Peñaloza, D., Mata, É., Fransson, N., Fridén, H., Samperio, Á., Quijano, A., & Cuneo, A. (2022). Social and market acceptance of photovoltaic panels and heat pumps in Europe: A literature review and survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111867.
14. Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions' [Accessed 2022]
15. Smith, C.B. and Parmenter, K.E. (2016). Management of Heating and Cooling. *Energy Management Principles*, pp.125–187.
16. Wang, Y., Wang, J., & He, W. (2022). Development of efficient, flexible and affordable heat pumps for supporting heat and power decarbonisation in the UK and beyond: Review and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111747.
17. Huang, P., Yonkers, S., & Hokey, D. (2013). 8th International Conference on Compressors and their Systems.
18. Herbas, T. B., Berlinck, E. C., Uriu, C. A. T., Marques, R. P., & Parise, J. A. R. (1993). Steady-state simulation of vapour-compression heat pumps. *International journal of energy research*, 17(9), 801-816.
19. Çengel Y.A. and Boles, M.A. (2018). *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς*. 8th ed. Translated by Π. Τσιακάρης. Translated by Σ. Κατσαβούνης. Translated by Α.Ι. Μάργαρης. and Translated by Δ.Νικ. Τερτίπης. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
20. Ιωαννίδης, Δ.Ι. & Γεωργακάκης, Μ.Ι. (2010). *ΘΕΡΜΑΝΣΕΙΣ*. ΑΘΗΝΑ: ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.

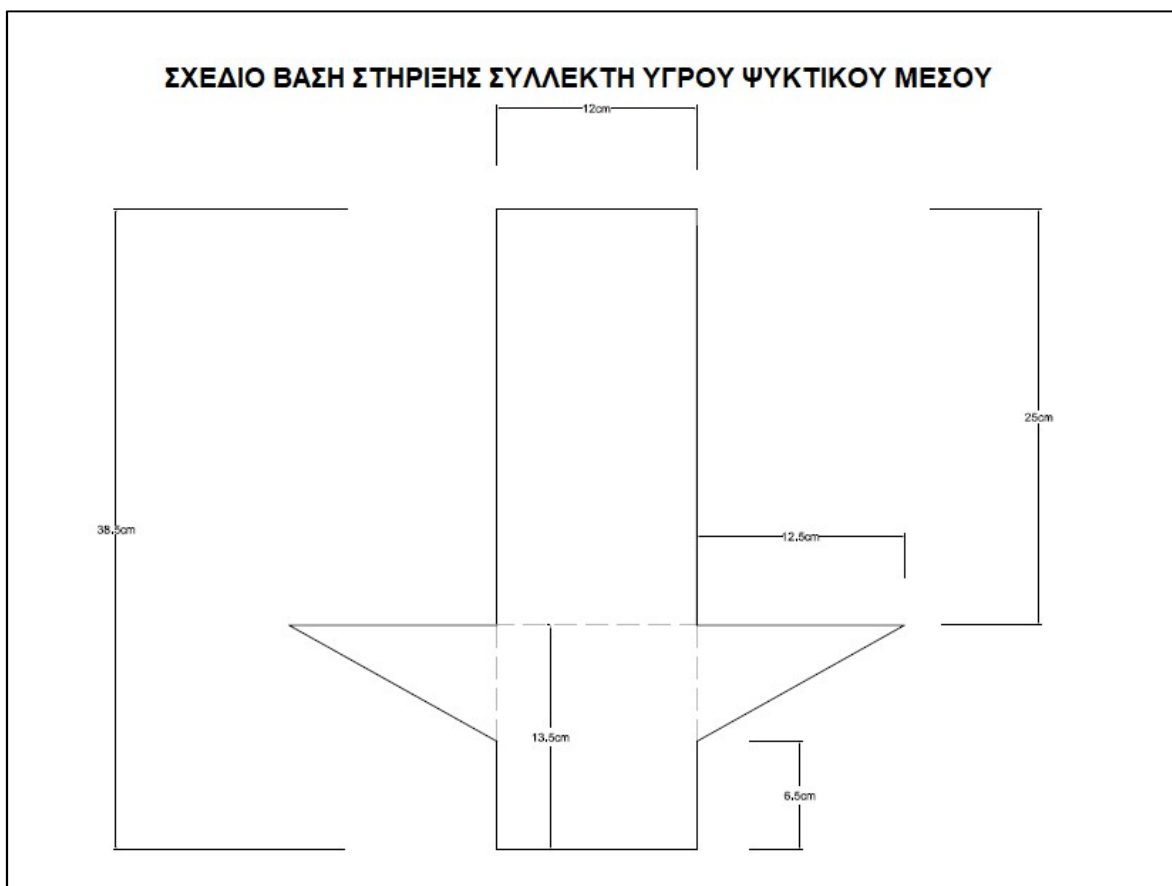
21. Κοσμόπουλος, Π. & Περιβολάρης, Ά. (2017). *ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ : Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ*. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: UNIVERSITY STUDIO PRESS, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών.
22. Κτενιαδάκης, Μ., Παπαδάκης, Θ. and Αργυράκης, Π. (n.d.). *ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΨΥΞΗΣ II*. ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ Ινστιτούτο τεχνολογίας υπολογιστών & εκδόσεων (ITYE).
23. Βραχόπουλος, Μ., Λιγνός, Μ. and Κάρμαλης, Ι. (n.d.). *ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΨΥΞΗΣ I*. ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ Ινστιτούτο τεχνολογίας υπολογιστών & εκδόσεων (ITYE).
24. Ενέργειας, Υ. Π., & Αλλαγής, Κ. (2019). Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050. Διαθέσιμο στο www.opengov.gr/minenv. [Accessed 2021].
25. European Environment Agency (EEA) (2021). *Energy*. [online] European Environment Agency (EEA). Available at: European Environment Agency (EEA) [Accessed 2021].
26. European Heat Pump Association (EHPA) (n.d.). *Technology*. [online] European Heat Pump Association (EHPA). Available at: <https://www.ehpa.org/technology/> [Accessed 2021].
27. International Energy Agency (IEA) (2019). *Perspectives for the Clean Energy Transition : The Critical Role of Buildings*. International Energy Agency (IEA).
28. International Energy Agency (IEA) (2020). *Tracking Buildings 2020*. [online] International Energy Agency (IEA). International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020> [Accessed 2021].
29. International Energy Agency (IEA) (2021a). *Cooling*. [online] International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/cooling> [Accessed 2021].
30. International Energy Agency (IEA) (2021b). *Energy Consumption*. [online] Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector> or [Accessed 2021].
31. International Energy Agency (IEA) (2021c). *Heat Pumps*. [online] International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps> [Accessed 2021].
32. International Energy Agency (IEA) (2021d). *Heating*. [online] International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/heating> [Accessed 2021].
33. International Energy Agency : IEA (2021). *Renewable heat*. [online] International Energy Agency : IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021/renewable-heat?mode=heat@ion=World&publication=2021> [Accessed 2021].
34. International Renewable Energy Agency (IRENA) (2017). *Heating & Cooling*. [online] International Renewable Energy Agency (IRENA). Available at: <https://www.irena.org/heatingcooling> [Accessed 2021].

35. Department of Energy (n.d). *Heat Pump Systems*. [online] Department of Energy. Available at: <https://www.energy.gov/energysaver/heat-pump-systems> [Accessed 2021].

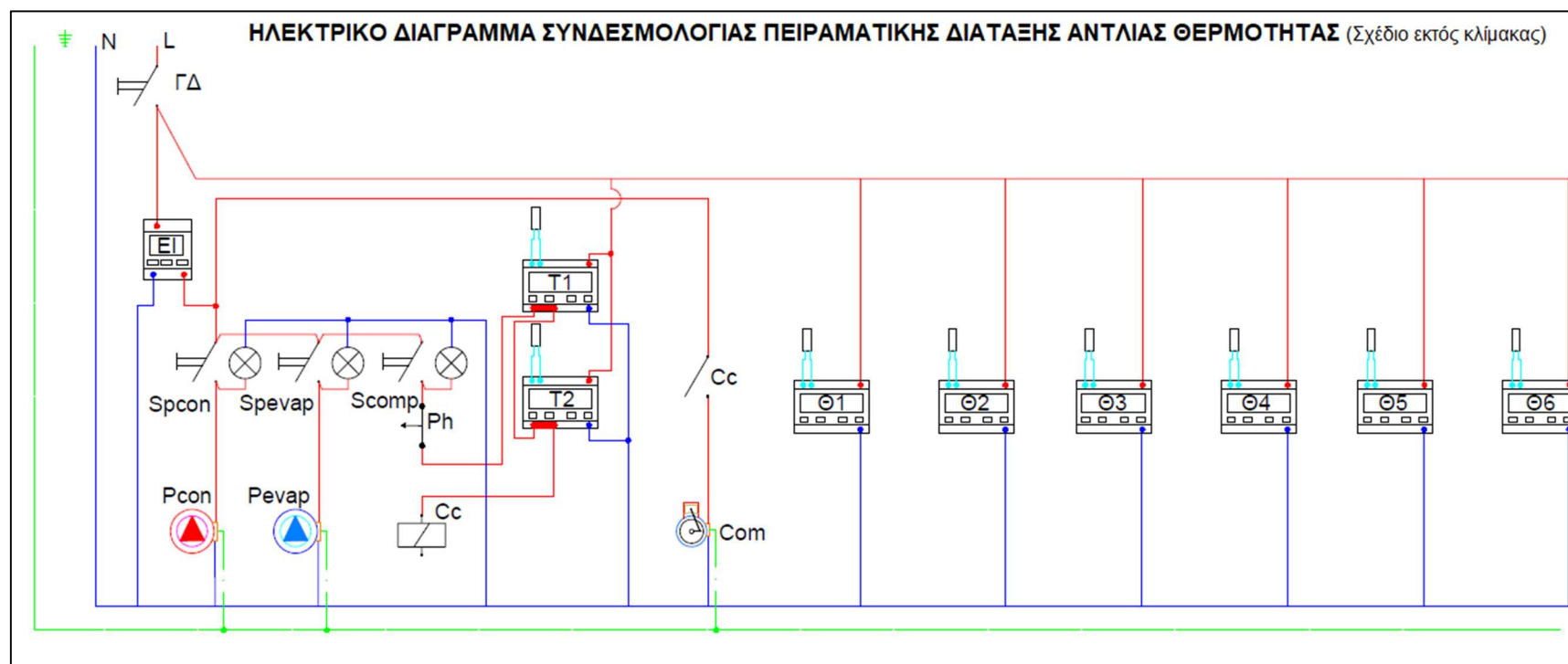
Παράρτημα Α



Σχέδιο : Διαγραμματικό προσχέδιο ψυκτικού κύκλου αντλίας θερμότητας μόνιμης ροής ψυκτικού μέσου, νερού - νερού

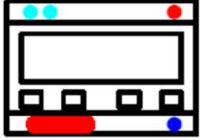
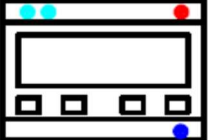



Σχέδιο : Σχέδιο βάσης στήριξη συλλέκτη υγρού ψυκτικού μέσου



Σχέδιο : Ηλεκτρικό διάγραμμα συνδεσμολογίας πειραματικής διάταξης αντλίας θερμότητας

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ				
A/A	ΟΝΟΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΟΥ
1	EI			ΠΟΛΥΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ (Ηλεκτρική Τάση, Ένταση Ηλεκτρικού Ρεύματος, Φαινόμενη Ισχύς, Αεργος Ισχύς, Πραγματική Ισχύς, Συντελεστής Ισχύος)
2	Spcon			ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕ ΕΝΔ. ΛΥΧΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
3	Senap			ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕ ΕΝΔ. ΛΥΧΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
4	Scomp			ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕ ΕΝΔ. ΛΥΧΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ
5	Pcon			ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
6	Pevap			ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
7	Cc			ΡΕΛΕ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ
8	Com			ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ
9	s1			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
10	s2			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
11	s3			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
12	s4			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
13	s5			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
14	s6			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

15	s7			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
16	s8			ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
17	T1			ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗΣ-ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ
18	T2			ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗΣ-ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ
19	Θ1			ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
20	Θ2			ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
21	Θ3			ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
22	Θ4			ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
23	Θ5			ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
24	Θ6			ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Πίνακας : Πίνακας υπομνήματος συμβολισμών ηλεκτρικού διαγράμματος

Παράρτημα Β

Κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Python

```
import CoolProp

from CoolProp.Plots import PropertyPlot

from CoolProp.Plots import SimpleCompressionCycle

from CoolProp.CoolProp import PropsSI

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

#-----

#experimental values

P1_exp = (*6894.755729)+101325 # psi to Pa and gauge to absolute conversion

T1_exp = ()+273.15 # C to K conversion

P2_exp = (*6894.755729)+101325 # psi to Pa and gauge to absolute conversion

T2_exp = ()+273.15 # C to K conversion

P3_exp = P2_exp

T3_exp = ()+273.15 # C to K conversion

P4_exp = P1_exp

T4_exp = ()+273.15 # C to K conversion

apparent_power = # kVA #+++++

power_factor = # - #+++++

#-----

P1 = P1_exp

T1 = T1_exp

P2 = P2_exp

T2 = T2_exp

P2s = P2_exp

P3s = P3_exp

P3 = P3_exp

T3 = T3_exp

P4 = P4_exp
```

```

P1s = P1_exp

#-----

print('#-----')

print('point 1')

print('P1 = ',P1*(1e-5),' bar')

print('T1 = ',T1-273.15,' C')

d1=PropsSI("D","P",P1,"T",T1,'R134a')

print('d1 = ',d1,' kg/m3')

h1=PropsSI("H","P",P1,"T",T1,'R134a')

print('h1 = ',h1*1e-3,' kJ/kg')

s1=PropsSI("S","P",P1,"T",T1,'R134a')

print('s1 = ',s1*(1e-3))

#-----

print('#-----')

print('point 2')

print('P2 = ',P2*(1e-5),' bar')

print('T2 = ',T2-273.15,' C')

d2=PropsSI("D","P",P2,"T",T2,'R134a')

print('d2 = ',d2,' kg/m3')

h2=PropsSI("H","P",P2,"T",T2,'R134a')

print('h2 = ',h2*1e-3,' kJ/kg')

s2=PropsSI("S","P",P2,"T",T2,'R134a')

print('s2 = ',s2*(1e-3))

#-----

print('#-----')

print('point 2s')

print('P2s =',P2s*(1e-5),' bar')

T2s=PropsSI("T","P",P2s,"Q",1,'R134a')

print('T2s = ',T2s-273.15,' C')

d2s=PropsSI("D","P",P2s,"Q",1,'R134a')

print('d2s = ',d2s,' kg/m3')

```



```

h2s=PropsSI("H","P",P2s,"Q",1,'R134a')
print('h2s = ',h2s*1e-3,' kJ/kg')
s2s=PropsSI("S","P",P2s,"Q",1,'R134a')
print('s2s = ',s2s*(1e-3))
##h2s_check=PropsSI("H","P",P2s,"T",T2s,'R134a')
##print('h2s_check= ',h2s_check*1e-3,' kJ/kg')
##s2s_check=PropsSI("S","P",P2s,"T",T2s,'R134a')
##print('s2s_check= ',s2s_check*(1e-3))
#-----
print('#-----')
print('point 3s')
print('P3s =',P3s*(1e-5),' bar')
T3s=PropsSI("T","P",P3s,"Q",0,'R134a')
print('T3s = ',T3s-273.15,' C')
d3s=PropsSI("D","P",P3s,"Q",0,'R134a')
print('d3s = ',d3s,' kg/m3')
h3s=PropsSI("H","P",P3s,"Q",0,'R134a')
print('h3s = ',h3s*1e-3,' kJ/kg')
s3s=PropsSI("S","P",P3s,"Q",0,'R134a')
print('s3s = ',s3s*(1e-3))
##h3s_check=PropsSI("H","P",P3s,"T",T3s,'R134a')
##print('h2s_check= ',h3s_check*1e-3,' kJ/kg')
##s3s_check=PropsSI("S","P",P3s,"T",T3s,'R134a')
##print('s3s_check= ',s3s_check*(1e-3))
#-----
print('#-----')
print('point 3')
print('P3 = ',P3*(1e-5),' bar')
print('T3 = ',T3-273.15,' C')
d3=PropsSI("D","P",P3,"T",T3,'R134a')
print('d3 = ',d3,' kg/m3')

```

```

h3=PropsSI("H","P",P3,"T",T3,'R134a')
print('h3 = ',h3*1e-3,' kJ/kg')
s3=PropsSI("S","P",P3,"T",T3,'R134a')
print('s3 = ',s3*(1e-3))
#-----
print('#-----')
print('point 4')
print('P4 =',P4*(1e-5),' bar')
h4 = h3
T4=PropsSI("T","P",P4,"H",h4,'R134a')
print('T4 = ',T4-273.15,' C')
d4=PropsSI("D","P",P4,"H",h4,'R134a')
print('d4 = ',d4,' kg/m3')
print('h4 = ',h4*1e-3,' kJ/kg')
s4=PropsSI("S","P",P4,"H",h4,'R134a')
print('s4 = ',s4*(1e-3))
#-----
print('#-----')
print('point 1s')
print('P1s =',P1s*(1e-5),' bar')
T1s=PropsSI("T","P",P1s,"Q",1,'R134a')
print('T1s = ',T1s-273.15,' C')
d1s=PropsSI("D","P",P1s,"Q",1,'R134a')
print('d1s = ',d1s,' kg/m3')
h1s=PropsSI("H","P",P1s,"Q",1,'R134a')
print('h1s = ',h1s*1e-3,' kJ/kg')
s1s=PropsSI("S","P",P1s,"Q",1,'R134a')
print('s1s = ',s1s*(1e-3))
##h1s_check=PropsSI("H","P",P1s,"T",T1s,'R134a')
##print('h1s_check = ',h1s_check*1e-3,' kJ/kg')
##s1s_check=PropsSI("S","P",P1s,"T",T1s,'R134a')

```

```

##print('s1s_check= ',s1s_check*(1e-3))

#-----

print('#-----')

#refrigerant flow

print('refrigerant flow')

V_dot = 10.33*2900*(1/60)*1e-6

print('V_dot = ',V_dot,' m3/s')

n_vol = 0.9 # volumetric efficiency #+++++

##m_dot = d1*V_dot

m_dot = d1*V_dot*n_vol # mass flow rate #+++++

print('mdot = ',m_dot,' kg/s')

#-----

print('#-----')

#condenser

print('condenser')

#superheated vapour (Sensible Heat)

print('superheated vapour (Sensible Heat)')

Hcsv = (h2*1e-3)-(h2s*1e-3)

print(Hcsv,' kJ/kg')

#saturated liquid-vapour (Latent Heat)

print('saturated liquid-vapour (Latent Heat)')

Hcslv = (h2s*1e-3)-(h3s*1e-3)

print(Hcslv,' kJ/kg')

#subcooled liquid (Sensible Heat)

print('subcooled liquid (Sensible Heat)')

Hcsl = (h3s*1e-3)-(h3*1e-3)

print(Hcsl,' kJ/kg')

Hcondenser = (h2*1e-3)-(h3*1e-3)

Qcondenser = Hcondenser*m_dot

print('Qcondenser =',Qcondenser,' kW')

Hcondenser_check = Hcsv+Hcslv+Hcsl

```

```

Qcondenser_check = Hcondenser_check*m_dot
print('Qcondenser_check =',Qcondenser_check,' kW')

#subcooling
print('subcooling')

Tsubcooling = T3s-T3
print('subcooling =',Tsubcooling,' C')

##Hsubcooling = h3s-h3
##print('subcooling =',Hsubcooling*1e-3,' kJ/kg')

Q_hot = Qcondenser
print('Q_hot =',Q_hot,' kW')

#-----
print('#-----')

#evaporator
print('evaporator')

#saturated liquid-vapour (Latent Heat)
print('saturated liquid-vapour (Latent Heat)')

Heslv = (h1s*1e-3)-(h4*1e-3)
print(Heslv,' kJ/kg')

#superheated vapour (Sensible Heat)
print('superheated vapour (Sensible Heat)')

Hesv = (h1*1e-3)-(h1s*1e-3)
print(Hesv,' kJ/kg')

Hevaporator = (h1*1e-3)-(h4*1e-3)
##Hevaporator = (h1s*1e-3)-(h4*1e-3) #####
Qevaporator = Hevaporator*m_dot
print('Qevaporator =',Qevaporator,' kW')

Hevaporator_check = Heslv+Hesv
Qevaporator_check = Hevaporator_check*m_dot
print('Qevaporator_check =',Qevaporator_check,' kW')

#superheating
print('superheating')

```

```

Tsuperheating = T1-T1s
print('superheating =',Tsuperheating,' C')

##Hsuperheating = h1-h1s

##print('superheating =',Hsuperheating*1e-3,' kJ/kg')

Q_cold = Qevaporator
print('Q_cold =',Q_cold,' kW')

#-----
print('#-----')

#compressor

print('compressor')

Hcompressor = (h2*1e-3)-(h1*1e-3)

##Hcompressor = (h2*1e-3)-(h1s*1e-3) #+++++++

Wcompressor = Hcompressor*m_dot
print('Wcompressor =',Wcompressor,' kW')

#teoretical work

W_theoretical = Wcompressor
print('W_theoretical =',W_theoretical,' kW')

#real work

W_real = apparent_power*power_factor #+++++++

print('W_real =',W_real,' kW') #+++++++

#-----
print('#-----')

#COP

COP_theoretical = Q_hot/W_theoretical
print('COP_theoretical =',COP_theoretical)

COP_real = Q_hot/W_real
print('COP_real =',COP_real)

#-----
print('#-----')

#EER

EER_theoretical = Q_cold/W_theoretical

```

```

print('EER_theoretical =',EER_theoretical)

EER_real = Q_hot/W_real

print('EER_real =',EER_real)

#-----

print('#-----')

print('Q_hot =',Q_hot*1e3,' W')

print('Q_cold =',Q_cold*1e3,' W')

print('W_theoretical =',W_theoretical*1e3,' W')

print('W_real =',W_real*1e3,' W') #+++++

print('COP_theoretical =',COP_theoretical)

print('COP_real =',Q_hot/W_real) #+++++

print('EER_theoretical =',EER_theoretical)

print('EER_real =',Q_cold/W_real) #+++++

#-----

#plot

P1 = P1*(1e-5)

P2 = P2*(1e-5)

P2s = P2s*(1e-5)

P3s = P3s*(1e-5)

P3 = P3*(1e-5)

P4 = P4*(1e-5)

P1s = P1s*(1e-5)

h1 = h1*(1e-3)

h2 = h2*(1e-3)

h2s = h2s*(1e-3)

h3s = h3s*(1e-3)

h3 = h3*(1e-3)

h4 = h4*(1e-3)

h1s = h1s*(1e-3)

```

```

pp = PropertyPlot('HEOS::R134a', 'PH', unit_system='EUR')
pp.calc_isolines(CoolProp.iQ, num=25)
pp.calc_isolines(CoolProp.iT, num=25)
pp.calc_isolines(CoolProp.iSmass, num=25)
plt.plot([h1,h2],[P1,P2], 'r',linewidth=1.5)
plt.plot([h2,h2s],[P2,P2s], 'r',linewidth=1.5)
plt.plot([h2s,h3s],[P2s,P3s], 'r',linewidth=1.5)
plt.plot([h3s,h3],[P3s,P3], 'r',linewidth=1.5)
plt.plot([h3,h4],[P3,P4], 'r',linewidth=1.5)
plt.plot([h4,h1s],[P4,P1s], 'r',linewidth=1.5)
plt.plot([h1s,h1],[P1s,P1], 'r',linewidth=1.5)
plt.text(h1,P1, '1',ha='left')
plt.text(h2,P2, '2',ha='left')
plt.text(h2s,P2s, '2s',ha='center')
plt.text(h3s,P3s, '3s',ha='center')
plt.text(h3,P3, '3',ha='right')
plt.text(h4,P4, '4',ha='right')
plt.text(h1s,P1s, '1s',ha='center')

pp.show()
plt.show()

#-----

```


Παράρτημα Γ

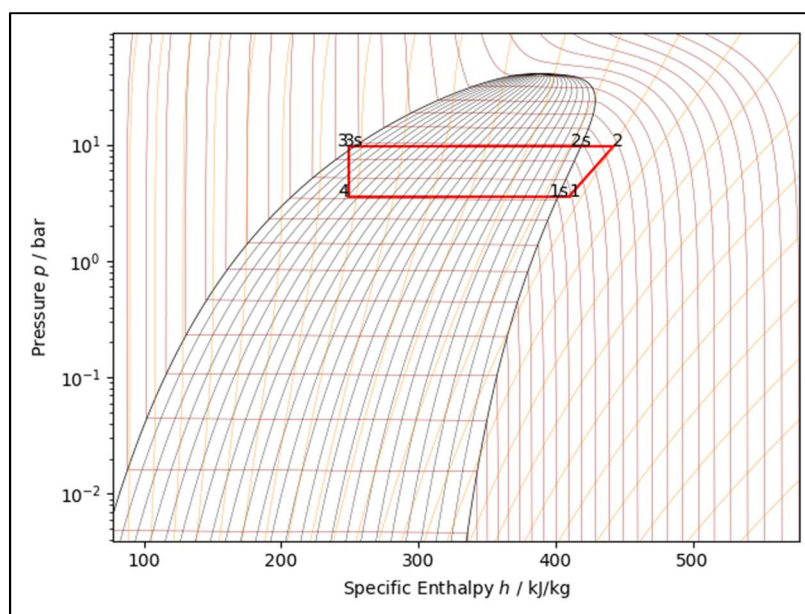
Πείραμα υπ' αριθμ.1

				CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK					
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	HP (psi)	LP (psi)
0	0			22.9	22.6	24.3	24.6	24.1	24.6	22.8	22.7		
1	1	0.55	0.653	22.9	23.4	36.2	32	9.4	19.9	22.9	22	115	40
2	2	0.56	0.674	22.9	25	40.7	33.2	8.9	11.8	22.9	20.8	120	39
3	3	0.56	0.676	22.9	26	43.9	33.6	7.7	13.7	22.8	20	122	37.5
4	4	0.56	0.679	22.9	26.6	45.7	33.8	7.3	14.9	22.8	19.6	122	37.5
5	5	0.56	0.68	23	26.9	47.5	34.1	7.1	15	22.8	19.3	122	37.5
6	6	0.56	0.681	22.9	27.2	49	34.1	7.1	15.1	22.7	19.2	124	37.5
7	7	0.56	0.681	23	27.4	48.7	34	7.4	15.7	22.9	19.1	124	37.5
8	8	0.56	0.683	23	27.4	49.9	34.1	7.5	15.9	23	19.1	124	37.5
9	9	0.56	0.684	23	27.6	51.1	34.2	7.2	15.5	22.8	19	124	37.5
10	10	0.56	0.685	23	27.5	52.5	34.3	7.1	15.3	22.8	19	124	37.5
11	11	0.56	0.685	23	27.5	53.1	34.3	7.1	15.1	22.8	19	124	37.5
12	12	0.56	0.688	23	27.6	54	34.6	7.1	15	22.8	19	124	37.5
13	13	0.56	0.689	23	27.7	54	34.4	7.2	15.1	22.9	19	124	37.5
14	14	0.56	0.69	23	27.7	53.5	34.2	7.7	15.1	23	19	124	37.5
15	15	0.56	0.69	23	27.7	55.1	34.4	7.4	15.1	22.9	19	124	37.5
16	16	0.56	0.692	23	27.7	55.6	34.4	7.3	15.1	22.9	19	124	37.5
17	17	0.56	0.69	23	27.8	55.5	34.4	7.4	15.1	22.9	19	124	37.5
18	18	0.56	0.69	23	27.7	56.7	34.6	7.3	15	22.9	19	124	37.5
19	19	0.56	0.691	22.9	27.8	56.6	34.5	7.5	15.1	23	19	124	37.5
20	20	0.56	0.692	23	27.7	56.4	34.3	7.5	15.1	23	19	124	37.5
21	21	0.56	0.692	22.9	27.7	57.6	34.8	7.6	15	22.9	19	124	37.5
22	22	0.56	0.694	22.9	27.8	57.5	35	7.7	14.8	23	19	124	37.5
23	23	0.56	0.695	22.9	27.8	58.3	34.9	7.8	14.8	23	19	124	37.5
24	24	0.56	0.691	22.9	27.8	57.9	34.6	7.6	14.9	23	19	124	37.5
25	25	0.56	0.694	22.9	27.7	59	34.9	7.1	14.8	23	19	124	37.5
26	26	0.56	0.693	22.9	27.7	59.3	35	7.1	14.8	23	19	124	37.5
27	27	0.56	0.695	22.9	27.8	59.4	35	7.2	14.5	23	19	124	37.5
28	28	0.56	0.695	22.9	27.8	59.7	35.2	7.2	14.3	23	19	124	37.5
29	29	0.56	0.695	22.9	27.9	59.7	35.1	7.1	14.6	23	19	124	37.5
30	30	0.56	0.695	22.9	27.8	59.4	34.8	7.2	14.8	23	19	124	37.5

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 1^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 22.9 °C		m _{water_hot} = 260 (L/h)		m _{water_cold} = 260 (L/h)			
Πείραμα	1	Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}
Μέτρηση	29								
Water		1516.67	1213.33	303.33	389.20	5.00	3.90	4.00	3.12
Refrigerant		1459.46	1217.40	242.06	389.20	6.03	3.75	5.03	3.13

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 1^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 1^{ου} πειράματος.

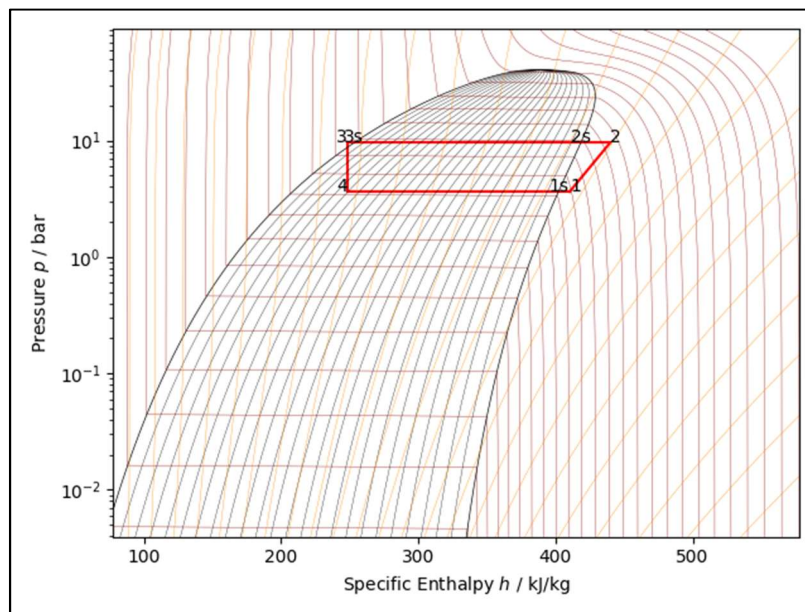
Πείραμα υπ' αριθμ.2

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			22.5	22.2	24.2	23.9	23.1	23.7	22.5	22.1		
1	1	0.57	0.638	22.4	23.3	33.7	32.4	10.6	10.1	22.4	21.3	117.5	36
2	2	0.56	0.642	22.5	24.8	35.4	32.2	8.6	10.5	22.3	20.3	120	36
3	3	0.57	0.642	22.6	25.6	37.9	32.3	7.2	13.7	22.3	19.5	120	36
4	4	0.57	0.65	22.6	26.2	40.4	32.8	6.7	14.5	22.3	19.2	120	37
5	5	0.57	0.654	22.6	26.5	42.5	33.3	6.7	14.4	22.3	19.1	120	37
6	6	0.57	0.671	22.7	26.7	43.8	33.6	6.8	14.4	22.4	19	120	38
7	7	0.57	0.685	22.6	26.7	44.6	33.5	6.8	14.4	22.4	18.9	120	37
8	8	0.57	0.665	22.6	26.9	46	33.6	6.7	14.5	22.3	18.8	120	38
9	9	0.57	0.665	22.6	26.9	47	33.9	6.7	14.7	22.4	18.6	122	38
10	10	0.57	0.666	22.7	26.9	48.5	33.8	6.8	14.7	22.4	18.6	122	38
11	11	0.57	0.669	22.8	27	48.9	33.8	6.8	14.9	22.4	18.6	122	38
12	12	0.57	0.67	22.9	27.1	49.9	34	6.8	14.8	22.4	18.6	122	38
13	13	0.57	0.672	22.9	27.2	51	34.2	6.8	14.8	22.5	18.6	122	38
14	14	0.57	0.674	22.9	27.2	52	34.2	6.9	14.8	22.5	18.6	122	38
15	15	0.57	0.675	22.9	27.2	52.8	34.3	6.9	14.8	22.6	18.7	122	38
16	16	0.57	0.672	22.9	27.2	53.2	34.3	7	14.8	22.6	18.7	122	38
17	17	0.57	0.674	22.9	27.2	54.1	34.4	7	14.8	22.7	18.8	122	38
18	18	0.57	0.677	23	27.4	53.6	34.2	7.2	15	22.7	18.8	122	38
19	19	0.57	0.677	23	27.4	55.1	34.5	7.2	15	22.7	18.8	122	39
20	20	0.57	0.679	23	27.5	55.3	34.4	7.3	15	22.7	18.8	122	39
21	21	0.57	0.679	23.1	27.5	54.6	34.2	7.4	15.2	22.9	18.8	122	39
22	22	0.57	0.679	22.9	27.4	56	34.5	7.4	15.2	22.9	18.8	124	39
23	23	0.57	0.679	22.8	27.3	56.6	34.6	7.3	15.1	22.9	18.9	124	39
24	24	0.57	0.679	22.8	27.4	57.4	34.4	7.4	15.1	22.8	19	124	39
25	25	0.57	0.679	22.8	27.4	57.6	34.5	7.4	15	22.7	19	124	38
26	26	0.57	0.679	22.8	27.3	57.4	34.5	7.4	15.2	22.8	19.1	124	39
27	27	0.57	0.68	22.9	27.4	57.7	34.7	7.5	15	22.8	19.1	124	39
28	28	0.57	0.681	22.8	27.2	58.8	34.8	7.6	14.6	22.6	19	124	39
29	29	0.57	0.682	22.8	27.3	59.1	34.8	7.6	14.5	22.5	18.9	126	39
30	30	0.57	0.682	22.8	27.2	59.3	34.7	7.6	14.5	22.5	18.9	126	39

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 2^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 22.7		°C	mwater_hot = 260				(L/h)			mwater_cold = 260		(L/h)
Πείραμα	2	Q_hot	Q_cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT_hot_water	ΔT_cold_water	ΣΔT
Μέτρηση	25	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1395.33	1122.33	273.00	387.03	5.11	3.61	4.11	2.90					
Refrigerant		1462.04	1236.79	225.26	387.03	6.49	3.78	5.49	3.20					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 25^{ης} μέτρησης του 2^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 25^{ης} μέτρησης του 2^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.3

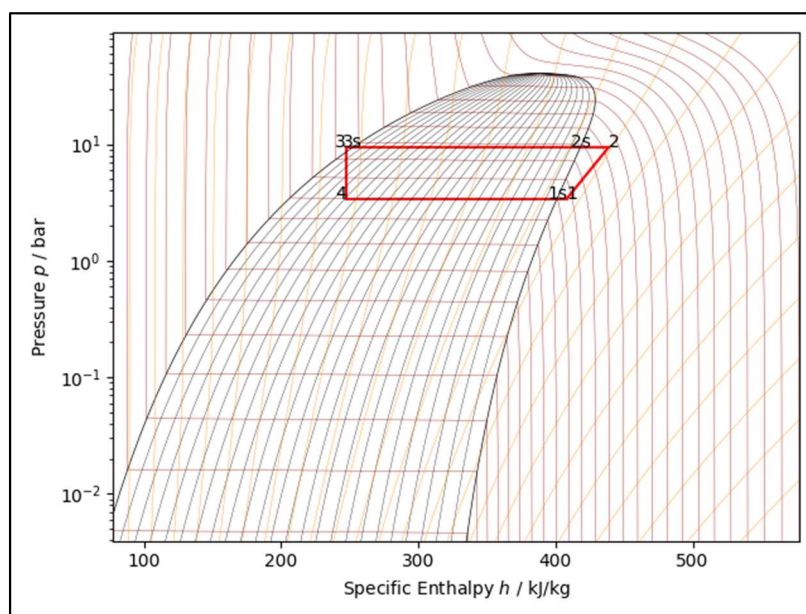
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			22.5	22	24.9	25.3	23.8	24.8	22.6	22.1		
1	1	0.55	0.648	22.5	23	40.5	32.5	8.9	10.2	22.6	21.4	117.5	39
2	2	0.58	0.659	22.6	24.5	43.2	32.7	8.1	7.9	22.6	20.2	120	36
3	3	0.58	0.655	22.7	25.7	45.2	32.6	7.1	12.8	22.7	19.3	120	35
4	4	0.58	0.656	22.6	26.1	47.8	33.3	6.7	13.2	22.7	18.6	120	35
5	5	0.55	0.685	22.6	26.5	49	33.6	6.8	12.5	22.6	18.2	120	35
6	6	0.58	0.661	22.6	26.6	48.6	33.2	7.1	12.9	22.6	18.1	120	35
7	7	0.57	0.667	22.7	26.6	50.8	33.6	6.8	12.5	22.6	18	120	35
8	8	0.58	0.666	22.7	26.9	50.9	33.7	6.7	12.6	22.7	18	122	35
9	9	0.58	0.664	22.8	26.9	51.8	33.8	6.8	12.3	22.7	18	122	35
10	10	0.58	0.663	22.9	27.1	51.4	33.5	6.7	12.7	22.7	17.9	122	35
11	11	0.58	0.666	22.9	27	52.2	33.5	7.1	12.9	22.8	17.9	122	35
12	12	0.58	0.666	22.9	27	52.2	33.6	7.2	12.9	22.8	17.9	122	35
13	13	0.57	0.67	22.8	27	53.8	33.8	6.9	12.5	22.7	17.9	122	35
14	14	0.57	0.668	22.7	27.1	54.9	33.8	6.7	12.4	22.6	18	122	35
15	15	0.57	0.669	22.7	27	55.1	33.8	6.8	12.6	22.6	18	122	35
16	16	0.57	0.668	22.8	27.2	55.4	33.8	6.7	12.6	22.6	18	122	35
17	17	0.57	0.668	22.7	27.1	56.4	33.8	6.7	12.3	22.6	18	122	35
18	18	0.57	0.67	22.7	27.1	57	33.9	6.6	12.4	22.6	18	124	35
19	19	0.57	0.67	22.8	27.1	56.4	33.8	6.7	12.7	22.6	18	124	35
20	20	0.57	0.67	22.8	27.1	57	33.9	6.7	12.5	22.6	18	124	35
21	21	0.57	0.671	22.7	27.1	57.7	34	6.5	11.9	22.7	18	124	35
22	22	0.57	0.671	22.9	27.1	57.4	34	6.7	12.7	22.7	18.1	124	35
23	23	0.57	0.671	22.8	27.1	57.4	34	6.7	12.5	22.8	18.1	124	35
24	24	0.57	0.671	22.8	27.2	58	34.5	6.7	11.6	22.8	18.1	126	35
25	25	0.57	0.674	22.9	27.5	58	35.4	6.6	11.9	22.8	18	126	35
26	26	0.57	0.674	22.9	27.6	58	35.4	6.4	11.9	22.9	18	126	35
27	27												
28	28	0.57	0.677	23	27.9	59.2	35.4	6.6	11.4	22.8	17.8	130	35
29	29	0.57	0.677	22.9	28	59.6	35.3	6.4	11.9	22.7	17.8	130	35
30	30	0.57	0.677	23	28	58.8	35.1	6.1	11.9	22.8	17.8	130	35

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 3^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Από την 24^η έως την 30^η μέτρηση υπήρξε μεταβολή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών, επομένως οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψιν.

		T _{water_in} = 22.7		°C		m _{water_hot} = 260		(L/h)				m _{water_cold} = 200		(L/h)	
Πείραμα	3	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	17	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1334.67	1073.33	261.33	380.76	5.11	3.51	4.11	2.82	27.2	17.9	4.4	4.6	9	
Refrigerant		1388.66	1167.89	220.77	380.76	6.29	3.65	5.29	3.07						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 17^{ης} μέτρησης του 3^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 17^{ης} μέτρησης του 3^{ου} πειράματος.

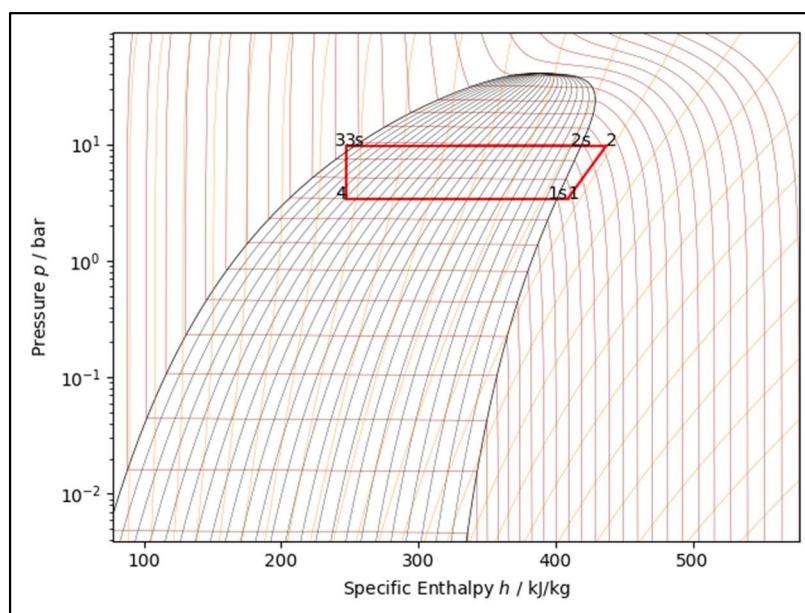
Πείραμα υπ' αριθμ.4

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			23	22.5	25.9	25.9	25	25.7	23.2	22.4		
1	1	0.58	0.647	22.9	23.3	41.9	32.4	9.4	14.7	23.1	22	117.5	40
2	2	0.59	0.664	23	24.8	45.8	33.6	8.6	8.2	23.1	20.7	120	37
3	3	0.57	0.657	22.9	26.1	48.3	33.2	7	11.8	23	19.6	120	35
4	4	0.58	0.657	22.9	26.5	49.9	33.6	6.6	13.2	22.9	19.1	120	35
5	5	0.58	0.663	22.9	26.8	51.1	33.8	6.9	13.2	23	18.6	122	35
6	6	0.56	0.682	22.9	27.1	52.2	33.8	6.8	12.8	22.9	18.4	122	35
7	7	0.58	0.665	22.9	27.2	52.1	33.8	7.1	12.9	22.8	18.3	122	35
8	8	0.58	0.666	22.8	27.3	53.4	33.4	6.9	12.8	22.7	18.2	122	35
9	9	0.58	0.666	23	27.2	52.3	33.8	7.1	13.3	22.9	18.2	122	35
10	10	0.58	0.666	23.1	27.3	52	33.7	7.3	13	23.1	18.2	122	35
11	11	0.58	0.668	23.2	27.4	52.3	33.9	7.6	12.1	23.1	18.1	122	35
12	12	0.57	0.67	22.9	27.5	55	34.2	6.7	12	22.8	18.1	122	35
13	13	0.58	0.672	22.8	27.5	56	34.4	6.7	11.9	22.6	18.1	122	35
14	14	0.57	0.672	22.9	27.5	55.1	34.1	6.8	12.4	22.9	18	124	35
15	15	0.57	0.672	22.9	27.5	55.9	34.3	7.1	12	22.8	18	124	35
16	16	0.57	0.675	22.9	27.5	55.2	34.2	7.1	12	22.9	18	124	35
17	17	0.57	0.672	22.9	27.4	56.3	33.9	6.7	13.3	23	18.1	124	35
18	18	0.57	0.678	23	27.3	55.4	34	7.5	12	23	18.1	124	35
19	19	0.57	0.677	23	27.4	55.7	34.1	7.2	12.8	23	18.1	124	35
20	20	0.57	0.678	22.8	27.5	56.9	34.1	6.7	12.1	22.8	18.1	124	35
21	21	0.57	0.68	22.9	27.5	56.5	34.1	7	12.6	22.9	18.1	124	35
22	22	0.57	0.688	22.9	27.5	56	34.1	7.9	12.7	23.1	18.1	124	35
23	23	0.56	0.687	22.8	27.5	56.4	33.9	7.2	12.1	22.9	18	126	35
24	24	0.57	0.673	22.8	27.5	55.1	34	8	13	23	18	126	35
25	25	0.57	0.671	22.8	27.5	55.2	33.8	7.8	13.1	22.9	17.9	126	35
26	26	0.58	0.671	22.8	27.5	57.6	34	6.8	12.2	22.7	17.9	126	35
27	27	0.58	0.67	22.8	27.4	57.4	34.2	7.1	12.6	22.8	17.9	126	35
28	28	0.58	0.67	23	27.5	56.2	33.8	7.5	12.8	22.9	17.9	126	35
29	29	0.57	0.674	22.9	27.4	57.1	34	7.3	11.8	22.9	17.9	126	35
30	30	0.57	0.673	22.9	27.4	57.8	34.2	7.2	12.7	22.8	18	126	35

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 4^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 22.9		°C		m _{water_hot} =		260		(L/h)				m _{water_cold} =		200		(L/h)	
Πείραμα	4	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT					
Μέτρηση	25	(W)	(W)	(W)	(W)														
Water		1425.67	1166.67	259.00	382.47	5.50	3.73	4.50	3.05	27.5	17.9	4.7	5	9.7					
Refrigerant		1370.45	1168.58	201.87	382.47	6.79	3.58	5.79	3.06										

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 25^{ης} μέτρησης του 4^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 25^{ης} μέτρησης του 4^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.5

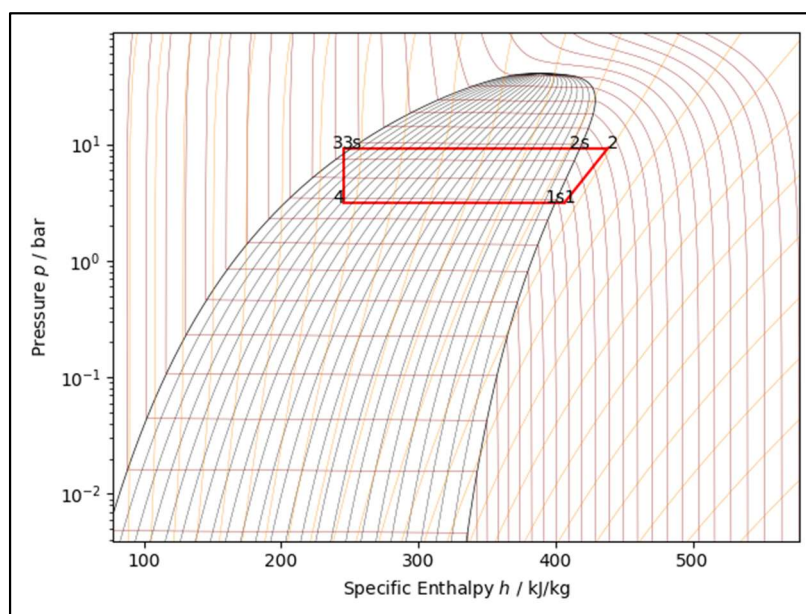
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			22.2	22	23.6	23.9	22.8	23.4	22.5	22		
1	1	0.53	0.676	22.2	22.8	40.9	31.4	8.5	9.6	22.5	21.8	115	37
2	2	0.54	0.69	22.2	24.4	44	32.9	7.3	6.7	22.4	20.4	119	35
3	3	0.53	0.68	22.2	25.5	46.5	32.1	5.5	8.5	22.2	19.1	119	34
4	4	0.53	0.68	22.2	25.9	49.1	32.6	5	10.2	22.2	18.4	119	34
5	5	0.53	0.68	22.2	26.2	50.5	32.6	4.5	9.7	22	17.6	120	32.5
6	6	0.53	0.68	22.2	26.4	51.8	32.3	4.2	9.3	22	17.4	120	32
7	7	0.53	0.677	22.2	26.6	52.4	32.1	3.9	8.6	22	17.1	120	31
8	8	0.53	0.681	22.2	26.6	52.8	32.7	4.4	7.7	22	16.8	120	31
9	9	0.53	0.68	22.1	26.5	53.2	32.7	4.4	6.9	22	16.6	120	31
10	10	0.53	0.681	22.1	26.6	53.6	32.6	4.1	8.7	21.9	16.4	120	31
11	11	0.53	0.679	22.1	26.6	54.4	32.4	3.8	8.9	21.9	16.3	120	31
12	12	0.53	0.68	22.1	26.6	54.5	32.4	3.8	9	21.9	16.3	120	31
13	13	0.53	0.679	22.1	26.6	55	32.1	3.5	8.4	21.9	16.3	120	31
14	14	0.53	0.678	22.1	26.6	55.2	32.2	3.6	8	21.9	16.2	120	31
15	15	0.53	0.681	22.1	26.6	55.7	32.9	4.3	7	21.9	16.2	120	31
16	16	0.53	0.68	22.2	26.6	55.7	32.8	4.1	7.1	21.9	16.2	120	31
17	17	0.53	0.68	22.1	26.7	55.7	32.6	4	9.5	21.9	16.3	120	31
18	18	0.53	0.678	22.2	26.6	56.6	32.5	3.9	8.8	21.9	16.2	120	31
19	19	0.53	0.678	22.2	26.5	56.4	32	3.8	8.6	21.9	16.2	120	31
20	20	0.53	0.681	22.2	26.6	56.9	32.2	3.7	7.9	21.8	16.2	120	31
21	21	0.53	0.682	22.2	26.5	57.2	32.9	4.3	6.8	21.8	16.2	120	31
22	22	0.53	0.679	22.2	26.6	57.1	32.8	4.2	6.5	21.8	16.2	120	31
23	23	0.53	0.679	22.2	26.6	57.1	32.8	4.2	8.7	21.8	16.2	120	31
24	24	0.53	0.679	22.2	26.6	57.4	32.6	4	9.1	21.8	16.2	120	31
25	25	0.53	0.68	22.2	26.5	58.1	32.3	3.6	8.4	21.8	16.2	120	31
26	26	0.53	0.683	22.2	26.6	58.2	32.4	3.9	8.3	21.7	16.2	120	31
27	27	0.53	0.682	22.2	26.6	58.3	32.8	4	8.1	21.7	16.1	120	31
28	28	0.53	0.685	22.2	26.6	58.3	33	4.2	7.1	21.7	16.1	120	31
29	29	0.53	0.685	22.2	26.6	58.4	33	4.3	7.7	21.7	16.1	120	31
30	30	0.53	0.682	22.2	26.5	58.3	32.7	3.9	8.9	21.6	16.1	120	31

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 5^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Κατά τη διενέργεια του πειράματος παρατηρήθηκε πτώση της ισχύος τροφοδοσίας, πιθανότατα λόγω αστάθειας του δικτύου ηλεκτροδότησης.

Πείραμα	Μέτρηση	T _{water_in} = 22.1 °C		m _{water_hot} = 260 (L/h)		m _{water_cold} = 140 (L/h)		T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}			
Water	17	1395.33	914.67	480.67	360.40	2.90	3.87	1.90	2.54	26.7	16.1	10.2
Refrigerant		1292.02	1078.91	213.11	360.40	6.06	3.58	5.06	2.99			

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 17^{ης} μέτρησης του 5^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 17^{ης} μέτρησης του 5^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.6

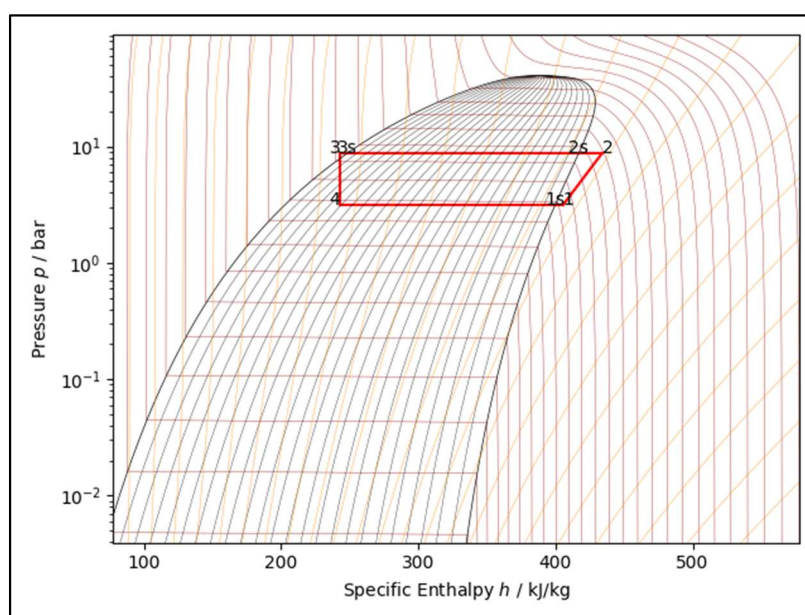
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21.5	21.6	22.4	22.2	21.6	22	21.6	21.6		
1	1	0.53	0.629	21.5	22.1	30.9	30.2	10.7	10.1	21.6	21.4	110	40
2	2	0.54	0.648	21.5	23.6	33.1	30.7	7.5	9.3	21.6	20.6	112	37.5
3	3	0.54	0.656	21.5	24.6	34.8	31.1	6.1	6.1	21.5	18.8	112	35
4	4	0.54	0.654	21.6	25.2	36.1	31.2	5.6	9.8	21.5	17.8	112	34
5	5	0.54	0.66	21.6	25.6	37.3	31	5.6	8.2	21.5	17.4	112	32.5
6	6	0.54	0.662	21.6	25.6	38.3	30.9	4.7	8	21.5	16.9	112	31
7	7	0.54	0.661	21.7	25.6	39.5	30.8	4.5	9	21.5	16.4	112	31
8	8	0.54	0.662	21.7	25.7	40.6	31	4.7	7.5	21.5	16.2	112	31
9	9	0.54	0.664	21.7	25.7	41.9	31.2	4.4	6.1	21.5	16.1	112	31
10	10	0.54	0.663	21.7	25.7	42.9	31.1	4.2	9.6	21.5	16.1	112	31
11	11	0.54	0.665	21.8	25.7	43.3	30.6	4.4	9.2	21.6	16	112	31
12	12	0.54	0.668	21.7	25.6	43.8	31	4.5	8.8	21.5	15.9	112	31
13	13	0.54	0.664	21.7	25.7	44.7	31	4.4	7.2	21.5	15.9	112	31
14	14	0.54	0.668	21.6	25.6	44.8	30.7	4.4	8.6	21.5	15.9	112	31
15	15	0.54	0.667	21.6	25.6	45.8	31	4.3	8.4	21.5	15.8	112	31
16	16	0.54	0.666	21.6	25.7	46.4	31	3.4	8	21.5	15.8	112	31
17	17	0.54	0.666	21.6	25.7	46.6	31	4	6.2	21.5	15.7	112	31
18	18	0.54	0.668	21.6	25.7	47.5	31.1	3.7	5.7	21.5	15.7	112	31
19	19	0.54	0.666	21.6	25.7	47.9	31.2	3.7	5.2	21.5	15.8	112	31
20	20	0.54	0.666	21.7	25.7	48.8	31.4	3.4	5.1	21.5	15.8	112	31
21	21	0.54	0.665	21.7	25.7	49	31.2	3.6	5.7	21.6	15.8	112	31
22	22	0.54	0.665	21.7	25.7	49.6	31.6	3.8	6	21.6	15.8	112	31
23	23	0.54	0.665	21.7	25.7	49.7	31.3	3.7	8	21.5	15.7	112	31
24	24	0.54	0.665	21.6	25.8	50.2	31	3.5	8.2	21.5	15.8	112	31
25	25	0.54	0.662	21.6	25.8	50.5	30.9	3.3	8.5	21.5	15.8	112	31
26	26	0.54	0.663	21.7	25.8	51.7	31	3.1	8	21.5	15.8	112	31
27	27	0.54	0.663	21.7	25.8	53.1	31.3	3	8.4	21.5	15.8	112	31
28	28	0.54	0.666	21.7	25.7	52	31.1	3.7	8.4	21.5	15.8	112	31
29	29	0.54	0.662	21.6	25.8	51.8	31	3.5	8.6	21.5	15.9	112	31
30	30	0.54	0.663	21.7	25.8	52.6	30.9	3.2	7.8	21.5	15.8	112	31

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 6^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Κατά τη διενέργεια του πειράματος παρατηρήθηκε πτώση της ισχύος τροφοδοσίας, πιθανότατα λόγω αστάθειας του δικτύου ηλεκτροδότησης. Να σημειωθεί ότι είχαν προηγηθεί διαδοχικές διακοπές ρεύματος.

		T _{water_in} = 21.6		°C		m _{water_hot} = 260		(L/h)				m _{water_cold} = 140		(L/h)	
Πείραμα	6	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	25	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1247.00	931.00	343.00	357.48	3.71	3.56	2.71	2.60						
Refrigerant		1285.61	1094.79	190.82	357.48	6.74	3.60	5.74	3.06	25.8	15.7	4.2	5.7	9.9	

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 25^{ης} μέτρησης του 6^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 25^{ης} μέτρησης του 6^{ου} πειράματος.

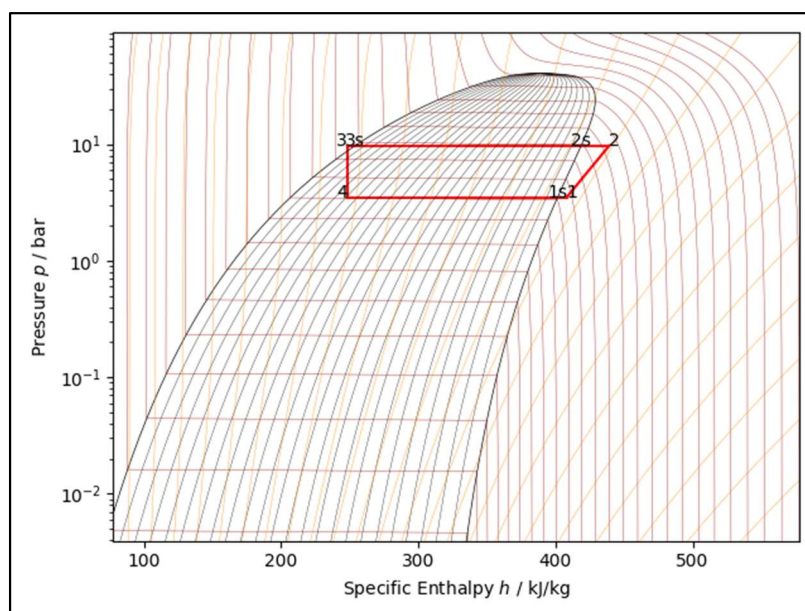
Πείραμα υπ' αριθμ.7

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21	20.8	23.9	23.7	19.8	21.6	21	20.9	82	65
1	1	0.53	0.643	21	21.5	32.3	30.3	6.8	18.9	20.9	20.2	110	36
2	2	0.57	0.647	20.8	23.1	37.8	31.8	6.8	7.5	20.5	18.9	112	36
3	3	0.55	0.646	20.9	24.4	39.9	32	3.6	10.5	20.7	18.2	118	36
4	4	0.58	0.649	21	25	41.9	32.6	5.6	11.4	20.6	17.6	120	36
5	5	0.58	0.655	21.1	25.4	43.5	33.2	5.7	12	20.6	17.4	120	36
6	6	0.58	0.659	21.1	25.9	44.7	33.3	5.7	12.1	20.7	17.3	120	36
7	7	0.58	0.663	21.1	26.2	45.8	33.4	5.8	12.2	20.8	17.3	122	36
8	8	0.58	0.664	21.1	26.3	46.5	33.5	5.8	12.3	20.8	17.3	122	35
9	9	0.58	0.665	21	26.4	47.8	33.6	5.8	12.2	20.7	17.4	122	35
10	10	0.58	0.666	21.1	26.5	48.6	33.6	5.9	12	20.7	17.4	122	35
11	11	0.58	0.667	21.1	26.8	49.5	33.8	5.9	11.8	20.7	17.3	122	35
12	12	0.58	0.665	21.1	26.7	50.5	33.9	6	12.1	20.7	17.3	122	35
13	13	0.58	0.665	21.2	26.8	50.9	34	6.1	12.5	20.7	17.3	122	35
14	14	0.58	0.668	21.2	26.7	52	34	6.1	11.8	20.7	17.2	122	36
15	15	0.58	0.668	21.2	26.7	51.4	33.9	6.1	12.5	20.8	17.3	122	35
16	16	0.58	0.687	21.2	26.7	52.5	34.1	6.2	12.3	20.9	17.3	122	35
17	17	0.58	0.671	21.2	26.7	52.9	34.1	6.2	12.4	20.9	17.3	122	35
18	18	0.58	0.673	21.2	27	53.8	34.2	6.3	12.3	20.9	17.3	122	35
19	19	0.58	0.674	21.3	26.9	54	34.2	6.3	12.3	20.9	17.3	122	35
20	20	0.58	0.673	21.3	26.8	54.3	34.3	6.4	12.5	20.9	17.3	122	35
21	21	0.58	0.675	21.4	26.9	55.2	34.4	6.4	11.9	20.9	17.2	122	35
22	22	0.57	0.673	21.4	26.8	55.5	34.3	6.4	12.1	20.9	17.1	122	36
23	23	0.57	0.676	21.4	26.8	56.4	34.4	6.5	12.3	20.9	17.1	122	36
24	24	0.57	0.678	21.4	26.9	56.8	34.5	6.5	12.2	21	17.1	124	36
25	25	0.57	0.679	21.4	26.8	56.7	34.5	6.5	12.1	21	17.1	126	36
26	26	0.57	0.679	21.3	27.3	57	34.5	6.6	12.1	21	17.2	126	36
27	27	0.57	0.678	21.4	26.9	56.6	34.6	6.6	12.1	21	17.2	126	36
28	28	0.57	0.678	21.3	27.3	57.2	34.6	6.6	12.2	21	17.2	126	36
29	29	0.57	0.678	21.3	26.9	57.7	34.7	6.6	12.2	21	17.3	126	36
30	30	0.57	0.681	21.3	27	58.5	34.8	6.6	12.1	20.9	17.3	126	36

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 7^{ου} πειράματος.

Πείραμα	7	Twater_in = 21 °C		Twater_hot = 200 (L/h)		Twater_cold = 260 (L/h)		Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}			
Μέτρηση	28	1400.00	1152.67	247.33	386.46	5.66	3.62	4.66	2.98	27.3	17.1	9.8
Water												
Refrigerant		1414.10	1183.88	230.22	386.46	6.14	3.66	5.14	3.06			

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 28^{ης} μέτρησης του 7^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 28^{ης} μέτρησης του 7^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.8

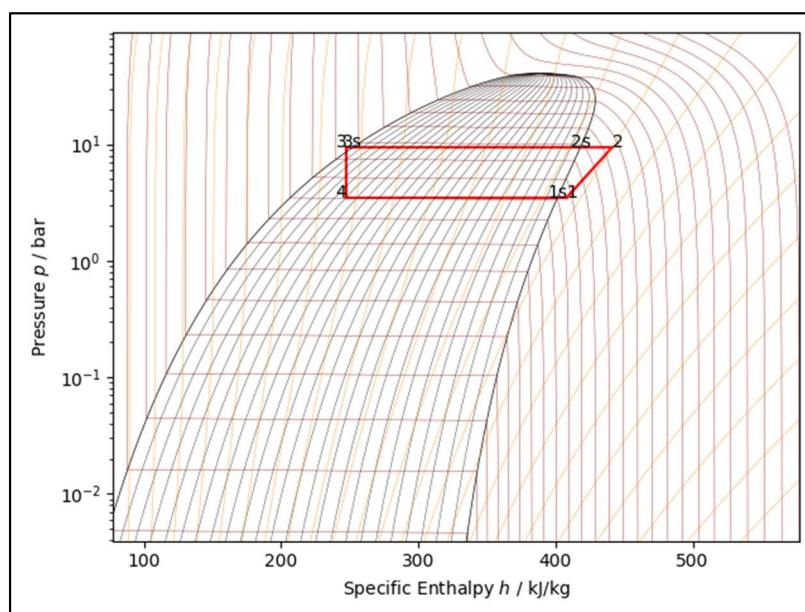
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT TANK				COLD TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21	20.8	23.5	24.4	21.5	23.5	21.2	20.6	72.5	72.5
1	1	0.57	0.642	21.1	21	39.8	30.4	8.7	18.6	21.2	20.3	110	39
2	2	0.58	0.669	21	22.8	47.8	32.8	8.3	8.3	21.2	19	120	37
3	3	0.57	0.659	21.1	24.4	49.4	32.6	7.1	11.1	21.2	18.3	120	36
4	4	0.58	0.66	21	25.1	51.8	33.4	6.9	12.4	21.2	17.6	120	36
5	5	0.58	0.666	21.1	25.7	52.4	33.5	6.9	12.1	21.2	17.4	122	36
6	6	0.58	0.664	21.2	26.2	52.4	32.8	6.4	12	21.3	17.3	122	36
7	7	0.58	0.666	21.1	26.1	54.5	33.9	7	12.6	21.3	17.3	122	36
8	8	0.58	0.672	21.2	26.4	53.4	33.7	7.3	12.2	21.3	17.3	122	36
9	9	0.58	0.67	21.2	26.6	53.6	33.6	7.1	12.5	21.3	17.2	122	36
10	10	0.58	0.673	21.1	26.7	54	33.8	7.3	12.6	21.3	17.2	122	36
11	11	0.58	0.672	21.2	26.6	53.6	33.7	7.3	12.6	21.3	17.2	122	36
12	12	0.58	0.671	21.1	26.7	54.9	33.9	7.1	12.4	21.3	17.2	122	36
13	13	0.58	0.67	21.1	26.8	56	34	7	12.5	21.3	17.2	122	36
14	14	0.58	0.64	21.1	26.6	56.5	34.1	7	12.4	21.2	17.2	122	36
15	15	0.58	0.671	21.1	26.7	56.3	34.2	7.1	12.5	21.2	17.2	122	36
16	16	0.58	0.67	21.1	26.6	55	34	7.3	12	21.3	17.2	122	36
17	17	0.58	0.669	21	26.7	57.6	33.9	6.5	12.4	21.2	17.2	122	36
18	18	0.58	0.671	21.1	26.9	55.9	34	7.2	11.4	21.3	17.2	122	36
19	19	0.58	0.671	21.1	26.8	57.1	33.7	6.8	12.6	21.3	17.2	122	36
20	20	0.58	0.669	21.1	26.8	56.6	33.8	7.2	12.6	21.3	17.2	122	36
21	21	0.58	0.67	21.1	26.7	57.6	34.1	7.1	12.1	21.2	17.2	122	36
22	22	0.58	0.668	21	26.8	58.9	34.2	6.6	12.4	21.1	17.2	122	36
23	23	0.58	0.669	21.1	26.8	58.9	34.1	7	12.4	21.3	17.2	122	36
24	24	0.58	0.669	21.2	26.9	56.8	33.9	7.2	12.7	21.4	17.3	122	36
25	25	0.58	0.668	21.1	27.3	58	34.5	6.4	11.7	21.4	17.3	122	36
26	26	0.58	0.665	21.2	27.7	58.7	34.3	5.8	11.3	21.4	17.1	122	36
27	27	0.58	0.665	21.3	28	58.2	33.9	5.7	11	21.4	16.9	122	36
28	28	0.58	0.663	21.2	27.9	59.3	34.7	5.8	9.8	21.4	16.8	122	36
29	29	0.58	0.666	21.3	28.1	59.1	34.7	5.9	11.3	21.4	16.8	122	36
30	30	0.58	0.664	21.3	28.1	58.8	34.2	5.8	11.3	21.4	16.7	122	36

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 8^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Από την 24^η έως την 30^η μέτρηση υπήρξε μεταβολή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών, επομένως οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψιν.

		T _{water_in} =	21.2	°C	m _{water_hot} =		200	(L/h)		m _{water_cold} =		260	(L/h)	
Πείραμα	8	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	22	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1353.33	1183.00	170.33	387.44	7.95	3.49	6.95	3.05	26.9	17.2	5.8	3.9	9.7
Refrigerant		1433.87	1188.38	245.49	387.44	5.84	3.70	4.84	3.07					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 22^{ης} μέτρησης του 8^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 22^{ης} μέτρησης του 8^{ου} πειράματος.

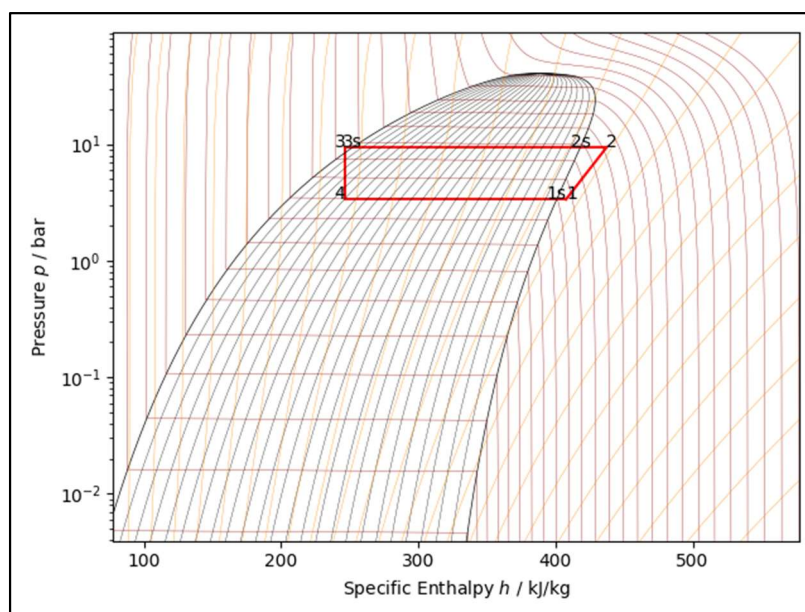
Πείραμα υπ' αριθμ.9

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21.2	21	23.8	23.9	23	23.7	21.7	21.1		
1	1	0.58	0.637	21.2	21.6	39.7	30.7	8.7	11.2	21.7	20.6	110	37
2	2	0.58	0.655	21.3	23.1	43.1	33	8	8	21.7	19.4	120	36
3	3	0.58	0.651	21.3	24.7	43.2	32.3	6.8	6.9	21.7	18.6	120	35
4	4	0.58	0.648	21.2	25.3	46.6	32.6	5.9	10.9	21.7	17.7	120	35
5	5	0.58	0.653	21.2	26.1	49.5	33.5	6	9.9	21.6	17.5	120	35
6	6	0.58	0.653	21.2	26.2	51.1	33.6	5.4	10.4	21.6	17.2	120	35
7	7	0.58	0.654	21.3	26.4	51.2	33.5	5.5	10.8	21.7	17	120	35
8	8	0.58	0.655	21.3	26.5	51.6	33.5	5.5	11.1	21.7	16.9	120	35
9	9	0.58	0.655	21.2	26.4	53.4	33.6	5	10.5	21.6	16.8	120	34
10	10	0.58	0.658	21.3	26.5	53.5	33.7	5.7	9.9	21.6	16.8	122	34
11	11	0.58	0.657	21.3	26.4	53.8	33.6	5.5	11.3	21.7	16.8	122	34
12	12	0.58	0.655	21.2	26.8	54.8	33.3	5	11	21.7	16.7	122	34
13	13	0.58	0.655	21.2	26.8	54.7	33.1	5.1	10.3	21.7	16.7	122	34
14	14	0.58	0.665	21.2	26.7	55.9	33.8	5.7	9.5	21.6	16.6	122	34
15	15	0.57	0.663	21.2	26.9	55	33.6	5.7	11.3	21.6	16.7	122	34
16	16	0.58	0.657	21.1	26.8	56.5	33.6	5.1	10.7	21.3	16.6	122	34
17	17	0.58	0.659	21.1	26.8	56.6	33.6	5.2	10.2	21.3	16.6	122	34
18	18	0.58	0.659	21.2	26.8	57.4	33.8	5.4	10.1	21.4	16.6	122	34
19	19	0.58	0.66	21.2	26.9	56.7	33.7	5.7	10	21.5	16.6	122	34
20	20	0.58	0.659	21.2	26.6	57.6	33.8	5.4	11	21.5	16.5	122	34
21	21	0.58	0.659	21.2	26.6	57.6	33.7	5.2	10.6	21.4	16.5	122	34
22	22	0.58	0.66	21.2	26.9	57.7	33.1	4.8	9.7	21.5	16.5	122	34
23	23	0.58	0.657	21.1	26.7	58.5	33.8	5	10.5	21.3	16.5	122	34
24	24	0.58	0.658	21.2	26.6	57.5	33.7	5.4	11.3	21.5	16.5	122	34
25	25	0.58	0.657	21.1	26.6	58.7	33.6	4.7	10.5	21.2	16.5	122	34
26	26	0.58	0.659	21.1	26.6	59.1	33.8	5.1	10.1	21.2	16.5	122	34
27	27	0.58	0.659	21.1	26.6	59	33.9	5	10.7	21.1	16.5	122	34
28	28	0.58	0.657	21.1	26.6	59.1	33.7	5.1	11.4	21.4	16.5	122	34
29	29	0.58	0.657	21.1	26.6	59.5	33.6	4.8	11	21.4	16.5	122	34
30	30	0.58	0.661	21.1	26.8	59.7	33.8	5	10.2	21.3	16.5	122	34

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 9^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 21.4		°C		m _{water_hot} =		200		(L/h)				m _{water_cold} =		200		(L/h)	
Πείραμα	9	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT					
Μέτρηση	15	(W)	(W)	(W)	(W)														
Water		1330.00	1143.33	186.67	377.91	7.13	3.52	6.13	3.03										
Refrigerant		1356.17	1144.45	211.72	377.91	6.41	3.59	5.41	3.03	26.9	16.5	5.7	4.9	10.6					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 15^{ης} μέτρησης του 9^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 15^{ης} μέτρησης του 9^{ου} πειράματος.

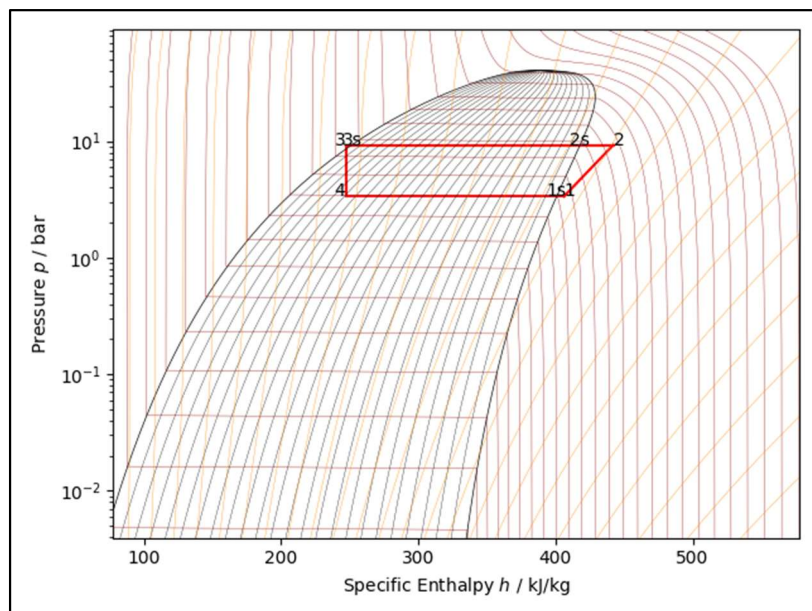
Πείραμα υπ' αριθμ.10

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			20.9	20.7	22.9	23.4	21.2	22.9	21.3	20.5	72.5	72.5
1	1	0.57	0.647	20.9	21.2	42.5	50.8	8.5	9.5	21.2	20.2	110	40
2	2	0.58	0.662	20.9	22.8	45.2	33	7.4	7	21.2	19	120	36
3	3	0.57	0.653	20.9	24.5	46.6	31.9	5.7	7.7	21	18.1	120	35
4	4	0.57	0.65	21	25.2	49.7	32.8	5.2	9.9	21	17.4	120	34
5	5	0.58	0.654	21	25.6	51.7	32.9	4.8	9.6	20.9	17.1	120	34
6	6	0.58	0.655	21	25.9	53	32.9	4.5	9.1	20.9	16.8	120	34
7	7	0.58	0.655	21	25.9	54	33.2	4.8	8.5	20.9	16.6	120	34
8	8	0.57	0.66	21	26.2	54.4	33.2	4.7	9.9	20.9	16.5	120	34
9	9	0.57	0.661	21	26.4	55.2	33.1	4.6	9.9	20.9	16.4	120	34
10	10	0.57	0.66	21	26.6	55.4	32.9	4.5	9.7	20.9	16.4	120	34
11	11	0.57	0.662	21	26.6	55.7	33.1	4.9	9.4	20.8	16.4	120	34
12	12	0.57	0.661	21	26.5	55.9	33.3	4.8	9.8	20.8	16.3	120	34
13	13	0.57	0.663	21	26.5	56.5	33.2	4.6	9.8	20.7	16.3	120	34
14	14	0.57	0.664	21	26.6	56.9	33.1	4.5	9.6	20.7	16.3	120	34
15	15	0.57	0.668	21.1	26.5	57	33.5	5.1	8.8	20.8	16.3	120	34
16	16	0.56	0.666	21	26.5	57.5	33.4	4.8	9.8	20.7	16.3	120	34
17	17	0.56	0.667	21.1	26.6	57.9	33.3	4.6	9.8	20.7	16.3	120	34
18	18	0.56	0.668	21.2	26.5	57.9	33.1	4.7	9.6	20.8	16.3	120	34
19	19	0.56	0.669	21.1	26.4	58.3	33.7	5.1	9.2	20.8	16.2	120	34
20	20	0.56	0.668	21.1	26.5	58.3	33.6	5	10	20.8	16.3	120	34
21	21	0.55	0.675	21.2	26.5	58.5	33.5	4.8	9.9	20.7	16.3	120	34
22	22	0.55	0.677	21.1	26.6	58.7	33.1	4.5	9.7	20.7	16.3	120	34
23	23	0.55	0.679	21.1	26.6	59	33.7	5.2	9.4	20.7	16.3	120	34
24	24	0.55	0.68	21.1	26.6	59.4	33.8	5.1	9.1	20.7	16.3	120	34
25	25	0.55	0.678	21.1	26.6	58.8	33.6	5.1	10	20.7	16.3	120	34
26	26	0.55	0.678	21.1	26.7	59.1	33.3	4.7	9.7	20.7	16.3	120	34
27	27	0.55	0.679	21	26.6	59.5	33.5	4.9	9.6	20.7	16.2	120	34
28	28	0.55	0.68	21	26.7	59.2	33.8	5.2	9.4	20.6	16.2	120	34
29	29	0.55	0.679	21	26.7	59.4	33.6	5.1	9.7	20.6	16.3	120	34
30	30	0.55	0.682	21	26.7	59.3	33.5	4.9	9.8	20.7	16.3	120	34

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 10^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 20.9		°C		m _{water_hot} = 200		(L/h)		m _{water_cold} = 200		(L/h)		
Πείραμα	10	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	29	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1330.00	1003.33	326.67	373.45	4.07	3.56	3.07	2.69					
Refrigerant		1401.65	1143.16	258.50	373.45	5.42	3.75	4.42	3.06	26.7	16.2	5.7	4.3	10

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 10^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 10^{ου} πειράματος.

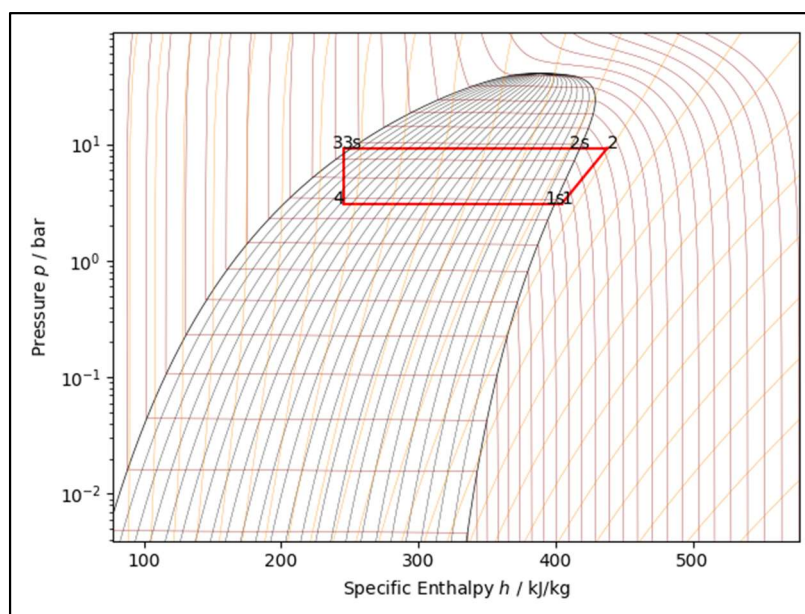
Πείραμα υπ' αριθμ.11

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21.5	21.3	23.1	23.4	22.6	22.9	21.5	21	72.5	75
1	1	0.58	0.61	21.4	21.6	31.8	30.5	9.7	9.3	21.6	20.8	110	40
2	2	0.58	0.613	21.5	23.1	33.4	31.7	7.8	7	21.5	19.9	115	37.5
3	3	0.59	0.62	21.5	24.4	34.2	31.6	6.1	5.6	21.5	18.8	117.5	34
4	4	0.59	0.625	21.5	25.3	35.9	31.9	5.3	5.6	21.6	17.9	120	34
5	5	0.59	0.63	21.5	25.7	38.2	31.8	4.7	6.5	21.6	17.3	120	32
6	6	0.59	0.63	21.5	25.9	40.1	32	4.2	7.4	21.6	16.7	120	30
7	7	0.59	0.63	21.5	26	41.8	32.1	3.6	9.7	21.7	16.5	120	30
8	8	0.59	0.632	21.5	26.3	42.8	31.9	3.6	7.1	21.7	16.3	120	30
9	9	0.59	0.635	21.5	26.3	43.6	32.7	3.9	7	21.7	16.2	120	30
10	10	0.59	0.636	21.5	26.5	44.8	32.9	3.7	4.9	21.7	16	120	30
11	11	0.59	0.638	21.5	26.6	46	32.9	3.6	7.5	21.6	15.8	120	30
12	12	0.58	0.638	21.5	26.5	46.2	32.4	3.7	8.9	21.6	15.8	120	30
13	13	0.58	0.64	21.5	26.5	47.5	32.5	3.6	8.5	21.6	15.8	120	30
14	14	0.58	0.643	21.6	26.4	47.9	32.3	3.5	8.6	21.7	15.7	120	30
15	15	0.58	0.643	21.5	26.4	48.6	32.3	3.5	8.4	21.7	15.7	120	30
16	16	0.58	0.645	21.5	26.7	49.4	32.2	3.5	7.6	21.6	15.7	120	30
17	17	0.58	0.647	21.6	26.6	50.3	33.1	3.5	4.3	21.6	15.6	120	30
18	18	0.58	0.647	21.6	26.4	50.6	33	3.5	5.4	21.6	15.6	120	30
19	19	0.57	0.647	21.6	26.8	51.2	32.5	3.5	8.2	21.6	15.5	120	30
20	20	0.58	0.642	21.6	26.9	51.6	32.5	3.5	8.5	21.7	15.5	120	30
21	21	0.58	0.641	21.6	26.8	51.8	32	3.5	8.2	21.7	15.5	120	30
22	22	0.58	0.641	21.6	26.8	52.9	32.4	3.5	7.1	21.7	15.6	120	30
23	23	0.58	0.645	21.6	26.6	53	33.1	3.6	5.6	21.6	15.6	120	30
24	24	0.58	0.642	21.6	26.7	54.5	32.8	3.4	8.4	21.6	15.6	120	30
25	25	0.58	0.642	21.6	26.7	54	33	3.5	8.1	21.6	15.6	120	30
26	26	0.58	0.64	21.6	26.8	54.3	32.2	3.5	8.9	21.7	15.5	120	30
27	27	0.58	0.643	21.6	26.6	54.1	32.2	3.6	8.5	21.7	15.5	120	30
28	28	0.58	0.645	21.6	26.4	54.4	32.1	3.5	8.3	21.7	15.5	120	30
29	29	0.57	0.655	21.5	26.5	54.6	32.3	3.3	7.3	21.7	15.6	120	30
30	30	0.56	0.66	21.5	26.8	55.3	32.6	3.4	7.1	21.6	15.7	120	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 11^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 21.6		°C		m _{water_hot} = 200		(L/h)		m _{water_cold} = 140		(L/h)		
Πείραμα	11	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	30	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1236.67	963.67	170.33	369.60	4.53	3.35	3.53	2.61	26.9	15.5	5.3	5.9	11.2
Refrigerant		1273.16	1052.41	220.75	369.60	5.77	3.44	4.77	2.85					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 30^{ης} μέτρησης του 11^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 30^{ης} μέτρησης του 11^{ου} πειράματος.

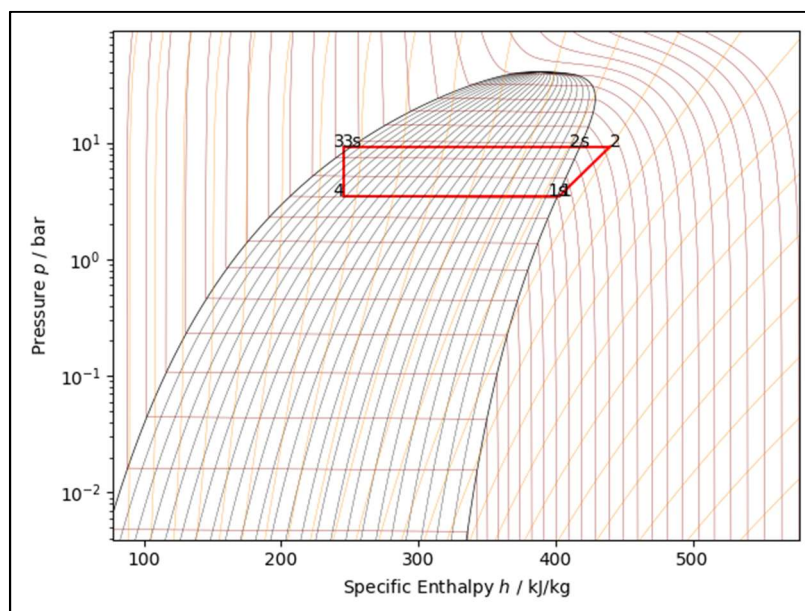
Πείραμα υπ' αριθμ.12

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			20.9	20.9	22.3	22.3	22	22.2	21.4	20.8		
1	1	0.55	0.647	20.9	21.3	36	29.6	7.5	9.8	21.3	20.6	110	35
2	2	0.55	0.656	21	22.9	39.5	32.2	6.9	6.1	21.2	19.4	115	35
3	3	0.55	0.652	21	24.2	40.4	31.3	4.8	5.6	21.1	18.4	115	32
4	4	0.55	0.654	21	25.1	43.7	31.9	4.3	8.1	21	17.5	117.5	32
5	5	0.55	0.658	21	25.5	46.2	32	3.5	7.5	20.9	16.8	120	30
6	6	0.55	0.658	21	25.8	47.6	31.9	3.2	7.2	20.9	16.3	120	30
7	7	0.55	0.66	21	25.9	49	32.4	3.1	6.2	20.8	16.1	120	30
8	8	0.55	0.66	21	26.1	50.1	32.5	3	7	20.8	15.9	120	30
9	9	0.55	0.659	21	26.1	50.9	32.2	2.7	7.7	20.7	15.8	120	30
10	10	0.55	0.66	21	26.1	51.5	31.9	2.7	7	20.7	15.6	120	30
11	11	0.54	0.665	21.1	26.2	51.8	32.1	2.9	6.8	20.7	15.6	120	30
12	12	0.54	0.667	21.1	26.2	52.3	32.7	3.1	5.1	20.8	15.5	120	30
13	13	0.54	0.667	21.1	26.3	52.9	32.6	3	7.5	20.9	15.5	120	30
14	14	0.54	0.663	21.1	26.4	53.3	32.4	2.9	7.6	20.8	15.4	120	30
15	15	0.54	0.664	21.1	26.3	54	32	2.7	7	20.7	15.4	120	30
16	16	0.54	0.667	21.1	26.3	54.4	32.4	2.8	6.3	20.8	15.3	120	30
17	17	0.54	0.669	21.1	26.2	54.5	32.9	3.1	4.2	20.9	15.3	120	30
18	18	0.54	0.667	21.1	26.2	54.8	32.6	2.9	7.6	20.8	15.4	120	30
19	19	0.54	0.668	21.1	26.3	55.2	32.3	2.8	7.3	20.6	15.3	120	30
20	20	0.54	0.669	21.1	26.3	55.5	32.3	2.5	6.9	20.6	15.3	120	30
21	21	0.54	0.679	21.1	26.2	55.8	32.4	2.8	6.5	20.6	15.3	120	30
22	22	0.54	0.67	21	26.4	55.7	32.8	3	5	20.6	15.3	120	30
23	23	0.54	0.669	21	26.2	56.3	32.7	2.9	7.5	20.7	15.3	120	36
24	24	0.54	0.669	21	26.3	56.7	32.6	2.8	7.9	20.7	15.2	120	36
25	25	0.54	0.669	21	26.2	56.8	32.3	2.7	7.1	20.7	15.2	120	36
26	26	0.54	0.673	21	26.2	56.9	32.5	2.9	6.8	20.8	15.2	120	36
27	27	0.54	0.674	21	26.4	57.2	32.8	2.9	6.5	20.7	15.2	120	36
28	28	0.54	0.673	21	26.2	57.6	32.9	2.9	6.9	20.6	15.3	120	36
29	29	0.54	0.672	21	26.3	57.5	32.7	2.9	7.9	20.7	15.3	120	36
30	30	0.53	0.672	21	26.2	57.7	32.9	2.8	7	20.7	15.3	120	36

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 12^{ου} πειράματος.

Πείραμα	12	Twater_in = 20.9		°C		mwater_hot = 200		(L/h)		mwater_cold = 140		(L/h)	
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}
Water	22	1260.00	898.33	361.67	363.96	3.48	3.46	2.48	2.47	26.4	15.2	5.4	5.5
Refrigerant		1481.67	1199.20	282.47	363.96	5.24	4.07	4.24	3.29				10.9

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 22^{ης} μέτρησης του 12^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 22^{ης} μέτρησης του 12^{ου} πειράματος.

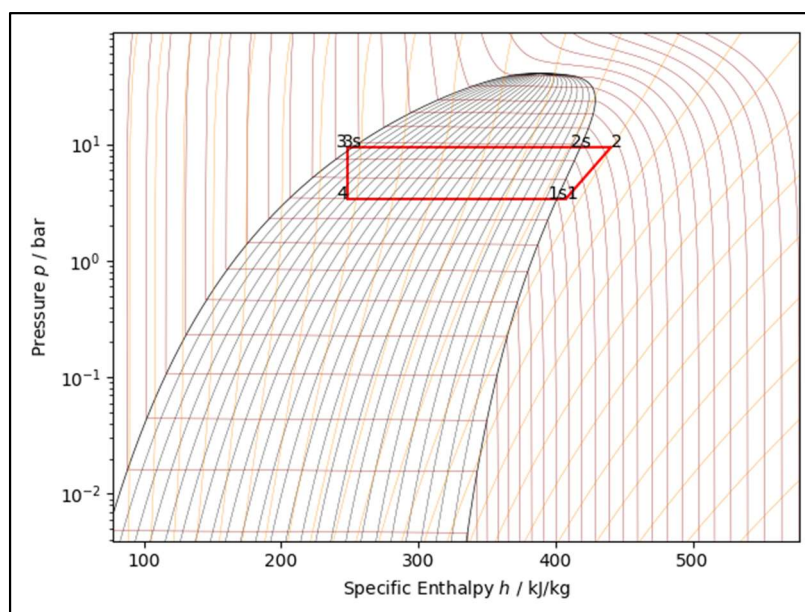
Πείραμα υπ' αριθμ.13

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			20.6	20.3	23.8	24.1	23.3	23.9	21	20.3		
1	1	0.59	0.604	20.7	20.9	31.9	30.9	10.7	10.4	21	20	110	40
2	2	0.6	0.613	20.7	22.7	33.6	32	8.6	8	21	18.8	115	37.5
3	3	0.6	0.616	20.7	24.6	35.2	31.9	6.9	10.4	21	18.2	117.5	35
4	4	0.6	0.625	20.6	25.4	38.5	32.6	6.5	12.3	21	17.4	120	35
5	5	0.6	0.634	20.8	26.2	40.5	33	6.5	11.7	21	17.2	120	35
6	6	0.6	0.636	20.8	26.5	41.6	33	6.5	11.9	21.1	17.1	120	35
7	7	0.6	0.639	20.8	26.7	43.2	33.5	6.5	12.2	21.1	17.1	120	35
8	8	0.6	0.641	20.7	27	44.7	33.8	6.4	12.2	21	17	122	35
9	9	0.61	0.642	20.7	27	45.7	33.7	6.5	12.5	21	17	122	35
10	10	0.6	0.645	20.8	27.7	46.1	34	6.5	11.3	21	16.9	122	35
11	11	0.6	0.642	20.7	28.1	48	33.7	6.2	12	21	16.9	122	35
12	12	0.6	0.646	20.7	27.3	48.4	33.9	6.4	12.5	21	16.9	122	35
13	13	0.6	0.651	20.7	27.6	48.8	34	6.5	11.8	21	16.9	122	35
14	14	0.6	0.648	20.7	27.8	50.2	34	6.3	11.9	21	16.9	122	35
15	15	0.6	0.649	20.7	27.5	50.4	34.1	6.6	12.1	21.1	16.9	122	35
16	16	0.6	0.652	20.8	27.7	51.5	34.2	6.5	11.6	21	17	122	35
17	17	0.6	0.652	20.8	28.1	52.1	34.1	6.4	11.8	21	17	122	35
18	18	0.6	0.65	20.9	27.9	51.5	33.9	6.6	12	21	17	122	35
19	19	0.6	0.651	20.9	27.6	51.7	34	6.7	11.9	21.1	17	122	35
20	20	0.6	0.652	20.8	27.8	53.7	34.1	6.5	11.7	21	17	122	35
21	21	0.6	0.653	20.8	28	54.3	34.4	6.4	11.6	21	17	122	35
22	22	0.6	0.65	20.9	28.7	54.4	34.1	6.3	11.6	21	17	122	35
23	23	0.6	0.65	20.8	28.2	55.5	34.1	6.3	11.8	21	17	122	35
24	24	0.6	0.652	20.9	27.4	55.7	34.3	6.4	11.8	20.9	17	122	35
25	25	0.6	0.652	20.9	28	55.6	34.2	6.5	11.8	20.9	17	122	35
26	26	0.6	0.652	20.8	28.2	56.8	34.2	6.4	11.7	20.8	17	122	35
27	27	0.6	0.652	20.9	27.8	56.2	34.2	6.6	11.9	20.9	17	122	35
28	28	0.6	0.658	20.9	28.2	57	34.4	6.6	11.6	20.9	17	122	35
29	29	0.6	0.658	20.9	28.9	58	34.4	6.5	11.7	20.8	17	122	35
30	30	0.6	0.657	21	28.7	56.8	34.3	6.7	12	21.1	16.9	122	35

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 13^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 20.9		°C		m _{water_hot} = 140		(L/h)		m _{water_cold} = 260		(L/h)		
Πείραμα	13	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	29	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1306.67	1152.67	154.00	394.80	8.48	3.13	7.48	2.92	28.9	16.9	8	3.8	11.8
Refrigerant		1398.51	1161.00	237.51	394.80	5.89	3.54	4.89	2.94					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 13^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 13^{ου} πειράματος.

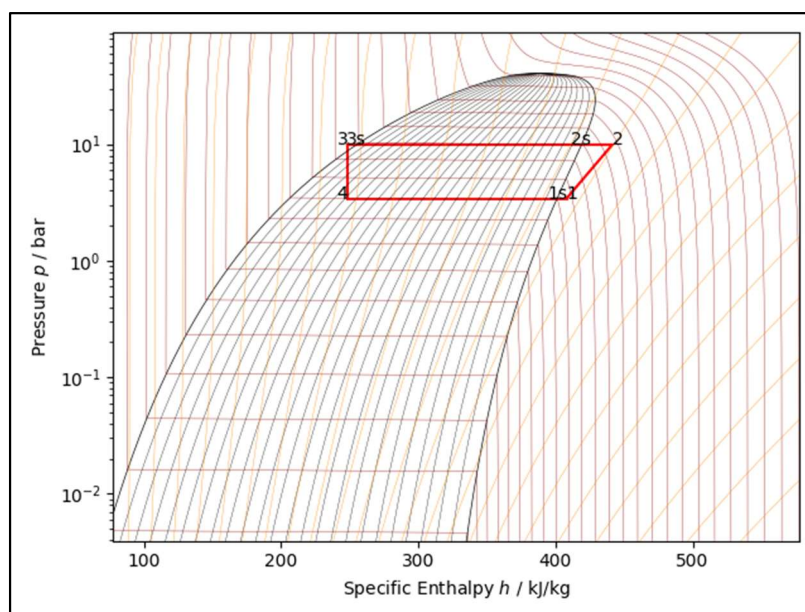
Πείραμα υπ' αριθμ.14

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21	20.5	23.7	24	22.1	23.6	21.1	20.5		
1	1	0.57	0.653	20.9	21.1	40.9	31.3	9.2	11.2	21.1	20.2	112	40
2	2	0.57	0.671	21.1	23.3	45.2	33.3	8.2	7.7	21.1	18.9	120	37.5
3	3	0.57	0.66	21.1	24.7	46.3	32.7	6.8	10.5	21.1	18.2	120	35
4	4	0.57	0.666	21	26.5	50.2	33.7	6.5	11.7	21	17.6	120	35
5	5	0.57	0.668	21.1	26.7	51.4	34	6.6	11.3	21.1	17.4	122	35
6	6	0.57	0.665	21	27.3	53.1	33.9	6.1	11.7	21.1	17.3	122	35
7	7	0.57	0.67	21.1	28.1	54	34.7	6.5	9.6	21.1	17.3	124	35
8	8	0.57	0.666	21.1	28.7	54.2	33.9	5.9	11.8	21.1	17.2	122	35
9	9	0.57	0.671	21.1	27.9	55	34.1	6.6	12	21.2	17.2	122	35
10	10	0.57	0.676	21.1	28.2	55.3	34.2	6.6	11.7	21.1	17.2	122	35
11	11	0.57	0.679	21.1	28.2	56.2	34.5	6.6	11.8	21.1	17.2	122	35
12	12	0.57	0.679	21.1	28.2	56.5	34.5	6.6	11.7	21	17.3	122	35
13	13	0.57	0.682	21.1	28.3	56.6	34.5	6.6	11.8	21.1	17.3	122	35
14	14	0.57	0.682	21.2	28.4	56.2	34.4	6.7	11.9	21.1	17.3	122	35
15	15	0.57	0.682	21.1	28.4	56.9	34.4	6.7	11.9	21.1	17.3	122	35
16	16	0.56	0.683	21.1	28.2	57.1	34.5	6.7	11.9	21.1	17.3	122	35
17	17	0.56	0.686	21.2	28.1	56.3	34.3	6.8	11.9	21.1	17.3	122	35
18	18	0.56	0.686	21.1	28.3	58	34.8	6.7	11.8	21	17.3	128	35
19	19	0.56	0.688	21.1	28.9	58	34.7	6.7	11.9	21.1	17.2	128	35
20	20	0.56	0.688	21.1	28.4	58	34.6	6.7	11.9	21.1	17.2	128	35
21	21	0.56	0.69	21.2	28.4	58	34.5	6.7	12	21.1	17.2	128	35
22	22	0.56	0.69	21.2	28.5	57.9	34.5	6.8	12	21.1	17.2	128	35
23	23	0.55	0.689	21.1	28.5	58.8	34.6	6.7	12	21.1	17.2	128	35
24	24	0.56	0.683	21.1	28.2	59.4	34.9	6.7	11.9	21	17.2	128	35
25	25	0.56	0.683	21.2	28.6	59.2	34.8	6.7	12	21.1	17.2	128	35
26	26	0.56	0.685	21.2	28.6	58.6	34.5	6.7	12	21	17.2	128	35
27	27	0.56	0.685	21.1	29.1	59.4	34.8	6.7	12	21	17.1	128	35
28	28	0.56	0.685	21.1	28.9	60.2	35	6.7	12	21	17.1	128	35
29	29	0.56	0.684	21.1	28.4	59.9	34.7	6.7	12	21	17.1	128	35
30	30	0.57	0.682	21.2	28.7	59.5	34.5	6.7	12.1	21	17.1	128	35

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 14^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 21.1 °C		mwater_hot = 140 (L/h)		mwater_cold = 260 (L/h)			
Πείραμα	14	Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}
Μέτρηση	27	1306.67	1183.00	123.67	383.60	10.57	3.41	9.57	3.08
Water									
Refrigerant		1397.47	1157.02	240.45	383.60	5.81	3.64	4.81	3.01

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 27^{ης} μέτρησης του 14^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 27^{ης} μέτρησης του 14^{ου} πειράματος.

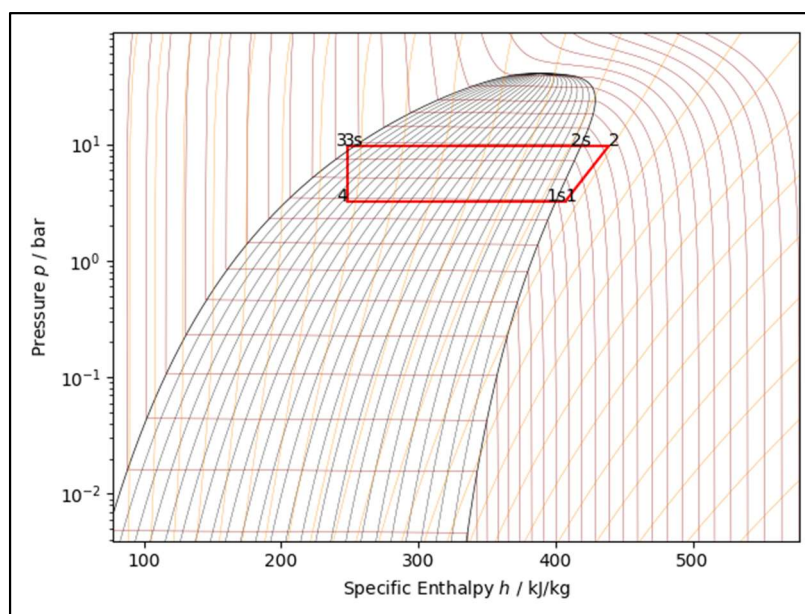
Πείραμα υπ' αριθμ.15

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21.1	20.8	23.7	23.7	23	23.3	21.1	20.8		
1	1	0.53	0.654	21	21.2	32.3	31.5	10	9.5	21	20.5	110	40
2	2	0.54	0.654	21	23.1	33.8	31.9	8.1	7.3	20.9	19.2	115	37.5
3	3	0.54	0.658	21	24.8	34.9	31.9	6.6	8.1	20.8	18.3	120	35
4	4	0.54	0.666	21.1	25.7	37.6	32.8	5.9	9.8	20.8	17.8	120	35
5	5	0.54	0.67	21.1	26.2	39.9	33.1	5.5	9	20.7	17.3	120	32.5
6	6	0.54	0.671	21.1	26.8	41.8	32.9	4.8	10.5	20.6	16.9	120	32.5
7	7	0.54	0.674	21.1	27	43.2	33.2	5	10.9	20.6	16.7	120	32
8	8	0.54	0.676	21.1	27.2	44.5	33.2	4.9	10.1	20.6	16.6	120	32
9	9	0.55	0.677	21.1	27.3	45.2	33.5	5.1	10.8	20.5	16.5	120	32
10	10	0.55	0.678	21	28	46.2	33.6	4.9	10	20.5	16.5	120	32
11	11	0.55	0.679	21.1	28.3	47.3	33.5	5.1	10.4	20.6	16.5	120	32
12	12	0.55	0.682	21.1	28.4	48.1	33.8	4.9	9.8	20.6	16.5	120	32
13	13	0.56	0.67	21.1	28.4	48.8	33.9	5.1	10.2	20.6	16.5	120	32
14	14	0.57	0.656	21.1	28	49.8	33.8	5.1	10.4	20.6	16.5	120	32
15	15	0.59	0.647	21.1	27.8	50.3	33.8	5.2	10	20.7	16.5	120	32
16	16	0.59	0.646	21.3	27.9	51.3	34.1	5.4	10.3	21	16.5	120	32
17	17	0.57	0.667	21.5	28.1	51.9	34.2	5.3	10.6	21.2	16.6	122	32
18	18	0.57	0.667	21.6	28.2	52.5	34.3	5.4	10.9	21.2	16.6	122	32
19	19	0.57	0.668	21.5	28.4	52.9	34.3	5.4	10.4	21.1	16.7	122	32
20	20	0.56	0.673	21.5	28.6	53.3	34.4	5.5	10.2	21.1	16.7	122	32
21	21	0.56	0.673	21.5	28.7	54.1	34.4	5.6	10.8	21	16.8	122	32
22	22	0.57	0.672	21.5	28.6	54.5	34.4	5.6	10.8	21	16.8	122	32
23	23	0.57	0.672	21.5	28.6	54.7	34.4	5.6	10.6	21.1	16.8	124	32.5
24	24	0.57	0.673	21.5	29	55.6	34.5	5.4	10.4	21.1	16.8	124	32.5
25	25	0.56	0.676	21.5	29.2	55.7	34.5	5.5	10.6	21.1	16.9	124	32.5
26	26	0.56	0.674	21.5	29.2	56.4	34.5	5.2	10.7	21.1	16.9	124	32.5
27	27	0.56	0.675	21.5	29.1	56.9	34.4	5.2	10.7	21	16.9	124	32.5
28	28	0.56	0.677	21.5	29	57.1	34.6	5.5	10	21	16.9	124	32.5
29	29	0.56	0.676	21.6	29.1	57.3	34.6	4.9	10.4	21	16.9	124	32.5
30	30	0.56	0.676	21.5	29.1	57.1	34.6	4.9	10.8	21	16.9	124	32.5

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 15^{ου} πειράματος.

Πείραμα	Μέτρηση	Twater_in = 21.1 °C		mwater_hot = 140 (L/h)		mwater_cold = 200 (L/h)		Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}			
Water	26	1257.67	980.00	277.67	377.44	4.53	3.33	3.53	2.60	29.2	16.5	11.9
Refrigerant		1313.31	1097.87	215.44	377.44	6.10	3.48	5.10	2.91			

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 26^{ης} μέτρησης του 15^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 26^{ης} μέτρησης του 15^{ου} πειράματος.

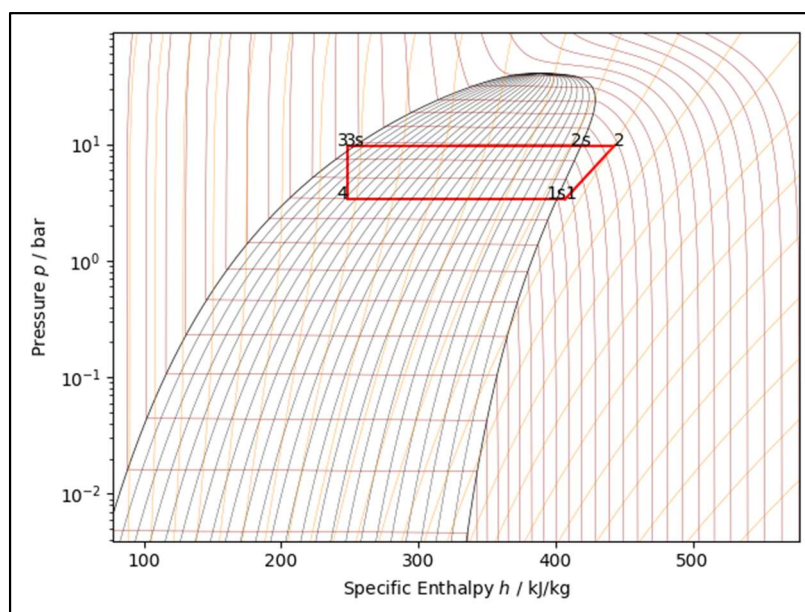
Πείραμα υπ' αριθμ.16

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			21.3	21.1	24	24.8	20.6	21	21.5	20.9	80	70
1	1	0.55	0.655	21.3	21.5	40.9	31.4	8.1	17	21.4	20.7	112	37.5
2	2	0.57	0.678	21.3	23.9	49.3	33.3	7.3	7	21.2	19.3	120	35
3	3	0.56	0.667	21.3	25.5	51.4	33.1	6	9.3	21.1	18.3	120	35
4	4	0.59	0.651	21.4	26.7	53.1	33.7	5.8	10.7	21.2	17.9	120	35
5	5	0.57	0.67	21.5	27.2	54.3	33.9	5.6	10.5	21.3	17.4	122	34
6	6	0.57	0.671	21.6	27.6	55.2	34.2	5.4	9.9	21.2	17.2	122	34
7	7	0.56	0.673	21.5	28.1	55.9	34.5	5.7	10	21.1	17	124	34
8	8	0.57	0.67	21.5	28.6	56.2	34.4	5.5	11.1	21.1	16.9	124	34
9	9	0.59	0.665	21.5	28.9	56.6	34.4	5.3	10.8	21.2	16.8	124	34
10	10	0.59	0.651	21.5	29.4	57	33.7	5.1	10.4	21.1	16.8	124	34
11	11	0.59	0.654	21.6	28.6	57.5	34.5	5.7	9.8	21.2	16.8	124	34
12	12	0.57	0.67	21.6	28.9	58.1	34.6	5.7	9.5	21.3	16.9	124	34
13	13	0.57	0.671	21.7	29.2	58.3	34.5	5.5	11.1	21.2	16.9	124	34
14	14	0.57	0.672	21.6	29.3	58.4	34.3	5.1	10.7	21.1	16.9	124	34
15	15	0.57	0.674	21.5	29.3	58.8	34.6	5.2	9.8	20.9	16.9	124	34
16	16	0.57	0.673	21.5	29.3	59.1	34.6	5.7	10.3	20.9	16.9	124	34
17	17	0.57	0.67	21.4	28.8	58.9	34.5	5.5	10.9	20.9	16.9	124	34
18	18	0.57	0.67	21.4	28.7	59.3	34.4	5.3	10.7	20.9	16.9	124	34
19	19	0.59	0.651	21.5	28.9	59.4	34.2	5	10.1	21	16.9	124	34
20	20	0.6	0.651	21.5	28.7	59.5	34.6	5.7	9.3	21.2	16.9	124	34
21	21	0.57	0.674	21.6	29.6	59.8	34.6	5.6	10.1	21.3	16.9	124	34
22	22	0.58	0.667	21.7	29	59.8	34.6	5.7	10.6	21.2	16.9	124	34
23	23	0.57	0.675	21.6	29	60	34.7	5.8	10.7	21.1	16.9	128	34
24	24	0.58	0.663	21.6	29.5	60.3	34.7	5.3	10.7	21	17	126	34
25	25	0.57	0.674	21.5	29.7	60.8	34.7	5.2	10.4	21	16.9	126	34
26	26	0.58	0.671	21.5	29.8	60.9	34.8	5	9.7	20.9	16.9	128	34
27	27	0.58	0.654	21.5	30	61	34.7	5.5	10.6	21	16.9	128	34
28	28	0.59	0.655	21.6	29.8	61.1	34.7	5.3	10.8	21.1	16.9	126	34
29	29	0.59	0.655	21.7	29.6	61.1	34.2	5.3	10.6	21.3	16.9	124	34
30	30	0.59	0.66	21.7	29.2	60.9	34.8	5.1	9.9	21.4	16.9	126	34

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 16^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 21.3		°C		mwater_hot = 140		(L/h)				mwater_cold = 200		(L/h)	
Πείραμα	16	Q hot	Q' cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	25	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)				
Water		1339.33	956.67	382.67	384.18	3.50	3.49	2.50	2.49	30	16.8	8.2	4.1	12.3	
Refrigerant		1390.54	1132.21	258.33	384.18	5.38	3.62	4.38	2.95						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 25^{ης} μέτρησης του 16^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 25^{ης} μέτρησης του 16^{ου} πειράματος.

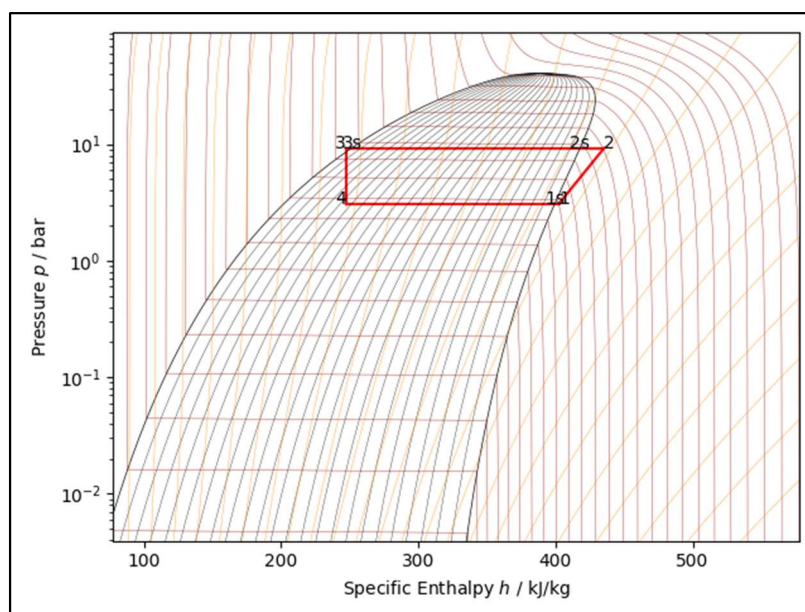
Πείραμα υπ' αριθμ.17

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			22	21.7	23.9	24.1	23.3	23.7	22.1	21.7	70	75
1	1	0.57	0.63	22	22.1	32.4	31.6	10.7	10.3	22	21.4	110	40
2	2	0.56	0.629	21.9	23.9	33.6	32.2	9.1	8.7	21.9	20	120	37.5
3	3	0.57	0.638	22	25.3	34.2	32.4	8	7.5	21.9	19	120	35
4	4	0.57	0.643	22.2	26.4	35.3	32.5	6.9	6.2	22	18.2	120	32.5
5	5	0.57	0.647	22.1	27	37.8	32.5	6	7.5	22	17.4	120	32
6	6	0.57	0.647	22.1	27.2	38.8	32.6	6.1	8.5	22.1	17	120	32
7	7	0.57	0.649	22	27.2	40.8	33	5.1	6.5	22	16.6	120	30
8	8	0.57	0.649	22.1	27.3	41.5	32.9	5.6	6.5	22.1	16.3	120	30
9	9	0.57	0.649	22.1	27.7	42	32.9	5.3	6.6	22.1	16	120	30
10	10	0.57	0.65	22	27.7	43.8	33	4.8	8	22.1	15.9	120	30
11	11	0.57	0.651	22	27.7	43.7	33.1	6.3	7.5	22.1	15.8	120	30
12	12	0.57	0.653	21.8	27.7	45.2	33.2	5	6.3	21.9	15.8	120	30
13	13	0.57	0.653	21.8	27.8	46.1	33.3	5.1	5.1	21.9	15.8	120	30
14	14	0.57	0.655	21.9	27.9	47.2	33.4	4.7	5	21.8	15.8	120	30
15	15	0.57	0.655	22	27.8	46.5	33.2	5.5	5	21.9	15.8	120	30
16	16	0.57	0.655	22	27.8	47.3	33.3	4.8	5.4	21.9	15.7	120	30
17	17	0.57	0.655	21.9	28	48.1	33.4	4.2	5.6	21.9	15.7	120	30
18	18	0.57	0.657	22	28.2	48.4	33.4	4.4	5.2	21.9	15.6	120	30
19	19	0.57	0.657	22	28.2	47.9	33.2	5.2	5.2	22	15.6	120	30
20	20	0.57	0.657	22	28.1	49.4	33.4	4.3	4.6	21.9	15.5	120	30
21	21	0.57	0.658	22	28	50.3	33.4	4.2	5.9	21.8	15.5	120	30
22	22	0.57	0.66	22	28	51.4	33.7	4.2	4.4	21.9	15.5	120	30
23	23	0.57	0.66	22.1	28.1	51.4	33.5	4.2	4.9	21.9	15.5	120	30
24	24	0.56	0.66	22	28.2	51.6	33.3	4.5	5.1	21.9	15.5	120	30
25	25	0.56	0.66	22	28.4	52.6	33.5	4	7.2	21.9	15.5	120	30
26	26	0.57	0.661	21.9	28.5	52.6	33.5	4	5.5	22	15.5	120	30
27	27	0.56	0.66	21.9	28.5	53	33.8	4.3	4.8	22.1	15.6	120	30
28	28	0.56	0.661	22	28.6	52.1	33.5	4.9	4.9	22.1	15.6	120	30
29	29	0.56	0.659	22	28.6	53.4	33.5	4.1	6.2	22.2	15.6	120	30
30	30	0.57	0.659	22	28.5	53.5	33.6	4.4	5	22.2	15.6	120	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 17^{ου} πειράματος.

Πείραμα	Μέτρηση	Twater_in = 22 °C		mwater_hot = 140 (L/h)		mwater_cold = 140 (L/h)		Twater_out max(°C) Twater_out min(°C)		ΔT _{hot_water} ΔT _{cold_water}		ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}			
Water	27	1078.00	1061.67	16.33	369.60	66.00	2.92	65.00	2.87	28.6	15.5	13.1
Refrigerant		1260.10	1039.07	221.03	369.60	5.70	3.41	4.70	2.81			

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 27^{ης} μέτρησης του 17^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 27^{ης} μέτρησης του 17^{ου} πειράματος.

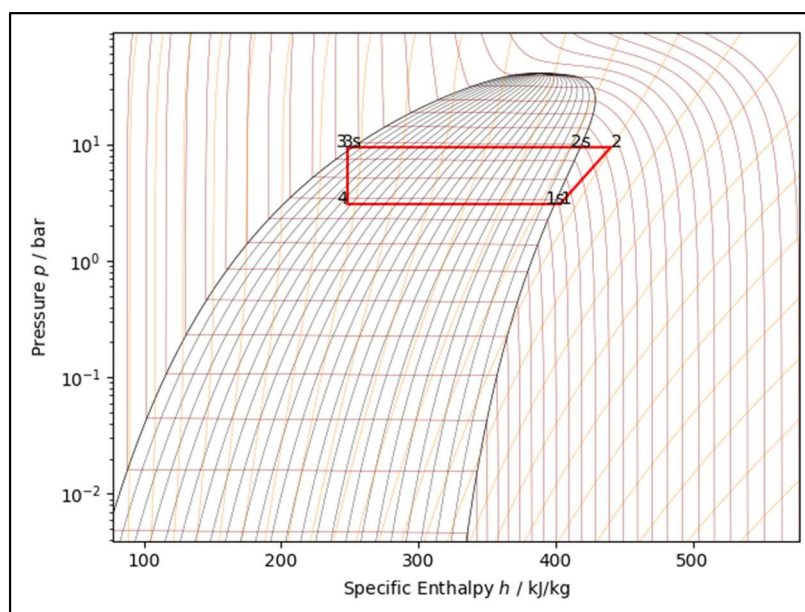
Πείραμα υπ' αριθμ.18

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	CONDENSER_HOT_TANK				EVAPORATOR_COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			22.1	21.5	24.8	25.1	21.4	20.2	22.4	21.5	85	65
1	1	0.56	0.639	22.1	22.1	40	31.4	7	18.2	22.4	21.5	112	35
2	2	0.58	0.665	22.1	24.3	46	33.6	7.1	7	22.4	20.3	120	35
3	3	0.58	0.659	22.1	25.6	46	33.3	5.9	5.6	22.4	19.1	120	32.5
4	4	0.57	0.656	22.1	26.7	49	33.7	4.7	8.5	22.1	18	120	32.5
5	5	0.57	0.655	22.2	27.5	49.6	33.7	4.7	8.7	22.3	17.6	120	32
6	6	0.57	0.658	22.2	28.1	51.4	34	4.5	7.1	22.4	17	122	30
7	7	0.57	0.657	22.3	28.2	52	34	4.5	5.5	22.4	16.6	122	30
8	8	0.57	0.656	22.3	28.2	52.5	34	4.5	5.2	22.4	16.5	122	30
9	9	0.57	0.654	22.3	28.6	53.3	34	4.4	5.7	22.4	16.4	122	30
10	10	0.57	0.656	22.4	28.6	53	34.1	4.5	5.8	22.3	16.3	122	30
11	11	0.57	0.656	22.3	28.6	54.7	34.1	4.2	5.6	22.2	16.2	122	30
12	12	0.57	0.657	22.3	28.4	54.7	34.1	4.3	5.6	22.3	16.2	122	30
13	13	0.57	0.658	22.3	28.4	54.6	34.1	4.5	6	22.3	16.1	122	30
14	14	0.57	0.659	22.3	29	54	34.1	4.9	5.8	22.4	16.1	122	30
15	15	0.57	0.658	22.2	28.9	56.1	34.2	4.3	5.9	22.2	16	122	30
16	16	0.57	0.657	22.3	28.8	55.4	34.1	4.6	6	22.3	16	122	30
17	17	0.57	0.656	22.2	28.9	55.8	34.2	4.5	6.1	22.3	16	122	30
18	18	0.57	0.659	22.3	28.9	55.1	34.2	4.8	5.9	22.3	16	122	30
19	19	0.57	0.658	22.3	29.1	55.5	34.2	4.7	5.4	22.3	16	122	30
20	20	0.57	0.66	22.2	29.1	56.2	34.2	4.7	5	22.3	16	122	30
21	21	0.57	0.659	22.2	29	58.1	34.4	4	6	22.3	16	122	30
22	22	0.57	0.66	22.2	29.5	57.9	34.4	4.1	5.9	22.3	16	122	30
23	23	0.57	0.658	22.2	29	58.2	34.4	3.9	6.8	22.4	16	122	30
24	24	0.57	0.659	22.3	29.1	57.8	34.5	4.3	5.5	22.4	16	122	30
25	25	0.57	0.658	22.3	29	58.7	34.5	4.1	5.1	22.4	15.9	122	30
26	26	0.57	0.66	22.3	29.3	58.6	34.5	4.1	5	22.4	15.9	122	30
27	27	0.57	0.659	22.3	29	58.4	34.5	4.4	5.2	22.5	15.9	122	30
28	28	0.57	0.658	22.3	28.9	57.2	34.5	5.1	5.3	22.5	15.9	122	30
29	29	0.57	0.657	22.3	28.8	57.6	34.4	4.6	7.6	22.5	15.9	122	30
30	30	0.57	0.659	22.2	29	56.9	34.2	4.9	5.8	22.5	15.9	122	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 18^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 22.3		°C		m _{water_hot} = 140		(L/h)				m _{water_cold} = 140		(L/h)	
Πείραμα	18	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	22	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)				
Water		1192.33	1029.00	163.33	376.20	7.30	3.17	6.30	2.74	29.5	15.9	7.3	6.3	13.6	
Refrigerant		1279.66	1034.05	245.60	376.20	5.21	3.40	4.21	2.75						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 22^{ης} μέτρησης του 18^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 22^{ης} μέτρησης του 18^{ου} πειράματος.

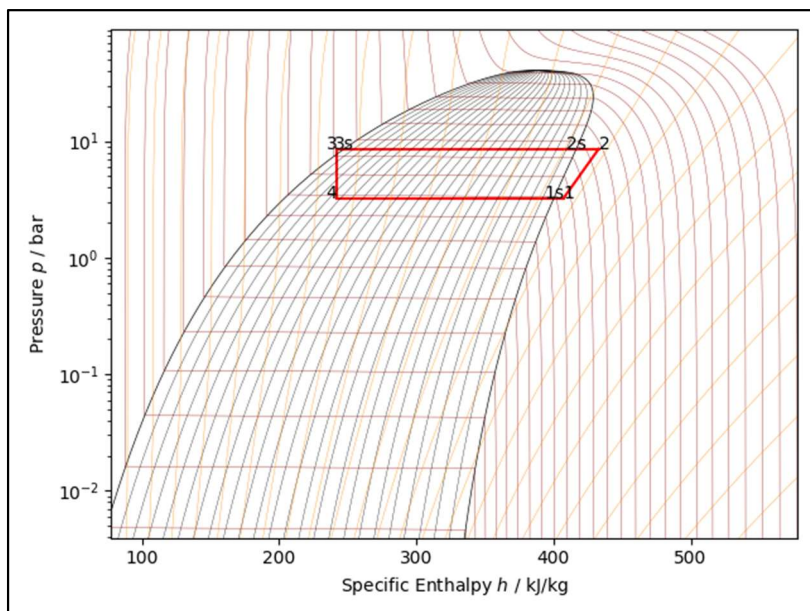
Πείραμα υπ' αριθμ.19

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			19.1	18.9	19.9	20.2	19.3	19.7	19.2	19.1	65	67.5
1	1	0.55	0.6	19.1	19.5	28.9	28.1	8.7	8.3	19.2	18.7	100	40
2	2	0.55	0.607	19.1	20.9	30.6	28.2	6.5	9.5	19.1	17.6	105	35
3	3	0.55	0.629	19	21.9	31.5	28.8	6.1	8.9	19.1	16.6	110	35
4	4	0.55	0.634	19.1	22.4	33.5	29.2	4.8	8.7	19.1	16.3	110	35
5	5	0.55	0.637	19.1	22.8	35	28.9	4.4	9.7	19.1	15.9	110	32.5
6	6	0.55	0.641	19	23	36.5	29.1	4.4	10.9	19.1	15.7	110	32.5
7	7	0.55	0.649	19	23.2	38	29.6	4.4	10.6	19	15.5	110	32.5
8	8	0.55	0.651	19.1	23.1	38.6	29.6	4.4	10.4	19	15.4	110	32.5
9	9	0.55	0.65	19.1	23.4	40.3	29	3.8	9.6	19	15.3	110	32
10	10	0.55	0.651	19.1	23.4	40.7	30.1	3.9	10.6	19	15.3	110	32
11	11	0.55	0.657	19.1	23.5	41.3	30.1	4.4	9.9	19	15.2	110	32
12	12	0.55	0.655	19.2	23.5	42.5	29.4	4.2	10.4	19.1	15.2	110	32
13	13	0.55	0.656	19.2	23.6	42.9	29.8	4.7	11	19.1	15.3	110	32
14	14	0.55	0.658	19.2	23.6	44.3	29.9	4.4	10.8	19.1	15.4	110	32
15	15	0.55	0.661	19.2	23.6	44.5	30	4.6	10.1	19.1	15.4	110	32
16	16	0.55	0.661	19.3	23.6	44.9	30.2	4.5	10.4	19.1	15.4	110	32
17	17	0.55	0.662	19.3	23.5	45.1	30	4.5	10.3	19.1	15.4	110	32
18	18	0.55	0.663	19.3	23.7	46.1	30.1	4.5	10.3	19.2	15.4	110	32
19	19	0.55	0.662	19.4	23.8	46.1	30	4.8	10.3	19.2	15.4	110	32
20	20	0.55	0.662	19.4	23.8	47.5	30.2	4.5	10.3	19.2	15.4	110	32
21	21	0.54	0.663	19.5	23.9	47.9	30.2	4.6	10.5	19.2	15.5	110	32
22	22	0.55	0.664	19.5	23.9	48.5	30.3	4.6	10.4	19.2	15.5	110	32
23	23	0.55	0.662	19.5	24	49.6	30.3	4.5	10.1	19.2	15.6	110	32
24	24	0.55	0.664	19.5	23.9	50.7	30.4	4.5	10.1	19.2	15.6	110	32
25	25	0.55	0.663	19.5	24.1	50.5	30.4	4.5	9.9	19.2	15.6	110	32
26	26	0.55	0.661	19.6	24.1	50.4	30.4	4.5	10.1	19.2	15.6	110	32
27	27	0.55	0.664	19.6	24	50.1	30.4	4.9	10.5	19.2	15.7	110	32
28	28	0.55	0.666	19.6	24.2	50.1	30.4	5	10.3	19.3	15.7	110	32.5
29	29	0.55	0.662	19.6	24.2	49.3	30.4	5.8	10.8	19.3	15.7	110	32.5
30	30	0.55	0.666	19.6	24.1	50.2	30.6	5	10.4	19.3	15.7	110	32.5

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 19^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 19.2		°C		m _{water_hot} = 260		(L/h)		m _{water_cold} = 260		(L/h)		
Πείραμα	19	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	29	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1395.33	1061.67	333.67	364.10	4.18	3.83	3.18	2.92					
Refrigerant		1315.47	1139.12	176.35	364.10	7.46	3.61	6.46	3.13	24.2	15.2	4.6	3.5	8.1

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 19^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 19^{ου} πειράματος.

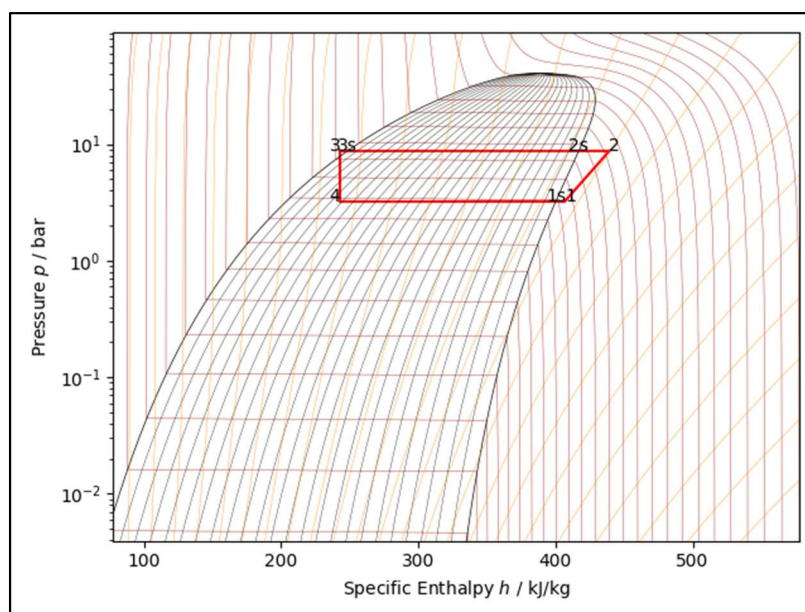
Πείραμα υπ' αριθμ.20

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			19.4	19.4	20	20.4	18.8	19.6	19.5	19.5	70	70
1	1	0.54	0.649	19.4	19.9	36.3	27.7	7.1	10	19.5	19	100	35
2	2	0.54	0.669	19.5	21.5	41.4	30.1	6.1	5.7	19.4	17.9	110	35
3	3	0.54	0.66	19.5	22.6	44.3	29.8	4.7	8.4	19.3	16.9	110	32.5
4	4	0.54	0.659	19.5	23.1	46.4	30.2	4.4	9.9	19.3	16.6	110	32.5
5	5	0.54	0.665	19.5	23.4	48.2	30.4	4.5	9.9	19.2	16.3	110	32.5
6	6	0.54	0.667	19.5	23.8	49.3	30.4	4.4	9.9	19.2	16.1	110	32.5
7	7	0.54	0.667	19.6	24	50.1	30.6	4.5	9.9	19.2	16	110	32.5
8	8	0.54	0.668	19.6	24.1	49.8	30.5	4.5	9.9	19.2	16	110	32.5
9	9	0.54	0.667	19.5	24.2	49.7	30.4	4.6	10	19.3	15.9	110	32.5
10	10	0.54	0.668	19.5	24.2	50.6	30.6	4.7	10.2	19.3	15.9	110	32.5
11	11	0.54	0.669	19.5	24.1	50.3	30.3	4.7	10	19.4	15.9	110	32.5
12	12	0.54	0.669	19.5	24.2	50.5	30.6	4.7	10.6	19.4	15.9	110	32.5
13	13	0.54	0.669	19.5	24.2	50.6	30.2	4.6	10.3	19.4	15.9	110	32.5
14	14	0.54	0.672	19.5	24.2	51.3	30.7	4.8	9	19.4	15.9	110	32.5
15	15	0.54	0.67	19.5	24.2	51	30.9	4.6	10.5	19.4	15.8	110	32.5
16	16	0.54	0.672	19.5	24.3	51.9	30.6	4.7	10.1	19.4	15.8	112	32.5
17	17	0.54	0.672	19.6	24.3	53.3	31.1	4.7	9.1	19.3	15.8	112	32.5
18	18	0.54	0.669	19.6	24.2	54.1	30.7	4.4	10.2	19.2	15.8	112	32.5
19	19	0.54	0.672	19.6	24.2	54.5	31	4.6	10.3	19.2	15.8	112	32.5
20	20	0.54	0.672	19.6	24.1	54.7	30.8	4.6	10.1	19.2	15.9	112	32.5
21	21	0.54	0.672	19.6	24.2	54.8	31.3	4.6	9.1	19.2	15.8	114	34
22	22	0.54	0.672	19.6	24.3	55.3	31.1	4.4	10	19.2	15.7	112	32.5
23	23	0.54	0.671	19.6	24.3	55.6	30.9	4.6	10.3	19.2	15.7	112	32.5
24	24	0.54	0.672	19.6	24.2	55.7	30.9	4.7	10.3	19.2	15.8	112	32.5
25	25	0.54	0.672	19.6	24.2	55.9	30.9	4.7	10.3	19.3	15.8	112	34
26	26	0.54	0.675	19.6	24.2	55.9	30.9	4.7	10.3	19.3	15.8	112	34
27	27	0.54	0.673	19.6	24.3	56	30.8	4.5	10.1	19.3	15.8	112	34
28	28	0.54	0.671	19.6	24.2	55.9	31	4.8	10.6	19.3	15.8	112	34
29	29	0.54	0.674	19.6	24.2	55.9	30.9	4.8	10.3	19.4	15.8	112	34
30	30	0.54	0.672	19.6	24.2	56.1	31	4.8	10.3	19.4	15.8	112	34

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 20^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 19.4		°C		mwater_hot = 260		(L/h)				mwater_cold = 260		(L/h)	
Πείραμα	20	Q hot	Q cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	23	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1425.67	1122.33	303.33	362.34	4.7	3.93	3.7	3.1						
Refrigerant		1356.81	1133.79	223.02	362.34	6.08	3.74	5.08	3.13	24.3	15.7	4.7	3.7	8.4	

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 23^{ης} μέτρησης του 20^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 23^{ης} μέτρησης του 20^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.21

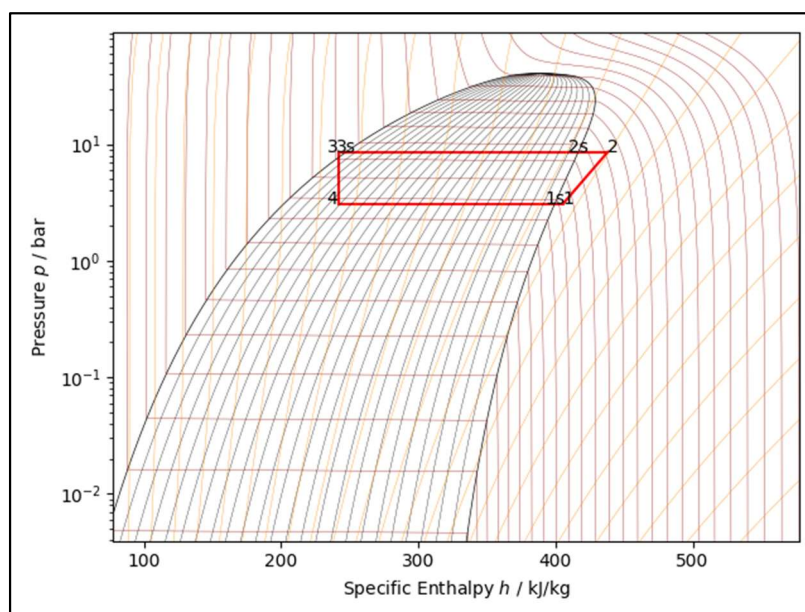
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			19.3	19.1	20.4	20.6	18.7	19.6	19.3	19.4		
1	1	0.54	0.649	19.3	19.8	37.8	28	6.7	7.3	19.3	18.9	100	35
2	2	0.54	0.659	19.4	21.1	41.8	29.5	5.3	4.7	19.2	17.9	105	32.5
3	3	0.54	0.65	19.4	22.1	44.6	29.4	4.2	7.3	19.2	16.9	110	32.5
4	4	0.54	0.652	19.4	22.9	46.9	29.6	3.8	8.6	19.2	16.2	110	32.5
5	5	0.54	0.655	19.4	23.1	48.4	29.5	3.5	8.2	19.2	15.7	110	32
6	6	0.54	0.656	19.4	23.3	49.8	29.7	3.3	7.4	19.2	15.6	110	30
7	7	0.54	0.656	19.4	23.4	50.6	30.2	3.4	8	19.2	15.5	110	30
8	8	0.54	0.657	19.4	23.5	51	29.9	3.4	8.2	19.2	15.4	110	30
9	9	0.54	0.657	19.4	23.5	51.6	29.8	3.4	8.2	19.2	15.4	110	30
10	10	0.54	0.66	19.4	23.5	52	30	3.5	7.7	19.2	15.3	110	30
11	11	0.54	0.657	19.4	23.6	52.2	30.2	3.5	7.6	19.2	15.3	110	30
12	12	0.54	0.657	19.4	23.7	52.7	30.1	3.5	8.5	19.2	15.3	110	30
13	13	0.54	0.656	19.4	23.6	53.2	30.1	3.4	8.5	19.2	15.3	110	30
14	14	0.54	0.656	19.4	23.6	53.3	29.7	3.2	7.6	19.2	15.3	110	30
15	15	0.54	0.656	19.4	23.6	53.7	30.6	3.5	7	19.2	15.3	110	30
16	16	0.54	0.658	19.4	23.8	53.9	30.2	3.4	8.7	19.3	15.3	110	30
17	17	0.54	0.656	19.4	23.7	54.3	29.8	3.2	8.1	19.3	15.2	110	30
18	18	0.54	0.658	19.4	23.8	54.6	30.1	3.3	7.5	19.3	15.2	110	30
19	19	0.54	0.657	19.4	23.8	54.6	30.4	3.5	7.1	19.3	15.2	110	30
20	20	0.54	0.654	19.4	23.7	54.8	28.5	3.4	9	19.3	15.3	110	30
21	21	0.54	0.653	19.4	23.3	54.8	29.4	4	10.5	19.3	15.5	110	32
22	22	0.54	0.658	19.4	23.2	55.1	30	4.3	8.4	19.4	15.6	110	32
23	23	0.54	0.657	19.4	23.3	55.3	29.5	3.8	9.6	19.4	15.6	110	32
24	24	0.54	0.658	19.4	23.3	55.4	30.1	3.9	8.1	19.4	15.6	110	32
25	25	0.54	0.656	19.4	23.4	55.8	30.2	3.7	9	19.4	15.5	110	32
26	26	0.54	0.656	19.4	23.6	55.9	29.9	3.6	8.8	19.4	15.5	110	32
27	27	0.54	0.659	19.4	23.7	56.1	30.3	3.7	8	19.4	15.4	110	32
28	28	0.55	0.657	19.4	23.8	56.2	30.4	3.7	7.8	19.3	15.4	110	32
29	29	0.55	0.655	19.4	23.7	56.3	30.4	3.7	8.9	19.4	15.3	110	32
30	30	0.55	0.657	19.4	23.8	56.8	30.3	3.6	8.7	19.4	15.3	110	32

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 21^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Από την 18^η έως την 24^η μέτρηση υπήρξε μεταβολή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών, επομένως οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψιν.

		T _{water_in} = 19.3		°C		m _{water_hot} = 260		(L/h)				m _{water_cold} = 200		(L/h)	
Πείραμα	21	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	17	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)				
Water		1304.33	980.00	324.33	354.24	4.02	3.68	3.02	2.77	23.8	15.2	4.3	4.2	8.5	
Refrigerant		1295.14	1079.86	215.28	354.24	6.02	3.66	5.02	3.05						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 17^{ης} μέτρησης του 21^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 17^{ης} μέτρησης του 21^{ου} πειράματος.

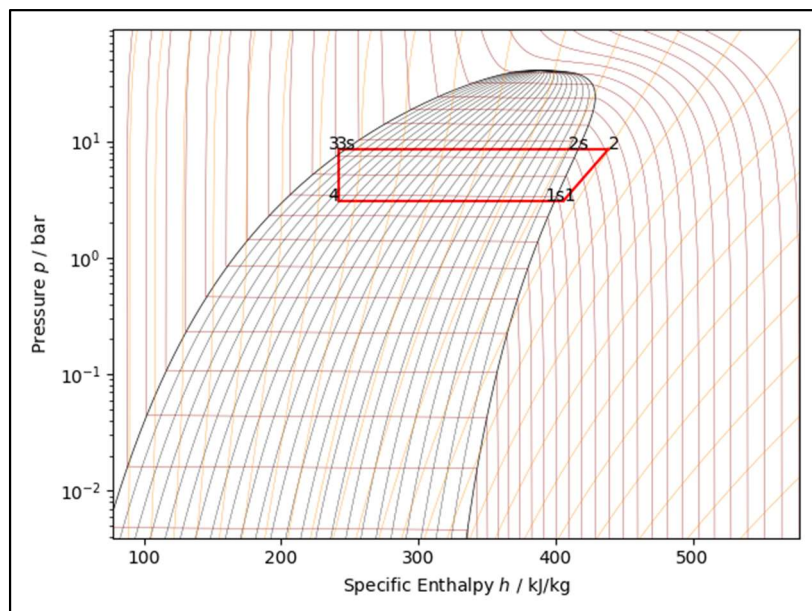
Πείραμα υπ' αριθμ.22

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			19.2	19.3	20	20.2	18.6	18.4	19.4	19.4	70	70
1	1	0.54	0.649	19.3	19.9	37.9	27.8	6.1	7.5	19.3	19	110	35
2	2	0.54	0.664	19.3	21.3	42.2	30	5.5	5.5	19.3	17.8	110	35
3	3	0.53	0.655	19.3	22.4	44.3	29.2	3.9	6.9	19.2	16.8	110	32.5
4	4	0.54	0.656	19.4	22.9	47	29.7	3.6	8.2	19.2	16.3	110	32.5
5	5	0.54	0.66	19.4	23.3	48.7	29.6	3.2	8.2	19.2	15.8	110	32
6	6	0.54	0.66	19.4	23.4	49.9	29.4	2.9	7.7	19.1	15.5	110	32
7	7	0.54	0.66	19.4	23.6	50.5	30	3.2	7	19.1	15.4	110	32
8	8	0.54	0.662	19.4	23.8	51.4	30	3.1	7	19.1	15.3	110	30
9	9	0.54	0.662	19.5	23.9	51.8	30.3	3.2	7.1	19.1	15.3	110	30
10	10	0.53	0.659	19.5	23.9	52.3	29.8	3	8.4	19.1	15.3	110	30
11	11	0.54	0.662	19.5	23.8	52.8	29.8	3.1	7.6	19.1	15.3	110	30
12	12	0.53	0.663	19.5	23.9	53	30.3	3.3	7.7	19.1	15.3	110	30
13	13	0.53	0.664	19.5	23.9	53.2	30.3	3.2	8.3	19.1	15.3	110	30
14	14	0.53	0.663	19.5	23.9	53.5	30	3.1	8.1	19.1	15.3	110	30
15	15	0.54	0.665	19.5	23.9	54	29.9	3.1	7.8	19.1	15.3	110	30
16	16	0.53	0.663	19.5	23.9	54.1	30.4	3.2	8.4	19.1	15.3	110	30
17	17	0.53	0.665	19.5	23.8	54.3	30.1	3.1	8.4	19.1	15.3	110	30
18	18	0.53	0.666	19.5	24	54.5	29.8	3	7.3	19.1	15.3	110	30
19	19	0.53	0.666	19.5	23.9	54.9	30.6	3.3	5.8	19.1	15.3	110	30
20	20	0.53	0.663	19.5	24	55	30.3	3.1	8.5	19.1	15.3	110	30
21	21	0.53	0.665	19.5	23.9	54.9	29.9	3.1	8.2	19.1	15.3	110	30
22	22	0.53	0.667	19.5	23.8	55.1	30.5	3.3	7.2	19.1	15.3	110	30
23	23	0.53	0.666	19.5	23.9	55.5	30.4	3.2	8.5	19.1	15.3	110	30
24	24	0.53	0.666	19.5	23.9	55.5	30.3	3.2	8.5	19.1	15.3	110	30
25	25	0.53	0.667	19.5	24	55.6	30.2	3.2	8.3	19.1	15.3	110	30
26	26	0.53	0.667	19.5	24	55.6	30	3.2	7.7	19.1	15.3	110	30
27	27	0.53	0.669	19.5	23.8	55.2	30.3	3.4	7.2	19.1	15.3	110	30
28	28	0.53	0.667	19.5	23.9	55.6	30.3	3.2	8.6	19.1	15.3	110	30
29	29	0.53	0.669	19.5	23.9	55.7	30.1	3.2	8.3	19.2	15.3	110	30
30	30	0.53	0.669	19.5	24	55.7	30.4	3.4	6.9	19.1	15.3	110	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 22^{ου} πειράματος.

Πείραμα	22	Twater_in = 19.3		°C	mwater_hot = 260		(L/h)	mwater_cold = 200		(L/h)	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)		W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)		COP _{theoretical}	COP _{real}						
Μέτρηση	20	1365.00	933.33	431.67	351.39	351.39	3.16	3.88	2.16	2.66	24	15.3	4.5	4	8.5
Water															
Refrigerant		1292.57	1075.35	217.22	351.39	351.39	5.95	3.68	4.95	3.06					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 20^{ης} μέτρησης του 22^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 20^{ης} μέτρησης του 22^{ου} πειράματος.

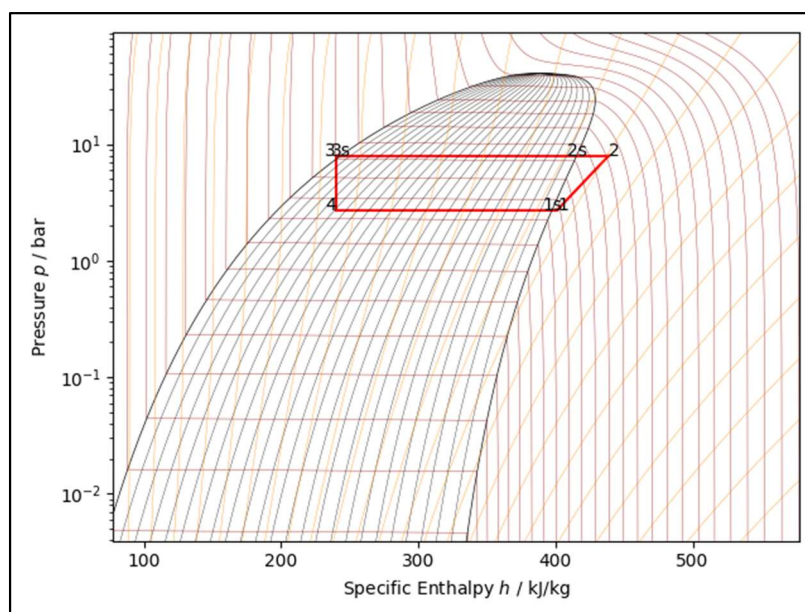
Πείραμα υπ' αριθμ.23

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT TANK				COLD TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.9	18.7	21.1	21.1	18.1	18.8	18.7	18.6	75	60
1	1	0.54	0.615	18.8	18.9	29.4	26.6	6.1	7.8	18.7	18.5	100	35
2	2	0.55	0.63	18.9	20.3	32.8	27.8	4	3.6	18.6	17.2	100	30
3	3	0.54	0.63	18.9	21.2	35.2	27.2	2.5	3.9	18.5	16.1	100	30
4	4	0.54	0.631	18.9	21.8	37.9	28	2.3	5	18.5	15.3	100	29
5	5	0.54	0.632	19	22.1	40	27.7	1.4	5.1	18.5	14.7	100	27
6	6	0.54	0.641	19	22.2	41.8	27.8	1.2	5.1	18.4	14.3	100	26
7	7	0.54	0.641	18.9	22.3	42.9	28.3	1.4	3.5	18.3	14	101	26
8	8	0.53	0.643	18.8	22.3	44.2	28.3	1.2	3.7	18.3	13.8	101	26
9	9	0.53	0.645	18.8	22.4	45.1	27.9	1.2	3.1	18.2	13.7	101	26
10	10	0.54	0.635	18.8	22.4	45.5	27.5	0.9	5	18.2	13.6	101	25
11	11	0.53	0.646	18.8	22.4	46.2	27.9	0.8	5	18.3	13.6	101	25
12	12	0.53	0.642	18.8	22.4	46.9	27.7	0.8	4.5	18.3	13.5	100	25
13	13	0.53	0.64	18.7	22.4	47.4	27.7	0.8	4.3	18.3	13.4	100	25
14	14	0.53	0.644	18.7	22.5	48.2	27.7	0.8	3.8	18.2	13.4	100	25
15	15	0.53	0.642	18.7	22.4	48.5	28.2	1	3.6	18.3	13.3	100	25
16	16	0.54	0.638	18.7	22.5	49.1	28.2	1.2	2.5	18.2	13.3	100	25
17	17	0.54	0.635	18.8	22.5	49.7	28.4	1	2.6	18.3	13.3	100	25
18	18	0.54	0.632	18.8	22.5	50.1	28.7	1	1.3	18.4	13.3	100	25
19	19	0.54	0.635	18.9	22.5	50.4	28.3	1	4.7	18.4	13.3	100	25
20	20	0.54	0.631	18.9	22.6	51	28.2	1	5	18.4	13.3	100	25
21	21	0.54	0.632	18.9	22.6	51.3	28.7	0.9	4.2	18.3	13.3	101	25
22	22	0.54	0.632	18.9	22.7	51.5	28.2	0.4	2.8	18.3	13.3	101	25
23	23	0.54	0.632	19	22.8	51.8	28.6	0.9	1.4	18.3	13.2	101	25
24	24	0.54	0.634	19	22.8	52.1	28.3	0.8	4.5	18.4	13.2	101	25
25	25	0.54	0.633	19	22.8	52.5	28.1	0.9	4.4	18.4	13.3	101	25
26	26	0.54	0.634	18.9	22.8	52.9	28.1	0.9	4.3	18.4	13.3	101	25
27	27	0.53	0.64	18.9	22.8	53.1	28.2	1.1	3.8	18.4	13.4	101	25
28	28	0.53	0.643	18.9	22.8	53.6	28.3	1.2	3.2	18.4	13.3	101	25
29	29	0.52	0.647	18.9	22.8	53.9	28.7	1.5	2.5	18.4	13.3	101	25
30	30	0.52	0.648	18.8	22.7	54.2	28.5	1.3	3.2	18.3	13.3	101	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 23^{ου} πειράματος.

		Twater_in =	18.6	°C			mwater_hot =	260	(L/h)			mwater_cold =	140	(L/h)
Πείραμα	23	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	29	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1183.00	865.67	317.33	336.44	3.73	3.52	2.73	2.57					
Refrigerant		1182.62	959.98	222.64	336.44	5.31	3.51	4.31	2.85	22.8	13.2	3.9	5.3	9.2

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 23^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 23^{ου} πειράματος.

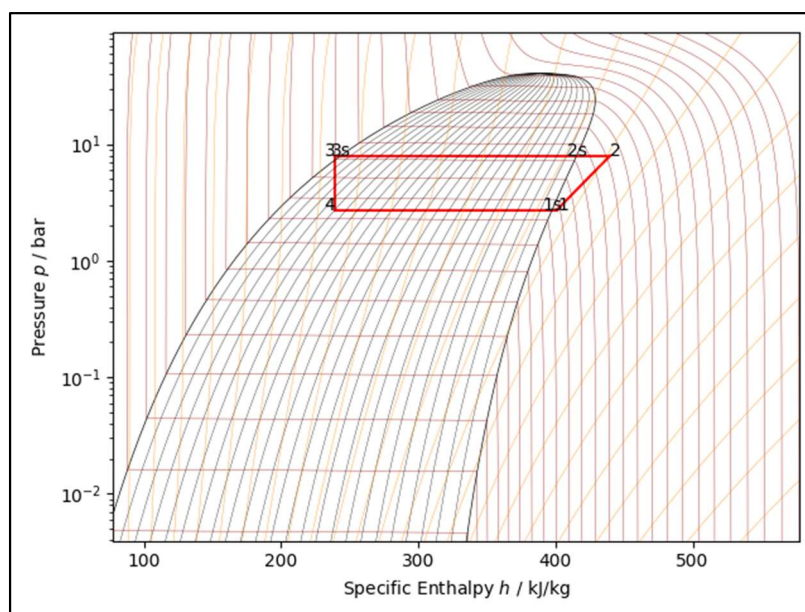
Πείραμα υπ' αριθμ.24

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT TANK				COLD TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			18.4	18.3	20.8	21	17.7	17.4	18.6	18.5	75	60
1	1	0.51	0.64	18.4	18.6	35.9	26.2	4	14.3	18.5	18.4	95	30
2	2	0.52	0.665	18.4	20.1	44.4	28.4	3.5	3.4	18.4	17.2	100	30
3	3	0.52	0.66	18.5	21.1	45	27.9	2.1	1.9	18.4	16	100	29
4	4	0.51	0.657	18.5	21.9	46.9	28.1	1.3	3.9	18.4	15.2	100	27
5	5	0.51	0.655	18.5	22.1	48.5	28	0.9	3.2	18.3	14.5	101	26
6	6	0.52	0.646	18.6	22.2	49.6	28.2	0.7	1.4	18.3	14.2	101	26
7	7	0.51	0.654	18.6	22.3	50.5	28.2	0.7	1.5	18.3	13.9	101	26
8	8	0.52	0.651	18.6	22.3	51	28.3	0.7	2	18.4	13.6	101	26
9	9	0.51	0.65	18.6	22.4	51.6	28.2	0.5	2.6	18.3	13.4	101	26
10	10	0.52	0.646	18.6	22.4	52	28.1	0.5	4.3	18.3	13.3	101	25
11	11	0.52	0.653	18.6	22.5	52.2	28.1	0.4	4.2	18.3	13.2	101	25
12	12	0.51	0.65	18.6	22.5	52.6	28	0.3	4.3	18.4	13.2	101	25
13	13	0.51	0.651	18.5	22.4	53.2	27.9	0.2	3.3	18.3	13.2	101	25
14	14	0.51	0.649	18.5	22.4	53.5	28.3	0.6	2.9	18.3	13.3	101	25
15	15	0.52	0.648	18.5	22.4	53.5	28.4	0.7	1.7	18.3	13.3	101	25
16	16	0.52	0.648	18.5	22.4	53.6	28.4	0.7	2.1	18.4	13.3	101	25
17	17	0.52	0.646	18.5	22.3	53.9	28.4	0.6	4.5	18.4	13.3	101	25
18	18	0.52	0.645	18.5	22.4	54.3	28.1	0.2	4.1	18.4	13.2	101	25
19	19	0.52	0.648	18.5	22.4	54.4	28.1	0.3	3.5	18.4	13.2	101	25
20	20	0.52	0.649	18.6	22.5	54.8	28.5	0.3	1.3	18.4	13.2	101	25
21	21	0.51	0.649	18.6	22.5	54.9	28.5	0.6	2.2	18.4	13.2	101	25
22	22	0.52	0.646	18.6	22.4	55.1	28.2	0.5	4.7	18.5	13.2	101	25
23	23	0.52	0.648	18.6	22.4	55.1	28.1	0.4	3.5	18.5	13.2	101	25
24	24	0.52	0.648	18.6	22.4	55.2	28.2	0.4	3	18.5	13.2	101	25
25	25	0.52	0.648	18.6	22.5	55.4	28.5	0.6	2.3	18.5	13.3	101	25
26	26	0.52	0.65	18.6	22.5	55.5	28.6	0.8	1.3	18.5	13.3	101	25
27	27	0.52	0.651	18.6	22.5	55.8	28.5	0.7	2.4	18.5	13.2	101	25
28	28	0.52	0.649	18.6	22.6	55.1	28.6	0.9	1.8	18.6	13.2	102	25
29	29	0.52	0.648	18.7	22.5	56.1	28.6	0.7	1.4	18.6	13.2	101	25
30	30	0.52	0.648	18.6	22.6	56.1	28.4	0.5	3.9	18.6	13.2	101	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 24^{ου} πειράματος.

		Twater_in =	18.5	°C			mwater_hot =	260	(L/h)			mwater_cold =	140	(L/h)
Πείραμα	24	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	21	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1183.00	865.67	317.33	330.99	3.73	3.57	2.73	2.62					
Refrigerant		1192.11	961.54	230.57	330.99	5.17	3.60	4.17	2.90	22.6	13.2	3.9	5.3	9.2

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 21^{ης} μέτρησης του 24^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 21^{ης} μέτρησης του 24^{ου} πειράματος.

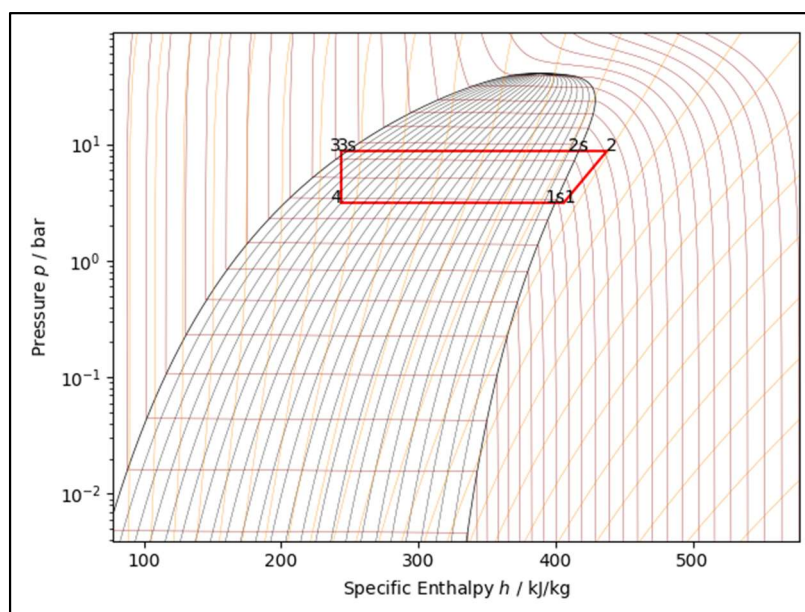
Πείραμα υπ' αριθμ.25

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.6	18.4	20.6	20.6	19.1	19.8	18.6	18.4	69	65
1	1	0.56	0.605	18.7	18.7	28.1	26.1	6.8	10.8	18.7	18.1	100	35
2	2	0.57	0.619	18.7	20.2	32.3	29.2	6.2	5.7	18.7	17	105	35
3	3	0.57	0.623	18.8	21.6	34.3	28.9	4.2	6.1	18.7	16.3	105	32
4	4	0.57	0.625	18.8	22.6	37.8	30.1	4.2	8.4	18.7	15.6	110	32.5
5	5	0.57	0.63	18.8	23.1	40.2	30.2	4	8.2	18.7	15.3	110	32
6	6	0.57	0.636	18.8	23.3	42	30.5	3.9	7.8	18.6	15.2	110	31
7	7	0.57	0.64	18.9	23.7	43.2	30.7	4	8.6	18.6	15.3	110	31
8	8	0.57	0.643	18.9	23.9	44.4	30.8	4.1	8.7	18.6	15.3	110	31
9	9	0.57	0.643	18.9	24.1	45.2	30.8	4	8.9	18.5	15.3	110	31
10	10	0.57	0.641	18.9	23.9	45.8	30.8	4.1	9.3	18.5	15.3	110	31
11	11	0.57	0.644	19	24.1	46.4	30.9	4.3	9	18.5	15.2	110	31
12	12	0.57	0.644	18.9	24.1	47.7	31	4.2	9	18.5	15.2	112	31
13	13	0.57	0.644	18.9	24.1	47.9	31.1	4.4	9	18.5	15.2	111	31
14	14	0.57	0.645	18.8	24.1	49.3	31.2	4.3	9.1	18.5	15.2	111	31
15	15	0.57	0.646	18.7	24.3	49.9	31.3	4.2	9	18.5	15.2	111	31
16	16	0.57	0.648	18.8	24.4	50.7	31.3	4.1	8.9	18.5	15.2	111	31
17	17	0.57	0.647	18.8	24.2	51.1	31.4	4.2	9	18.4	15.2	111	31
18	18	0.57	0.645	18.8	24.1	51.6	31.4	4.2	9	18.4	15.2	111	31
19	19	0.57	0.645	18.7	24.2	52.2	31.4	4.3	9.1	18.4	15.2	111	31
20	20	0.57	0.646	18.7	24.1	52.5	31.3	4.2	9.2	18.5	15.1	111	31
21	21	0.57	0.647	18.7	24.1	52.9	31.4	4.2	9.2	18.5	15.1	111	31
22	22	0.57	0.648	18.8	24.6	53.5	31.4	4.2	9	18.6	15	111	31
23	23	0.57	0.648	18.8	24.3	53.7	31.4	4.3	9.2	18.6	15	111	31
24	24	0.57	0.647	18.9	24.1	53.9	31.4	4.2	9.1	18.7	15.1	111	31
25	25	0.57	0.649	18.9	24.1	54.1	31.4	4.3	9.2	18.7	15.1	111	31
26	26	0.57	0.649	18.9	24.2	54.7	31.5	4.3	9.1	18.7	15.1	111	31
27	27	0.57	0.652	19	24.1	55.1	31.5	4.3	9.1	18.7	15.2	111	31
28	28	0.57	0.651	19	24.2	55.3	31.5	4.3	9	18.7	15.2	111	31
29	29	0.56	0.656	19	24.2	55.5	31.6	4.3	9.3	18.7	15.2	111	31
30	30	0.56	0.656	19	24.4	55.6	31.6	4.3	9.1	18.7	15.2	112	31

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 25^{ου} πειράματος.

Πείραμα	25	Twater_in = 18.7		°C	mwater_hot = 200		(L/h)	mwater_cold = 260		(L/h)	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)		W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)		COP _{theoretical}	COP _{real}						
Μέτρηση	22	1353.33	1092.00	261.33	369.36	369.36	5.18	3.66	4.18	2.96	24.6	15	5.8	3.6	9.4
Water															
Refrigerant		1299.25	1090.24	209.02	369.36	369.36	6.22	3.52	5.22	2.95					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 22^{ης} μέτρησης του 25^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 22^{ης} μέτρησης του 25^{ου} πειράματος.

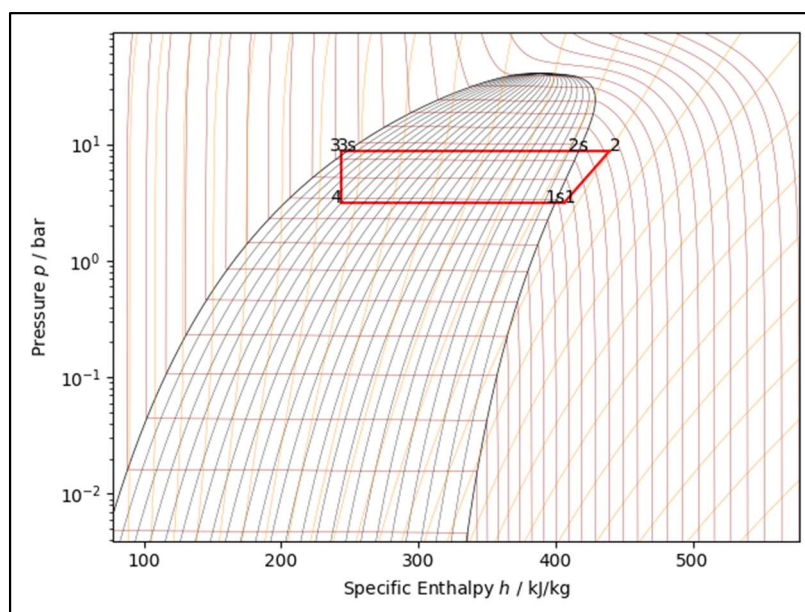
Πείραμα υπ' αριθμ.26

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			18.6	18.4	21.4	21.9	19.5	21.5	18.6	18.7	70	66
1	1	0.56	0.634	18.6	18.9	37.7	28.2	7.3	8.9	18.6	18.3	101	35
2	2	0.57	0.649	18.6	20.6	43.1	30.47	6.5	6	18.5	17.3	110	35
3	3	0.56	0.639	18.6	22	45.2	29.8	4.9	7.5	18.5	16.3	110	33
4	4	0.56	0.643	18.7	22.8	48.1	30.8	4.8	7.8	18.4	16	110	32
5	5	0.56	0.648	18.8	23.4	49.8	31.1	4.4	7.8	18.4	15.7	110	32
6	6	0.56	0.647	18.8	23.7	51.1	31.2	4.6	8.9	18.4	15.5	111	31
7	7	0.56	0.649	18.9	23.9	52.1	31.2	3.9	8.7	18.4	15.4	111	31
8	8	0.57	0.65	18.9	23.9	52.8	31.5	4.3	7.8	18.4	15.3	112	31
9	9	0.57	0.649	18.9	24.2	53.5	31.4	4.1	9.1	18.4	15.3	111	31
10	10	0.56	0.654	18.9	24.3	53.9	31.4	4.1	8.8	18.4	15.3	112	31
11	11	0.56	0.658	18.8	24.4	54.3	31.6	4.5	8	18.4	15.2	112	31
12	12	0.56	0.655	18.8	24.3	54.7	31.6	4.3	9.3	18.4	15.2	112	31
13	13	0.56	0.657	18.8	24.1	55.1	31.5	4.2	9.1	18.4	15.1	112	31
14	14	0.56	0.661	18.8	24.4	55.4	31.6	4.5	8.2	18.5	15.1	112	31
15	15	0.56	0.657	18.8	24.2	55.6	31.7	4.4	9.3	18.4	15.1	112	31
16	16	0.55	0.661	18.8	24.5	55.8	31.5	4.3	9.3	18.5	15.1	112	31
17	17	0.56	0.659	18.8	24.3	56	31.5	4.3	8.7	18.5	15.1	112	31
18	18	0.56	0.655	18.8	24.3	56.3	31.7	4.4	9.3	18.5	15.1	112	31
19	19	0.56	0.654	18.8	24.2	56.5	31.6	4.3	9.4	18.5	15.1	112	31
20	20	0.57	0.651	18.9	24.2	56.7	31.4	4.3	8.7	18.6	15.1	112	31
21	21	0.57	0.652	18.9	24.1	56.9	31.8	4.6	9.6	18.6	15.1	112	31
22	22	0.57	0.651	18.9	24.3	57	31.6	4.3	9.6	18.6	15.2	112	31
23	23	0.57	0.655	18.9	24.5	57.4	31.7	4.4	8.7	18.6	15.2	112	31
24	24	0.57	0.653	18.9	24.6	57.7	31.9	4.6	8.8	18.6	15.3	112	31
25	25	0.57	0.652	18.9	24.5	57.9	31.7	4.4	9.6	18.6	15.3	112	31
26	26	0.57	0.653	18.9	24.4	58	31.7	4.5	9	18.6	15.3	112	31
27	27	0.57	0.653	18.9	24.3	58.2	31.9	4.7	8.3	18.6	15.3	112	31
28	28	0.56	0.658	19	24.6	58.2	31.8	4.5	9.6	18.6	15.3	112	31
29	29	0.56	0.659	19	24.5	58.3	31.7	4.6	9.2	18.6	15.3	112	31
30	30	0.56	0.661	19	24.3	58.5	31.9	4.7	8.4	18.5	15.3	112	31

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 26^{ου} πειράματος.

		Twater_in =	18.7	°C			mwater_hot =	200	(L/h)			mwater_cold =	260	(L/h)
Πείραμα	26	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	16	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1330.00	1031.33	298.67	363.55	4.45	3.66	3.45	2.84					
Refrigerant		1311.40	1089.47	221.93	363.55	5.91	3.61	4.91	3.00	24.6	15.1	5.7	3.4	9.1

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 16^{ης} μέτρησης του 26^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 16^{ης} μέτρησης του 26^{ου} πειράματος.

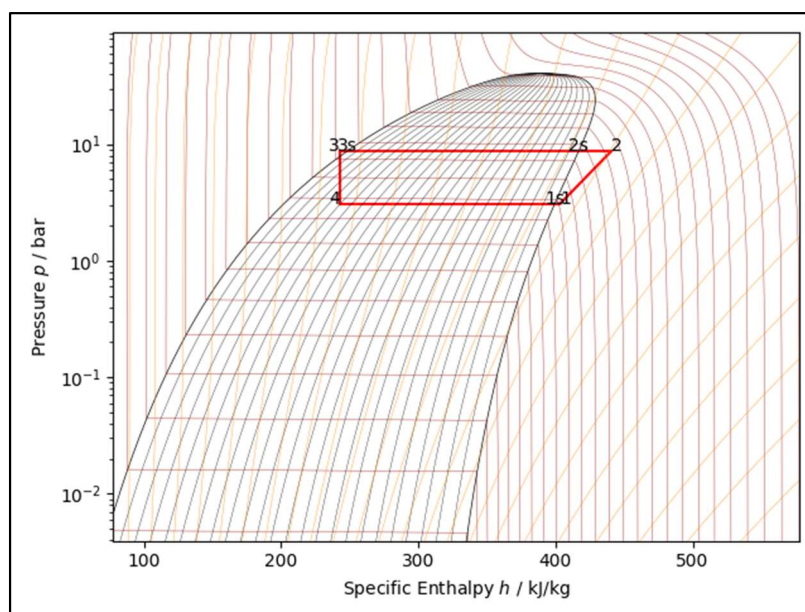
Πείραμα υπ' αριθμ.27

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			19	18.6	21.2	21.7	20.3	20.5	18.9	18.6		
1	1	0.55	0.655	19	18.8	35.2	28.4	8.2	7.7	18.8	18.3	102	36
2	2	0.54	0.643	19	20.6	34.9	30.2	7.4	6.5	18.8	17.3	110	36
3	3	0.54	0.649	19	21.9	35	29.9	5.6	4.4	18.7	16.7	110	31
4	4	0.54	0.649	19	22.7	39.4	30.1	4.3	4.2	18.6	15.9	110	30
5	5	0.54	0.652	19	23.1	43.4	30.4	3.6	3.3	18.6	15.4	110	30
6	6	0.55	0.653	19	23.5	45.9	30.5	3.3	3.6	18.6	15.2	110	30
7	7	0.54	0.654	19	23.8	47.6	30.4	3.2	4.4	18.6	15	110	30
8	8	0.54	0.653	19	24	48.9	30.5	3.1	5.4	18.6	14.9	110	30
9	9	0.54	0.655	19.1	24	49.7	30.4	3.1	5.8	18.5	14.8	110	30
10	10	0.54	0.652	19.1	24.1	50.4	30.5	3.1	5.6	18.5	14.8	110	30
11	11	0.55	0.653	19	24.2	51.1	30.5	3.2	5.7	18.5	14.7	110	30
12	12	0.54	0.653	19.1	24.1	51.6	30.5	3.2	6	18.6	14.7	110	30
13	13	0.54	0.658	19.1	24.1	51.9	30.6	3.2	5.7	18.6	14.7	110	30
14	14	0.54	0.657	19	24.2	52.6	30.6	3.2	6.5	18.6	14.7	110	30
15	15	0.54	0.659	19	24.2	53	30.6	3.2	6.8	18.6	14.6	110	30
16	16	0.54	0.661	19	24.2	53.5	30.6	3.2	6.9	18.6	14.6	112	30
17	17	0.54	0.661	19	24.1	53.9	30.6	3.1	6.5	18.6	14.6	112	30
18	18	0.54	0.663	19	24.1	54.3	30.6	3.1	6.5	18.6	14.6	112	30
19	19	0.54	0.66	19	24.1	54.5	30.7	3.3	7	18.5	14.6	111	30
20	20	0.54	0.66	19	24.1	54.6	30.6	3.2	6.7	18.5	14.6	111	30
21	21	0.54	0.661	19	24.2	54.9	30.9	3.3	6.1	18.5	14.6	111	30
22	22	0.54	0.661	19	24.1	55.2	30.6	3.2	5.7	18.5	14.6	111	30
23	23	0.54	0.661	19	24.2	55.7	30.8	3.3	5.6	18.5	14.5	111	30
24	24	0.54	0.662	19	24.2	55.9	31	3.3	5.8	18.5	14.5	111	30
25	25	0.54	0.662	19	24.2	56	31	3.3	5.5	18.5	14.5	111	30
26	26	0.54	0.664	19	24.1	56	31	3.3	5.7	18.5	14.5	111	30
27	27	0.54	0.663	19	24.3	56.5	30.7	3.2	6.3	18.5	14.5	111	30
28	28	0.54	0.664	19	24.3	56.7	30.7	3.1	5.7	18.5	14.4	111	30
29	29	0.54	0.665	19	24.1	57	30.7	3.3	6.7	18.5	14.4	111	30
30	30	0.54	0.666	19	24.1	57.1	30.8	3.3	6.5	18.5	14.4	111	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 27^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} =	18.8	°C		m _{water_hot} =	200	(L/h)		m _{water_cold} =	200	(L/h)		
Πείραμα	27	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	28	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1236.67	956.67	280.00	358.56	4.42	3.45	3.42	2.67	24.3	14.4	5.3	4.1	9.4
Refrigerant		1317.56	1069.80	247.76	358.56	5.32	3.67	4.32	2.98					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 28^{ης} μέτρησης του 27^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 28^{ης} μέτρησης του 27^{ου} πειράματος.

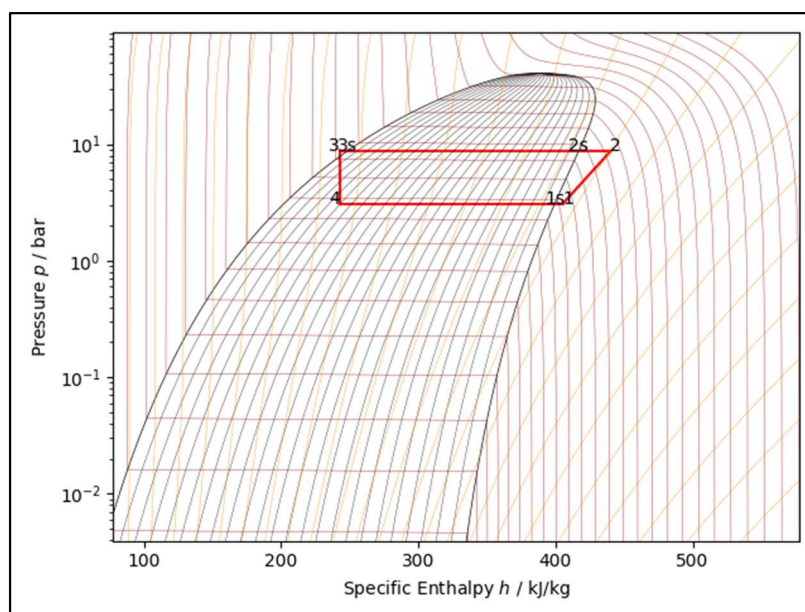
Πείραμα υπ' αριθμ.28

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.7	18.3	20.8	20.9	18.4	17.6	18.7	18.9		
1	1	0.54	0.64	18.6	18.7	35.2	27.3	6.3	7.7	18.7	18.3	101	35
2	2	0.55	0.655	18.6	20.5	41.7	30.2	5.6	5	18.6	17.2	110	34
3	3	0.55	0.653	18.6	21.9	42.5	29.6	4.1	3.5	18.6	16.2	110	30
4	4	0.54	0.652	18.6	22.9	45.6	29.9	3.5	7.5	18.6	15.6	110	30
5	5	0.55	0.653	18.6	23.4	48.2	30	3.1	7.4	18.5	15	110	30
6	6	0.54	0.655	18.6	23.5	49.6	30	2.7	6.6	18.5	14.8	110	30
7	7	0.54	0.653	18.6	23.7	50.7	30	2.6	6.2	18.5	14.7	110	30
8	8	0.54	0.656	18.6	23.7	51.6	30.7	2.7	5.5	18.5	14.6	110	30
9	9	0.54	0.656	18.6	23.9	52.4	30.9	2.9	6.7	18.5	14.6	111	30
10	10	0.54	0.656	18.6	23.9	52.8	30.7	2.8	7.7	18.5	14.5	111	30
11	11	0.54	0.655	18.6	23.8	53.4	30.3	2.6	7.6	18.5	14.5	111	30
12	12	0.54	0.66	18.6	24	53.7	31	3.1	6.2	18.4	14.5	111	30
13	13	0.53	0.662	18.6	24.3	53.9	30.9	3	7.8	18.5	14.5	111	30
14	14	0.53	0.663	18.6	24	54.3	30.6	2.8	7.7	18.5	14.5	111	30
15	15	0.53	0.668	18.6	23.9	54.9	30.6	2.8	7.7	18.5	14.5	111	30
16	16	0.53	0.666	18.6	24	55	30.6	2.9	7.6	18.5	14.5	111	30
17	17	0.53	0.667	18.6	24.2	55.2	30.6	2.8	7.6	18.5	14.5	111	30
18	18	0.53	0.671	18.6	24.2	55.4	31.1	3.2	6.3	18.4	14.5	111	30
19	19	0.53	0.67	18.6	24.1	55.6	31	2.9	8.2	18.4	14.5	111	30
20	20	0.53	0.669	18.6	23.9	56	30.8	2.8	8.2	18.5	14.5	111	30
21	21	0.53	0.668	18.6	24.1	56.2	30.9	2.8	7.9	18.5	14.5	111	30
22	22	0.53	0.67	18.6	24.3	56.4	30.8	2.8	7.7	18.4	14.5	111	30
23	23	0.53	0.671	18.6	24.2	56.5	31.1	3.2	6.2	18.5	14.5	111	30
24	24	0.53	0.668	18.6	24	56.6	31	3.1	8	18.4	14.5	111	30
25	25	0.53	0.667	18.6	24.3	56.7	30.8	2.8	7.8	18.4	14.5	111	30
26	26	0.53	0.669	18.6	24	57.1	30.6	2.7	7.6	18.4	14.5	111	30
27	27	0.53	0.668	18.6	24	57.4	30.8	3	7.5	18.4	14.5	111	30
28	28	0.53	0.67	18.6	24.2	57.5	31.1	3.2	6.3	18.4	14.5	111	30
29	29	0.53	0.669	18.6	24.4	57.5	31.1	3.2	7	18.4	14.5	111	30
30	30	0.53	0.668	18.6	24.3	57.6	30.9	2.9	7.8	18.4	14.5	111	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 28^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} =	18.5	°C		m _{water_hot} =	200	(L/h)		m _{water_cold} =	200	(L/h)		
Πείραμα	28	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	21	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1283.33	933.33	350.00	354.40	3.67	3.62	2.67	2.64	24.4	14.5	5.5	4	9.5
Refrigerant		1299.86	1071.16	228.70	354.04	5.68	3.67	4.68	3.02					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 21^{ης} μέτρησης του 28^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 21^{ης} μέτρησης του 28^{ου} πειράματος.

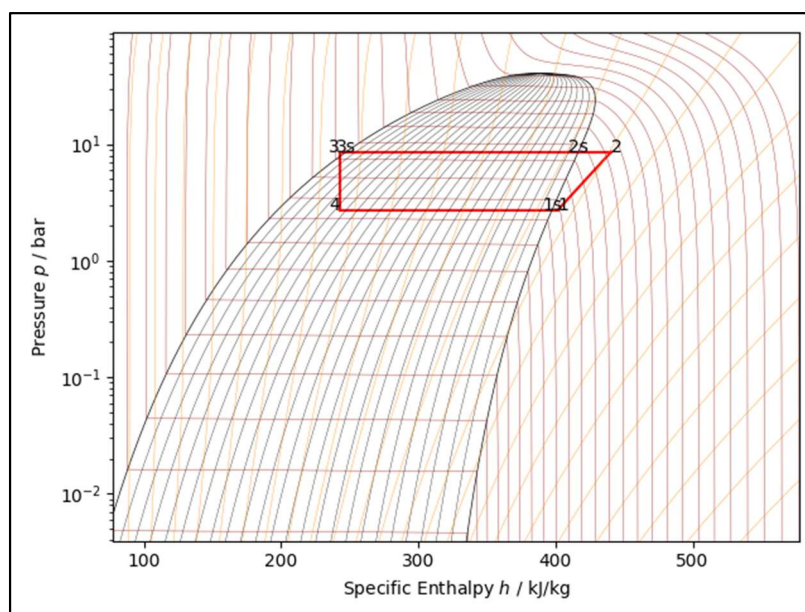
Πείραμα υπ' αριθμ.29

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			19.4	18.8	22.9	22.8	16.2	19.7	19.4	19	80	58
1	1	0.55	0.605	19.4	19.1	30.2	27.4	4.3	16.7	19.5	18.8	100	31
2	2	0.56	0.631	19.4	20.7	35.5	29.3	4.3	4.2	19.5	17.7	105	30
3	3	0.55	0.627	19.3	22	37.3	28.9	2.7	4.2	19.4	16.8	105	27
4	4	0.56	0.629	19.3	22.9	39.6	29.7	2.2	5.9	19.2	15.8	109	27
5	5	0.55	0.631	19.3	23.3	41.8	29.9	1.8	5.7	19	15.2	109	27
6	6	0.55	0.631	19.3	23.5	43.2	29.8	1.6	5.8	18.8	14.6	110	26
7	7	0.55	0.634	19.3	23.8	44.7	30	1.6	5.7	18.8	14.4	110	26
8	8	0.55	0.635	19.3	23.9	45.2	29.7	1.4	5.8	19	14.3	110	25
9	9	0.55	0.635	19.2	23.9	46.4	30	1.2	5.1	18.9	14.1	110	25
10	10	0.55	0.635	19.2	24	47.4	29.6	0.9	4.8	18.9	14	110	25
11	11	0.55	0.64	19.3	24	47.9	29.8	1.1	4.8	18.9	13.9	110	25
12	12	0.55	0.64	19.3	24	48.7	30.3	1.3	3.9	18.9	13.8	110	25
13	13	0.55	0.641	19.4	24	49.3	30.6	1.4	3.9	18.9	13.7	110	25
14	14	0.55	0.641	19.4	24.2	50.1	30.6	1.5	2.1	19	13.7	110	25
15	15	0.57	0.63	19.5	24.1	50.7	30.5	1.4	3.3	19	13.7	110	25
16	16	0.57	0.629	19.5	24.3	51.1	30.5	1.4	3.3	19	13.7	110	25
17	17	0.57	0.629	19.5	24.1	51.9	30.6	1.5	2.8	19	13.7	110	25
18	18	0.57	0.629	19.4	24.3	52.3	30.6	1.5	2.4	19	13.7	110	25
19	19	0.56	0.632	19.4	24	52.6	30.4	1.4	3.8	19	13.8	110	25
20	20	0.56	0.629	19.4	24.1	53.2	30.4	1.5	5.4	19	13.8	110	25
21	21	0.56	0.633	19.4	24	53.6	30.3	1.4	5.7	19	13.9	110	25
22	22	0.56	0.632	19.3	24	53.8	30.2	1.4	5.4	19	13.9	110	25
23	23	0.56	0.633	19.3	24.1	54.1	30.1	1.2	4.7	19	13.9	110	25
24	24	0.56	0.631	19.4	24.2	54.7	30.2	1.4	4.1	19	13.9	110	25
25	25	0.55	0.631	19.4	24.2	55.2	30.1	1.4	4.5	19.1	13.9	110	25
26	26	0.56	0.633	19.4	24.3	55.4	30.3	1.6	3.6	19.2	13.9	110	25
27	27	0.56	0.634	19.4	24.3	55.6	30.6	1.7	2.9	19.2	13.9	110	25
28	28	0.56	0.633	19.4	24.2	56	30.6	1.7	3.2	19.1	13.8	110	25
29	29	0.56	0.634	19.3	24.2	56.3	30.7	1.8	3.1	19.1	13.9	110	25
30	30	0.56	0.632	19.3	24.2	56.7	30.7	1.8	3	19.1	13.9	110	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 29^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} =	19.2	°C		m _{water_hot} =	200	(L/h)		m _{water_cold} =	140	(L/h)		
Πείραμα	29	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	30	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1143.33	849.33	294.00	353.92	3.89	3.23	2.89	2.40	24.3	13.7	4.9	5.2	10.1
Refrigerant		1172.98	943.12	229.86	353.92	5.10	3.31	4.10	2.66					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 30^{ης} μέτρησης του 29^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 30^{ης} μέτρησης του 29^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.30

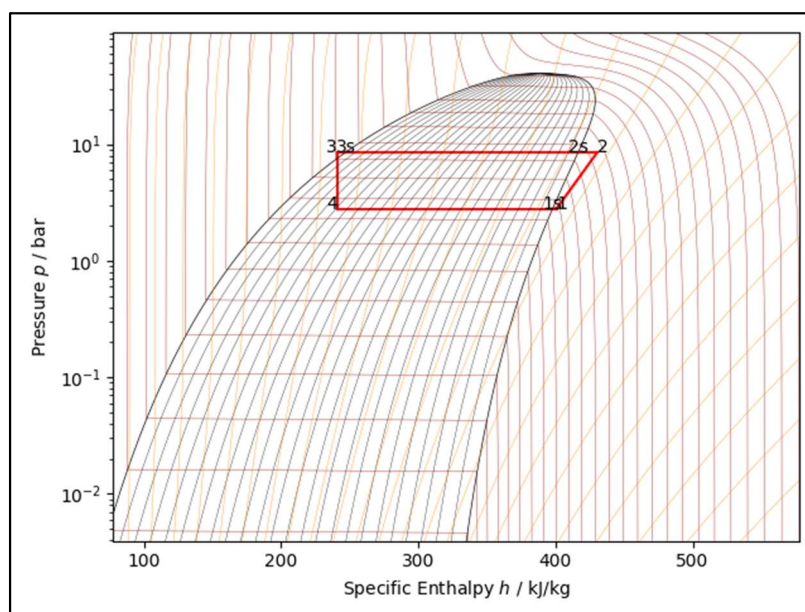
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.1	18	19.2	19.7	17.2	17.2	18.2	18.3	72.5	57.5
1	1	0.51	0.631	18.1	18.3	27.4	26.8	6.1	6.1	18.1	18.1	98	35
2	2	0.51	0.629	18.1	19.9	29.4	27.4	4.2	3.5	18.1	17.1	100	32
3	3	0.51	0.623	18.1	21	30.2	27.8	2.7	2.3	18.1	16	101	30
4	4	0.52	0.627	18.2	21.9	31.5	28.1	1.7	1.9	18.1	15	101	28
5	5	0.53	0.637	18.3	22.4	34	28.4	0.9	1	18.2	14.6	102	27
6	6	0.53	0.64	18.4	22.7	35.6	28.5	0.8	0.8	18.2	14.1	102	26
7	7	0.53	0.641	18.4	22.8	37.1	28.6	0.4	1.2	18.2	13.7	102	26
8	8	0.52	0.655	18.5	23	38.5	28.7	0.6	0.9	18.2	13.7	103	26
9	9	0.53	0.647	18.5	22.9	39.7	28.8	0.5	1.1	18.2	13.6	103	26
10	10	0.53	0.649	18.5	23.3	40.7	28.9	0.3	1.1	18.2	13.5	106	26
11	11	0.53	0.653	18.6	23.2	41.6	29.1	0.3	1.3	18.1	13.4	106	26
12	12	0.53	0.65	18.6	23.3	42.4	29.2	0.3	0.2	18.1	13.2	106	26
13	13	0.53	0.652	18.6	23.5	43.1	29.6	0.4	0.4	18.1	13.2	109	26
14	14	0.53	0.652	18.6	23.4	44.2	29.3	0.3	2	18	13.2	108	26
15	15	0.51	0.667	18.7	23.6	44.9	29.3	0.5	1.5	18.1	13.1	109	26
16	16	0.52	0.657	18.7	23.4	45.9	29.4	0.4	1	18.1	13.2	109	26
17	17	0.51	0.665	18.8	23.8	46.3	29.4	0.3	1.7	18.1	13.1	109	26
18	18	0.53	0.652	18.8	23.7	46.8	29.3	0.3	2	18	13.1	109	26
19	19	0.53	0.65	18.8	23.4	47.5	29.4	0.3	0.7	18	13	109	25
20	20	0.53	0.652	18.9	23.4	47.9	29.5	0.4	1.6	18.1	13	109	25
21	21	0.53	0.654	18.9	23.3	48.1	29.6	0.6	1.4	18.1	13	109	25
22	22	0.51	0.664	18.8	23.4	48.8	29.4	0.6	1.5	18.2	13.1	109	25
23	23	0.53	0.648	18.8	23.4	49.3	29.6	0.6	1	18.2	13.1	109	25
24	24	0.51	0.66	18.7	23.8	49.8	29.3	-0.4	0.9	18.3	13.2	109	25
25	25	0.51	0.658	18.7	24.1	50.2	29.4	-0.6	-0.9	18.3	13	109	25
26	26	0.51	0.655	18.6	24.2	50.3	28.3	-0.6	1.1	18.2	12.8	109	25
27	27	0.51	0.66	18.6	23.8	50.8	29.4	-0.3	-0.3	18.1	12.5	109	25
28	28	0.51	0.655	18.6	23.8	51	28.4	-0.7	1.1	18	12.3	105	25
29	29	0.51	0.655	18.6	23.6	51.4	28.9	-0.4	1	18	12.3	105	25
30	30	0.51	0.656	18.6	23.6	51.7	28.8	-0.4	-0.2	18	12.3	105	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 30^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Από την 18^η έως την 24^η μέτρηση υπήρξε μεταβολή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών, επομένως οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Πείραμα	Μέτρηση	T _{water_in} = 18.3 °C		m _{water_hot} = 200 (L/h)		m _{water_cold} = 140 (L/h)		T _{water_out} max(°C) / T _{water_out} min(°C)		ΔT _{hot_water} / ΔT _{cold_water}		ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}			
Water	18	1143.33	800.33	343.00	345.56	3.33	3.31	2.33	2.32	24.2	12.3	9.8
Refrigerant		1162.19	979.81	182.38	345.56	6.37	3.36	5.37	2.83			

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 18^{ης} μέτρησης του 30^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 18^{ης} μέτρησης του 30^{ου} πειράματος.

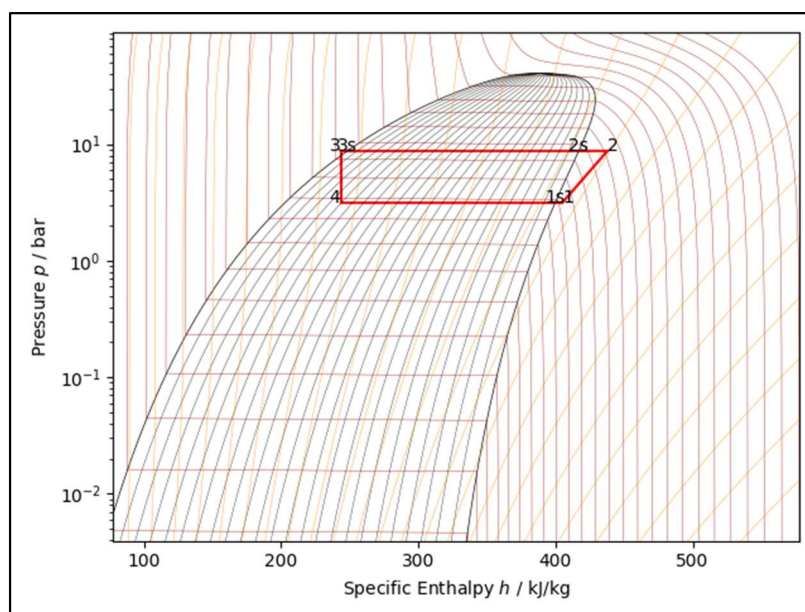
Πείραμα υπ' αριθμ.31

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.1	17.9	23	22.1	17.4	17.8	17.8	18	80	64
1	1	0.55	0.623	18.1	18.3	34.1	27.8	4.8	14.7	17.8	17.5	100	32.5
2	2	0.56	0.644	18.1	20.2	41.2	29.6	4.9	4.8	17.7	16.7	105	32.5
3	3	0.53	0.655	18.2	21.7	42.7	29.2	3.5	5.9	17.7	15.9	108	32
4	4	0.54	0.646	18.1	23.1	45	29.9	3.3	7.2	17.4	15.4	110	31
5	5	0.53	0.662	18.1	23.9	46.4	30.5	3.3	6.7	17.4	15	110	31
6	6	0.56	0.646	18.1	24.2	47.7	30.6	3.2	7.3	17.3	14.8	110	31
7	7	0.55	0.65	18.1	24.6	48.4	30.8	3.1	7.3	17.4	14.6	111	30
8	8	0.55	0.647	18.2	24.8	49.2	30.7	3.1	7.5	17.5	14.6	111	30
9	9	0.54	0.663	18.2	24.7	49.8	30.7	3	7.5	17.5	14.6	111	30
10	10	0.55	0.647	18.2	25.2	50.5	30.9	2.8	7.3	17.4	14.6	111	30
11	11	0.56	0.646	18.2	25	50.9	31	3.4	7.6	17.5	14.6	111	30
12	12	0.54	0.663	18.2	25	51.5	31	3.2	7.6	17.6	14.6	111	30
13	13	0.55	0.652	18.2	25	52	30.9	3.4	7.6	17.5	14.6	111	30
14	14	0.56	0.651	18.1	25.1	52.2	31.1	3.6	7.3	17.6	14.6	111	31
15	15	0.56	0.654	18.2	25.6	52.8	31.2	3.5	7.5	17.6	14.6	111	31
16	16	0.56	0.653	18.1	25.2	53.2	31.2	3.5	7.4	17.6	14.6	111	31
17	17	0.56	0.653	18.1	26	53.5	31.5	3.4	6.2	17.6	14.6	111	31
18	18	0.56	0.65	18.2	26.3	53.8	31.1	3.3	7.8	17.7	14.7	111	31
19	19	0.56	0.648	18.1	26.1	54	31.1	3	7.8	17.6	14.7	111	31
20	20	0.55	0.66	18.1	26.1	54.5	31.2	3.4	6.7	17.7	14.7	111	31
21	21	0.56	0.648	18.2	25.8	54.7	31.1	3.4	8	17.6	14.7	111	31
22	22	0.56	0.649	18.1	25	54.9	31	3.3	7.9	17.6	14.8	111	31
23	23	0.55	0.662	18.2	25.9	55.1	31.2	3	7.5	17.7	14.8	111	31
24	24	0.54	0.657	18.2	26	55.4	31.3	3.7	7.3	17.6	14.8	111	31
25	25	0.56	0.652	18.2	26	55.6	31.4	3.4	8	17.7	14.8	111	31
26	26	0.54	0.667	18.2	26.5	56	31.2	2.9	7.4	17.7	14.8	111	31
27	27	0.55	0.651	18.3	26.7	56.2	31.2	3	7	17.6	14.7	111	31
28	28	0.55	0.651	18.3	25.9	56.4	31	3.5	8.4	17.7	14.6	111	31
29	29	0.56	0.653	18.3	25.2	56.5	31.1	3.5	8.2	17.7	14.7	111	31
30	30	0.56	0.655	18.3	25.2	56.6	31.4	3.9	7.1	17.7	14.7	111	31

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 31^{ου} πειράματος.

Πείραμα	Μέτρηση	Twater_in = 17.9 °C		mwater_hot = 140 (L/h)		mwater_cold = 260 (L/h)		Twater_out max(°C) Twater_out min(°C)		ΔT _{hot_water} ΔT _{cold_water}		ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}			
Water	18	1323.00	970.67	352.33	364.00	3.75	3.63	2.75	2.67	26.7	14.6	11.3
Refrigerant		1311.99	1092.37	219.62	364.00	5.97	3.60	4.97	3.00			

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 18^{ης} μέτρησης του 31^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 18^{ης} μέτρησης του 31^{ου} πειράματος.

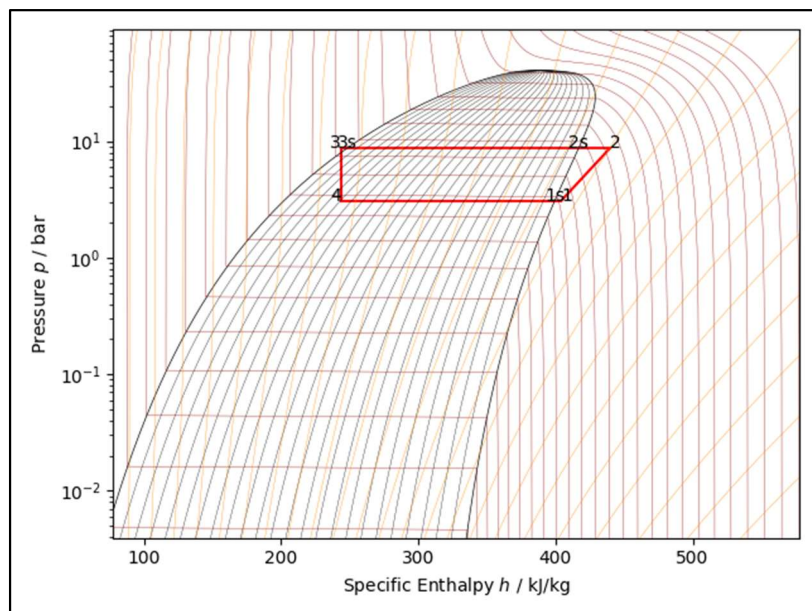
Πείραμα υπ' αριθμ.32

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18	17.7	20	20	18.9	20.5	17.9	17.7	65	65
1	1	0.55	0.636	18	18.3	36.4	28	6.3	7.8	17.7	17.3	101	35
2	2	0.55	0.647	18	20.5	40.3	30.1	5.8	5.3	17.7	16.4	109	32.5
3	3	0.55	0.642	18	22	42.2	29.2	3.7	5.7	17.6	15.4	109	32
4	4	0.55	0.651	18	23.1	45.4	30.3	3.6	7.4	17.6	15.1	110	31
5	5	0.55	0.651	18	24	47.9	30.5	3.3	7.7	17.5	14.8	110	31
6	6	0.55	0.653	18	24.4	49.3	30.6	3.1	7.5	17.5	14.6	110	31
7	7	0.55	0.653	18	24.5	50.2	30.4	3	7	17.5	14.5	110	31
8	8	0.55	0.653	18	24.8	50.9	31	3.1	6.5	17.4	14.4	111	30
9	9	0.55	0.651	18	25.7	51.9	30.9	3.2	7.7	17.3	14.4	111	30
10	10	0.55	0.653	18	25	52.3	31	3.2	7.8	17.3	14.4	111	30
11	11	0.55	0.651	18	25.1	52.5	30.8	3.2	7.5	17.3	14.4	111	30
12	12	0.56	0.654	18	25.7	53.3	31	3.2	6.7	17.3	14.4	111	30
13	13	0.56	0.654	18.1	25.2	53.6	31.1	3.3	7.3	17.5	14.4	111	30
14	14	0.55	0.652	18.1	25	53.8	31.1	3.1	8	17.5	14.4	111	30
15	15	0.55	0.653	18.1	25.2	54.1	30.9	3.2	7.5	17.5	14.5	111	30
16	16	0.55	0.656	18	25.5	54.7	31.3	3.4	6.6	17.6	14.4	111	30
17	17	0.55	0.655	18.1	26	55	31.3	3.3	6.8	17.6	14.4	111	30
18	18	0.55	0.654	18.1	25.9	55.2	31.2	3.2	7.9	17.6	14.4	111	30
19	19	0.55	0.656	18.1	26.3	55.3	31.1	3.1	7.7	17.6	14.4	111	30
20	20	0.55	0.658	18.1	26.4	55.4	31.4	3.2	6.9	17.6	14.3	111	30
21	21	0.55	0.659	18	26.5	55.8	31.2	3.3	6.6	17.7	14.3	111	30
22	22	0.55	0.657	18	26.1	56.1	31.2	3.3	8	17.7	14.3	111	30
23	23	0.55	0.66	18	26.1	56.1	31.2	3.3	7.5	17.7	14.3	111	30
24	24	0.55	0.659	18	25.7	56.4	31.2	3.3	7.7	17.7	14.3	111	30
25	25	0.55	0.656	18.1	25.9	56.5	30.8	3.2	7.7	17.8	14.3	111	30
26	26	0.55	0.66	18.1	25.4	56.6	31.3	3.5	6.8	17.7	14.4	111	30
27	27	0.55	0.659	18.1	25.4	56.8	31.3	3.4	8.1	17.8	14.4	111	30
28	28	0.55	0.659	18.1	25.1	57	31.3	3.3	8.1	17.8	14.4	111	30
29	29	0.55	0.66	18.1	25.6	57	31.1	3.3	8	17.8	14.4	111	30
30	30	0.55	0.662	18.1	25.7	57	31.3	3.3	7.1	17.8	14.4	111	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 32^{ου} πειράματος.

Πείραμα	32	Twater_in = 17.8		°C	mwater_hot = 140		(L/h)	mwater_cold = 260		(L/h)	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)		W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)		COP _{theoretical}	COP _{real}						
Water	Μέτρηση 21	1388.33	1061.67		326.67	362.45		4.25	3.83		26.5	14.3	8.5	3.5	12
Refrigerant		1300.71	1065.54		235.18	362.45		5.53	3.59						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 21^{ης} μέτρησης του 32^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 21^{ης} μέτρησης του 32^{ου} πειράματος.

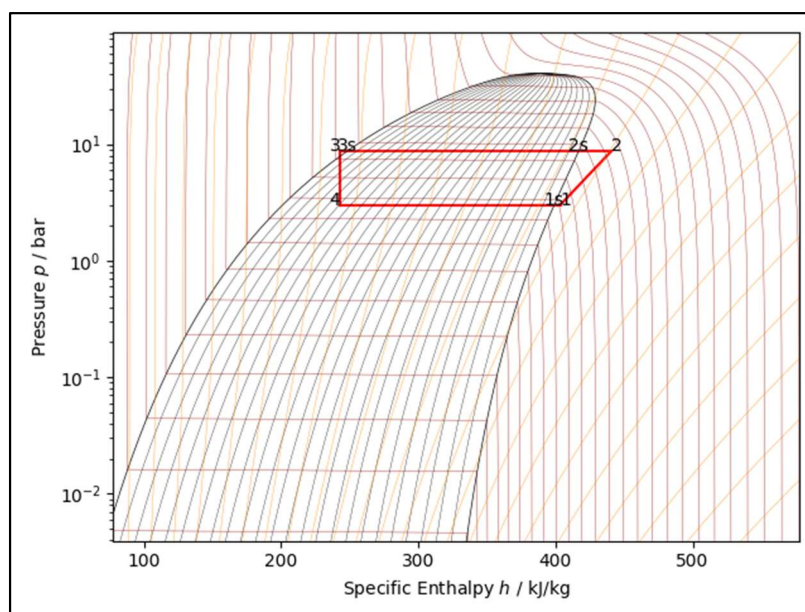
Πείραμα υπ' αριθμ.33

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.3	18.2	19.5	20.3	18	18.7	18.6	18.1	75	59
1	1	0.55	0.62	18.3	18.5	35.2	27.4	5	15	18.6	18	100	32.5
2	2	0.54	0.664	18.3	20.7	42.9	30.2	4.8	4.4	18.5	16.9	109	30
3	3	0.53	0.653	18.4	22.3	44.5	29.6	3	3.8	18.4	16.1	109	30
4	4	0.53	0.658	18.4	23.4	46.9	30.4	2.8	5	18.3	15.2	110	30
5	5	0.53	0.66	18.4	24.4	48.5	30.4	2.5	6.3	18.1	14.9	110	29
6	6	0.53	0.659	18.3	25.4	49.8	30.2	2	6.4	18.1	14.7	110	29
7	7	0.53	0.665	18.3	24.9	51	30.6	2.3	5.7	18.1	14.5	110	29
8	8	0.53	0.664	18.4	25	51.5	31	2.5	5.8	18	14.4	110	29
9	9	0.53	0.661	18.4	25.1	51.9	30.5	2.4	7.1	18	14.3	110	29
10	10	0.53	0.661	18.3	25.3	52.5	30.4	2.2	6.9	18	14.3	110	29
11	11	0.53	0.661	18.4	25.8	52.7	30.3	2	5.4	18	14.2	110	29
12	12	0.53	0.661	18.4	25.9	53.2	31.1	2.4	6.2	18	14.2	110	29
13	13	0.53	0.661	18.4	25.8	53.7	30.6	2.3	6.9	18	14.2	110	29
14	14	0.53	0.66	18.4	25.3	54	30.5	2.1	6.6	18	14.2	110	29
15	15	0.53	0.659	18.4	26	54.3	30.5	2.2	6.5	18	14.2	110	29
16	16	0.53	0.661	18.4	25.5	54.2	31.4	2.5	4.3	18	14.2	110	29
17	17	0.53	0.65	18.4	25.8	54.5	30.7	2.4	7.1	18	14.2	110	29
18	18	0.53	0.658	18.3	25.6	54.8	30.5	2.1	6.8	17.9	14.1	110	29
19	19	0.55	0.649	18.3	25.7	55.2	30.7	2.5	6.5	18	14.1	110	29
20	20	0.53	0.663	18.3	25.4	55.3	31.2	2.5	6.9	17.9	14.1	111	29
21	21	0.53	0.661	18.4	25.9	55.6	31	2.4	7.1	18	14.2	111	29
22	22	0.53	0.66	18.4	25.7	56	30.6	2.2	6.9	17.9	14.1	111	29
23	23	0.53	0.663	18.4	26	55.4	30.5	2.3	6	18	14.2	111	29
24	24	0.53	0.662	18.4	25.9	56	31.2	2.5	5.5	18	14.1	111	29
25	25	0.55	0.647	18.4	25.7	55.7	30.8	2.4	7.3	18	14.1	111	29
26	26	0.53	0.66	18.3	25.8	56.6	30.5	2.2	6.8	18	14.1	111	29
27	27	0.55	0.648	18.4	26.3	56.7	30.9	2.2	5.7	18	14.1	111	29
28	28	0.55	0.653	18.4	25.6	56.9	31.1	2.4	7.3	18	14.1	111	29
29	29	0.53	0.664	18.4	25.6	57	30.7	2.3	7.1	18	14.2	111	29
30	30	0.53	0.665	18.4	25.5	57	30.9	2.4	6.3	17.9	14.2	111	29

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 33^{ου} πειράματος.

		Twater_in =	18.2	°C			mwater_hot =	140	(L/h)			mwater_cold =	200	(L/h)
Πείραμα	33	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	27	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water	1290.33	956.67	333.67	356.40	3.87	3.62	2.87	2.68		26.3	14.1	7.9	4.1	12
Refrigerant	1283.23	1042.78	240.46	356.40	5.34	3.60	4.34	2.93						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 27^{ης} μέτρησης του 33^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 27^{ης} μέτρησης του 33^{ου} πειράματος.

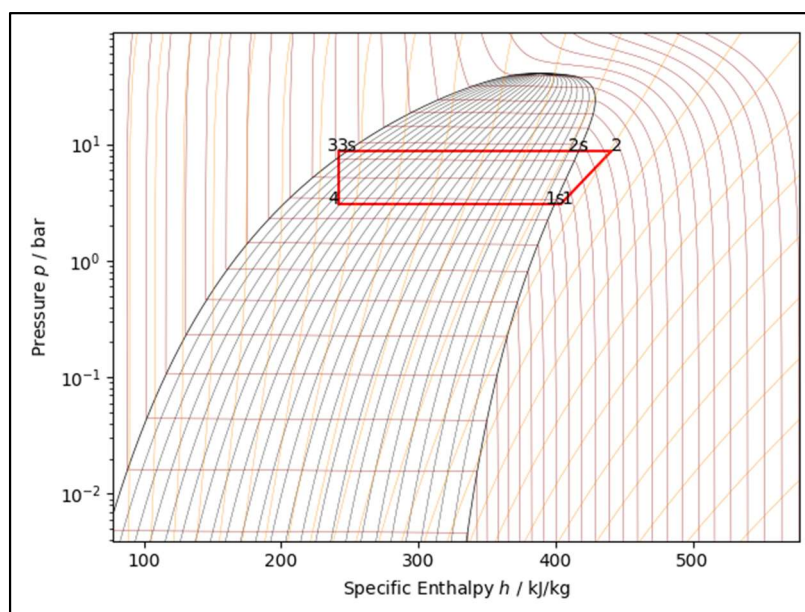
Πείραμα υπ' αριθμ.34

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.2	18.1	19.8	20.8	17.9	18.4	18.4	18	70	65
1	1	0.52	0.642	18.2	18.3	36.7	27.1	5.5	11.9	18.4	17.8	100	35
2	2	0.53	0.664	18.2	20.6	44.2	29.9	5.1	4.5	18.3	16.5	109	31
3	3	0.53	0.653	18.2	22.4	45.5	29.1	3.4	5	18.3	15.9	109	30
4	4	0.53	0.656	18.2	23.5	48.2	29.8	2.8	6.4	18.3	15	110	30
5	5	0.53	0.66	18.3	24.1	49.9	29.9	2.5	6.1	18.3	14.7	110	30
6	6	0.53	0.661	18.3	24.6	51.2	29.9	2.4	5.4	18.2	14.6	110	30
7	7	0.53	0.661	18.3	24.7	52.2	30.5	2.4	4.9	18.1	14.5	110	29
8	8	0.53	0.661	18.3	24.9	52.7	30.7	2.4	5.5	18	14.3	110	29
9	9	0.53	0.661	18.3	25	53.4	30.3	2.4	6.7	18	14.3	110	29
10	10	0.53	0.659	18.3	25.2	53.7	30	2.3	6.4	18.1	14.2	110	29
11	11	0.53	0.661	18.3	25.2	54	30.6	2.3	4.9	18.1	14.2	110	29
12	12	0.53	0.66	18.3	25.1	54.3	31.1	2.4	6.6	18.1	14.2	111	29
13	13	0.53	0.657	18.3	25.1	54.8	30	2.1	6.5	18.1	14.1	111	29
14	14	0.53	0.662	18.3	25	55	30.8	2.5	5.6	18	14.2	111	29
15	15	0.53	0.662	18.3	25	55.1	30.8	2.5	6	18	14.2	111	30
16	16	0.53	0.661	18.3	25.1	55.2	30.7	2.4	6.6	17.9	14.2	111	30
17	17	0.53	0.66	18.3	25.1	55.5	30.4	2.2	6.5	18	14.1	111	30
18	18	0.53	0.66	18.3	25.2	55.7	30	2.4	6.4	18	14.1	111	30
19	19	0.53	0.661	18.3	25	56	30.9	2.5	5.4	18	14.1	111	30
20	20	0.53	0.662	18.3	25	55.9	30.7	2.5	7	18	14.1	111	30
21	21	0.53	0.659	18.3	25.1	56.3	30.3	2.4	6.6	18	14.1	111	30
22	22	0.53	0.661	18.3	25	56.4	30.5	2.4	5.7	17.9	14.1	111	30
23	23	0.53	0.661	18.3	25.1	56.4	30.9	2.5	5.3	17.9	14.1	111	30
24	24	0.53	0.663	18.3	25.1	56.5	30.9	2.4	6.6	18	14.1	111	30
25	25	0.53	0.663	18.3	25.1	56.6	30.7	2.5	6.8	18	14.1	111	30
26	26	0.53	0.666	18.3	25.2	56.8	31.4	2.4	3.6	18	14	111	30
27	27	0.53	0.663	18.3	26	56.7	30.1	2.2	6.5	17.8	14	111	30
28	28	0.53	0.666	18.3	25	57.1	30.8	2.5	5.6	17.9	13.9	111	30
29	29	0.53	0.666	18.3	25.1	57.1	30.7	2.5	5	18	14	111	30
30	30	0.53	0.662	18.3	25.1	57.3	30.7	2.4	6.7	18	14	111	30

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 34^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 18.2		°C		m _{water_hot} = 140		(L/h)				m _{water_cold} = 200		(L/h)	
Πείραμα	34	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	27	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1257.67	980.00	277.67	351.39	4.53	3.58	3.53	2.79	26	13.9	7.7	4.2	11.9	
Refrigerant		1318.06	1076.05	242.01	351.39	5.45	3.75	4.45	3.06						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 27^{ης} μέτρησης του 34^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 27^{ης} μέτρησης του 34^{ου} πειράματος.

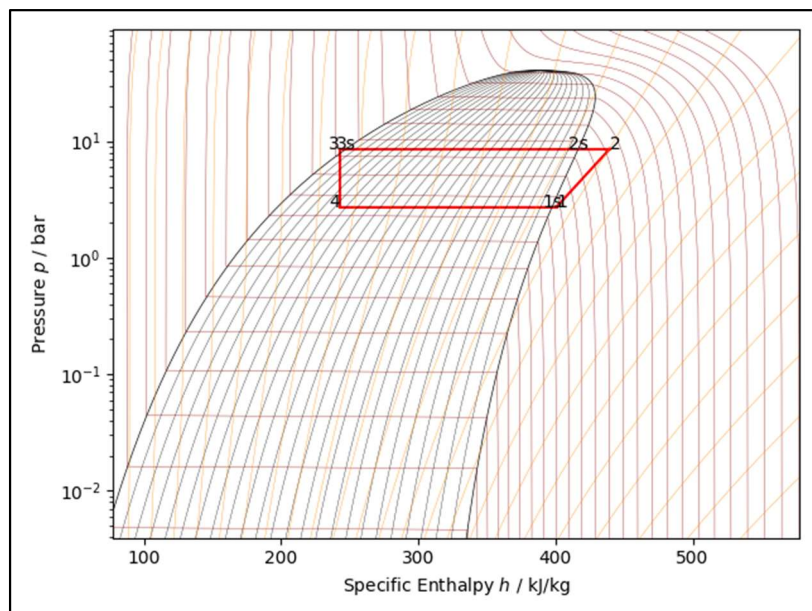
Πείραμα υπ' αριθμ.35

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT TANK				COLD TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.7	18.3	20	20.9	18.6	19.2	18.8	18.2	72.5	62.5
1	1	0.54	0.631	18.7	18.7	31.9	27.1	4.6	9.5	18.8	18.2	100	32
2	2	0.54	0.642	18.7	20.1	37.4	29.8	4.6	4.4	18.7	17.5	105	32
3	3	0.54	0.632	18.7	22.5	37.7	28.8	2.4	2.5	18.5	16.3	105	27.5
4	4	0.55	0.629	18.7	23.1	40.7	29.2	1.7	4.1	18.4	15.3	110	27.5
5	5	0.53	0.647	18.7	24.1	43.4	29.1	1.1	3.8	18.3	14.7	110	26
6	6	0.52	0.651	18.7	24.2	45.1	29.3	0.9	4.1	18.4	14.2	110	25
7	7	0.52	0.652	18.7	24.3	46.5	29.4	0.5	3.2	18.1	14	110	25
8	8	0.52	0.652	18.6	24.6	47.3	29.8	0.5	3	18	13.9	110	25
9	9	0.52	0.65	18.6	24.7	48.5	30	0.5	1.6	18	13.8	110	25
10	10	0.53	0.648	18.6	24.5	48.8	29.9	0.5	1.5	18	13.6	110	25
11	11	0.55	0.636	18.6	24.4	49.7	30	0.7	2.8	18	13.5	110	25
12	12	0.54	0.645	18.7	24.5	50.2	30.3	0.6	1	18.2	13.4	110	25
13	13	0.55	0.636	18.8	24.8	50.6	30.3	0.6	1.2	18.2	13.4	110	25
14	14	0.55	0.637	18.8	24.9	51.3	30.5	0.6	0.6	18.2	13.4	110	25
15	15	0.55	0.637	18.8	24.9	51.6	30.5	0.6	0.9	18.2	13.4	110	25
16	16	0.55	0.635	18.8	24.8	51.7	30.2	0.7	2.2	18.2	13.4	110	25
17	17	0.55	0.635	18.8	25	52	30.4	0.6	2.4	18.4	13.4	110	25
18	18	0.55	0.635	18.8	25	52.7	30.3	0.6	2.7	18.3	13.4	110	25
19	19	0.55	0.633	18.8	25.2	53.1	30.1	0.6	2.8	18.3	13.4	110	25
20	20	0.54	0.635	18.8	25.1	53.6	30	0.6	3.1	18.3	13.4	110	25
21	21	0.55	0.639	18.8	25.1	53.7	30.4	0.7	2.7	18.3	13.4	110	25
22	22	0.55	0.639	18.8	25.4	54.2	30.3	0.7	3.9	18.3	13.3	110	25
23	23	0.54	0.638	18.9	25	54.5	30.4	0.7	3.9	18.3	13.3	110	25
24	24	0.55	0.636	18.8	25	54.8	30.4	0.7	3.6	18.3	13.3	110	25
25	25	0.55	0.634	18.8	25.1	55.5	30.6	0.7	3.2	18.3	13.3	110	25
26	26	0.53	0.651	18.8	25.3	55.7	30.8	0.7	1.9	18.4	13.3	110	25
27	27	0.54	0.638	18.9	25.2	55.8	30.5	0.7	3.4	18.4	13.2	110	25
28	28	0.55	0.644	18.8	25.1	55.9	30.8	0.8	1.8	18.3	13.2	110	25
29	29	0.53	0.652	18.9	25.2	56	30.4	0.7	3.4	18.4	13.2	110	25
30	30	0.53	0.652	18.9	24.9	56.3	30.4	0.7	3.8	18.3	13.1	110	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 35^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 18.5	°C			m _{water_hot} = 140	(L/h)			m _{water_cold} = 140	(L/h)			
Πείραμα	35	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	26	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1061.67	849.33	212.33	345.03	5.00	3.08	4.00	2.46	25.4	13.1	6.5	5.2	11.7
Refrigerant		1172.42	941.61	230.80	345.03	5.08	3.40	4.08	2.73					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 26^{ης} μέτρησης του 35^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 26^{ης} μέτρησης του 35^{ου} πειράματος.

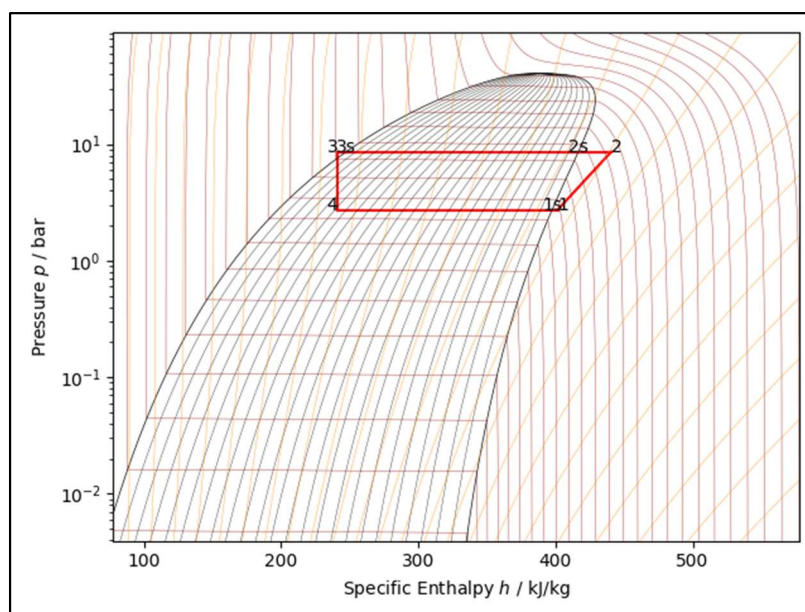
Πείραμα υπ' αριθμ.36

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			18.1	18	20.2	20.5	17.5	17.2	18.3	18.2	78	57.5
1	1	0.51	0.642	18.1	18.3	35.8	27	4.4	6.5	18.3	18.2	100	32
2	2	0.52	0.67	18.2	20	43.8	29.6	4	3.5	18.2	17	105	30
3	3	0.51	0.657	18.2	22.1	44.9	28.8	2	2.4	18.1	15.8	105	27
4	4	0.51	0.661	18.2	23.1	47.4	29.6	1.6	1.6	18	15.3	105	26
5	5	0.51	0.663	18.2	23.6	49.1	29.3	0.7	3.2	18	14.4	109	26
6	6	0.51	0.661	18.2	24.1	50.4	29.4	0.5	3.6	17.9	14.1	109	26
7	7	0.51	0.66	18.3	24.2	51.2	29.4	0.4	3.5	17.9	13.9	109	26
8	8	0.51	0.658	18.2	24.4	51.7	29.8	0.4	3.1	17.9	13.7	110	25
9	9	0.51	0.66	18.2	24.5	52.3	30	0.5	2	17.9	13.5	110	25
10	10	0.51	0.66	18.3	24.5	52.8	30	0.6	1.5	17.9	13.4	110	25
11	11	0.52	0.657	18.3	24.4	53.1	30	0.5	1.6	17.9	13.3	110	25
12	12	0.52	0.656	18.3	24.6	53.5	30.1	0.5	1.6	17.9	13.2	110	25
13	13	0.52	0.656	18.4	24.5	54	30	0.5	1.6	17.9	13.2	110	25
14	14	0.52	0.657	18.4	24.7	54.3	30.2	0.5	1.4	17.9	13.1	110	25
15	15	0.52	0.656	18.4	24.8	54.1	30.3	0.5	1.5	17.9	13.1	110	25
16	16	0.52	0.658	18.4	24.6	54.4	30.1	0.5	1.5	17.9	13.1	110	25
17	17	0.52	0.658	18.4	24.6	54.6	30.2	0.5	1.1	17.9	13	110	25
18	18	0.52	0.658	18.4	24.5	55	30.2	0.5	0.8	17.9	13	110	25
19	19	0.52	0.657	18.4	24.4	55.3	30.3	0.5	1.7	17.9	13	110	25
20	20	0.52	0.657	18.4	24.6	55.5	30.3	0.5	1.7	17.9	13	110	25
21	21	0.51	0.661	18.4	24.6	55.7	30.2	0.4	2.2	17.9	13	110	25
22	22	0.51	0.658	18.4	24.6	55.6	30	0.4	3	17.9	13	110	25
23	23	0.51	0.659	18.4	24.6	55.9	30.2	0.4	2.6	17.9	13	110	25
24	24	0.51	0.66	18.4	24.6	56.2	30.2	0.4	1.8	17.9	13	110	25
25	25	0.51	0.66	18.4	24.4	56.3	30.2	0.4	1.5	17.9	13	110	25
26	26	0.51	0.659	18.4	24.7	56.6	30.4	0.4	1.4	17.9	12.9	110	25
27	27	0.51	0.659	18.4	24.8	56.7	29.6	0.3	2.7	17.9	12.9	110	25
28	28	0.51	0.661	18.4	24.6	56.7	30.2	0.5	1.5	17.9	12.9	110	25
29	29	0.51	0.658	18.5	24.7	56.9	30.2	0.5	0.9	17.9	12.9	110	25
30	30	0.51	0.658	18.4	24.7	56.2	30.2	0.6	1.6	17.8	13	110	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 36^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 18.1		°C		mwater_hot = 140		(L/h)				mwater_cold = 140		(L/h)	
Πείραμα	36	Q hot	Q' cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	27	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1045.33	849.33	196.00	336.09	5.33	3.11	4.33	2.53	24.8	12.9	6.4	5.2	11.6	
Refrigerant		1184.16	952.38	231.77	336.09	5.11	3.52	4.11	2.83						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 27^{ης} μέτρησης του 36^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 27^{ης} μέτρησης του 36^{ου} πειράματος.

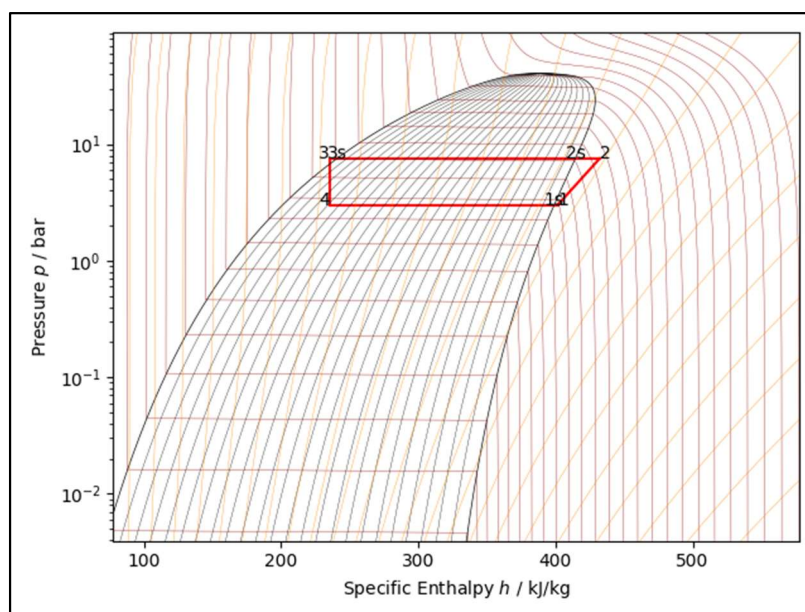
Πείραμα υπ' αριθμ.37

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			15	15.2	14.5	14.7	13.6	13.7	15	15.2	60	50
1	1	0.51	0.616	15	15.4	23.1	22.3	3.3	4.8	15	15	85	37.5
2	2	0.5	0.609	15	16.6	24.8	23.5	2.7	2.5	14.9	14	90	30
3	3	0.52	0.61	15	17.4	26.5	23.5	1.4	1.6	14.9	13.5	90	29
4	4	0.52	0.631	15.2	18.3	30.3	24.1	1	2	15	12.8	90	29
5	5	0.51	0.637	15.2	18.6	32.7	24	0.2	2.2	14.9	12.5	90	27
6	6	0.52	0.632	15.1	18.8	34.3	24.2	0.2	2.3	14.9	12.4	90	27
7	7	0.51	0.639	15.2	18.9	36.1	24.2	0.1	3.1	15	12.3	91	27
8	8	0.52	0.638	15.2	19	37.3	24.2	0.2	3.5	15	12.2	91	27
9	9	0.52	0.638	15.2	19.1	38.2	24.5	0.6	3.4	15.1	12.2	91	27
10	10	0.52	0.638	15.2	19.2	39.1	24.4	0.3	4	15.1	12.2	91	27
11	11	0.52	0.637	15.3	19.2	40.3	24.6	0.3	3.7	15.1	12.1	92	27
12	12	0.51	0.641	15.4	19.3	40.8	24.7	0.3	3.8	15.2	12.1	92	27
13	13	0.52	0.64	15.5	19.3	41.2	24.4	0.4	4	15.2	12.1	92	28
14	14	0.51	0.642	15.5	19.3	42.1	24.7	0.4	3.6	15.2	12.2	94	28
15	15	0.52	0.64	15.5	19.4	43	24.9	0.4	3.8	15.2	12.3	94	28
16	16	0.52	0.642	15.5	19.5	43.2	24.8	0.6	3.6	15.2	12.3	94	28
17	17	0.52	0.642	15.5	19.5	43.4	24.7	0.7	4.2	15.2	12.3	94	28
18	18	0.52	0.64	15.4	19.5	43.4	24.8	0.8	4.2	15.3	12.3	94	28
19	19	0.52	0.64	15.5	19.5	44.6	25.1	0.8	4.5	15.3	12.2	95	29
20	20	0.52	0.64	15.5	19.6	45.2	25.2	0.8	4.2	15.4	12.2	95	29
21	21	0.52	0.64	15.5	19.6	45.1	25.1	1	4.6	15.4	12.2	95	29
22	22	0.52	0.64	15.5	19.7	45.4	25.6	1	3.5	15.5	12.2	95	29
23	23	0.52	0.641	15.5	19.7	46	25.4	1	4.5	15.5	12.2	95	29
24	24	0.52	0.642	15.5	19.7	46.7	25.6	1	3.6	15.5	12.2	95	29
25	25	0.52	0.642	15.6	19.7	47.2	25.8	1	3.3	15.5	12.3	95	29
26	26	0.52	0.643	15.7	19.8	47.1	25.8	1.1	2.6	15.5	12.3	96	29
27	27	0.52	0.645	15.8	19.9	47.3	25.8	1.2	2.5	15.6	12.3	96	29
28	28	0.52	0.646	15.8	19.9	47.5	25.9	1.4	2.5	15.6	12.2	96	29
29	29	0.51	0.646	15.8	19.9	47.6	25.7	1.3	2.9	15.6	12.2	97	29
30	30	0.51	0.645	15.8	19.9	48.4	25.3	1.2	3.1	15.7	12.2	97	29

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 37^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 15.3		°C		m _{water_hot} = 260		(L/h)		m _{water_cold} = 260		(L/h)		
Πείραμα	37	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	24	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1274.00	940.33	333.67	333.84	3.82	3.82	2.82	2.82	19.9	12.1	4.2	3.1	7.3
Refrigerant		1293.46	1091.54	201.92	333.84	6.41	3.87	5.41	3.27					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 24^{ης} μέτρησης του 37^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 24^{ης} μέτρησης του 37^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.38

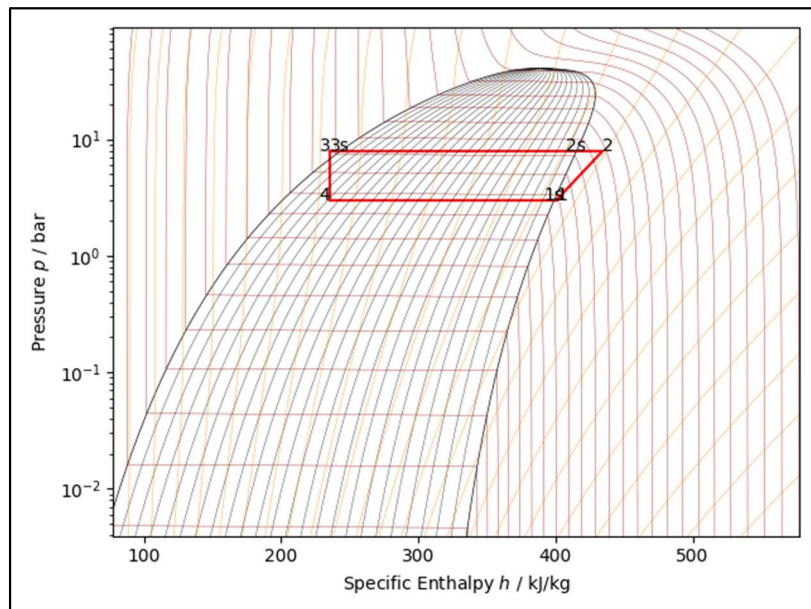
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			15.7	15.6	16.7	16.8	15.6	15.7	15.9	15.7	60	60
1	1	0.53	0.627	15.7	15.9	29.7	23.2	5.3	5.4	15.9	15.5	90	32
2	2	0.53	0.625	15.7	17.3	33.7	25.6	4.1	3.7	15.8	14.4	91	32
3	3	0.53	0.634	15.7	18.3	33.7	25.2	3.1	2.6	15.8	13.8	92	30
4	4	0.53	0.629	15.7	19.1	36.4	25.2	2.2	5.3	15.8	13.2	92	29
5	5	0.53	0.634	15.7	19.5	39.5	25.3	1.9	5.1	15.8	12.8	93	29
6	6	0.53	0.636	15.8	19.6	41.4	25.5	1.7	4.1	15.8	12.7	95	29
7	7	0.53	0.637	15.8	19.7	42.1	25.6	1.9	2.6	15.8	12.7	95	29
8	8	0.53	0.635	15.8	19.8	42.8	25.7	1.9	3.1	15.8	12.7	95	29
9	9	0.53	0.634	15.8	19.8	43.7	25.7	1.9	4.5	15.9	12.6	95	29
10	10	0.53	0.635	15.8	19.8	44.2	25.8	2	3.2	15.9	12.6	95	29
11	11	0.53	0.635	15.8	19.9	45.1	25.7	2	5.3	16	12.6	95	29
12	12	0.53	0.634	15.8	19.9	45.8	25.7	1.9	5.6	16	12.6	98	29
13	13	0.53	0.635	15.9	19.9	46	25.4	1.8	5.7	16	12.6	98	29
14	14	0.53	0.636	15.9	20	46.2	25.6	1.8	4.6	15.9	12.7	98	29
15	15	0.53	0.64	15.9	20.1	46.7	26.1	2.1	3.3	15.9	12.7	99	29
16	16	0.53	0.638	16	20.2	46.2	25.5	2.2	4.7	15.9	12.7	99	29
17	17	0.53	0.638	16	20.2	47.5	26	2.1	4.7	15.9	12.7	99	29
18	18	0.52	0.645	16.1	20.2	47.6	26.1	2.1	3.9	15.9	12.7	99	29
19	19	0.51	0.65	16	20.2	47.9	26.2	2.2	3.5	15.8	12.7	99	29
20	20	0.51	0.65	15.9	20.1	47.6	26.1	2.3	3	15.8	12.6	99	29
21	21	0.51	0.65	15.8	20	48.1	26.1	2.1	3.4	15.8	12.5	99	29
22	22	0.51	0.65	15.7	20	48.9	25.8	2.1	5.2	15.8	12.4	99	29
23	23	0.51	0.651	15.6	19.9	48	25.6	2.1	5.4	15.8	12.3	99	29
24	24	0.5	0.652	15.6	19.9	48.8	26	1.6	2.6	15.8	12.3	99	29
25	25	0.51	0.65	15.6	20	48.8	25.9	1.8	3.5	15.8	12.2	99	29
26	26	0.51	0.65	15.5	19.9	48.8	25.8	1.7	2.7	15.7	12.1	99	29
27	27	0.5	0.652	15.5	19.9	49.9	25.9	1.3	4	15.7	12.1	99	29
28	28	0.5	0.654	15.5	19.9	49.9	26.3	1.2	1.5	15.7	12.1	99	27
29	29	0.5	0.651	15.4	20.3	49.1	26.3	1.1	1	15.6	12	99	26
30	30	0.5	0.65	15.3	20.4	49.1	26.3	0.8	2.2	15.5	11.9	100	26

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 38^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Από την 28^η έως την 30^η μέτρηση υπήρξε μεταβολή της παροχής νερού στα δοχεία των εναλλακτών, επομένως οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψιν.

		Twater_in = 15.8		°C		mwater_hot = 260		(L/h)		mwater_cold = 260		(L/h)		
Πείραμα	38	Q hot	Q cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	26	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1334.67	1122.33	212.33	331.50	6.29	4.03	5.29	3.39					
Refrigerant		1308.07	1089.36	218.70	331.50	5.98	3.95	4.98	3.29	20.4	11.9	4.4	3.7	8.1

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 26^{ης} μέτρησης του 38^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 26^{ης} μέτρησης του 38^{ου} πειράματος.

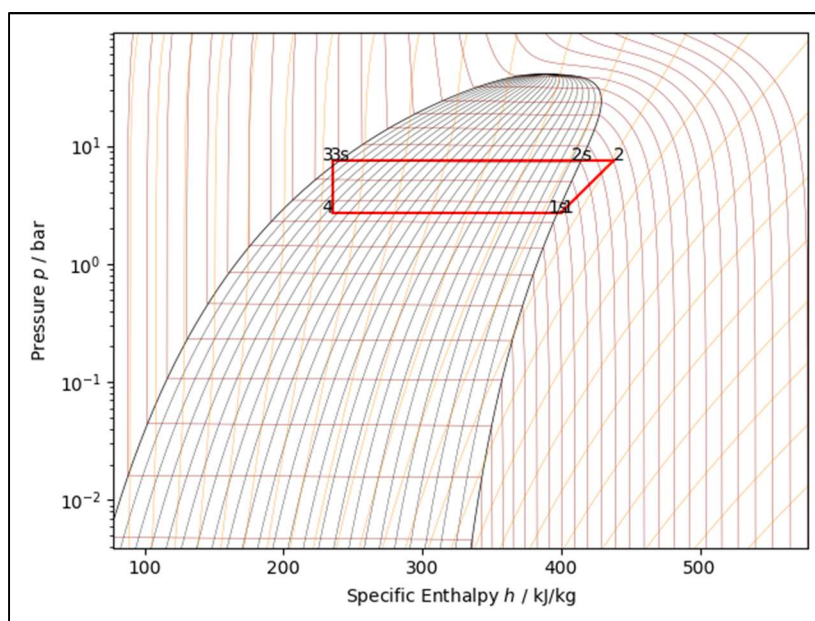
Πείραμα υπ' αριθμ.39

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			15.7	15.4	17.1	17.1	15.2	15.9	15.7	15.4	60	60
1	1	0.52	0.625	15.7	15.6	29.1	22	3.4	4.3	15.7	15.3	90	30
2	2	0.52	0.624	15.8	17.1	34.9	25.4	2.5	2.7	15.6	14.3	91	30
3	3	0.52	0.628	15.8	18.2	35.9	24.6	0.7	1	15.5	13.6	91	26
4	4	0.52	0.625	15.9	18.7	39.3	24.9	0.3	1.3	15.5	12.7	91	26
5	5	0.52	0.627	15.9	19	41.8	25.1	0.1	1	15.5	12.5	92	26
6	6	0.52	0.629	16	19.3	43.3	25.1	-0.3	1.2	15.6	12.3	92	26
7	7	0.52	0.63	16	19.4	44.5	25.2	-0.5	1	15.6	12.1	92	26
8	8	0.52	0.629	16	19.4	45.4	25.2	-0.5	0.3	15.6	12	92	25
9	9	0.52	0.629	16	19.6	46.1	25.2	-0.6	1	15.6	11.9	92	25
10	10	0.52	0.629	16	19.6	46.7	25.3	-0.5	1.5	15.6	11.9	92	25
11	11	0.52	0.628	16	19.7	47.5	25.3	-0.4	1.5	15.6	11.9	92	25
12	12	0.52	0.631	16	19.7	47.6	25.3	-0.3	1.7	15.6	11.8	92	25
13	13	0.53	0.628	16	19.7	48.1	25.4	-0.3	1.8	15.6	11.8	92	25
14	14	0.53	0.63	16	19.7	48.9	25.3	-0.4	2.2	15.7	11.8	92	25
15	15	0.53	0.628	16.1	19.7	49.1	25.3	-0.3	2.2	15.7	11.8	92	25
16	16	0.53	0.624	16.1	19.7	49.4	25.3	-0.4	3.3	15.8	11.9	92	25
17	17	0.53	0.624	16.2	19.8	49.7	25.5	-0.2	2.1	15.9	11.9	92	25
18	18	0.52	0.638	16.2	19.8	50.1	25.6	-0.1	2.1	15.9	12	92	25
19	19	0.52	0.633	16.1	19.8	50.5	25.6	0	2.1	15.9	12	95	25
20	20	0.51	0.63	16	19.8	50.7	25.7	0	2.2	15.9	12	95	25
21	21	0.52	0.63	16	19.9	50.8	25.5	0	2.4	15.9	12	95	25
22	22	0.51	0.633	16.1	19.8	51	25.5	0.1	2.9	15.9	12	95	25
23	23	0.51	0.642	16	19.8	51.1	25.3	0	2.9	15.8	12.1	95	25
24	24	0.5	0.643	15.8	19.8	51.4	25.5	0	2.5	15.7	12.1	95	25
25	25	0.5	0.643	15.7	19.7	51.6	25.5	0	2.5	15.5	12.1	95	25
26	26	0.5	0.645	15.7	19.6	51.8	25.7	0.1	2.5	15.5	12	95	25
27	27	0.5	0.646	15.6	19.6	52.1	25.8	0.1	1.6	15.4	12	95	25
28	28	0.5	0.646	15.6	19.6	52.2	25.8	0.1	1	15.4	12	95	25
29	29	0.51	0.641	15.6	19.6	52.4	25.8	0.1	1.1	15.4	12	95	25
30	30	0.5	0.644	15.6	19.6	52.5	25.8	0.2	1.1	15.4	12	95	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 39^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 15.8		°C		mwater_hot = 260		(L/h)				mwater_cold = 200		(L/h)	
Πείραμα	39	Q hot	Q' cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	29	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)				
Water		1213.33	886.67	326.67	326.91	3.71	3.71	2.71	2.71	19.9	11.8	4	3.8	7.8	
Refrigerant		1211.14	984.17	226.97	326.91	5.34	3.70	4.34	3.01						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 39^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 39^{ου} πειράματος.

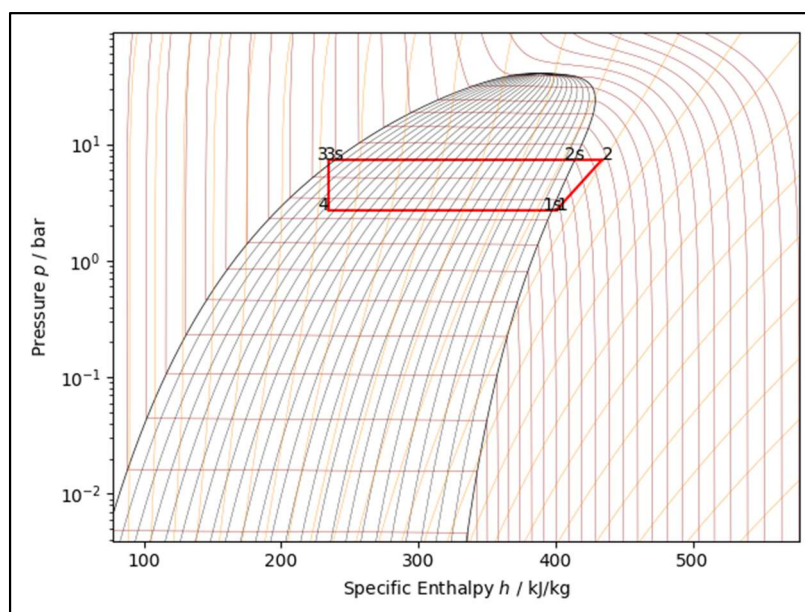
Πείραμα υπ' αριθμ.40

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			15.1	15.1	16.8	16.7	14.8	14.6	15.4	15.3	60	60
1	1	0.49	0.663	15.2	15.5	31.1	23.6	4.4	4.4	15.3	15.1	90	32.5
2	2	0.49	0.642	15.2	17	32.2	24.9	2.7	2.6	15.2	14	90	30
3	3	0.49	0.648	15.2	18	34.1	23.9	0.5	1.9	15.2	13.3	90	26
4	4	0.49	0.648	15.3	18.6	37.6	24.4	0.3	2.7	15.2	12.6	90	26
5	5	0.49	0.653	15.3	18.8	40.5	24.8	0.2	1.5	15.3	12.3	91	26
6	6	0.49	0.656	15.4	18.9	42.1	24.9	-0.2	0.1	15.3	12.1	91	26
7	7	0.5	0.649	15.4	19	43.4	24.5	-0.9	1.5	15.2	11.8	91	25
8	8	0.5	0.643	15.5	19	44.3	24.5	-0.8	1.8	15.2	11.7	91	25
9	9	0.5	0.643	15.5	19.2	44.9	24.7	-0.6	2.4	15.2	11.7	91	25
10	10	0.5	0.649	15.5	19.2	45.8	24.9	-0.3	1.8	15.3	11.7	91	25
11	11	0.5	0.651	15.5	19.3	46.3	25.3	0	0.4	15.2	11.6	91	25
12	12	0.5	0.652	15.5	19.3	46.7	25.1	-0.3	1.2	15.2	11.6	91	25
13	13	0.5	0.65	15.5	19.3	47.3	25	-0.2	1.4	15.2	11.6	91	25
14	14	0.5	0.653	15.5	19.4	47.6	25	-0.8	1.3	15.2	11.5	92	25
15	15	0.49	0.653	15.5	19.4	47.9	24.9	-0.4	1.9	15.2	11.5	92	25
16	16	0.49	0.651	15.5	19.3	48.2	25	-0.4	1.6	15.3	11.5	92	25
17	17	0.49	0.65	15.5	19.3	48.5	24.9	-0.2	2.7	15.3	11.4	92	25
18	18	0.5	0.651	15.5	19.3	48.8	25	0	1.6	15.3	11.5	92	25
19	19	0.5	0.651	15.5	19.4	48.9	25.2	0	0.1	15.3	11.5	92	25
20	20	0.5	0.65	15.5	19.3	49	25.2	-0.1	0.1	15.3	11.5	92	25
21	21	0.5	0.649	15.5	19.5	49.2	25.3	-0.3	0.3	15.2	11.4	92	25
22	22	0.51	0.631	15.5	19.4	49.6	24.9	-0.6	2.3	15.3	11.4	92	25
23	23	0.52	0.632	15.6	19.4	49.8	24.9	-0.3	2.3	15.4	11.4	92	25
24	24	0.51	0.635	15.8	19.5	50.2	25.1	-0.1	2.1	15.5	11.5	92	25
25	25	0.5	0.645	15.8	19.6	50.3	25.3	0.2	0.3	15.5	11.6	92	25
26	26	0.5	0.648	15.8	19.7	50.2	25.6	-0.3	0.5	15.3	11.6	95	25
27	27	0.5	0.647	15.7	19.7	50.4	25.1	-0.4	1.8	15.4	11.6	95	25
28	28	0.5	0.643	15.8	19.7	50.7	25.1	-0.4	1.8	15.4	11.6	92	25
29	29	0.5	0.646	15.7	19.7	50.4	24.9	-0.4	1.9	15.5	11.6	92	25
30	30	0.51	0.642	15.8	19.6	50.8	25.2	-0.4	1.9	15.6	11.6	95	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 40^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 15.4		°C		mwater_hot = 260		(L/h)				mwater_cold = 200		(L/h)	
Πείραμα	40	Q hot	Q' cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	15	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1183.00	910.00	273.00	319.97	4.33	3.70	3.33	2.84						
Refrigerant		1189.33	992.11	197.22	319.97	6.03	3.72	5.03	3.10	19.7	11.4	3.9	3.9	7.8	

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 15^{ης} μέτρησης του 40^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 15^{ης} μέτρησης του 40^{ου} πειράματος.

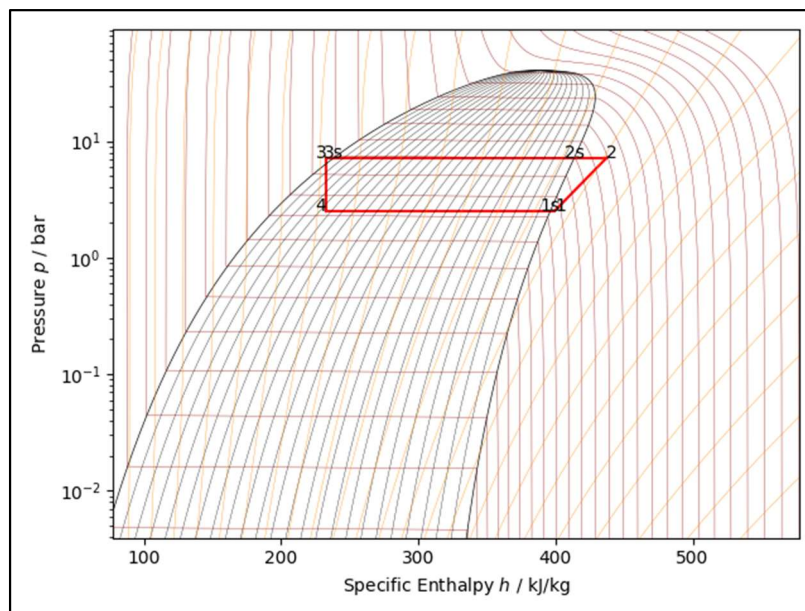
Πείραμα υπ' αριθμ.41

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			15	15.1	15.9	16.4	15.1	14.3	15.3	15.4	60	60
1	1	0.49	0.64	15	15.4	30.9	21.9	2.6	3	15.3	15.3	90	30
2	2	0.49	0.638	15	16.7	36.1	25.1	1.8	1.4	15.2	14.2	90	29
3	3	0.49	0.649	15	17.8	35.6	24.2	0.1	-0.2	15.2	13.3	90	26
4	4	0.49	0.644	15.1	18.5	37.7	23.6	-1.3	-1.2	15.2	12.6	90	25
5	5	0.49	0.641	15.1	18.7	40.7	23.8	-2.1	-0.3	15.2	11.9	90	24
6	6	0.49	0.641	15.1	18.8	42.7	23.7	-2.4	-0.9	15.1	11.4	90	23
7	7	0.48	0.64	15.1	18.9	44	23.7	-2.5	-1.2	15.1	11.2	90	22
8	8	0.48	0.642	15.1	19	45.1	23.8	-2.5	-2.7	15.1	11	90	22
9	9	0.48	0.639	15.1	18.9	46	23.8	-2.8	-1.6	15.1	10.8	90	22
10	10	0.48	0.64	15.1	18.9	46.5	23.9	-2.6	-1.5	15.1	10.7	90	22
11	11	0.48	0.642	15.2	18.9	47	23.6	-2.6	-0.3	15.1	10.6	90	22
12	12	0.48	0.643	15.2	18.8	47.5	23.8	-2.6	-0.9	15	10.6	90	22
13	13	0.48	0.642	15.2	18.9	47.8	23.9	-2.5	-2.4	15.1	10.5	90	22
14	14	0.48	0.643	15.2	18.9	47.9	23.9	-2.4	-2.4	15.1	10.5	90	22
15	15	0.48	0.641	15.2	18.9	48.5	23.9	-2.2	-2.2	15.1	10.4	90	22
16	16	0.48	0.642	15.2	18.8	48.7	24	-2.2	-2.4	15.1	10.4	90	22
17	17	0.48	0.642	15.2	18.8	49	24	-2.4	-1.6	15.1	10.4	90	22
18	18	0.48	0.638	15.2	18.9	49.1	23.6	-2.6	-0.7	15.1	10.3	90	22
19	19	0.48	0.638	15.2	18.8	49.2	23.8	-2.3	0	15.1	10.3	90	22
20	20	0.48	0.638	15.2	18.8	49.4	23.9	-2.2	-1.1	15.1	10.3	90	22
21	21	0.48	0.64	15.2	18.9	49.8	24	-2.1	-2.2	15.1	10.3	90	22
22	22	0.49	0.638	15.3	18.9	50.1	24	-2	-2.2	15.2	10.3	90	22
23	23	0.49	0.638	15.3	18.8	50	24	-2.2	-2.2	15.2	10.3	90	22
24	24	0.49	0.637	15.2	18.8	50.4	23.9	-2.3	-1.3	15.2	10.4	90	22
25	25	0.48	0.638	15.2	18.8	50.6	23.8	-2.4	-0.6	15.2	10.3	90	22
26	26	0.48	0.635	15.3	18.8	50.5	23.8	-2.3	-0.6	15.2	10.4	90	22
27	27	0.48	0.638	15.3	18.9	50.7	24.1	-2	-1.9	15.3	10.4	90	22
28	28	0.48	0.638	15.3	18.9	50.7	23.9	-2.4	-0.5	15.3	10.4	90	22
29	29	0.48	0.638	15.2	18.9	50.8	23.8	-2.5	-0.5	15.2	10.4	90	22
30	30	0.48	0.638	15.3	18.9	51.1	23.9	-2.4	-0.3	15.2	10.3	90	22

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 41^{ου} πειράματος.

Πείραμα	41	Twater_in = 15.2		°C	Wtheoretical	Wreal	mwater_hot = 260		(L/h)	mwater_cold = 140		(L/h)	ΣΔΤ
		Q hot (W)	Q cold (W)				COPtheoretical	COPreal		EERtheoretical	EERreal		
Μέτρηση	30	1092.00	800.33	291.67	306.24		3.74	3.57	2.74	2.61			
Water		1092.00	800.33	291.67	306.24		3.74	3.57	2.74	2.61			
Refrigerant		1130.40	920.87	209.54	306.24		5.39	3.69	4.39	3.01			8.5

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 30^{ης} μέτρησης του 41^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 30^{ης} μέτρησης του 41^{ου} πειράματος.

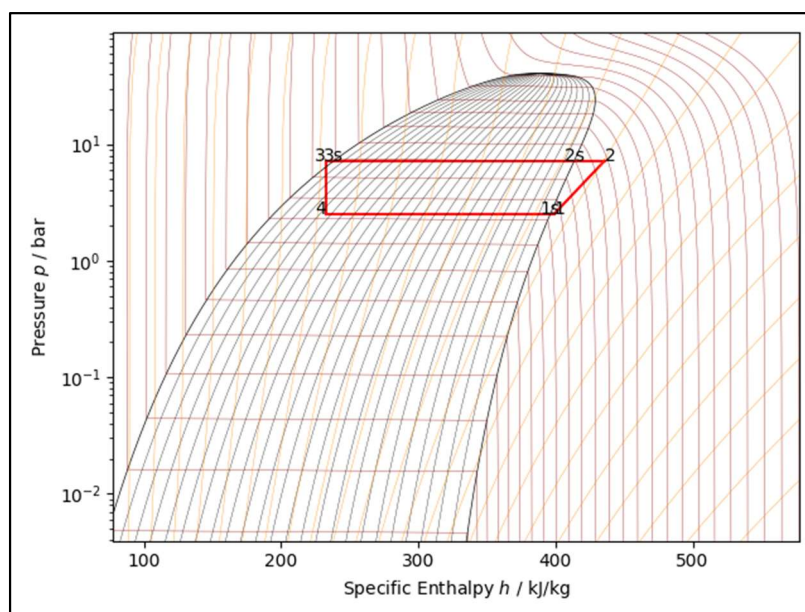
Πείραμα υπ' αριθμ.42

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			15.3	15.3	16.2	16.4	14.8	14	15.4	15.3	60	60
1	1	0.48	0.666	15.3	15.6	31.3	23.4	3.3	3.9	15.4	15.2	90	32
2	2	0.47	0.647	15.3	16.9	32.4	24.7	2.6	2.5	15.3	14.2	90	30
3	3	0.48	0.651	15.3	17.9	32.2	24.1	0.7	0.7	15.3	13.5	90	26
4	4	0.48	0.657	15.4	18.5	34.3	23.5	-0.9	-1	15.2	12.5	90	25
5	5	0.48	0.655	15.4	18.7	37.8	23.9	-1.4	-1.5	15.2	12	90	24
6	6	0.48	0.652	15.4	18.7	40.1	23.5	-1.9	-0.4	15.2	11.5	90	24
7	7	0.48	0.654	15.4	18.8	41.9	23.7	-2.1	-1.7	15.2	11.1	90	23
8	8	0.47	0.652	15.4	18.8	43.2	23.5	-2.5	-1	15.1	10.9	90	23
9	9	0.48	0.653	15.4	18.8	44.1	23.7	-2.5	-1.8	15.1	10.9	90	22
10	10	0.47	0.651	15.4	18.9	44.7	23.6	-2.4	-1.9	15	10.8	90	22
11	11	0.47	0.65	15.4	18.8	45.2	23.5	-2.4	-0.9	15.1	10.7	90	22
12	12	0.48	0.652	15.4	18.8	45.8	23.9	-2.3	-2.3	15.1	10.7	90	22
13	13	0.48	0.65	15.4	18.9	46.1	23.5	-2.4	-1.1	15.1	10.6	90	22
14	14	0.48	0.653	15.4	18.9	46.5	23.9	-2.2	-2.3	15.1	10.5	90	22
15	15	0.47	0.648	15.4	18.9	46.9	23.6	-2.3	-1	15	10.5	90	22
16	16	0.47	0.652	15.4	19	47.1	23.7	-2.2	-2.4	15	10.5	90	22
17	17	0.47	0.65	15.4	18.9	47.5	23.6	-2.2	-0.8	15	10.4	90	22
18	18	0.47	0.654	15.4	18.9	47.6	24.1	-2.2	-2.2	15	10.4	90	22
19	19	0.47	0.651	15.4	18.9	47.8	23.6	-2.3	-0.7	15	10.4	90	22
20	20	0.47	0.653	15.4	18.9	47.9	24	-2.1	-2.1	15	10.4	90	22
21	21	0.47	0.651	15.4	19	48.3	23.6	-2.3	-1	15	10.4	90	22
22	22	0.47	0.653	15.4	18.9	48.4	24	-2.1	-2.2	14.9	10.5	90	22
23	23	0.47	0.652	15.4	18.9	48.8	23.6	-2.3	-1	15	10.4	90	22
24	24	0.47	0.653	15.3	18.9	48.7	24.2	-2	-1.9	15	10.4	90	22
25	25	0.47	0.652	15.3	18.9	48.9	23.8	-2.1	-0.7	15	10.4	90	22
26	26	0.47	0.654	15.4	18.9	49.1	24	-2	-2	15	10.4	90	22
27	27	0.47	0.653	15.4	18.9	49.4	23.7	-2.2	-1	15	10.4	90	22
28	28	0.47	0.653	15.4	18.9	49.6	23.9	-2	-0.8	15.1	10.4	90	22
29	29	0.47	0.656	15.4	19	49.6	23.6	-2.1	-0.7	15	10.4	90	22
30	30	0.47	0.654	15.4	19	49.9	23.9	-1.9	-1.7	15	10.4	90	22

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 42^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} =	15.2	°C		m _{water_hot} =	260	(L/h)		m _{water_cold} =	140	(L/h)		
Πείραμα	42	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	29	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1092.00	784.00	308.00	308.32	3.55	3.54	2.55	2.54	19	10.4	3.6	4.8	8.4
Refrigerant		1126.72	923.11	203.61	308.32	5.53	3.65	4.53	2.99					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 29^{ης} μέτρησης του 42^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 29^{ης} μέτρησης του 42^{ου} πειράματος.

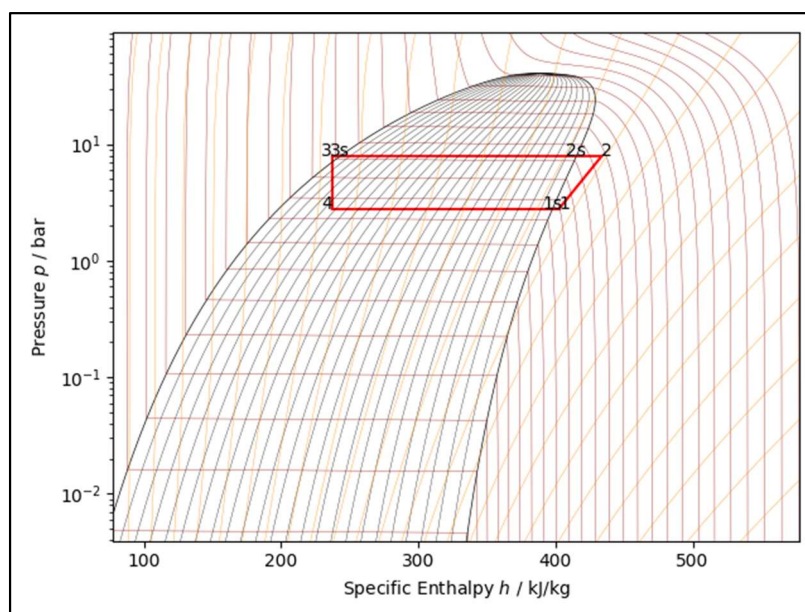
Πείραμα υπ' αριθμ.43

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			15.6	15.6	18	17	15.3	16.1	15.7	15.6	60	60
1	1	0.51	0.657	15.4	15.8	31	23.8	5.1	5.5	15.5	15.5	91	33
2	2	0.5	0.643	15.4	17.3	34	25.9	3.6	2.9	15.4	14.4	95	30
3	3	0.5	0.648	15.4	18.6	36.4	25.2	1.5	3.4	15.2	13.7	98	29
4	4	0.51	0.656	15.3	19.6	40	26	1.2	4.5	15.1	13	99	29
5	5	0.51	0.659	15.4	19.9	42.2	26	1	4.3	15	12.8	100	28
6	6	0.5	0.658	15.3	20.1	44	26	0.8	4.1	15	12.7	100	27
7	7	0.51	0.658	15.3	20.3	45	26.5	0.6	3.6	14.9	12.5	100	26
8	8	0.51	0.663	15.3	20.8	46.1	27.4	0.8	2.9	14.9	12.4	100	26
9	9	0.5	0.663	15.4	20.8	47	27.3	0.9	1.6	15	12.3	100	26
10	10	0.5	0.662	15.3	21	47.4	26.7	0.8	4.6	15	12.3	100	26
11	11	0.5	0.663	15.3	20.8	47.8	26.7	0.8	4.7	15	12.3	100	26
12	12	0.5	0.663	15.3	20.9	48.3	26.6	0.8	4.6	15	12.3	100	26
13	13	0.5	0.662	15.2	21	48.7	26.7	0.8	4.2	15	12.3	100	26
14	14	0.5	0.665	15.3	21.1	49.1	27.1	0.9	4	15	12.3	100	26
15	15	0.5	0.666	15.3	21	49.6	27.4	1	2.8	15.1	12.3	100	26
16	16	0.5	0.662	15.3	21	49.9	27.3	0.9	2.9	15.1	12.3	100	26
17	17	0.5	0.66	15.4	21	50.1	27.3	0.8	5.2	15.1	12.3	100	26
18	18	0.5	0.662	15.4	21.1	50.3	27.2	0.8	5	15.1	12.3	100	26
19	19	0.5	0.659	15.5	21	50.7	26.9	0.7	4.4	15.2	12.3	100	26
20	20	0.51	0.659	15.5	20.9	51	27.2	0.7	4.1	15.2	12.3	100	26
21	21	0.51	0.661	15.5	20.9	51.3	27.6	0.9	2.3	15.2	12.4	100	26
22	22	0.51	0.662	15.5	21	51.4	27.4	0.9	5.1	15.2	12.4	101	26
23	23	0.51	0.661	15.5	21	51.5	27.3	0.7	4.9	15.2	12.4	101	26
24	24	0.51	0.66	15.5	21	51.8	27.2	0.7	4.9	15.2	12.4	101	26
25	25	0.51	0.66	15.5	21	52	27.2	0.7	4.6	15.2	12.4	101	26
26	26	0.51	0.662	15.5	21	52.4	27.3	0.9	4.1	15.2	12.4	101	26
27	27	0.5	0.665	15.5	20.9	52.5	27.7	1.2	2.8	15.7	12.4	101	26
28	28	0.5	0.665	15.5	21.1	52.6	27.8	1.2	2.7	15.2	12.4	101	26
29	29	0.5	0.664	15.5	21	52.6	27.4	1	5.3	15.2	12.4	101	26
30	30	0.5	0.665	15.5	21	52.7	27.3	0.8	5.1	15.2	12.3	101	26

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 43^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} =	15.3	°C		m _{water_hot} =	200	(L/h)		m _{water_cold} =	260	(L/h)		
Πείραμα	43	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	13	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1353.33	910.00	443.33	331.00	3.05	4.09	2.05	2.75	21.1	12.3	5.8	3	8.8
Refrigerant		1191.35	1003.58	187.77	331.00	6.34	3.60	5.34	3.03					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 13^{ης} μέτρησης του 43^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 13^{ης} μέτρησης του 43^{ου} πειράματος.

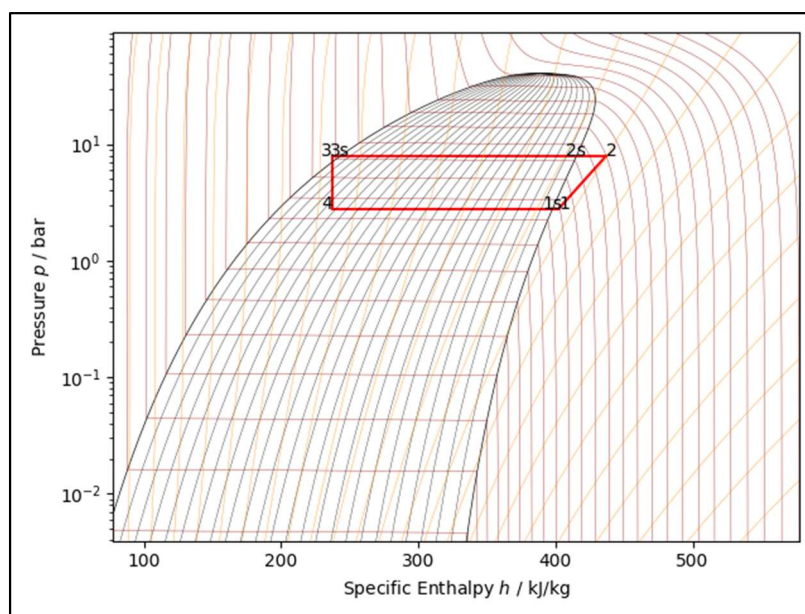
Πείραμα υπ' αριθμ.44

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			15.1	15.3	19.2	17	15.1	14.6	15.4	15.4	65	65
1	1	0.51	0.651	15.1	15.5	31.4	25	5	4.4	15.3	15.2	92	32
2	2	0.51	0.643	15.1	17.1	35.5	25.1	2	2.8	15.3	14.1	92	30
3	3	0.51	0.64	15.2	18.5	40.5	26.2	1.3	2.5	15.2	13.3	95	29
4	4	0.51	0.648	15.3	19.4	43.5	26.2	0.6	3	15.2	12.7	99	27
5	5	0.51	0.653	15.4	19.8	45.1	26.4	0.4	3	15.2	12.5	100	26
6	6	0.51	0.653	15.3	20	46.3	26.2	0.1	3	15.2	12.4	100	26
7	7	0.51	0.653	15.3	20.1	47.5	26.3	0.2	3.5	15.2	12.4	100	26
8	8	0.51	0.657	15.3	20.5	48	26.6	0.4	4.1	15.1	12.4	100	26
9	9	0.5	0.658	15.3	20.7	48.3	27	0.3	3.6	15.1	12.3	100	26
10	10	0.51	0.659	15.3	21	49	27.2	0.4	4	15.1	12.3	100	26
11	11	0.51	0.658	15.3	20.7	49.7	27.6	0.7	2.2	15.1	12.3	100	26
12	12	0.51	0.659	15.3	20.8	49.8	24.5	0.6	4.3	15.1	12.3	100	26
13	13	0.51	0.659	15.2	20.9	49.8	27.4	0.7	2.4	15.1	12.3	100	26
14	14	0.51	0.661	15.1	20.8	50.3	27.6	0.8	2	15.1	12.3	100	26
15	15	0.51	0.661	15.2	20.9	50.5	27.6	0.9	2.2	15.1	12.3	100	26
16	16	0.51	0.662	15.2	21	50.6	27.5	0.6	2.8	15.1	12.3	100	26
17	17	0.51	0.661	15.2	21	51.1	27.3	0.5	2.8	15	12.3	100	26
18	18	0.51	0.661	15.2	20.8	51.4	27.3	0.6	2.8	15	12.3	100	26
19	19	0.51	0.66	15.2	21	51.5	27.3	0.5	2.9	15	12.3	100	26
20	20	0.51	0.659	15.2	21.1	51.6	26.9	0.4	3.8	15	12.3	100	26
21	21	0.51	0.658	15.3	20.8	51.8	26.9	0.5	4	15	12.3	100	26
22	22	0.5	0.659	15.3	21.1	51.8	26.8	0.5	3.9	15	12.3	100	26
23	23	0.5	0.66	15.3	21	51.8	27.1	0.5	3.9	15	12.3	100	26
24	24	0.5	0.657	15.3	20.9	52.3	26.9	0.5	4.2	15	12.3	100	26
25	25	0.5	0.66	15.3	20.8	52.5	27.3	0.5	4.2	14.9	12.3	100	27
26	26	0.5	0.661	15.4	21	52.5	27.4	0.6	4.1	14.9	12.3	100	27
27	27	0.5	0.662	15.4	21	52.6	27.4	0.8	4.3	14.9	12.2	100	27
28	28	0.5	0.661	15.4	21	52.7	27.5	0.9	4.2	14.9	12.2	100	27
29	29	0.5	0.662	15.4	21.1	52.8	27.5	0.9	3.5	14.9	12.2	100	27
30	30	0.5	0.662	15.4	21	52.8	27.4	1	3.1	14.8	12.2	100	27

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 44^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 15.2		°C		m _{water_hot} = 200		(L/h)		m _{water_cold} = 260		(L/h)		
Πείραμα	44	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	22	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1353.33	879.67	473.67	329.50	2.86	4.11	1.86	2.67	21.1	12.2	5.8	2.9	8.7
Refrigerant		1211.30	1002.59	208.71	329.50	5.80	3.68	4.80	3.04					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 22^{ης} μέτρησης του 44^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 22^{ης} μέτρησης του 44^{ου} πειράματος.

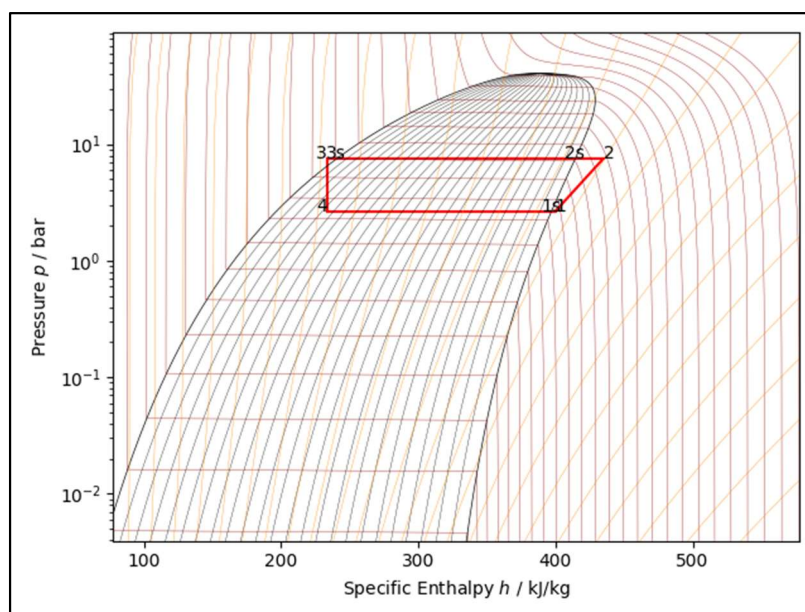
Πείραμα υπ' αριθμ.45

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.3	14.4	17	15.4	14.2	14.1	14.4	14.3	60	57.5
1	1	0.48	0.652	14.4	14.7	28.9	23.3	3.2	3.4	14.5	14.2	90	32
2	2	0.48	0.649	14.4	16.3	32.1	23.9	0.6	0.6	14.5	13.3	90	26
3	3	0.48	0.646	14.3	17.4	36	23.9	-0.8	1	14.4	12.5	90	25
4	4	0.48	0.657	14.4	18.1	39.4	24.3	-1.2	0.9	14.4	11.8	90	25
5	5	0.48	0.654	14.5	18.6	41.5	24.7	-1.2	-0.5	14.2	11.5	90	25
6	6	0.48	0.653	14.5	18.8	43.1	24.4	-1.5	0.1	14.4	11.1	92	24
7	7	0.48	0.655	14.4	19.2	44.1	24.5	-1.9	1	14.3	10.8	92	25
8	8	0.48	0.655	14.3	19.1	45.1	24.7	-1.6	1.5	14.2	10.8	92	25
9	9	0.48	0.657	14.3	19.3	45.6	25	-1.4	0	14.2	10.8	92	25
10	10	0.49	0.653	14.4	19.3	46.4	24.8	-1.6	0.8	14.3	10.9	92	25
11	11	0.48	0.652	14.4	19.3	46.8	25.1	-1.4	0.5	14.3	10.9	94	24
12	12	0.49	0.653	14.4	19.3	47.1	25	-1.3	1.1	14.3	10.9	94	25
13	13	0.49	0.65	14.4	19.3	47.8	25.2	-1.1	0.2	14.2	10.8	94	24
14	14	0.49	0.652	14.3	19.5	48.1	25.1	-1.1	0.5	14.1	10.8	94	24
15	15	0.49	0.648	14.3	19.2	48.4	24.7	-1.5	1.4	14.1	10.7	94	25
16	16	0.49	0.652	14.4	19.2	48.7	25.3	-0.9	0.5	14.1	10.7	94	24
17	17	0.49	0.65	14.4	19.2	48.9	25.5	-1.5	-1.1	14.1	10.6	94	24
18	18	0.48	0.645	14.4	19.6	49	25.1	-2	0.4	14	10.4	94	24
19	19	0.49	0.645	14.4	19.9	49.2	25.2	-2.4	-0.4	13.9	10.2	94	24
20	20	0.48	0.648	14.4	19.9	49	24.3	-2	0.7	13.8	10.1	94	24
21	21	0.48	0.651	14.4	19.5	49.2	25.4	-1.8	-0.9	13.9	10.1	94	24
22	22	0.48	0.645	14.5	19.4	49.9	24.8	-1.9	0.7	14	10.2	94	24
23	23	0.48	0.65	14.5	19.4	50.2	25.4	-1.6	-0.9	13.9	10.2	94	24
24	24	0.48	0.653	14.4	19.4	50.4	25.4	-1.5	0.3	14	10.3	94	24
25	25	0.48	0.651	14.4	19.3	50.4	24.9	-1.5	1.2	14.1	10.3	94	24
26	26	0.48	0.654	14.4	19.5	50.7	25.5	-1.3	-0.2	14.1	10.4	94	24
27	27	0.48	0.654	14.5	19.5	50.8	25.3	-1.5	0.3	14.1	10.5	94	24
28	28	0.48	0.652	14.5	19.5	50.9	25.2	-1.3	1.4	14.2	10.6	94	24
29	29	0.48	0.655	14.5	19.5	51	25.6	-1.2	-0.3	14.2	10.6	94	24
30	30	0.48	0.651	14.5	19.4	51.1	25.3	-1.2	1.7	14.3	10.6	94	24

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 45^{ου} πειράματος.

Πείραμα	45	Twater_in = 14.3		°C	W	mwater_hot = 200		(L/h)	Twater_out max(°C)	mwater_cold = 200		(L/h)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)		W _{theoretical} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}			EER _{theoretical}	EER _{real}					
Μέτρηση	20	1283.33	980.00	303.33	311.04	4.23	4.13	3.23	3.15	19.9	10.1	5.5	4.2	9.7		
Water																
Refrigerant		1173.42	970.50	202.92	311.04	5.78	3.77	4.78	3.12							

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 20^{ης} μέτρησης του 45^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 20^{ης} μέτρησης του 45^{ου} πειράματος.

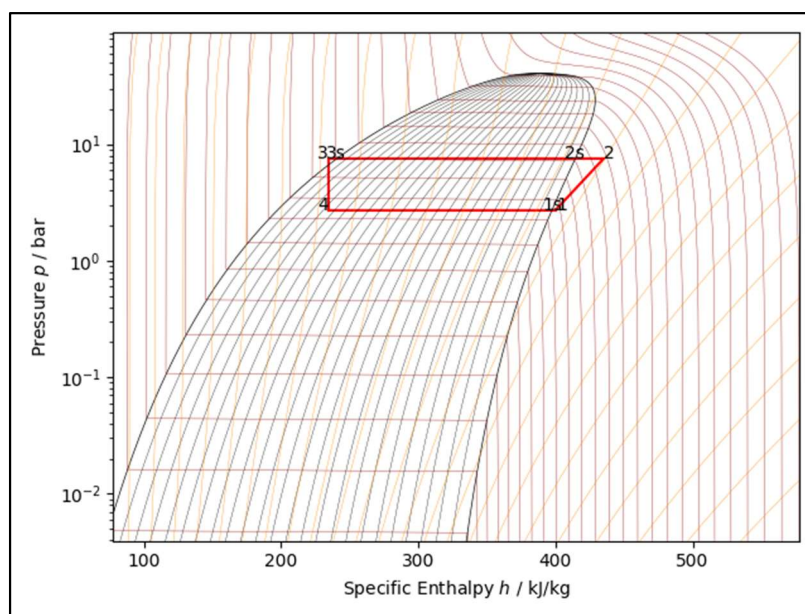
Πείραμα υπ' αριθμ.46

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			14.5	14.4	15.2	16	14.3	13.4	14.5	14.7	60	55
1	1	0.48	0.637	14.4	14.7	30.5	22	2	3.8	14.5	14.6	90	30
2	2	0.49	0.651	14.4	15.9	36.4	25.2	1.5	1.2	14.4	13.4	90	28
3	3	0.48	0.651	14.4	17.3	37.3	23.69	-0.5	0.6	14.4	12.4	90	25
4	4	0.48	0.651	14.4	18.1	40.2	24.9	-0.5	-0.2	14.4	12	92	25
5	5	0.48	0.653	14.4	18.6	42.7	24.5	-1.3	1	14.4	11.5	94	25
6	6	0.49	0.654	14.4	19.1	44.2	25	-1.5	-1.3	14.3	11	94	25
7	7	0.49	0.649	14.3	19.5	45.3	24.6	-1.8	0.1	14.3	10.8	94	24
8	8	0.49	0.654	14.3	19.4	46	25.3	-1.5	-1	14.3	10.7	94	24
9	9	0.49	0.651	14.4	19.4	46.7	24.8	-1.6	1	14.3	10.7	94	24
10	10	0.49	0.652	14.4	19.6	47.1	25.6	-1.5	-0.5	14.4	10.7	94	24
11	11	0.48	0.653	14.4	19.6	47.7	25.5	-1.5	0	14.4	10.7	94	24
12	12	0.48	0.654	14.4	19.5	48.3	25.3	-1.7	0	14.4	10.7	94	24
13	13	0.48	0.651	14.4	19.6	48.4	24.8	-1.6	0.7	14.4	10.7	94	24
14	14	0.49	0.653	14.4	19.6	48.6	25.5	-1.3	-0.3	14.4	10.6	94	25
15	15	0.49	0.648	14.4	19.4	49.2	25	-1.3	1.2	14.4	10.7	94	25
16	16	0.49	0.652	14.4	19.6	49.3	25.5	-1.2	-1	14.5	10.7	94	25
17	17	0.49	0.649	14.4	19.6	49.6	24.8	-1.3	1.1	14.5	10.7	94	25
18	18	0.49	0.654	14.4	19.7	49.8	25.8	-1.1	-0.9	14.5	10.7	94	25
19	19	0.49	0.649	14.4	19.7	49.9	25.1	-1.3	1.3	14.5	10.7	94	25
20	20	0.49	0.65	14.5	19.7	50	25.1	-1.1	1.3	14.5	10.8	94	25
21	21	0.49	0.649	14.4	19.7	50.3	25.3	-1.2	1.3	14.5	10.8	94	25
22	22	0.49	0.651	14.4	19.8	50.3	25.5	-0.9	0.2	14.5	10.8	94	25
23	23	0.49	0.655	14.4	19.8	50.7	25.8	-0.9	-0.3	14.5	10.8	94	25
24	24	0.49	0.652	14.4	19.8	51	25.5	-1	0.6	14.6	10.9	94	25
25	25	0.49	0.652	14.5	19.6	51.1	25.3	-1.2	1	14.6	10.9	94	25
26	26	0.49	0.651	14.5	19.7	51.1	25.4	-1	1.7	14.6	10.9	95	25
27	27	0.49	0.653	14.4	19.9	51.2	26	-1	-0.4	14.5	10.9	95	25
28	28	0.49	0.656	14.4	19.8	51.4	25.6	-1.1	0.1	14.5	10.9	95	25
29	29	0.49	0.656	14.4	19.8	51.4	25.8	-1	0.2	14.5	10.9	95	25
30	30	0.48	0.654	14.5	19.8	51.5	25.4	-1.1	0.6	14.5	10.9	95	25

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 46^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 14.4		°C	m _{water_hot} =		200	(L/h)		m _{water_cold} =		200	(L/h)	
Πείραμα	46	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out} max(°C)	T _{water_out} min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	15	(W)	(W)	(W)	(W)									
Water		1166.67	863.33	303.33	317.52	3.85	3.67	2.85	2.72	19.9	10.6	5	3.7	8.7
Refrigerant		1198.90	991.03	207.87	317.52	5.77	3.78	4.77	3.12					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 15^{ης} μέτρησης του 46^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 15^{ης} μέτρησης του 46^{ου} πειράματος.

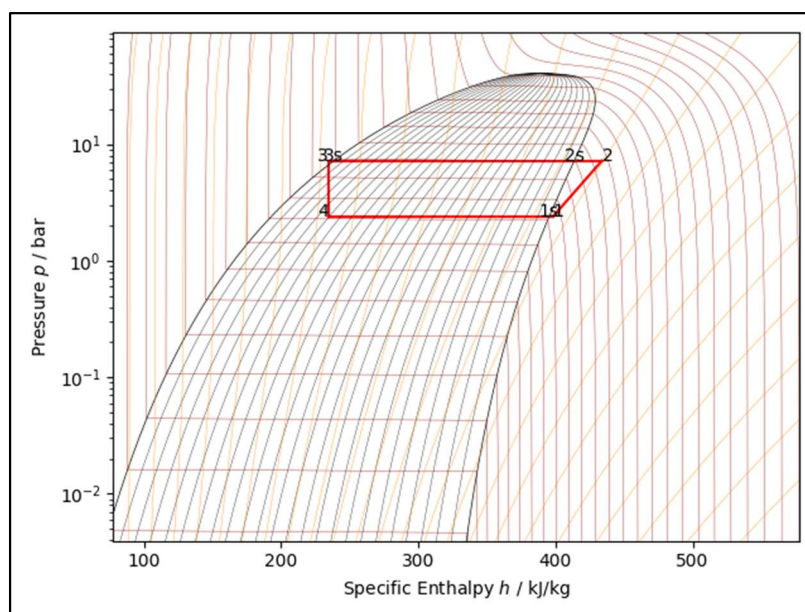
Πείραμα υπ' αριθμ.47

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.2	14.3	15.1	15.8	14.4	14.1	14.4	14.4	60	55
1	1	0.5	0.618	14.2	14.5	23.7	22.4	3.2	3.6	14.4	14.2	82	30
2	2	0.49	0.601	14.2	15.8	24.6	23.1	1.8	1.5	14.4	13.3	89	28
3	3	0.5	0.616	14.2	17	25.5	23.3	0	-0.2	14.4	12.2	90	25
4	4	0.5	0.621	14.2	17.6	26.5	23.1	-1.2	-1.4	14.4	11.8	90	23
5	5	0.5	0.623	14.3	18.1	29.3	23.2	-2.1	-2	14.5	11	90	22
6	6	0.5	0.627	14.3	18.3	32.1	23.2	-2.8	-1.5	14.5	10.7	90	21
7	7	0.5	0.628	14.3	18.5	33.8	23.8	-2.9	-3.1	14.5	10.4	90	21
8	8	0.5	0.627	14.3	18.6	35.1	23.2	-3.3	-1.7	14.4	10	90	21
9	9	0.5	0.629	14.3	18.6	36.8	23.5	-3	-3	14.5	9.8	90	21
10	10	0.5	0.627	14.3	18.6	37.6	23.3	-3.3	-1.7	14.5	9.6	90	21
11	11	0.51	0.622	14.4	18.5	38.9	23.6	-2.9	-2.9	14.5	9.6	90	20
12	12	0.51	0.623	14.4	18.6	39.7	23.4	-3.1	-1.9	14.5	9.5	90	20
13	13	0.51	0.622	14.4	18.6	40.4	23.5	-2.9	-2.6	14.5	9.5	90	20
14	14	0.51	0.628	14.4	18.6	41	23.9	-2.8	-2.8	14.5	9.5	90	20
15	15	0.5	0.626	14.4	18.7	41.7	23.5	-3.1	-1.2	14.5	9.5	90	20
16	16	0.51	0.627	14.4	18.6	42.3	23.9	-2.8	-2.7	14.4	9.5	90	20
17	17	0.5	0.625	14.4	18.8	43	23.8	-3.1	-1.5	14.4	9.5	90	20
18	18	0.5	0.625	14.4	18.7	43.3	23.7	-2.9	-2.1	14.4	9.5	90	20
19	19	0.5	0.629	14.4	18.7	43.8	24.3	-2.8	-2.6	14.3	9.6	90	20
20	20	0.5	0.625	14.4	18.7	44.3	23.7	-3.2	-1.1	14.2	9.6	90	20
21	21	0.5	0.63	14.4	18.7	44.7	24.3	-2.8	-2.6	14.2	9.6	90	20
22	22	0.5	0.63	14.4	18.7	44.9	24.2	-2.8	-2.7	14.1	9.6	90	20
23	23	0.5	0.628	14.4	18.7	45.5	23.8	-3	-1.4	14.2	9.6	90	20
24	24	0.5	0.631	14.4	18.7	45.9	24.2	-2.6	-2.4	14.2	9.6	90	20
25	25	0.5	0.629	14.4	18.7	46.1	24.2	-3.1	-2.4	14.2	9.5	90	20
26	26	0.5	0.629	14.4	18.8	46.5	23.8	-3	-1.3	14.2	9.5	90	20
27	27	0.5	0.63	14.4	18.8	46.9	24.3	-2.7	-2.6	14.2	9.5	90	20
28	28	0.5	0.629	14.4	18.8	47.4	24.4	-2.7	-2.4	14.2	9.5	90	20
29	29	0.49	0.63	14.4	18.7	47.5	24.1	-2.7	-2.2	14.2	9.5	90	20
30	30	0.49	0.635	14.4	18.8	47.6	25	-2.7	-2.3	14.2	9.5	90	20

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 47^{ου} πειράματος.

Πείραμα	47	Twater_in = 14.4		°C	W	mwater_hot = 200		(L/h)	Twater_out max(°C)	mwater_cold = 140		(L/h)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)		W _{theoretical} (W)	COP _{theoretical}	COP _{real}			EER _{theoretical}	EER _{real}					
Μέτρηση	30	1026.67	800.33	226.33	311.15	4.54	3.30	3.54	2.57	18.8	9.5	4.4	4.9	9.3		
Water																
Refrigerant		1047.55	859.68	187.87	311.15	5.58	3.37	4.58	2.76							

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 30^{ης} μέτρησης του 47^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 30^{ης} μέτρησης του 47^{ου} πειράματος.

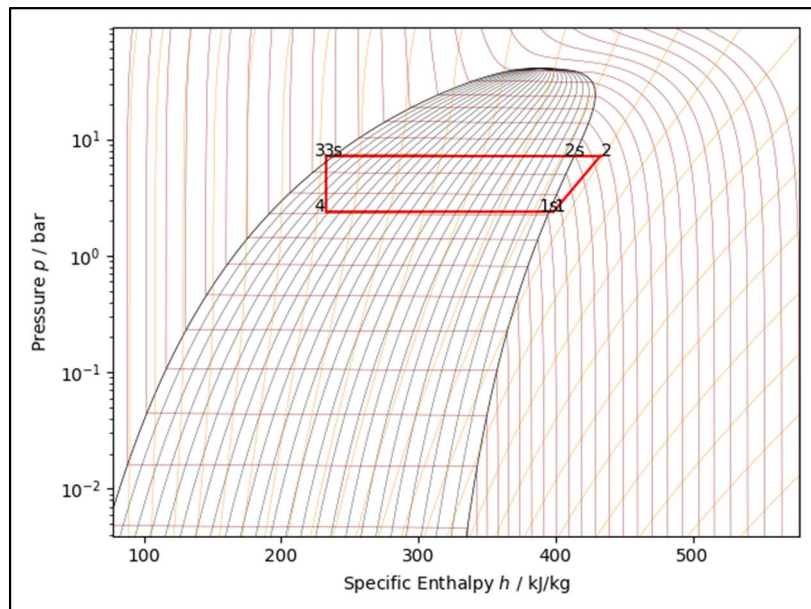
Πείραμα υπ' αριθμ.48

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.1	14.1	14.3	14.7	14.9	12.3	14.3	14.3	60	55
1	1	0.49	0.644	14.1	14.1	16.7	21.7	2.6	3.2	14.3	14.2	89	30
2	2	0.49	0.621	14.1	15.5	28.6	23.7	1.5	1.1	14.2	13.3	90	27
3	3	0.49	0.627	14.1	16.8	28.5	23.2	-0.3	-0.5	14.2	12.3	90	25
4	4	0.49	0.632	14.1	17.6	31.2	23.1	-2	-1.9	14.1	11.7	90	24
5	5	0.49	0.635	14.1	17.9	34.7	23.2	-2.7	-1.5	14.1	10.9	90	22
6	6	0.49	0.637	14	18.1	37.3	23.6	-3	-2.8	14.1	10.5	90	21
7	7	0.49	0.634	14	18.3	38.9	23.2	-3.2	-2	14.1	10.3	90	21
8	8	0.49	0.635	14	18.3	40.3	23.9	-3.2	-3.3	14.1	10	90	21
9	9	0.49	0.633	14	18.3	41.6	23.4	-3.5	-1.9	14	9.8	90	21
10	10	0.49	0.631	14	18.4	42.5	23.8	-3.1	-3	14	9.6	90	21
11	11	0.49	0.631	14	18.5	43.1	23.5	-3.5	-1.8	14	9.5	90	21
12	12	0.49	0.631	14	18.5	43.9	23.7	-3.2	-2.9	14.1	9.4	90	21
13	13	0.49	0.631	14.1	18.5	44.3	23.5	-3.5	-1.8	14.1	9.4	90	21
14	14	0.49	0.635	14.1	18.4	44.8	24.1	-3.2	-3.1	14.1	9.3	90	21
15	15	0.49	0.634	14.1	18.5	45.4	23.8	-3.6	-2.1	14	9.3	90	20
16	16	0.49	0.633	14.1	18.5	45.7	23.8	-3.2	-2.9	14	9.3	90	20
17	17	0.49	0.632	14.1	18.6	45.8	24	-3.3	-3.2	14.1	9.3	90	20
18	18	0.49	0.63	14	18.6	46.3	24.1	-3.4	-2.7	14	9.3	90	20
19	19	0.49	0.631	14	18.6	46.7	24.2	-3.3	-3.1	14	9.3	90	20
20	20	0.49	0.627	14	18.6	46.6	23.4	-3.7	-1.7	13.9	9.3	90	20
21	21	0.49	0.631	14	18.5	46.9	24.2	-3.3	-3	13.9	9.3	90	20
22	22	0.49	0.631	14	18.5	46.7	23.8	-3.5	-2.2	14	9.3	90	20
23	23	0.49	0.633	14	18.6	47.1	24	-3.3	-3.2	13.9	9.2	90	20
24	24	0.49	0.629	14	18.6	47.3	23.5	-3.7	-1.9	13.9	9.2	90	20
25	25	0.49	0.629	14	18.7	47.2	23.9	-3.3	-3.2	13.8	9.2	90	20
26	26	0.49	0.63	14	18.5	47.2	23.9	-3.5	-3	13.8	9.2	90	20
27	27	0.49	0.626	14	18.7	46.7	23.2	-3.3	-1.8	13.8	9.2	90	20
28	28	0.49	0.629	14	18.5	47.3	23.9	-3.5	-3.1	13.7	9.2	90	20
29	29	0.49	0.627	14	18.5	47.8	23.3	-3.4	-2.3	13.6	9.2	90	20
30	30	0.49	0.629	14	18.5	47.3	23.8	-3.5	-2.9	13.7	9.2	90	20

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 48^{ου} πειράματος.

Πείραμα	48	Twater_in = 14		°C	W _{theoretical} (W)	W _{real} (W)	m _{water_hot} = 200		(L/h)	Twater_out max(°C)	m _{water_cold} = 140		(L/h)	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)				COP _{theoretical}	COP _{real}			ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}		
Μέτρηση	20	1073.33	767.67	305.67	307.23		3.51	3.49	2.51	2.50	18.7	9.2	4.6	4.7
Water														
Refrigerant		1051.13	871.78	179.35	307.23		5.86	3.42	4.86	2.84				

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 20^{ης} μέτρησης του 48^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 20^{ης} μέτρησης του 48^{ου} πειράματος.

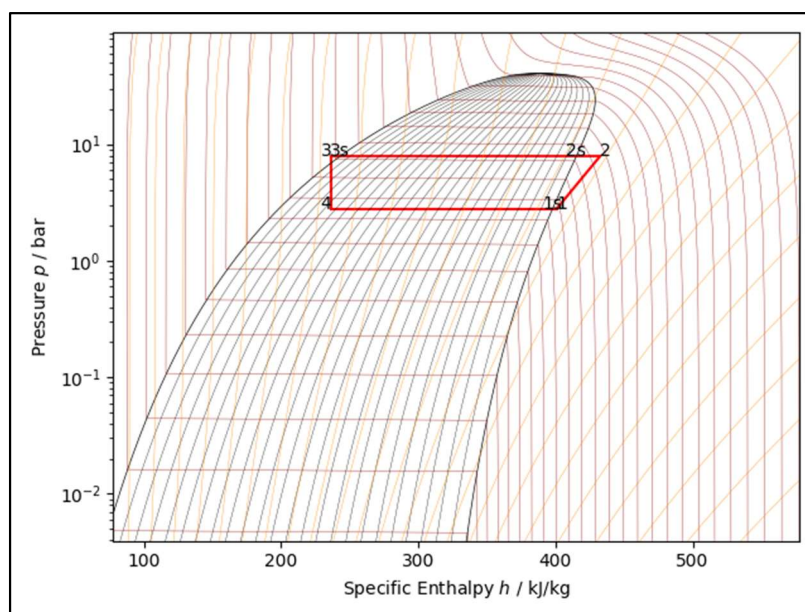
Πείραμα υπ' αριθμ.49

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.3	14.4	15.3	16.2	14.1	13.6	14.6	14.6	60	55
1	1	0.5	0.649	14.4	14.5	27.1	24.3	3.6	4.2	14.6	14.2	90	32
2	2	0.49	0.626	14.4	15.9	28.1	24.7	2.3	2	14.5	13.6	90	30
3	3	0.5	0.638	14.4	18.5	31.3	24.7	0	1.9	14.5	12.6	91	27
4	4	0.5	0.648	14.4	19.6	35	25.6	0	1.6	14.5	12.2	95	26
5	5	0.5	0.646	14.4	20.1	37.5	25.8	-0.3	1.6	14.5	11.8	95	26
6	6	0.5	0.65	14.4	20.4	39.3	26.1	-0.1	1.2	14.4	11.5	98	26
7	7	0.5	0.655	14.4	20.5	40.7	26.2	-0.4	2.1	14.4	11.4	98	26
8	8	0.5	0.657	14.4	20.8	42	26	-0.4	2.7	14.4	11.3	98	26
9	9	0.5	0.659	14.4	21.5	42.9	26.4	-0.1	2.5	14.4	11.2	99	26
10	10	0.5	0.657	14.4	21.4	43.6	25.9	-0.2	3	14.4	11.2	99	26
11	11	0.5	0.66	14.4	21.1	44.4	26.3	0	2.6	14.4	11.2	100	26
12	12	0.5	0.657	14.5	21.1	44.9	26.5	0.2	1.6	14.5	11.2	100	26
13	13	0.5	0.657	14.5	21.4	45.6	26.7	0.3	1.6	14.5	11.2	100	26
14	14	0.5	0.658	14.5	21.2	46.1	27	0.3	0.8	14.5	11.2	100	26
15	15	0.51	0.659	14.6	21.4	46.3	26.9	0.2	1.5	14.6	11.3	100	26
16	16	0.51	0.658	14.6	21.5	46.8	26.7	0.2	1.8	14.6	11.3	100	26
17	17	0.51	0.66	14.7	22	47.4	26.7	-0.1	1.9	14.6	11.4	100	26
18	18	0.5	0.656	14.7	21.8	47.6	26.5	-0.1	2.3	14.5	11.4	100	26
19	19	0.5	0.657	14.7	21.6	47.8	26.6	0.1	2.9	14.4	11.4	100	26
20	20	0.5	0.658	14.7	21.6	48.3	26.7	0.1	2.4	14.4	11.4	100	26
21	21	0.5	0.657	14.7	21.5	48.7	26.7	0.2	2.3	14.4	11.5	100	26
22	22	0.5	0.658	14.8	21.7	48.9	26.9	0	2	14.4	11.5	100	26
23	23	0.5	0.659	14.8	21.6	49.2	26.5	0.1	3.5	14.4	11.5	100	26
24	24	0.5	0.66	14.8	21.8	49.5	26.6	0.1	3.2	14.3	11.5	100	26
25	25	0.5	0.658	14.8	21.7	49.9	26.7	0.1	3.4	14.2	11.5	100	26
26	26	0.5	0.658	14.8	21.4	50.2	26.8	0.3	3.4	14.3	11.5	100	26
27	27	0.5	0.662	14.8	21.5	50.4	26.9	0.4	3.4	14.3	11.5	100	26
28	28	0.5	0.665	14.8	21.2	50.6	27.1	0.6	1.7	14.3	11.5	100	26
29	29	0.5	0.663	14.8	21.5	50.7	27.1	0.6	1.9	14.3	11.5	100	26
30	30	0.49	0.666	14.7	21.6	50.9	27.2	0.6	1.3	14.3	11.4	100	26

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 49^{ου} πειράματος.

Πείραμα	49	Twater_in = 14.5		°C	W	mwater_hot = 140		(L/h)	Twater_out max(°C)	mwater_cold = 260		(L/h)	ΣΔT
		Q _{hot} (W)	Q _{cold} (W)			COP _{theoretical}	COP _{real}			ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}		
Μέτρηση	18	1159.67	940.33	219.33	328.00	5.29	3.54	4.29	2.87	22	11.2	7.1	3.1
Water													
Refrigerant		1197.55	1004.54	193.01	328.00	6.20	3.65	5.20	3.06				10.2

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 18^{ης} μέτρησης του 49^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 18^{ης} μέτρησης του 49^{ου} πειράματος.

Πείραμα υπ' αριθμ.50

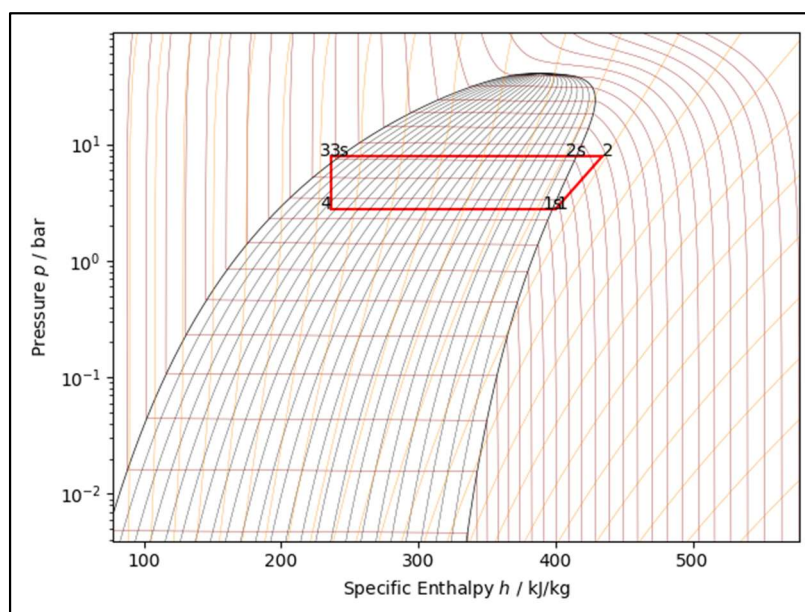
a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)		
0	0			14.4	14.3	15.2	15.9	14.2	13.3	14.4	14.4	60	55
1	1	0.48	0.648	14.4	14.7	30.9	23.1	2.5	4.1	14.4	14.2	90	30
2	2	0.49	0.658	14.5	16.4	36.8	25.6	2.2	2.1	14.4	13.2	92	30
3	3	0.48	0.653	14.5	18.2	38.1	24.5	0.4	1.9	14.4	12.5	92	26
4	4	0.49	0.66	14.5	19.6	41.3	25.6	0.2	1.5	14.3	11.9	95	26
5	5	0.49	0.661	14.6	20.3	43.4	26.1	0.1	0.8	14.4	11.7	98	26
6	6	0.49	0.658	14.6	20.7	45	25.6	-0.5	2	14.4	11.6	99	26
7	7	0.49	0.663	14.7	20.8	45.9	26.7	-0.2	0.3	14.4	11.5	99	26
8	8	0.49	0.66	14.6	21	46.8	26	-0.4	2.2	14.3	11.5	100	26
9	9	0.49	0.665	14.7	21	47.3	26.7	0	0.8	14.3	11.5	100	26
10	10	0.49	0.663	14.7	21.2	48	26.3	-0.4	2.2	14.3	11.5	100	26
11	11	0.49	0.665	14.7	21.2	48.3	26.9	0.1	0.9	14.3	11.5	100	26
12	12	0.49	0.664	14.7	21.2	48.8	26.3	-0.3	2.4	14.3	11.5	100	26
13	13	0.49	0.667	14.7	21.3	49	27.1	0	1.2	14.3	11.5	100	26
14	14	0.49	0.665	14.6	21.4	49.2	26.2	-0.1	1.6	14.3	11.5	100	26
15	15	0.49	0.666	14.6	21.2	49.5	26.9	0.3	1.4	14.3	11.5	100	26
16	16	0.49	0.668	14.6	21.3	50	27	0	1.7	14.3	11.5	100	26
17	17	0.49	0.666	14.6	21.4	50.1	26.8	-0.2	2.4	14.3	11.4	100	26
18	18	0.49	0.666	14.6	21.3	50.4	26.6	-0.2	2.5	14.3	11.3	100	26
19	19	0.49	0.666	14.6	21.4	50.3	26.4	-0.2	2.7	14.3	11.3	100	26
20	20	0.49	0.667	14.5	21.3	50.7	26.3	-0.3	2.9	14.3	11.3	100	26
21	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 50^{ου} πειράματος.

Παρατήρηση: Κατά τη διενέργεια του πειράματος διακόπηκε η τροφοδοσία, λόγω διακοπής ρεύματος.

		T _{water_in} = 14.5		°C		m _{water_hot} = 140		(L/h)		m _{water_cold} = 260		(L/h)		
Πείραμα	50	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT
Μέτρηση	14	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)			
Water		1110.67	910.00	200.67	325.85	5.53	3.41	4.53	2.79	21.4	11.3	6.8	3	9.8
Refrigerant		1214.37	1006.90	207.47	325.85	5.85	3.73	4.85	3.09					

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 14^{ης} μέτρησης του 50^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 14^{ης} μέτρησης του 50^{ου} πειράματος.

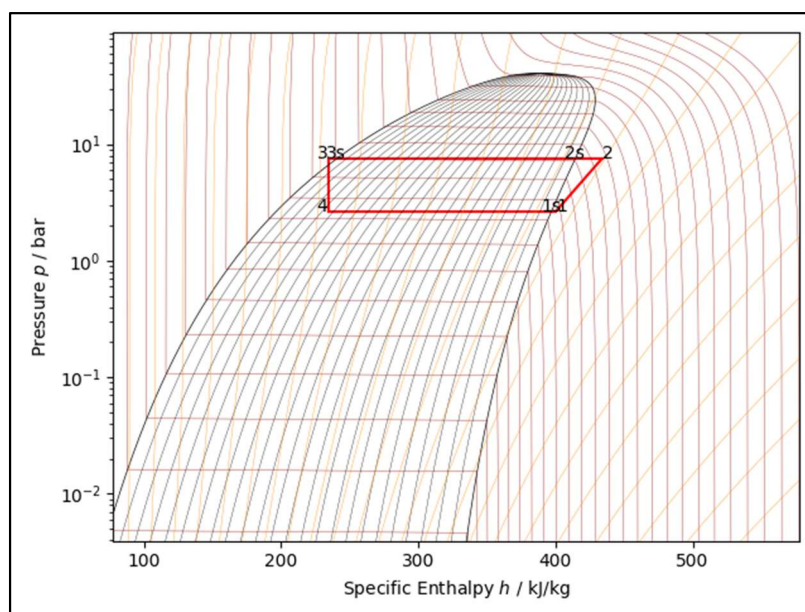
Πείραμα υπ' αριθμ.51

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.1	14.1	16.6	16.4	13.1	13.5	14.2	13.9	70	55
1	1	0.5	0.62	14	14.4	25.4	22	1.1	9.9	14.2	13.8	82	27
2	2	0.51	0.631	14	15.6	31.4	24.7	1.1	1.2	14.2	12.8	90	27
3	3	0.51	0.633	14	17.5	31.9	23.5	-0.4	-1.1	14.1	12.1	90	25
4	4	0.5	0.63	14.1	18.2	34.5	24	-1.3	0.8	14	11.3	90	25
5	5	0.51	0.632	14.2	19.1	36.5	24.5	-1.3	0.6	14	10.9	90	25
6	6	0.5	0.637	14.2	19.4	38.4	25	-1.3	-0.2	14	10.6	91	24
7	7	0.5	0.64	14.2	20	40	25.2	-1.5	-1.4	13.8	10.4	91	24
8	8	0.5	0.638	14.1	20.4	40.7	25.2	-2.1	-0.5	13.7	10.3	91	24
9	9	0.5	0.639	14.1	20.4	42	25.2	-2.1	0	13.7	10.3	91	24
10	10	0.5	0.639	14.1	20.3	42.6	25	-2	0.5	13.6	10.2	91	24
11	11	0.5	0.638	14	20.4	43.5	25	-1.9	1	13.7	10.1	91	24
12	12	0.5	0.639	14	20.4	44.1	25.3	-1.8	0.9	13.8	10.1	91	24
13	13	0.5	0.641	14	20.4	44.8	25.7	-1.6	-1.2	13.8	10.1	95	24
14	14	0.5	0.641	14	20.8	45.2	25.4	-1.5	-0.6	13.8	10	94	24
15	15	0.5	0.642	13.9	20.5	45.6	25.6	-1.5	-1.1	13.7	10	94	24
16	16	0.5	0.641	13.9	20.4	45.8	25.7	-1.4	-0.9	13.7	10	94	24
17	17	0.5	0.641	13.9	20.6	46.4	25.7	-1.4	-1.4	13.7	10.1	94	24
18	18	0.5	0.642	13.9	20.7	46.8	25.7	-1.3	-0.2	13.7	10.1	94	24
19	19	0.5	0.643	13.9	20.4	47	25.8	-1.2	-1.1	13.8	10.1	94	24
20	20	0.5	0.643	13.9	20.8	47.4	25.9	-1.4	-1	13.8	10.2	94	24
21	21	0.5	0.639	14	21	47.9	25.5	-2	0	13.9	10.1	94	24
22	22	0.5	0.639	14	21	48	24.7	-1.6	1.2	13.9	10.1	94	24
23	23	0.5	0.64	14.1	20.5	48.4	25	-1.4	0.6	13.9	10.1	94	24
24	24	0.5	0.641	14.1	20.3	48.6	25.5	-1.3	0	13.9	10.1	94	24
25	25	0.5	0.641	14.2	20.7	48.9	25.6	-1.7	0.1	13.9	10.1	94	24
26	26	0.5	0.639	14.2	20.8	49	25	-1.4	1.3	13.8	10	94	24
27	27	0.5	0.64	14.2	20.6	49.5	25.3	-1.5	0.9	13.7	10	94	24
28	28	0.5	0.64	14.2	20.6	49.6	25.1	-1.5	0.7	13.8	10	94	24
29	29	0.5	0.641	14.2	20.4	49.9	25.1	-1.6	0.9	13.8	10.1	94	24
30	30	0.5	0.641	14.2	20.6	50.1	25.3	-1.5	1.1	13.8	10.1	94	24

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 51^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 14		°C		mwater_hot = 140		(L/h)				mwater_cold = 200		(L/h)	
Πείραμα	51	Q hot	Q cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	22	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1143.33	910.00	233.33	319.50	4.90	3.58	3.90	2.85	21	10	7	3.9	10.9	
Refrigerant		1161.35	967.34	194.01	319.50	5.97	3.63	4.97	3.03						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 22^{ης} μέτρησης του 51^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 22^{ης} μέτρησης του 51^{ου} πειράματος.

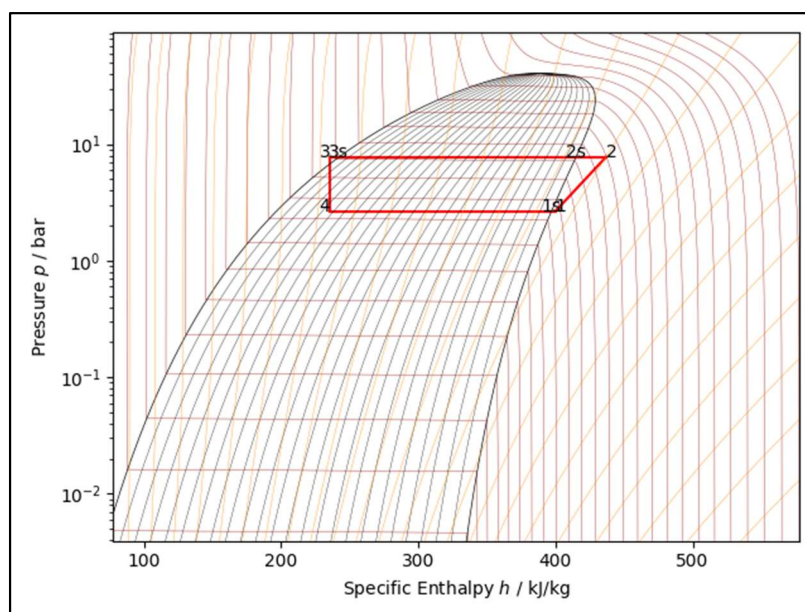
Πείραμα υπ' αριθμ.52

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.2	14.1	15.3	16.2	13.8	13.2	14.2	14.2	60	55
1	1	0.51	0.62	14.2	14.4	29.6	22.7	2.7	3.4	14.2	14.2	90	30
2	2	0.51	0.623	14.3	15.9	35.3	25.4	2	1.7	14.2	13.2	90	28
3	3	0.51	0.63	14.3	17.9	36.6	24.1	-0.3	-0.3	14.2	12.3	90	25
4	4	0.51	0.632	14.3	19.1	39.6	25.2	-0.6	-0.2	14.2	11.6	91	25
5	5	0.51	0.634	14.3	20	42.3	25.1	-1	0.7	14.1	11.3	91	25
6	6	0.51	0.635	14.3	20.2	43.7	25.5	-1	-0.9	14.1	10.9	95	24
7	7	0.51	0.631	14.3	20.3	45	25.3	-1.7	0.5	14.1	10.7	95	24
8	8	0.51	0.633	14.3	20.4	45.4	25.4	-1.7	0.2	14.1	10.5	95	24
9	9	0.51	0.633	14.4	20.6	46.7	25.5	-1.4	0.7	14.1	10.4	95	24
10	10	0.51	0.636	14.4	20.6	47.2	25.9	-1.1	-0.6	14.1	10.4	95	24
11	11	0.51	0.632	14.4	20.8	48	25.4	-1.7	0.7	14.1	10.4	95	24
12	12	0.51	0.633	14.4	20.9	48.2	25.8	-1.3	0.6	14.1	10.4	98	24
13	13	0.51	0.632	14.4	21	48.6	25.7	-1.5	0.3	14.1	10.4	95	24
14	14	0.51	0.633	14.4	21.1	48.9	25.6	-1.4	0.8	14.1	10.4	95	24
15	15	0.51	0.632	14.5	20.9	49.3	25.5	-1.4	1.1	14.2	10.4	98	25
16	16	0.51	0.634	14.5	20.9	49.6	25.8	-1.2	0.7	14.2	10.5	98	25
17	17	0.51	0.636	14.5	21.1	49.7	26.2	-1.1	-0.4	14.2	10.5	98	25
18	18	0.51	0.637	14.5	21.1	49.9	25.7	-1.3	1.1	14.2	10.5	98	25
19	19	0.51	0.636	14.5	21	50.2	25.8	-1.2	0.9	14.2	10.5	98	25
20	20	0.51	0.637	14.5	20.9	50.5	26.2	-1	-0.3	14.2	10.6	98	25
21	21	0.51	0.635	14.5	20.8	50.7	26	-1.2	0.5	14.2	10.6	98	25
22	22	0.51	0.636	14.5	21	50.8	25.8	-1.1	1.1	14.2	10.6	98	25
23	23	0.51	0.632	14.5	21.1	51.2	26.2	-1	-0.5	14.2	10.6	98	24
24	24	0.51	0.632	14.5	20.9	51.3	26.3	-1	-1	14.2	10.6	98	24
25	25	0.51	0.632	14.6	21	51.4	26	-1.1	0.5	14.2	10.6	98	24
26	26	0.51	0.634	14.6	21.4	51.6	25.9	-1.3	0.7	14.2	10.6	98	24
27	27	0.51	0.633	14.5	21.1	51.8	26.1	-0.9	-0.1	14.3	10.6	98	24
28	28	0.51	0.635	14.5	21	52	26.4	-0.9	-0.5	14.3	10.6	98	24
29	29	0.51	0.636	14.5	21	52.1	26.2	-1.3	0	14.3	10.6	98	24
30	30	0.51	0.633	14.4	21.1	51.9	25.9	-1.8	1.1	14.4	10.6	98	24

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 52^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 14.3		°C		mwater_hot = 140		(L/h)				mwater_cold = 200		(L/h)	
Πείραμα	52	Q hot	Q' cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out	Twater_out	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	26	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)				
Water		1110.67	863.33	247.33	323.34	4.49	3.43	3.49	2.67						
Refrigerant		1172.43	957.21	215.22	323.34	5.45	3.63	4.45	2.96	21.4	10.4	6.8	3.7	10.5	

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 26^{ης} μέτρησης του 52^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 26^{ης} μέτρησης του 52^{ου} πειράματος.

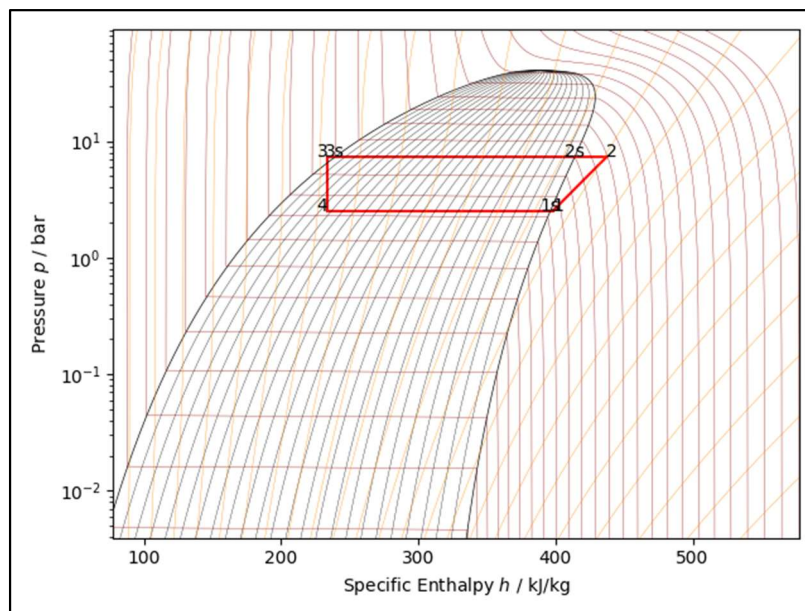
Πείραμα υπ' αριθμ.53

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14.1	14.2	16.6	17.5	13.2	13.4	14.3	14	65	55
1	1	0.5	0.624	14.1	14.4	31.8	23.2	1.9	3	14.2	14	90	30
2	2	0.5	0.625	14.1	15.8	35.7	24.8	1	1.2	14.1	13.1	90	26
3	3	0.5	0.63	14.1	17.6	35.9	24.1	-1.1	-1.3	13.9	12.3	90	25
4	4	0.5	0.628	14.1	18.7	38.6	23.8	-2.5	-1.1	13.8	11.4	90	23
5	5	0.5	0.625	14.1	19.4	41.7	24.3	-2.6	-1.3	14.7	11	90	23
6	6	0.5	0.629	14.1	19.8	43.5	24.7	-3	-1.7	13.7	10.5	90	22
7	7	0.5	0.626	14.1	19.8	44.8	24.5	-3.3	-1.3	13.7	10	90	22
8	8	0.5	0.63	14.1	19.9	45.9	24.8	-3.3	-2.8	13.7	9.8	90	22
9	9	0.5	0.625	14.1	20.2	46.6	24.5	-3.5	-1.3	13.7	9.8	91	22
10	10	0.5	0.627	14.1	20.1	47.3	24.8	-3.5	-3.3	13.7	9.7	91	22
11	11	0.5	0.626	14.1	20	47.9	24.7	-3.4	-2.3	13.7	9.6	91	22
12	12	0.5	0.628	14.1	20.1	48.2	24.8	-3.4	-2.6	13.7	9.6	91	22
13	13	0.5	0.624	14.1	20.1	48.7	24.8	-3.7	-1.6	13.7	9.5	91	22
14	14	0.5	0.628	14.1	20.1	48.8	24.9	-3.3	-2.6	13.8	9.5	91	22
15	15	0.5	0.628	14.2	20.1	48.9	25	-3.5	-2.6	13.8	9.5	91	22
16	16	0.5	0.625	14.2	20.1	49.1	24.8	-3.4	-1.1	13.8	9.4	91	22
17	17	0.5	0.628	14.2	20.1	49.4	25.1	-3.3	-3	13.8	9.5	91	22
18	18	0.5	0.626	14.2	20.1	49.7	24.8	-3.4	-1.2	13.9	9.4	91	22
19	19	0.5	0.627	14.3	20.2	50	25.1	-3.2	-2.5	13.9	9.4	91	22
20	20	0.5	0.625	14.3	20.3	50.2	24.8	-3.3	-1.1	13.9	9.4	91	22
21	21	0.5	0.628	14.3	20.3	50.3	25.1	-3.2	-2.4	13.9	9.4	91	22
22	22	0.5	0.629	14.3	20.2	50.3	25.2	-3.3	-2.5	13.9	9.4	91	22
23	23	0.5	0.627	14.3	20.2	50.5	25	-3.3	-2.2	13.9	9.3	91	22
24	24	0.5	0.627	14.3	20.5	50.7	25.2	-3.2	-3	13.9	9.3	91	22
25	25	0.5	0.623	14.2	20.4	50.9	24.6	-3.4	-1.8	13.9	9.4	91	22
26	26	0.5	0.628	14.2	20.3	50.9	25	-3.2	-2.3	13.9	9.4	91	22
27	27	0.5	0.628	14.3	20.2	51.2	25.1	-3.2	-2.3	13.9	9.3	91	22
28	28	0.5	0.626	14.3	20.2	51.5	24.8	-3.1	-1.4	13.9	9.3	91	22
29	29	0.49	0.628	14.3	20.2	51.6	25.2	-3.1	-2.8	13.9	9.4	91	22
30	30	0.5	0.627	14.3	20.3	51.6	24.8	-3.2	-1	13.9	9.4	91	22

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 53^{ου} πειράματος.

		T _{water_in} = 14		°C		m _{water_hot} = 140		(L/h)				m _{water_cold} = 140		(L/h)	
Πείραμα	53	Q _{hot}	Q _{cold}	W _{theoretical}	W _{real}	COP _{theoretical}	COP _{real}	EER _{theoretical}	EER _{real}	T _{water_out}	T _{water_out}	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	25	(W)	(W)	(W)	(W)					max(°C)	min(°C)				
Water		1012.67	751.33	261.33	311.50	3.88	3.25	2.88	2.41	20.5	9.3	6.2	4.6	10.8	
Refrigerant		1131.53	914.90	216.63	311.50	5.22	3.63	4.22	2.94						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 25^{ης} μέτρησης του 53^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 25^{ης} μέτρησης του 53^{ου} πειράματος.

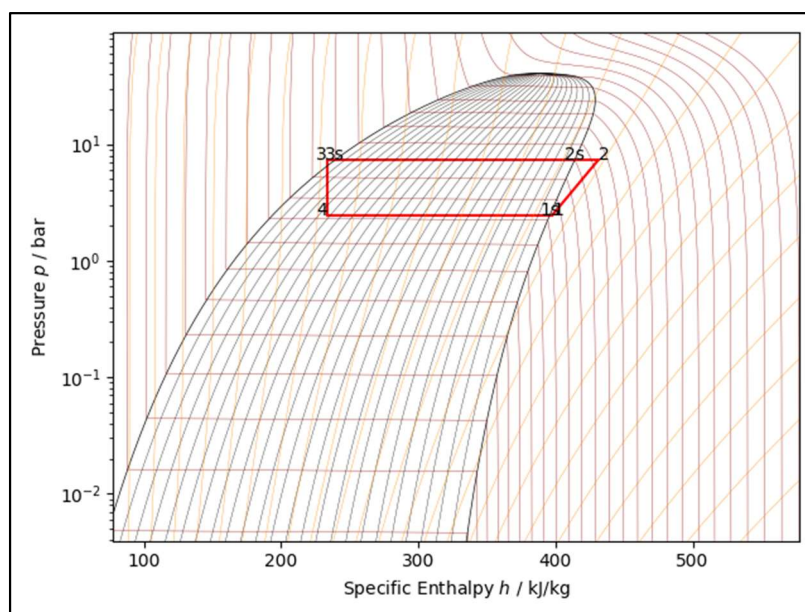
Πείραμα υπ' αριθμ.54

a/a	Time (s)	kVA	P-FACTOR	HOT_TANK				COLD_TANK				HP (psi)	LP (psi)
				Twater_in (°C)	Twater_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Tref_in (°C)	Tref_out (°C)	Twater_in (°C)	Twater_out (°C)		
0	0			14	13.8	15.2	15.3	14	13.5	14.1	13.9	60	55
1	1	0.5	0.606	14	14.2	23.4	22.2	2.9	2.9	14	13.8	85	30
2	2	0.5	0.603	14	15.4	24.8	23.5	1	1.2	14	13.1	89	26
3	3	0.51	0.615	14	17	25.6	23.5	-1.1	-1.1	14	12.1	90	25
4	4	0.51	0.618	14	18.2	27.8	23.5	-2.6	-2.4	14	11.2	90	22
5	5	0.51	0.62	14	18.9	30.7	23.6	-3	-1.9	14	10.7	90	22
6	6	0.51	0.624	14	19.3	32.4	24.1	-3.5	-3.5	13.9	10.2	90	22
7	7	0.51	0.622	14	19.6	34	23.7	-3.9	-2.6	13.9	9.9	90	22
8	8	0.51	0.623	14	19.6	35.4	24.1	-4	-2.9	13.9	9.8	90	22
9	9	0.51	0.624	13.9	19.9	36.9	24.1	-3.9	-3.8	13.8	9.7	90	22
10	10	0.51	0.624	14	19.8	38.1	23.8	-4	-2.1	13.8	9.5	90	21
11	11	0.51	0.629	14	19.7	39.2	24.6	-3.7	-3.8	13.7	9.4	90	21
12	12	0.5	0.626	13.9	19.9	39.9	24.1	-3.8	-2.4	13.8	9.4	90	21
13	13	0.51	0.627	14	20.1	40.9	24.1	-3.9	-2.1	13.8	9.3	90	21
14	14	0.5	0.629	13.9	20	41.6	24.8	-3.7	-3.5	13.8	9.3	90	21
15	15	0.51	0.626	14	20.1	42.2	24.3	-3.8	-2.2	13.7	9.2	90	21
16	16	0.51	0.625	14	20.2	42.8	24.2	-3.3	-2.1	13.7	9.1	90	21
17	17	0.5	0.628	14	20.2	43.6	24.8	-3.7	-3.5	13.8	9	90	21
18	18	0.5	0.628	14	20.3	43.9	24.5	-4.1	-2.1	13.8	9	90	21
19	19	0.5	0.631	14	20.5	44.3	25	-3.6	-3.4	13.8	9	90	21
20	20	0.5	0.627	13.9	20.4	44.9	24.3	-3.8	-2.6	13.9	8.9	91	21
21	21	0.5	0.627	14	20.1	45.3	24.2	-4.1	-1.9	13.9	9	91	21
22	22	0.5	0.63	14	19.3	45.6	24.2	-2.8	-0.2	14	9.1	91	22
23	23	0.51	0.634	14.1	19.2	46.1	25	-3	-1	14	9.4	91	21
24	24	0.5	0.631	14.1	19.5	46.5	24.7	-2.9	-1.7	14	9.5	91	21
25	25	0.5	0.631	14.1	19.7	46.7	24.4	-3	-0.7	14.1	9.5	91	21
26	26	0.5	0.632	14	19.6	47	25.1	-2.6	-2.3	14.1	9.5	91	21
27	27	0.5	0.631	14	19.6	47.5	24.4	-2.6	-0.8	14.1	9.6	91	22
28	28	0.5	0.633	14	19.6	47.8	25	-2.7	-1.7	14.1	9.6	91	22
29	29	0.5	0.634	14	19.8	48	25.1	-2.6	-1.5	14.1	9.6	91	22
30	30	0.5	0.634	14	20	48.2	24.6	-3	-1	14	9.6	91	22

Πίνακας: Πειραματικές μετρήσεις 54^{ου} πειράματος.

		Twater_in = 14		°C		mwater_hot = 140		(L/h)				mwater_cold = 140		(L/h)	
Πείραμα	54	Q hot	Q cold	Wtheoretical	Wreal	COPtheoretical	COPreal	EERtheoretical	EERreal	Twater_out max(°C)	Twater_out min(°C)	ΔT _{hot_water}	ΔT _{cold_water}	ΣΔT	
Μέτρηση	20	(W)	(W)	(W)	(W)										
Water		1061.67	833.00	228.64	313.50	4.64	3.39	3.64	2.66	20.5	8.9	6.5	5.1	11.6	
Refrigerant		1072.09	890.90	181.19	313.50	5.92	3.42	4.92	2.84						

Πίνακας: Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της 20^{ης} μέτρησης του 54^{ου} πειράματος.



Εικόνα: Γραφική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης σε διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας για τα πειραματικά δεδομένα της 20^{ης} μέτρησης του 54^{ου} πειράματος.