



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Προσομοίωση Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας»

Χρηματοπούλου Μαρία

Επιβλέπων Λέκτορας: Χρήστος Τζιβανίδης

ΑΘΗΝΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑ :Αντλίες Θερμότητας.....	8
▪ Ορισμός.....	8
▪ Αρχή Λειτουργίας.....	8
▪ Λειτουργία Αντλίας Θερμότητας στις δυο περιπτώσεις: Θέρμανση και Ψύξη χώρου.....	9
▪ Η ιδανική Αντλία Θερμότητας.....	11
▪ Βαθμός Απόδοσης.....	13
▪ Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας.....	13
▪ Οι πηγές Θερμότητας.....	16
▪ Εφαρμογές Αντλιών Θερμότητας.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΥΟ:Ηλιακή Ενέργεια.....	24
▪ Εισαγωγή.....	24
▪ Ο Ήλιος.....	24
▪ Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας.....	25
▪ Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα.....	26
▪ Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑ: Ηλιακά Υποβοηθούμενες Αντλίες Θερμότητας..	29
▪ Μελέτες γύρω από την Ενεργειακή Ανάλυση Ηλιακά Υποβοηθούμενων Αντλιών Θερμότητας.....	29
-Η.Υ.Α.Θ. για θέρμανση νερού.....	30
-Η.Υ.Α.Θ. με εναποθήκευση για θέρμανση χώρου (συμβατικοί τύποι).....	33
-Η.Υ.Α.Θ. με άμεση εκτόνωση για μελέτες θέρμανσης χώρου....	37
-Η.Υ.Α.Θ. με πηγή θερμότητας το έδαφος για θέρμανση θερμοκηπίου.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΕΡΑ: Ανάλυση επιμέρους στοιχείων Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας.....	41
▪ Εισαγωγή.....	41
▪ Συμπιεστής	41
▪ Συμπυκνωτής.....	46
▪ Ηλιακός Συλλέκτης (Ατμοποιητής).....	53

▪ Ψυκτικό Υγρό	56
▪ Εκτονωτικές Διατάξεις(Στραγγαλιστικές Βαλβίδες).....	60
▪ Εναλλάκτης Θερμότητας.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΝΤΕ:Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος E.E.S..	70
▪ Παρουσίαση Προγράμματος.....	70
▪ Αρχικό Μενού.....	70
▪ Δημιουργία Αρχείου.....	71
▪ Δημιουργία Αρχείου Acrobat Reader με το MikTeX.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΞΙ: Υπολογιστικό Μέρος.....	83
▪ Εισαγωγή.....	83
▪ Οι εξισώσεις του Equations Window.....	93
▪ Το παράθυρο Formatted Equations.....	95
▪ Οι παραμετρικοί πίνακες.....	99
▪ Lookup Table.....	102
▪ Διαγράμματα.....	105
▪ Το Σχεδιάγραμμα.....	111
▪ Δημιουργία αναφοράς σε μορφή αρχείου PDF.....	112
Συμπεράσματα.....	126
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	128

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Θερμότητας του Ε.Μ. Πολυτεχνείου. Η υπόδειξη του θέματος έγινε από τον Λέκτορα Χ. Τζιβανίδη .

Η διπλωματική αποτελείται από δύο κυρίως μέρη: από το θεωρητικό και το υπολογιστικό. Στο θεωρητικό κομμάτι έχει γίνει μια αναφορά πάνω στις αντλίες θερμότητας και στις ηλιακά υποβοηθούμενες, στην ηλιακή ενέργεια και στα επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης που μελετάμε. Στο υπολογιστικό κομμάτι έχει γίνει η προσομοίωση της εγκατάστασης για θέρμανση νερού , χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα E.E.S. (Engineering Equation Solver).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή για την συνεργασία κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η επιστήμη και η τεχνολογία έχει στραφεί προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να στραφεί το ενδιαφέρον προς την ανακάλυψη νέων πηγών ενέργειας και νέων τεχνολογιών, τις οποίες θα τις αξιοποιούν.

Μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος και η ακτινοβολία του. Η πιο απλή μορφή εκμετάλλευσης της ενέργειας αυτής είναι η χρήσης της ακτινοβολίας αυτής για την θέρμανση νερού ή διαφόρων άλλων μέσων. Στην διπλωματική αυτή αποτελεί τη βασική ιδέα, η εξοικονόμηση ενέργειας, χρησιμοποιώντας την θερμική ακτινοβολία του ήλιου, εφαρμόζοντάς την πάνω στον τομέα των αντλιών θερμότητας.

Υπάρχουν πολλές επιστημονικές μελέτες και εργασίες που έχουν ασχοληθεί με αυτό το αντικείμενο και η εργασία αυτή προσπαθεί να συμβάλλει στην μελέτη αυτή, ασχολούμενη με την περιοχή της Αθήνας κατά τη διάρκεια του μήνα Αύγουστου.

Αλλάξαμε την συμβατική μορφή μιας αντλίας θερμότητας αντικαθιστώντας τον ατμοποιητή με έναν ηλιακό συλλέκτη. Ο συλλέκτης κάνει ακριβώς την ίδια δουλειά με τον ατμοποιητή και η μόνη τους διαφορά είναι ότι με τον ηλιακό συλλέκτη, καθώς το ψυκτικό υγρό περνάει μέσα του, θερμαίνεται και ατμοποιείται, με τη βοήθεια της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εφαρμογή αυτή έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Ελλάδα διότι είναι μια χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου, άρα η εγκατάσταση αυτή θα δουλεύει αποτελεσματικά.

Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση χώρου ή για θέρμανση ποσότητας νερού, όπως και έχουμε ασχοληθεί σε αυτή την εργασία. Χρησιμοποιώντας την Η.Υ.Α.Θ. θερμαίνουμε ποσότητα νερού με την βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του θερμού αέριου ρεύματος του συμπυκνωτή και της ποσότητας του νερού.

Με την εργασία αυτή κάναμε μια πρώτη προσέγγιση σε αυτό το αντικείμενο, για τη περιοχή της Αθήνας. Στο πρόγραμμα που φτιάξαμε και προσομοιώνει την

λειτουργία της Η.Υ.Α.Θ., μελετήσαμε την συμπεριφορά της για τους μήνες
Αύγουστο, Δεκέμβριο και Απρίλιο, έτσι ώστε να έχουμε μια γενική εικόνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑ

Αντλίες Θερμότητας

Ορισμός

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει την δυνατότητα εναλλαγής λειτουργίας στον κύκλο ψύξης ενός συστήματος έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή άλλο μέσο μεταφοράς θερμότητας ή ψύχους, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου. Ως γνωστόν, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων. Το σύστημα αυτό όμως, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική ροή, δηλαδή ‘αντλεί’ θερμότητα και για αυτό ονομάζεται έτσι. Συγκεκριμένα το καλοκαίρι αφαιρεί θερμότητα από έναν κλιματιζόμενο χώρο και την αποβάλλει στο περιβάλλον, οπότε ψύχεται ο κλιματιζόμενος χώρος, ενώ το χειμώνα αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον και την αποβάλλει μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τον θερμαίνει. Η αντλία θερμότητας είναι ένα φθινό σύστημα θέρμανσης συγκρινόμενη με τη θέρμανση που δίνουν οι ηλεκτρικοί θερμοσυσσωρευτές, τα αερόθερμα και γενικά τα ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα.

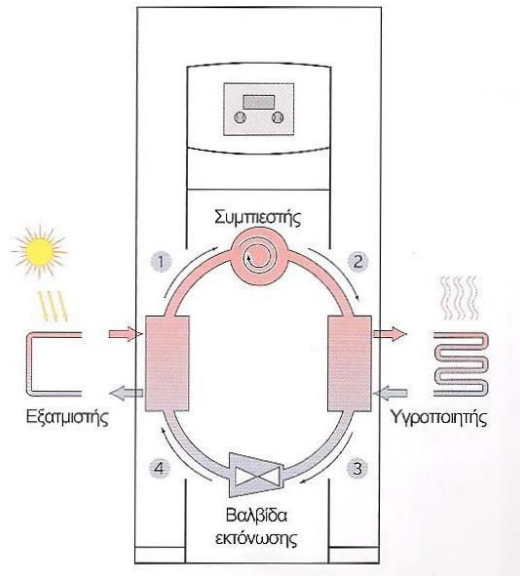
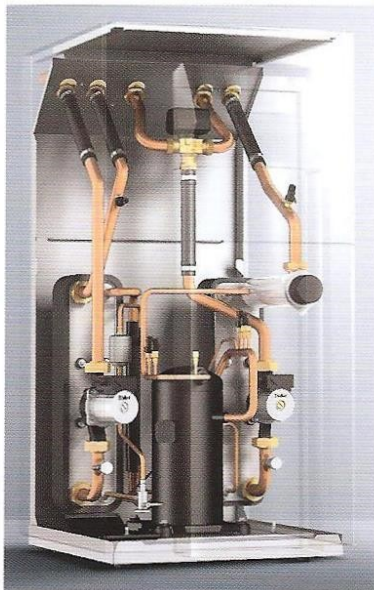
Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας της είναι η ίδια που εφαρμόζεται και στα ψυγεία ή τις κλιματιστικές συσκευές. Η αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα με κατάλληλο χειρισμό να μεταφέρει θερμότητα από ένα χώρο Α προς ένα χώρο Β (ψύξη χώρου) , ή αντίστροφα από το χώρο Β προς τον χώρο Α (θέρμανση του χώρου Α).

Τα βασικά μέρη που αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι:

1. Το τμήμα συμπιεστή-συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον
2. Το τμήμα ανεμιστήρα-ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο ή το περιβάλλον

3. Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μία τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε 'θερμαντικό' και αντίστροφα.
4. Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
5. Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ μικρή.



Τυπική μορφή αντλίας θερμότητας

Λειτουργία Αντλίας Θερμότητας στις δυο περιπτώσεις: Θέρμανσης και Ψύξης

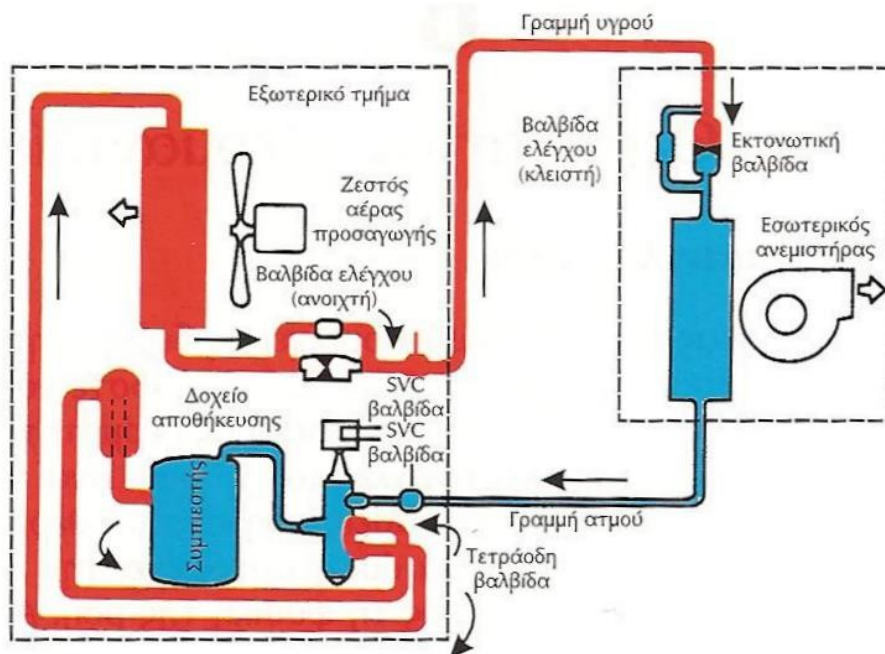
Μια αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας 'αντιστρέφει' η 'αναστρέφει' τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί ' ψυκτικό κύκλο' το καλοκαίρι ή 'θερμαντικό' τον χειμώνα. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με τον ρόλο του ατμοποιητή. Το καλοκαίρι ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ τον χειμώνα ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος στο περιβάλλον και το ψύχει, και εφ' όσον αντλεί θερμότητα από αυτό. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής –συμπυκνωτής από τον χώρο στο περιβάλλον, η ΑΘ με τη χρήση τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται

κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου, για την συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου.

Κύκλος για ψύξη χώρου

Την μελέτη του κύκλου για ψύξη την ξεκινάμε από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή.

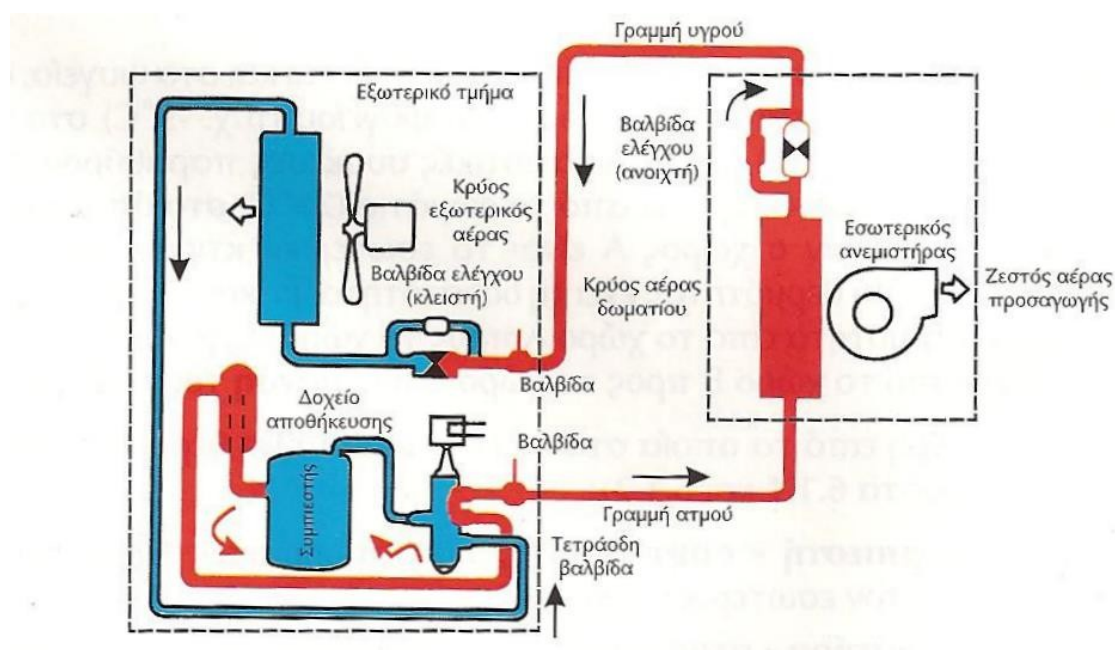
- Η είσοδος του ψυκτικού ρευστού στον ατμοποιητή ελέγχεται από την άεργη εκτονωτική-στραγγαλιστική διάταξη (βαλβίδα). Η διάταξη αυτή ελαττώνει την πίεση του υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας προσδίδονται σε αέριο, το οποίο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία στο συμπιεστή.
- Το συμπιεσμένο αέριο φθάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Το συμπυκνωμένο αέριο υγροποιείται.
- Το ψυκτικό υγρό οδηγείται στην εκτονωτική διάταξη .



Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για ψύξη

Κύκλος για θέρμανση χώρου

Περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης μόνο που σε αυτή την περίπτωση το στοιχείο που εκτελούσε την ατμοποίηση εδώ εκτελεί την συμπύκνωση και το αντίστροφο. Η μετατροπή του ψυκτικού κύκλου σε κύκλο θέρμανσης γίνεται με τη βοήθεια της τετράοδης βαλβίδας, που οδηγεί το ψυκτικό υγρό μετά την έξοδό του από τον συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου-αέρα(ή νερού), ανάλογα με την επιλογή των απαιτήσεων μέσω διακόπτη.



Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση

Η ιδανική Αντλία Θερμότητας

Η λειτουργία μιας Α.Θ. βασίζεται στη λειτουργία της μηχανής Carnot, που λειτουργεί όμως κατά τη φορά του ψυκτικού κύκλου. Η ποιότητα της αντλίας χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς(επίδοσης) COP (=Coefficient of Performance).

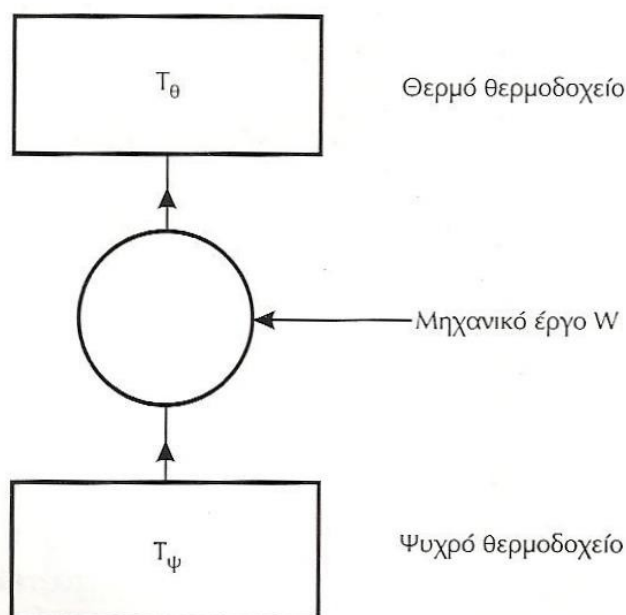
Κατά την θέρμανση ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσό θερμότητας Q_2 ενώ κατά την ψύξη το Q_1 . Ο ενεργειακός ισολογισμός δίνει : $Q_2=Q_1+W$.

Ο COP δίνεται από την σχέση:

$$COP = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

Στην ιδανική περίπτωση τα ποσά θερμότητας δύναται να αντικατασταθούν από τις θερμοκρασίες(βλ. κύκλος Carnot):

$$COP = \frac{T_\theta}{T_\theta - T_\psi}$$



Κύκλος θερμαντλίας

Παρατηρήσεις:

1. Για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά $T_\theta - T_\psi$ ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία T_θ .
2. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP.

Οι δύο αυτές παρατηρήσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας λόγω των ειδικών κλιματολογικών συνθηκών. Έχουμε ήπιο καιρό το χειμώνα με υψηλές

σχετικά θερμοκρασίες περιβάλλοντος, δυνατότητα χρήσης της ηλιακής ενέργειας βοηθητικά στην αντλία θερμότητας, κατά την διάρκεια του χειμώνα κα δυνατότητα σε ορισμένες περιπτώσεις της χρήσης της γεωθερμίας βοηθητικά στην ΑΘ.

Ο βαθμός απόδοσης

Η απόδοση της αντλίας θερμότητας επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, διότι η ενθαλπία του αέρα είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του, επομένως στις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα θα έχουμε μικρά ποσά θερμότητας από την μία ,και από την άλλη προβλήματα σωστής λειτουργίας του συστήματος, κατά τον χειμώνα.

Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας

Η κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας μπορεί να γίνει με βάση:

- Το μέσο από όπου αντλείται και το μέσο από όπου αποβάλλεται η θερμότητα.
Άρα διακρίνονται στις εξής:
Αέρα-Αέρα (A-A)
Αέρα-Νερού (A-N)
Νερού-Νερού (N-N)
Νερού- Αέρα (N-A)
Εδάφους-Αέρα (E-A)
Εδάφους- Νερού (E-N)
- Το είδος της κινητήριας μηχανής.:
Α. Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές
Β. Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κλπ)

Γ. Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

- Τη θέση των διάφορων μηχανισμών της:

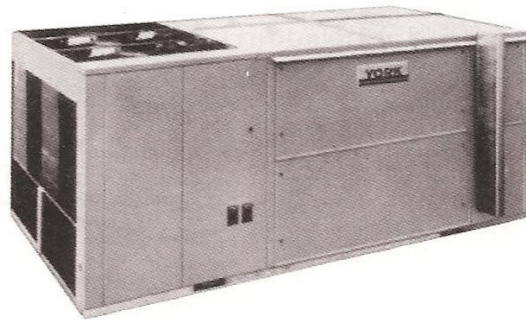
A. Ενιαίες ή αυτόνομες(Compact). Όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.

B. Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units). Ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος.

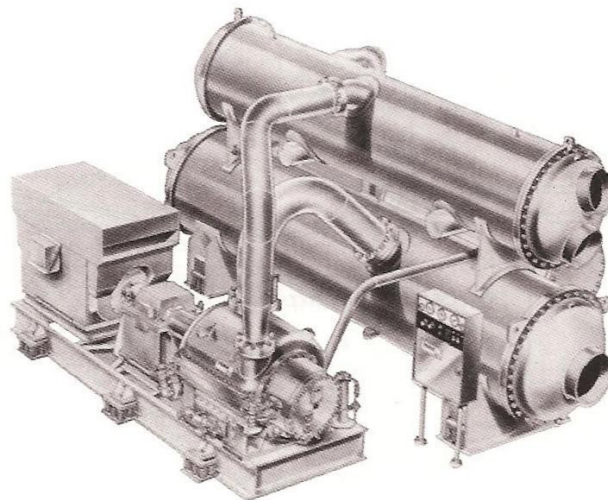
- Τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας τους:

A. Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσων προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.

B. Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου γίνεται με χρήση της τετράοδης βαλβίδας.

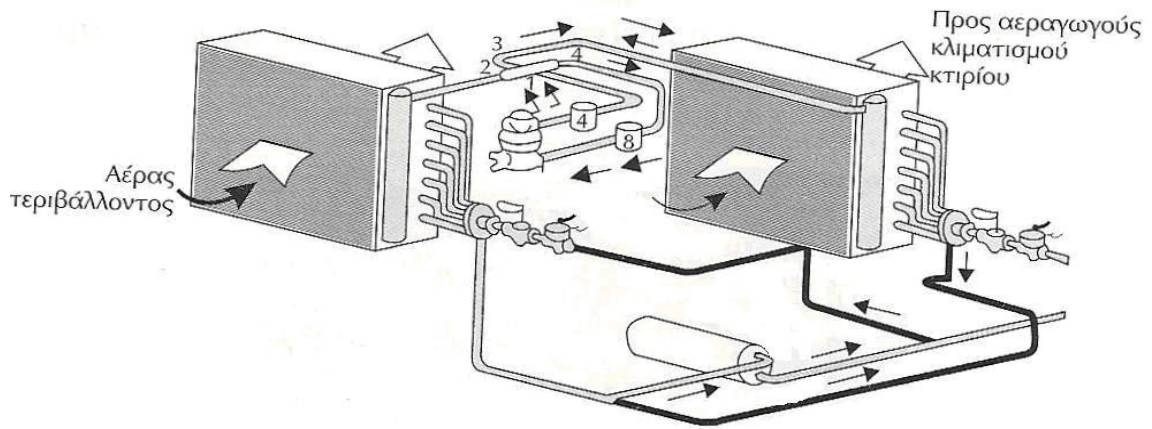


(α) Θερμαντλία αέρα-αέρα

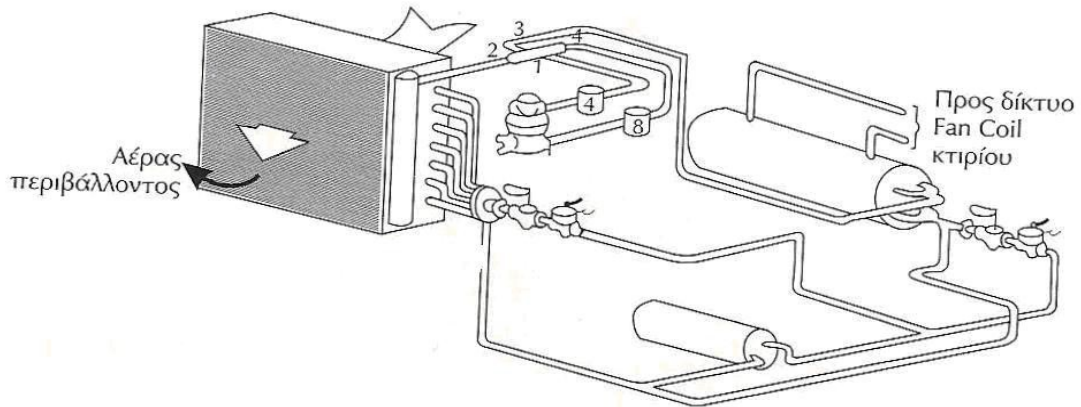


(β) Θερμαντλία νερού-νερού

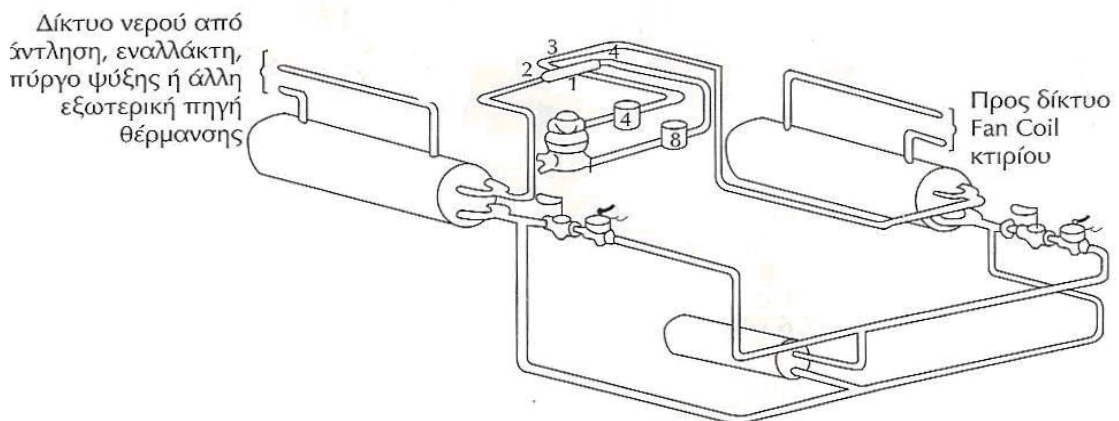
Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες από διάφορα είδη αντλιών θερμότητας.



(α) Θερμαντλία αέρα-αέρα



(β) Θερμαντλία αέρα-νερού



(γ) Θερμαντλία νερού-νερού

Σχηματική απεικόνιση αντλιών θερμότητας

Οι πηγές θερμότητας

Ο αέρας

Βασικό πλεονέκτημα της πηγής αυτής είναι ότι βρίσκεται σε αφθονία μέσα στην φύση, αλλά παρουσιάζεται πρόβλημα όταν η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή γιατί η θερμαντλία δεν έχει την δυνατότητα να αντλήσει θερμότητα από τον αέρα. Τότε χρησιμοποιείται εφεδρικό σύστημα για την κάλυψη των φορτίων αιχμής. Το εφεδρικό σύστημα μπορεί να είναι ένας λέβητας πετρελαίου ή αερίου, νυχτερινή ή ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια, κλπ.

Σημαντικό πρόβλημα είναι το πάγωμα του ατμοποιητή, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από 0-2 °C οπότε επέρχεται στερεοποίηση της υγρασίας του αέρα. Όσο αυξάνει η ποσότητα του δημιουργούμενου πάγου, τόσο μειώνεται η παροχή του αέρα που διέρχεται από τον ατμοποιητή. Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε αρχικά με την χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων που έλιωναν τον πάγο. Σήμερα πλέον η πιο γνωστή μέθοδος είναι η αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου. Με τον τρόπο αυτό όταν απαιτείται απόψυξη, η τετράοδη βαλβίδα ενεργοποιείται και μπαίνει σε λειτουργία ο ψυκτικός κύκλος, οπότε το ζεστό αέριο οδηγείται στον ατμοποιητή και λιώνει τον πάγο. Κατά την απόψυξη ο εξωτερικός ανεμιστήρας σταματά να παρέχει κρύο αέρα, με αποτέλεσμα ο συμπιεστής να αντιμετωπίζει μόνο τα φορτία του πάγου.

Το νερό

Λόγω του υψηλού κόστους χρήσης νερού από το δημόσιο δίκτυο, σε ανοιχτά κυκλώματα συχνά προτιμάται νερό από ιδιωτικές αντλήσεις. Είναι δυνατή επίσης η χρησιμοποίηση νερού λίμνης, ποταμού ή ακόμα και θάλασσας. Στην τελευταία περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ο τρόπος υδροληψίας γιατί οι θαλάσσιοι οργανισμοί μπορούν να κλείσουν τις εισόδους των σωλήνων, καθώς επίσης και γιατί μπορεί να υπάρξει αναρρόφηση άμμου, η οποία προκαλεί προβλήματα φθοράς στις

αντλίες και στους εναλλάκτες του συστήματος. Για να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ενδιάμεσο κλειστό κύκλωμα νερού σε θαλάσσιο εναλλάκτη θερμότητας. Ο εναλλάκτης αυτός μπορεί να είναι πλαστικός σωλήνας ο οποίος τοποθετείται στην θάλασσα και εναλλάσσει θερμότητα με το θαλασσίνο νερό.

Το έδαφος

Το έδαφος ως πηγή θερμότητας παρουσιάζει δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι η συντήρηση του στοιχείου και η αντιμετώπιση της διάβρωσης και των διαρροών. Το δεύτερο είναι η απαιτούμενη μεγάλη έκταση για την παραλαβή και απόρριψη της θερμότητας στο έδαφος. Οι ερευνητές τα τελευταία χρόνια προσπαθούν να αξιοποιήσουν την μεγάλη θερμοχωρητικότητα που έχει το έδαφος και γενικά ο υπεδαφικός χώρος ο οποίος λειτουργεί παράλληλα και σαν φυσικός αποθηκευτικός χώρος θερμικής ενέργειας(κυρίως ηλιογενούς προέλευσης). Αυτό δύναται να δημιουργήσει σημαντική βελτίωση στον COP της αντλίας θερμότητας.

Ο ήλιος, η γεωθερμική ενέργεια κ.α.

Είναι δυνατή η εκμετάλλευση ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας για την λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας. Χρησιμοποιούνται κυρίως συσκευές αναρρόφησης ή προσρόφησης οι οποίες χρησιμοποιούν το θερμικό περιεχόμενο των παραπάνω πηγών ενέργειας για την παραγωγή ψύχους ή θέρμανσης. Τα συστήματα αυτά έχουν αρχίσει να διαδίδονται ευρύτατα κυρίως σε μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις , ειδικά μετά την ενεργειακή κρίση και τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια.

Σύγκριση αντλιών θερμότητας με πηγή αέρα και έδαφος

Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν τον αέρα ως πηγή θερμότητας χρησιμοποιούνται πάρα πολλά χρόνια τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση, παρόλα αυτά η επάρκεια τους επηρεάζεται από τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, δηλαδή οι αντλίες θερμότητας με χρήση του εδάφους ως πηγή θερμότητας, χρησιμοποιούνται χρόνια στις ανεπτυγμένες χώρες εξαιτίας της υψηλής ενεργειακής τους απόδοσης σε σχέση με τα συμβατικά θερμικά και ψυκτικά συστήματα. Η ενεργειακή απόδοση τους εξαρτάται από τρεις κύριους παράγοντες. Πρώτων από την μηχανή της αντλίας θερμότητας, δεύτερων από τις κυκλοφοριακές αντλίες και τέλος από τα χαρακτηριστικά του εδαφικού κυκλώματος και του εδάφους. Οι γεωθερμικές αντλίες δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, καθώς η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή σε μεγάλο βαθμό κατά την διάρκεια του χρόνου. Ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και την υγρασία του, το έδαφος παρουσιάζει λίγες ή και καθόλου μεταβολές κάτω από τα 10 μέτρα.

Οι γεωθερμικές αντλίες παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τις αντλίες που έχουν ως πηγή θερμότητας το νερό, τα εξής:

1. Απορροφούν λιγότερη ενέργεια κατά την λειτουργία τους
2. Το έδαφος, η γη είναι πιο σταθερό ενεργειακά από ότι ο αέρας
3. Δεν χρειάζονται πρόσθετη θερμότητα κατά την διάρκεια χαμηλών περιβαλλοντικών θερμοκρασιών
4. Χρησιμοποιούν λιγότερο ψυκτικό
5. Έχουν πιο απλό σχέδιο και συνεπώς χρειάζονται λιγότερη συντήρηση
6. Δεν απαιτείται η μονάδα να είναι τοποθετημένη σε εξωτερικούς χώρους.

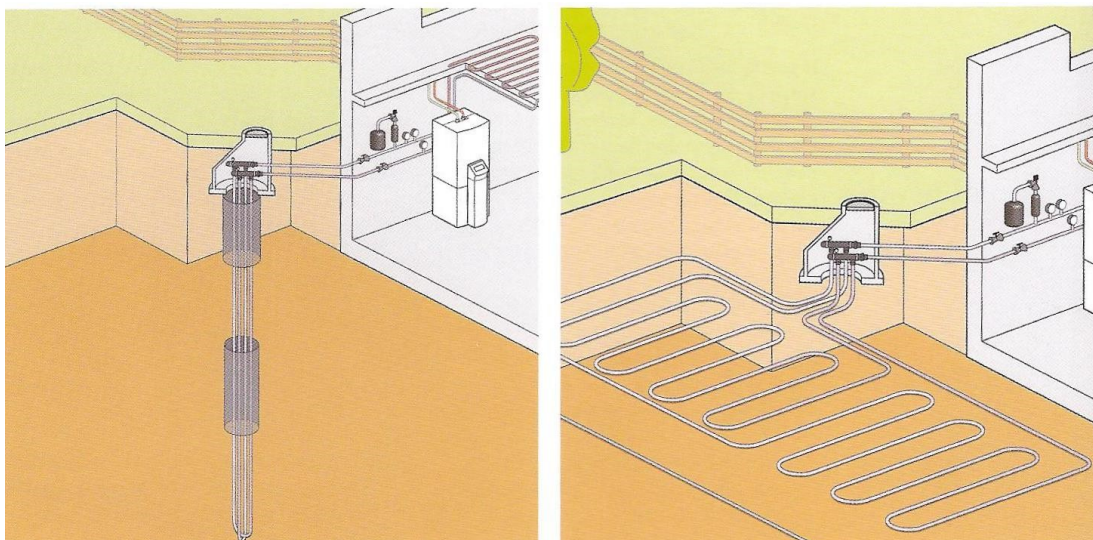
Το βασικό μειονέκτημα των γεωθερμικών αντλιών είναι το υψηλό αρχικό κόστος τους. Είναι 30-50% πιο ακριβές από τις αντλίες αέρα. Το επιπλέον αυτό κόστος προκύπτει από το «θάψιμο» των εναλλακτών θερμότητας στο έδαφος.

Παρόλα αυτά, μόλις εγκατασταθούν , το ετήσιο κόστος είναι μικρότερο κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Η εξοικονόμηση αυτή του κόστους προκύπτει από τον συντελεστή συμπεριφοράς, COP, ο οποίος είναι κατά μέσο όρο γύρω στο 3 για τις γεωθερμικές αντλίες και γύρω στο 2 για τις αντλίες που χρησιμοποιούν αέρα. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα είναι η χαμηλή ισχύς της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας.

Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Ένα από τα πρώτα βήματα , για την χρησιμοποίηση μια γεωθερμικής αντλίας, είναι ο χαρακτηρισμός του τόπου από γεωλογική άποψη και από την διαθεσιμότητα νερού στο υπέδαφος. Σημαντικό ρόλο στην λειτουργία παίζουν επίσης οι πληροφορίες γύρω από τον υδροφόρο ορίζοντα που είναι διαθέσιμος στον συγκεκριμένο μέρος, η ικανότητά του να δώσει νερό, το βάθος που βρίσκεται το νερό, η γεωλογία, το βάθος του βραχώδους υποστρώματος και η φύση του εδάφους και του πετρώματος. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν τους σχεδιαστές για την σωστή επιλογή του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων με γεωθερμικές αντλίες: τα ground coupled (κλειστός βρόγχος) και τα συστήματα με πηγή το νερό(water-source,ανοιχτού κυκλώματος). Τα Ground coupled συστήματα χρησιμοποιούνται στη βόρεια Ευρώπη πολλά χρόνια, αλλά δεν χρησιμοποιούνταν σε εμπορική βάση στις Η.Π.Α. μέχρι το 1980. Χρησιμοποιούνται σε μέρη όπου δεν είναι διαθέσιμο νερό πηγής , και όπου η δημιουργία πηγαδιού είναι ακριβή . Στου οριζοντίου τύπου ground coupled συστήματα, οι σωλήνες είναι θαμμένοι σε βάθος 1,2-1,8 μέτρα. Αυτό επιτρέπει την ύπαρξη της μικρότερης «παρεμβολής» μεταξύ των σωλήνων. Παρόλα αυτά το σύστημα αυτό επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία.



Εφαρμογές Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας

Χρήση των γεωθερμικών αντλιών

Οι γεωθερμικές αντλίες έχουν την μεγαλύτερη ανάπτυξη από το 1995, σχεδόν 59 ή 9,7 % ετησίως στις Η.Π.Α. και την Ευρώπη. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 6850 MW και ετησίως 26 χώρες καταναλώνουν 23,214TJ/ χρόνο. Το ακριβές νούμερο των εγκατεστημένων μονάδων είναι περίπου 500,000 το 2000. Εκτιμάται επίσης ότι υπάρχουν πάνω από ένα εκατομμύριο εγκατεστημένες σήμερα..

Παγκοσμίως οι γεωθερμικές αντλίες ανέρχονται στο 12% της γεωθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται απευθείας, υπολογίζοντας ότι φτάνουν τα 16.500 TJ (4580 GWh) ετησίως. Στην Ευρώπη και κυρίως στην Γερμανία, στην Αυστρία και την Ελβετία έχει αυξηθεί επίσης η χρήση των γεωθερμικών αντλιών.

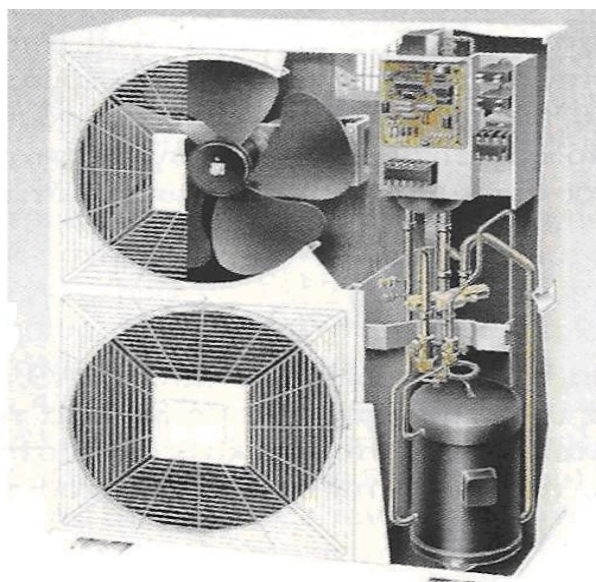
Εφαρμογές Αντλιών Θερμότητας

1. Διμερής μονάδα θερμαντλίας (split Unit)

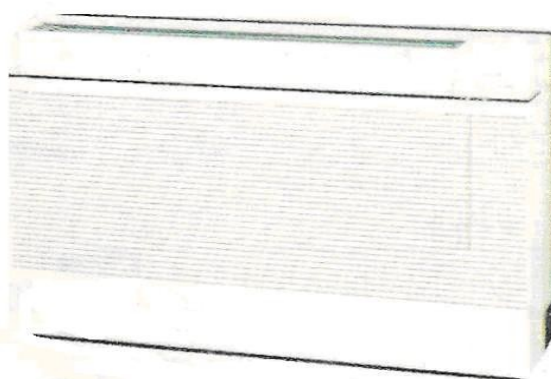
Στο σύστημα αυτό ο συμπυκνωτής και ο ατμοποιητής αποτελούν ξεχωριστές και ανεξάρτητες μονάδες, οι οποίες τοποθετούνται σε δυο διαφορετικούς χώρους που δεν επικοινωνούν.

Αν αυτή η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε κύκλωμα ψύξης(το καλοκαίρι) , ο συμπυκνωτής βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο. Ο ατμοποιητής μπορεί να έχει δύο μορφές, την μορφή δαπέδου ή τη μορφή τοίχου. Ο χώρος που λειτουργούν αυτές οι δύο μορφές είναι ο ψυχόμενος χώρος. Οι δυο ανεξάρτητες μονάδες του Split Unit (δηλαδή ο συμπυκνωτής και ο ατμοποιητής) επικοινωνούν μέσω των σωλήνων κυκλοφορίας ψυκτικού μέσου καθώς και με τα καλώδια τροφοδοσίας ηλεκτρισμού και ελέγχου λειτουργίας.

Όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω το χειμώνα ο ρόλος αυτών των δύο μονάδων αντιστρέφεται και θερμαίνεται ο χώρος.



1. Εσωτερικό τμήμα θερμαντλίας διμερούς τύπου



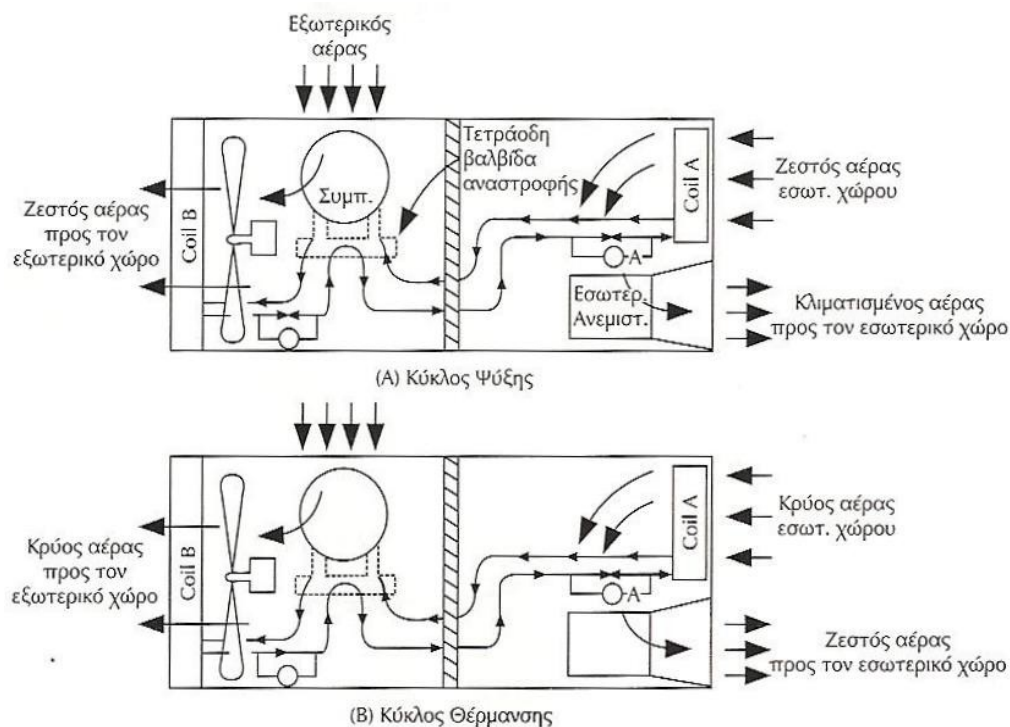
2. Εξωτερικό τμήμα θερμαντλίας διμερούς τύπου

2. Εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση Α.Θ.

Παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σύγκρισης μιας αντλίας θερμότητας με μια απλή ηλεκτρική θερμάστρα για να δούμε το μέγεθος της εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια θερμαντλία η οποία λειτουργεί με ψυκτικό μέσο R-22 και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια ίση με 763 Watt, απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον ίση με 2676 Watt και αποδίδει στον θερμαινόμενο χώρο, ενέργεια ίση με 3439 Watt. Η απόδοση της θερμικής ενέργεια στον εσωτερικό χώρο γίνεται με την βοήθεια του συμπυκνωτή. Η αντλία θερμότητας έχει συντελεστή συμπεριφοράς

Η ηλεκτρική ενέργεια, που καταναλώνεται από την Α.Θ., πενταπλασιάζεται όταν μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια με τη βοήθεια της θερμαντλίας. Η οικονομία ρεύματος είναι εμφανής, όταν συγκριθεί το σύστημα Α.Θ. με μια απλή θερμάστρα, η οποία στην περίπτωση του παραδείγματος θα κατανάλωνε 3439 W.

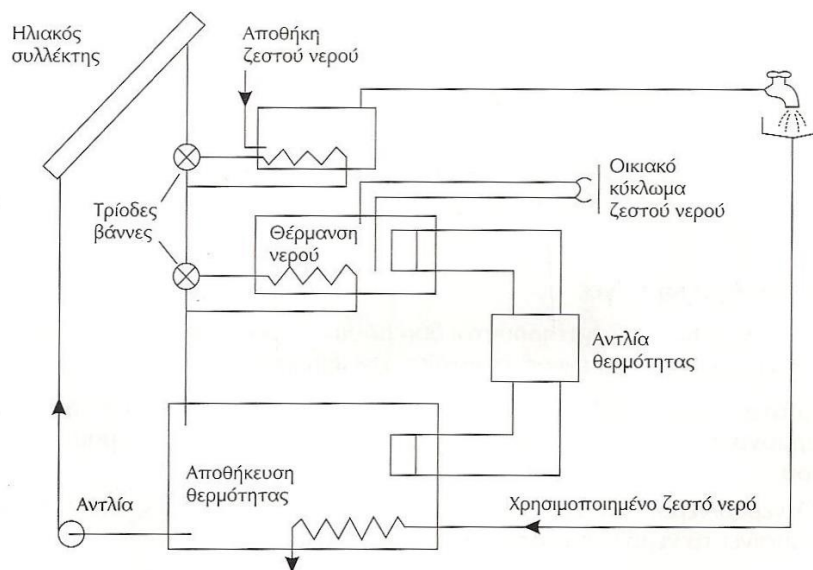


Σχηματική παράσταση Αντλίας Θερμότητας ενιαίου τύπου

3. Ένταξη των Αντλιών Θερμότητας σε συστήματα ηλιακών συλλεκτών

Υπάρχουν δυο βασικοί τρόποι συνδυασμού Α.Θ. και ηλιακών συλλεκτών:

- Χρησιμοποίηση της αντλίας θερμότητας σαν τμήμα ενός συστήματος θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια, όπου η αντλία λειτουργεί μόνο όταν η απόδοση των συλλεκτών δεν είναι επαρκής. Όταν η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη από τη ζήτηση αποταμιεύεται ενέργεια (θέρμανση νερού σε ειδικές δεξαμενές).
- Ενίσχυση της αντλίας θερμότητας από σύστημα συλλογής και αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας. Αντλείται θερμότητα από τον ήλιο και χρησιμοποιείται για θέρμανση νερού σε θερμοκρασίες χρήσιμες για θέρμανση. Κατά την χρησιμοποίηση του ζεστού νερού, η θερμοκρασία του ελαττώνεται μέχρις ότου φτάσει σε σημείο που είναι άχρηστη για θέρμανση (κάτω των 35-40 °C), στο οποίο αρχίζει να λειτουργεί η αντλία θερμότητας νερού-νερού, η οποία κατεβάζει χαμηλότερα τη θερμοκρασία του νερού που βρίσκεται στο δοχείο 5°C περίπου), αντλώντας τη θερμότητα που περιέχεται στο νερό. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας και εξοικονομείται ενέργεια.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΥΟ

Ηλιακή Ενέργεια

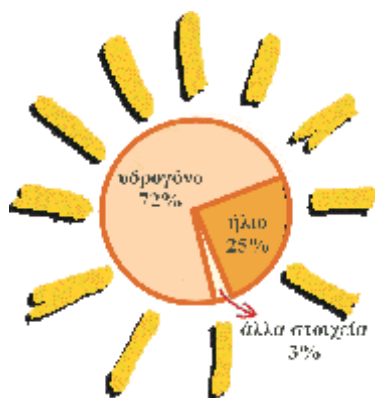
Εισαγωγή

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας ημερησίως. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους. Θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Αυτή η τεχνολογία που εμφανίστηκε στις αρχές του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ έχει μειώσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού με αυτόν τον τρόπο από \$300 σε \$4 το Watt. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές.

Ο Ήλιος

Όπως ξέρουμε ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Ο Ήλιος (εκ του αβέλιος - αέλιος - ηέλιος = ο ακτινοβολών, ο πυρπολών) είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους που λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών των στοιχείων που τον συνθέτουν, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, τα μόρια αλλά και τα άτομά τους βρίσκονται σε μια κατάσταση " νέφους " θετικών και αρνητικών φορτίων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάστηκε.

Σ' αυτές τις θερμοκρασίες, μερικών εκατομμυρίων °C, οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου (H) συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση -σύντηξη πυρήνων- είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. αν και αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ.

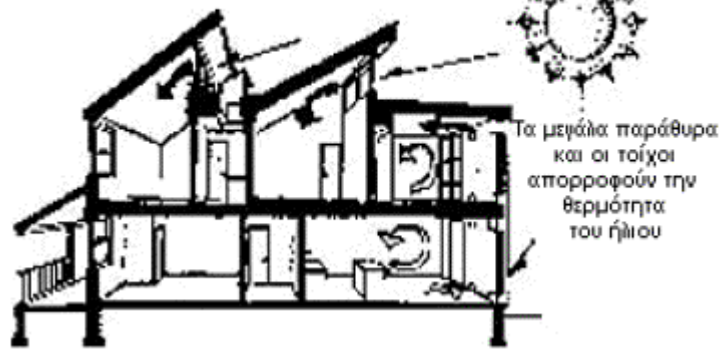


Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

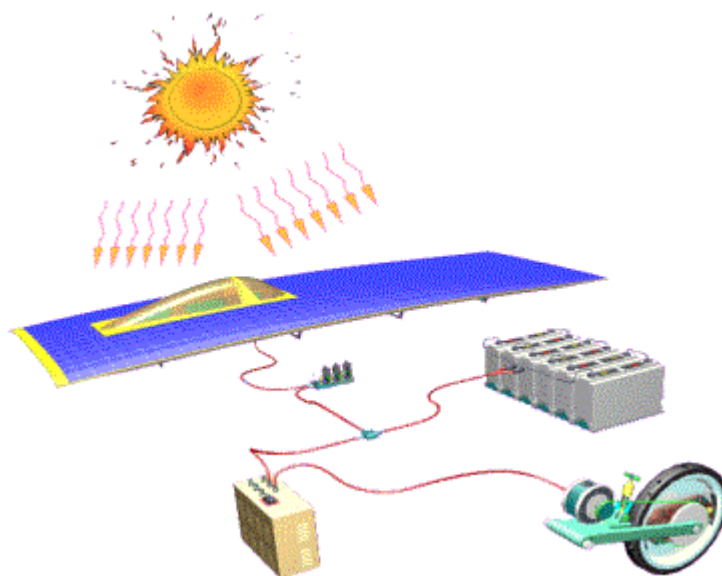
1. Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται ενεργητικά ηλιακά συστήματα.
2. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, Δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτηρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτηρίων το χειμώνα είτε για το δρόσισμα τους το καλοκαίρι.

Θέρμανση από τον ήλιο τον χειμώνα



3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Θα αναπτύξουμε παρακάτω μόνο τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, καθώς σε αυτά ανήκει ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε.



Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε

κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.



Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας είναι περίπου 2.800.000 m² (στοιχεία 2001). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται

θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια. Τα Παθητικά Συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
- Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
- Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑ

Ηλιακά Υποβοηθούμενες Αντλίες Θερμότητας

Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες από διάφορους ερευνητές με θέμα τον σχεδιασμό, και την λειτουργία των ηλιακά υποβοηθούμενων αντλιών θερμότητας ή όπως ονομάζονται στα αγγλικά Solar Assisted Heat Pump Systems (SAHPSs). Οι μελέτες που έγιναν κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω ομάδες:

- α) στις ηλιακά υποβοηθούμενες αντλίες θερμότητας για ζεστόμα νερού,
- β) στις ηλιακά υποβοηθούμενες αντλίες θερμότητας με αποθήκευση για θέρμανση χώρου (conventional type)
- γ) στις ΗΥΑΘ με άμεση διαστολή για θέρμανση χώρου και
- δ) στις ΗΥΑΘ που έχουν πηγή ενέργειας το έδαφος και χρησιμοποιούνται για την θέρμανση θερμοκηπίου .Αυτές οι αντλίες θερμότητας είναι γνωστές και με το όνομα γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

Μελέτες γύρω από την Ενεργειακή Ανάλυση Ηλιακά Υποβοηθούμενων Αντλιών Θερμότητας

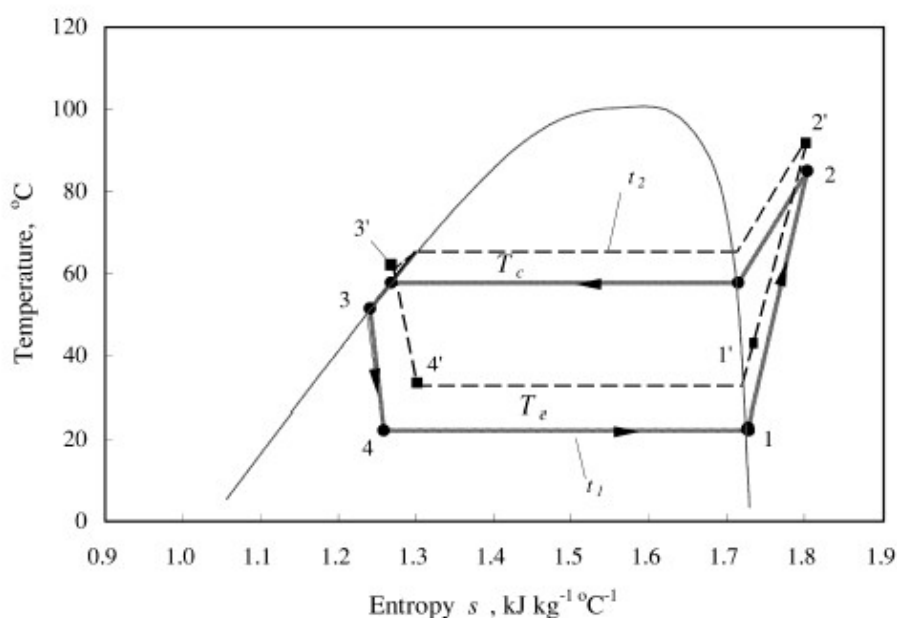
Την τελευταία δεκαετία ένα μεγάλο μέρος μελετών έχει αφιερωθεί από μερικούς μελετητές στον σχεδιασμό και την δοκιμή συστημάτων με Η.Υ.Α.Θ, και όπως αναφερθήκαμε παραπάνω οι μελέτες αυτές έγιναν για τις τέσσερις διαφορετικές ομάδες Η.Υ.Α.Θ.

A) Η.Υ.Α.Θ. για θέρμανση ποσότητας νερού

Ο **Chatuverdi** εξέτασε ηλιακά υποβοηθούμενες αντλίες θερμότητας άμεσης εκτόνωσης, οι οποίες παρέχουν ζεστό νερό για οικιακή χρήση. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν ηλιακό συλλέκτη, ο οποίος δρα επίσης και ως ατμοποιητής . Τα πειραματικά αποτελέσματα που βρήκε ο Chatuverdi δείχνουν ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά μειώνοντας την ταχύτητα συμπύκνωσης καθώς η θερμοκρασία περιβάλλοντος ανεβαίνει τους καλοκαιρινούς μήνες.

Οι **Huang** και **Chyng** μελέτησαν τα χαρακτηριστικά μιας εσωτερικού τύπου ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας –integral-type- assisted heat pump(ISAHP) .Το σύστημά τους αποτελείται από ένα ψυκτικό κύκλο Rankine και ένα βρόγχο με θερμοσίφωνο(thermosyphone loop).

B. J. Huang and J. P. Chyng



Η ηλιακή ενέργεια καθώς και η ενέργεια που προέρχεται από τον αέρα του περιβάλλοντος απορροφούνται από τον συλλέκτη/ατμοποιητή και αντλούνται στην

αποθηκευτική δεξαμενή μέσω του ψυκτικού κύκλου Rankine και του εναλλάκτη θερμότητας, δηλαδή του θερμοσίφωνου. Το νερό απορροφά θερμότητα από τον συμπυκνωμένο ατμό του ψυκτικού κύκλου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται φυσική κυκλοφορία μέσα στο θερμοσίφωνο.

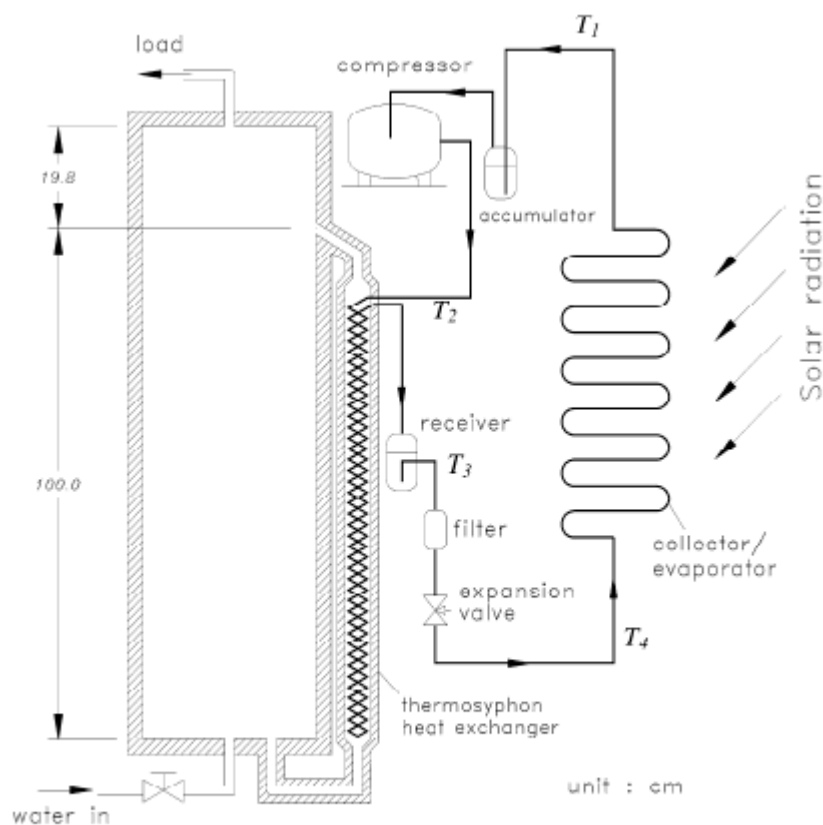


Fig. 5. Schematic diagram of integral-type solar assisted heat pump.

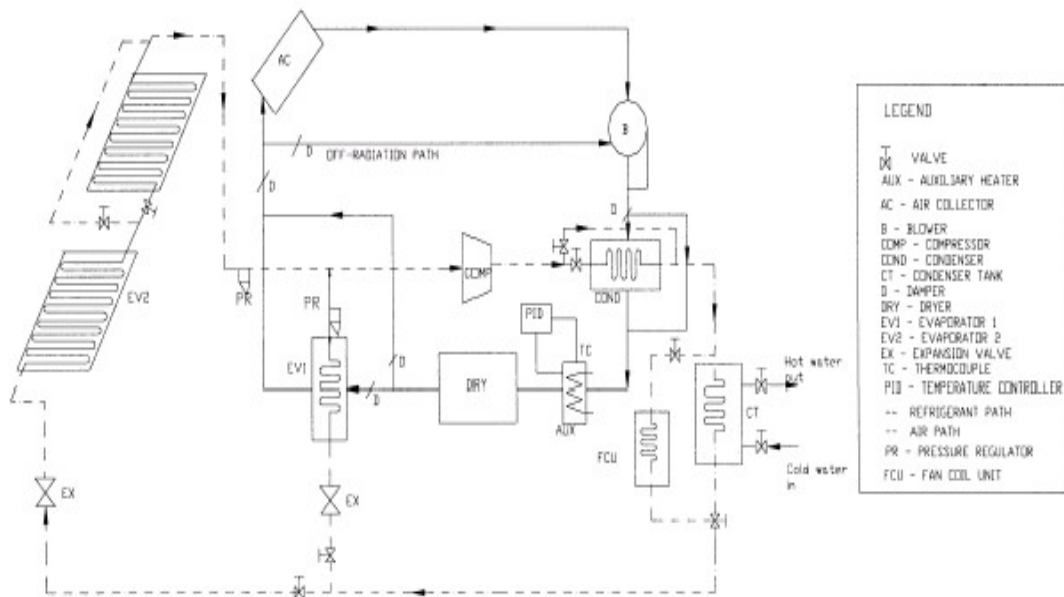
Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μια δεξαμενή 105 λίτρων, ένα «γυμνό» ηλιακό συλλέκτη και έναν ανταποδοτικού τύπου συμπυκνωτή με ψυκτικό μέσο το R 134a ισχύς 250 W. Από τα πειράματα βρήκαν ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι μεταξύ 2,5-3,7 ανάλογα με την θερμοκρασία του νερού. Ο μέγιστος COP ήταν 3,83.

Ο Chyng μελέτησε ένα μοντέλο προσομοίωσης μιας ISAHP. Στην προσομοίωση αυτή θεώρησε ο Chyng μια ημισταθερή διαδικασία για όλα τα στοιχεία του συστήματος εκτός από την δεξαμενή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για ακαριαία απόδοση συμφωνούν πολύ καλά με αυτά του πειράματος. Η διαδικασία αυτή έγινε για να αναλυθεί η καθημερινή συμπεριφορά μιας ISAHP για ένα χρόνο.

Φάνηκε ότι ο καθημερινός ολικός συντελεστής συμπεριφοράς ήταν μεταξύ 1,7-2,5, εξαρτώμενος από την εποχή και τις καιρικές συνθήκες. Οι τιμές του ήταν υψηλότερες από 2,0 το περισσότερο μέρος του χρόνου και ο κατά μέσος χρόνος λειτουργίας την ημέρα ήταν 4 με 8 ώρες. Επίσης σε αυτή την μελέτη εξετάστηκε και η γραμμική προσαρμογή της βαλβίδας διαστολής. Η ανάλυση έδειξε ότι οι εκτονωτικές συσκευές δεν χρειάζονται online έλεγχο.

Ο **Hyang** και ο **Lee** έκαναν ένα έλεγχο αξιοπιστίας για ένα μεγάλο διάστημα. Το πρωτότυπο που χρησιμοποίησαν δούλεψε συνεχόμενα πάνω από 13.000 ώρες και με συνολικό χρόνο λειτουργίας πάνω από 20.000 ώρες κατά τη διάρκεια 5 χρόνων. Η μετρούμενη συνολική κατανάλωση ήταν 0,019 kWh/l ζεστού νερού στους 57 °C, η οποία ήταν μικρότερη από την ηλεκτρική κατανάλωση ενός συμβατικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης.

Ο **Hawlader** σχεδίασε, κατασκεύασε και έλεγξε μια H.Y.A.Θ. για θέρμανση και ξήρανση νερού. Μελέτησε μαζί με την ομάδα του την συμπεριφορά του συστήματος κάτω από διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες στην Σιγκαπούρη. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα ανταποδοτικό συμπιεστή μεταβλητής ταχύτητας, έναν συλλέκτη-ατμοποιητή, μια δεξαμενή αποθήκευσης, έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή, έναν βοηθητικό θερμαντή, έναν ξηραντήρα, έναν φυσερό (φουσητήρα), έναν αφυγραντή και ένα συλλέκτη αέρα. Το σύστημα ξήρανσης σχεδιάστηκε έτσι ώστε κάποια από τα στοιχεία του να μπορούν να απομονωθούν ανάλογα με τις συνθήκες του καιρού και τον τρόπο χρήσης του συστήματος. Το ξηραντικό μέσο που χρησιμοποίησε είναι ο αέρας και το ξηραντήριο σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μεταφέρει μια φουρνιά ξηρών κόκκων φαγητού. Επίσης δημιούργησαν και ένα πρόγραμμα προσομοίωσης με χρήση της Fortran ως γλώσσα προγραμματισμού, για να εκτιμήσουν την απόδοση του συστήματος και την επίδραση των διαφόρων μεταβλητών στο σύστημα. Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς που προήλθαν από το πείραμα και από την προσομοίωση ήταν 5 και 7 αντίστοιχα, ενώ οι τιμές του Solar Fraction (SF) ήταν 0,61 και 0,65 αντίστοιχως.



B) Η.Υ.Α.Θ. με εναποθήκευση για θέρμανση χώρου (συμβατικοί τύποι)

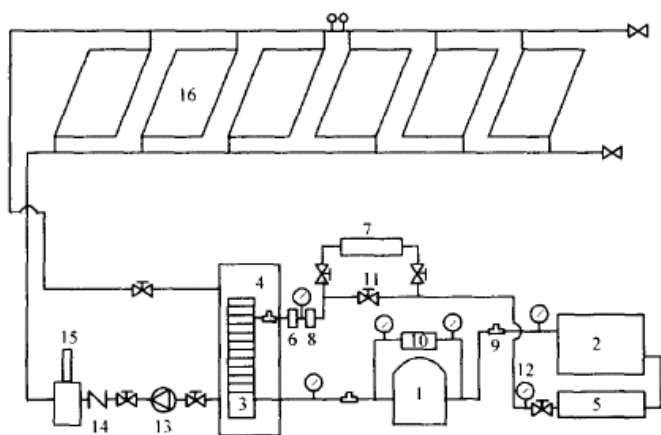
Ο **Badescu** μελέτησε ένα μοντέλο μιας μηχανής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ενσωματώνοντας την σε μια ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας για θέρμανση χώρου. Ανακάλυψε ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας και η αποδοτικότητα της εξέργειας μειώνονται όταν αυξάνεται το μήκος της μονάδας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Επίσης, η μηνιαία, θερμική ενέργεια που αποθηκεύεται από αυτή τη μονάδα και η μηνιαία ενέργεια που απαιτείται για να κινήσει τον συμπιεστή της αντλίας θερμότητας αυξάνονται όταν αυξάνεται το μήκος της μονάδας. Παρόλα αυτά, τα αρχικά του αποτελέσματα έδειχναν ότι η χρήση φωτοβολταϊκών κατόπτρων μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που απαιτείται από τον συμπιεστή, αν δεν μπορεί να υπάρξει ένα ηλεκτρικό σύστημα.

Ο **Kaygusuz** εξέτασε τη συμπεριφορά ενός ηλιακά υποβοηθούμενου συστήματος αντλίας θερμότητας όπου η αποθήκευση ενέργειας γίνεται με υλικά αλλαγής φάσης (phase change material) στην περιοχή Trabzon της Τουρκίας. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν τους μήνες Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο για δύο θερμικά συστήματα. Από τα πειράματά του φαίνεται ότι το παράλληλο σύστημα θέρμανσης με αντλία θερμότητας κέρδισε περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το εν σειρά

σύστημα, διότι το πρώτο χρησιμοποιεί τον αέρα και τον ήλιο ως πηγή θερμότητας για τον ατμοποιητή ενώ το εν σειρά σύστημα χρησιμοποιεί μόνο την ηλιακή ενέργεια.

Οι **Yamankaradeniz** και **Horyz** ερεύνησαν τα χαρακτηριστικά μιας Η.Υ.Α.Θ. θεωρητικά και πειραματικά για «καθαρές» μέρες για 7 μήνες την χειμερινή περίοδο, στην Κωνσταντινούπολη. Δημιούργησαν ένα θεωρητικό μοντέλο και ένα πρόγραμμα . Η μέση καθημερινή αποδοτικότητα του συλλέκτη, η ηλιακή ακτινοβολία, η μέση μηνιαία μεταφορά θερμότητας στον συμπυκνωτή, η μέση μηνιαία ψυκτική ικανότητα και ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι οι παράγοντες που εξέτασαν.

Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



- | | | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1. Compressor | 6. Expansion valve | 11. By-pass line |
| 2. Condenser | 7. Drier | 12. Manometer |
| 3. Evaporator | 8. Solenoid valve | 13. Water pump |
| 4. Storage tank | 9. Thermocouple connection | 14. Check valve |
| 5. Receiver | 10. Low and high pressure regulator | 15. Rotameter |
| | | 16. Solar collector |

FIG. 1
Experimental setup

Ο **Π. Αξιάπουλος**, ο **Π. Παναγάκης** και ο **Σ.Κυρίτσης** συνέκριναν πειραματικά μια Η.Υ.Α.Θ. με ένα τυπικό ηλιακό σύστημα με θερμοσίφωνο ανοικτού

κυκλώματος. Οι πειραματικές τους μελέτες έγιναν από το 1993 μέχρι το 1997 κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα. Κατέληξαν στο εξής συμπέρασμα μέσα από τα πειράματα που έκαναν: είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί μόνο μια παράμετρος που να χαρακτηρίζει την επίδοση του συστήματος, καθώς υπάρχουν διαφορετικές πηγές ενέργειας ανάλογα με την χρήση και επίσης καμιά παράμετρος δεν θεωρείται περισσότερο ή λιγότερο σημαντική από κάποια άλλη. Επίσης ότι οι επιδόσεις του ηλιακού θερμοσιφωνικού συστήματος επηρεάζονται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες, ενώ το σύστημα της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά σχεδόν με όλες τις καιρικές συνθήκες.

Στην Ελλάδα είναι γνωστό ότι για το ζεστό νερό οικιακής χρησιμοποιούνται κυρίως ηλεκτροβόροι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες και μικρό ποσοστό νοικοκυριών χρησιμοποιεί ηλιακούς θερμοσίφωνες και ένα άλλο μικρότερο ποσοστό χρησιμοποιεί δεξαμενή θερμότητας σε συνδυασμό με λέβητα πετρελαίου. Όλοι σχεδόν οι ηλιακοί θερμοσίφωνες διαθέτουν ηλεκτρική αντίσταση μέσα στην δεξαμενή για τις ημέρες που η ηλιακή ακτινοβολία έχει χαμηλή ή μηδενική τιμή (πλήρης συννεφιά). Έτσι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, που ένα σημαντικό της ποσοστό προέρχεται από εισαγόμενο πετρέλαιο, στην περίπτωση μάλιστα των νησιών μας προέρχεται εξ ολοκλήρου από πετρέλαιο, υποβαθμίζεται μετατρεπόμενη σε θερμότητα. Επομένως για ένα ποσοστό του έτους, που εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες και γενικά οι ηλιακοί συλλέκτες δεν αποδίδουν θερμότητα, ελαττώνοντας έτσι την ετήσια παραγωγικότητα τους με μια αρνητική επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα του ηλιακού συστήματος.

Πρόσφατα αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αντλία θερμότητας σε συνδυασμό με ηλιακό συλλέκτη για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ο συνδυασμός αυτός έχει σκοπό να βελτιώσει τις επιδόσεις και των δυο τμημάτων αφού οι θερμοκρασίες λειτουργίας (5-40 °C) είναι αφ' ενός μεν χαμηλές για τον ηλιακό συλλέκτη αφ' ετέρου δε υψηλές για την αντλία θερμότητας. Πράγματι οι χαμηλές θερμοκρασίες για τον ηλιακό συλλέκτη έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσής του, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες για την αντλία θερμότητας δίνουν καλύτερο COP.

Αντικείμενο της εργασίας τους ήταν η λήψη και επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων και από τα δύο συστήματα, χρησιμοποιώντας υπολογιστή, με σκοπό τη σύγκριση των πειραματικών τους αποδόσεων για διαφορετικές καιρικές συνθήκες.

Η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας αποτελείται , κυρίως, από έναν ηλιακό απορροφητήρα χωρίς επικάλυψη και μόνωση, ένα μικρής ονομαστικής ισχύς συμπιεστή , μια μονωμένη δεξαμενή θερμότητας κατακόρυφη και ένα συμπυκνωτή. Ο απορροφητήρας είναι 2 m² και η δεξαμενή έχει χωρητικότητα 160 λίτρα.

Το ηλιακό θερμοσιφωνικό σύστημα είναι ένα ανοιχτού κυκλώματος εμπορικό προϊόν και αποτελείται από τρεις επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες παράλληλα συνδεδεμένους καθώς και μια μονωμένη δεξαμενή θερμότητας κατακόρυφη. Η συνολική επιφάνεια των ηλιακών είναι 4 m² και η δεξαμενή έχει χωρητικότητα 160 λίτρα.

Στο τέλος της κάθε μέρας κάνανε απομάστευση του θερμού νερού και από τις δυο δεξαμενές ενώ ταυτόχρονα γεμίζονταν με κρύο νερό έτσι ώστε με την έναρξη της επόμενης μέρας να έχουν την ίδια θερμοκρασία.

Ο **Kuang** και η δική του ομάδα μελέτησαν σε μια πειραματική διάταξη την επίδοση μιας Η.Υ.Α.Θ. και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η δεξαμενή αποθήκευσης της θερμότητας είναι ένα πολύ σημαντικό συστατικό στα θερμικά ηλιακά συστήματα, το οποίο μπορεί να προσαρμόσει την απόκλιση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και του θερμικού φορτίου. Σε αυτό το σύστημα, η θερμοκρασία της δεξαμενής ήταν κοντά με αυτή του αέρα του περιβάλλοντος χώρου με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον να είναι πολύ μικρές. Σαν αποτέλεσμα, η καλή μόνωση της δεξαμενής νερού δεν είναι κρίσιμη. Μια βοηθητική πηγή ενέργειας είναι απαραίτητη για το σύστημα αυτό. Ύστερα από ανάλυση και επίδειξη, η χρήση βοηθητικής θέρμανσης μέσα στη δεξαμενή έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας εξαιτίας της μεγάλης απώλειας θερμότητας από την δεξαμενή και συνεπώς η βοηθητική ενεργειακή κατανάλωση είναι υψηλότερη. Η χρήση της βοηθητικής πηγής θερμότητας στο σημείο που έχουμε μέγιστο φορτίο είναι από οικονομικής πλευράς εφικτό.

Γ.) Η.Υ. Α. Θ. με άμεση εκτόνωση για μελέτες θέρμανσης χώρου

Οι **Torre- Reyes** και **Cervantes de Gortari** μελέτησαν θεωρητικά και πειραματικά μια Η.Υ.Α.Θ. με άμεση εκτόνωση του ψυκτικού μέσου μέσα στον ηλιακό συλλέκτη και έκαναν μια θερμοδυναμική βελτίωση του. Η μέγιστη ενεργειακή αποδοτικότητα, η οποία καθορίζεται ως ο λόγος της εξερχόμενης προς την εισερχόμενη ενεργειακή ροή για κάθε στοιχείο του θερμικού κύκλου της αντλίας, προσδιορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές παραμέτρους και τους συντελεστές συμπεριφοράς των επιμέρους στοιχείων του συστήματος.

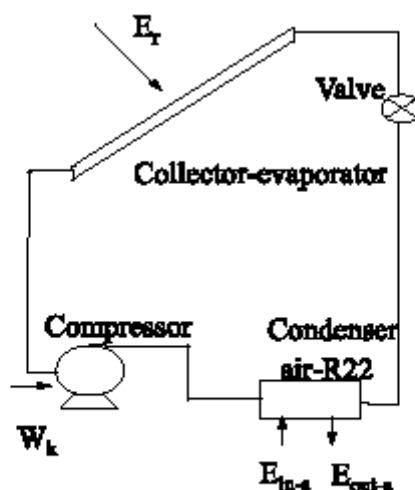


Fig. 1. Schematic diagram of the solar assisted heat pump.

Ο **Chaturverdi** και ο **Aziz** έκαναν μελέτες γύρω από τη θερμοδυναμική ανάλυση της δυναμικής ροής στον ηλιακό συλλέκτη για εφαρμογή σε Η.Υ.Α.Θ. άμεσης εκτόνωσης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι αλλαγές στον ρυθμό της κύριας ροής και στην ροή της απορροφούμενης ηλιακής θερμότητας έχουν σημαντική επίδραση στο μήκος του αγωγού του συλλέκτη και στον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του ψυκτικού μέσου. Μεταβολές στην εσωτερική διάμετρο του αγωγού και στην πίεση του συλλέκτη έχουν ασήμαντη επίδραση στο μέγεθος του συλλέκτη, αλλά σημαντική στον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του ψυκτικού μέσου. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την μελέτη μπορεί εύκολα να επεκταθεί για την ενσωμάτωση του μεγέθους του συλλέκτη με την χωρητικότητα της θερμότητας που παράχθηκε από τον συμπιεστή.

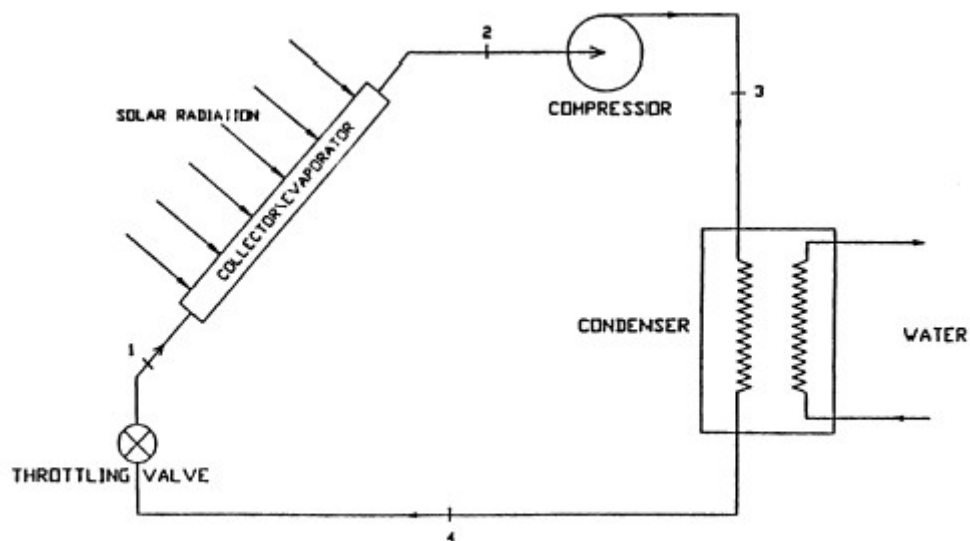
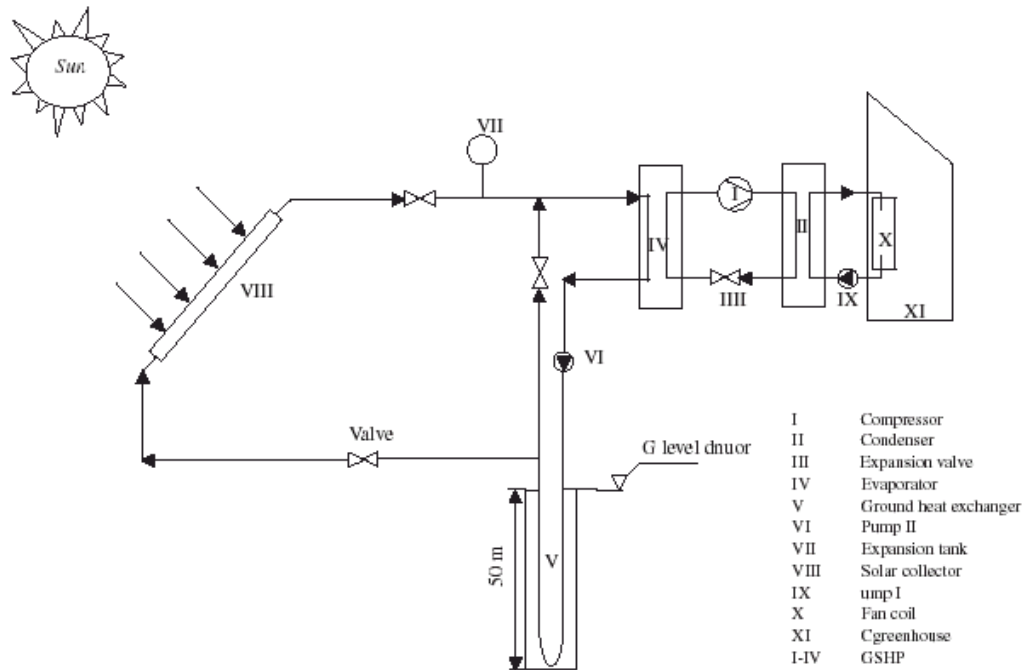


Fig. 1. Schematic diagram of a basic solar-assisted heat pump.

Δ) Ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας με πηγή θερμότητας το έδαφος για θέρμανση θερμοκηπίου

Οι **Onder Azgener** και **Arif Hepbasli** έκαναν μια μελέτη πάνω σε αυτές τις αντλίες θερμότητας . Εγκατέστησαν έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη κατευθείαν στο κύκλωμα του εδάφους για να προσφέρουν πρόσθετη θερμότητα στην θερμότητα του υγρού. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μειώσουν το απαιτούμενο μέγεθος του συστήματος και να αυξήσουν την επίδοση της αντλίας θερμότητας επειδή παρέχουν υψηλότερη θερμοκρασία στο μετακινούμενο υγρό. Στην μελέτη τους ασχολήθηκαν με την θέρμανση θερμοκηπίων ενώ οι παλιότερες μελέτες ασχολούνταν μόνο με θέρμανση ποσότητας νερού και θέρμανση κατοικιών.



Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης. Το σύστημα αποτελείται κυρίως από τρία ξεχωριστά κυκλώματα:

1. το κύκλωμα του εδάφους με τον ηλιακό συλλέκτη(κύκλωμα αλμυρού νερού ή νερό με αντιψυκτικό)
2. το ψυκτικό κύκλωμα(ή αντιστρεπτό κύκλωμα συμπίεσης με ατμό)
3. το κύκλωμα ανεμιστήρα- σπείρα για την θέρμανση του θερμοκηπίου.

Επίσης αποτελείται από ένα συμπιεστή 1,4 kW κινούμενο με ηλεκτρικό ρεύμα, έναν συμπυκνωτή 6,66 kW, έναν ατμοποιητή 8,2 kW, μια συσκευή διαστολής, η οποία αποτελείται από τριχοειδή αγωγούς με μήκος 1,5 μέτρα και εσωτερική διάμετρο 1,5 χιλιοστό.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των επιμέρους στοιχείων του συστήματος παραθέτονται σε πίνακα παρακάτω, όπου οι αριθμοί στην παρένθεση αντιστοιχούν σε αυτούς της παραπάνω φωτογραφίας. Η μετατροπή από τον θερμικό κύκλο στον ψυκτικό κύκλο γίνεται με μια τετράοδη βαλβίδα. Για αποφυγή παγώματος του νερού τον χειμώνα, χρησιμοποιείται ένα μίγμα με 10% αιθύλιο και γλυκόλη κατά βάρος. Το ψυκτικό κύκλωμα κατασκευάστηκε σε κλειστό βρόγχο με χάλκινους αγωγούς.

Name of university (City)	Year built	Type of GSHP system	Heat pump capacity (kW)
Middle East Technical University (Ankara) [64]	1986	A single pipe-horizontal heat pump system for the heating only with R-12; 10 m of ground coil at 1.5 m depth with a spacing of 0.6 m; COP: 1.1–1.3.	0.95
Ataturk University (Erzurum) [65,66]	1999	A water-to-water geothermal heat pump system for the heating only with R-22; an actual COP value of 2.8; geothermal water inlet/outlet temp. 35/30 °C at a mass flow rate of about 0.3 kg/s.	7.02
Ege University (Izmir)	2000	A GSHP system for both heating and cooling with a vertical-single U-bend heat exchanger; 4½ in. of a bore diameter with a boring depth of 50 m; an actual COP value of 1.7.	5.20
Firat University (Elazig) [72,73]	2002	A GSHP system with two horizontal heat exchangers (HHEs), for both heating and cooling with R-22; average COP values of the system with 2.66 and 2.81 for HHEs at 1 m and 2 m depths respectively.	2.55
Ege University (Izmir) [55–59]	2003	A SAGSHPGHS for both heating and cooling with a vertical-single U-bend heat exchanger; 4½ in. of a bore diameter with a boring depth of 50 m. R-22; an actual heating COP value of 3.14. The exergy actual heating COP value of 3.14. The exergy efficiency values for the GSHP unit and the whole system on a product/fuel basis are obtained to be 71.8 and 67.7%, respectively.	5.20

Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε είναι το R-22. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στο Ηλιακό Ενεργειακό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου του Έγε στην Τουρκία. Το ηλιακό θερμοκήπιο ήταν τοποθετημένο στη νότια κατεύθυνση . Ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας πήρε τιμές από 2,00 έως 3,125.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΕΡΑ

Ανάλυση των επιμέρους στοιχείων Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας

Εισαγωγή

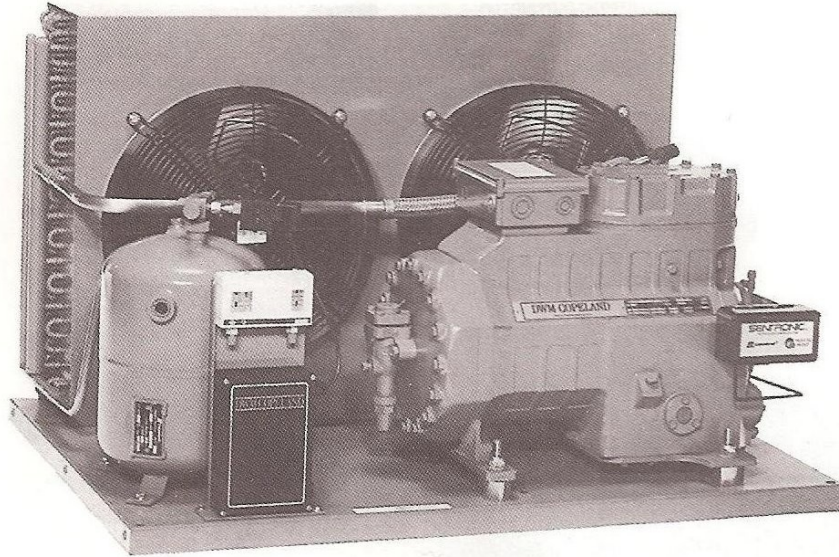
Τα κύρια μέρη που αποτελούν μια ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας ,η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση ποσότητας νερού ,είναι τα εξής:

- ο συμπιεστής
- ο συμπυκνωτής
- ο ηλιακός συλλέκτης που λειτουργεί ως ατμοποιητής
- το ψυκτικό υγρό
- η εκτονωτική διάταξη
- ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του συμπυκνωτή και της δεξαμενής του νερού που θέλουμε να ζεστάνουμε.

Συμπιεστής

Ο συμπιεστής διατηρεί την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου στις σωληνώσεις και στις επιμέρους συσκευές των ψυκτικών διατάξεων υπερνικώντας τόσο τις τριβές για τη ροή του ψυκτικού μέσου όσο και την διαφορά πίεσης που επικρατεί μεταξύ των στοιχείων συμπύκνωσης και των στοιχείων ατμοποίησης. Ο συμπιεστής κατά την λειτουργία του απορροφά μηχανική ενέργεια η οποία δίνεται στην άτρακτο περιστροφής του. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η κίνησή του γίνεται με ηλεκτροκινητήρα, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις στις οποίες η κίνηση δίνεται με

Μ.Ε.Κ ή άλλο τρόπο παραγωγής μηχανικής ενέργειας. Η μηχανική ενέργεια που δίνεται μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία αποβάλλεται συνεχώς για την αποφυγή υπερθέρμανσης. Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας λειτουργίας ψυκτικής εγκατάστασης και του συμπιεστή γίνεται με τον συντελεστή συμπεριφοράς, ο οποίος παίρνει τιμές μεγαλύτερες από μηδέν και συνήθως από ένα.



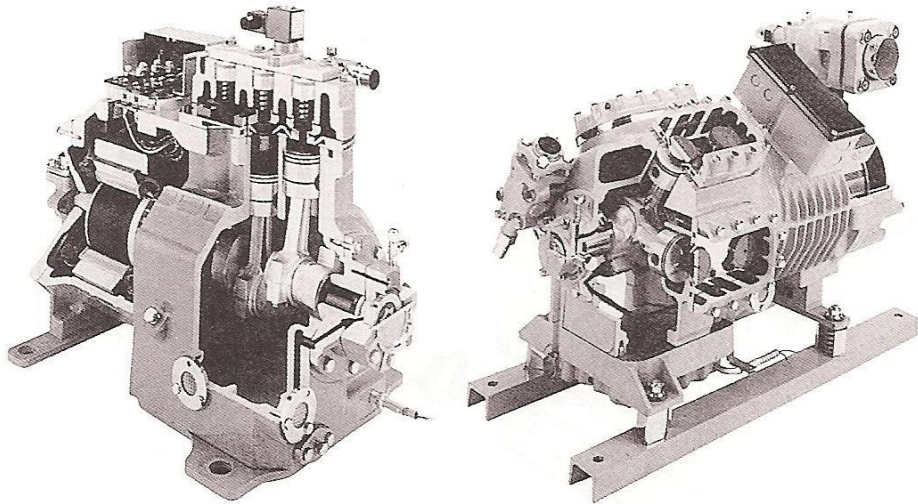
Συμπυκνωτική διάταξη

Διάκριση συμπιεστών

Διακρίνονται διάφοροι τύποι συμπιεστών, ανάλογα, με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση και τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά:

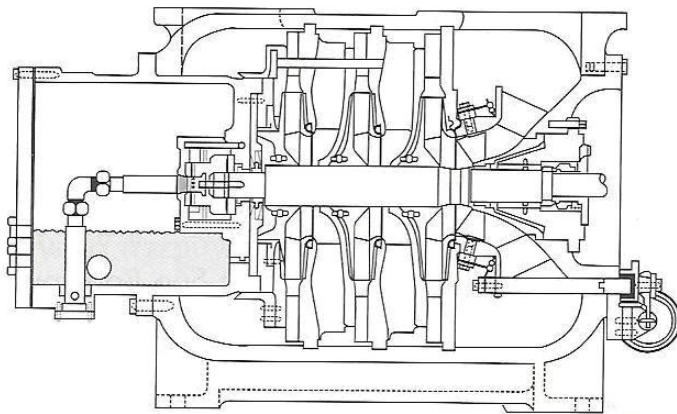
A. Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης.

1. Παλινδρομικοί εμβολοφόροι. Χρησιμοποιούνται για μικρά και μεσαία μεγέθη εγκαταστάσεων.

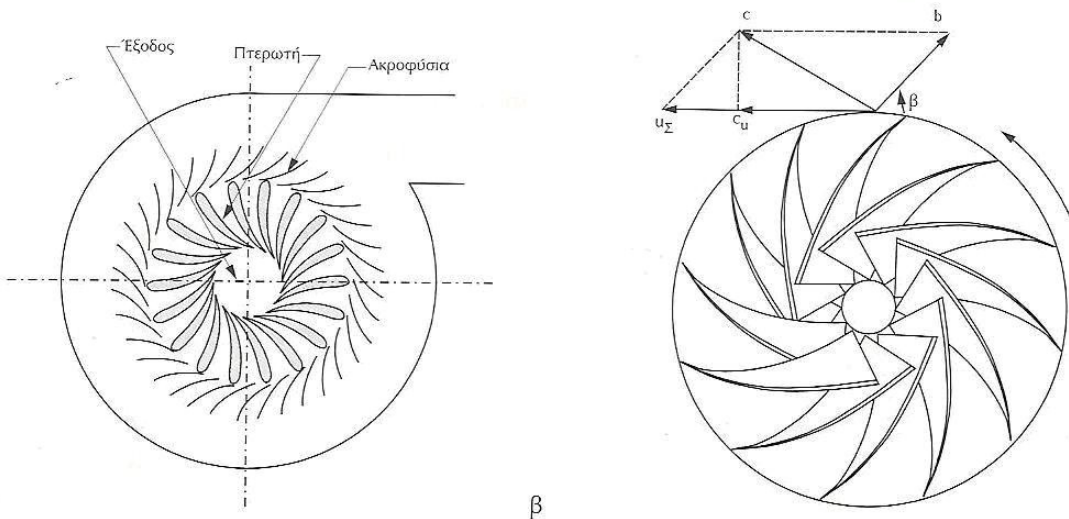


Τομή Εμβολοφόρου συμπιεστή

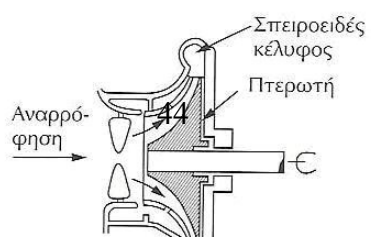
2. Φυγοκεντρικοί (ή τουρμπίνες). Έχουν χρήση σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Αποτελούνται από περωτή και σπειροειδές κέλυφος. Η περωτή περιστρέφεται με 10.000 rpm περίπου. Η φυγοκεντρική δύναμη που αναπτύσσεται προσδίδει στο αέριο ψυκτικό μέσο ταχύτητα, η οποία μετατρέπεται στο σπειροειδές κέλυφος σε πίεση για τη λειτουργία της συμπίεσης.

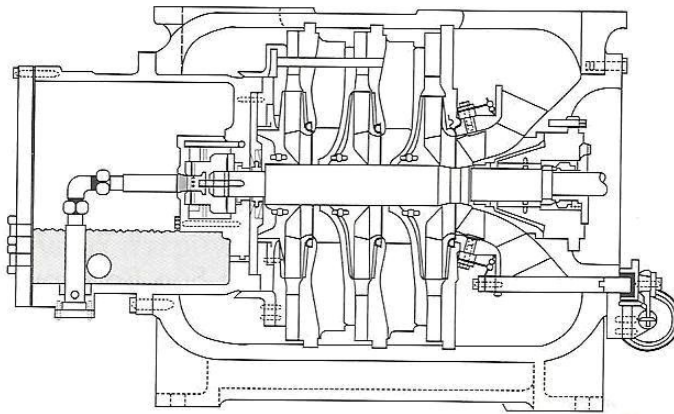


α

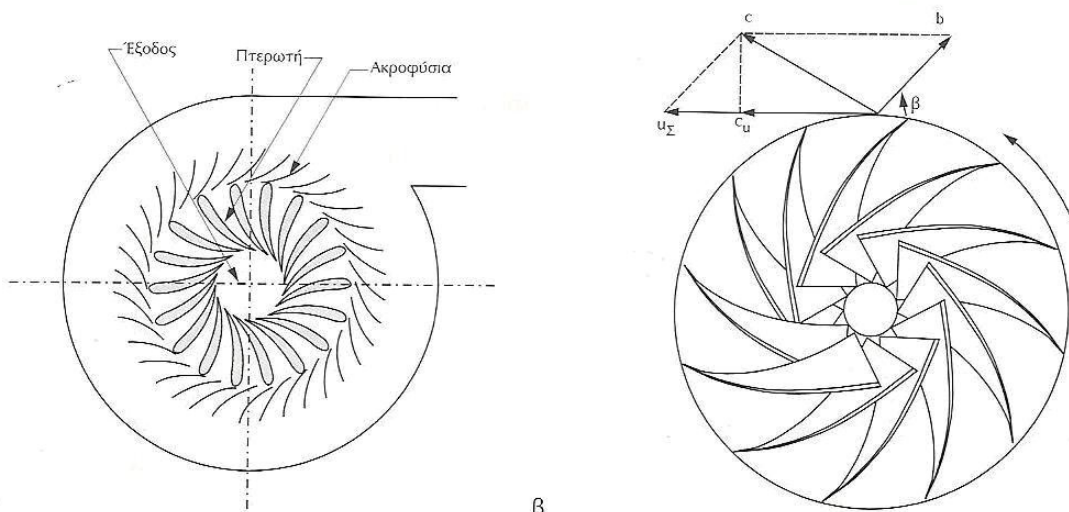


β

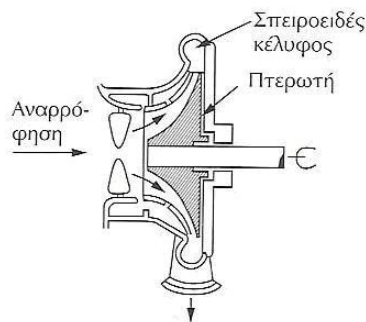




α



β

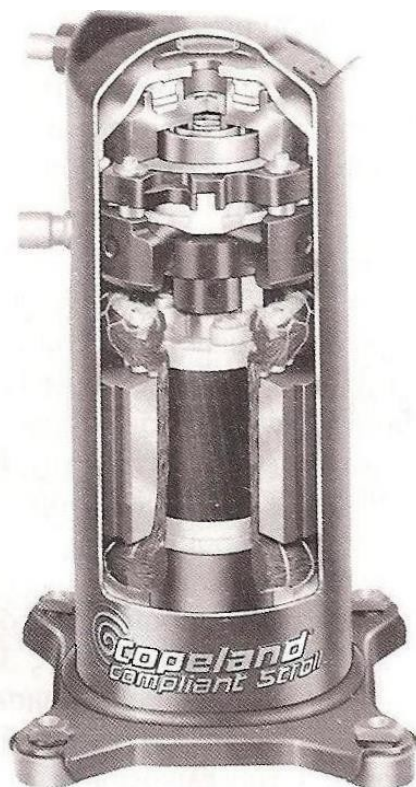


γ

Φυγοκεντρικός συμπίεστής πολλών βαθμίδων και στροφείο

3. Ογκομετρικοί περιστροφικοί ή τύπου τυμπάνου. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κλιματιστικά μηχανήματα τύπου δωματίου γιατί έχουν αθόρυβη λειτουργία. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται, κυρίως, στην περιστροφή ενός ρότορα στο εσωτερικό ενός κυλίνδρου, με τρόπο όπου ο ρότορας να βρίσκεται πάντα επαπτόμενος σε ένα σημείο του κυλίνδρου. Υπάρχουν δύο τύποι

περιστροφικών συμπιεστών: οι συμπιεστές σταθερού περυγίου και οι συμπιεστές περιστρεφόμενων περυγίων.



Ελικοειδούς μορφής συμπιεστής

B. Ανάλογα με την στεγανότητα

1. Ερμητικά κλειστοί ή κλειστού τύπου. Ο συμπιεστής και ο ηλεκτροκινητήρας τοποθετούνται στο ίδιο περίβλημα, που είναι ερμητικά σφραγισμένο με συγκόλληση.
2. Ημιαερμητικοί ή ημίκλειστου τύπου. Σε αυτόν τον τύπο η κίνηση δίνεται από ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος, συνδέεται απ' ευθείας με τον άξονα του συμπιεστή. Τόσο ο ηλεκτροκινητήρας, όσο και τα διάφορα τμήματα του συμπιεστή βρίσκονται στο ίδιο περίβλημα με λυόμενες συνδέσεις, κατά τρόπο που να επιτρέπονται οι διάφορες επισκευές

3. Συμπιεστές ανοικτού τύπου. Οι συμπιεστές αυτοί οδηγούνται από εξωτερική ισχύ με ιμάντες ή κατευθείαν σύνδεση (κομπλάρισμα). Ο άξονας βρίσκεται έξω από το συμπιεστή. Οι ανοικτού τύπου συμπιεστές λύνονται πολύ εύκολα για επιθεώρηση και επισκευές και μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα τα κατεστραμμένα τους εξαρτήματα. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής είναι εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμεύει για την απόρριψη της θερμότητας που συγκεντρώνεται στη μάζα του ψυκτικού μέσου από τον ατμοποιητή και τον συμπιεστή στο περιβάλλον. Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το περιβάλλον απόρριψης της θερμότητας:

1. Αερόψυκτοι
2. Υδρόψυκτοι

Ειδική κατηγορία αερόψυκτων συμπυκνωτών είναι οι εξαμιζόμενου τύπου.

Σε ειδικές εγκαταστάσεις στις οποίες η απόρριψη είναι επιθυμητή σε μέσο διαφορετικό από το νερό ή τον αέρα οι εναλλάκτες αυτοί ψύχονται με οποιοδήποτε μέσο είναι διαθέσιμο. Σε μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις ειδικού κλιματισμού ή απόρριψη της θερμότητας μπορεί να γίνει και σε στερεό περιβάλλον όπως για παράδειγμα στο έδαφος.

Τύποι συμπυκνωτή

Ο συμπυκνωτής είναι το τμήμα εκείνο της ψυκτικής εγκατάστασης στο οποίο συμπυκνώνεται (υγροποιείται) το ψυκτικό ρευστό. Η θερμότητα η οποία απορροφήθηκε από τον ατμοποιητή και η θερμότητα που προστέθηκε από τον

συμπιεστή μεταφέρεται από το μέσο στον συμπυκνωτή για να αποδοθεί στο περιβάλλον.

Κάθε επιμέρους τύπος είναι ταξινομημένος σε δύο είδη.

1. Ψυχρού νερού: - τύπος διπλού σωλήνα
-τύπος κελύφους και σωλήνα
2. Ψυχρού αέρα: -τύπου διασταυρούμενου πτερυγίου-τυλίγματος
-τύπου πτερυγίου ανέμου.

A. Αερόψυκτοι συμπυκνωτές

Χρησιμοποιούνται σαν μέσο συμπύκνωσης τον αέρα περιβάλλοντος. Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές αποτελούνται από δέσμες παραλλήλων σωλήνων, συνήθως χάλκινων 1-8 σειρών, οι οποίοι φέρουν πτερύγια χαλκού ή αλουμινίου σε πυκνή διάταξη προς αύξηση της θερμικής τους απόδοσης. Στις πρώτες σειρές των σωλήνων αερόψυκτου συμπυκνωτή ο αέρας απορροφά το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας από το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια όμως η απόδοση μειώνεται αισθητά λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα.

Το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας από το ψυκτικό μέσο στον περιβάλλοντα αέρα προσδιορίζεται με αρκετή ακρίβεια, προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$\dot{Q}_\Sigma = UA(\bar{T}_R - \bar{T}_{air}) \text{ Watt}$$

όπου:

U: ο συνολικός συντελεστής θερμικής αγωγής και συναγωγής

A: η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας (σωληνώσεων)

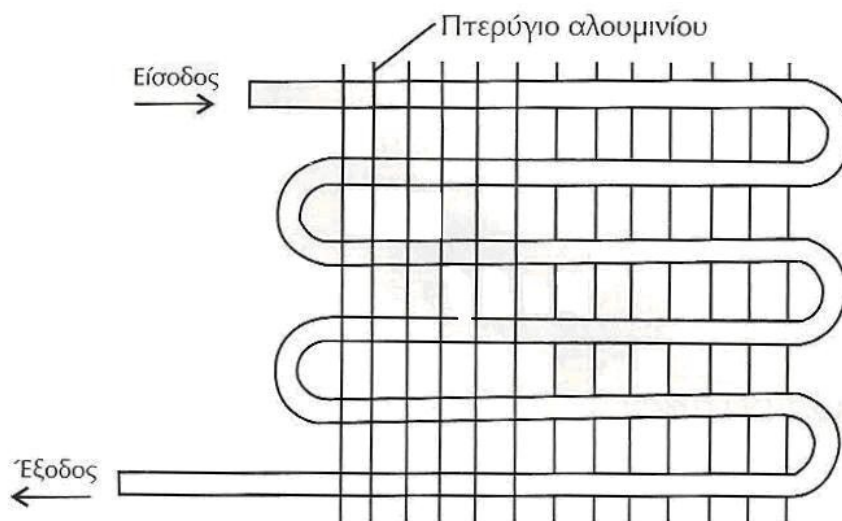
\bar{T}_R , \bar{T}_{air} : οι μέσες θερμοκρασίες του ψυκτικού μέσου και του αέρα αντίστοιχα που επικρατούν στον εναλλάκτη .

Κατά την επιλογή και τον προσδιορισμό του απαραίτητου εναλλάκτη για χρήση συμπυκνωτή, λαμβάνονται υπ' όψιν:

- α. η θερμοκρασία συμπύκνωσης ψυκτικού μέσου(για κλιματισμό 60 ° C)
- β. η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου αέρα
- γ. η ταχύτητα αέρα.

Είδη αερόψυκτων συμπυκνωτών:

- Τύπος πτερυγίου ανέμου. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σπάνια στο διμερή συστήματα ψύξης.
- Τύπος διασταυρωμένου πτερυγίου-τυλίγματος. Χρησιμοποιείται κυρίως σε κλιματιστικές μονάδες μικρού και μεσαίου μεγέθους και αυτό γιατί είναι χαμηλού κόστους και απλός στην κατασκευή του.



Τύπος διασταυρούμενου πτερυγίου-τυλίγματος

B. Υδρόψυκτοι συμπυκνωτές

Καλούνται οι συμπυκνωτές που χρησιμοποιούν το νερό σαν μέσο θερμότητας για την συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το νερό χρησιμοποιείται μόνο μια φορά και οδηγείται στην αποχέτευση ή επαναχρησιμοποιείται εφόσον προηγούμενα επαναψυχθεί σε πύργο ψύξης ή με άλλη μέθοδο.

Ο τρόπος χρήσης του νερού εξαρτάται από την απαιτούμενη ποσότητα νερού και το κόστος του. Όταν η απαιτούμενη ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη και το κόστος σχετικά χαμηλό εφαρμόζεται σύστημα ανοικτού κυκλώματος στο οποίο το νερό μετά τον συμπυκνωτή οδηγείται στην αποχέτευση.

Όταν η ποσότητα του νερού είναι μεγάλη, τότε συνήθως χρησιμοποιείται κλειστό κύκλωμα νερού. Η λειτουργία του υδρόψυκτου συμπυκνωτή είναι ανάλογη με αυτή του αερόψυκτου. Κάθε υδρόψυκτος συμπυκνωτής φέρει σχετική ρυθμιστική διάταξη για την ρύθμιση της απαιτούμενης ποσότητας νερού που πρέπει να κυκλοφορεί στον συμπυκνωτή για την υγροποίηση του ψυκτικού μέσου. Η απαραίτητα ποσότητα νερού ορίζεται σε 50-60 m³ νερό/kJ (ton/kJ) ή 185-255 kg νερού/kWh. Οι μικροί φέρουν αυτόματη βαλβίδα ρύθμισης της παροχής του νερού.

$$Q_{\Sigma} = m C_w \Delta T_w = \dot{V} \rho_{\text{ουβ}} C_w \Delta T_w \quad \text{Watt}$$

όπου:

\dot{V} : παροχή όγκου (m³/s)

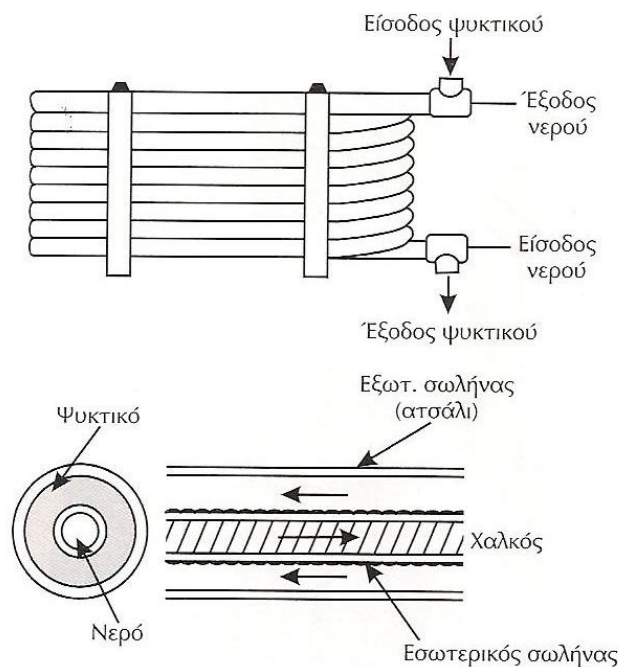
ΔT_w : θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εισερχομένου και εξερχόμενου νερού (K) [5-6 K]

ρ_w : πυκνότητα νερού (kg/m³) [=1000kg/m³]

C_w : θερμοχωρητικότητα νερού (kJ/kgK)[=4,187 kJ/kgK]

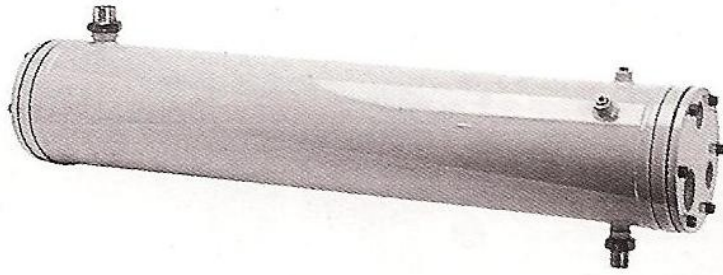
Είδη υδρόψυκτων συμπυκνωτών

1. Συμπυκνωτές διπλών σωληνώσεων. Αποτελούνται από σωληνώσεις εκ των οποίων ο ένας σωλήνας είναι τοποθετημένος μέσα στον άλλο. Το νερό κυκλοφορεί στο εσωτερικό του σωλήνα και το ψυκτικό μέσο στο εξωτερικό. Είναι συνήθως αντιρροής, ώστε να αυξάνεται ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας και το ψυκτικό μέσο να αποβάλλει τη θερμότητα στο νερό του συμπυκνωτή σε μικρότερο χρόνο και με σταθερό τρόπο. Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται στα μικρά υδρόψυκτα μοντέλα.



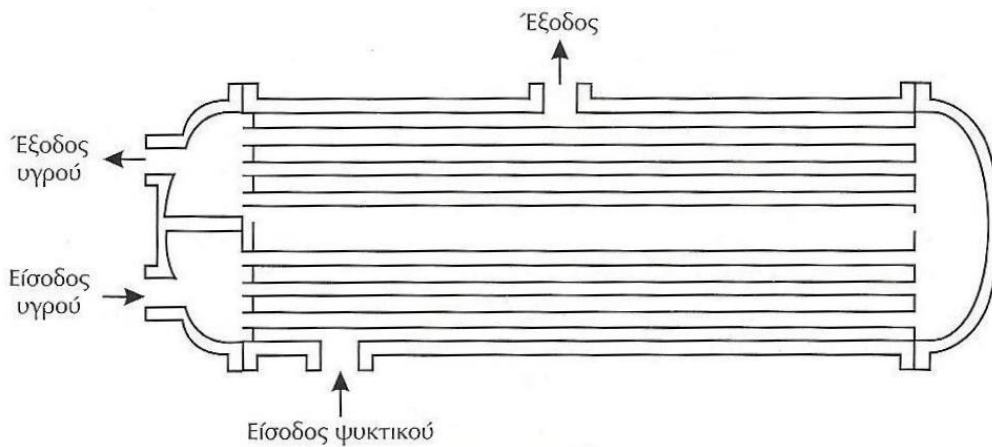
Συμπυκνωτής διπλών σωληνώσεων

2. Συμπυκνωτές κελύφους και στοιχείου. Αποτελούνται από κυλινδρικό χαλύβδινο κέλυφος εντός του οποίου είναι τοποθετημένο ένα ή περισσότερα στοιχεία από σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί το νερό ψύξης. Το θερμό αέριο κυκλοφορεί γύρω από τους σωλήνες, εισέρχεται από το πάνω μέρος και συμπυκνούμενο εξέρχεται στο κάτω μέρος σε μορφή σταγόνων.



Συμπυκνωτής κελύφους-στοιχείου

3. Συμπυκνωτές κελύφους και σωληνώσεων. Αποτελούνται από κυλινδρικό χαλύβδινο κέλυφος εντός του οποίου είναι τοποθετημένοι επιμήκεις και παράλληλοι σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το νερό ψύξης. Το θερμό αέριο κυκλοφορεί γύρω από τους σωλήνες, εισέρχεται από το πάνω μέρος και συμπυκνούμενο εξέρχεται στο κάτω μέρος, σε μορφή σταγόνων. Εδώ η ροή είναι διασταυρούμενη. Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται για υδρόψυκτες μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις.



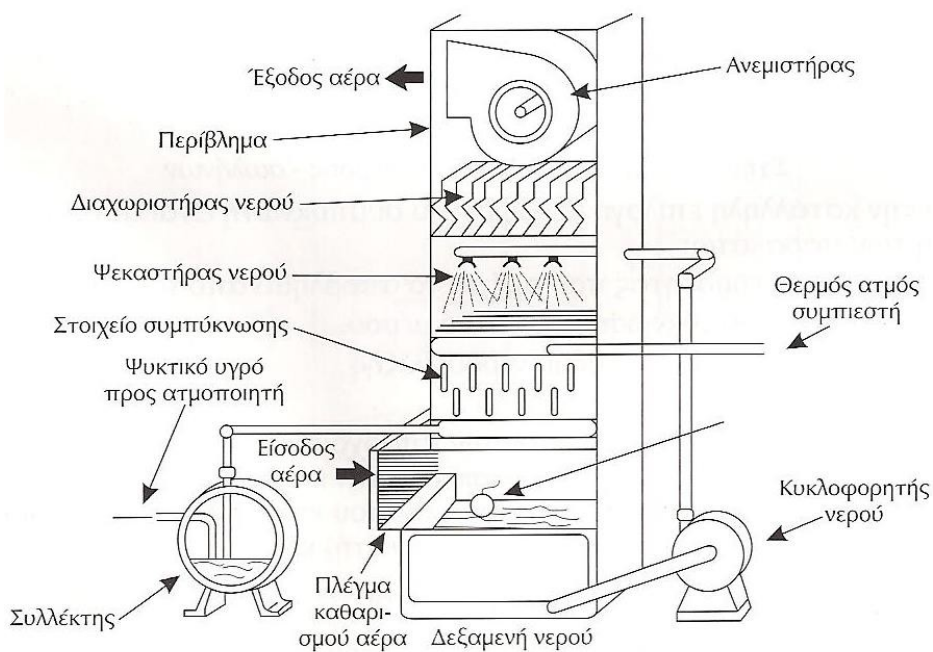
Συμπυκνωτής κελύφους-σωλήνων

4. Στερέωση με μεταλλικό κέλυφος.

5. Πλακοειδείς.

Γ. Συμπυκνωτές εξαμιζόμενου τύπου

Αυτοί οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούν σαν μέσο ψύξης ταυτόχρονα το νερό και τον αέρα. Το νερό αντλείται με την βοήθεια αντλίας νερού από την δεξαμενή νερού που βρίσκεται στο κατώτατο σημείο του συμπυκνωτή και τροφοδοτείται από το δίκτυο πόλης. Στη συνέχεια εισέρχεται από την κεφαλή των ψεκαστήρων στο πάνω μέρος του συμπυκνωτή και εκτοξεύεται πάνω στις σωληνώσεις του συμπυκνωτή, όπου ψύχοντάς τον, θερμαίνεται και κατέρχεται στη δεξαμενή για να ξαναρχίσει τον κύκλο. Ο αέρας εισέρχεται από το κάτω μέρος της δεξαμενής και με τη βοήθεια ανεμιστήρα και εφόσον ψύξει το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από το πάνω μέρος παρασύροντας μαζί του την θερμότητα που απορρόφησε. Για να μη παρασύρει και τις σταγόνες νερού μαζί του, κατά την διαδρομή του προς την έξοδο, τοποθετούνται ειδικοί διαχωριστήρες ακριβώς πάνω από τους ψεκαστήρες.



Συμπυκνωτής εξαμιζόμενου τύπου

Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης (Ατμοποιητής)

Στην διάταξη που μελετάμε τον ρόλο του ατμοποιητή τον παίζει ο ηλιακός συλλέκτης. Ο ατμοποιητής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμεύει για την απορρόφηση θερμότητας από τον χώρο που προορίζεται για δημιουργία ψύχους. Η θερμότητα που προκαλεί την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου λαμβάνεται από τον χώρο και τα ψυχόμενα προϊόντα που περιέχονται σ' αυτόν. Στην περίπτωση μας ο ηλιακός συλλέκτης είναι ο εναλλάκτης ο οποίος διαρρέεται από το ψυκτικό υγρό και με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας το ψυκτικό υγρό ατμοποιείται .

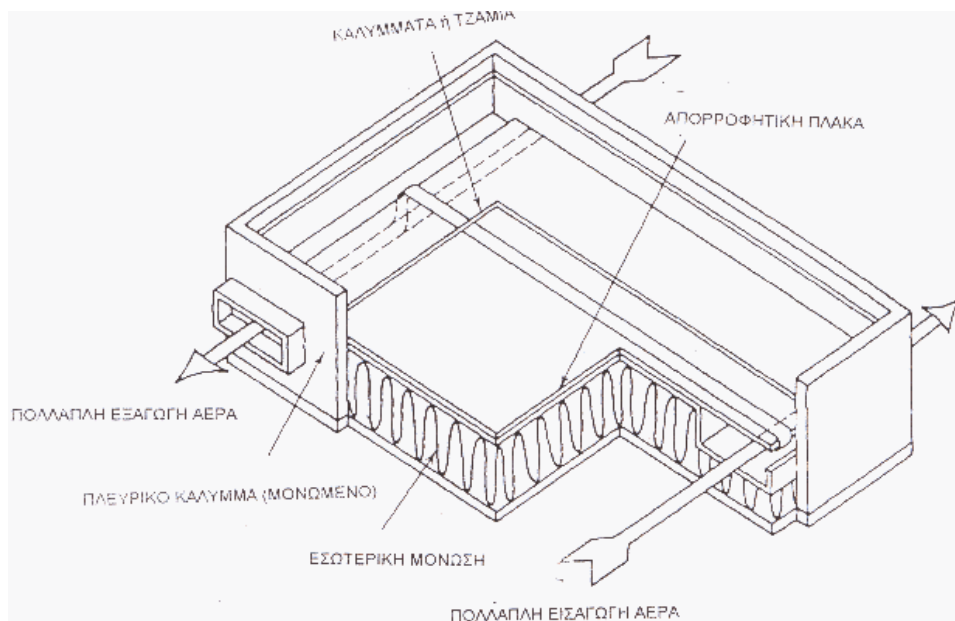
Γενική Περιγραφή

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, την μετατροπή της σε θερμότητα και την μεταβίβαση αυτής σε υγρό που περνά μέσα από αυτή. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης είναι ο συλλέκτης , που έχει επιφάνεια απορρόφησης πρακτικά επίπεδη και δεν διαθέτει διατάξεις συγκέντρωσης της ηλιακής ενέργειας. Η λειτουργία του βασίζεται στο φυσικό «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Το μεγαλύτερο ποσοστό από τη ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στον συλλέκτη απορροφάται από μια επιφάνεια, που συμπεριφέρεται σαν «μέλαν » σώμα στην ηλιακή ακτινοβολία . Ένα μέρος από την ενέργεια που απορροφάται , μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό , ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον. Η θερμότητα που απάγεται από το ρευστό , είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και ή αποθηκεύεται ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο.

Τα κύρια μέρη του συλλέκτη είναι :

- Το απορροφητικό έλασμα ή απορροφητήρας που είναι το μέρος του συλλέκτη που δέχεται τη προσπίπτουσα ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατρέπει σε θερμική ενέργεια. Ο απορροφητήρας μπορεί να είναι επίπεδος, μέσα από τον οποίο μεταβιβάζεται ενέργεια στο υγρό μεταφοράς θερμότητας. Το ρόλο του απορροφητήρα , όμως, μπορεί να τον παίζει και το ίδιο το υγρό από μόνο του.

- Το κάλυμμα συλλέκτη, που είναι το διαφανές υλικό που καλύπτει τον απορροφητήρα για να τον προστατεύει από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και να ελαττώνει τις θερμικές απώλειες.
- Η θερμική μόνωση , η οποία είναι το μη θερμοαγώγιμο υλικό που τοποθετείται στη πίσω καθώς και στις παράπλευρες επιφάνειες του συλλέκτη για τη μείωση των θερμικών απωλειών(συνήθως πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακας). Τα διαφανή καλύμματα είναι συνήθως από γυαλί. Το γυαλί έχει εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες και καλές μηχανικές ιδιότητες , αν περιέχει μικρή ποσότητα οξειδίου του σιδήρου και είναι και σχετικά φθηνό. Τα μειονεκτήματα του γυαλιού είναι ότι είναι βαρύ και εύθραυστο. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ορισμένα πλαστικά , τα οποία είναι γενικά λιγότερο εύθραυστα , πιο ελαφρά και φθηνά, καθώς χρησιμοποιούνται σε πολύ λεπτά φύλλα. Όμως τα πλαστικά , γενικά , δεν έχουν την υψηλή αντοχή του γυαλιού στις καιρικές συνθήκες. Πολλά πλαστικά επίσης γηράσκουν και κιτρινίζουν με τον χρόνο πράγμα που μειώνει τη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και οδηγεί σε μείωση της μηχανικής αντοχής. Άλλο μειονέκτημα είναι, ότι το πλαστικό αντίθετα με το γυαλί είναι διαφανές για ένα μέρος της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, με αποτέλεσμα οι απώλειες ακτινοβολίας του συλλέκτη να είναι μεγαλύτερες.



Εσωτερική δομή ηλιακού συλλέκτη

Οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στραμμένοι προς τον ισημερινό ($\gamma=0^\circ\text{C}$) και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, β , τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την περίοδο του έτους που ενδιαφέρει η χρησιμοποίησή του.

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η συμπεριφορά του συλλέκτη περιγράφεται από την παρακάτω σχέση ισολογισμού ενέργειας που εκφράζει τον καταμερισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, θερμικές απώλειες και οπτικές απώλειες:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)]$$

όπου:

Q_u : η ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς (W)

A_c : επιφάνεια του συλλέκτη (επιφάνεια του καλύμματος) (m^2)

S : απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)

U_L : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από τον συλλέκτη στο περιβάλλον με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολίας ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

$T_{p,m}$: μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα ($^\circ\text{C}$)

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ\text{C}$)

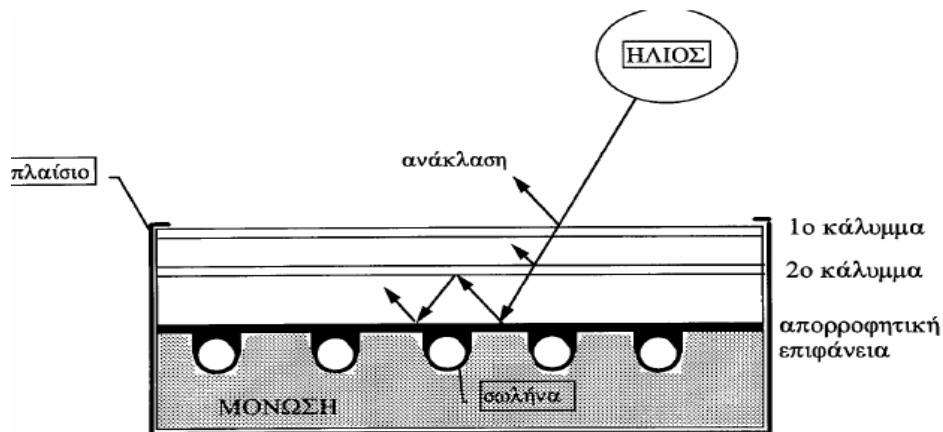
Η παραπάνω σχέση δεν είναι εύχρηστη για τον υπολογισμό της αποδιδόμενης ισχύς, Q_u , διότι περιέχει την μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα, η οποία, εξαρτώμενη από τον τύπο του συλλέκτη, την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τις συνθήκες εισόδου του ρευστού, είναι δύσκολο να υπολογισθεί ή να μετρηθεί. Γι αυτό τον λόγο, η εξίσωση αυτή τροποποιείται έτσι ώστε αντί της μέσης θερμοκρασίας του απορροφητήρα, να εισαχθεί η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, η οποία συχνά είναι γνωστή. Η εξίσωση γίνεται :

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{f,i} - T_a)]$$

όπου:

F_R : παράγων θερμικής απολαβής. Το μέγεθος αυτό είναι ισοδύναμο με το βαθμό απόδοσης του συλλέκτη, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικά μεταφερόμενης θερμότητας προς τη μέγιστη δυνατή.

$T_{f,i}$: θερμοκρασία του εισόδου του ρευστού



Ψυκτικό Υγρό

Ψυκτικό μέσο είναι το εργαζόμενο σώμα (ρευστό) , των θερμοδυναμικών ψυκτικών κύκλων. Είναι ο φορέας που μεταφέρει τα ποσά θερμότητας από τους χώρους που βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασιακή στάθμη, όπου είναι ανεπιθύμητα και τα απορρίπτει σε χώρους που βρίσκονται σε υψηλότερη θερμοκρασία και όπου είναι χρήσιμα ή αδιάφορα.

Κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υγρά όπως το θειικό οξύ (H_2SO_4), το διοξείδιο του θείου (SO_2) και διάφορα άλλα. Τα ψυκτικά αυτά μέσα έχουν πλέον εγκαταλειφθεί γιατί δεν πληρούν βασικές προδιαγραφές ασφαλείας, οι οποίες ισχύουν σήμερα καθώς επίσης και επειδή προκαλούν ταχεία φθορά στις εγκαταστάσεις. Τα πρώτα χρόνια η τεχνολογία αναγκάστηκε να τα χρησιμοποιήσει γιατί δεν υπήρχαν καταλληλότερα. Το μόνο ίσως ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε από πολύ νωρίς και χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στη βιομηχανία είναι η αμμωνία.

Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα κατασκευάστηκαν βιομηχανικά και χρησιμοποιήθηκαν στις Η.Π.Α. στις αρχές τις δεκαετίας του 1930. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά , είναι από χημική άποψη χλωριωμένοι ή φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα.

Η εκλογή του κατάλληλου ψυκτικού , σε μια εγκατάσταση, δε γίνεται μόνο με θερμοδυναμικά κριτήρια. Αποφασιστικό ρόλο , παίζουν και άλλες ιδιότητες του , όπως, η τοξικότητα, η αναφλεξιμότητα, το ιξώδες κ.α.

Ψυκτικά ρευστά

Ψυκτικά ρευστά καλούνται οι ουσίες που εξατμιζόμενες σε χαμηλή θερμοκρασία απορροφούν θερμότητα από το χώρο εντός του οποίου εξατμίζονται . Κάθε ψυκτικό υγρό πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Να απορροφά θερμότητα(εξατμιζόμενο) όταν βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον του.
- Να μπορεί να συμπιέζεται ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του και η πίεσή του
- Να συμπυκνώνεται όταν αποβάλλει θερμότητα.

Για να χρησιμοποιηθεί ένα ψυκτικό ρευστό πρέπει να έχει ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες, οι οποίες να εξασφαλίζουν την οικονομική και ασφαλή χρήση του . Είναι βέβαιο ότι δεν υπάρχει ψυκτικό ρευστό που να συγκεντρώνει όλες τις ιδιότητες, για αυτό υπάρχουν ποικιλίες ψυκτικών ρευστών με τις οποίες αντιμετωπίζονται οι απαιτήσεις κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής ψύξης π.χ. το R-12 εξυπηρετεί περισσότερο την επαγγελματική ψύξη, το R-22 στον κλιματισμό και η αμμωνία στα πλοία ψυγεία και γενικά στις μεγάλες εγκαταστάσεις.

Τα ψυκτικά ρευστά διαιρούνται σε δυο βασικές κατηγορίες τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα. Πρωτεύοντα ψυκτικά ρευστά καλούνται εκείνα τα οποία προκειμένου να απορροφήσουν θερμότητα από ένα χώρο για να τον ψύξουν, ατμοποιούνται εντός αυτού π.χ. τα Freon , η αμμωνία κ.λπ. Δευτερεύοντα καλούνται

αυτά που προκειμένου να αφαιρέσουν θερμότητα από ένα χώρο , δεν ατμοποιούνται εντός αυτού, αλλά ψύχονται σε άλλο χώρο και στη συνέχεια εισέρχονται στον χώρο τον οποίο πρέπει να ψύξουν , π.χ. άλμη, το νερό κ.λπ.

Τα πρωτεύοντα ψυκτικά ρευστά κατατάσσονται ανάλογα με το κατά πόσο ασφαλή είναι στη χρήση τους , στις εξής κατηγορίες:

1. Ασφαλή ψυκτικά ρευστά. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα παρακάτω :το R-12,το R-11,το R-134a,το R-22,το R-500,το R-404a και το R-502 που αποτελούν αζεοτροπικά μίγματα ψυκτικών ρευστών.
2. Ψυκτικά ρευστά μέτριας ασφάλειας. Εδώ ανήκουν η αμμωνία (NH₃), το R-717, το χλωριούχο μεθύλιο (CH₃Cl), το διοξείδιο του θείου (SO₂).
3. Επικίνδυνα ψυκτικά ρευστά. Στην κατηγορία ανήκουν το αιθάνιο R-170, το προπάνιο R-290 ,το βουτάνιο R-600 και το ισοβουτάνιο R-600a.

Ιδιότητες Ψυκτικών Ρευστών

Για να χρησιμοποιηθεί ένα ψυκτικό ρευστό σε εγκαταστάσεις ψύξης πρέπει:

- να έχει χαμηλό σημείο βρασμού σε θετικές πιέσεις
- η πίεση αναρρόφησης να είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής , ώστε σε περίπτωση διαρροής να εξέρχεται το ψυκτικό ρευστό προς την ατμόσφαιρα και όχι να απορροφά αέρα από αυτή λόγω της υποπίεσης του.
- η διαφορά μεταξύ πίεσης αναρρόφησης και κατάθλιψης για ορισμένη θερμοκρασία ατμοποίησης του ψυκτικού ρευστού να κυμαίνεται από 4-35 bar
- να έχει χαμηλό σημείο συμπύκνωσης, δηλαδή, μικρή πίεση συμπύκνωσης
- να έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, δηλαδή, εξατμιζόμενο να απορροφά περισσότερη θερμότητα από το χώρο ψύξης
- να έχει μικρό ειδικό όγκο. Η ιδιότητα αυτή μαζί με την υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης παίζουν αποφασιστικό ρόλο, ως προς την απόδοση του συμπιεστή.

- να είναι εύκολη η ανίχνευση των διαρροών του , δηλαδή να εντοπίζεται γρήγορα η οποιαδήποτε διαρροή
- να έχει σταθερή χημική σύνθεση υπό τις συνθήκες λειτουργίας του κύκλου ψύξης
- να μη διασπά το ψυκτέλαιο και να μην αλλοιώνει τις λιπαντικές ικανότητες του κατά τη λειτουργία του συμπιεστή, με συνέπεια την καταστροφή του
- να μην είναι τοξικό , γιατί σε περίπτωση διαρροής θα βρεθούν σε κίνδυνο τα ψυχόμενα προϊόντα και η υγεία των παρευρισκόμενων ανθρώπων μέσα στον ψυχόμενο χώρο
- να μην είναι διαβρωτικό και οξειδωτικό, διότι τότε μειώνεται η διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων της ψυκτικής εγκατάστασης
- να μην αναφλέγεται και εκρήγνυται. Θα αποτελούσε μεγάλο κίνδυνο για όσους βρίσκονταν μέσα σε χώρους, από όπου διέρχονται σωληνώσεις ψυκτικού ρευστού, όταν ένας σπινθήρας μπορούσε να προκαλέσει ανάφλεξη και έκρηξη από τυχόν διαρροή του.

Ψυκτικό μέσο R-134a

Ονομασία: Τετραφθοράνθρακας με χημικό τύπο CH_2FCF_3

Θερμοκρασία ατμοποίησης: -26°C

Κωδικό Χρώμα: γαλάζιο ανοιχτό

Τα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα, τα λεγόμενα CFC's περιέχουν χλώριο (Cl) το οποίο αποτελεί την κύρια αιτία της τρύπας του όζοντος. Με την υπογραφή του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, καταργήθηκε η παραγωγή των ψυκτικών ρευστών που περιέχουν Cl σε μεγάλες, όπως το R-11 και το R-12 από το 1996. Έτσι δημιουργήθηκε ένας αγώνας δρόμου για την αντικατάσταση των καταργούμενων ψυκτικών ρευστών με νέα, που να μην περιέχουν στη σύνθεσή τους

χλώριο. Ένα από αυτά είναι το R-134a. Τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του, καθώς και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες είναι παρόμοιες με αυτές του R-12.

Οι ιδιότητες του

Το R-134a είναι φιλικό προς το περιβάλλον ψυκτικό ρευστό. Δεν περιέχει στη σύνθεση του χλώριο και δεν επηρεάζει το στρώμα του όζοντος. Είναι πολύ χαμηλής τοξικότητας και δεν είναι διαβρωτικό των μετάλλων και ιδιαίτερα του χαλκού υπό ομαλές συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης.

Η διαλυτότητα του νερού στο R-134a είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του R-12 με αποτέλεσμα να μην είναι όλα τα αφυγραντικά υλικά συμβατά προς το R-134a.

Δεν είναι καθόλου συμβατό με τα ψυκτέλαια(ορυκτέλαια) που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις με ψυκτικά CFC's. Για αυτό τον λόγο, όταν σε μια εγκατάσταση γίνει αντικατάσταση του R-12 με R-134a, πρέπει να αντικατασταθεί υποχρεωτικά και το ψυκτέλαιο του συμπιεστή το οποίο είναι συνήθως ορυκτό(ναυθανικό ή παραφινικό) , με νέο εστερικό.

Λόγω της απουσίας των ατόμων του χλωρίου στο μόριο του R-134a , έχει να επιδείξει καλή χημική και θερμική σταθερότητα η οποία είναι πολύ καλύτερη από αυτή του R-12. Έχει αποδειχθεί , ύστερα από εργαστηριακές δοκιμές , ότι έχει μεγάλη θερμική σταθερότητα.

Εκτονωτικές Διατάξεις (Στραγγαλιστικές Βαλβίδες)

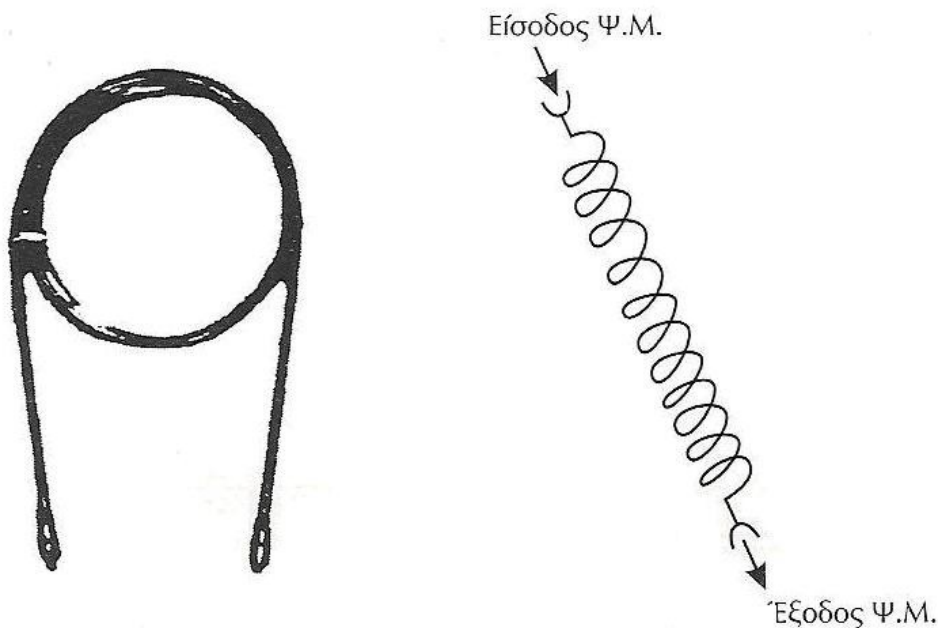
Εκτονωτική διάταξη είναι η διάταξη που προορίζεται για να εκτελεί τις βασικότερες λειτουργίες του ψυκτικού συγκροτήματος, όπως:

1. Να ελέγχει τη ακριβή ποσότητα του διερχόμενου ψυκτικού μέσου, ώστε ο ατμοποιητής να μη παρουσιάζει έλλειψη ή υπερχειλίση ψυκτικού. Με τον τρόπο αυτό η μονάδα εργάζεται με τη μέγιστη δυνατή απόδοση χωρίς να υπερφορτίζεται.

2. Να προκαλεί την ισενθαλπική εκτόνωση από την υψηλή πίεση του συμπιεστή στην χαμηλή πίεση του ατμοποιητή σε θερμοκρασία και πίεση ατμοποίησης

Οι διάφορες εκτονωτικές διατάξεις λειτουργούν κατά διάφορο τρόπο και καλύπτουν ειδικές απαιτήσεις η κάθε μία. Τα κυριότερα είδη των εκτονωτικών διατάξεων είναι:

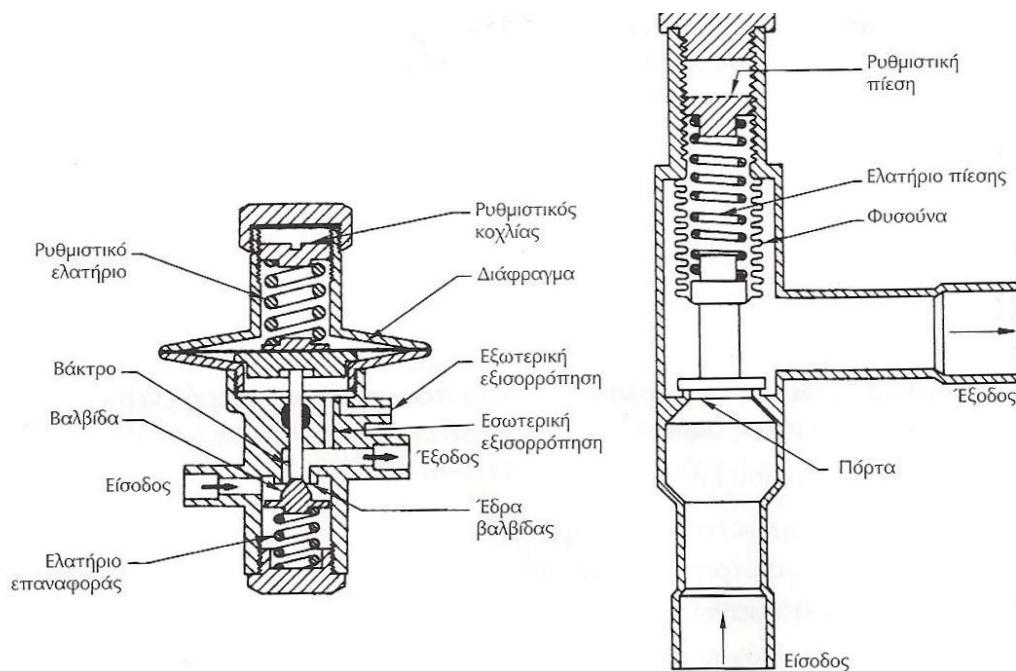
- Χειροκίνητη εκτονωτική διάταξη.
- Ο τριχοειδής σωλήνας. Είναι η απλούστερη στραγγαλιστική διάταξη. Κατασκευάζεται συνήθως από χαλκοσωλήνα με εσωτερική διάμετρο 0,4 ως 2 mm, μήκος μέχρι και πλέον των 2 m, συνδέεται με την γραμμή αναρρόφησης με συγκόλληση, ώστε το υγρό ψυκτικό μέσο να μπορεί να αποψυχθεί διαμέσου εναλλαγής θερμότητας. Η εκτονωτική αυτή διάταξη χρησιμοποιείται αποκλειστικά στις πολύ μικρές και παλιές ψυκτικές διατάξεις. Η λειτουργία του στηρίζεται στην απότομη μεταβολή της διαμέτρου από την οποία διέρχεται το ψυκτικό υγρό και το μήκος που διατίθεται για την «καταστροφή» της πίεσης.



Στραγγαλιστική διάταξη τύπου τριχοειδή σωλήνα

- Η πιεζοστατική εκτονωτική (στραγγαλιστική) διάταξη. Σκοπός αυτής της διάταξης είναι η ρύθμιση της απαραίτητης ποσότητας ψυκτικού που οδηγείται στον ατμοποιητή και η οποία πρέπει να είναι ανάλογη των εκάστοτε απαιτήσεων σε ψύξη (φορτίο) , εφόσον προκαλεί την απαραίτητη εκτόνωση στο μέσο, στα επίπεδα της πίεσης και θερμοκρασίας ατμοποίησης. Αποτελείται από:

- Κυρίως σώμα
- Διάφραγμα ή πτυσσόμενος ασκός
- Ρυθμιστικό ελατήριο και κοχλία ρύθμισης
- Βελόνη με την έδρα της
- Στόμιο εισόδου και εξόδου
- Φίλτρο συγκράτησης σωματιδίων και
- Στυπιοθλίπτης.

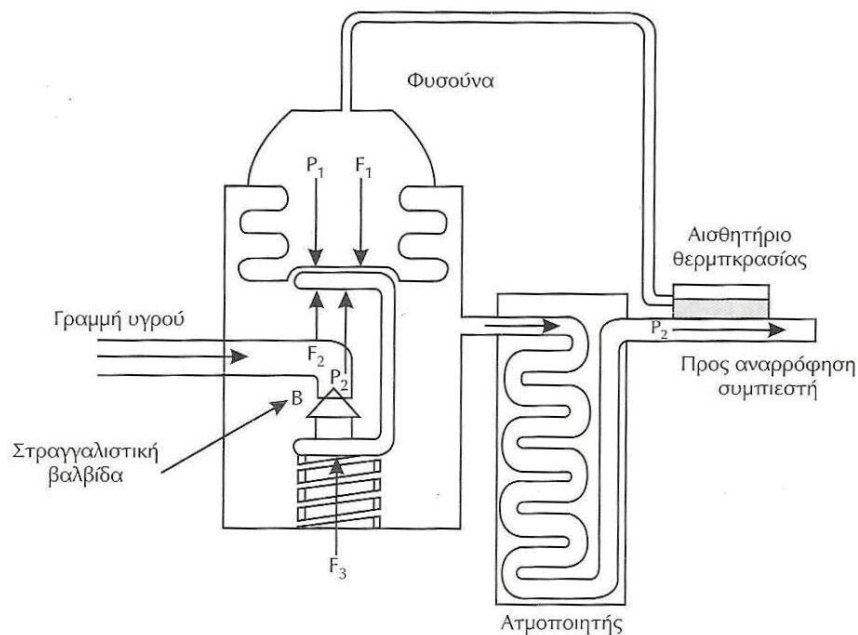


Πιεζοστατική εκτονωτική διάταξη

- Η θερμοστατική εκτονωτική διάταξη. Η διάταξη αυτή λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει έχει αντικαταστήσει την πιεζοστατική σε όλες τις μεγάλες εγκαταστάσεις. Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι η διατήρηση σταθερής υπερθέρμανσης στον ατμοποιητή ανεξάρτητα από το φορτίο στο οποίο αυτός είναι υποχρεωμένος να ανταποκριθεί. Αποτέλεσμα αυτής της λειτουργίας είναι ότι ο ατμοποιητής τροφοδοτείται πάντα με την ποσότητα του ψυκτικού που απαιτείται από το παρουσιαζόμενο ψυκτικό φορτίο. Η επιθυμητή θερμοκρασία στον ψυκτικό θάλαμο διατηρείται σταθερή χωρίς τη χρήση θερμοστάτη. Η διάταξη αυτή λειτουργεί λαμβάνοντας υπόψη την θερμοκρασία του ατμοποιητή και όχι την πίεσή του. Αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Κυρίως σώμα
- Διάφραγμα (φουσητήρας)
- Βελόνη με την έδρα της
- Ελατήριο υπερθέρμανσης και ρυθμιστικός κοχλίας
- Αισθητήριο θερμοκρασίας (βολβός).

- Η εκτονωτική διάταξη με επίπλευση στη πλευρά χαμηλής
- Η εκτονωτική διάταξη με επίπλευση στη πλευρά υψηλής.



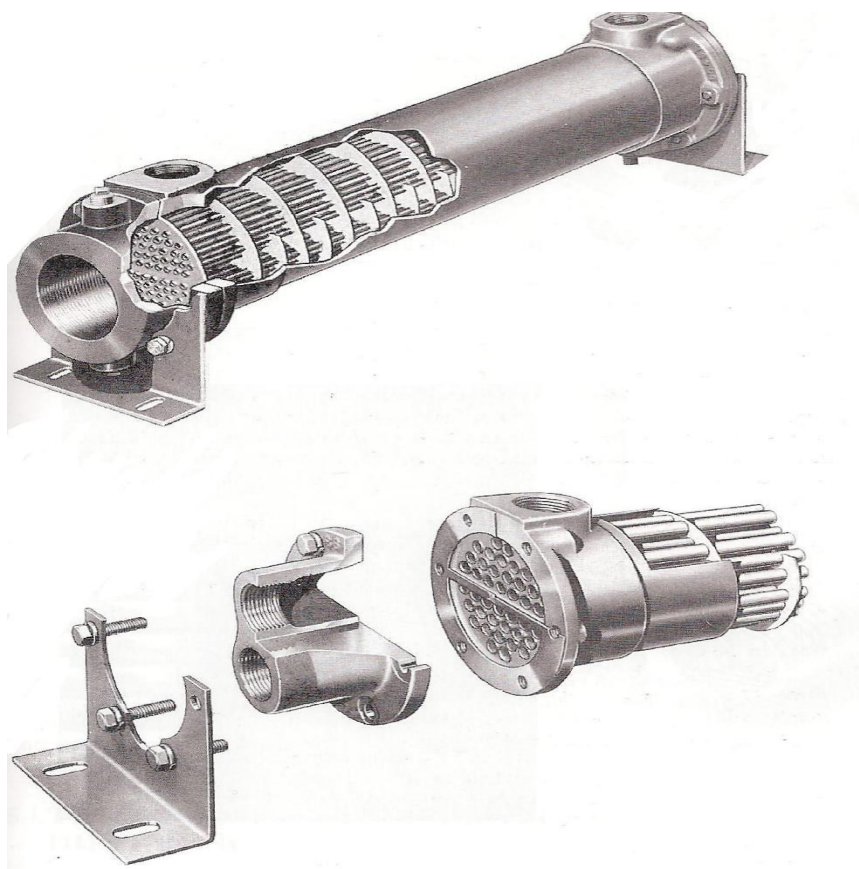
Πιεζοστατική εκτονωτική διάταξη

Εναλλάκτης Θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές που μεταφέρουν θερμική ενέργεια από ένα ρευστό σε ένα άλλο. Στην περίπτωση που εξετάζουμε ο εναλλάκτης αυτός θα μεταφέρει θερμότητα από το νερό που χρησιμοποιείται για τη ψύξη του συμπυκνωτή στο νερό που επιθυμούμε να θερμάνουμε.

Τέτοιες συσκευές συναντώνται σε όλα τα επίπεδα τεχνολογίας, από ένα απλό θερμαντικό σώμα μέχρι τις μεγάλες μονάδες της βιομηχανίας και των ατμολεβητών. Αποτελούνται από επιφάνειες που χωρίζουν τα ρευστά που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία και μεταξύ τους συναλλάσσεται θερμότητα. Οι επιφάνειες αυτές ζεσταίνονται από το ένα ρευστό και ψύχονται από το άλλο.

Η πιο απλή περίπτωση εναλλάκτη είναι αυτή όπου το ζεστό νερό και το κρύο μέσο ανακατεύονται, γνωστός ως εναλλάκτης ανάμιξης. Συνήθεις εναλλάκτες είναι αυτοί που τα ρευστά χωρίζονται μεταξύ τους με μια επιφάνεια, που αποτελεί τον εναλλάκτη θερμότητας.

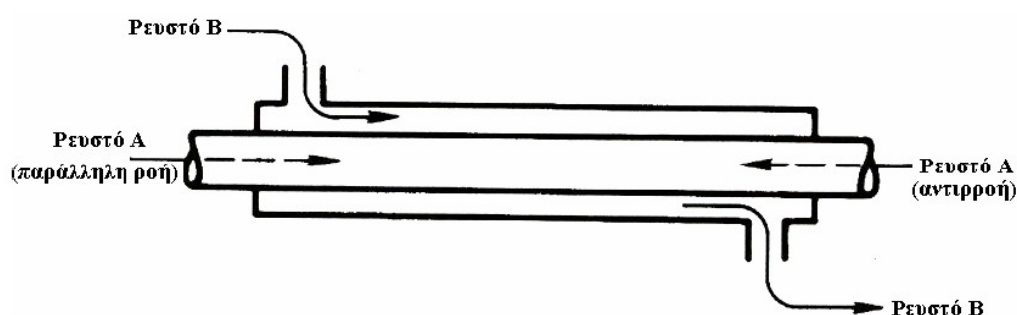


Εναλλάκτης Θερμότητας σε τομή

Είδη εναλλακτών :

- Εναλλάκτες επίπεδης επιφάνειας
- Εναλλάκτες κυλινδρικής επιφάνειας
- Εναλλάκτες διασταυρωμένης ροής

Αν τα ρευστά ρέουν προς την ίδια διεύθυνση, ομόρροπα ρεύματα, αναφέρονται σαν εναλλάκτες ομορροής, ενώ αν κινούνται σε αντίθετη διεύθυνση, τότε πρόκειται για εναλλάκτη αντιρροής, στην περίπτωση δε που τα ρευστά κινούνται με τρόπο που η ροή τους να διασταυρώνεται υπό ορθή γωνία, δημιουργούνται διασταυρούμενα ρεύματα και παρουσιάζεται ο εναλλάκτης διασταυρωμένης ροής.



Θερμική Ανάλυση

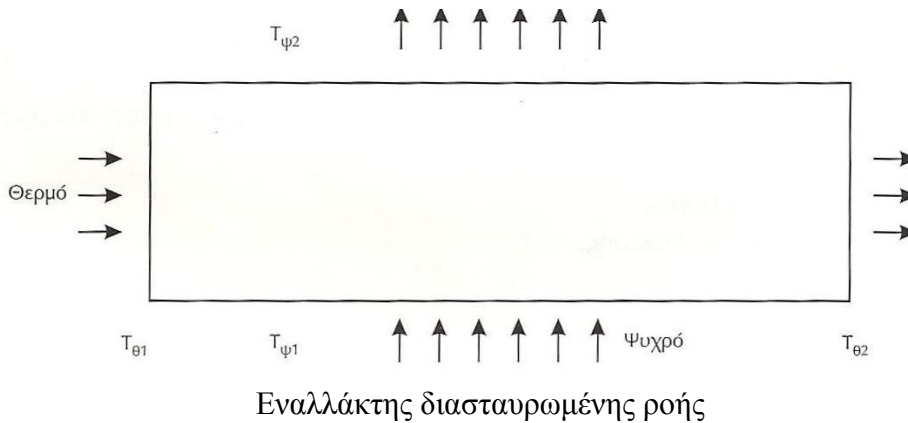
$$\dot{Q}_\theta = \dot{Q}_\psi + \dot{Q}_{\alpha\pi} \quad (\text{Watt})$$

όπου:

\dot{Q}_θ : το ποσό θερμότητας που προσφέρει το ζεστό ρευστό

\dot{Q}_ψ : το ποσό θερμότητας που απορροφά το ψυχρό ρευστό

$\dot{Q}_{\alpha\pi}$: το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται στο περιβάλλον



Σε θερμικά μονωμένους εναλλάκτες, όπου $\dot{Q}_{\alpha\pi} = 0$ η παραπάνω σχέση παίρνει τη μορφή:

$$\dot{Q}_{\theta} = \dot{Q}_{\psi} \quad (1)$$

Αν \dot{m}_{θ} και \dot{m}_{ψ} , οι παροχές μάζας του ζεστού και του ψυχρού ρευστού, $T_{\theta 1}$, $T_{\theta 2}$ και $T_{\psi 1}$, $T_{\psi 2}$ οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ζεστού και του ψυχρού ρευστού αντίστοιχα και c_{θ} και c_{ψ} , οι θερμοχωρητικότητες τους τότε ισχύει:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\theta} &= \dot{m}_{\theta} c_{\theta} (T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) \\ \dot{Q}_{\psi} &= -\dot{m}_{\psi} c_{\psi} (T_{\psi 2} - T_{\psi 1}) \end{aligned}$$

και με βάση τη σχέση (1), για θερμικά μονωμένους εναλλάκτες, προκύπτει:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\theta} c_{\theta} (T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) &= \dot{m}_{\psi} c_{\psi} (T_{\psi 1} - T_{\psi 2}) \\ \dot{m}_{\theta} c_{\theta} (\Delta T_{\theta}) &= \dot{m}_{\psi} c_{\psi} (\Delta T_{\psi}) \end{aligned}$$

Αν $\dot{m}_{\theta} c_{\theta} = \dot{m}_{\psi} c_{\psi} = \dot{m} c$ τότε η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο ρευστών παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος του εναλλάκτη. Αυτές οι ιδανικές συνθήκες σπάνια συναντώνται στην πράξη, συνήθως επικρατούν περιπτώσεις που: $\dot{m}_{\theta} c_{\theta} \neq \dot{m}_{\psi} c_{\psi}$ με βάση αυτό, η διαφορά θερμοκρασίας των δύο ρευστών δεν παραμένει σταθερή ($\Delta T \neq c$)

Για τον υπολογισμό του συνηθισμένου εναλλάκτη ορίζεται μια μέση θερμοκρασιακή διαφορά $(\overline{\Delta T})$ που δίνει τα ίδια συνολικά αποτελέσματα με τις πραγματικές συνθήκες. Η θερμοκρασιακή διαφορά ονομάζεται μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά.

Για την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας ισχύει η σχέση:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (\overline{\Delta T}) \quad \text{Watt}$$

όπου:

\dot{Q} : το ποσό θερμότητας που συναλλάσσεται (W)

U: ο συντελεστής θερμοπερατότητας (συνολικός, από αγωγή και συναγωγή), (W/m²K)

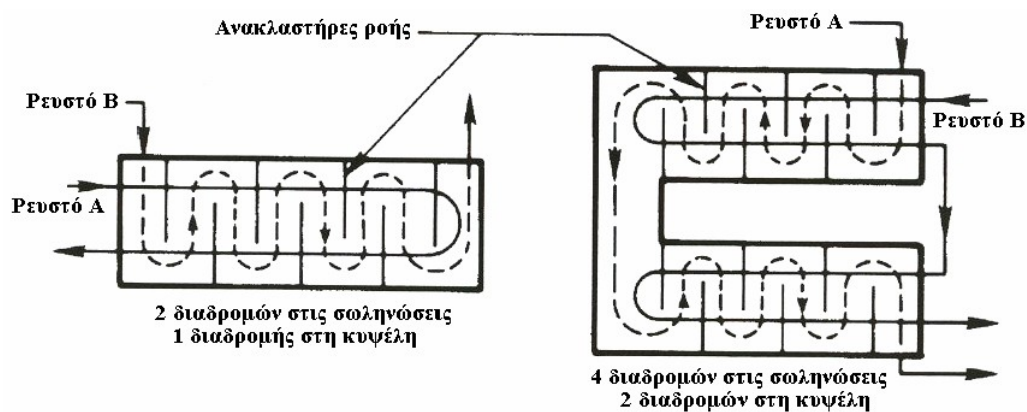
A: η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας (m²)

ΔT : η μέση, ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά, (K).

Διάφοροι τύποι εναλλακτών:

α. Πτερυγιοφόροι εναλλάκτες

β. Πλακοειδείς εναλλάκτες



Υπολογισμός εναλλακτών θερμότητας

Ένας εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να μελετηθεί μέσω των παρακάτω δύο διαφορετικών προσεγγίσεων.

α) Τη μέθοδο της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς,

β) Τη μέθοδο της αποδοτικότητας εναλλάκτη.

Θα αναφερθούμε στη μέθοδο αποδοτικότητας εναλλάκτη διότι την χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό των μεγεθών του εναλλάκτη.

Μέθοδος της αποδοτικότητας εναλλάκτη θερμότητας

Η μέθοδος της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς απαιτεί για να εφαρμοστεί πλήρη γνώση των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου των δύο ρευστών από το εναλλάκτη θερμότητας καθώς επίσης και γνώση της τιμής του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Όλες αυτές οι πληροφορίες δεν είναι συνήθως γνωστές σε εμάς κατά τη φάση του σχεδιασμού του εναλλάκτη θερμότητας και για αυτό η εφαρμογή της μεθόδου της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς δεν είναι πάντοτε εφικτή για την επίλυση ενός εναλλάκτη θερμότητας.

Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούμε να εφαρμόσουμε τη μέθοδο της αποδοτικότητας εναλλάκτη θερμότητας. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην εισαγωγή ενός νέου μεγέθους που ονομάζεται αποδοτικότητα (Effectiveness) εναλλάκτη θερμότητας (ε) και ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\varepsilon = \frac{C_h \cdot (T_{h_{in}} - T_{h_{out}})}{C_{\min} \cdot (T_{h_{in}} - T_{c_{in}})} = \frac{C_c \cdot (T_{c_{out}} - T_{c_{in}})}{C_{\min} \cdot (T_{h_{in}} - T_{c_{in}})}$$

όπου, το C_{\min} ταυτίζεται πάντα με το μικρότερο από τα C_h και C_c .

Πρακτικά, η αποδοτικότητα εναλλάκτη θερμότητας (ε) είναι πάντα το πηλίκο της ενέργειας που πραγματικά μεταφέρεται στον εναλλάκτη από το θερμό στο ψυχρό ρεύμα προς το μέγιστο ποσό ενέργειας που θα μπορούσε να μεταφερθεί από το ένα ρεύμα στο άλλο.

Με συνδυασμό των παραπάνω εξισώσεων προκύπτει η παρακάτω εξίσωση από την οποία υπολογίζεται το ποσό ενέργειας που πραγματικά μεταφέρεται στον εναλλάκτη θερμότητας εάν είναι γνωστή η αποδοτικότητα του εναλλάκτη.

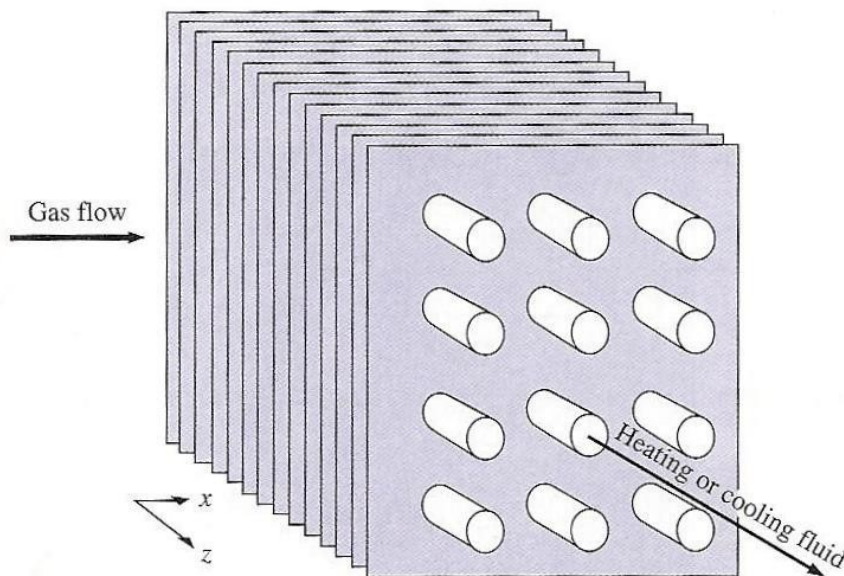
$$Q = \varepsilon \cdot C_{\min} \cdot (T_{h_{in}} - T_{c_{in}})$$

Η αποδοτικότητα εναλλάκτη θερμότητας (ε) έχει αποδειχθεί θεωρητικά ότι είναι συνάρτηση των παρακάτω δύο αδιάστατων αριθμών:

$$\varepsilon = fn\left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}}, NTU\right)$$

όπου, ο αδιάστατος αριθμός NTU ονομάζεται αριθμός μονάδων μεταφοράς (Number of Transfer Units) και ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{\min}}$$



Εναλλάκτης διασταυρωμένης ροής
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

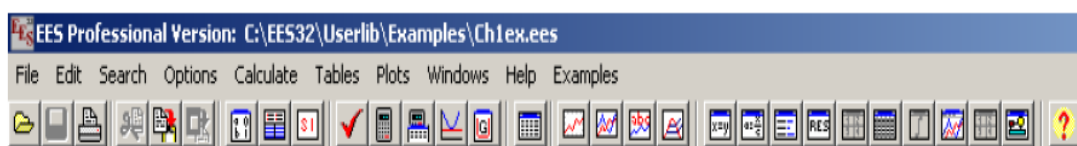
Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος E.E.S.

Παρουσίαση Προγράμματος

Το υπολογιστικό κομμάτι της εργασίας έγινε με τη χρήση του προγράμματος E.E.S. (Engineering Equation Solver) το οποίο είναι της F-Chart Software. Οι βασικές δυνατότητες του προγράμματος αυτού είναι η επίλυση αλγεβρικών εξισώσεων, διαφορικών εξισώσεων, εξισώσεων με σύνθετες μεταβλητές, βελτιστοποίηση, παρέχει γραμμικές και μη αποκλίσεις, δημιουργεί διαγράμματα και γραφικά σχέδια.

Αρχικό Μενού

Οι εντολές του προγράμματος είναι χωρισμένες σε εννιά μενού. Παρουσιάζεται η βασική γραμμή εργαλείων.



Το FILE μενού περιέχει εντολές για το άνοιγμα ενός αρχείου, για την διαχείριση του, για την αποθήκευσή του και για την εκτύπωσή του.

Το EDIT μενού περιέχει εντολές που αφορούν την επιμέλεια ενός αρχείου.

Το SEARCH μενού περιέχει εντολές για ανεύρεση και αντικατάσταση εξισώσεων στο Equation Window (δηλαδή στο παράθυρο εξισώσεων).

Το OPTIONS μενού περιέχει εντολές για τον καθορισμό των εντολών, των ορίων τους, το σύστημα μονάδων.

Το CALCULATE μενού έχει εντολές για τον έλεγχο, τη διαμόρφωση και την επίλυση των εξισώσεων.

Το TABLES μενού περιέχει εντολές για την δημιουργία και την επεξεργασία των Parametric και Lookup Tables. Οι Parametric tables είναι πίνακες οι οποίοι

επιτρέπουν την επίλυση των εξισώσεων γρήγορα καθώς αλλάζουμε τις τιμές των μεταβλητών. Ο Lookup πίνακας δημιουργείται από τα δεδομένα του αρχείου .

Το PLOT μενού περιλαμβάνει τις εντολές για την δημιουργία ενός διαγράμματος .

Το WINDOWS μενού βοηθάει στη διαχείριση των διαφορετικών παραθύρων και στην πιο εύκολη διαχείριση τους.

Το HELP μενού περιλαμβάνει εντολές για τη παροχή βοήθειας στο χρήστη του προγράμματος.

Δημιουργία Αρχείου

Πριν αρχίσουμε τη δημιουργία του αρχείου με τη χρήση του E.E.S. πρέπει να έχουμε βρει τις εξισώσεις που θέλουμε χρησιμοποιήσουμε. Αφού τις συγκεντρώσουμε και βρούμε όλα τα στοιχεία που χρειαζόμαστε, όπως τα δεδομένα και τα ζητούμενα, τις τιμές των σταθερών, στη συνέχεια πηγαίνουμε στο μενού File και πάμε στην εντολή New και ανοίγουμε ένα νέο αρχείο.

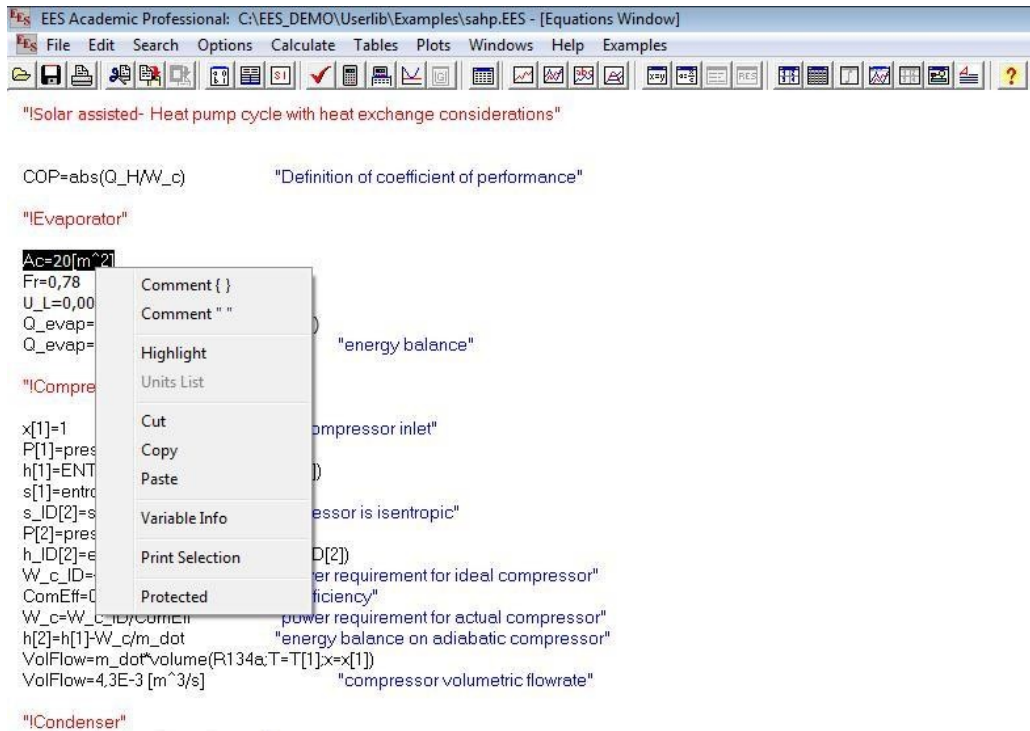
Equations Window

Αρχικά εμφανίζεται στην οθόνη ένα παράθυρο , το Equations Window. Στο παράθυρο αυτό θα περάσουμε τις εξισώσεις του προβλήματος που θέλουμε να επιλύσουμε.

Ο τρόπος εισαγωγής των εξισώσεων είναι παρόμοιος με αυτόν των περισσότερων προγραμμάτων. Οι βασικοί κανόνες εισαγωγής είναι οι εξής:

- Το πρόγραμμα δε ξεχωρίζει κεφαλαία από μικρά γράμματα. Το πρόγραμμα θα μετατρέψει το αρχικό γράμμα των μεταβλητών έτσι ώστε να ταιριάζει με τον τρόπο που πρωτοεμφανίστηκε.
- Η εισαγωγή κενών μπορεί να γίνει κατά βούληση , καθώς το πρόγραμμα τα αγνοεί.

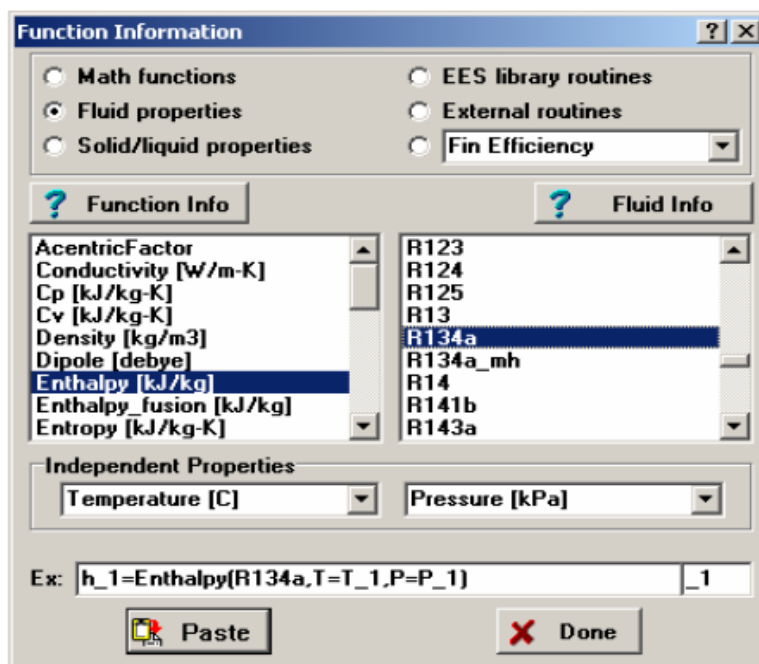
- Τα σχόλια πρέπει να συμπεριλαμβάνονται μέσα στις αγκύλες { } ή μέσα στα εισαγωγικά "". Τα σχόλια μπορούν να καταλαμβάνουν όσες γραμμές θέλουμε. Τα σχόλια που ξεκινούν με θαυμαστικό ! έχουν διαφορετικό χρώμα από τα υπόλοιπα. Το χρώμα και η γραμματοσειρά των σχολίων μπορούν να ρυθμιστούν από το Options μενού με την εντολή Preferences.



- Τα ονόματα των μεταβλητών πρέπει να ξεκινούν με γράμμα και με οποιοδήποτε πλήκτρο εκτός από τους εξής χαρακτήρες: () \ | ' * + - ^ { } : " ; . Οι μεταβλητές με συντεταγμένες γράφονται μέσα σε [], για παράδειγμα X[3,4]. Το μέγιστο μέγεθος του ονόματος μιας μεταβλητής είναι 30 χαρακτήρες.
- Οι εξισώσεις συνήθως γράφονται μια σε κάθε σειρά.
- Πολλαπλές εξισώσεις μπορούν να εισαχθούν σε μια σειρά αν χωρίζονται μεταξύ τους με ; και το μέγεθός της μιας γραμμής δε πρέπει να ξεπερνά τους 255 χαρακτήρες.
- Η σειρά που γίνονται οι μαθηματικές πράξεις ακολουθούν τους κανόνες που χρησιμοποιούνται στην Fortran, στην Basic και στην Pascal.
- Για να υψώσουμε σε δύναμη χρησιμοποιούμε τα σύμβολα ^ και **.
- Δεν παίζει ρόλο η σειρά εισαγωγής των εξισώσεων.

- Επίσης δε παίζει ρόλο η θέση των γνωστών και των αγνώστων μεταβλητών.
- Οι μονάδες των σταθερών μπορούν να εισάγονται σε αγκύλες αμέσως μετά τον ορισμό τους, λ.χ. $g=9,82[m/s^2]$.
- Οι εξισώσεις μπορούν να αποκοπούν, να αντιγραφούν και να επικολληθούν σε άλλα σημεία. Επίσης μπορούν να μεταφερθούν εξισώσεις που υπάρχουν σε ένα αρχείο κάνοντας χρήση των εντολών Merge και Load Library που βρίσκονται στο File μενού.
- Πατώντας το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στο Equations Window εμφανίζεται ένα παράθυρο με εντολές, οι οποίες επιτρέπουν να μετατρέψουμε σε σχόλιο το επιλεγμένο κείμενο ή να το αφαιρέσουμε από τα σχόλια, επίσης να κόψουμε, εκτυπώσουμε και να χρωματίσουμε έντονα το επιλεγμένο κείμενο. Επίσης μπορούμε να δούμε τη λίστα με τις μονάδες πατώντας το Unit list. Ακόμα έχουμε την δυνατότητα εισαγωγής των μονάδων μιας μεταβλητής πηγαίνοντας στο Variable info μενού.
- Τα θερμοδυναμικά μεγέθη όπως η ενθαλπία, ο ειδικός όγκος, έχουν ειδικό τρόπο εισαγωγής. Αρχικά πρέπει να δηλώσουμε το ψυκτικό μέσου του οποίου ψάχνουμε το θερμοδυναμικό μέγεθος, στη συνέχεια διαλέγουμε τι θέλουμε να βρούμε και το δηλώνουμε μόνο με το γράμμα που του αντιστοιχεί. Τα γράμματα αυτά είναι: T, P, H,U, S,V, και X τα οποία αντιστοιχούν στην θερμοκρασία, στην πίεση, στην ενθαλπία, στην εσωτερική ενέργεια, στην εντροπία, στον ειδικό όγκο, και στην ξηρότητα. Για ψυχομετρικές εφαρμογές μπορούν να βρεθούν η υγρασία W, η σχετική υγρασία R και η θερμοκρασία υγρής σφαίρας D.

Ένας εύκολος τρόπος να εισάγουμε αυτά τα δεδομένα είναι πηγαίνοντας στο Option μενού στην εντολή Function Information. Η εντολή αυτή εμφανίζει ένα παράθυρο, πατώντας πάνω στο Thermo physical properties εμφανίζεται μια λίστα με τα θερμοδυναμικά μεγέθη στα αριστερά και μια άλλη με τα ψυκτικά μέσα στα δεξιά. Επιλέγουμε το ψυκτικό και το μέγεθος που θέλουμε να υπολογίσουμε και εμφανίζεται ένα παράδειγμα της εντολής που δώσαμε στο κάτω μέρος του παραθύρου στο Ex. Πατώντας το Paste θα αντιγραφεί στο παράθυρο με τις εξισώσεις.



Υπάρχει η δυνατότητα να θέσουμε ανώτατα κα κατώτατα όρια στις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές πριν επιλύσουμε το πρόγραμμα. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε πηγαίνοντας στο Options μενού στην εντολή Variable information. Το E.E.S. πριν εμφανίσει το παράθυρο ελέγχει την σύνταξη των εντολών και στην συνέχεια λύνει τις εξισώσεις με έναν άγνωστο.

Το παράθυρο αυτό περιέχει σε κάθε γραμμή πληροφορίες για την κάθε μεταβλητή που εμφανίζεται στο παράθυρο των εξισώσεων. Αν δεν θέσουμε τιμή η κάθε μεταβλητή έχει την τυχαία τιμή 1,0 και όρια το άπειρο. Το γράμμα A στη στήλη Display δηλώνει ότι το E.E.S. καθορίζει αυτόματα τον τρόπο παρουσίασης της μεταβλητής στο παράθυρο με την λύση. Αντί για το γράμμα A θα μπορούσε να είναι το γράμμα E, το οποίο δηλώνει εκθετική μορφή ή το γράμμα F για να καθορίσουμε συγκεκριμένο αριθμό σημαντικών ψηφίων.

EES Academic Professional: C:\EES_DEMO\Userlib\Examples\sahp.EES - [Equations Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"Solar assisted- Heat pump cycle with heat exchange considerations"

COP=abs(Q_HM

"IEvaporator"

Ac=20[m^2

Fr=0,78

U_L=0,00705[kW

Q_evap=Ac*Fr*(

Q_evap=m_dot*(

"ICompressor"

x[1]=1

P[1]=pressure(R

h[1]=ENTHALPY

s[1]=entropy(R13

s_ID[2]=s[1]

P[2]=pressure(R

h_ID[2]=enthalpy

W_c_ID=(h_ID[2

ComEff=0,60

W_c=W_c_ID/Cc

h[2]=h[1]-W_c/m

VolFlow=m_dot*volume(R134a,T=T[1],x=x[1])

VolFlow=4,3E-3 [m^3/s] "compressor volumetric flowrate"

"ICondenser"

Variable Information

Show array variables

Show string variables

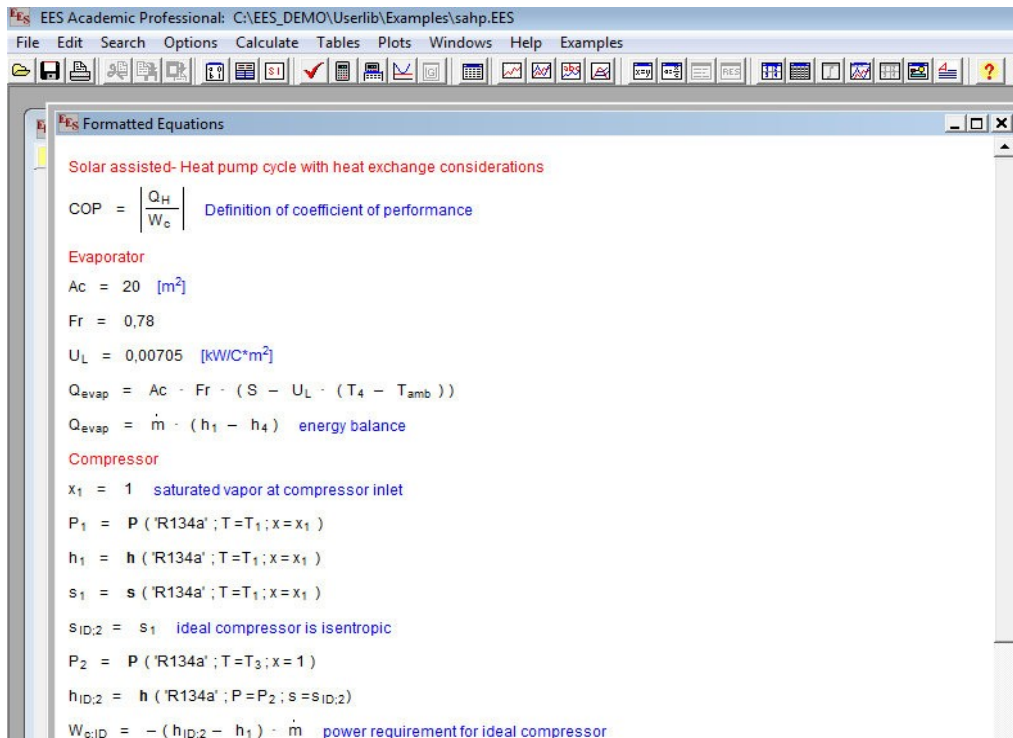
Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units	Key	Comment
Ac	20	-infinity	infinity	A 3	N m^2		
Alpha	0,81	5,0000E-01	3,0000E+00	A 4	N KW/C		
Beta	1,75	-infinity	infinity	A 4	N KW/C		
ComEff	0,6	-infinity	infinity	A 4	N -		
COP	2,891	-infinity	infinity	A 3	N -		
C_air	1,005	-infinity	infinity	A 3	N kJ/kgC		
Fr	0,78	-infinity	infinity	A 3	N -		
h[1]	188,1	-infinity	infinity	F 1	N kJ/kg		
h[2]	210,2	-infinity	infinity	F 1	N kJ/kg		
h[3]	61,5	-infinity	infinity	F 1	N kJ/kg		
h[4]	61,5	-infinity	infinity	F 1	N kJ/kg		
h_ID[2]	201,3	-infinity	infinity	F 1	N kJ/kg		
m_air	20	-infinity	infinity	A 3	N		

OK Apply Print Update Cancel

Μετά την εισαγωγή των εξισώσεων στο παράθυρο αυτό μπορούμε να ελέγξουμε την σύνταξή τους χρησιμοποιώντας την εντολή Check/Format που βρίσκεται στο μενού Calculate.

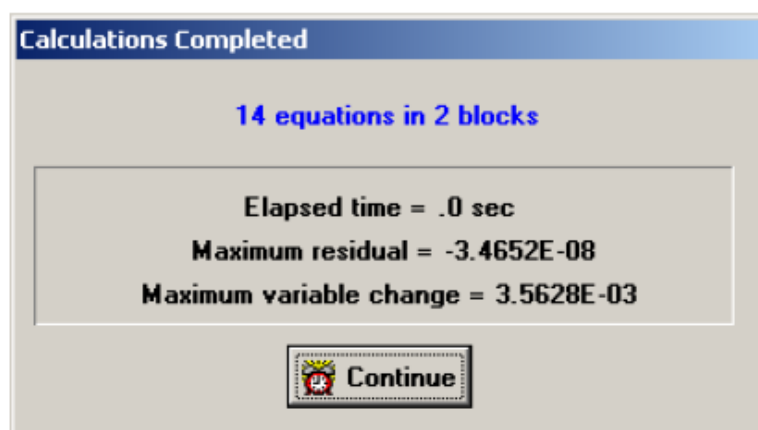
Formatted Window

Μπορούμε να δούμε τις εξισώσεις που έχουμε περάσει στο Equations Window με τους παραπάνω τρόπους, σε μια άλλη μορφή, πιο «μαθηματική», η οποία είναι πιο ευανάγνωστη. Υπάρχει ένα παράθυρο, το Formatted Equations, το οποίο κάνει αυτή τη δουλειά. Για να εμφανιστεί το παράθυρο αυτό πατάμε την εντολή Formatted Equations στο Windows μενού. Στο παράθυρο αυτό παρουσιάζονται και τα σχόλια, αλλά όχι αυτά που βρίσκονται μέσα σε αγκύλες. Στο παράθυρο αυτό γίνεται να παρουσιάζονται οι μονάδες των εξισώσεων.



Solution Window

Στην συνέχεια, προχωρούμε στην επίλυση των εξισώσεων. Πηγαίνουμε στο Calculate μενού, στην εντολή Solve ή Min/Max και εμφανίζεται αυτόματα μπροστά από όλα τα υπόλοιπα παράθυρα το Solution Window, το οποίο μας δείχνει το χρόνο που απομένει μέχρι την επίλυση των εξισώσεων, την μέγιστη απόκλιση, και την μέγιστη μεταβολή των τιμών των μεταβλητών από την προηγούμενη επανάληψη.




Όταν ο υπολογισμός τελειώσει, το E.E.S. παρουσιάζει τον συνολικό αριθμό των εξισώσεων του προβλήματος και τον αριθμό των μπλοκ. Το μπλοκ είναι ένα στοιχείο της εξίσωσης που μπορεί να επιλυθεί ανεξάρτητα. Όταν ολοκληρωθεί ο

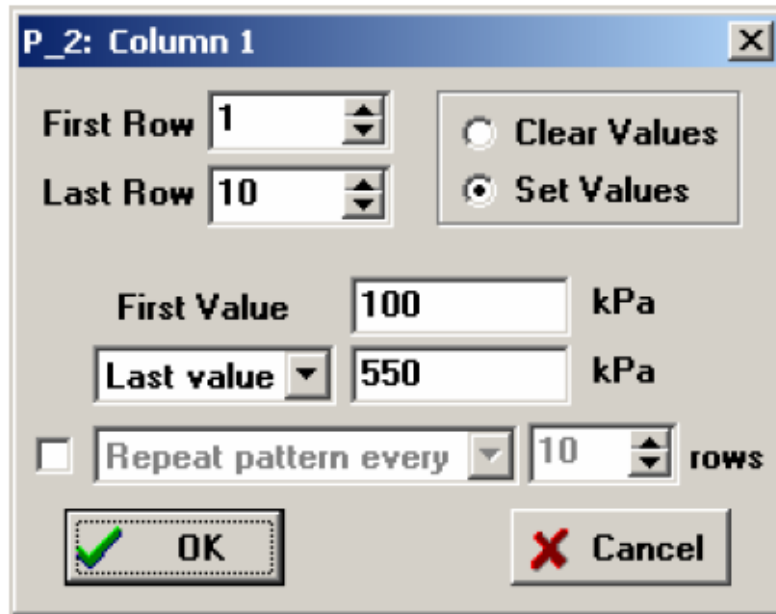
υπολογισμός πατάμε το κουμπί Continue, και εμφανίζεται το παράθυρο με τις λύσεις, το Solution Window.

Parametric Tables

Ένα από τα πιο χρήσιμα χαρακτηριστικά του E.E.S. είναι η δυνατότητα να δημιουργεί παραμετρικούς πίνακες (Parametric tables). Οι παραμετρικοί πίνακες λειτουργούν σαν υπολογιστικά φύλλα. Εισάγουμε τιμές στα κελιά του, πράγμα που αντιστοιχεί με το να θέτουμε μια τιμή σε μια μεταβλητή στο παράθυρο εξισώσεων. Οι εξαρτημένες μεταβλητές θα υπολογιστούν και θα παρουσιαστούν στον πίνακα με μπλε χρώμα, όταν πατήσουμε την εντολή Solve Table στο Calculate μενού.

Ένας παραμετρικός πίνακας δημιουργείται χρησιμοποιώντας την εντολή New Parametric Table στο Tables μενού. Οι μεταβλητές που θα εμφανίζονται στον πίνακα επιλέγονται από μία λίστα μεταβλητών που εμφανίζεται. Κάθε γραμμή του πίνακα είναι ένας ξεχωριστός υπολογισμός. Ο αριθμός των γραμμών του θα έχει ο πίνακας, επιλέγεται κατά την δημιουργία του, αλλά μπορεί να αλλαχθεί χρησιμοποιώντας την εντολή Insert/Delete Runs στο Tables μενού. Οι τιμές μπορούν να εισαχθούν στον πίνακα χρησιμοποιώντας την εντολή Alter Values στο Tables μενού. Εναλλακτικά, πατώντας το δεξί πλήκτρο πάνω στην επικεφαλίδα της στήλης που θέλουμε να περάσουμε τις τιμές και πατώντας το Alter Values από το παράθυρο που εμφανίζεται ή πατώντας στο κουμπί  που βρίσκεται πάνω δεξιά στην επικεφαλίδα της κάθε κολόνας και εμφανίζει το παρακάτω παράθυρο, αλλιώς μπορούμε να περάσουμε τις τιμές στο πίνακα πληκτρολογώντας τα δεδομένα μέσα σε κάθε κελί. Μπορούμε να συνοδεύσουμε τους πίνακες με κάποια σχόλια πάνω στο περιεχόμενό τους τα οποία θα εμφανίζονται κατά την εκτύπωση.

Πατώντας το κουμπί OK αρχίζουν να γίνονται οι υπολογισμοί και παίρνουμε τον πίνακα με συμπληρωμένα όλα τα κελιά του.



Lookup Tables

Μπορούμε να φτιάξουμε ακόμα, πίνακες οι οποίοι είναι πίνακες των δεδομένων των διαγραμμάτων που θα φτιάξουμε. Οι πίνακες αυτοί δημιουργούνται πηγαίνοντας στο Tables μενού και επιλέγοντας την εντολή New Lookup Table. Τότε εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο μπορείς να ορίσεις τον αριθμό των στηλών και των γραμμών που θα έχει ο πίνακας καθώς επίσης και το όνομά του. Μετά την δημιουργία του μπορούμε να περάσουμε να νούμερα που θέλουμε στα κελιά του πίνακα ή να αντιγράψουμε από άλλους πίνακες στήλες ή γραμμές σε αυτόν.

Diagram Window

Στη συνέχεια, μπορούμε να ανοίξουμε το Diagram Window, στο οποίο μπορούμε να φτιάξουμε τα διαγράμματα για το πρόβλημά μας, και να τοποθετήσουμε και τα απαραίτητα σχόλια. Επίσης στο παράθυρο αυτό μπορούμε να περάσουμε και να παρουσιάσουμε εύκολα τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του προβλήματος για την δημιουργία μιας αναφοράς. Μπορούμε να τοποθετήσουμε στο παράθυρο αυτό το

Calculate κουμπί , το οποίο εύκολα μπορεί να αρχίσει τον υπολογισμό. Άλλα κουμπιά που μπορούν να εμφανιστούν στο παράθυρο με το διάγραμμα είναι το Link, το Help.

Υπάρχουν δυο τρόποι για την δημιουργία σχεδιαγράμματος: είτε δημιουργώντας σε ένα οποιοδήποτε πρόγραμμα που φτιάχνει γραφήματα και αντιγράφοντάς το στο παράθυρο είτε χρησιμοποιώντας το ειδικό μενού(μια σειρά εργαλείων) και να τα κατασκευάσουμε.

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται η γραμμή εργαλείων του παραθύρου αυτού και ένα παράδειγμα ενός διαγράμματος .

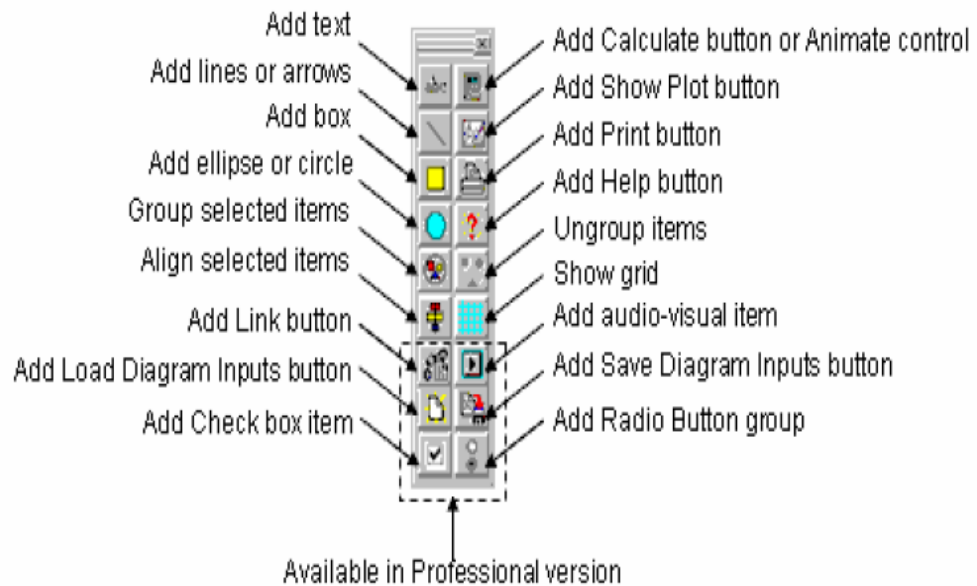


Diagram Window

COMPRESSOR MODEL

Unit system: **English**

Type of compressor data: **Capacity**

Rating Conditions:

Subcooling: **0** [C, F]

Suction temperature: **65** [C, F]

File menu:

Next >>

<< Back

Main Menu

$$\dot{W}_{th} = \dot{m}_{act} \cdot \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot \frac{P_{suc}}{\rho_{suc}} \cdot \frac{1}{\rho_{suc}} \cdot \left[\left(\frac{P_{dis}}{P_{suc}} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right]$$

$$\eta_{comp} = \frac{\dot{W}_{th}}{\dot{W}_{act}} = a + \frac{b}{P_{suc}}$$

Input:

Number of data points: **14**

Number of cylinders: **6**

Motor speed: **1750** [1/min]

Total displacement rate: **37** [cm³/s, ft³/s]

Lookup-file: **compressor.lkt**

Optimize

Help

Output:

a=0.7361

b=-0.1861

Error_{power}=0.008178

Plot menu:

Mass flow rate [lbm/hr]

Mass flow rate [kg/hr]

Power [kW]

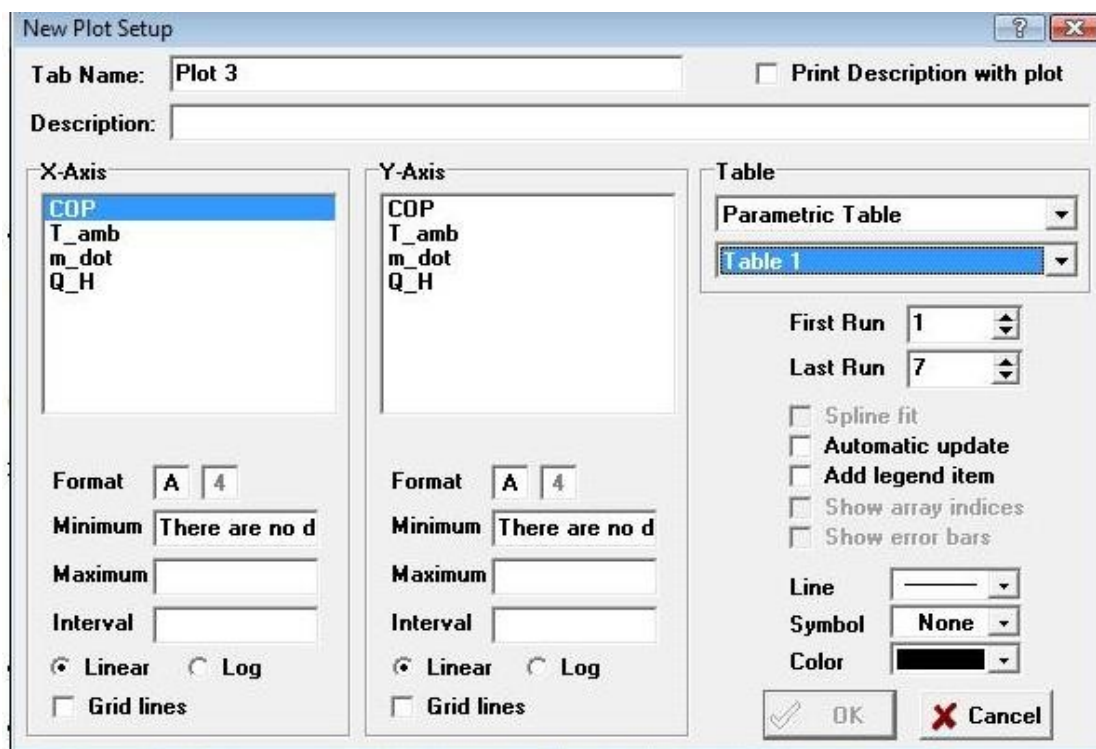
Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω κουμπιά μπορούμε να δημιουργήσουμε διάφορα σχήματα, γραμμές, να περάσουμε κείμενο, να περάσουμε διάφορα κουμπιά και άλλα.

Plot Window

Τέλος χρησιμοποιώντας το E.E.S. μπορούμε να φτιάξουμε διαγράμματα με τα αποτελέσματα που πήραμε από τους Parametric, Lookup, Array και Integral πίνακες. Τα διαγράμματα μπορούμε να τα φτιάξουμε πηγαίνοντας στο Plot μενού στη εντολή New Plot Window. Η εντολή αυτή επιτρέπει την δημιουργία 2-D και 3-D διαγραμμάτων. Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των διαγραμμάτων που μπορούν να κατασκευαστούν. Υπάρχουν πολλές επιλογές ως προς το είδος της διαγράμμισης που θέλουμε να έχουμε όπως για παράδειγμα λογαριθμική.

Πατώντας την εντολή New Plot Window και το είδος του διαγράμματος που θέλουμε να φτιάξουμε εμφανίζεται ένα παράθυρο, στο οποίο καθορίζουμε τα μεγέθη που θα βρίσκονται στον κάθε άξονα, το όνομα του διαγράμματος, το είδος του

διαγράμματος, από ποιον πίνακα παίρνουμε τα δεδομένα καθώς επίσης και την μορφή του διαγράμματος (χρώμα , είδος διαγράμμισης κ.λπ.).



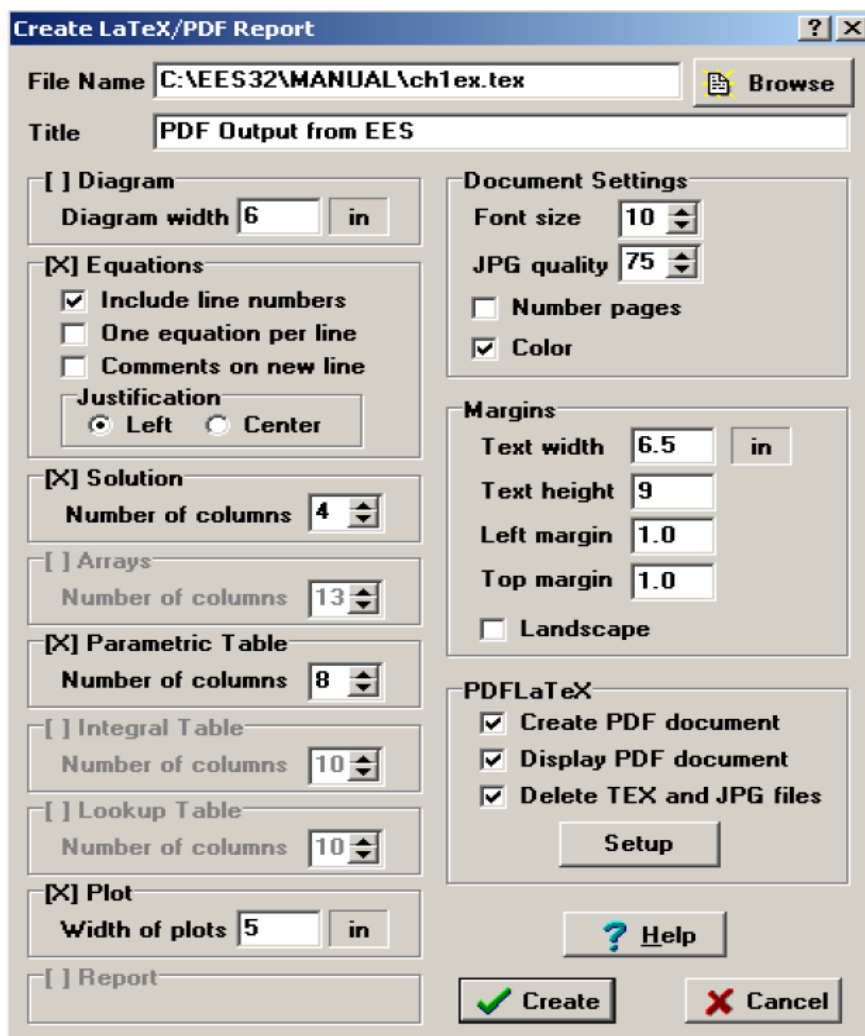
Αφού τα επιλέξουμε πατάμε OK και εμφανίζεται το διάγραμμα.

Δημιουργία Αρχείου Acrobat Reader με το πρόγραμμα MikTeX

Υπάρχει η δυνατότητα, με τη χρήση ενός άλλου προγράμματος, η μετατροπή του αρχείου που έχουμε φτιάξει με το E.E.S. σε μορφή αρχείου PDF. Τα αρχεία αυτά είναι πιο εύχρηστα διότι μπορούν να ανοιχτούν και να διαβαστούν κατ'επέκταση από όλους σχεδόν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές , καθώς το πρόγραμμα Adobe Acrobat Reader είναι ευρέως διαδεδομένο.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιούμε είναι το MiKTeX, το οποίο περιέχει τη διάταξη αποδελτίωσης (compiler) LaTeX2E. Αφού το εγκαταστήσουμε στον υπολογιστή για να μπορέσουμε να φτιάξουμε το αρχείο μας σε μορφή PDF πρέπει να πάμε στο File μενού στην εντολή Create Latex/PDF Report. Στο αναδυόμενο

παράθυρο θα επιλέξουμε το κουμπί Setup και θα ορίσουμε τον κατάλογο που είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα PDFLaTeX. exe.



Αφού επιλέξουμε τη μορφή που θέλουμε να έχει αυτή η αναφορά, πατάμε το κουμπί Create και την δημιουργούμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Υπολογιστικό Μέρος

Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή θέλουμε να μελετήσουμε τη θερμική συμπεριφορά μιας ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας την οποία χρησιμοποιούμε για την θέρμανση νερού στην περιοχή της Αθήνας.

Στο πρόγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω μελετάμε την συμπεριφορά της αντλίας αυτής για κάθε μέρα του μήνα Αύγουστου , του Δεκεμβρίου και του Απριλίου, ώστε να έχουμε μια γενική εικόνα της συμπεριφοράς . Ως δεδομένα έχουμε την μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου H (kW/m^2) και την μέση θερμοκρασία της κάθε ημέρας. Για τα επιμέρους τμήματα του συστήματος , που έχουμε περιγράψει στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουμε θεωρήσει ορισμένες τιμές τις οποίες θα ονομάσουμε στη συνέχεια.

Μέση Ημερήσια Ηλιακή Ακτινοβολία Οριζοντίου Επιπέδου

Με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης υπολογίζουμε την ακτινοβολία

$$G_T = 4,343 + 2,676 \sin\left(\frac{360}{365} D - 86,410\right)$$

Όπου:

D: η μέρα του χρόνου

Για τον Αύγουστο έχουμε $D=[213-243]$.

Για τον Δεκέμβριο έχουμε $D=[335-365]$

Για τον Απρίλιο έχουμε $D=[91-120]$

Ο τύπος αυτός όμως μας δίνει την ηλιακή ακτινοβολία σε μονάδες ενέργειας ανά επιφάνεια (kWh/m²) . Εμείς όμως θέλουμε την ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας (kW/m²). Για αυτό το λόγο διαιρούμε τα αποτελέσματα από τον τύπο αυτό με 10 h , έτσι ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το διαιρέσαμε με 10 ώρες διότι οι μετρήσεις γίνονται κάθε μία ώρα από τις 08:00 μέχρι τις 17:00. Τα αποτελέσματα που βρήκαμε για τους τρεις μήνες παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Αύγουστος

D (ημέρα χρόνου)	G_T (kW/m²)
213	0,3435
214	0,35038
215	0,4329
216	0,5171
217	0,5276
218	0,4548
219	0,3641
220	0,3368
221	0,3973
222	0,4914
223	0,5348
224	0,4885
225	0,3941
226	0,3362
227	0,3667
228	0,4582
229	0,5288
230	0,5151
231	0,4294
232	0,3485
233	0,3450
234	0,4220
235	0,5104
236	0,5311
237	0,4654
238	0,3723
239	0,3352
240	0,3874
241	0,4821
242	0,5344
243	0,4974

Δεκέμβριος

D(ημέρα χρόνου)	G_T(kW/m²)
335	0,2036
336	0,4196
337	0,6492
338	0,6866
339	0,4983
340	0,2530
341	0,1707
342	0,3251
343	0,5778
344	0,7023
345	0,5870
346	0,3352
347	0,1727
348	0,2451
349	0,4876
350	0,6827
351	0,6556
352	0,4305
353	0,2093
354	0,1902
355	0,3904
356	0,6304
357	0,6950
358	0,5264
359	0,2757
360	0,1676
361	0,2991
362	0,5522
363	0,7001
364	0,6102
365	0,3630

Απρίλιος

D(ημέρα χρόνου)	G_T(kW/m²)
91	0,3812
92	0,1866
93	0,2145
94	0,4399
95	0,6608
96	0,6790
97	0,4784

98	0,2386
99	0,1748
100	0,3440
101	0,5946
102	0,7020
103	0,5698
104	0,3166
105	0,1694
106	0,2600
107	0,5074
108	0,6897
109	0,6435
110	0,4102
111	0,1990
112	0,1992
113	0,4106
114	0,6437
115	0,6895
116	0,5070
117	0,2598
118	0,1694
119	0,3169
120	0,5701

Μέση θερμοκρασία κάθε μέρας

Τις τιμές της μέσης θερμοκρασίας κάθε μέρας του μήνα που μας ενδιαφέρει τις βρήκαμε από την Μετεωρολογική Υπηρεσία για το έτος 2008. Οι θερμοκρασίες φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Αύγουστος

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	T_{amd}
1	27	28,4	30	31	32	33	32,8	33,2	30,8	30,8	31
2	26,9	27,4	29	30	31	31,2	32,2	32	31,8	30,6	30,41
3	25,8	27,4	28,8	30	30,4	31,2	32,2	32,4	32	31,6	30,48
4	25,6	28,6	30	31,4	32,4	32,8	33,6	33,6	34	33,8	31,98
5	28,4	30	32,2	34,2	35,2	36	36,6	36,4	36,4	36,2	34,66
6	28,6	31,4	34,5	36,4	37,2	36,6	37,8	38	37,6	37,4	36,15
7	30,8	32,4	33,6	33,6	37,2	35	35	35,2	34,2	33,6	34,76
8	28,2	30	31,8	32,6	34,2	34	34,6	35	35,4	34,4	33,82
9	26,4	28	30	30,8	33,8	32,2	33	32,2	29,8	29,1	31,43

10	28,6	28,6	30	31,6	32,6	33,6	35,2	34,2	33,4	31,4	32,92
11	24,4	26,4	29,6	29,6	30	30	30	31,6	32,2	30,6	30,54
12	26	28,2	30	31,2	32,2	33,4	33,8	34,2	33	32,8	32,68
13	28	29,6	32,4	33,4	34,8	35,2	35,8	36,2	35,8	35,6	34,98
14	29,2	31,6	32,6	33,6	35,2	35,4	36	35	35,2	34,6	35,24
15	30,4	31,6	33,8	35	36	36,2	36,2	36	35	36	36,12
16	28,5	30,2	32,8	34,6	34,6	35,4	35	34	33,6	33,6	34,83
17	26,6	29,6	31,6	32,8	33,6	34,6	33,4	31,8	31,6	30,8	33,34
18	27,8	29,2	31,9	32	32,8	33,6	33,4	32	31,6	31,8	33,41
19	28,6	30,2	31,8	33	34	35	35,2	35	34,6	34	35,04
20	28,8	30,6	32,6	34,4	35	38,2	36,4	36,6	36	35,2	36,38
21	28,6	30,4	32,8	33,4	34,8	35,4	35,8	36,2	35,8	34,2	35,84
22	29	30	32,4	33,8	34,4	35,4	36,6	36,6	36	35,6	36,18
23	29	31	32,8	34,2	35,2	36,4	37	35	35,4	34,4	36,34
24	27,2	28,6	31,6	32,6	34,2	33,6	33	33,4	32,4	31,6	34,22
25	25,8	29,9	32	33,4	34,4	34,6	34,2	33,8	32,6	31,4	34,71
26	26,2	28	30	31,4	32,8	32,2	34,2	34,6	34,2	32,4	34,2
27	27,6	29	31,8	32,6	34	34,2	34,6	34,4	34,4	32,6	35,22
28	26,4	28,4	30,4	31,6	32	32,4	33,6	34	33	32,6	34,24
29	25,6	27,2	29,6	31	30,2	31,4	30,6	29,8	28,4	28	32,08
30	25	26,8	28	29,8	30,6	31	31,4	30	29,8	29,2	32,16
31	24,8	25	25,2	25,8	26,6	26,8	28,4	28,2	28	27	29,68

Δεκέμβριος

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	T _{amb}
1	11,2	13,2	15	17	17,2	17,6	17,6	18,2	18	17,4	16,24
2	17,2	17,8	18,4	18,8	19,2	20	19,8	19,4	19,2	18,8	18,86
3	17,6	18,6	19	20	20,4	20,2	20,6	20,4	20	19,2	19,6
4	18,6	19,2	20	20	20	19,8	19,8	20,2	19,6	19,2	19,64
5	16	16	17,6	19	18,8	18,6	18,8	18,8	18,6	17,6	17,98
6	12,6	14,6	16,8	17,6	18,6	19	18,6	18,4	17,8	17,6	17,16
7	16	15,8	16,6	18	18,4	18,8	18,8	18,6	18,2	17,6	17,68
8	9	12	13	14,2	14,6	14,8	14,8	14,6	14,4	13,4	13,48
9	5,4	8,6	10,2	11,4	11,6	12	12	12	11,6	10,4	10,52
10	5,4	7	10,8	13	12,8	13,4	13,6	13,4	12,8	12	11,42
11	13,2	13,6	14	14,8	15	15,6	15,8	16	15,2	15,2	14,84
12	13,2	14,2	14,6	16,4	17,6	17,8	17,4	17,4	17,4	14,4	16,04
13	10,6	11,4	15,8	17,2	16,8	16,8	16,8	17	16,6	16,4	15,54
14	10,2	11	13	14,6	15,6	15,6	14,8	15,8	15,2	15,2	14,1
15	13,4	14	14,8	16,6	17	18	18,2	18	17	16,4	16,34
16	13	13,2	15,4	17	17,2	17,8	17,2	17,6	17	15,8	16,12
17	13	13,6	14,4	16,2	17	17	17,2	16,8	17,2	16,8	15,92
18	17,6	18,2	18,2	14	13	13,2	14,6	15,2	15,2	14,6	15,38
19	13	14,2	15,6	17,2	17	17,2	17,6	18	17,4	16,8	16,4
20	12,2	12	12,6	13,8	14,6	15,4	15,6	15	14,8	13,4	13,94

21	9,6	10	10,6	11	11,6	11	11	11,2	11,2	9,8	10,7
22	8,2	8	10,6	8	8	9	9,4	10	9,8	9,6	9,06
23	5	6,6	8	10,4	10,8	10,6	11,2	12	11,8	11,4	9,78
24	7,8	8	8,4	8,8	9	9,4	9,4	9,4	8,8	7,8	8,68
25	0,4	2,8	8,6	8,6	8,4	8,8	8,8	9,2	9	8	7,26
26	8,6	8,6	6,4	8,4	8,4	8,8	9	8,4	8	8	8,26
27	8,4	8,4	8,6	9	8,8	8,8	8,6	9	9	8,8	8,74
28	6,4	6,6	6,8	6,4	6,6	6,4	7,4	7,6	7,8	7	6,9
29	6,8	7,2	7,6	8	8	8	8,4	8,2	7,6	7,2	7,7
30	5,4	5	6,2	6,4	6,8	7	7,2	5,6	4	4,8	5,84
31	6	5,6	6,2	6,4	7	7,8	7,8	6,4	6,4	6,2	6,58

Απρίλιος

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	T _{amb}
1	9,6	13,4	15	16,2	17	17,6	17,2	16,8	16,2	16,2	15,52
2	10,8	13,4	14,8	15,4	14,6	14,2	14,4	14	13,4	13,4	13,84
3	11,4	11,6	13	13,4	15	15,8	16,2	15,8	16,4	15,8	14,44
4	10	11,8	15	16,4	16,8	17,6	18	17,4	17,4	17,4	15,78
5	14	14,6	15,6	15,8	15,8	15,4	15,2	14,4	14,2	13,6	14,86
6	10,8	12	13,6	14,8	16	16,4	16	15,4	16	16	14,7
7	13,8	16	17,2	18	18,8	19,4	19,2	18,8	18,4	18,2	17,78
8	11,8	15,8	16,4	19	18,8	19,2	18,6	18,6	17,4	17,6	17,32
9	14,8	16,2	17	17,4	18,8	19,4	19,4	20	19,6	19,4	18,2
10	14,8	16,8	18,4	19	19,4	19,8	19,2	18,8	18,6	18,2	18,3
11	15,4	17,4	18,2	18,4	19	19,8	20,4	19,4	18,8	18,4	18,52
12	14,8	16,6	18,2	19,2	21	22,6	24,4	25,4	23,4	22,8	20,84
13	19,2	20,6	21,6	21,8	21,8	21,4	23,2	23,4	23	22,2	21,82
14	18,6	19,4	20,6	22	23	23,4	22,8	23,4	23,2	23,2	21,96
15	16,6	17,8	18	19	20,2	20,2	21,2	20,4	20,2	18,6	19,22
16	13,8	14,2	16	17	17,6	18,2	18,8	18,6	19	18,8	17,2
17	12,2	14	14,6	16	17,4	18,2	18,4	18,2	17,8	17,2	16,4
18	14,4	15,8	16,8	17,6	19	20	20,4	20,4	20	19,4	18,38
19	16	17,6	19,4	19,8	20,6	21,2	21	20,6	19,2	17,6	19,3
20	16,6	18,2	20,4	21	22	24	25	25	24,8	24,6	22,16
21	17	19,4	21,2	22,2	23,4	24,6	25	24,4	24,6	24,2	22,6
22	18	20,2	21	24	23,2	22,4	22,8	23	22,8	21,6	21,9
23	17,2	18,6	19,8	20,4	21,4	22,4	22,6	22,2	20,4	19,2	20,42
24	16,8	18,8	21,4	22,4	22,6	22,2	22,8	24,2	23,8	22,6	21,76
25	17	18,2	18,6	21	21,8	21,6	21	21,2	20	19,4	19,98
26	14,2	15,8	17,4	17,6	17,6	18,4	17,8	17,2	17	16,4	16,94
27	13,2	14,2	14,6	15,2	16,4	17,2	17,4	17,6	17,8	17,2	16,08
28	12,6	13,4	15,6	18	18	18,8	19,2	18,2	17,8	17	16,86
29	13,8	16,2	18	19	20	20,4	19,2	19,4	19,2	18,2	18,34
30	16,8	18,4	20	20,8	20,8	22	21	20,2	19,8	19,4	19,92

Ηλιακός Συλλέκτης



Για τον ηλιακό συλλέκτη θεωρήσαμε ότι :

- Η επιφάνεια του είναι $A=20 \text{ m}^2$
- Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $U_L=0,00705 \text{ kW/m}^2\text{C}$
- Ο παράγοντας θερμικής απολαβής είναι $F_R=0,78$
- Το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα είναι $(\tau\alpha)=0,89$.

Συμπιεστής

Για τον συμπιεστή της εγκατάστασης μας θεωρήσαμε ότι:

- Η συμπίεση έχει ισεντροπικό βαθμό συμπίεσης $ComEff=0,60$
- Η ογκομετρική παροχή του ψυκτικού μέσου ,R-134a, είναι $Volflow=0,0043$ m^3/sec .

Συμπυκνωτής

Για τον συμπυκνωτή θεωρήσαμε ότι:

- Είναι αερόψυκτος
- Η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα είναι $T_H=30$ °C
- Η παροχή του αέρα ψύξης είναι 1 Kg/sec
- Η θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι $C_{P_{air}}=1,0049$ kJ/kgC
- Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι $\beta=1,75$ kW/°C

Εκτονωτική Διάταξη

Για την εκτονωτική διάταξη θεωρήσαμε ότι η εκτόνωση είναι ισενθαλπική.

Ψυκτικό Μέσο R-134a

Για να βρούμε τα θερμοδυναμικά μεγέθη του ψυκτικού μέσου σε κάθε σημείο που ψυκτικού κύκλου πρέπει να βρούμε τις εξισώσεις που τα ορίζουν σε σχέση με τη πίεση . Το E.E.S. όμως τις έχει αυτές τις εξισώσεις περασμένες αλλά δεν μπορούμε να τις δούμε για να τις αναφέρουμε,. Μπορούμε μόνο να τις ανακαλέσουμε. Παρουσιάζουμε παρακάτω μια γενική σχέση για την εύρεση της ενθαλπίας :

$$h = h_0 + \int_{T_0}^T C_p^{id} dT - RT + \frac{P}{\rho} + \int_0^P \left[\frac{P}{\rho^2} - \frac{T}{\rho^2} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \right] d\rho$$

όπου:

ρ : η πυκνότητα

C_{pmixt}^{id} : η ειδική θερμοχωρητικότητα για σταθερή πίεση ιδανικού μίγματος

Εναλλάκτης Θερμότητας

Για τον εναλλάκτη που χρησιμοποιήσαμε για την μεταφορά θερμότητας από τον θερμό αέρα που έψυξε τον συμπυκνωτή στο νερό που θέλουμε να θερμάνουμε θεωρήσαμε τα έξης:

- Είναι εναλλάκτης αέρος- νερού
- Η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας είναι $A=100\text{m}^2$
- Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι $U=55\text{W/m}^2\text{°C}$. Οι τιμές του κυμαίνονται από $25\text{-}55\text{ W/m}^2\text{°C}$.
- Η θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στον εναλλάκτη για να το θερμάνουμε είναι 25°C .
- Η παροχή του νερού είναι $0,25\text{ kg/sec}$
- Η θερμοχωρητικότητα του νερού είναι $C_{p\text{water}}=4,18\text{ kJ/kg°C}$
- Για τον υπολογισμό των στοιχείων του εναλλάκτη χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο με την αποδοτικότητα του εναλλάκτη, την οποία περιγράφουμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Όλες τις τιμές που θεωρήσαμε είναι ενδεικτικές και τις βρήκαμε από διάφορα αντίστοιχα παραδείγματα και εργασίες.

Στο πρόγραμμα κάναμε μια προσέγγιση στην επίλυση του συστήματος αυτού, με στόχο την θέρμανση ποσότητας νερού στην περιοχή της Αθήνας.

Παρατηρήσεις:

- Παρακάτω ακολουθεί η παράθεση του προγράμματος και τον αποτελεσμάτων που βρήκαμε, καθώς και τα διαγράμματα που φτιάξαμε με βάση αυτά. Αρχικά θα δούμε το πρόγραμμα που φτιάξαμε όπως εμφανίζεται στο E.E.S. και στη συνέχεια σε μορφή αρχείου pdf. Τέλος έχουμε τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά την προσομοίωση που κάναμε.
- Οι εξισώσεις και τα σχόλια που έχουν γραφτεί δίπλα από τις εξισώσεις είναι στα Αγγλικά., διότι το πρόγραμμα δεν αναγνωρίζει την Ελληνική γραμματοσειρά.
- Η υπορουτίνα `$TabWidth 1,5 in` που έχουμε χρησιμοποιήσει στο τέλος του προγράμματος, ορίζει την απόσταση μεταξύ των γραμμών.
- Επειδή όπως προαναφέραμε το πρόγραμμα δεν αναγνωρίζει την ελληνική γραμματοσειρά τις μεταβλητές που έχουν ελληνικούς χαρακτήρες τις γράψαμε με τους αντίστοιχους αγγλικούς: το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του συλλέκτη (τα) το γράψαμε (ta), την αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (ε) την γράψαμε (e) και την μέγιστη και την ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας στον εναλλάκτη ($\Delta T_{max} - \Delta T_{min}$) ως (DTmax-DTmin).
- Για τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών μεγεθών του ψυκτικού μέσου, του R-134a, δεν δώσαμε τις εξισώσεις που τα υπολογίζουν, διότι το πρόγραμμα τα έχει περασμένα και εμείς απλά καλούμε τις αντίστοιχες τιμές τους.

Οι εξισώσεις του Equations Window

"!Solar assisted- Heat pump cycle with heat exchanger for heating water"

$COP_{H,P} = \text{abs}(Q_H/W_c)$ «Συντελεστής συμπεριφοράς την Α.Θ»

$COP_{water} = \text{abs}(Q_H.Ex./W_c)$ «Συντελεστής συμπεριφοράς του Ε.Θ»

"!Evaporator - Solar Collector "

$H = G_T \cdot (t_a)$ «Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία»

$t_a = 0,89$ « γινόμενο απορροφητικότητας επί αποδοτικότητα συλλέκτη»

$A_c = 20[m^2]$ «επιφάνεια συλλέκτη»

$Fr = 0,78$ «παράγων θερμικής απολαβής»

$U_L = 0,00705[kW/C \cdot m^2]$ «συντελ. μεταφοράς θερμότητας»

$Q_{evap} = A_c \cdot Fr \cdot (H - U_L \cdot (T[1] - T_{amb}))$ «εξίσωση του συλλέκτη»

$Q_{evap} = \dot{m} \cdot (h[1] - h[4])$ «ενεργειακός ισολογισμός»

"energy balance"

$T[4] = T[1]$ «ισοθερμοκρασιακή μεταβολή»

"!Compressor"

$x[1] = 1$ « ξηρότητα του R-134a στην είσοδο συμπιεστή»

$P[1] = \text{pressure}(R134a; T=T[1]; x=x[1])$ «η πίεση του ψυκτικού στην θέση 1 για θερμοκρασία T_1 και ξηρότητα x_1 »

$h[1] = \text{ENTHALPY}(R134a; T=T[1]; x=x[1])$ «η ενθαλπία στην θέση 1»

$s[1] = \text{entropy}(R134a; T=T[1]; x=x[1])$ «η εντροπία στην θέση 1»

$s_{ID}[2] = s[1]$ «η ιδανική συμπίεση είναι ισεντροπική»

$P[2] = \text{pressure}(R134a; T=T[3]; x=1)$ «πίεση στη θέση 2»

$h_{ID}[2] = \text{enthalpy}(R134a; P=P[2]; s=s_{ID}[2])$ «η ενθαλπία στη θέση 2_{id} για πίεση P_2 και εντροπία s_{ida} »

$W_{c,ID} = -(h_{ID}[2] - h[1]) \cdot \dot{m}$ «απαιτούμενη ενέργεια για ιδανική συμπίεση»

ComEff=0,60 «ισεντροπικός βαθμός συμπίεσης»

"Isentropic efficiency"

$W_c = W_{c_ID} / \text{ComEff}$ «ενέργεια που απαιτείται για πραγματική συμπίεση»

"power requirement for actual $h[2]=h[1]-W_c/m_dot$

"energy balance on adiabatic

$\text{VolFlow} = m_dot * \text{volume}(\text{R134a}; T=T[1]; x=x[1])$

$\text{VolFlow} = 4,3E-3$ [m³/s] «ογκομετρική παροχή συμπιεστή»

"!Condenser"

$T_H = 30$ [°C] «θερμοκρασία εισόδου αέρα συμπιεστή»

$\text{Beta} = 1,75$ [kW/C] «συντελεστής μεταφ. θερμότητας συμπυκνωτή»

$Q_H = \text{Beta} * (T[3] - T_H)$ «σχέση συμπυκνωτή»

$Q_H = (h[2] - h[3]) * m_dot$

"energy balance"

$h[3] = \text{ENTHALPY}(\text{R134a}; T=T[3]; x=0)$

$P[3] = P[2]$

$m_dot_air = 1,0$ [kg/s] «παροχή μάζας αέρα συμπυκνωτή»

$c_air = 1,0049$ [kJ/kgC] «θερμοχωρητικότητα αέρα»

$Q_H = m_dot_air * c_air * (T_airh - T_H)$ «ενεργειακός ισολογισμός»

"!Valve"

$h[4]=h[3]$ «η εκτόνωση είναι ισενθαλπική»

"valve is isenthalpic"

$P[4]=P[1]$

$x[4]=\text{quality}(\text{R134a};h=h[4];P=P[4])$ «ξηρότητα ατμού ψυκτικού υγρού στο τέλος της εκτόνωσης»

"!Heat Exchanger"

$m_dot_wat=0,25$ [kg/s] «παροχή μάζας νερού»

$c_wat=4,18$ [kJ/kgC] «θερμοχωρητικότητα νερού»

$C_min=m_dot_wat*c_wat$

$T_wc=25$ [C] «θερμοκρασία εισόδου νερού»

$DT_min=e*(DT_max)$ «ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας στον εναλλάκτη»

$e=(1-\exp(-N*(1-C)))/(1-C*\exp(-N*(1-C)))$ «αποδοτικότητα»

$C=C_min/C_max$

$C_max=m_dot_air*c_air$

$DT_max=(T_airh-T_wc)$ «μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας»

$N=(U*A)/C_min$ «αριθμός μονάδων μεταφοράς»

$U=0,055$ [kW/m² C] «συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εναλλάκτη»

$A=100$ [m²] «επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας»

$Q_H.Ex.=m_dot_wat*c_wat*DT_min$ «εξίσωση εναλλάκτη»

$Q_H.Ex.=m_dot_wat*c_wat*(T_wh-T_wc)$ «ισολογισμός ενέργειας»

\$TabWidth 1,5 in

Το παράθυρο Formatted Equations

Στο παράθυρο αυτό το E.E.S. μετατρέπει τις εξισώσεις και τα σχόλια που έχουμε γράψει σε μια πιο ευανάγνωστη και μαθηματική μορφή, ώστε να είναι πιο κατανοητές οι εξισώσεις και πιο εύκολο να εντοπιστούν τυχόν λάθη. Έχουμε επιλέξει να εμφανίζονται και οι μονάδες των σταθερών. Παρακάτω εμφανίζονται οι εξισώσεις αλλά χωρίς τα σχόλια διότι δεν ήταν εφικτή η επικόλλησή τους σε αυτό το έγγραφο.

Solar assisted- Heat pump cycle with heat exchanger for heating water

$$\text{COP}_{\text{H.P}} = \left| \frac{Q_H}{W_c} \right|$$

$$\text{COP}_{\text{water}} = \left| \frac{Q_{\text{H.Ex.}}}{W_c} \right|$$

Evaporator - Solar Collector

$$H = G_T \cdot t_a$$

$$t_a = 0,89$$

$$A_c = 20 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_r = 0,78$$

$$U_L = 0,00705 \text{ [kW/C}\cdot\text{m}^2\text{]}$$

$$Q_{\text{evap}} = A_c \cdot F_r \cdot (H - C \cdot U_L \cdot (T_1 - T_{\text{amb}}))$$

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

$$T_4 = T_1$$

Compressor

$$x_1 = 1$$

$$P_1 = P ('R134a' ; T=T_1 ; x=x_1)$$

$$h_1 = h ('R134a' ; T=T_1 ; x=x_1)$$

$$s_1 = s ('R134a' ; T=T_1 ; x=x_1)$$

$$s_{ID;2} = s_1$$

$$P_2 = P ('R134a' ; T=T_3 ; x=1)$$

$$h_{ID;2} = h ('R134a' ; P=P_2 ; s=s_{ID;2})$$

$$W_{c;ID} = C (h_{ID;2} - h_1) \cdot \dot{m}$$

$$\text{ComEff} = 0,6$$

$$W_c = \frac{W_{c;ID}}{\text{ComEff}}$$

$$h_2 = h_1 + C \frac{W_c}{\dot{m}}$$

$$\text{VolFlow} = \dot{m} \cdot v ('R134a' ; T=T_1 ; x=x_1)$$

$$\text{VolFlow} = 0,0043 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Condenser

$$T_H = 30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\beta = 1,75 \text{ [kW/C]}$$

$$Q_H = \beta \cdot (T_3 - T_H)$$

$$Q_H = (h_2 - h_3) \cdot \dot{m}$$

$$h_3 = h ('R134a' ; T=T_3 ; x=0)$$

$$P_3 = P_2$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = 1 \text{ [kg/s]}$$

$$c_{\text{air}} = 1,0049 \text{ [kJ/kgC]}$$

$$Q_H = \dot{m}_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} \cdot (T_{\text{airh}} - T_H)$$

Valve

$$h_4 = h_3$$

$$P_4 = P_1$$

$$x_4 = x ('R134a' ; h = h_4 ; P = P_4)$$

Heat Exchanger

$$\dot{m}_{\text{wat}} = 0,25 \text{ [kg/s]}$$

$$c_{\text{wat}} = 4,18 \text{ [kJ/kgC]}$$

$$C_{\text{min}} = \dot{m}_{\text{wat}} \cdot c_{\text{wat}}$$

$$T_{\text{wc}} = 25 \text{ [C]}$$

$$DT_{\text{min}} = e \cdot DT_{\text{max}}$$

$$e = \frac{1 - C \exp(CN \cdot (1 - C))}{1 - C \cdot \exp(CN \cdot (1 - C))}$$

$$C = \frac{C_{\text{min}}}{C_{\text{max}}}$$

$$C_{\text{max}} = \dot{m}_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}}$$

$$DT_{\text{max}} = T_{\text{airh}} - T_{\text{wc}}$$

$$N = \frac{U \cdot A}{C_{\text{min}}}$$

$$U = 0,055 \text{ [kW/m}^2\text{C]}$$

$$A = 100 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q_{\text{H.Ex.}} = \dot{m}_{\text{wat}} \cdot c_{\text{wat}} \cdot DT_{\text{min}}$$

$$Q_{\text{H.Ex.}} = \dot{m}_{\text{wat}} \cdot c_{\text{wat}} \cdot (T_{\text{wh}} - T_{\text{wc}})$$

Παραμετρικοί Πίνακες

Για τον Αύγουστο

Run	T_{wh} [C]	$Q_{H.Ex.}$ [kW]	$COP_{H.P}$ [-]	COP_{water} [-]	Q_H [kW]	T_{amb} [C]	G_T [kW/m ²]
1	38,05	13,64	4,462	5,608	10,85	31	0,3435
2	38,07	13,66	4,47	5,613	10,88	30,41	0,3504
3	38,83	14,45	4,738	5,803	11,8	30,48	0,4329
4	39,71	15,37	5,065	6,049	12,87	31,98	0,5171
5	40	15,67	5,176	6,136	13,22	34,66	0,5276
6	39,43	15,08	4,961	5,97	12,53	36,15	0,4541
7	38,51	14,12	4,624	5,721	11,41	34,76	0,3641
8	38,19	13,79	4,512	5,642	11,03	33,82	0,3368
9	38,57	14,18	4,646	5,737	11,49	31,43	0,3973
10	39,54	15,19	5,001	6,001	12,66	32,92	0,4914
11	39,76	15,43	5,087	6,066	12,94	30,54	0,5348
12	39,5	15,15	4,985	5,988	12,61	32,68	0,4885
13	38,8	14,42	4,728	5,796	11,76	34,98	0,3941
14	38,29	13,89	4,546	5,666	11,14	35,24	0,3361
15	38,63	14,24	4,668	5,752	11,56	36,12	0,3667
16	39,37	15,02	4,939	5,953	12,46	34,83	0,4582
17	39,91	15,58	5,144	6,111	13,12	33,34	0,5288
18	39,79	15,46	5,097	6,075	12,97	33,41	0,5151
19	39,13	14,76	4,847	5,884	12,16	35,04	0,4294
20	38,48	14,09	4,615	5,714	11,38	36,38	0,3485
21	38,41	14,02	4,59	5,697	11,29	35,84	0,345
22	39,14	14,78	4,853	5,888	12,18	36,18	0,422
23	39,96	15,64	5,163	6,125	13,18	36,34	0,5104
24	40	15,67	5,177	6,136	13,22	34,22	0,5311
25	39,43	15,08	4,961	5,97	12,53	34,71	0,4654
26	38,54	14,15	4,636	5,73	11,45	34,2	0,3723
27	38,28	13,88	4,542	5,663	11,13	35,22	0,3352
28	38,68	14,3	4,687	5,766	11,62	34,24	0,3874
29	39,39	15,04	4,946	5,959	12,49	32,08	0,4821
30	39,88	15,55	5,13	6,1	13,08	32,16	0,5344
31	39,36	15,01	4,934	5,949	12,44	29,68	0,4974

Για τον Δεκέμβριο

Run	$COP_{H,P}$ [-]	COP_{water} [-]	G_T [kW/m ²]	Q_H [kW]	$Q_{H.Ex.}$ [kW]	T_{amb} [C]	T_{wh} [C]
1	3,7	5,164	0,2036	8,043	11,22	16,24	35,74
2	4,399	5,565	0,4196	10,63	13,45	18,86	37,87
3	5,185	6,143	0,6492	13,25	15,69	19,6	40,02
4	5,32	6,25	0,6866	13,67	16,06	19,64	40,37
5	4,628	5,724	0,4983	11,42	14,13	17,98	38,52
6	3,86	5,241	0,253	8,657	11,75	17,16	36,25
7	3,639	5,138	0,1701	7,805	11,02	17,68	35,55
8	3,985	5,307	0,3251	9,125	12,15	13,48	36,63
9	4,695	5,772	0,5778	11,65	14,32	10,52	38,71
10	5,143	6,11	0,7023	13,12	15,58	11,42	39,91
11	4,839	5,878	0,587	12,13	14,74	14,84	39,1
12	4,074	5,359	0,3352	9,457	12,44	16,04	36,9
13	3,599	5,122	0,1727	7,651	10,89	15,54	35,42
14	3,769	5,195	0,2451	8,309	11,45	14,1	35,96
15	4,552	5,67	0,4876	11,16	13,9	16,34	38,3
16	5,206	6,159	0,6827	13,31	15,75	16,12	40,07
17	5,104	6,08	0,6556	12,99	15,48	15,92	39,81
18	4,347	5,53	0,4305	10,45	13,29	15,38	37,72
19	3,72	5,172	0,2093	8,119	11,29	16,4	35,8
20	3,613	5,127	0,1902	7,703	10,93	13,94	35,46
21	4,113	5,382	0,3904	9,598	12,56	10,7	37,02
22	4,831	5,872	0,6304	12,11	14,72	9,06	39,08
23	5,072	6,055	0,695	12,89	15,39	9,78	39,73
24	4,482	5,621	0,5264	10,92	13,7	8,68	38,11
25	3,703	5,165	0,2756	8,053	11,23	7,26	35,75
26	3,424	5,065	0,1656	6,961	10,29	8,26	34,85
27	3,801	5,211	0,299	8,432	11,56	8,74	36,06
28	4,519	5,647	0,5522	11,05	13,81	6,9	38,21
29	5,032	6,024	0,7001	12,76	15,28	7,7	39,62
30	4,679	5,761	0,6102	11,6	14,28	5,84	38,66
31	3,936	5,28	0,363	8,942	12	6,58	36,48

Για τον Απρίλιο

Run	$COP_{H.P}$ [-]	COP_{water} [-]	G_T [kW/m ²]	Q_H [kW]	$Q_{H.Ex.}$ [kW]	T_{wh} [C]	T_{amb} [C]
1	4,2	5,435	0,3812	9,916	12,83	37,28	15,52
2	3,601	5,123	0,1866	7,656	10,89	35,42	13,84
3	3,691	5,16	0,2145	8,007	11,19	35,71	14,44
4	4,387	5,556	0,4399	10,59	13,41	37,83	15,78
5	5,093	6,071	0,6608	12,96	15,45	39,78	14,86
6	5,153	6,118	0,679	13,15	15,61	39,94	14,7
7	4,559	5,675	0,4784	11,19	13,92	38,32	17,78
8	3,823	5,222	0,2386	8,514	11,63	36,13	17,32
9	3,663	5,148	0,1748	7,9	11,1	35,62	18,2
10	4,154	5,407	0,344	9,749	12,69	37,14	18,3
11	4,964	5,972	0,5946	12,54	15,09	39,44	18,52
12	5,411	6,323	0,702	13,95	16,3	40,59	20,84
13	4,969	5,976	0,5699	12,56	15,1	39,45	21,82
14	4,159	5,41	0,3166	9,767	12,71	37,16	21,96
15	3,671	5,151	0,1694	7,929	11,13	35,65	19,22
16	3,881	5,251	0,26	8,737	11,82	36,31	17,2
17	4,617	5,716	0,5074	11,39	14,1	38,49	16,4
18	5,295	6,23	0,6897	13,59	15,99	40,3	18,38
19	5,156	6,12	0,6435	13,16	15,62	39,94	19,3
20	4,452	5,601	0,4102	10,82	13,61	38,02	22,16
21	3,83	5,225	0,199	8,541	11,65	36,15	22,63
22	3,591	5,119	0,1192	7,618	10,86	35,39	21,9
23	4,41	5,572	0,4106	10,67	13,48	37,9	20,42
24	5,226	6,175	0,6437	13,38	15,81	40,13	21,76
25	5,341	6,266	0,6895	13,73	16,11	40,42	19,98
26	4,63	5,725	0,507	11,43	14,13	38,52	16,94
27	3,855	5,238	0,2598	8,638	11,74	36,23	16,08
28	3,619	5,13	0,1694	7,728	10,95	35,48	16,86
29	4,074	5,359	0,3169	9,456	12,44	36,9	18,34
30	4,918	5,937	0,5701	12,39	14,96	39,32	19,92

Στους παραπάνω πίνακες βλέπουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που κάναμε. Με μαύρο χρώμα είναι τα δεδομένα που εισάγαμε στο πίνακα , η μέση θερμοκρασία ανά μέρα και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την περιοχή της Αθήνας για τον κάθε μήνα . Με μπλε χρώμα είναι τα αποτελέσματα που πήραμε ύστερα από τους υπολογισμούς που έγιναν.

Σε κάθε μια γραμμή αντιστοιχεί μια ημέρα του μήνα και οι υπολογισμοί γίνονται ανεξάρτητα για κάθε γραμμή.

Lookup Table

Φτιάξαμε τέσσερις πίνακες με σκοπό την κατασκευή διαγραμμάτων με τα αποτελέσματα που πήραμε από την επίλυση των εξισώσεων.

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει πληροφορίες για τις τιμές των ενθαλπίων και των πιέσεων για κάθε σημείο της εγκατάστασης.

Row	h_i	P_i
1	245,5	215
2	294,8	890,2
3	101,1	890,2
4	101,1	215

Οι επόμενοι πίνακες περιέχουν τις στήλες των παραμετρικών πινάκων, αλλά με άλλη διάταξη. Βάλαμε σε αύξουσα σειρά τις τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και αντιστοιχήσαμε στις τιμές αυτές, τις τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς, της ισχύς του συμπυκνωτή και του εναλλάκτη θερμότητας και της θερμοκρασίας του νερού όταν θερμαίνεται.

Τα δεδομένα ύστερα από την αλλαγή αυτή είναι πιο εύκολο να επεξεργαστούν και να μπορέσουμε να φτιάξουμε τα διαγράμματα για την πιο εύκολη επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Για τον Αύγουστο

Row	G_T [kW/m ²]	$Q_{H.Ex.}$ [kW]	T_{wh} [C]	Q_H [KW]	$COP_{H.P}$ [-]	COP_{water} [-]
1	0,3352	13,88	38,28	11,13	4,542	5,663
2	0,3361	13,89	38,29	11,14	4,546	5,666
3	0,3368	13,79	38,19	11,03	4,512	5,642
4	0,3435	13,64	38,05	10,85	4,462	5,608
5	0,345	14,02	38,41	11,29	4,59	5,697
6	0,3485	14,09	38,48	11,38	4,615	5,714
7	0,3504	13,66	38,07	10,85	4,462	5,608
8	0,3641	14,12	38,51	11,41	4,624	5,721
9	0,3667	14,24	38,63	11,56	4,668	5,752
10	0,3723	14,15	38,54	11,45	4,636	5,73
11	0,3874	14,3	38,68	11,62	4,687	5,766
12	0,3941	14,42	38,8	11,76	4,728	5,796
13	0,3973	14,18	38,57	11,49	4,646	5,737
14	0,422	14,78	39,14	12,18	4,853	5,888
15	0,4294	14,76	39,13	12,16	4,847	5,884
16	0,4329	14,45	38,83	11,8	4,738	5,803
17	0,4541	15,08	39,43	12,53	4,961	5,97
18	0,4582	15,02	39,37	12,46	4,939	5,953
19	0,4654	15,08	39,43	12,53	4,961	5,97
20	0,4821	15,04	39,39	12,49	4,946	5,959
21	0,4885	15,15	39,5	12,61	4,985	5,988
22	0,4914	15,19	39,54	12,66	5,001	6,001
23	0,4974	15,01	39,36	12,44	4,934	5,949
24	0,5104	15,64	39,96	13,18	5,163	6,125
25	0,5151	15,46	39,79	12,97	5,097	6,075
26	0,5171	15,67	39,71	12,87	5,065	6,049
27	0,5276	15,67	40	13,22	5,176	6,136
28	0,5288	15,58	39,91	13,12	5,144	6,111
29	0,5311	15,67	40	13,22	5,177	6,136
30	0,5344	15,55	39,88	13,08	5,13	6,1
31	0,5348	15,43	39,76	12,94	5,087	6,066

Για τον Δεκέμβριο

Row	G_T [kW]	$COP_{H.P}$ [-]	COP_{water} [-]	Q_H [kW]	$Q_{H.Ex.}$ [-]	T_{wh} [C]
1	0,1656	3,424	5,065	6,961	10,29	34,85
2	0,1701	3,639	5,138	7,805	11,02	35,55
3	0,1727	3,599	5,122	7,651	10,89	35,42
4	0,1902	3,613	5,127	7,703	10,93	35,46
5	0,2036	3,7	5,164	8,043	11,22	35,74
6	0,2093	3,72	5,172	8,119	11,29	35,8
7	0,2451	3,769	5,195	8,309	11,45	35,96
8	0,253	3,86	5,241	8,657	11,75	36,25
9	0,2756	3,703	5,165	8,053	11,23	35,75
10	0,299	3,801	5,211	8,432	11,56	36,06
11	0,3251	3,985	5,307	9,125	12,15	36,63
12	0,3352	4,074	5,359	9,457	12,44	36,9
13	0,363	3,936	5,28	8,942	12	36,48
14	0,3904	4,113	5,382	9,598	12,56	37,02
15	0,4196	4,399	5,565	10,63	13,45	37,87
16	0,4305	4,347	5,53	10,45	13,29	37,72
17	0,4876	4,552	5,67	11,16	13,9	38,3
18	0,4983	4,628	5,724	11,42	14,13	38,52
19	0,5264	4,482	5,621	10,92	13,7	38,11
20	0,5522	4,519	5,647	11,05	13,81	38,21
21	0,5778	4,695	5,772	11,65	14,32	38,71
22	0,587	4,839	5,878	12,13	14,74	39,1
23	0,6102	4,679	5,761	11,6	14,28	38,66
24	0,6304	4,831	5,872	12,11	14,72	39,08
25	0,6492	5,185	6,143	13,25	15,69	40,02
26	0,6556	5,104	6,08	12,99	15,48	39,81
27	0,6827	5,206	6,159	13,31	15,75	40,07
28	0,6866	5,32	6,25	13,67	16,06	40,37
29	0,695	5,072	6,055	12,89	15,39	39,73
30	0,7001	5,032	6,024	12,76	15,28	39,62
31	0,7023	5,143	6,11	12,13	15,58	39,91

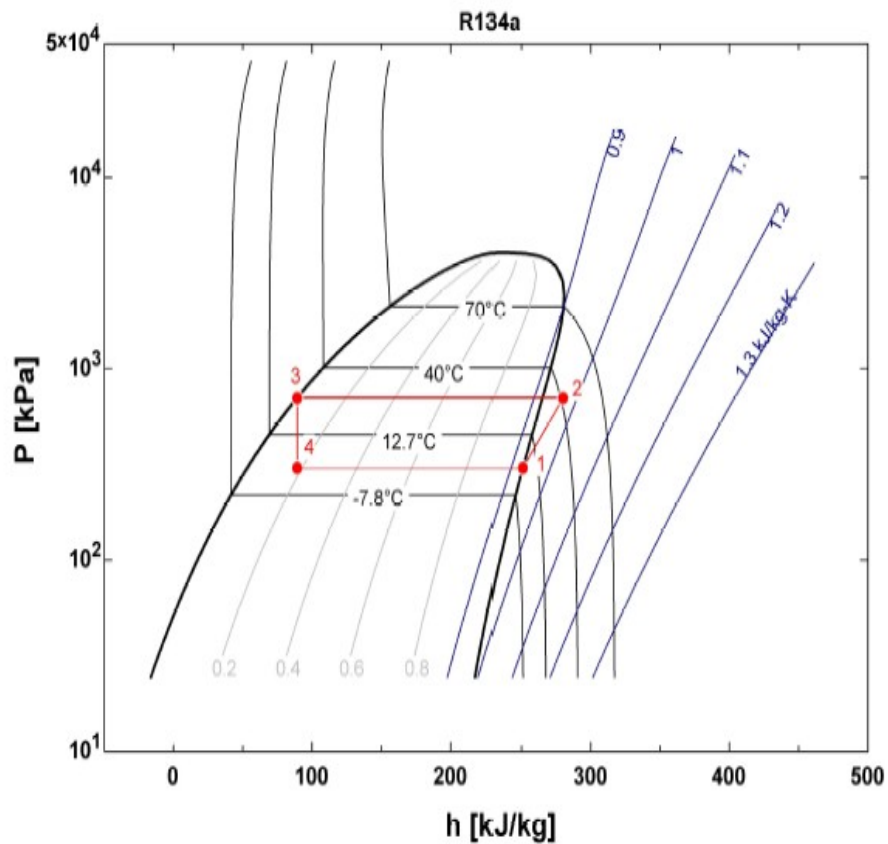
Για τον Απρίλιο

Row	G_T [kW]	$COP_{H.P}$ [-]	COP_{water} [-]	Q_H [kW]	$Q_{H.Ex.}$ [kW]	T_{wh} [C]
1	0,1192	3,591	5,119	7,618	10,86	35,39
2	0,1694	3,671	5,151	7,929	11,13	35,65
3	0,1694	3,619	5,13	7,728	10,95	35,48
4	0,1748	3,663	5,148	7,9	11,1	35,62
5	0,1866	3,601	5,123	7,656	10,89	35,42
6	0,199	3,83	5,225	8,541	11,65	36,15
7	0,2145	3,691	5,16	8,007	11,19	35,71
8	0,2386	3,823	5,222	8,514	11,63	36,13
9	0,2598	3,855	5,238	8,638	11,74	36,23
10	0,26	3,881	5,251	8,737	11,82	36,31
11	0,3166	4,159	5,41	9,767	12,71	37,16
12	0,3169	4,074	5,359	9,456	12,44	36,9
13	0,344	4,154	5,407	9,749	12,69	37,14
14	0,3812	4,2	5,435	9,916	12,83	37,28
15	0,4102	4,452	5,601	10,82	13,61	38,02
16	0,4106	4,41	5,572	10,67	13,48	37,9
17	0,4399	4,387	5,556	10,59	13,41	37,83
18	0,4784	4,559	5,675	11,19	13,92	38,32
19	0,507	4,63	5,725	11,43	14,13	38,52
20	0,5074	4,617	5,716	11,39	14,1	38,49
21	0,5699	4,969	5,976	12,56	15,1	39,45
22	0,5701	4,918	5,937	12,39	14,96	39,32
23	0,5946	4,964	5,972	12,54	15,09	39,44
24	0,6435	5,156	6,12	13,16	15,62	39,94
25	0,6437	5,226	6,175	13,38	15,81	40,13
26	0,6608	5,093	6,071	12,96	15,45	39,78
27	0,679	5,153	6,118	13,15	15,61	39,94
28	0,6895	5,341	6,266	13,73	16,11	40,42
29	0,6897	5,295	6,23	13,59	15,99	40,3
30	0,702	5,411	6,323	13,95	16,3	40,59

Διαγράμματα

Το πρώτο διάγραμμα είναι το διάγραμμα πίεσης –ενθαλπίας του ψυκτικού R-134a. Στο διάγραμμα αυτό είναι εμφανή τα τέσσερα σημεία της εγκατάστασης που δείχνουν τις τέσσερις μεταβολές του κύκλου.

P-h: R134a

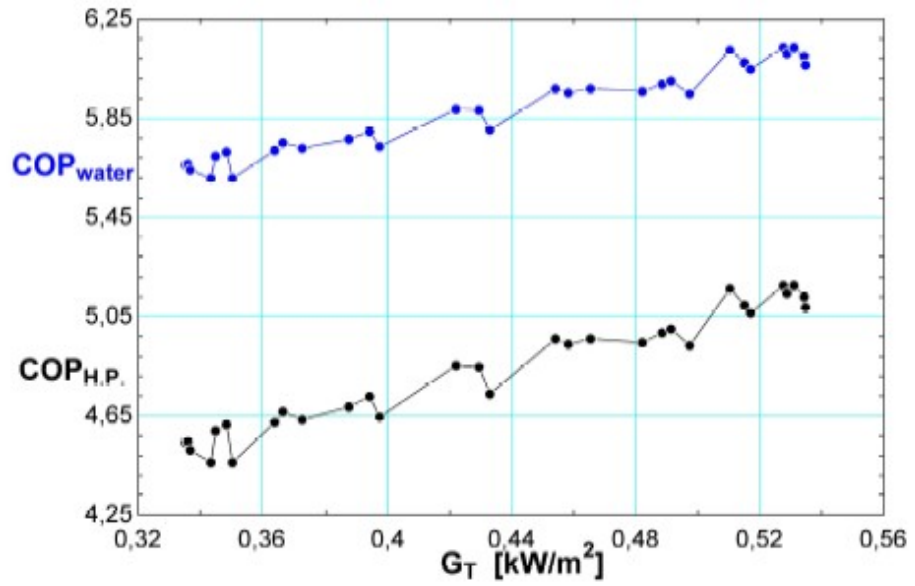


- Η μεταβολή 1-2 είναι η συμπίεση από τα 215 kPa στα 890,2 kPa
- Η μεταβολή 2-3 είναι η ισόθλιπτη συμπύκνωση
- Η μεταβολή 3-4 είναι η ισενθαλπική εκτόνωση στα 215 kPa
- Η μεταβολή 4-1 είναι η ισόθερμη ατμοποίηση του ψυκτικού.

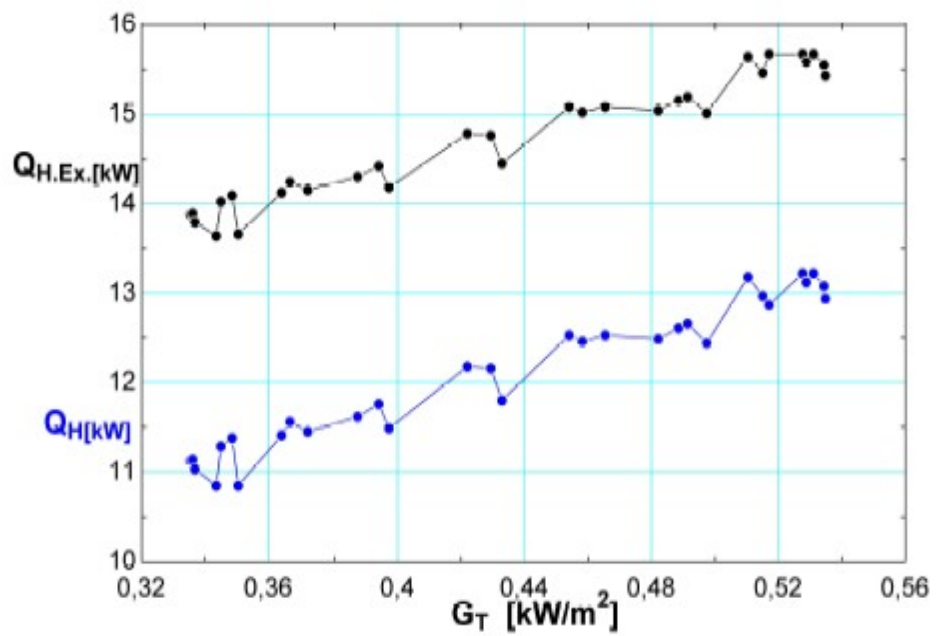
Τα υπόλοιπα διαγράμματα δείχνουν τη συνάρτηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με τις τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς, της ισχύς του συμπυκνωτή και του εναλλάκτη θερμότητας και της θερμοκρασίας του νερού όταν θερμαίνεται.

Μήνας Αύγουστος

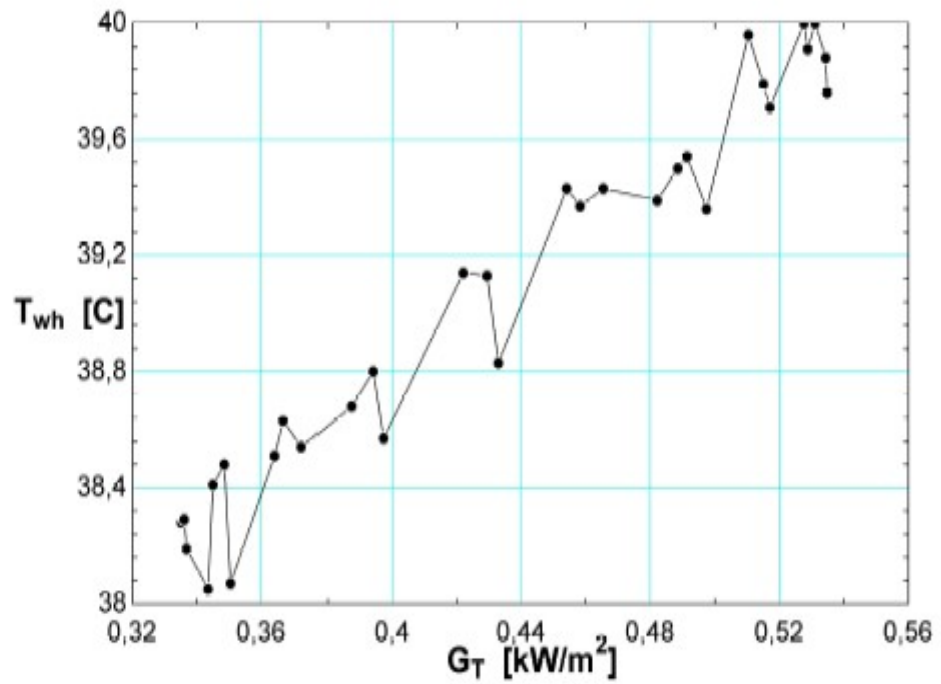
G_T vs $COP_{H.P.}$ vs COP_{water} August



G_T vs Q_H vs $Q_{H.Ex.}$ August

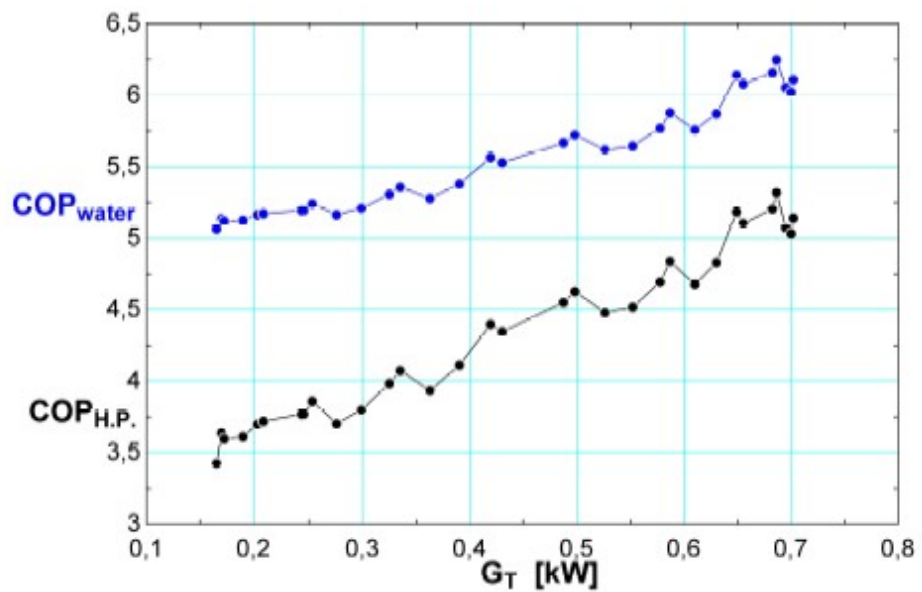


G_T vs T_{wh} August

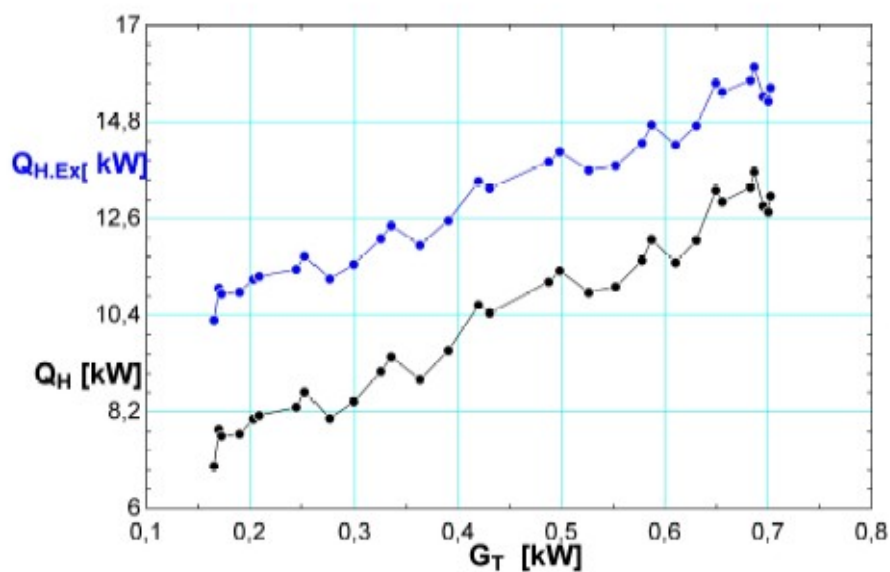


Μήνας Δεκέμβριος

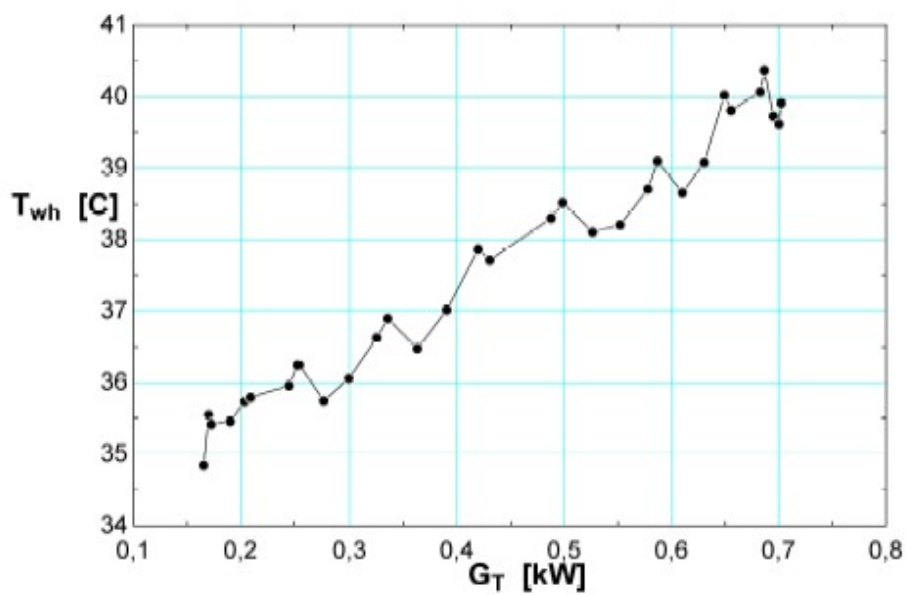
G_T vs $COP_{H.P}$ vs COP_{water} December



G_T vs Q_H vs $Q_{H.Ex.}$ December

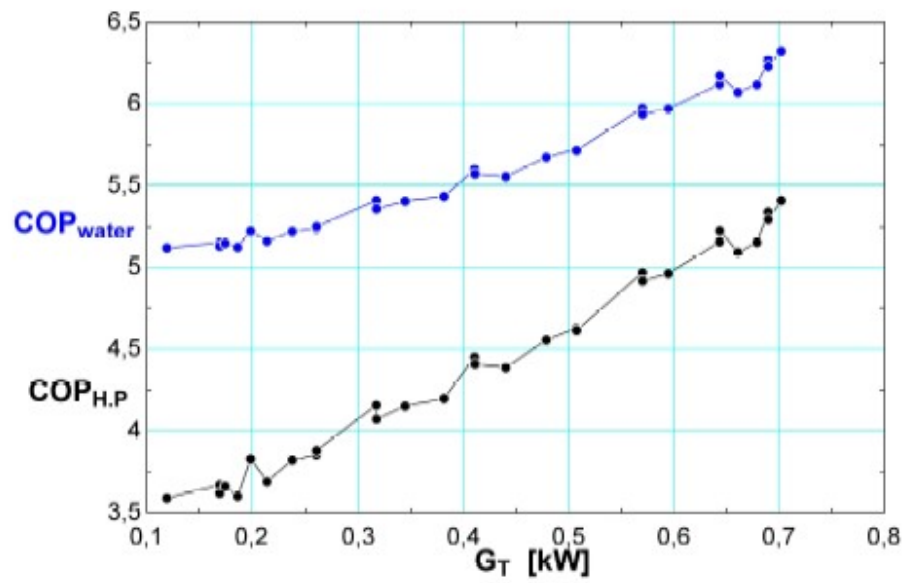


C_T vs T_{wh} December

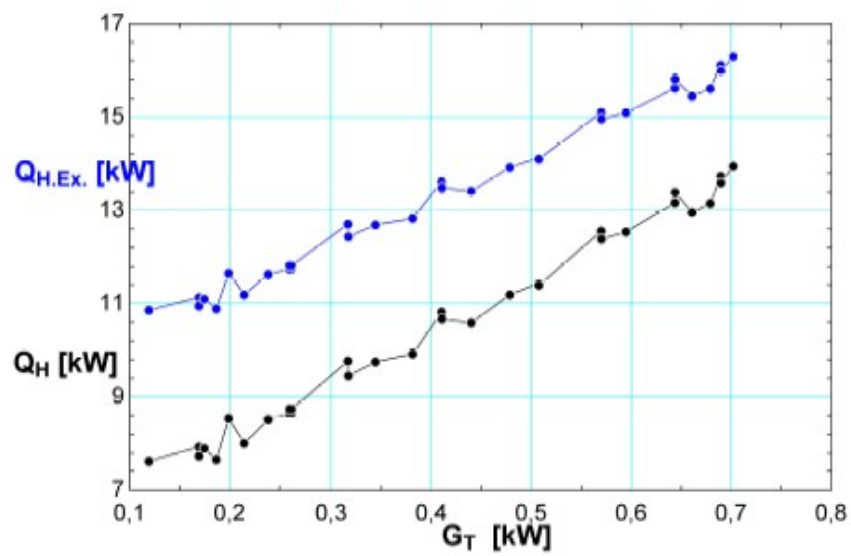


Μήνας Απρίλιος

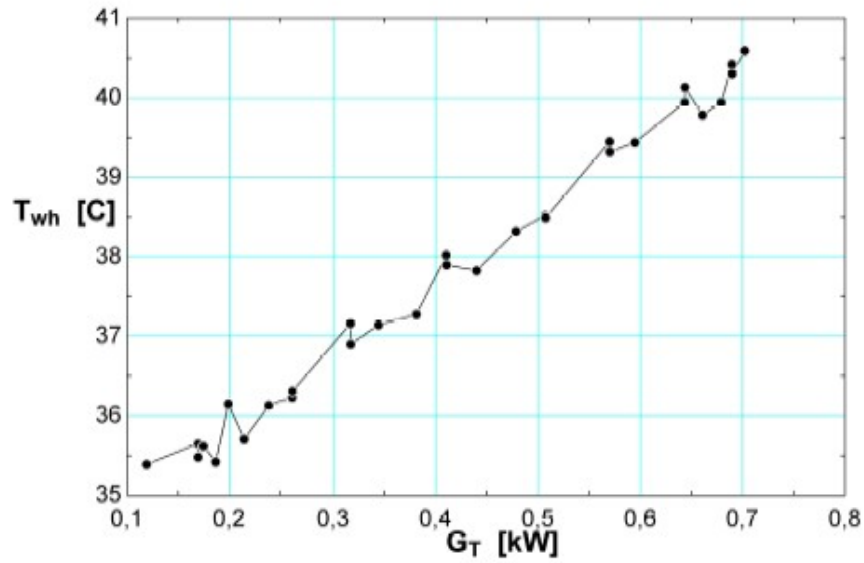
G_T vs $COP_{H.P}$ vs COP_{water} April



G_T vs Q_H vs $Q_{H.Ex.}$ April

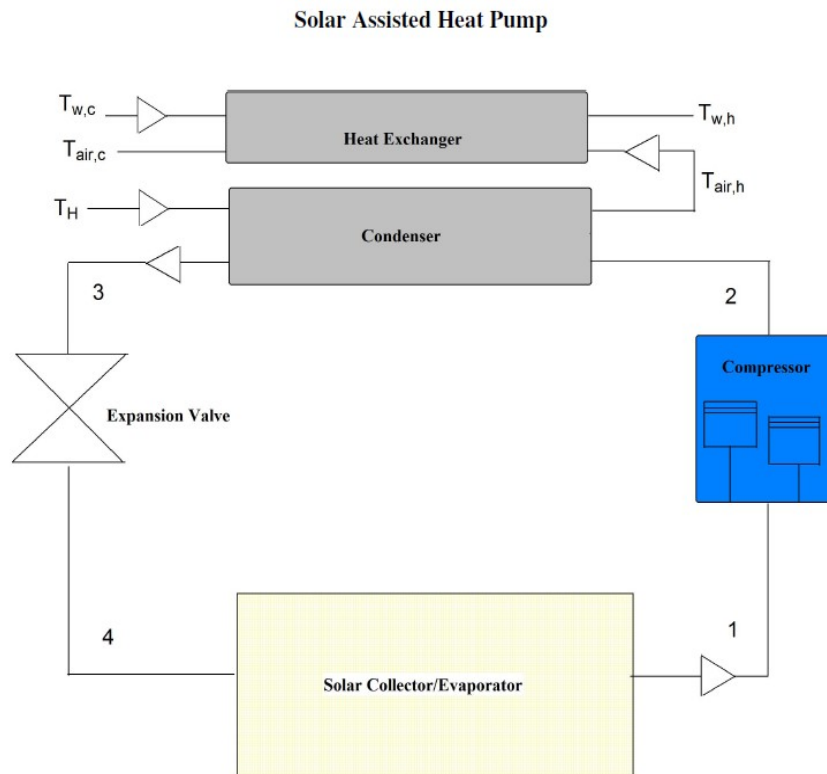


G_T vs T_{wh} April



Το σχεδιάγραμμα

Το σχεδιάγραμμα δείχνει γραμμικά την εγκατάσταση που έχουμε και τα κύρια μέρη που την αποτελούν καθώς και τα σημεία του κύκλου. Είναι φτιαγμένο πολύ απλά και συμβάλει στη καλύτερη κατανόηση της εγκατάστασης και της λειτουργίας των επιμέρους στοιχείων της.



Δημιουργία αναφοράς σε μορφή αρχείου PDF

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το αρχείο που φτιάξαμε στο E.E.S. σε μορφή αρχείου PDF. Όπως έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει αυτή η δυνατότητα με την χρήση ενός ακόμα προγράμματος του MiKTeX, το οποίο μετατρέπει το αρχείο σε αρχείο Acrobat για να είναι πιο εύκολη η ανάγνωση του. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι εξισώσεις, οι πίνακες και τα διαγράμματα συγκεντρωμένα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσομοίωση που κάναμε με το πρόγραμμα E.E.S. είχε σκοπό την μελέτη μιας Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας στην περιοχή της Αθήνας . Ενδεικτικά διαλέξαμε τρεις μήνες . τον Αύγουστο , το Δεκέμβριο και τον Απρίλιο, οι οποίοι έχουν διαφορές ως προς τη μέση θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία.

Από τα αποτελέσματα που πήραμε βλέπουμε ότι η αντλία θερμότητας έχει έναν υψηλό συντελεστή συμπεριφοράς COP και τους τρεις μήνες , ο οποίος κυμαίνεται για τον Αύγουστο στο 4,836 , τον Δεκέμβριο στο 4,368 και τον Απρίλιο γύρω στο 4,413. παρατηρούμε ότι δεν βλέπουμε μεγάλες αλλαγές , γεγονός που επιτρέπει τη χρήση της αντλίας γιατί έχει σταθερή απόδοση.

Τώρα ο συντελεστής συμπεριφοράς του θερμαινόμενου νερού είναι πιο μεγάλος από αυτόν της αντλίας διότι παίζει σημαντικό ρόλο και ο ενδιάμεσος εναλλάκτης που έχουμε για να θερμαίνουμε το νερό . Η τιμή του για τον μήνα Αύγουστο είναι 5,88 κατά μέση τιμή , τον Δεκέμβριο 5,584 και τον Απρίλιο 5,614. Βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο δεν υπάρχουν μεταβολές και ότι παρόλο που τον μήνα Δεκέμβριο αλλά και τον Απρίλιο έχουμε λιγότερη ηλιοφάνεια και χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος από τον Αύγουστο η απόδοση είναι σχεδόν σταθερή .

Όσον αφορά το νερό που θερμαίνουμε, βλέπουμε ότι ανεβάζουμε τη θερμοκρασία του περίπου 15°C βαθμούς όλους τους μήνες. Δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική η αύξηση της θερμοκρασίας του , αλλά με γνώμονα το γεγονός ότι είναι μια αρχική προσέγγιση στο αντικείμενο αυτό, χωρίς ιδιαίτερη εμβάθυνση στα επιμέρους στοιχεία της εγκατάστασης και με πρόσληψη ορισμένων τιμών ενδεικτικά , είναι ελπιδοφόρα η προσομοίωση αυτή.

Τον μήνα Αύγουστο η μέση θερμοκρασία του νερού φθάνει κατά μέσο όρο τους 39,09 °C , τον Δεκέμβριο τους 37.71 °C και τον Απρίλιο τους 37,83°C.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος Α. Κίμωνας: *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα*, Μέρος Πρώτο, Αθήνα 2007.
2. Βραχόπουλος Γρ. Μιχάλης: *Ψυκτικές Διατάξεις*, Εκδόσεις 'ΙΩΝ'.
3. Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής : *Πέμπτο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Αθήνα 6-8 Νοεμβρίου 1996*, Πρακτικά Τόμος Α.
4. Αναστασιάδης Π. Σπύρος : *Βιομηχανική Ψύξη και Κλιματισμός με Ηλιακή Ενέργεια*, Αθήνα 1981.
5. Αναστασιάδης Π. Σπύρος : *Υπολογισμός Ψυκτικών Μονάδων, Εφαρμογές και Συμπιεστές Ψύξης*, Αθήνα 1998, Εκδόσεις 'Τεχνικών –Επιστημονικών Βιβλίων'.
6. Μπελεσιώτης Β., Ανδρόνικος Π.Δ., Μπαρτζής Ι., Παπαθανασόπουλος Κ. : *Επίπεδοι Ηλιακοί Συλλέκτες-Αποτελέσματα Θερμικής Συμπεριφοράς Επίπεδων Συλλεκτών*, Σεπτέμβριος 1986, Εκδόσεις ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ».
7. Ψειμαδάς Αρ. Βασίλειος : *Διπλωματική Εργασία ' Συμβολή στο Σχεδιασμό Συμπυκνωτών με Ηλεκτρονικό Υπολογιστή'*, Αθήνα 1999, Βιβλιοθήκη Εθνικού Μ. Πολυτεχνείου.
8. Αντωνόπουλος Α. Κίμωνας : *Κλιματισμός, Πρώτο Μέρος*, Αθήνα 2007.
9. Χατζηδάκης Σ. : *Σημειώσεις Ψύξης Α' και Β' Μέρος*. Αθήνα 2003.
10. Whitman Lang, Tomczyk Johnson : *Ψύξη & Κλιματισμός*, Εκδόσεις 'ΙΩΝ' , Επιμέλεια: Χαρακλιάς Κώστας.
11. Holman J.P. : *Heat Transfer Ninth Edition*, Εκδόσεις McGRawHill.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

1. Huang J.B, Chyng P.J. : *Performance Characteristics of integral type Solar-Assisted Heat Pump*, Department of Mechanical Taiwan University, Taipei, Taiwan, 27 September 1999.

2. Chaturvedi K.S., Chen T.D. and Kheireddine : *Thermal Performance of Variable Capacity Expansion Solar-Assisted Heat Pump*, Department of Mechanical Engineering , Old Dominion University, Norfolk, Virginia, U.S.A. and Oak Ridge National Laboratory , Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. ,22 May 1996.

3. Kham Hoda Shamsul, Zubair M. Syed : *Thermodynamic Analyses of the CFC-12 and HFC-134a Refrigeration Cycles*, , Department of Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia. 21 July 1992.

4. Ozgener Onder, Hepbasli Arif : *A Review on the Energy and Exergy Analysis of Solar Assisted Heat Pump Systems*, , Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering ,Solar Energy Institute, Ege University, Izmir ,Tyrkey, 6 December 2004.