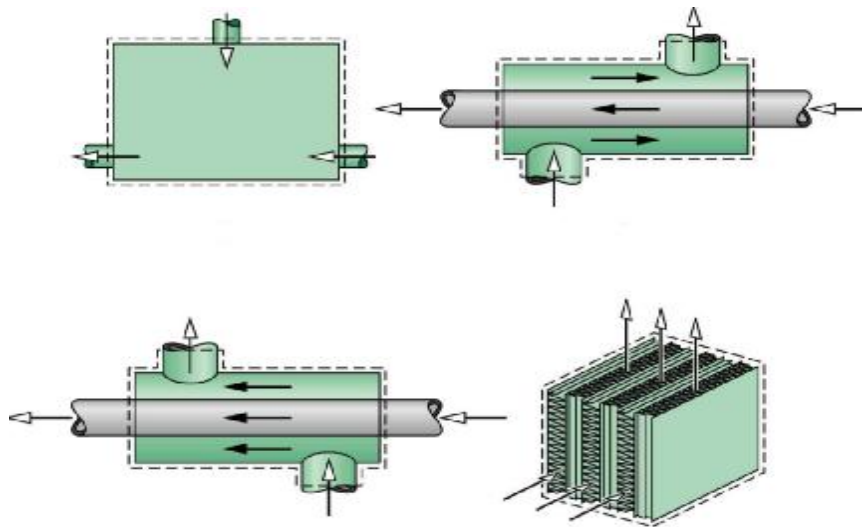


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑΣ : ΠΑΓΩΤΣΗ ΕΛΕΝΗ

ΧΟΤΟΒΑ ΘΕΟΔΩΡΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία θα διερευνηθεί η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών θερμότητας και τα διάφορα ήδη αυτών Στην συνέχεια θα μελετηθεί η χρήση τους ως αντλίες θερμότητας όπου θα παρουσιαστούν οι δυνατότητες τους για την θέρμανση και την ψύξη των χώρων. Τέλος θα μελετηθούν οι θερμικές απώλειες υφιστάμενου διαμερίσματος στην Πάτρα, η θερμική μελέτη με χρήση καυστήρα και η δυναμική αντικατάσταση του καυστήρα πετρελαίου από σύστημα αντλιών θερμότητας, όπου επιπλέον θα καθορισθεί ο χρόνος απόσβεσης της αγοράς και εγκατάστασης του συστήματος αντλιών θερμότητας. Η δομή της εργασίας παραλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια

Κεφάλαιο 1

- Θερμότητα
- Μετάδοση θερμότητας – Ανάλυση

Κεφάλαιο 2

- Εναλλάκτες
- Είδη Εναλλακτών
- Εναλλάκτες κελύφους σωλήνα

Κεφάλαιο 3

- Αντλία θερμότητας
- Αρχή λειτουργία Αντλίας θερμότητας
- Ψυκτικός Κύκλος Carnot
- Είδη Αντλιών θερμότητας
- Βαθμός απόδοσης
- Συγκριτική Μελέτη Αντλίας Θερμότητας και άλλων Τεχνολογιών Ψύξης Θέρμανσης
- Πείραμα
- Συμπεράσματα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	6
1.1 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	7
1.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	8
1.2.1 Αγωγή	8
1.2.2 Συναγωγή.....	11
1.2.3 Ακτινοβολία	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	15
2.1 ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	16
2.2 ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	17
2.2.1 Διαχωρισμός Εναλλακτών θερμότητας σύμφωνα με τον τρόπο ροής των ρευστών.....	18
2.2.2 Διαχωρισμός Εναλλακτών θερμότητας σύμφωνα με την διάταξη τους.....	19
2.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ	24
2.3.1 Εναλλάκτης κελύφους σωλήνα τύπου U	26
2.3.2 Εναλλάκτης με ευθείς σωλήνες με μονό πέρασμα του ρευστού (Straight tube heat exchanger one pass tube side)	27
2.3.3 Εναλλάκτης με ευθείς σωλήνες με διπλό πέρασμα του ρευστού (Straight tube heat exchanger two pass tube side)	28
2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	31
ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	31
3.1 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	32
3.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	32
3.2.1 Λειτουργία θέρμανσης αντλίας θερμότητας	33
3.2.2 Λειτουργία ψύξης αντλίας θερμότητας.....	34
3.3 ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ CARNOT	35
3.3.1 Αντιστρεπτή Ισόθερμη Εκτόνωση	35
3.3.2 Αντιστρεπτή Αδιαβατική Εκτόνωση	36
3.3.3 Αντιστρεπτή Ισόθερμη Συμπίεση	37
3.3.4 Αντιστρεπτή Αδιαβατική Συμπίεση.....	37
3.4 ΑΝΑΣΤΡΟΦΟΣ ΚΥΚΛΟΣ CARNOT	39
3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	41

3.6 ΕΙΔΗ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	43
3.7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΥΞΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	46
3.8 ΠΕΙΡΑΜΑ	55
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

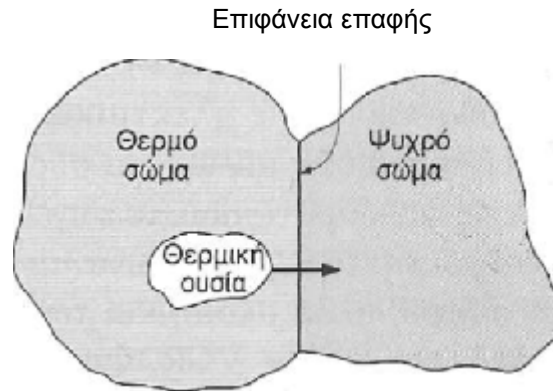
1.1 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Από το πρώτα χρόνια της ανθρώπινης παρουσίας η θερμότητα αποδείχτηκε σημαντικός παράγοντας επιβίωσης του ανθρώπου. Η πρώτη αντίληψη της θερμότητας γίνονταν αντιληπτή από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή της φωτιάς η οποία δημιουργούσε την αίσθηση της ζεστασιάς. Παρ' όλα αυτά μόλις στα μέσα του 19ου αιώνα κατανοήθηκε πραγματικά η φύση της θερμότητας μέσα από την κινητική θεωρία η οποία εκείνη την εποχή παρουσίαζε τα μόρια ως μικροσκοπικά σφαιρίδια που κινούνται και έτσι αποκτούν κινητική ενέργεια. Με αυτόν τον συλλογισμό ορίστηκε ότι η θερμότητα αποτελεί την ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία κίνηση των ατόμων και των μορίων και ο ορισμός αυτός επικρατούσε μέχρι και τα μέσα του 19ου αιώνα. Το επόμενο βήμα για την εξήγηση και κατανόηση της θερμότητας δόθηκε από τον Γάλλο χημικό Antoine Lavoisier (1743-1794) το 1789 και την θερμική θεωρία που ανέπτυξε η οποία έλεγε ότι η θερμότητα είναι μια ουσία που μοιάζει με υγρό και ονομάζεται θερμική ουσία και η οποία είναι χωρίς μάζα, άχρωμη, άοσμη και άγευστη και μπορεί να διαρρεύσει από ένα σώμα σε ένα άλλο. Είχε ήδη παρατηρηθεί ότι η προσθήκη της "θερμικής ουσίας" σε ένα σώμα οδηγούσε σε αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ η αφαίρεση της οδηγούσε σε μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Όταν δε ένα σώμα δε μπορούσε πλέον να περιέχει άλλη "θερμική ουσία" το φαινόμενο αυτό ονομαζόταν θερμικός κορεσμός. Αυτή η ερμηνεία οδήγησε σε όρους όπως το κορεσμένο : υγρό και κορεσμένος ατμός, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Η θερμική θεωρία πολύ γρήγορα τέθηκε υπό αμφισβήτηση διότι ουσιαστικά υποστήριζε ότι η θερμότητα αποτελεί μια ουσία που δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί. Το 1798, ο Αμερικάνος Benjamin Thompson (1753-1814) κατέδειξε στα συγγράμματά του ότι η θερμότητα μπορεί να δημιουργείται συνεχώς μέσω της τριβής προκαλώντας τον έντονο προβληματισμό σε όλους τους επιστήμονες της εποχής εκείνης. Τελικά η απάντηση δόθηκε μέσα από τα πειράματα του Άγγλου James P. Joule (1818-1889) που εκδόθηκαν το 1843 και έπεισαν τελικά τους σκεπτικιστές ότι η θερμότητα δεν ήταν μια ουσία, και επομένως παραμέρισαν τη θερμική θεωρία. Παρόλο που συνείσφερε σημαντικά στην ανάπτυξη της θερμοδυναμικής η θερμική θεωρία εγκαταλείφθηκε εντελώς στα μέσα του 19ου αιώνα [1].

Σήμερα στην κλασική φυσική ο ορισμός της θερμότητας συνοδεύεται από την έννοια του συστήματος. Ως σύστημα αποκαλείται ο χώρος ο οποίος μας ενδιαφέρει ειδικά σε σχέση με το υπόλοιπο περιβάλλον γύρω από το σύστημα για παράδειγμα σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ένας αντιδραστήρας μια μηχανή μια ηλεκτρική κυψελίδα κ.τ.λ. Η θερμότητα ορίζεται σήμερα ως:

Η μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσα από το όριο ενός θερμοδυναμικού συστήματος συγκεκριμένης θερμοκρασίας προς ένα άλλο σύστημα – ή στο περιβάλλον – που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία, λόγω ακριβώς αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο συστημάτων[2].

Η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από σύστημα μεγαλύτερης προς σύστημα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η μοναδική αιτία αυτής της μεταφοράς ενέργειας είναι η διαφορά θερμοκρασίας.



Σχήμα 1.1: Απεικόνιση της ροής του «θερμικού» από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα[1]

Πρέπει να σημειωθεί ότι το ίδιο το σύστημα δεν περιέχει θερμότητα. Η θερμότητα μπορεί να οριστεί μόνο στα όρια του συστήματος, κατά τη διαδικασία της μεταφοράς της από ένα σύστημα σε ένα άλλο και για όσο χρόνο διαρκεί η μεταφορά. Τέλος θα πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι η θερμότητα είναι ενέργεια δηλαδή, ικανότητα παραγωγής έργου που προσφέρεται ή αφαιρείται από ένα σύστημα ενώ η θερμοκρασία είναι το αποτέλεσμα της θερμότητας που αντιλαμβανόμαστε στο σύστημα.

1.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας είναι: Αγωγή, Συναγωγή και Ακτινοβολία. Η αγωγή απαντάται σε επίπεδο σωματιδίων, πιο συγκεκριμένα είναι η ροή θερμότητας από σωματίδια ενός υλικού με μεγαλύτερη ενέργεια προς τα εγγύτερα σωματίδια του υλικού με χαμηλότερη ενέργεια ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Συναγωγή απαντάται μεταξύ ενός στερεού και ενός ρευστού που βρίσκεται σε κίνηση, είναι η μεταφορά ενέργειας η οποία αποτελείται από συνδυασμένες επιδράσεις της κίνησης του ρευστού και της αγωγής. Τέλος η ακτινοβολία είναι ο μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας που συντελείται από την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή φωτονίων. Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να παρουσιαστεί ο κάθε μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας με περισσότερες λεπτομέρειες για την καλύτερη κατανόηση της ροής ενέργειας[3].

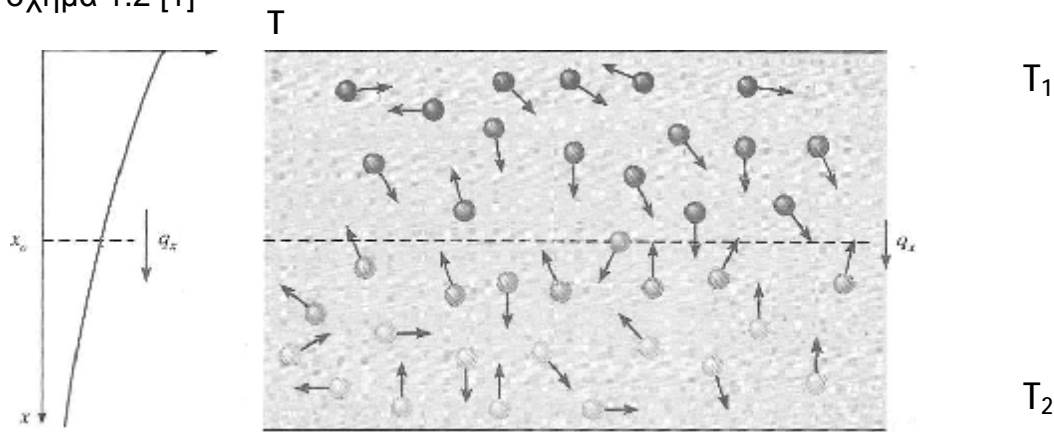
1.2.1 Αγωγή

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή οφείλεται κυρίως στη μεταφορά ενέργειας μεταξύ των ατόμων ή των μορίων ενός σώματος ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται.

Ο μηχανισμός της αγωγής μπορεί να βρει εφαρμογή σε στερεά, σε υγρά ή σε αέρια. Στα αέρια και στα υγρά, η αγωγή οφείλεται στις συγκρούσεις και στη διάχυση ενέργειας μεταξύ των μορίων κατά την τυχαία κίνηση τους. Ενώ στα στερεά, οφείλεται στο συνδυασμό αφενός των ταλαντώσεων των μορίων στο πλέγμα του υλικού και αφετέρου στην μεταφοράς ενέργειας από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Ο ρυθμός αγωγής θερμότητας μέσα από ένα μέσο εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μέσου, το υλικό του και από τη διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του μέσου. Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού της αγωγής θα μελετηθεί η περίπτωση ενός αερίου.

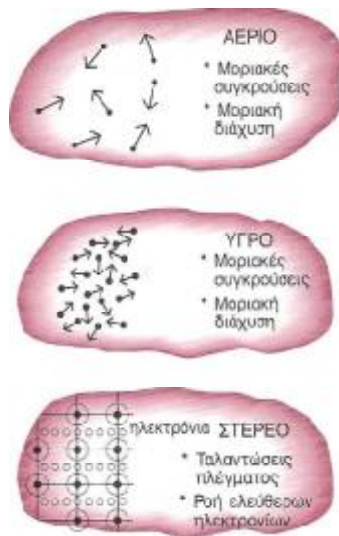
Υποθέτουμε ότι ένα αέριο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας μεταξύ δύο οριζόντιων επιφανειών όπου αρχικά η θερμοκρασία τους είναι ίδια. Εάν μεταβληθεί η θερμοκρασία της πάνω επιφάνειας (έστω ότι γίνεται μεγαλύτερη) τότε μεταφέρεται θερμότητα με αγωγή προς την κατεύθυνση της μικρότερης επιφάνειας δηλαδή στην δεύτερη επιφάνεια προς τα κάτω όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2 [1]



Σχήμα 1.2 : Η κίνηση των μορίων του αερίου από υψηλότερες τιμές ενέργειας προς χαμηλότερες [1]

Πιο συγκεκριμένα τα μόρια με υψηλή θερμοκρασία αρχίζουν να αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια με αποτέλεσμα να συγκρούονται με άλλα μικρότερης θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να μεταφέρουν μέρος της ενέργειάς τους και με αυτό τον τρόπο να πραγματοποιείται μεταφορά ή ροή θερμότητας με αγωγή προς την κατεύθυνση χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Ο ίδιος μηχανισμός λαμβάνει χώρα και για την περίπτωση των υγρών με την μόνη διαφορά ότι στα υγρά τα μόρια είναι πιο κοντά το ένα με το άλλο (λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας σε σχέση με τα αέρια) και οι μοριακές αλληλεπιδράσεις είναι ισχυρότερες και συχνότερες όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.

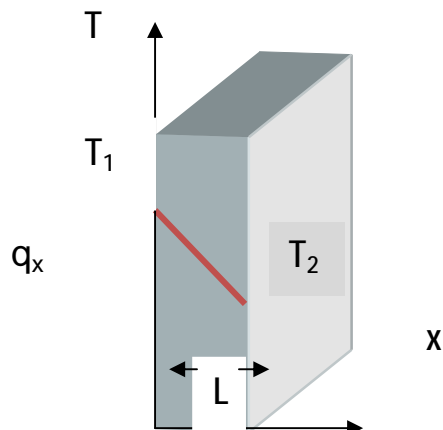


Σχήμα 1.3: Οι μηχανισμοί αγωγής της θερμότητας στις διάφορες φάσεις της ύλης[1]

Τέλος στα στερεά, η μεταφορά της θερμότητας συντελείται λόγω των ταλαντώσεων στο πλέγμα που με την σειρά του προκαλούν συγκρούσεις μεταξύ γειτονικών ατόμων και μορίων με αποτέλεσμα την μεταφορά μέρους της ενέργειας ενώ με τον ίδιο τρόπο παρουσιάζεται και μεταφορά ενέργειας από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η θερμική αγωγιμότητα ενός στερεού ισούται με το άθροισμα της πλεγματικής και ηλεκτρονιακής συνεισφοράς. Η πλεγματική συνεισφορά στη θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται κατά πολύ από τη διάταξη των μορίων. Για παράδειγμα, το διαμάντι, που είναι αυστηρά διατεταγμένο κρυσταλλικό στερεό, έχει την υψηλότερη γνωστή θερμική αγωγιμότητα σε θερμοκρασία δωματίου.

Με τη βοήθεια κατάλληλων σχέσεων υπολογίζεται η θερμότητα η οποία μεταφέρεται με αγωγή στη μονάδα του χρόνου. Για την αγωγή η σχέση που χρησιμοποιείται είναι γνωστή ως ο νόμος του Fourier ο οποίος για την περίπτωση μονοδιάστατου προβλήματος (σχήμα 1.4) παίρνει την μορφή:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$



Σχήμα 1.4 Μονοδιάστατη γραμμική μετάδοση θερμότητας

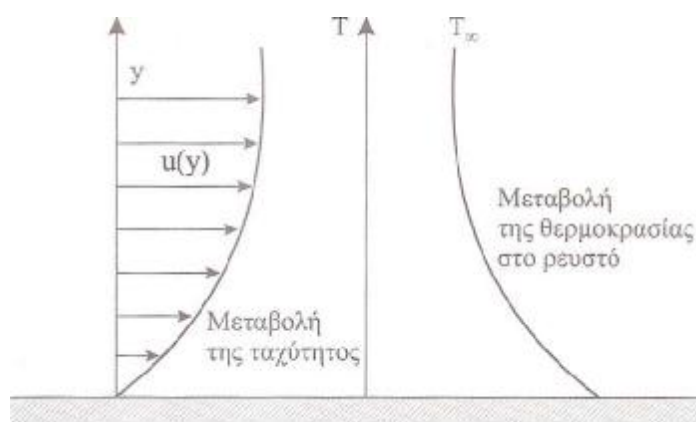
Ο παράγοντας k ονομάζεται συντελεστής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από τις ιδιότητες του σώματος και έχει μονάδες W/mK στο S.I.. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται ως ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα πάχους του υλικού ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα διαφοράς θερμοκρασίας. Όπου A η επιφάνεια κάθετα στην κατεύθυνση μεταφοράς της ενέργειας, dT απειροστή μεταβολή στην θερμοκρασία και dx στοιχειώδες πάχος ενός στρώματος[4].

1.2.2 Συναγωγή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η συναγωγή είναι ο μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας και ενός ρευστού (υγρού ή αερίου) που βρίσκεται σε κίνηση, και η μεταφορά επιτυγχάνεται με ένα συνδυασμό αγωγής και κίνησης του ρευστού που επιδρά πάνω στο σύστημα.

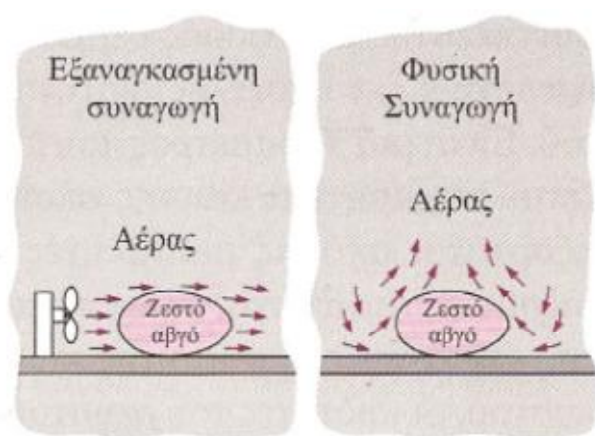
Ο ρυθμός μεταφοράς της ενέργειας είναι σε γραμμική εξάρτηση με την κίνηση του ρευστού, με άλλα λόγια όσο πιο γρήγορη είναι η κίνηση του ρευστού, τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή. Στην περίπτωση όπου η κίνηση του ρευστού είναι πάρα πολύ μικρή τότε η μεταφορά ενέργειας πραγματοποιείται αποκλειστικά από την επίδραση της αγωγής και έτσι έχουμε την μετάπτωση του μηχανισμού μεταφοράς ενέργειας από συναγωγή σε αγωγή. Αντίστοιχα, αν η κίνηση του ρευστού είναι μεγάλη τότε ο μηχανισμός μεταφοράς της ενέργειας στηρίζεται αποκλειστικά στην μεταφορά θερμότητας μεταξύ των επιφανειών του στερεού και του ρευστού λόγω της κίνησης του δεύτερου, χωρίς την συμβολή της αγωγής όμως, είναι πιο πολύπλοκο να προσδιοριστεί ποσοτικά ο ρυθμός αυτής της μεταφοράς.

Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού της συναγωγής κρίνεται απαραίτητο να δοθεί ως παράδειγμα η περίπτωση της ψύξης μιας θερμής πλάκας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5, με τη διοχέτευση ψυχρού αέρα στην άνω επιφάνεια της. Αρχικά η αλληλεπίδραση μεταξύ του ρευστού και της επιφάνειας του σώματος δημιουργεί στο ρευστό μία περιοχή γνωστή και ως υδροδυναμικό οριακό στρώμα στην οποία η ταχύτητά του μεταβάλλεται από μηδέν που είναι στην επιφάνεια του στερεού σε μια τιμή u που έχει το ρευστό σε αρκετή απόσταση από την επιφάνεια.[1]



Σχήμα 1.5: Οριακό στρώμα κατά την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή [1]

Στην συνέχεια επειδή οι θερμοκρασίες του ρευστού και της επιφάνειας διαφέρουν, εμφανίζεται στο ρευστό και μία δεύτερη περιοχή στην οποία η θερμοκρασία του μεταβάλλεται από την τιμή T_s για $y = 0$ στην τιμή T_∞ στην αδιατάρακτη ροή. Η περιοχή αυτή αποτελεί το θερμοκρασιακό οριακό στρώμα το πάχος του οποίου είναι δυνατόν να είναι μικρότερο, ίσο ή και μεγαλύτερο από το πάχος του υδροδυναμικού οριακού στρώματος. Στην περίπτωση όπου $T_s > T_\infty$ πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από την επιφάνεια στο ρευστό. Η συναγωγή επιτυγχάνεται με την συνεισφορά τόσο των μοριακών κινήσεων δηλαδή, τη διάχυση των μορίων, όσο και από την κίνηση του ρευστού στο οριακό στρώμα. Η συνεισφορά της διάχυσης των μορίων στην συνολική μεταφερόμενη θερμότητα από το σώμα στο ρευστό ή και ανάστροφα υπερισχύει κοντά στην επιφάνεια, δηλαδή, εκεί που η ταχύτητα είναι χαμηλή, ενώ στα σημεία επαφής μεταξύ του ρευστού και της επιφάνειας του σώματος ($y = 0$) η θερμότητα μεταφέρεται μόνο με αγωγή.



Σχήμα 1.6 : Μηχανισμοί συναγωγής για την ψύξη αυγού[1]

Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή διακρίνεται σε δύο κατηγορίες την εξαναγκασμένη και στην ελεύθερη ή φυσική συναγωγή ανάλογα με το αν η κίνηση του ρευστού είναι αυθόρμητη ή όχι. Πιο συγκεκριμένα, εξαναγκασμένη συναγωγή εμφανίζεται αν το ρευστό αναγκάζεται να ρέει πάνω από μία επιφάνεια με τη βοήθεια εξωτερικών μέσων όπως με έναν ανεμιστήρα μια αντλία ή τον άνεμο (σχήμα 1.6). Ενώ, φυσική ή ελεύθερη συναγωγή ονομάζεται η συναγωγή όπου η κίνηση του ρευστού οφείλεται στις δυνάμεις που επάγονται από την διαφορά της πυκνότητας του ρευστού λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Έτσι στην περίπτωση της θερμαινόμενης πλάκας απουσία ανεμιστήρα η μεταφορά θερμότητας θα πραγματοποιείται με φυσική συναγωγή.

Για τον υπολογισμό της πυκνότητας παροχής θερμότητας q , χρησιμοποιείται η σχέση του Newton:

$$q = h A(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

όπου το μέγεθος q είναι ανάλογο της υπάρχουσας θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ επιφάνειας T_s και ρευστού T_∞ με μονάδες μέτρησης W και h ο συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας σε W/m^2K που εμπεριέχει όλους τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη συναγωγή δηλαδή τις συνθήκες στο

οριακό στρώμα το οποίο εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφάνειας, και από το είδος του ρευστού και της ροής του. Το A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας διαμέσου της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας. Ο συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας είναι συνάρτηση που εκφράζεται ως:

h (u , k , η , ρ , c_p , γεωμετρικές συνθήκες)

όπου: u : Η ταχύτητα του ρευστού

k : Η ειδική θερμική αγωγιμότητα

η : Το δυναμικό ιξώδες

ρ : Η πυκνότητα του ρευστού και

C_p : Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση.

Μερικές τυπικές τιμές του συντελεστή h ανά είδος μηχανισμού συναγωγής και ύλης δίνονται στον πίνακα 1[2][3]

Πίνακας 1 *Τυπικές τιμές συντελεστή συναγωγής*

Είδος συναγωγής	h , W/ m ² °C
Ελεύθερη συναγωγή αερίων	2-25
Ελεύθερη συναγωγή υγρών	10 - 1000
Εξαναγκασμένη συναγωγή αερίων	25 – 250
Εξαναγκασμένη συναγωγή υγρών	50 - 20000
Βρασμός και συμπύκνωση	2500 - 100000

1.2.3 Ακτινοβολία

Η μεταφορά της θερμότητας μεταξύ των σωμάτων στη θερμική ακτινοβολία πραγματοποιείται με την βοήθεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή φωτονίων λόγω των μεταβολών στην ηλεκτρονική διαμόρφωση των ατόμων ή των μορίων. Σε αντιδιαστολή με την αγωγή και τη συναγωγή, η μεταφορά ενέργειας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη υλικού μέσου. Η ακτινοβολία είναι φαινόμενο ογκομετρικής φύσεως με την έννοια ότι και όλα τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια εκπέμπουν/απορροφούν, ή μεταδίδουν ακτινοβολία σε διαφορετικό βαθμό. Τα στερεά σώματα, τα περισσότερα υγρά και αρκετά αέρια ακτινοβολούν θερμότητα, συγχρόνως όμως απορροφούν και μέρος της ακτινοβολίας την οποία εκπέμπουν άλλα σώματα. Η μέγιστη πυκνότητα

παροχής θερμότητας η οποία ακτινοβολείται από ένα σώμα υπολογίζεται με τη σχέση Stefan-Boltzmann[2]:

$$q = \sigma T_s^4$$

Όπου σ η σταθερά Stefan-Boltzmann η οποία ισούται με $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ και T_s είναι η θερμοκρασία του σώματος σε βαθμούς Kelvin. Η επιφάνεια που εκπέμπει ακτινοβολία με αυτό το ρυθμό ονομάζεται μέλαν σώμα και αποτελεί ιδανική περίπτωση, στην πραγματικότητα όλες οι επιφάνειες εκπέμπουν μικρότερη ακτινοβολία από αυτήν του μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία. Η ακτινοβολούμενη θερμότητα από ένα πραγματικό μη μέλαν σώμα υπολογίζεται από την σχέση :

$$q = \varepsilon \sigma T_s^4$$

όπου το ε είναι η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας, αποτελεί μέτρο του πόσο μια επιφάνεια προσεγγίζει το μέλαν σώμα και η τιμή της κυμαίνεται από 0 έως 1 για το μέλαν σώμα [3].

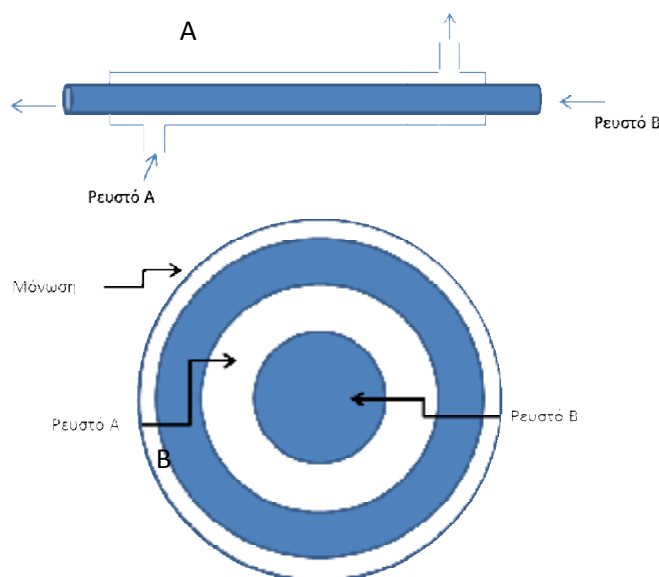
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1 ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η χρησιμότητα των εναλλακτών θερμότητας αποδείχθηκε καθοριστική στην καθημερινότητα του ανθρώπου σε εφαρμογές όπως συστήματα ψύξης θέρμανσης κλιματισμού, αντλίες θερμότητας, σε κύκλους παραγωγής ισχύος σε βιομηχανικό επίπεδο, σε συσκευές ανάκτησης θερμότητας και σε χημικές διεργασίες. Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές αλλά, και όχι μόνο, απαιτείται μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών η οποία επιτυγχάνεται με διατάξεις εναλλακτών θερμότητας αναλόγως με την περίπτωση και τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα ως εναλλάκτης θερμότητας (heat exchanger) καλείται η διάταξη που συμβάλλει στην μεταφορά της θερμικής ενέργειας (θερμικό φορτίο) μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας σε κίνηση, τα οποία εναλλάσσουν θερμότητα χωρίς να αναμιγνύονται.

Βέβαια, υπάρχουν και εναλλάκτες θερμότητας όπου τα δύο ρευστά αναμιγνύονται απευθείας, παρόλα αυτά ο πιο διαδεδομένος τύπος εναλλάκτη είναι αυτός όπου τα δύο ρευστά ρέουν χωρίς να αναμιγνύονται με την βοήθεια διαχωριστικής επιφάνειας ή και από πιο περίπλοκες διατάξεις όπως πτερύγια και ανακλαστήρες. Όπως γίνεται κατανοητό οι μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας που βρίσκουν εφαρμογή σε έναν εναλλάκτη θερμότητας είναι αγωγή, συναγωγή και σε κάποιες περιπτώσεις και η ακτινοβολία. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός εναλλάκτη θερμότητας υπεισέρχονται παράγοντες όπως μέγεθος, βάρος, κόστος, θερμική ανάλυση, αντοχή κ.α. [1]

Η δημοφιλέστερη και απλούστερη διάταξη εναλλάκτη θερμότητας είναι αυτή του εναλλάκτη θερμότητας διπλού σωλήνα ο οποίος απεικονίζεται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 : Αποψη εναλλάκτης θερμότητας διπλού σωλήνα α) δισδιάστατη απεικόνιση ροής ρευστών σε β) απεικόνιση ροής ρευστών σε εγκάρσια τομή

Η διάταξη αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες διαφορετικής διαμέτρου όπου το ένα ρευστό ρέει μέσα στον ένα σωλήνα, ενώ το δεύτερο στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ των δύο κελυφών των σωλήνων όπως φαίνεται και

στο σχήμα 2.1β. Καθώς τα δύο ρευστά κινούνται παράλληλα (ομορροή) ή αντίθετα (αντιρροή) ανταλλάσσουν θερμότητα με τον μηχανισμό της συναγωγής (λόγω κίνησης των ρευστών) διαμέσου της διαχωριστικής επιφάνειας (εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα) με αποτέλεσμα η θερμοκρασία εισόδου των ρευστών να είναι διαφορετική από την θερμοκρασία εξόδου των ρευστών. Δηλαδή, το θερμότερο ρευστό αντάλλαξε θερμότητα με το ψυχρότερο ρευστό μειώνοντας την θερμοκρασία του στην έξοδο του εναλλάκτη ενώ το ψυχρότερο ρευστό αύξησε την θερμοκρασία στην έξοδο του εναλλάκτη, μιας και έγινε αποδέκτης θερμότητας. Λόγω του ότι ο εναλλάκτης θερμότητας έχει σκοπό την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των ρευστών στο εσωτερικό του, για την αποφυγή απώλειας θερμότητας προς το περιβάλλον, ολόκληρη η διάταξη προστατεύεται από μονωτικό περίβλημα.

2.2 ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Τα είδη των εναλλακτών θερμότητας ομαδοποιούνται με βάση είτε την κατασκευαστική τους τεχνολογία είτε με βάση την τρόπο ροής των ρευστών μέσα σε αυτούς ή με βάση των τρόπο μεταφοράς της θερμότητας. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω ομάδων θα παρουσιαστούν οι κυριότερες κατηγορίες εναλλακτών θερμότητας ανά είδος .

Σύμφωνα με τον τρόπο μετάδοσης της ενέργειας οι εναλλάκτες θερμότητας χωρίζονται σε

1. Άμεσης επαφής
2. Έμμεσης επαφής
3. Ημιάμεσης επαφής

Στην περίπτωση της άμεσης επαφής η μεταφορά τη θερμότητας γίνεται απουσία διαχωριστικής επιφάνειας με αποτέλεσμα τα ρευστά να έρχονται σε φυσική επαφή και να εναλλάσσουν θερμότητα. Το προϊόν την αντίδρασης αυτής είναι, η ροή ενός ρευστού με συγκεκριμένη θερμοκρασία, ως μείγμα δύο ρευστών με θερμοκρασίες ικανές να ενεργοποιήσουν το φαινόμενο της αγωγής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός εναλλάκτη θερμότητας άμεσης επαφής από την καθημερινότητα είναι, ο σωλήνας τύπου T μιας κοινής ντουζιέρας που ενεργεί ως διάταξη ανάμιξης της ψυχρής και θερμής ροής του νερού[6].

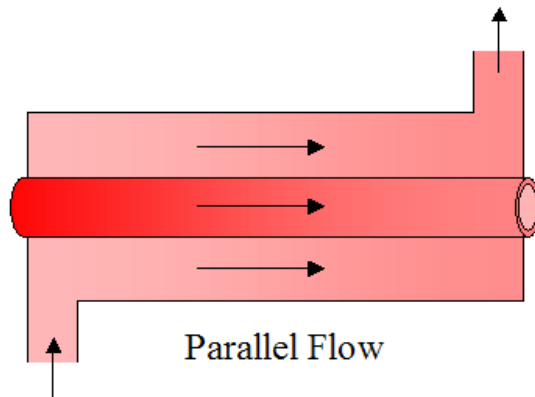
Στην περίπτωση της έμμεσης επαφής η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω μιας διαχωριστικής επιφάνειας η οποία αφενός αποτρέπει την επαφή-ανάμιξη των ρευστών και αφετέρου οι θερμικές ιδιότητες του υλικού είναι κατάλληλες για μεταφορά θερμότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εναλλάκτη θερμότητας έμμεσης επαφής είναι ο εναλλάκτης διπλού σωλήνα σχήμα 2.1α.

Τέλος η περίπτωση της ημιάμεσης επαφής εκφράζει την περίπτωση όπου μια επιφάνεια έρχεται διαδοχικά σε επαφή, μια με το θερμό ρευστό το οποίο εναλλάσσει θερμότητα με την επιφάνεια και στην συνέχεια με το ψυχρό ρευστό το οποίο λαμβάνει θερμότητα από την επιφάνεια και από μια μικρή ποσότητα του θερμού ρευστού που έχει απομείνει στην επιφάνεια[6].

2.2.1 Διαχωρισμός Εναλλακτών θερμότητας σύμφωνα με τον τρόπο ροής των ρευστών

Σύμφωνα με τον τρόπο ροής των ρευστών στον εναλλάκτη διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

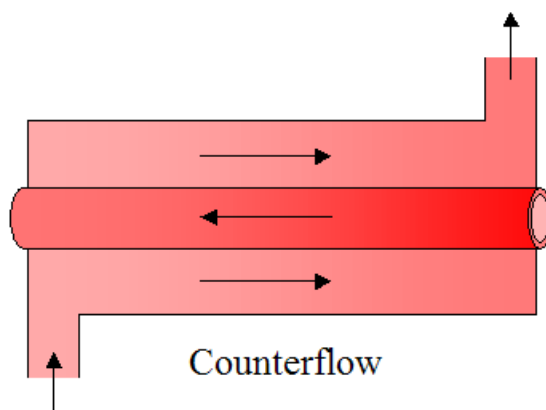
1. Εναλλάκτες παράλληλης ροής: Στους οποίους τα ρευστά ρέουν σε παράλληλη διεύθυνση και ίδια κατεύθυνση. Ο τρόπος ροής στους συγκεκριμένους εναλλάκτες ονομάζεται και ομοροροή (parallel flow) και απεικονίζεται στο σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2 Διάταξη εναλλάκτη θερμότητας παράλληλης ροής ή ομοροροής (parallel flow) των ρευστών μέσα στις σωληνώσεις

<http://www.real-world-physics-problems.com/heat-exchanger.html>

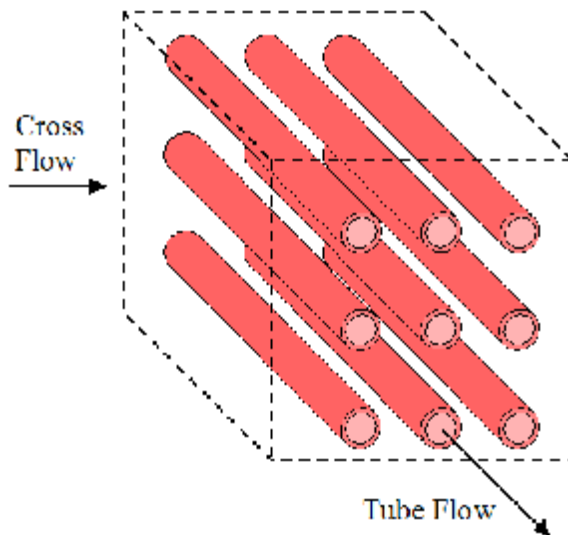
2. Εναλλάκτες αντίθετης ροής: Η συγκεκριμένη διάταξη εναλλάκτη θερμότητας δεν διαφέρει σε τίποτα με την προηγούμενη με την μόνη διαφορά να εμφανίζεται στην κατεύθυνση των ρευστών που στην προκειμένη περίπτωση κινούνται σε παράλληλη μεν διεύθυνση αλλά σε αντίθετες κατευθύνσεις (counter flow) όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Διάταξη εναλλάκτη θερμότητας αντίθετης ροής ή αντιροροής (parallel flow) των ρευστών μέσα στις σωληνώσεις

<http://www.real-world-physics-problems.com/heat-exchanger.html>

3. Εναλλάκτες σταυρωτής ροής: Στους οποίους η ροή των ρευστών είναι κάθετη μεταξύ τους (cross flow) όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4, με την μεταφορά της θερμότητας να είναι αποδοτικότερη σε μια τέτοια περίπτωση εναλλάκτη και γι'αυτό συναντώνται και πιο συχνά στις εφαρμογές.



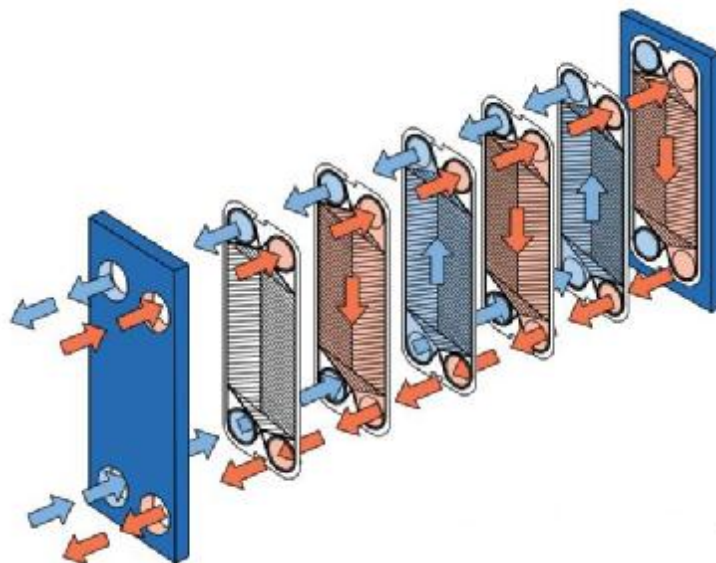
Σχήμα :2.4:Διάταξη εναλλάκτη θερμότητας σταυρωτής ροής ή σταυροροής (cross flow) των ρευστών μέσα στις σωληνώσεις
<http://www.real-world-physics-problems.com/heat-exchanger.html>

4. Σύνθετης ροής: Ο συγκεκριμένος τύπος εναλλάκτη εκφράζει την κατηγορία των εναλλακτών στους οποίους η ροή των ρευστών μπορεί να ακολουθεί συνδυασμούς των παραπάνω ροών.

2.2.2 Διαχωρισμός Εναλλακτών θερμότητας σύμφωνα με την διάταξη τους

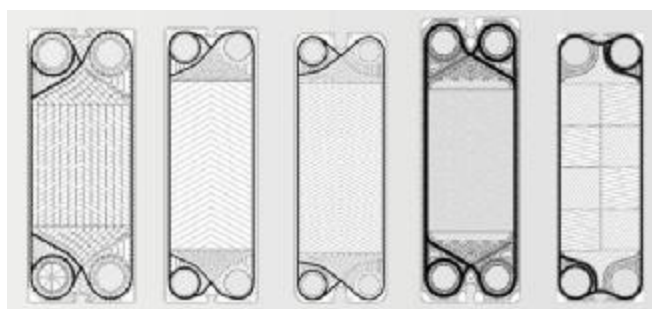
Ένα ακόμη πολύ σημαντικό κριτήριο διαχωρισμού των εναλλακτών θερμότητας είναι σύμφωνα με την διάταξη τους. Οι πιο αντιπροσωπευτικές ομάδες εναλλακτών σύμφωνα με την διάταξή τους είναι:

A) Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (Plate heat exchanger): Ο συγκεκριμένος τύπος εναλλάκτη αποτελείται από πολλές λεπτές μεταλλικές πλάκες, οι οποίες τοποθετούνται με ένα μικρό κενό η μια σε σχέση με την άλλη όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 2.5 [6]



Σχήμα 2.5: Διάταξη εναλλάκτη πλακών στον οποίο απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας του <http://www.offshoreenergytoday.com/alfa-laval-to-supply-plate-heat-exchangers-for-brazilian-offshore-plaforms/>

Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η επιφάνεια στην οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί εναλλαγή θερμότητας αυξάνοντας παράλληλα και την ταχύτητα μεταφοράς. Η μεταφορά της θερμότητας επιτυγχάνεται με την βοήθεια των πλακών όπως αυτές του σχήματος 2.6



Σχήμα 2.6 : Διάφορα είδη πλακών εναλλάκτη θερμότητας με χαρακτηριστική απεικόνιση του υλικού (φλάντζα) που διατηρεί το διάκενο μεταξύ του όταν αυτές βρίσκονται στην συμπιεσμένη μορφή <http://www.cejco.net/products-heat.php>

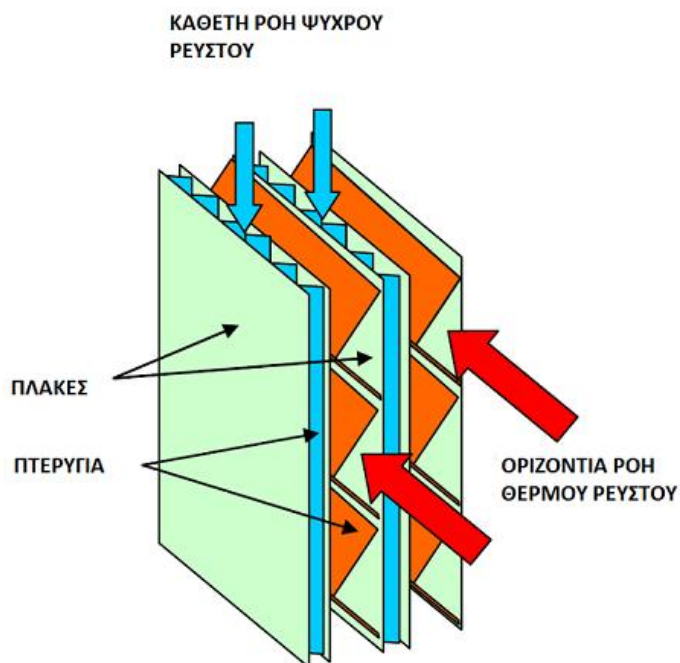
Ο εναλλάκτης αποτελείται από δύο επιφάνειες συγκρατήσεως των πλακών οι οποίες είναι τοποθετημένες στην αρχή και το τέλος της διάταξης του εναλλάκτη και αποτελούν το εξωτερικό περίβλημα του. Κατά μήκος των δύο αυτών επιφανειών τοποθετείται ένας άξονας στηρίξεως των πλακών όπως αυτές του σχήματος 2.6 που βρίσκονται εσωτερικά στον εναλλάκτη. Ολόκληρη η διάταξη συμπιέζεται κατά των διαμήκη άξονά της και συγκρατείται σταθερά με κατάλληλες βίδες. Οι εσωτερικές πλάκες όταν συμπιεστούν, δεν έρχονται σε επαφή η μια με την άλλη διότι μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένα ελαστικό μη μεταλλικό υλικό (φλάντζα) το οποίο δημιουργεί ένα διάκενο (μεταξύ 1,3-1,5mm) μεταξύ των πλακών όπως αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 2.7



Σχήμα:2.7 Απεικόνιση των πλακών στην συμπιεσμένη τους μορφή την οποία παρατηρείται ειδική φλάντζα η οποία δημιουργεί ένα μικρό διάκενο ανάμεσα στις πλάκες

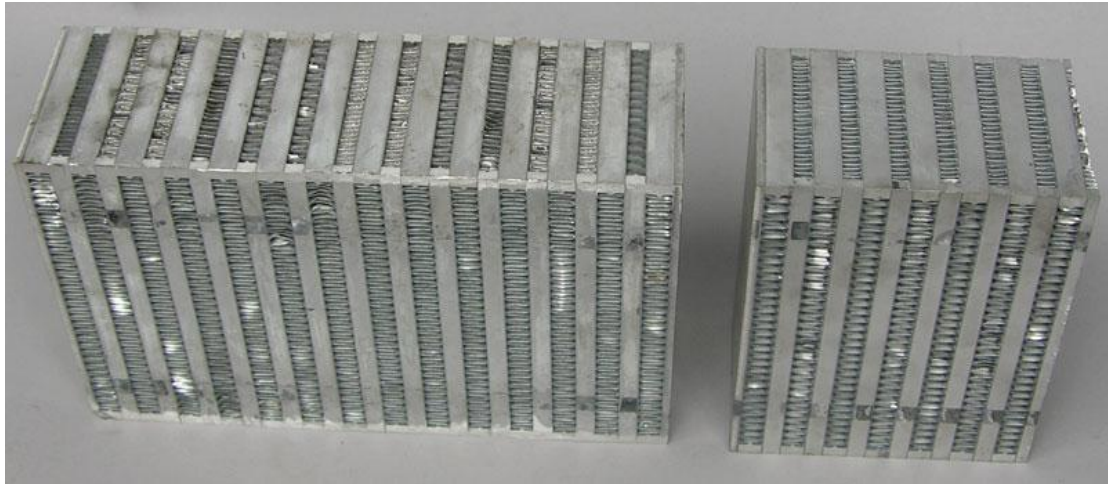
Η εναλλαγή της θερμότητας πραγματοποιείται με την εξής διαδικασία. Οι πλάκες επιτρέπουν την είσοδο του ρευστού σε αυτές ανά δύο. Δηλαδή, η πρώτη επιτρέπει, για παράδειγμα, το ψυχρό ρευστό να περάσει σε όλο το μήκος της, ενώ η δεύτερη δεν το επιτρέπει και αναγκαστικά το ρευστό κινείται στην αμέσως επόμενη η οποία το επιτρέπει. Έτσι, το ψυχρό ρευστό εισέρχεται σε μια από τις δύο διατομές του εξωτερικού περιβλήματος του εναλλάκτη στο κάτω μέρος της εξωτερικής πλάκας (περίβλημα) όπως αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα 2.5 με μπλε χρώμα. Ένα μέρος του διαπερνά όλη την πρώτη πλάκα κατευθυνόμενο προς τα πάνω και εξέρχεται από την μια εκ των δύο διατομών του περιβλήματος (από το οποίο εισήρθε αρχικά) αλλά από την πάνω διατομή όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Το υπόλοιπο μέρος κατευθύνεται στην δεύτερη πλάκα στην οποία όμως δεν μπορεί να εισέλθει και συνεπώς συνεχίζει στην τρίτη όπου πάλι ένα μέρος του διαπερνά την τρίτη πλάκα και εξέρχεται από το πάνω μέρος της διάταξης ενώ το υπόλοιπο συνεχίζει για την επόμενη πλάκα. Κατά αυτόν τον τρόπο ανά δύο οι πλάκες του εναλλάκτη έχουν προσεγγίσει την θερμοκρασία του ψυχρού ρευστού το οποίο έχει κατεύθυνση ροής από κάτω προς τα πάνω. Αντίθετα τα θερμά ρευστά εισέρχεται στην διάταξη από διατομή στο άνω σημείο αυτής και διαπερνά τις υπόλοιπες πλάκες εξερχόμενο από το κάτω μέρος της διάταξης και με το ρευστό να έχει κατεύθυνση ροής από πάνω προς τα κάτω, δηλαδή, αντίθετη από αυτή του ψυχρού. Με την συνεχή κυκλοφορία των ρευστών μέσα στις πλάκες πραγματοποιείται μια εναλλαγή θερμότητας μεταξύ των ρευμάτων σύμφωνα με τους μηχανισμούς που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενες παραγράφους. Τα υλικά των πλακών διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή του εναλλάκτη και τις καταστατικές συνθήκες του ρευστού. [7].

B) Προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια: Ο συγκεκριμένος τύπος εναλλάκτη αποτελεί μια παραλλαγή του πλακοειδούς εναλλάκτη που παρουσιάστηκε προηγουμένως με τις εξής διαφορές: Οι πλάκες οι οποίες βοηθούν στην ανταλλαγή της θερμότητας αποτελούνται από δύο μεταλλικά φύλλα τα οποία σχηματίζουν ένα θάλαμο που διαχωρίζονται από κυματιστά, διάτρητα μεταλλικά πτερύγια (fins) τα οποία σχηματίζουν κανάλια για να επιτρέπουν τη διέλευση του πρώτου ρευστού. Οι δύο απέναντι πλευρές του κάθε θαλάμου σφραγίζονται και ανάμεσα από κάθε θάλαμο τοποθετούνται πτερύγια που επιτρέπουν την εισροή και την εκροή του δεύτερου ρευστού όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8 .



Σχήμα 2.8: Τομή εναλλάκτη θερμότητας προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια με χαρακτηριστικό την κάθετη ροή των ρευστών
<http://www.enggcyclopedia.com/2011/05/heat-exchanger-types/>

Οι δύο αυτές διακριτές περιοχές έχουν προσανατολισμό κάθετο μεταξύ τους (ως προς την ροή των ρευστών) δηλαδή, το ένα ρευστό εισέρχεται κάθετα στην διάταξη ενώ το δεύτερο οριζόντια σχηματίζοντας μια γωνία 90° . Ο συγκεκριμένος τύπος εναλλάκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και συνθηκών των ρευστών με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το ψυγείο του αυτοκινήτου τύπου intercooler όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9 το οποίο χρησιμοποιείται για την ψύξη της μηχανής από την θερμότητα που παράγεται στον θάλαμο καύσης με την βοήθεια του ατμοσφαιρικού αέρα. Ενώ σε διαφορετικούς τύπους ψυγείων ψύχει το νερό της μηχανής το οποίο είναι υπεύθυνο για την διατήρηση της θερμοκρασίας του κινητήρα σε επιθυμητά επίπεδα[7]



Σχήμα 2.9: Τομή intercooler με διακριτούς του θαλάμους καθετής και οριζόντια ροής και τα ενδιάμεσα πτερύγια τους

<http://www.bmwforum.gr/forum/showthread.php?t=14594&langid=1>

Μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός τόσο διαδεδομένου σε εφαρμογές τύπου εναλλάκτη είναι:

Πλεονεκτήματα

- Υψηλή απόδοση μεταφοράς θερμότητας, ιδίως στην αέρια φάση των ρευστών
- Μεγάλη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας
- Περίπου 5 φορές ελαφρύτερος σε βάρος σε σχέση με τους εναλλάκτες κελύφους και σωλήνα (θα παρουσιαστούν παρακάτω)
- Αντοχή σε λειτουργία υπό υψηλές πιέσεις

Μειονεκτήματα

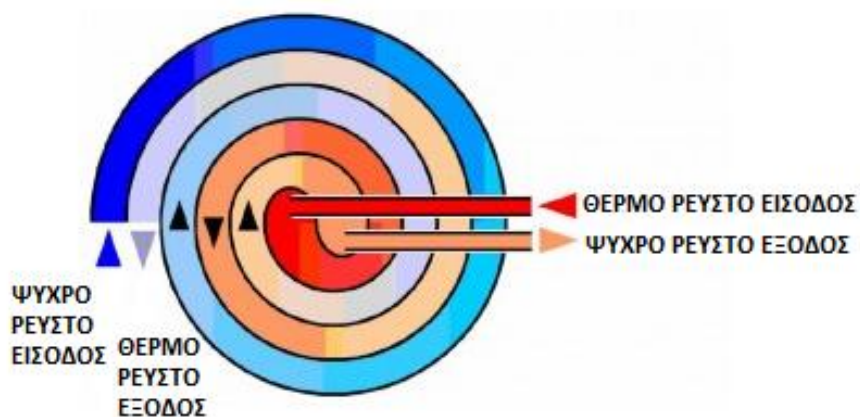
- Οι θάλαμοι είναι επιρρεπείς σε αποφράξεις
- Δεν μπορούν να καθαριστούν εύκολα
- Επειδή η κατασκευή των πτερυγίων βασίζεται σε κράματα αλουμινίου είναι ευπαθής σε φαινόμενα ευθραυστότητας

Γ) Εναλλάκτης διπλού σωλήνα: Η συγκεκριμένη μορφή εναλλάκτη αποτελεί την πιο απλή διάταξη εναλλάκτη και όπως έχει περιγραφεί και σε προηγούμενη παράγραφο αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες διαφορετικής διατομής όπου στον εσωτερικό σωλήνα ρέει το ένα ρευστό ενώ στον εξωτερικό σωλήνα ρέει το δεύτερο ρευστό[7].

Δ) Σπειροειδής εναλλάκτης

Οι Σπειροειδείς εναλλάκτες θερμότητας έχουν μια πολύ βασική δομή. Αποτελούνται από δύο χωριστούς σπειροειδείς σωλήνες σε επαφή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.10 με την βοήθεια ενός λεπτού μεταλλικού φύλλου. Στον έναν από τους δύο σωλήνες ρέει το θερμό ρευστό και στον

άλλον το ψυχρό με αντίθετη κατεύθυνση αυξάνοντας έτσι την μεταφορά την θερμότητας. Το σπειροειδές σχήμα εξυπηρετεί την αύξηση της επιφάνειας και άρα την γρηγορότερη μεταφορά θερμότητας σε σχέση με τον εναλλάκτη διπλού σωλήνα. Όμως, δεν παύει να υστερεί σε επιφάνεια σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες. Τέτοιου τύπου εναλλάκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολύ ιξώδη ρευστά σε χαμηλές και μεσαίες πιέσεις[7] .



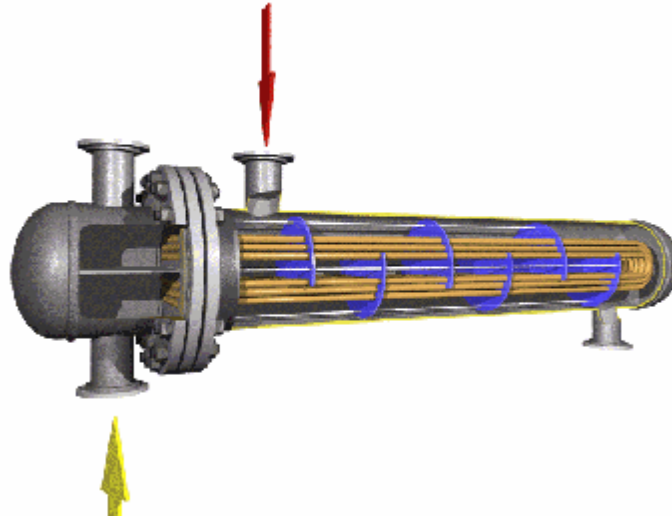
Σχήμα 2.10: Τομή σπειροειδή εναλλάκτη θερμότητας

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου είναι μικρός όγκος που καταλαμβάνει σε σχέση με τους υπόλοιπους εναλλάκτες, καθιστώντας τον έτσι πολύ αποδοτικό σε όρους χρησιμοποίησης της επιφάνειας του. Έτσι επηρεάζει πολύ θετικά την οικονομική πλευρά της μελέτης επιλογής τύπου εναλλάκτη αφού μια συμπαγή μονάδα καταλαμβάνει μικρότερο χώρο, δεν χρειάζεται μηχανισμούς υποβάθμισης της πίεσης των ρευστών, λιγότερο κόστος για έργο άντλησης με αποτέλεσμα μικρότερο ενεργειακό κόστος και άρα οικονομικότερη λύση με ένα πάρα πολύ καλό βαθμό απόδοσης.

Ε) Εναλλάκτης κελύφους- σωλήνα : Ο τελευταίος τύπος εναλλάκτη είναι ο πιο διαδεδομένος σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας με αρκετές παραλλαγές και τύπους. Για αυτό τον λόγο επιλέχτηκε να απομονωθεί από την παραπάνω κατηγορία και να αποτελέσει ξεχωριστή παράγραφο στο παρόν κεφάλαιο.

2.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ

Ο εναλλάκτης κελύφους σωλήνα είναι ο πιο κοινός τύπος εναλλάκτη σε διυλιστήρια πετρελαίου και σε άλλες μεγάλες βιομηχανίες χημικών διεργασιών, διότι είναι ο καταλληλότερος για εφαρμογές σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες (μεγαλύτερες από 30 bar και θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 260° C). Αποτελείται από ένα κέλυφος (ανθεκτικό σε υψηλές πιέσεις) εξωτερικά και δέσμες σωληνώσεων εσωτερικά του κελύφους όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.11. Το ένα ρευστό κινείται μέσα στη δεσμίδα των σωληνών, ενώ το δεύτερο εσωτερικά του κελύφους και γύρω από τη δεσμίδα των σωληνών.



Σχήμα 2.11 Τομή εναλλάκτη θερμότητας κελύφους σωλήνα
<https://www.souheat.com/>

Η θερμότητα μεταφέρεται από το ένα ρευστό στο άλλο μέσω των τοιχωμάτων του σωλήνα προς το κέλυφος ή και το αντίστροφο, ανάλογα με την περιοχή στην οποία έχουμε επιλέξει να τοποθετήσουμε την ροή του θερμότερου ρευστού. Τα ρευστά μπορούν να είναι είτε υγρά ή αέρια και να ρέουν είτε στο κέλυφος είτε στη δέσμη των σωλήνων. Προκειμένου να μεταφερθεί αποτελεσματικά η θερμότητα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, με αποτέλεσμα τη χρήση πολλών σωλήνων[5].

Οι εναλλάκτες θερμότητας κελύφους σωλήνα μπορούν να χωριστούν σε εναλλάκτες με μια μόνο φάση (δηλαδή η εναλλαγή της θερμότητας να γίνεται μεταξύ αερίου – αερίου ή υγρού-υγρού) ή σε εναλλάκτες διπλή φάσης. Σε δεύτερη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε για την μετατροπή της υγρής κατάστασης σε αέρια (εξάτμιση) με θέρμανση του υγρού και ονομάζονται λέβητες (boilers) ή την ψύξη ενός αερίου και την μετατροπή του από την αέρια κατάσταση σε υγρή (συμπύκνωση) και ονομάζονται συμπυκνωτές (condensers), σε κάθε περίπτωση η μεταβολή λαμβάνει χώρα στην πλευρά του κελύφους. Ενδεικτικές εφαρμογές των παραπάνω δύο τύπων εναλλακτών είναι για τους μεν λέβητες οι ατμομηχανές στις οποίες χρησίμευαν στην μετατροπή του νερού σε ατμό για δώσουν κίνηση στην μηχανή, ενώ οι συμπυκνωτές βρίσκουν εφαρμογή σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέποντας τον ατμό που χρησιμοποιείται για την κίνηση του στροφάλου της γεννήτριας ξανά σε νερό έτσι ώστε να ξαναχρησιμοποιηθεί.

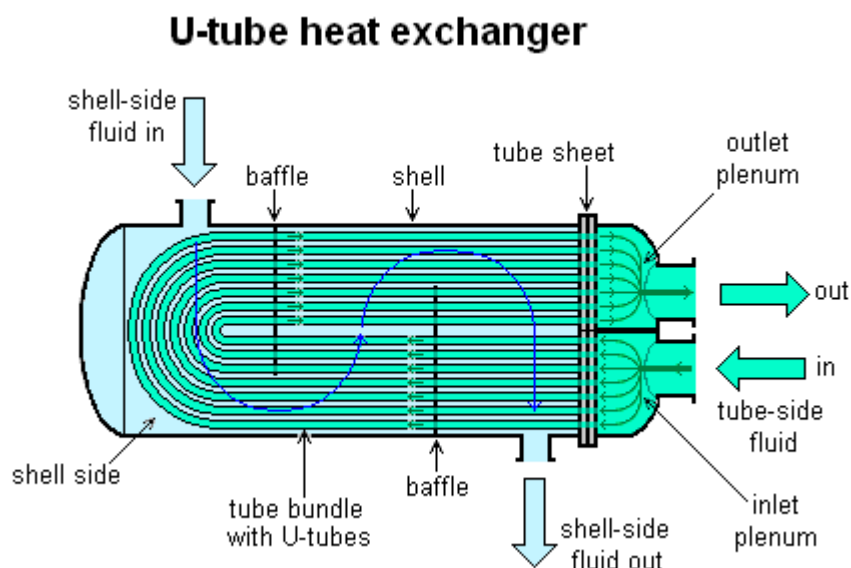
Για όλες τις εφαρμογές μεγάλης κλίμακας είναι αναγκαία η ρύθμιση της πίεσης εντός του εναλλάκτη και για αυτό το λόγο λαμβάνονται υπόψη πολλές κατασκευαστικές παράμετροι οι οποίες θα αναπτυχθούν στην συνέχεια.

Επιπλέον, οι εναλλάκτες κελύφους σωλήνα ως προς την διάταξη τους χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Εναλλάκτης με σωλήνες τύπου U
- Εναλλάκτης με ευθείς σωλήνες (με ένα πέρασμα του ρευστού)
- Εναλλάκτης με ευθείς σωλήνες (με διπλό πέρασμα του ρευστού)

2.3.1 Εναλλάκτης κελύφους σωλήνα τύπου U

Ο εναλλάκτης με σωλήνες τύπου U (U-tube heat exchanger) αποτελείται από το κέλυφος και την δέσμη των σωλήνων η οποία σχηματίζει ένα μεγάλο U στο εσωτερικό του κελύφους, δίνοντας και την ονομασία στον εναλλάκτη. Το ένα ρευστό εισέρχεται από την άνω πλευρά του εναλλάκτη στο κέλυφος και ρέει με την βοήθεια διαφραγμάτων (baffles) γύρω και ανάμεσα από την δέσμη σωλήνων στις οποίες έχει εισέλθει το άλλο ρευστό από διατομή εξωτερικά και πλευρικά του κελύφους, ενώ στην συνέχεια εξέρχεται από διαφορετική διατομή στην ίδια πλευρά του κελύφους όπως φαίνεται στο σχήμα 2.12.



Σχήμα 2.12 Τομή εναλλάκτη κελύφους σωλήνα με δέσμη σωληνώσεων τύπου U
http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger

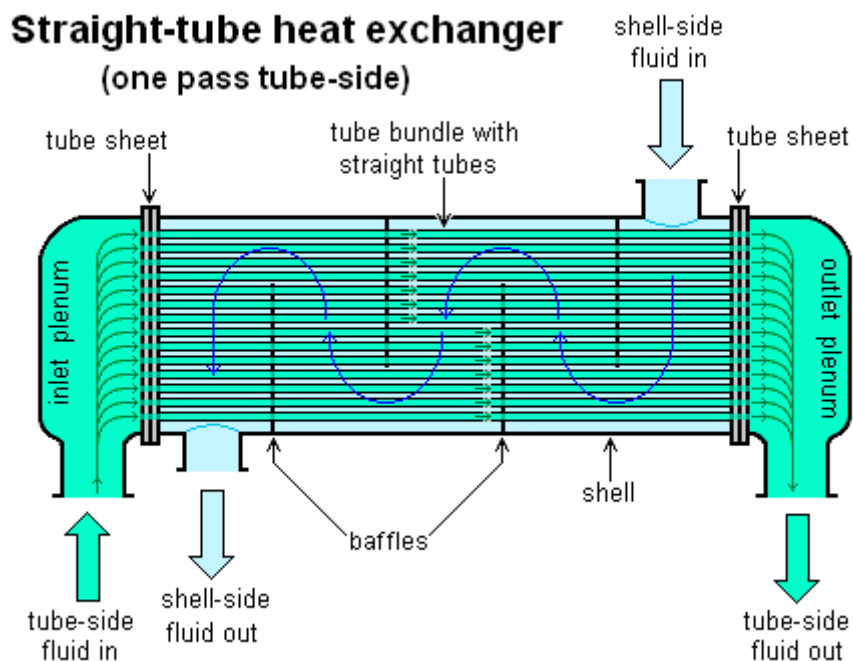
Αντίστοιχα το πρώτο ρευστό μετά την ανταλλαγή θερμότητας που υφίσταται εξέρχεται από το κάτω μέρος του κελύφους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η φορά του πρώτου ρευστού που ρέει στη δέσμη αλλάζει κατεύθυνση κατά μήκος των σωληνώσεων αφού γυρνά στην ίδια πλευρά του εναλλάκτη από την οποία εισήλθε. Ταυτόχρονα το δεύτερο ρευστό με την κίνηση του ανάμεσα και γύρω από τις σωληνώσεις διαγράφει μια ροή με κάθετη διεύθυνση σε αυτή του πρώτου υγρού και μια με παράλληλη εναλλάξ. Στην περίπτωση της παράλληλης διεύθυνσης η κατεύθυνση των ροών των δύο ρευστών εναλλάσσεται από παράλληλη σε αντι-παράλληλη εναλλάξ. Οι παραπάνω εναλλαγές μπορούν εύκολα να γίνουν διακριτές από το σχήμα 2.12 αν ακολουθήσουμε την πορεία του μπλε βέλους που αναπαριστά την ροή του δεύτερου υγρού σε σχέση με τη ροή που διαγράφεται εντός των σωληνώσεων (πρώτο υγρό) σε διάφορα σημεία του εναλλάκτη [5].

Ο παραπάνω τύπος εναλλάκτη χρησιμοποιείται σε εργοστάσια πυρηνικής και ατμοηλεκτρικής ενέργειας, ονομάζεται αντιδραστήρας πεπιεσμένου νερού (pressurized water reactors) είναι διπλής φάσης και παράγει ατμό από νερό ο οποίος στην συνέχεια οδηγείται σε ακροφύσια που εκτοξεύουν τον ατμό με τεράστια πίεση σε φτερωτές επιφάνειες συνδεδεμένες με τον άξονα κίνησης

ηλεκτρικών γεννητριών. Οι περισσότεροι τέτοιου τύπου εναλλάκτες είναι σχεδιασμένοι για μονή, διπλή ή και τετραπλή ροή του ρευστού μέσα στους σωλήνες τύπου U. Αυτό πρακτικά δείχνει τον αριθμό των περασμάτων του ρευστού που κινείται στην δέσμη σωληνώσεων από το κέλυφος του εναλλάκτη. Με αυτό το κριτήριο σχεδιάζονται όλες οι κατηγορίες- διατάξεις των εναλλακτών κελύφους σωλήνα.

2.3.2 Εναλλάκτης με ευθείς σωλήνες με μονό πέρασμα του ρευστού (Straight tube heat exchanger one pass tube side)

Για τις εφαρμογές στις οποίες είναι προτιμότερη η ροή του ενός ρευστού μόνο μια φορά χρησιμοποιείται μια διαφορετική διάταξη εναλλάκτη κελύφους σωλήνα στην οποία η δέσμη των σωληνώσεων έχει την είσοδό της από την μία πλευρά του εναλλάκτη και εξέρχεται στην άλλη πλευρά όπως φαίνεται στο σχήμα 2.13



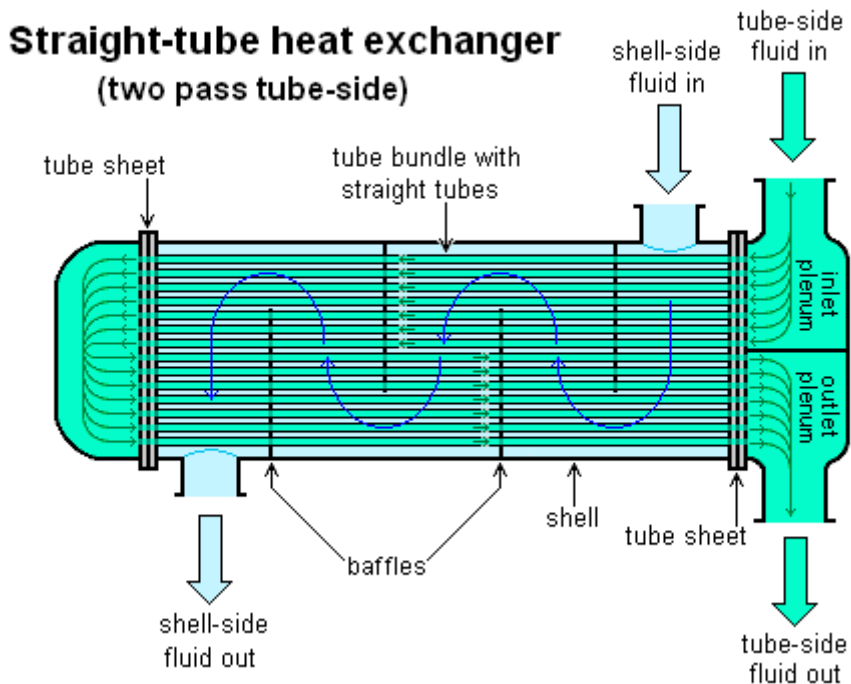
Σχήμα 2.13 : Τομή εναλλάκτη θερμότητας κελύφους σωλήνα με απλό πέρασμα το ενός ρευστού

http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger

Σε αυτή η είσοδος του ρευστού που ρέει στο κέλυφος βρίσκεται στο πάνω μέρος αυτού, κινείται ανάμεσα στις σωληνώσεις με την βοήθεια των διαφραγμάτων (baffles) και εξέρχεται από το κέλυφος από την κάτω πλευρά του αφού βέβαια το έχει διασχίσει ολόκληρο κατά μήκος. Το δεύτερο ρευστό εισέρχεται από την μία πλευρά του εναλλάκτη και τον διασχίζει κατά μήκος μέσα στις σωληνώσεις και εξέρχεται από την άλλη πλευρά. Η κίνηση αυτή του δεύτερου ρευστού είναι και ο λόγος της ονομασίας του εναλλάκτη, δηλαδή, με ευθείς σωλήνες και απλό πέρασμα (μόνο μια φορά). Οι Συμπυκνωτές (Surface condensers) σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συχνά εναλλάκτες απλής διέλευσης και με ευθείς σωληνώσεις[8][9].

2.3.3 Εναλλάκτης με ευθείς σωλήνες με διπλό πέρασμα του ρευστού (Straight tube heat exchanger two pass tube side)

Στην περίπτωση του εναλλάκτη με διπλό πέρασμα του ενός ρευστού η διάταξη θα μπορούσαμε να πούμε ότι βρίσκεται ανάμεσα στις δύο προηγούμενες (τύπου U και απλού περάσματος) κατασκευαστικά. Πιο συγκεκριμένα η ροή και διέλευση το ρευστού που κινείται στο κέλυφος δεν διαφέρει σε τίποτα με την προηγούμενη διάταξη, η διαφορά εμφανίζεται στη δέσμη των σωληνώσεων η οποία ξεκινά από τη μία πλευρά του εναλλάκτη από μια διατομή στο άνω σημείο όπως φαίνεται στο σχήμα 2.14



Σχήμα 2.14: Τομή εναλλάκτη κελύφους σωλήνα με ευθείς σωλήνες και διπλό πέρασμα του ρευστού

Διασχίζει όλο το μήκος του εναλλάκτη φτάνει στην άλλη του πλευρά όπου εκεί παίρνει το δρόμο της επιστροφής χωρίς όμως οι σωληνώσεις να σχηματίζουν σχήμα τύπου U. Η αλλαγή της φοράς πραγματοποιείται εκτός του θαλάμου ανταλλαγής θερμότητας αλλά εντός του κελύφους. Όταν το ρευστό εκτραπεί στην αντίθετη κατεύθυνση εισέρχεται και πάλι στο θάλαμο ανταλλαγής θερμότητας και διασχίζει και πάλι όλο το μήκος του εναλλάκτη αντίθετα από την προηγούμενη πορεία του μέχρι να φτάσει στην πλευρά από την οποία ξεκίνησε και να διαφύγει από διατομή στο κάτω μέρος αυτής. Μερικές από τις εφαρμογές που εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος τύπος εναλλάκτη αλλά και οι προηγούμενοι είναι η θέρμανση του νερού μιας πισίνας, η θέρμανση των υδραυλικών και του πετρελαίου σε ένα κινητήρα [5][10].

2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ

Εξαιτίας της εκτενούς χρήσης του εναλλάκτη θερμότητας κελύφους σωλήνα σε μια σειρά από εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (βιομηχανία, ενέργεια) θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν τα κυριότερα σχεδιαστικά θέματα που ανακύπτουν κατά την φάση του σχεδιασμού κατασκευής ενός εναλλάκτη, καθώς και ένα από τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζουν οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούν δέσμη σωληνώσεων με το πέρασμα του χρόνου.

Το πρώτο βήμα για τον σχεδιασμό του εναλλάκτη είναι η επιλογή των κατάλληλων υλικών σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία προορίζεται. Για να μεταδοθεί η θερμότητα ως απαραίτητη προϋπόθεση για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι να έχουν πολύ καλές θερμικές ιδιότητες και συγκεκριμένα πολύ καλό δείκτη θερμικής αγωγιμότητας. Ακόμη, λόγω της εναλλαγής της θερμοκρασίας σε όλο το κέλυφος αλλά και στις σωληνώσεις τα υλικά θα πρέπει να αντιδρούν σωστά σε πιθανά θερμοκρασιακά σοκ. Να εμφανίζουν καλές μηχανικές ιδιότητες λόγω των υψηλών πιέσεων και θα πρέπει να είναι χημικά αδρανή, αυτό σημαίνει ότι δεν θα πρέπει να αντιδρούν ενεργά με τα ρευστά που μπορεί να εμφανίζουν χημικές ιδιότητες πέραν των ουδέτερων (πχ pH). Τέλος είναι εύκολα κατανοητό ότι όλα τα υλικά θα πρέπει να εμφανίζουν μεγάλη αντοχή σε φαινόμενα διάβρωσης. Τα υλικά που εμφανίζουν τις παραπάνω ιδιότητες είναι κράματα χαλκού, ανοξείδωτος χάλυβας, νικέλιο, τιτάνιο, φθοριούχα πολυμερή και νικέλιο.

Σε ότι αφορά τις σωληνώσεις δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στους παρακάτω παράγοντες:

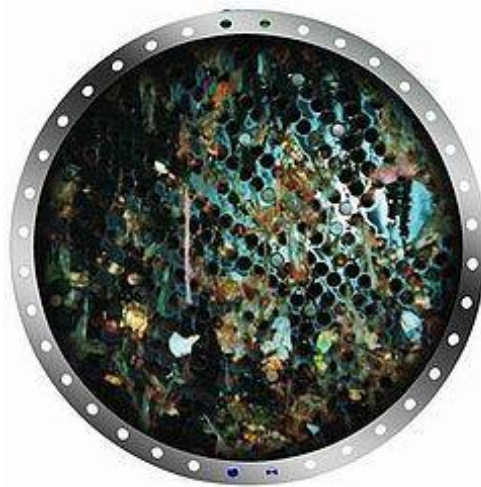
1. Η διάμετρος του σωλήνα: Χρησιμοποιώντας ένα σωλήνα μικρής διαμέτρου ο εναλλάκτης θερμότητας θα αποκτούσε οικονομική και συμπαγή δομή. Ωστόσο, είναι πιο ευάλωτος σε ρύπανση και το μικρό μέγεθος καθιστά τον καθαρισμό του δύσκολο. Γι'αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μεσαίες διαμέτροι για τις σωληνώσεις του εναλλάκτη
2. Το πάχος του σωλήνα: Το οποίο βρίσκεται σε εξάρτηση με την αντοχή στη διάβρωση και τη θερμική αγωγιμότητα
3. Το μήκος του σωλήνα: Το μήκος του σωλήνα από την μια πλευρά είναι επιθυμητό να είναι όσο μεγαλύτερο γίνεται για να εξυπηρετεί την μεταφορά της θερμότητας από την άλλη όμως δεν θα πρέπει να καθιστά μειονέκτημα την αντικατάσταση των σωλήνων
4. Την απόσταση του ενός σωλήνα από τον άλλον: Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για το τελικό κόστος του εναλλάκτη διότι αν η απόσταση των σωλήνων είναι μεγάλη θα οδηγηθούμε σε μια πολύ μεγάλη διάταξη εναλλάκτη με πολύ μεγαλύτερο κόστος.
5. Γεωμετρική τοποθέτηση των σωλήνων: Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τρόποι γεωμετρικής τοποθέτησης των σωληνώσεων εντός του κελύφους, η τριγωνική (30°), περιστρεφόμενη τριγωνική (45°), τετράγωνη (90°), περιστρεφόμενη τετράγωνη (45°). Τα τριγωνικά σχήματα χρησιμοποιούνται για να δώσουν μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας, δεδομένου ότι αναγκάζουν το ρευστό να ρέει με πιο στροβιλώδη τρόπο γύρω από τη σωληνώση. Τα τετράγωνα σχήματα χρησιμοποιούνται στην περίπτωση υψηλής ρύπανση των

σωληνώσεων (ευκολότερος καθαρισμός) που ο καθαρισμός πρέπει να είναι πιο τακτικός[7].

Το βασικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι εναλλάκτες με σωληνώσεις είναι η ρύπανση των σωληνώσεων η οποία οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες:

- Χαμηλή διατμητική τάση των τοιχωμάτων
- Χαμηλή ταχύτητα ροής του ρευστού
- Υψηλή ταχύτητα ροής του ρευστού
- Ξένα σώματα που μεταφέρονται με το ρευστό
- Υπολείμματα των υλικών του κράματος του σωλήνα τα οποία έχουν αποκολληθεί λόγω γρήγορων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων

Μια τυπική εικόνα δέσμης σωληνώσεων η οποία έχει υποστεί ρύπανση δίνεται στο σχήμα 2.15[7]



Σχήμα 2.15: Τομή δέσμης σωληνώσεων με ευδιάκριτή την ρύπανση που έχουν υποστεί.

Ο καθαρισμός μιας τέτοιας δέσμης γίνεται με την χρήση χημικών, νερού υπό υψηλή πίεση και σε μερικές περιπτώσεις με αμμοβολή [10].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας η οποία ολοένα και περισσότερο υιοθετείται ως κύρια πηγή ψύξης/ θέρμανσης για μια κατοικία αλλά και όχι μόνο. Παρά το αρχικό υψηλό κόστος σε σχέση με τις συμβατικές πηγές θέρμανσης και ψύξης (air condition, λέβητας πετρελαίου) αποδεικνύεται, βραχυπρόθεσμα, ότι αποτελεί την πιο οικονομική και οικολογική λύση σε σχέση με οπουδήποτε άλλη πρόταση για μια κατοικία. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι η δυνατότητα λειτουργίας και συνεργασίας της με σύγχρονες μεθόδους θέρμανσης/δροσίσιμου βασισμένες στην γεωθερμία για μεγαλύτερη οικονομία και οικολογικό αποτέλεσμα.

Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν δομικές διατάξεις της αντλίας θερμότητας και είναι υπεύθυνες για την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του περιβάλλοντος (εξωτερικό και εσωτερικό) και του ψυκτικού μέσου που φέρει η αντλία θερμότητας. Το ψυκτικό μέσο μπορεί είτε να εκλύει θερμότητα είτε να λαμβάνει ανάλογα με την φορά του ψυκτικού κύκλου που εκτελείται. Με αυτόν τον τρόπο δύο εναλλάκτες θερμότητας, ένα ψυκτικό μέσο και άλλες μηχανολογικές διατάξεις (πχ αντλία) συνθέτουν μια αντλία θερμότητας που εφαρμόζει με υψηλή αποδοτικότητα βασικές θερμοδυναμικές θεωρίες, με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας ενός χώρου στο επιθυμητό επίπεδο.

Θέλοντας να περιγράψουμε λεπτομερέστερα όλα τα παραπάνω θα λέγαμε ότι η αντλία θερμότητας αποτελεί την διάταξη εκείνη η οποία μεταφέρει θερμότητα από μια ψυχρή περιοχή σε μια θερμότερη. Η κίνηση αυτή αντιτίθεται στην φυσική ροή της θερμότητας που όπως αναφέραμε είναι από το θερμό στο ψυχρό με αποτέλεσμα να χρειάζεται κατανάλωση ενέργεια για να επιτευχθεί αυτή η μεταφορά. Παρόμοιες διατάξεις με την αντλία θερμότητας θεωρούνται τα ψυγεία τα οποία λειτουργούν αντίστροφα και τα κλιματιστικά. Όταν μια αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση, χρησιμοποιεί τον ίδιο κύκλο ψύξης που χρησιμοποιείται από ένα κλιματιστικό ή ψυγείο, αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή, την απελευθέρωση θερμότητας μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και όχι στο περιβάλλον. Σε αυτή τη χρήση, οι αντλίες θερμότητας αντλούν την θερμότητα από τον ψυχρότερο εξωτερικό αέρα ή από το έδαφος και είναι τρεις έως τέσσερις φορές πιο αποτελεσματικές στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, από ό, τι είναι οι θερμαντήρες ηλεκτρικής αντίστασης[11].

Φυσικά, στις αντλίες θερμότητας υπάρχει η δυνατότητα αντιστροφής του κύκλου ψύξης και με αυτό τον τρόπο μπορούν να λειτουργούν για την απόδοση θέρμανσης ή την απόδοση ψύξης ανάλογα με την εποχή.

3.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

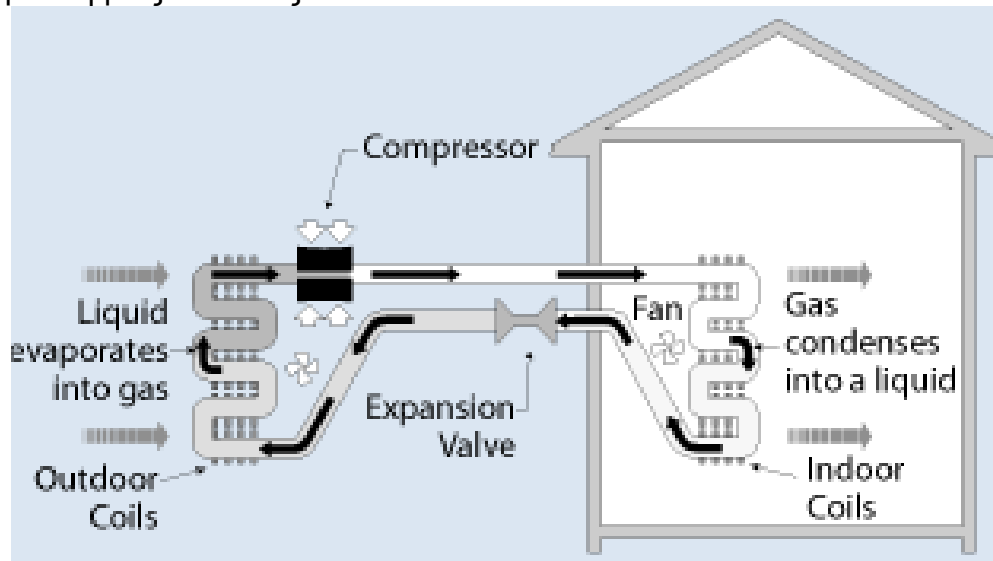
Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο του Carnot τον ίδιο δηλαδή ψυκτικό κύκλο που χρησιμοποιούν τα ψυγεία και κλιματιστικά στον οποίο λαμβάνει χώρα ένας αένας κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού με την διαφορά όμως ότι στις αντλίες χρησιμοποιείται η αντίστροφη πορεία του κύκλου. Το δομικά στοιχεία της αντλίας θερμότητας είναι τα παρακάτω :

- Εξατμιστής (Evaporator)
- Συμπιεστής (Compressor)

- Συμπυκνωτής (Condenser)
- Βαλβίδα εκτόνωσης (Expansion Valve)

3.2.1 Λειτουργία θέρμανσης αντλίας θερμότητας

Στο σχήμα 3.1 διακρίνουμε την λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας για θέρμανση μιας κατοικίας.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση αρχής λειτουργίας αντλίας θερμότητας
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_air-source_heat_pump.html

Σε αυτή υπάρχει μια εξωτερική σπείρα της διάταξης και μια εσωτερική. Η εξωτερική (ψυχρή περιοχή) σπείρα λειτουργεί ως εξατμιστής διότι μετατρέπεται το ψυκτικό μέσο από υγρό σε αέριο με την βοήθεια ενός εναλλάκτη ο οποίος εναλλάσσει την θερμότητα μεταξύ του περιβάλλοντος και του ρευστού ενώ παράλληλα ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση για να γίνει η μετατροπή της κατάστασης του ρευστού. Αντίθετα η εσωτερική σπείρα λειτουργεί ως συμπυκνωτής διότι εκεί μετατρέπεται το αέριο σε υγρό με την βοήθεια ενός εναλλάκτη ο οποίος εναλλάσσει την θερμότητα του εσωτερικού χώρου με την θερμότητα του υγρού, ενώ στην συνέχεια υποβαθμίζεται η πίεση και έτσι έχουμε μετατροπή κατάστασης για το αέριο[11]. Τοποθετώντας την διαδικασία χρονικά έχουμε:

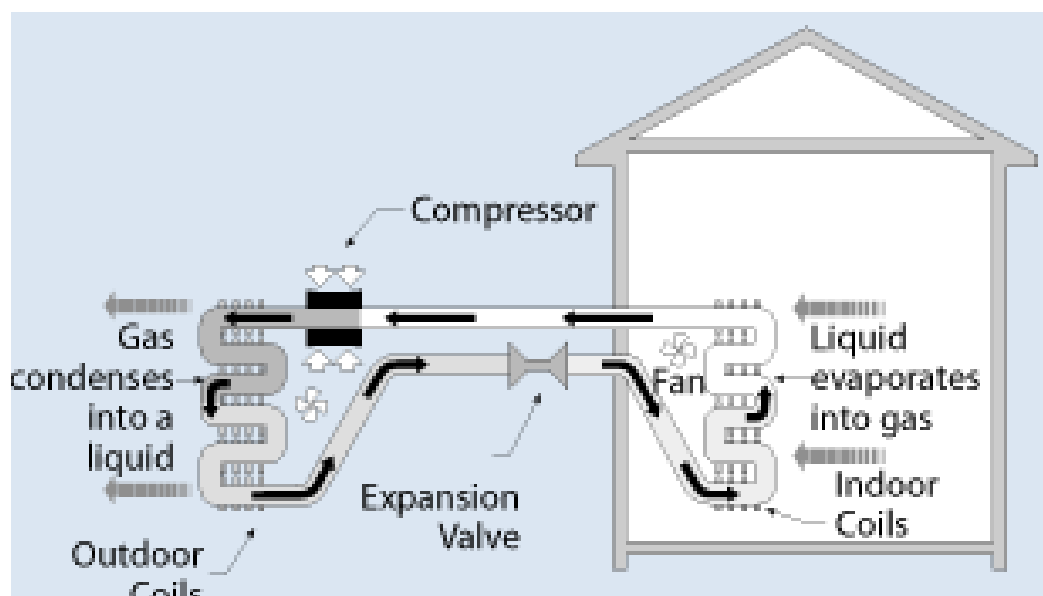
Το ρευστό (ψυκτικό μέσο), σε αέρια κατάσταση, συμπιέζεται και κυκλοφορεί διαμέσου του συστήματος από ένα συμπιεστή. Αφήνοντας τον συμπιεστή πίσω του και οδηγούμενο προς το εσωτερικό της κατοικίας καυτό και υπό υψηλή πίεση ψύχεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας, που ονομάζεται συμπυκνωτής. Το συμπυκνωμένο ρευστό στη συνέχεια διέρχεται μέσω μιας συσκευής μείωσης της πίεσης που ονομάζεται βαλβίδα εκτόνωσης,. Το αέριο χαμηλής πίεσης, στη συνέχεια, εισέρχεται σε άλλο εναλλάκτη θερμότητας, τον εξατμιστή, στον οποίο απορροφά θερμότητα και υγραίνεται. Το ψυκτικό μέσο κατόπιν επιστρέφει στο συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

Είναι ουσιώδες ότι το ψυκτικό μέσο πρέπει να φθάνει σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία, όταν συμπιέζεται, απελευθερώνοντας θερμότητα διαμέσου του εναλλάκτη θερμότητας (συμπυκνωτής). Παρομοίως, το ρευστό πρέπει να φθάσει σε επαρκώς χαμηλή θερμοκρασία για να μπορεί να προσλάβει θερμότητα στον εναλλάκτη θερμότητας της ψυχρής περιοχής (εξατμιστής). Επίσης, η διαφορά πίεσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να μπορεί το ρευστό να συμπυκνωθεί στην θερμή πλευρά και αρκετά χαμηλότερη στην ψυχρή πλευρά. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη διαφορά πίεσης και, συνεπώς, η περισσότερη ενέργεια απαιτείται για τη συμπίεση του ρευστού.

Από τα παραπάνω γίνεται απόλυτα αντιληπτός ο πρωταγωνιστικός ρόλος του εξατμιστή και του συμπυκνωτή, δύο διατάξεις που αποτελούν στην ουσία εναλλάκτες θερμότητας στην θερμή και ψυχρή πλευρά της αντλίας θερμότητας.

3.2.2 Λειτουργία ψύξης αντλίας θερμότητας

Ο παραπάνω κύκλος ονομάζεται ανεστραμμένος ψυκτικός κύκλος και χρησιμοποιείται από τις αντλίες για την παραγωγή θερμότητας και την απόδοση της στο εσωτερικό χώρων για την διατήρηση της θερμοκρασίας στον επιθυμητό βαθμό. Όμως, έχει ήδη αναφερθεί ότι οι αντλίες μπορούν να λειτουργήσουν και για την θέρμανση και για την ψύξη ενός χώρου απλά αλλάζοντας την φορά του ψυκτικού κύκλου. Στην περίπτωση της ψύξης η λειτουργία της αντλίας θερμότητας φαίνεται στο σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση αντλίας θερμότητας σε λειτουργία ψύξης
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_air-source_heat_pump.html

Η λειτουργία της ψύξης βασίζεται στα ίδια θερμοδυναμικά φαινόμενα όπως πριν, με την διαφορά όμως ότι τώρα ο συμπυκνωτής (condenser) βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά (θερμή περιοχή) της οικίας ενώ ο εξατμιστής (evaporator) στην εσωτερική δηλαδή την ψυχρή περιοχή. Τέλος γίνεται αντιληπτό ότι αντιστρέφεται και η φορά κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου.

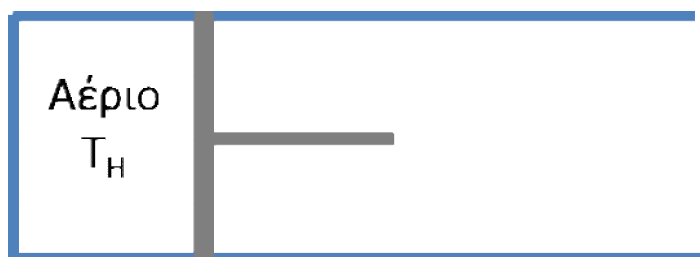
Λεπτομερέστερα, το αέριο που έρχεται μέσα από την κατοικία περνά από τον συμπιεστή και μετά από τον συμπυκνωτή για αποβάλει θερμότητα και να αλλάξει φάση μετατρέπόμενο το σε υγρό. Στην συνέχεια περνά από τη βαλβίδα εκτόνωσης η οποία εκτονώνει την πίεση που δημιούργησε ο συμπιεστής και έτσι έχουμε μείωση της θερμοκρασίας δημιουργώντας ένα ψυχρό υγρό . Στη συνέχεια το ψυχρό υγρό οδηγείται στο εσωτερικό της οικίας όπου στον εξατμιστή θα εναλλάξει θερμότητα με το εσωτερικό περιβάλλον και θα μετατραπεί σε αέριο και θα κατευθυνθεί και πάλι στον συμπιεστή και η διαδικασία θα επαναληφθεί [11].

3.3 ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ CARNOT

Σύμφωνα με την περιγραφή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή θερμότητας ή ψύξης βασίζεται σε έναν πλήρως αντιστρεπτό κύκλο. Υπάρχουν διάφοροι ψυκτικοί κύκλοι όμως η αντλία θερμότητας όπως και το ψυγείο ή το κλιματιστικό χρησιμοποιούν τον κύκλο του Carnot. Ο κύκλος του Carnot αποτελεί τον πιο διαδεδομένο πλήρως αντιστρέψιμο κύκλο ο οποίος προτάθηκε το 1824 από τον Γάλλο μηχανικό Sadi Carnot. Για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην αντλία θερμότητας παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας μιας θερμικής μηχανής Carnot κατά την διάρκεια εκτέλεσης μιας πλήρους ολοκλήρωσης του κύκλου η οποία λειτουργεί με βάση τον κύκλο:

- Αντιστρεπτή Ισόθερμη Εκτόνωση
- Αντιστρεπτή Αδιαβατική Εκτόνωση
- Αντιστρεπτή Ισόθερμη Συμπίεση
- Αντιστρεπτή Αδιαβατική Συμπίεση

Θεωρούμε μια θερμική μηχανή Carnot ως ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα (μονωμένο) αποτελούμενο από ένα ρευστό και πιο συγκεκριμένα αέριο και μια αδιαβατική διάταξη εμβόλου-κυλίνδρου όπως αυτή του σχήματος 3.3 εντός της οποίας βρίσκεται το αέριο σε κανονική θερμοκρασία T_H [12]



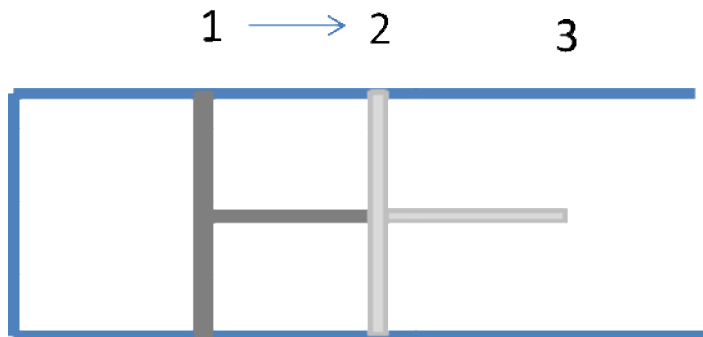
Σχήμα 3.3 Σχηματική αναπαράσταση μια θερμικής μηχανής Carnot

Η κεφαλή του κυλίνδρου είναι σε θέση να έρχεται σε επαφή με εστίες θερμότητας επιτρέποντας την μεταφορά. Βέβαια θεωρείται ότι έχει και επαρκή μόνωση ώστε να μην υπάρχουν απώλειες. Οι προαναφερθείσες αντιστρεπτές διεργασίες εκτελούνται ως εξής:

3.3.1 Αντιστρεπτή Ισόθερμη Εκτόνωση

Το σχήμα 3.4 απεικονίζει μια θερμική μηχανή Carnot η οποία στην αρχική κατάσταση (θέση 1) η θερμοκρασία του αερίου εντός του κυλίνδρου

είναι ίση με T_H διότι ο κύλινδρος υποθέτουμε ότι βρίσκεται σε επαφή με δεξαμενή θερμότητας με θερμοκρασία ίση με T_H . Καθώς το αέριο εκτονώνεται και το έμβολο κινείται προς την θέση 2 παράγεται έργο προς το περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία του αερίου ολοένα και μειώνεται.

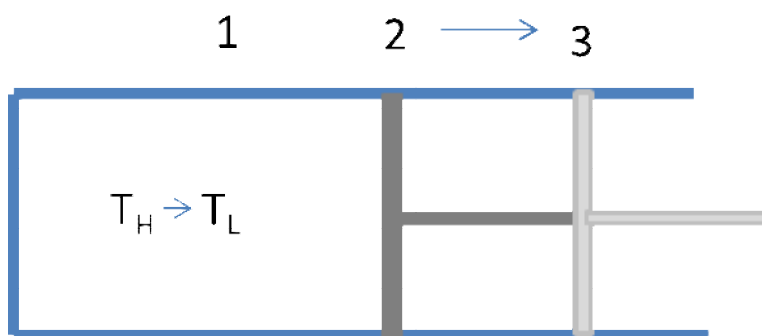


Σχήμα 3.4: Απεικόνιση της αντιστρεπτής ισόθερμης εκτόνωσης σε θερμική μηχανή Carnot

Στο σημείο εκείνο όπου η θερμοκρασία του αερίου θα έχει μειωθεί κατά μια απειροστή ποσότητα dT χαμηλότερα από την T_H τότε μεταφέρεται θερμότητα από το περιβάλλον προς το αέριο αυξάνοντας την θερμοκρασία και διατηρώντας την σταθερή, T_H . Μόλις το έμβολο φτάσει στην θέση 2 το αέριο έχει προσλάβει από το περιβάλλον συνολική ποσότητα θερμότητας ίση με Q_H έτσι ώστε να διατηρεί την θερμοκρασία του σταθερή[12].

3.3.2 Αντιστρεπτή Αδιαβατική Εκτόνωση

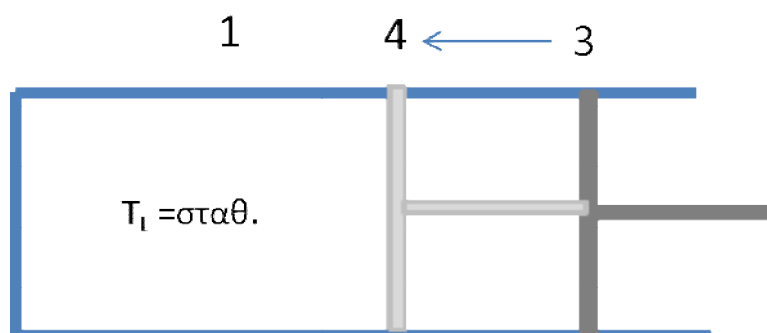
Στο σχήμα 3.5 απεικονίζεται το σύστημα την στιγμή όπου το έμβολο φτάνει στην θέση 2. Τότε η δεξαμενή θερμότητας η οποία βρισκόταν σε επαφή με τον κύλινδρο απομακρύνεται και το σύστημα υποθέτουμε πως είναι αδιαβατικό. Καθώς το έμβολο κινείται προς την θέση 3 το αέριο συνεχίζει να εκτονώνεται μειώνοντας την θερμοκρασία του από T_H σε T_L διότι πλέον απουσιάζει η δεξαμενή θερμότητας και έτσι δεν έχουμε μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον προς το σύστημα. Τέλος υποθέτουμε ότι το έμβολο είναι απαλλαγμένο από τριβές[12].



Σχήμα:3.5 Απεικόνιση της αντιστρεπτής αδιαβατικής εκτόνωσης στην θερμική μηχανή Carnot

3.3.3 Αντιστρεπτή Ισόθερμη Συμπύεση

Στο σχήμα 3.6 απεικονίζεται το σημείο εκείνο στο οποίο ξεκινά η αντιστρεπτή ισόθερμη συμπύεση. Για να είναι ισόθερμη η συμπύεση θα πρέπει ο κύλινδρος να έρθει σε επαφή και πάλι με την δεξαμενή θερμότητας έτσι ώστε η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ κυλίνδρου και περιβάλλοντος να είναι ικανή και έτσι να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του αερίου σε T_L . Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού ο κύλινδρος έρχεται σε επαφή με μια ψυχρή δεξαμενή θερμότητας με θερμοκρασία T_L . [12]

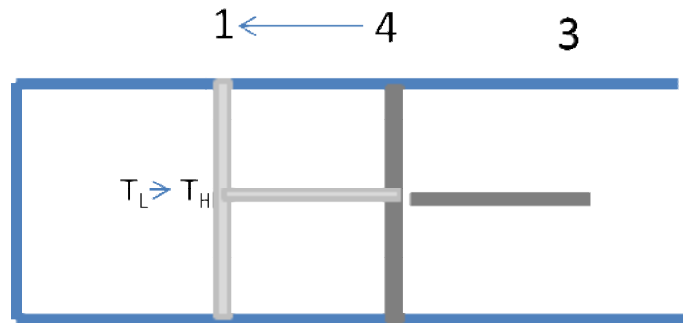


Σχήμα 3.6: Απεικόνιση της αντιστρεπτής ισοθερμικής συμπύεσης στην θερμική μηχανή Carnot

Το έμβολο αρχίζει να κινείται προς την θέση 4 με την βοήθεια εξωτερικής ενέργειας. Η κίνηση αυτή παράγει έργο επί του αερίου διότι αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία τείνει να αυξηθεί. Μόλις η θερμοκρασία του αερίου μεταβληθεί προς τα πάνω κατά μια απειροστή ποσότητα dT τότε μεταφέρεται θερμότητα από το αέριο προς τη ψυχρή δεξαμενή μειώνοντας έτσι την θερμοκρασία του και διατηρώντας την σε θερμοκρασία T_L . Μόλις το έμβολο φτάσει στην θέση 4 η συνολική ποσότητα θερμότητας που έχει αποβάλει το αέριο προς την ψυχρή δεξαμενή είναι Q_L

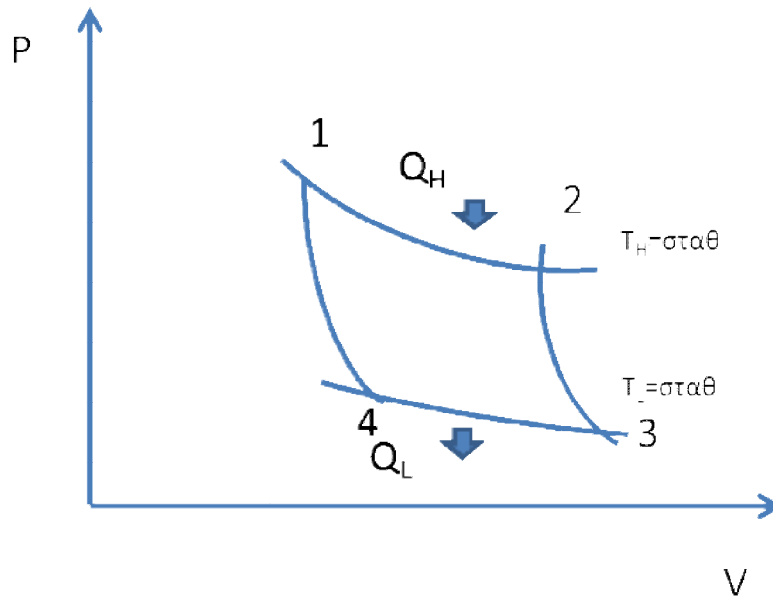
3.3.4 Αντιστρεπτή Αδιαβατική Συμπύεση

Στο σχήμα 3.7 απεικονίζεται το έμβολο να κινείται από την θέση 4 προς την θέση 1 και να ξεκινά η τελευταία θερμοδυναμική διαδικασία πριν ο κύκλος ξεκινήσει και πάλι από την αρχή. Στην κίνηση του εμβόλου από την θέση 4 στην θέση 1 υποθέτουμε την απομάκρυνση της ψυχρής δεξαμενής θερμότητας και πλέον έχουμε ένα αδιαβατικό σύστημα. Το αέριο συμπιέζεται μέσω του εμβόλου που κινείται από εξωτερική δύναμη και τείνει να αυξήσει την θερμοκρασία του και να επανέλθει στην αρχική του θερμοκρασία T_H . Σε αυτό το σημείο έχει συμπληρωθεί ένας ολόκληρος κύκλος του Carnot [12].



Σχήμα 3.7: Απεικόνιση της Αντιστρεπτή Αδιαβατική Συμπίεση στην θερμική μηχανή Carnot

Οι ψυκτικοί κύκλοι είναι πιο εύκολα κατανοητοί όταν απεικονίζονται με την μορφή διαγραμμάτων πίεσης όγκου (P-V) στα οποία φαίνονται με ευκρίνεια όλα τα θερμοδυναμικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε ένα κύκλο καθώς επίσης και το παραγόμενο και καταναλισκόμενο έργο. Το διάγραμμα P-V του κύκλου Carnot δίνεται στο σχήμα 3.8 στο οποίο το εμβαδό της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη 1-2-3 είναι ίσο με το έργο που παράγεται από το αέριο κατά την διάρκεια εκτόνωσης του σε όλο τον κύκλο. Ενώ, το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 3-4-1 είναι ίσο με το έργο που παράγεται από το εξωτερικό περιβάλλον του κυλίνδρου (δεξαμενές θερμότητας που έρχεται σε επαφή) και εφαρμόζεται επί του αερίου κατά την διάρκεια της συμπίεσης που υφίσταται στον κύκλο.



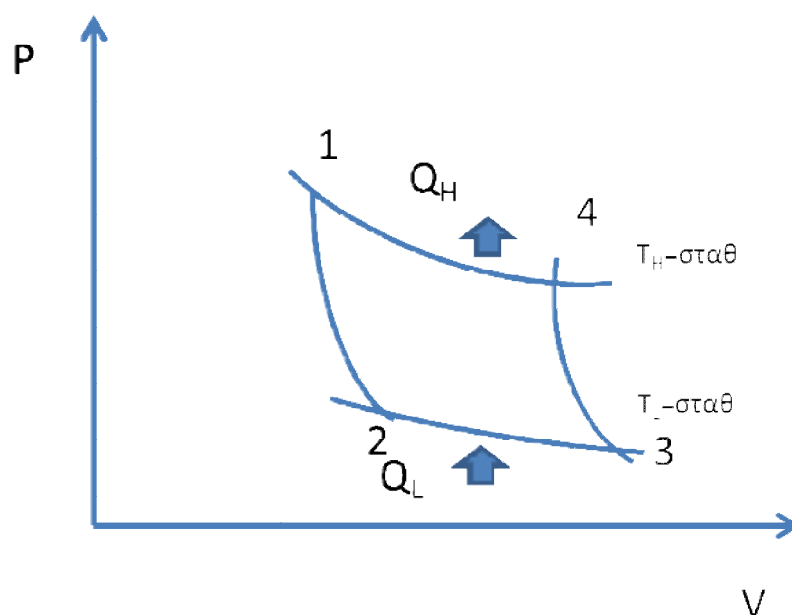
Σχήμα 3.8: Διάγραμμα Πίεση – Όγκου (P-V) του κύκλου Carnot

Ερμηνεύοντας το διάγραμμα θα παρατηρούσαμε ότι από κατά την διάρκεια μετάβασης από το σημείο 1 προς το σημείο 2 έχουμε πτώση της πίεσης του αερίου που συνοδεύεται με αύξηση του όγκου ενώ στο σημείο 2 αναφέρεται ότι θερμοκρασία είναι σταθερή γεγονός που συνδυαστικά καταδεικνύει ισόθερμη εκτόνωση με πρόσληψη ποσού θερμότητας από το περιβάλλον προς το αέριο. Στην συνέχεια από το σημείο 2 μέχρι το σημείο 3 εμφανίζεται μια απότομη μείωση της πίεσης ενώ ο όγκος έχει αυξηθεί ελάχιστα με την θερμοκρασία αυτή την φορά με μικρότερη τιμή σε σχέση με την προηγούμενη,

άρα συνδυαστικά πάλι κατανοούμε ότι έχουμε αδιαβατική εκτόνωση. Από το σημείο 3 μέχρι το σημείο 4 ο όγκος μειώνεται σημαντικά ενώ η πίεση αυξάνεται ελάχιστα με την θερμοκρασία να παραμένει σταθερή στην προηγούμενη τιμή της, αυτό σημαίνει ότι πραγματοποιείται ισόθερμη συμπίεση και παραγωγή έργου από το περιβάλλον προς το αέριο αφού το αέριο πλέον αποδίδει θερμότητα προς το περιβάλλον. Σε αυτό το σημείο το αέριο βρίσκεται στην αρχική του κατάσταση και ο κύκλος μπορεί να ξεκινήσει και πάλι από την αρχή [12].

3.4 ΑΝΑΣΤΡΟΦΟΣ ΚΥΚΛΟΣ CARNOT

Όλες οι διεργασίες του κύκλου Carnot έχουν χαρακτηριστεί ως αντιστρεπτές. Μια διεργασία ονομάζεται αντιστρεπτή όταν δεν περιλαμβάνει τριβές ελεύθερη εκτόνωση, ηλεκτρικές αντιστάσεις και μεταφορά θερμότητας διαμέσου μιας πεπερασμένης θερμοκρασιακής διαφοράς. Ο κύκλος του Carnot, με τις παραδοχές που έχουν γίνει, αποτελεί μια θερμική μηχανή με πλήρως αντιστρεπτές διεργασίες. Το γεγονός αυτό τον καθιστά τον αποδοτικότερο κύκλο αλλά και πλήρως αντιστρέψιμο, στην περίπτωση αυτή ο κύκλος αυτός ονομάζεται ψυκτικός κύκλος του Carnot και το διάγραμμα πίεσης όγκου του απεικονίζεται στο σχήμα 3.9

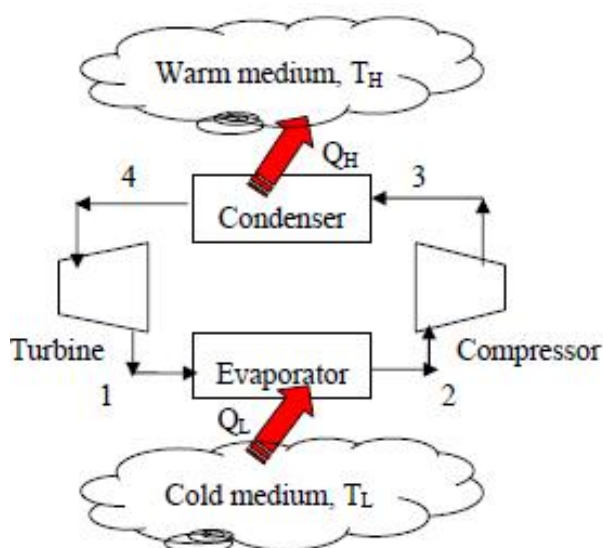


Σχήμα 3.9: Διάγραμμα Πίεση – Όγκου (P-V) του αντιστρεπτού κύκλου Carnot

Στον ψυκτικό κύκλο του Carnot ο κύκλος παραμένει αμετάβλητος εκτός από την κατεύθυνση των αλληλεπιδράσεων θερμότητας και έργου οι οποίες αντιστρέφονται. Πιο συγκεκριμένα, αντιστρέφονται οι επαφές μεταξύ των δεξαμενών θερμότητας και του κυλίνδρου ξεκινώντας, από τη ψυχρή και μετά την θερμή σε συνδυασμό με την αντιστροφή της εκτόνωσης με την συμπίεση όπου εδώ ξεκινάμε με εκτόνωση έναντι της συμπίεσης που είχαμε στον προηγούμενο κύκλο. Επόμενο όλων των παραπάνω είναι και η αλλαγή της κατεύθυνσης της απορρόφησης και απόδοσης θερμότητας ανάμεσα στο σύστημα και τις δεξαμενές θερμότητας. Χαρακτηριστικότερα, απορροφάται ποσότητα θερμότητας Q_L από την ψυχρή δεξαμενή θερμότητας ενώ δίδεται

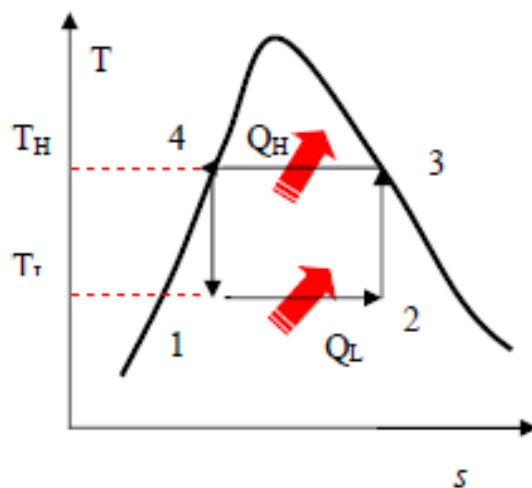
από το αέριο προς την θερμή δεξαμενή ποσότητα ενέργειας ίση με Q_H ενώ για την πραγματοποίηση όλων των παραπάνω απαιτείται έργο.

Μετά από την παρουσίαση του ψυκτικού κύκλου από την θερμοδυναμική του οπτική, κρίνεται σκόπιμο να επιστρέψουμε στην λειτουργία της αντλίας θερμότητας και να δοθούν περισσότερες λεπτομέρειες στις θερμοδυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αντίστροφου ψυκτικού κύκλου. Διότι είναι σημαντικό να ερμηνευθεί θερμοδυναμικά το φαινόμενο της αλλαγής φάσης του ψυκτικού υγρού σε αέριο και ανάποδα, αλλά και η διατήρηση του έργου. Στο σχήμα 3.10 δείχνεται μια αντλία θερμότητας η οποία αποτελείται κατά κύριο λόγο, όπως έχει αναφερθεί, από τον εξατμιστή (Evaporator) και τον συμπυκνωτή (Condenser) όπου ο καθένας έρχεται σε επαφή με μια δεξαμενή θερμότητας, το εσωτερικό περιβάλλον του σπιτιού και το εξωτερικό περιβάλλον του σπιτιού. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται και οι θέσεις οι οποίες σηματοδοτούν την έναρξη και την λήξη κάθε διεργασίας στον κύκλο στα διάφορα σημεία της αντλίας θερμότητας.



Σχήμα 3.10 Απεικόνιση της διάταξης της αντλίας θερμότητας με εμφανή τα σημεία έναρξης και τερματισμού των θερμοδυναμικών διεργασιών.

Η αναπαράσταση της εκτέλεσης των διεργασιών είναι πολύ πιο εύκολη όταν χρησιμοποιηθούν διαγράμματα θερμοκρασίας εντροπίας (T-S) όπως αυτό του σχήματος 3.11 στα οποία δίνεται η καμπύλη του κορεσμένου υγρού (αριστερό τμήμα του διαγράμματος) και η καμπύλη του κορεσμένου ατμού (δεξιό τμήμα του διαγράμματος). Το ψυκτικό μέσο αρχικά απορροφά συνολική ποσότητα θερμότητας Q_L ισόθερμα από μια δεξαμενή θερμότητας (ψυχρή περιοχή) θερμοκρασίας T_L διαγράφοντας την πορεία από την θέση 1 στην θέση 2. Στην συνέχεια συμπιέζεται ισεντροπικά, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία από T_L σε T_H διαγράφοντας έτσι την πορεία από την θέση 2 στην θέση 3. Μετά αποβάλλει ισόθερμα συνολική ποσότητα θερμότητας Q_H σε μια δεξαμενή θερμότητας (θερμή περιοχή) με θερμοκρασία T_H διαγράφοντας έτσι την πορεία από την θέση 3 στην θέση 4. Τέλος εκτονώνεται ισεντροπικά πάλι στην αρχική κατάσταση οδηγούμενο από την θέση 4 στην θέση 1 και ο κύκλος ξεκινά και πάλι από την αρχή [12].



Σχήμα 3.11: Διάγραμμα Θερμοκρασίας- Εντροπίας (T-S) για των αντίστροφο κύκλο του Carnot

Είναι πλέον εύκολο να αντιληφθεί κανείς τον ρόλο των διατάξεων για την επίτευξη των παραπάνω διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα, η κατάσταση του ψυκτικού μέσου κατά την πορεία από την θέση 1 στην θέση 2 μετατρέπεται από κορεσμένο υγρό σε κορεσμένο αέριο με την βοήθεια του εξαμιστή ενώ στην συνέχεια από την θέση 2 στην θέση 3 ο συμπιεστής ανεβάζει την πίεση του αερίου και την θερμοκρασία. Στην πορεία από την θέση 3 στην θέση 4 ο κορεσμένος ατμός μετατρέπεται σε κορεσμένο υγρό με την βοήθεια του συμπυκνωτή. Τέλος η βαλβίδα εκτόνωσης εκτονώνει την πίεση μειώνοντας την θερμοκρασία του υγρού.

Μετά την πλήρη περιγραφή της αντλίας θερμότητας και από θερμοδυναμική σκοπιά αξίζει να θυμίσουμε ότι οι αλλαγές των φάσεων του ψυκτικού μέσου λαμβάνουν χώρα σε δύο εναλλάκτες θερμότητας (εξαμιστής, συμπυκνωτής) οι οποίοι επωμίζονται τον σημαντικότερο ρόλο της αντλίας θερμότητας δηλαδή, την μεταφορά της θερμότητας από τη μία δεξαμενή θερμότητας στην άλλη με την βοήθεια ενός ρευστού[12].

3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μετά την περιγραφή της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας καθώς και την παρουσίαση των θερμοδυναμικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα είναι εύλογο το ερώτημα της απόδοσης αυτού του συστήματος. Με τον όρο απόδοση εννοούμε το λόγο μεταξύ της μεταφερόμενης θερμικής ενέργειας σε σχέση με το καταναλισκόμενο έργο και δίνεται από την σχέση

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (5)$$

Όπου Q είναι η θερμότητα που παρέχεται ή αφαιρείται από τη δεξαμενή W το έργο που καταναλώνει η αντλία θερμότητας και COP ο βαθμός απόδοσης (Coefficient of performance). Κατά συνέπεια ο COP για θέρμανση και ψύξη είναι διαφορετικός, επειδή η δεξαμενή θερμότητας που μας ενδιαφέρει κάθε φορά αλλάζει ανάλογα με την λειτουργία που επιθυμούμε στην αντλία. Όταν ενδιαφερόμαστε για την απόδοση δροσισμού μιας αντλίας, ο COP είναι ο

λόγος της θερμότητας που αφαιρέθηκε από την ψυχρή δεξαμενή προς το έργο που καταναλώθηκε και δίνεται από την σχέση .

$$COP_{\psi} = \frac{Q_L}{W} \quad (6)$$

Όπου Q_L το ποσό τη θερμότητας που αφαιρείται από την δεξαμενή και W το καταναλισκόμενο έργο. Αντίστοιχα, όταν ενδιαφερόμαστε για τη απόδοση της αντλίας στην θέρμανση τότε ο βαθμός απόδοσης εκφράζεται ως ο λόγος της θερμότητας που προστίθεται στην θερμή δεξαμενή προς το έργο που καταναλώθηκε και δίνεται από την σχέση :

$$COP_{\theta} = \frac{Q_H}{W} \quad (7)$$

Ο βαθμός απόδοσης κρίνεται ως ο πιο σημαντικός δείκτης για την επιλογή μιας αντλίας θερμότητας τόσο για μια δεδομένη εφαρμογή όσο και για την τεχνοοικονομική μελέτη που συνοδεύει μια μελέτη τοποθέτηση αντλίας θερμότητας. Είναι σαφές ότι υψηλός βαθμός απόδοσης σημαίνει χαμηλό λειτουργικό κόστος. Ο βαθμός απόδοσης δεν έχει μονάδα μέτρησης είναι ένα αδιάστατο μέγεθος με ελάχιστη τιμή (όχι δυνατή τιμή) την μονάδα. Η τιμή του δεν είναι σταθερή διότι βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από τις κλιματολογικές συνθήκες.

Για να γίνουν πιο κατανοητές οι παραπάνω έννοιες αρκεί να ξεκινήσει κανείς από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής ο οποίος αποτελεί μια έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας ο οποίος αναφέρει ότι:

"Κατά τη διάρκεια μιας θερμοδυναμικής διεργασίας, η μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια ενός συστήματος είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα του ποσού της θερμότητας που απορροφά το σύστημα από το περιβάλλον και του έργου των εξωτερικών δυνάμεων που επιδρούν πάνω στο σύστημα" και εκφράζεται με την σχέση [11][12]

$$\Delta U = -W + Q \quad (8)$$

όπου ΔU είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος, W το έργο που παράγεται από το σύστημα και Q το ποσό της θερμότητας που απορροφά το σύστημα από το περιβάλλον του. Το πρόσημο του έργου είναι αρνητικό όταν παράγεται από τις εξωτερικές δυνάμεις που επιδρούν πάνω στο σύστημα ενώ θετικό όταν παράγεται από το υπό μελέτη σύστημα. Αντίστοιχα, το πρόσημο της θερμότητας είναι θετικό όταν απορροφάται από το σύστημα ενώ αρνητικό όταν εκλύεται από το σύστημα στο περιβάλλον.

Σε αντιστρεπτές διεργασίες όπως ο κύκλος του Carnot που μελετήσαμε για τις αντλίες θερμότητας η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας Q_L , προσθέτει μηχανικό έργο (W) στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας Q_H στον ψυχρό χώρο. Σύμφωνα λοιπόν με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο θα ισχύει η παρακάτω σχέση

$$Q_H = Q_L + W \rightarrow W = Q_H - Q_L \quad (9)$$

Αντικαθιστώντας την σχέση 5 στην σχέση 9 και λύνοντας ως προς τον βαθμό απόδοσης προκύπτει η σχέση

$$COP = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} \quad (10)$$

Η οποία είναι όμοια με την σχέση 7 για την περίπτωση της θέρμανσης ενώ αν από την σχέση 9 εκφράζαμε το Q_L ως συνάρτηση του Q_H και W και ακολουθούσαμε την ίδια συλλογιστική προκύπτει η σχέση:

$$COP = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad (11)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις αναδεικνύεται και ο παράγοντας ο οποίος επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης σε σχέση με τις κλιματικές αλλαγές και δεν είναι άλλος από την διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών (κάθε Q συνδέεται με ένα αντίστοιχο T) στον παρανομαστή κάθε κλάσματος. Όσο μικρότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας των δεξαμενών τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός απόδοσης ενώ αντίστροφα όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασιακή διαφορά των δεξαμενών τόσο μικρότερος ο βαθμός απόδοσης[11][12].

3.6 ΕΙΔΗ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- Ανάλογα με το ρευστό
- Ανάλογα με το είδος της κινητήρια μηχανής
- Ανάλογα με την θέση των διατάξεων

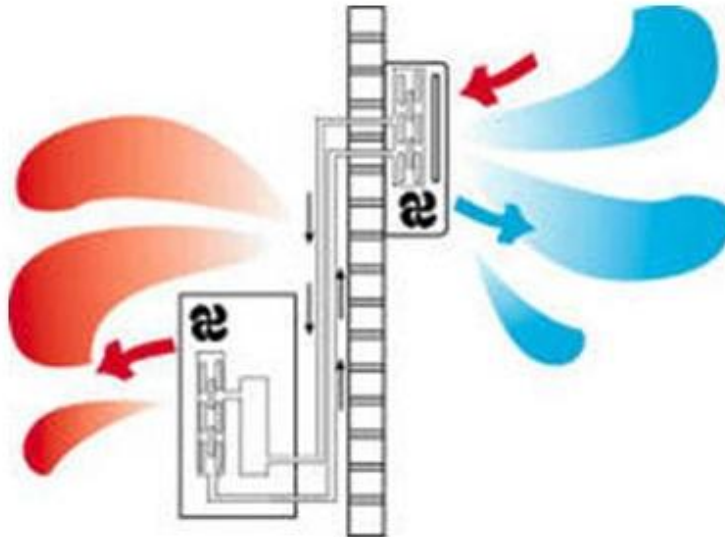
Η πιο ενδιαφέρουσα κατηγοριοποίηση εκ των τριών είναι αυτή ανάλογα με την πηγή άντλησης της θερμότητας. Υπό αυτή την κατηγοριοποίηση έχουμε ως κριτήριο και το ρευστό μέσω του οποίου γίνεται η απορρόφηση και απόδοση θερμότητας μεταξύ μιας ψυχρής δεξαμενής θερμότητας και μιας θερμής δεξαμενής θερμότητας. Με κριτήριο λοιπόν την πηγή άντλησης της θερμότητας οι αντλίες θερμότητας κατηγοριοποιούνται σε:

- Ø Αέρα
- Ø Εδάφους
- Ø Υβριδικές

Οι αντλίες θερμότητας οι οποίες χρησιμοποιούν τον αέρα ως πηγή άντλησης της θερμότητας (Air Source Heat Pumps, ASHP) για να την μεταφέρουν στον επιθυμητό χώρο υπό την επιθυμητή θερμοκρασία χωρίζονται περαιτέρω σε:

- Αέρα – Αέρα
- Αέρα –Νερού

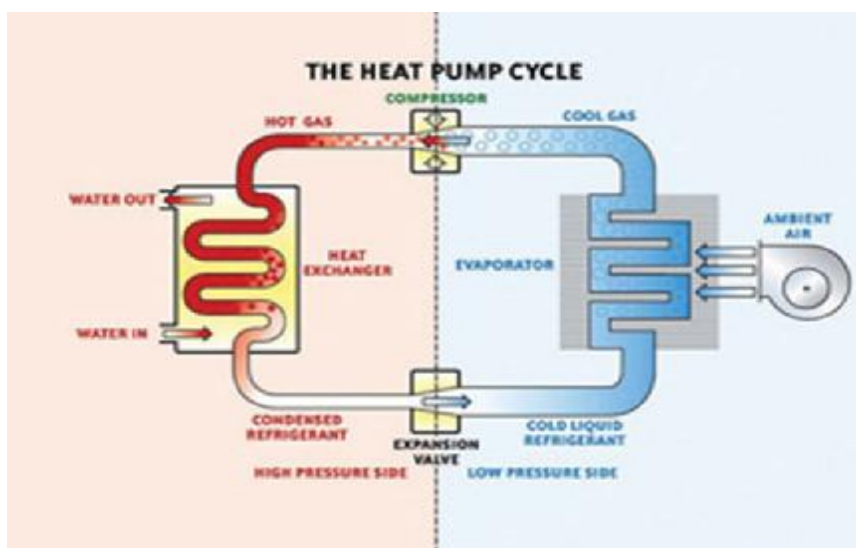
Η πρώτη κατηγορία αποτελεί τα γνωστά σε όλους μας κλιματιστικά όπως αυτό του σχήματος 3.12 τα οποία εναλλάσσουν την θερμότητα τους μεταξύ του αέρα του περιβάλλοντος και του αέρα του εσωτερικού μιας οικίας.



Σχήμα 3.12 : Αντλία θερμότητας αέρα –αέρα διαιρούμενου τύπου (split type)

Ο εναλλάκτης που χρησιμοποιούν είναι αέρα- ψυκτικού υγρού και ολόκληρη η διάταξη της αντλίας θερμότητας αποτελείται από δύο μονάδες. Η μια τοποθετείται εξωτερικά της οικίας και η άλλη μονάδα εσωτερικά της οικίας και απορροφά την θερμότητα από τον αέρα. Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης μιας τέτοιας διάταξης είναι μη απαγορευτικό συγκρινόμενο βέβαια και με τον βαθμό απόδοσης (Coefficient of performance COP) που διαθέτει ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ του 2,5 και του 3,5 ανάλογα με την θερμοκρασιακή διαφορά. Να θυμίσουμε ότι βαθμός απόδοσης 3 σημαίνει ότι η αντλία μεταφέρει 3 μονάδες θερμότητας για κάθε μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει[11].

Αντίστοιχα η δεύτερη κατηγορία αντλίας θερμότητας η αέρα –νερού της οποίας η διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 3.13 είναι παρόμοιες με τις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα, αλλά μεταφέρουν την εξαγόμενη θερμότητα σε ένα κύκλωμα θέρμανσης νερού[11].



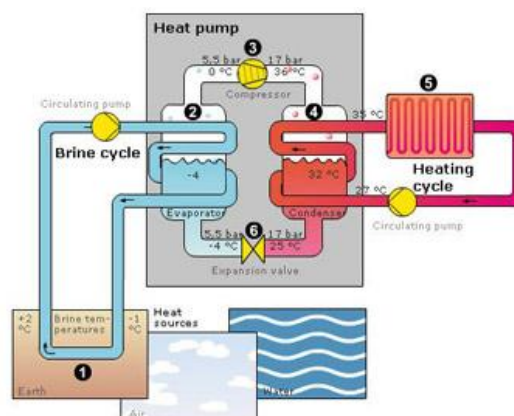
Σχήμα 3.13: Διάταξη αντλίας θερμότητας Αέρα-νερού
<http://www.calorex.com/pool-heating/swimming-pool-heat-pumps>

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε στην θέρμανση δαπέδου είτε να μεταφέρουν τη θερμότητα μέσα σε ένα δοχείο ζεστού νερού οικιακής χρήσης σε ντουζιέρες και οικιακές βρύσες. Ωστόσο, οι αντλίες θερμότητας εδάφους-νερού είναι πιο αποτελεσματικές από ότι οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού, και ως εκ τούτου είναι συχνά η καλύτερη επιλογή για την παροχή θερμότητας για τη θέρμανση δαπέδου και συστήματα ζεστού νερού. Τέλος ο συντελεστής απόδοσής τους είναι παρόμοιος με αυτόν των αντλιών αέρα –αέρα.

Οι αντλίες θερμότητας που έχουν ως πηγή το έδαφος (Ground Source Heat Pumps GSHP) χωρίζονται σε :

- Εδάφους - Αέρα
- Εδάφους - Νερού

Οι παραπάνω κατηγορίες χωρίζονται περαιτέρω ανάλογα με τον τύπο του εδάφους/νερού σε μικρότερες υποκατηγορίες διατηρώντας την αρχή λειτουργίας τους ίδια αλλάζοντας μόνο την πηγή άντλησης της θερμότητας που μπορεί να είναι χώμα, βράχια, λίμνες ποτάμια, υπόγεια ύδατα κ.α. Μια αντλία θερμότητας τύπου GSHP ονομάζεται και γεωθερμική αντλία θερμότητας διότι ο εναλλάκτης στη μια πλευρά της χρησιμοποιεί τη γεωθερμία για να πραγματοποιήσει τις μεταφορές θερμότητας. Η συγκεκριμένη κατηγορία αντλιών βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στις μέρες μας σε μεγάλες εγκαταστάσεις (πχ εργοστάσια) και όχι μόνο, τα οποία διαθέτουν εκτάσεις για την τοποθέτηση των υπόγειων σωληνώσεων. Αποτελεί την πιο οικολογική λύση ψύξης – θέρμανσης, με βαθμό απόδοσής που μπορεί να αγγίξει και το 4 και με μοναδικό αποτρεπτικό παράγοντα το κόστος το οποίο όμως είναι εγγυημένα αποσβέσιμο σε σύντομο χρονικό διάστημα διότι εμφανίζει πολύ χαμηλά λειτουργικά κόστη . Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας για την κάλυψη όλων των αναγκών ψύξης θέρμανσης μιας οικίας φαίνεται στο σχήμα 3.14 [11]



Σχήμα 3.14 Απεικόνιση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με σωληνώσεις σε οριζόντια διάταξη <http://switch2renewable.com/geothermal/>

Τέλος, υπάρχουν και υβριδικά συστήματα (διπλής πηγής θερμότητας) αντλιών θερμότητας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως πηγή θερμότητας είτε τον αέρα είτε το έδαφος ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες. Για παράδειγμα, όταν εξωτερικός αέρας είναι πάνω από 4 έως 8°C που χρησιμοποιούν ως πηγή τον αέρα ενώ όταν ο αέρας είναι πιο κρύος, χρησιμοποιούν ως πηγή του έδαφος. Τα συγκεκριμένα συστήματα έχουν την δυνατότητα και αποθήκευσης ενέργειας τους καλοκαιρινούς μήνες διότι

μπορούν να κυκλοφορούν το νερό που προέρχεται από το υπέδαφος που βρίσκονται οι σωληνώσεις σε ολόκληρο το σύστημα της αντλίας ακόμη και όταν αυτή δεν βρίσκεται σε λειτουργία, με αποτέλεσμα αφενός να ψύχεται ο αέρας και ταυτόχρονα αυξάνεται η θερμοκρασία στο υπέδαφος. Οι υβριδικές αντλίες θερμότητας με τα τεχνικά πλεονεκτήματα που εμφανίζουν παρουσιάζουν συντελεστές απόδοσης της τάξης του 4% για κάθε βαθμό που ανεβαίνει η θερμοκρασία στην πηγή του εδάφους.

3.7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΥΞΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Από τις προηγούμενες παραγράφους έχει αναδειχθεί η λειτουργικότητα και αποδοτικότητα των αντλιών θερμότητας και κατ'επέκταση και των εναλλακτών θερμότητας ότι αποτελούν την ιδανικότερη λύση σε θέματα μεταφοράς θερμότητας με υψηλό βαθμό απόδοσης. Όμως μια απλή παρουσίαση θερμοδυναμικών νομών και λειτουργία μιας διάταξης δεν μας εξασφαλίζει παρά μόνο την μαθηματική επιβεβαίωση μιας υπόθεσης που δεν έχει εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο στο περιβάλλον. Για την κατοχύρωση των παραπάνω συμπερασμάτων της θεωρίας αλλά και για την επιστημονική απόδειξη ότι η αντλία θερμότητας και κατ'επέκταση οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν ίσως την ιδανικότερη λύση από άποψη κόστους και απόδοσης θα παραθέσουμε στην παρούσα εργασία στοιχεία μελέτης κόστους διάφορων τεχνολογιών θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στην Ελληνική αγορά έτσι όπως συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν από το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων του ΕΚΕΤΑ [13].

Σύμφωνα με την μελέτη εξετάστηκαν 13 θερμικά συγκροτήματα όπως αυτά απεικονίζονται στον πίνακα 2

Πίνακας 2 : Παρουσίαση Θερμικών Συγκροτημάτων που μελετήθηκαν

Πλήρης Περιγραφή	Συνομογραφία
1. Αντλία θερμότητας εγκατεστημένη σε κατοικία στη Κλιματική Ζώνη Β.	Αντλία θερμότητας Ζώνη Β.
2. Αντλία θερμότητας εγκατεστημένη σε κατοικία στη Κλιματική Ζώνη Β, έχοντας συμπεριλάβει και επιβάρυνση στη τιμολόγηση των πάγιων καταναλώσεων.	Αντλία θερμότητας Ζώνη Β extra 800kWh incl.
3. Αντλία θερμότητας εγκατεστημένη σε κατοικία στη Κλιματική Ζώνη Γ.	Αντλία θερμότητας Ζώνη Γ.
4. Αντλία θερμότητας εγκατεστημένη σε κατοικία στη Κλιματική Ζώνη Γ, έχοντας συμπεριλάβει και επιβάρυνση στη τιμολόγηση των πάγιων καταναλώσεων.	Αντλία θερμότητας Ζώνη Γ extra 800kWh incl.
5. Πιστοποιημένο συγκρότημα λέβητα - καυστήρα βιομάζας με σιλό τροφοδοσίας ο οποίος τροφοδοτείται με πελέτες ξύλου ποιοτικής κατηγορίας Α1.	Λέβητας βιομάζας (πελέτες ξύλου).
6. Συγκρότημα λέβητα - καυστήρα φυσικού αερίου συμπίκνωσης.	Λέβητας Φ.Α. Συμπύκνωσης.
7. Συγκρότημα συνήθη λέβητα - καυστήρα φυσικού αερίου.	Λέβητας Φ.Α. Συνήθης.
8. Τζάκι κλειστού θαλάμου καύσης το οποίο συνδέεται στην υφιστάμενη υδραυλική εγκατάσταση θέρμανσης της κατοικίας.	Τζάκι Κλειστού Θαλάμου (Ενεργειακό).
9. Τζάκι ανοιχτού θαλάμου καύσης το οποίο τοποθετείται εντός κατοικημένου χώρου με σκοπό την τοπική θέρμανση τμήματος αυτού.	Τζάκι Ανοιχτού Θαλάμου.
10. Σύστημα με ηλεκτρικές αντιστάσεις με μέγιστο συντελεστή μετατροπής 100%, π.χ. ηλεκτρικός λέβητας (βλ. παραδοχές μελέτης)	Σύστημα με ηλεκτρικές αντιστάσεις.
11. Σύστημα με ηλεκτρικές αντιστάσεις με μέγιστο συντελεστή μετατροπής 100%, π.χ. ηλεκτρικός λέβητας (βλ. παραδοχές μελέτης) , έχοντας συμπεριλάβει και επιβάρυνση στη τιμολόγηση των πάγιων καταναλώσεων.	Σύστημα με ηλεκτρικές αντιστάσεις extra 800kWh incl.
12. Συγκρότημα λέβητα - καυστήρα πετρελαίου.	Συνήθης Λέβητας Πετρελαίου.
13. Συγκρότημα λέβητα - καυστήρα πετρελαίου στη περίπτωση που ο καταναλωτής δικαιούται να λάβει τη μέγιστη επιδότηση του πετρελαίου θέρμανσης (0,35 €/lt).	Συνήθης Λέβητας Πετρελαίου με επιδότηση 0,35Ευρώ/lt.

Σε ότι αφορά τις κλιματικές ζώνες στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις των διαφόρων θερμικών συγκροτημάτων δίνεται ο παρακάτω πίνακας 3 με την αναλυτική περιγραφή των περιοχών κάθε ζώνης

Πίνακας 3: Παρουσίαση των γεωγραφικών περιοχών της Ελλάδας ανά κλιματική ζώνη

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθέρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

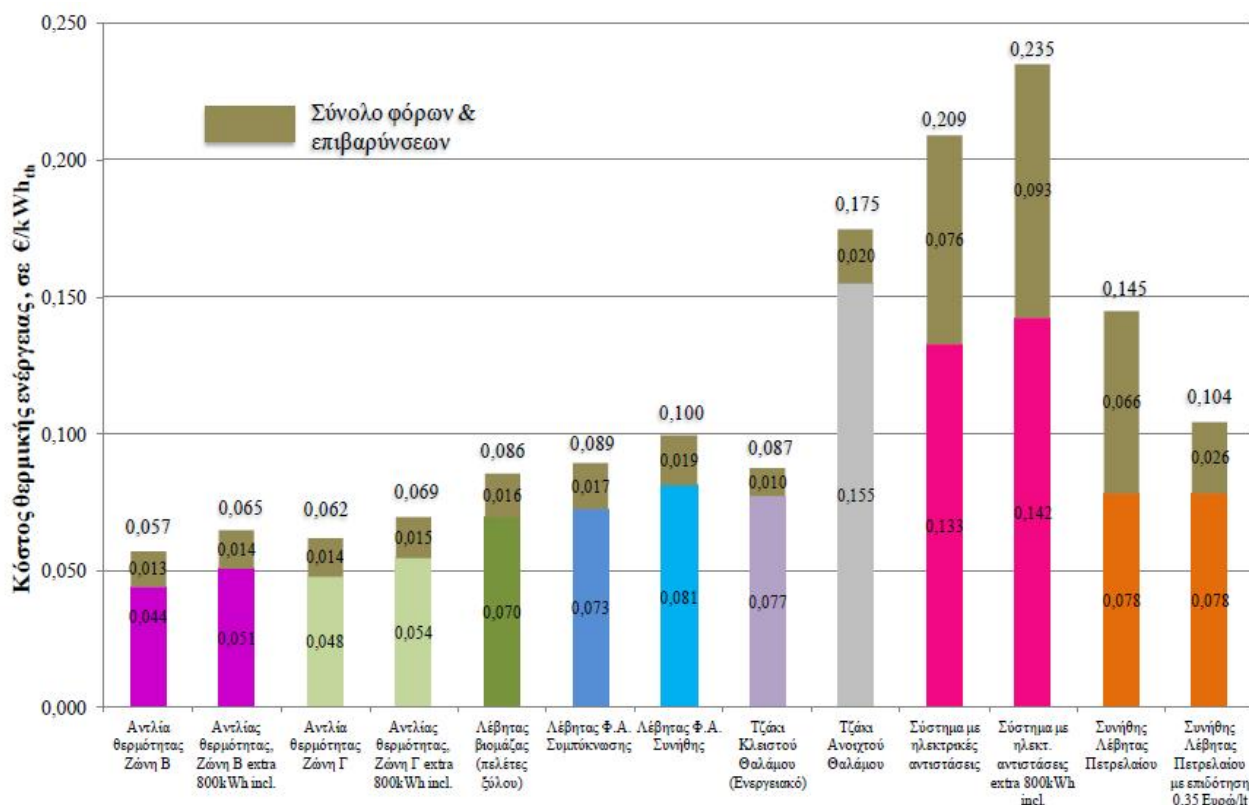
Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι η Αχαΐα βρίσκεται στην κλιματική Ζώνη Β στην οποία έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις αντλίας θερμότητας όπως φαίνεται και στον πίνακα 2

Στην συνέχεια της μελέτης και για να γίνουν κατανοητά τα μεγέθη σύγκρισης των θερμογόνων συγκροτημάτων δίνονται στον πίνακα 4 τα αποτελέσματα υπολογισμών κόστους θερμικής ενέργειας σε €/kWh_{th} και σύγκριση κόστους θερμικής ενέργειας σε % με συγκρότημα συνήθη λέβητα – καυστήρα πετρελαίου. Η σύγκριση δεν είναι τυχαία αφού είναι κοινώς γνωστό ότι ο καυστήρας πετρέλαιο αποτελεί την κύρια πηγή θέρμανσης για τα περισσότερα νοικοκυριά στην Ελλάδα και άρα μια τέτοια σύγκριση θα είναι πιο ουσιώδης. Από τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι η αντλία θερμότητας (Ζώνη Β) έχει βαθμό απόδοσής 3. Το κόστος θερμικής ενέργειας της είναι 0,057 €/kWh_{th} ενώ συγκρινόμενη με τον λέβητα πετρελαίου σε όρους κόστους θερμικής ενέργειας σε % εμφανίζει τιμή μόνο 39 % δηλαδή για την παραγωγή της ίδιας θερμικής ποσότητας και σε δεδομένο κόστος για τον λέβητα η αντλία θερμότητας θα καταναλώσει (σε όρους κόστους) μόνο το 39% το κόστους του λέβητα πετρελαίου.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα υπολογισμών κόστους θερμικής ενέργειας σε €/kWh_{th} και σύγκριση κόστους θερμικής ενέργειας σε % με συγκρότημα συνήθη λέβητα – καυστήρα πετρελαίου

Είδος θερμικού συγκροτήματος	Βαθμός απόδοσης/ συντελεστής συμπεριφοράς	Κόστος αγοράς καυσίμου-ηλ. ενέργειας	Κόστος θερμικής ενέργειας €/kWh _{th}	Κόστος θερμικής ενέργειας €/kWh _{th} tax free	Σύγκριση Κόστους θερμικής ενέργειας σε % με Συνήθη Λέβητα Πετρελαίου
Αντλία θερμότητας Ζώνη Β	3,00	*	0,057	0,044	39,49%
Αντλίας θερμότητας; Ζώνη Β extra 800kWh incl.	3,00	*	0,065	0,051	44,73%
Αντλία θερμότητας Ζώνη Γ	2,75	*	0,062	0,048	42,81%
Αντλίας θερμότητας; Ζώνη Γ extra 800kWh incl.	2,75	*	0,069	0,054	48,05%
Λέβητας βιομάζας (πελέτες ξύλου)	0,75	320€/tn	0,086	0,070	59,18%
Λέβητας Φ.Α. Συμπύκνωσης	0,98	0,0877€/kWh***	0,089	0,073	61,72%
Λέβητας Φ.Α. Συνήθης	0,87	0,0862€/kWh****	0,100	0,081	68,87%
Τζάκι Κλειστού Θαλάμου (Ενεργειακό)	0,50	170€/tn**	0,087	0,077	60,49%
Τζάκι Ανοιχτού Θαλάμου	0,25	170€/tn**	0,175	0,155	120,98%
Συσκευή με ηλεκτρικές αντιστάσεις (Ηλεκτρικός λέβητας)	1,00	*	0,209	0,133	144,53%
Συσκευή με ηλεκτρικές αντιστάσεις extra 800kWh incl.	1,00	*	0,235	0,142	162,58%
Συνήθης Λέβητας Πετρελαίου	0,87	1,256€/lt	0,145	0,078	100,00%
Συνήθης Λέβητας Πετρελαίου με επιδότηση 0,35 Ευρώ/lt	0,87	0,906€/lt	0,104	0,078	72,13%

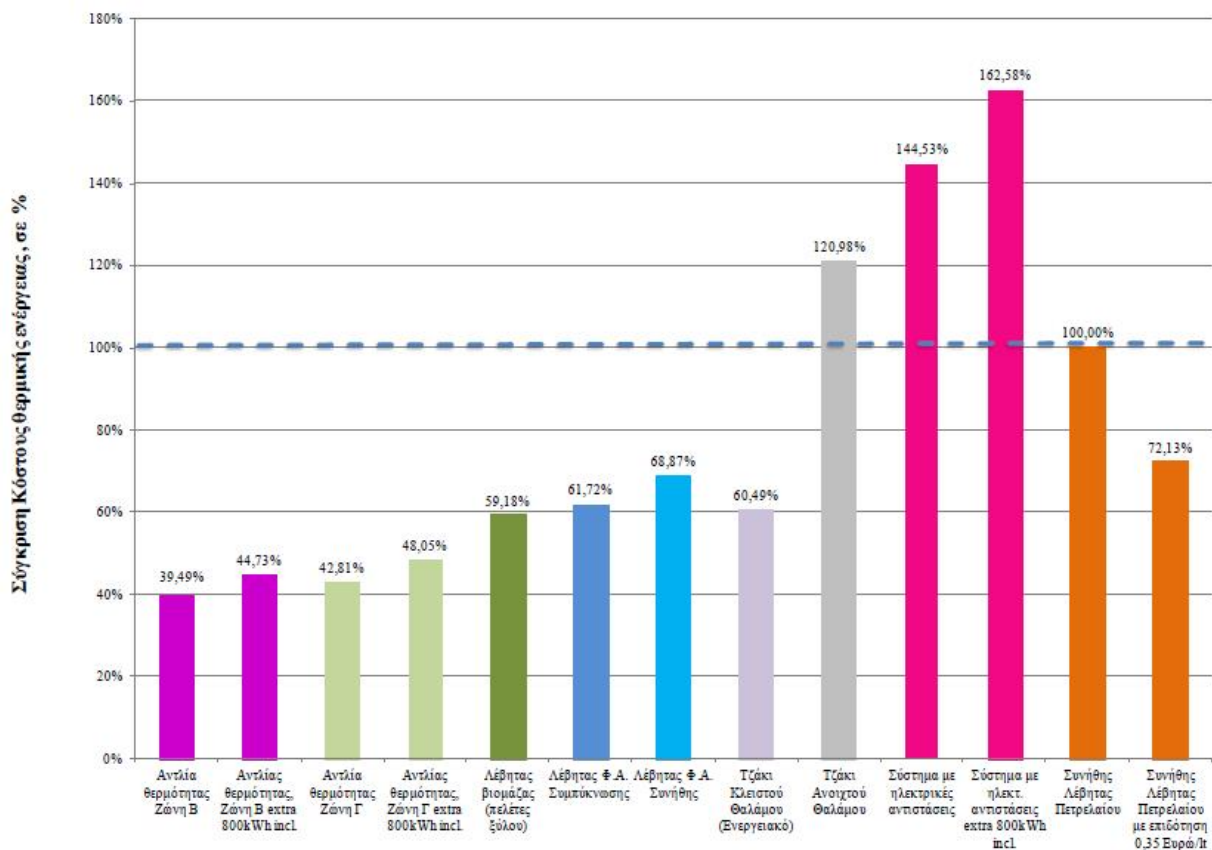
Πολύ ενδιαφέροντα αποδεικνύονται και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 3.15 τα οποία απεικονίζουν το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος. Εμφανίζεται δηλαδή το καθαρό κόστος της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας σε €/kWh_{th}, ενώ σε αυτό προστίθεται τόσο η φορολόγηση όσο και οι επιπλέον επιβαρύνσεις αναλόγως με το είδος καυσίμου ή την χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Από το καθαρό κόστος και τη φορολόγηση προκύπτει στο ίδιο διάγραμμα και η συνολική τιμή κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας. Επίσης, στην περίπτωση όλων των συστημάτων θέρμανσης με ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζεται το εκτιμώμενο κόστος της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας σε €/kWh_{th}, λόγω αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, που θα επιβαρυνθεί ο καταναλωτής και για τις πάγιες καταναλώσεις του (extra 800kWh incl.). Θεωρείται ότι η τυπική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μιας κατοικίας εμβαδού 120m² είναι περί τις 800 kWh/είν ανά τετράμηνο. Τέλος, παρουσιάζεται και το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας σε €/kWh_{th} ενός συνήθους συγκροτήματος λέβητα – καυστήρα πετρελαίου στη περίπτωση που ο καταναλωτής δικαιούται να λάβει τη μέγιστη επιδότηση του πετρελαίου θέρμανσης (0,35 €/lt).



Σχήμα 3.15 Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος

Το παραπάνω διάγραμμα στην ουσία αποτελεί την απεικόνιση των στοιχείων του πίνακα 4 σε σχέση με το εκάστοτε θερμικό συγκρότημα και το κόστος θερμικής ενέργειας. Στην χαμηλότερη τιμή κόστους βρίσκεται η αντλία θερμότητας στην κλιματική ζώνη Β γεγονός που πιστοποιεί ότι η περιοχή της Αχαΐας είναι η πλέον κατάλληλη περιοχή για την επιλογή αντλίας θερμότητας από οποιοδήποτε άλλο θερμικό συγκρότημα από την άποψη κόστους και άρα αποβάσεων και σταδιακά κέρδους.

Στην συνέχεια η έρευνα προχωρά στην απεικόνιση των στοιχείων της πρώτης στήλης του πίνακα 4 σε σχέση με την τελευταία στήλη δίνοντας τη σύγκριση του συνολικού κόστους της θερμικής ενέργειας των διαφόρων ειδών θερμικού συγκροτήματος με ένα συνήθη λέβητα πετρελαίου όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.16



Σχήμα 3.16: Σύγκριση κόστους θερμικής ενέργειας σε %, σε σχέση με το κόστος ενός συγκροτήματος συνήθη λέβητα – καυστήρα πετρελαίου, ανά είδος θερμικού συγκροτήματος

Όπως παρατηρήθηκε και νωρίτερα η αντλία θερμότητας στην κλιματική ζώνη Β αποτελεί την οικονομικότερη λύση σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη πρόταση αντιπροσωπεύοντας μόνο το 39 % του κόστους του λέβητα πετρελαίου για την παραγωγή της ίδιας θερμικής ποσότητας.

Τέλος η έρευνα καταλήγει με την μετατροπή με την τεχνοοικονομική μελέτη όπου παρουσιάζονται στο πίνακα 5. Το εκτιμώμενο κόστος θέρμανσης ανά σεζόν και τα έτη απόσβεσης ως συνάρτηση της απαιτούμενης ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για τα εξεταζόμενα θερμικά συγκροτήματα

Επίσης, στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις κόστους αντικατάστασης ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου από τα εξεταζόμενα εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης στο οποίο συμπεριλαμβάνεται, εκτός του κόστους αγοράς του εξοπλισμού, ένα εκτιμώμενο κόστος εργασιών εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένου και του ΦΠΑ. Οι εκτιμήσεις αυτές είναι ενδεικτικές και μπορεί να **διαφέρουν σημαντικά** από τα κόστη που θα κληθεί να καταβάλει ο καταναλωτής καθώς δεν μπορούν να προβλεφθούν κόστη τα οποία εξαρτώνται άμεσα από τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης και τυχόν επιπλέον επεμβάσεις που μπορεί να απαιτηθούν. Επιπλέον, υπολογίζονται τα έτη απόσβεσης για κάθε περίπτωση ανάλογα με το εκτιμώμενο κόστος θέρμανσης ανά σεζόν, με βάση τις τιμές κόστους θερμικής ενέργειας σε €/kWh_{th}. Για τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης δε λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές στη χρονική αξία του χρήματος. Τέλος, έχει πραγματοποιηθεί παραμετρική ανάλυση ανάλογα με την υφιστάμενη απαίτηση ενέργειας

(κατανάλωση πετρελαίου) ανά περίοδο θέρμανσης (σεζόν), για κάθε μια εναλλακτική πρόταση.

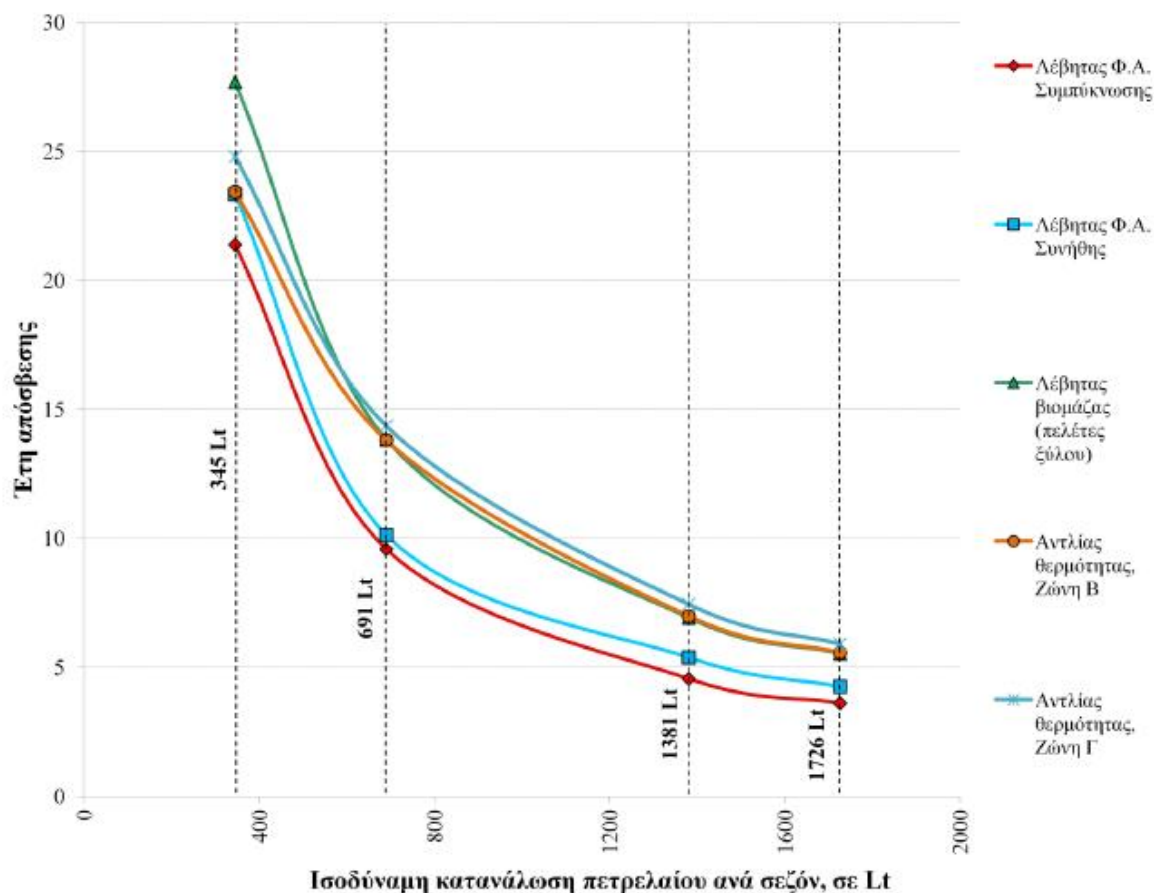
Πίνακας 5 Εκτιμώμενο κόστος θέρμανσης ανά σεζόν και έτη απόσβεσης λόγω αντικατάστασης του υφιστάμενου συγκροτήματος λέβητα καυστήρα πετρελαίου, ως συνάρτηση της απαιτούμενης ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για τα εξεταζόμενα θερμικά συγκροτήματα.

Σεζόν 2013-2014	Περίπτωση		Ωφέλιμη Θερμική Ενέργεια = 3000(kWh/Σεζόν)		Ωφέλιμη Θερμική Ενέργεια = 6000(kWh/Σεζόν)		Ωφέλιμη Θερμική Ενέργεια = 12000(kWh/Σεζόν)		Ωφέλιμη Θερμική Ενέργεια = 15000(kWh/Σεζόν)	
			Ισοδύναμη κατανάλωση πετρελαίου ανά σεζόν = 345 Lt		Ισοδύναμη κατανάλωση πετρελαίου ανά σεζόν = 691 Lt		Ισοδύναμη κατανάλωση πετρελαίου ανά σεζόν = 1381 Lt		Ισοδύναμη κατανάλωση πετρελαίου ανά σεζόν = 1726 Lt	
Είδος θερμικού συγκροτήματος	Κόστος επένδυσης	Κόστος συντήρησης	Κόστος κατανάλωσης ανά σεζόν	Έτη απόσβεσης	Κόστος κατανάλωσης ανά σεζόν	Έτη απόσβεσης	Κόστος κατανάλωσης ανά σεζόν	Έτη απόσβεσης	Κόστος κατανάλωσης ανά σεζόν	Έτη απόσβεσης
Θέρμανση με χρήση συμβατικού λέβητα πετρελαίου (οριστάμενη εγκατάσταση)		90€/έτος	433,63		867,26		1734,51		2168,14	
Θέρμανση με χρήση συμβατικού λέβητα πετρελαίου (οριστάμενη εγκατάσταση) + επιδότηση 0,35€/αό/lt		90€/έτος	312,79		625,59		1251,17		1563,96	
Θέρμανση με χρήση λέβητα Φ.Α. Συμπύκνωσης Β.Α. 0,98	4000,00	60€/έτος	267,63	21,39	497,11	9,59	956,05	4,56	1185,52	3,61
Θέρμανση με χρήση λέβητα Φ.Α. Συνήθης Β.Α. 0,87	3600,00	60€/έτος	298,63	23,33	556,72	10,14	1075,28	5,39	1334,56	4,26
Θέρμανση με χρήση λέβητα βιομάζας (πελέτες ξύλου)	4000,00	150€/έτος	256,62	27,68	513,23	13,84	1026,47	6,92	1283,19	5,54
Θέρμανση με χρήση συστήματος με ηλεκτρικές αντιστάσεις (ηλεκτρικός λέβητας)	1500,00	Δεν απαιτείται	626,73	*	1274,59	*	2536,20	*	3167,00	*
Θέρμανση με χρήση αντλίας θερμότητας: Ζώνη Β	7500,00	Δεν απαιτείται	171,26	23,44	422,15	13,82	854,06	6,98	1064,32	5,57
Θέρμανση με χρήση αντλίας θερμότητας: Ζώνη Γ	7500,00	Δεν απαιτείται	185,65	24,80	459,16	14,37	948,72	7,45	1178,10	5,91
Τζάκι Κλειστόύ θαλάμου (Ενεργειακό)	3500,00	60€/έτος	262,30	17,80	524,60	8,90	1049,19	4,45	1311,60	3,56

Από τον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε με μια γρήγορη ματιά ότι η αντλία θερμότητας αποτελεί την πιο ακριβή κοστολογικά επιλογή μιας και απέχει οικονομικά πάρα πολύ σε σχέση με όλες τις πηγές θερμότητας. Όμως παρατηρώντας το σύνολο το στοιχείων προκύπτουν ενθαρρυντικά συμπεράσματα όπως, η συντήρηση της αντλίας είναι μηδενική γεγονός που εξαλείφει λειτουργικά κόστη. Το κόστος κατανάλωσης σε κάθε χρονική περίοδο είναι πολλαπλάσια χαμηλότερο σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα θερμικά συγκροτήματα. Σημαντικότερο όμως στοιχείο είναι αυτό της απόσβεσης σε σχέση με την ενεργειακή ανάγκη, η αντλία θερμότητας αποσβένει πολύ πιο γρήγορα όσο αυξάνονται οι ενεργειακές μας ανάγκες. Το στοιχείο αυτό δείχνει όμως και ότι ίσως δεν είναι η καλύτερη δυνατή επιλογή για χώρους με μικρές ενεργειακές ανάγκες διότι θα χρειαστούν πολλά έτη μέχρι την ολική απόσβεσή της .

Τέλος στο σχήμα 3.17 παρουσιάζονται τα έτη απόσβεσης για κάθε εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης θεωρώντας σαν σενάριο αναφοράς μια υφιστάμενη εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης σε ιδιοκτησία 120m² και στην οποία ένα συγκρότημα λέβητα καυστήρα πετρελαίου (20kW) ικανοποιεί τις απαιτήσεις θέρμανσης με βαθμό απόδοσης 87%. Ως παράμετροι εισόδου έχουν χρησιμοποιηθεί το κόστος αγοράς και εγκατάστασης αλλά και το κόστος συντήρησης για κάθε εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης καθώς επίσης και η διαφορά του κόστους κατανάλωσης ανά σεζόν μεταξύ του υφιστάμενου συστήματος (λέβητας πετρελαίου) και του εναλλακτικού συστήματος θέρμανσης. Τέλος έχει ληφθεί υπόψη και το κόστος συντήρησης του υφιστάμενου συστήματος και το οποίο αφαιρείται από το αντίστοιχο σύνολο του κόστους αγοράς & συντήρησης του εκάστοτε εναλλακτικού συστήματος θέρμανσης. Ως διάρκεια ζωής του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού έχουν ληφθεί τα 15 έτη. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, δεν έχει ληφθεί υπόψη η χρονική αξία του χρήματος.

Επιπλέον, με την εξέταση διαφορετικών καταναλώσεων πετρελαίου θέρμανσης ανά σεζόν δίνεται η δυνατότητα να αξιολογηθεί η επίδραση του προφίλ του χρήστη, της θερμομόνωσης του κτηρίου, της γεωγραφικής ζώνης και άλλων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εγκατάστασης στα έτη απόσβεσης κάθε σεναρίου αντικατάστασης του υφιστάμενου λέβητα καυστήρα πετρελαίου [13].



Σχήμα 3.17: Έτη απόσβεσης ανά είδος θερμικού συγκροτήματος για εγκατεστημένη ωφέλιμη θερμική ισχύ 20kW, σε υφιστάμενη εγκατάσταση

3.8 ΠΕΙΡΑΜΑ

Μέθοδος βαθμομερών

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

Q_0 : θερμική ενέργεια που καταναλώνεται την θεωρούμενη περίοδο (Kcal, joule κλπ)

Q : θερμικές απώλειες κτιρίου (Kcal/h, w, kw, κλπ)

T_D : θερμοκρασιακή διαφορά σχεδιασμού (F, C⁰)

D : αριθμός βαθμομερών

C_D : Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες (εδώ $C_D = 0,75$)

E : Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης (βαθμός απόδοσης συστήματος = 0,70/0,80)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σπίτι στην Πάτρα με θερμικές απώλειες από μελέτη

$$\Phi = 20000 \text{ kcal/H } D = 1000$$

$$T_D = 20 - (-1) = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_0 = \frac{20000}{21} 1000 * 24 * 0,75 = 24489796 \text{ kcal}$$

Κόστος θέρμανσης για πετρέλαιο με θερμογόνο: 1000kcal/kg

Κατανάλωση πετρελαίου: P=0.84Kg/l

$$\text{Λίτρα πετρελαίου} : \frac{2449 \text{ kg}}{0,84 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} 1,05 \text{ l}$$

$$\text{Τιμή πετρελαίου: } 2915 \text{ l} * 1,05 \text{ €/l} = 3061 \text{ €}$$

Οικία στην Πάτρα 100m²

$$\text{Απώλειες} = 200 \text{ w/m}^2$$

Q₀= συνολική κατανάλωση για μια περίοδο χρήσης της κατοικίας

Αριθμός βαθμοημερών για μια περίοδο D= 1000

$$T_D = 20 - (-1) = 21 \text{ }^\circ\text{C (ΠΑΤΡΑ)}$$

$$\text{θερμικές απώλειες } Q = 100 \text{ m}^2 * 150 \text{ w/m}^2 = 15000 \text{ w} = 15 \text{ kw}$$

ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

1 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες $C_D=0,75$

Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης $E=0,80$

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

$$Q_0 = \frac{15KW}{21} 1000 \times 24h \times 0.75 \frac{1}{0,8} = 16,071MWh$$

$$Q_0 = 16,071 * 3600MJ = 57,857GJ$$

Θερμογόνος ισχύς πετρελαίου : $10000kcal/kg=10*10^3$

$$*4,2 KJ/kg=42 \cdot 10^3 KJ /kg$$

$$= 42 MJ/Kg$$

$$P = \frac{m}{v}$$

$$V = \frac{m}{p}$$

$$m = pV$$

$$m_{\text{πετρελαίου}} = \frac{Q_0}{\text{θερμ.ισχ}} = \frac{57857GJ}{42000 \frac{kJ}{Kg}} = 1377,55kg$$

$$v = \frac{m}{p} = \frac{1377,55kg}{0,84 \frac{kg}{l}} = 1639,94l$$

$$\text{κόστος θέρμανσης} = \text{lt} * \text{€/lt}$$

Η τιμή πετρελαίου θέρμανσης σύμφωνα με τη getoil για 21/04/2015 ήταν

$$0,905 \text{ €/lt}$$

$$\underline{\underline{\text{Συνεπώς κόστος θέρμανσης με πετρέλαιο} = 1639,94 * 0,905 = 1484,15\text{€}}}$$

2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΛΕΒΗΤΑΣ

Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες $C_D=0,75$

Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης $E=1$

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

$$Q_0 = \frac{15}{21} 1000 \times 24h \times 0.75 \frac{1}{1} = 12857,1429kwh$$

Από λογαριασμό ΔΕΗ (Αυγούστου 2015-παράρτημα 1):

$$12857,1429kwh * 0,2\text{€}/kwh = 2571,4\text{€}$$

Συνεπώς κόστος θέρμανσης με ηλεκτρικό λέβητα = 2571,4€

3 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες $C_D=0,75$

Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης $E=3$

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

$$Q_0 = \frac{15}{21} 1000 \times 24h \times 0.75 \frac{1}{3} = 4285,71429kwh$$

Βασικό χαρακτηριστικό των αντλιών θερμότητας το οποίο καθορίζει και το κόστος λειτουργίας κάθε συστήματος. Είναι ο συντελεστής απόδοσης COP(Coefficient Of Performance).. Πρόκειται για το λόγο της θερμικής ισχύος που το σύστημα αποδίδει προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει. Για τις συμβατικές αντλίες θερμότητας ο συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται από 2,5 έως 3.

Θεωρώντας συντελεστή COP= 3 τότε για 1kwh θερμικής ενέργειας απαιτούνται: $1/3 kwh=0,33kwh$ ηλεκτρικής ενέργειας

Συνεπώς κόστος θέρμανσης με αντλία θερμότητας =4286kwh * 0,2 €/kwh= 857,2 €

Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης της αντλίας θερμότητας

Θα πρέπει βέβαια να τονίσουμε ότι οι αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται από υψηλό αρχικό κόστος, το οποίο κυμαίνεται από 6.500 – 9.000 ευρώ.

Συνεπώς από οικονομοτεχνικής άποψης η αντλία θερμότητας παρουσιάζει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη μακροπρόθεσμα. Ταυτόχρονα οι αντλίες θερμότητας θα προσφέρουν πιο γρήγορη απόσβεση αρχικού κεφαλαίου.

4 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες $C_D=0,75$

Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης $E=0,90$

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

$$Q_0 = \frac{15}{21} 1000 \times 24h \times 0.75 \frac{1}{0,90} = 14285,7143kwh$$

Κόστος φυσικού αερίου= 0,090 €/kwh

Συνεπώς κόστος θέρμανσης με φυσικό αέριο
=0,090*14285,7143=1285,71429€

5 ΒΙΟΜΑΖΑ (PELLETS)

Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες $C_D=0,75$

Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης $E=0,70$

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

$$Q_0 = \frac{15}{21} 1000 \times 24h \times 0.75 \frac{1}{0,70} = 18367,3469kwh$$

$$\Delta H = 4,72 \text{ kwh/kg}$$

$$\text{Κόστος} = 320\text{€/tn} = 320\text{€/}1000\text{kg} = 0,320\text{€/kg}$$

$$M_{pel} = \frac{Q_0}{\Delta H} = \frac{18367,3469}{4,72} = 3891,38706kg$$

$$\underline{\text{Συνεπώς κόστος θέρμανσης με pellets}} = M_{pel} * 0,320 = 1245,24 \text{ €}$$

6 ΞΥΛΟ

Συντελεστής διόρθωσης για βαθμομέρες $C_D=0,75$

Συντελεστής διόρθωσης για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης $E=0,25$

$$Q_0 = \frac{Q}{T_D} D 24 C_D \frac{1}{E}$$

$$Q_0 = \frac{15}{21} 1000 \times 24h \times 0.75 \frac{1}{0,25} = 51428,57143 * 3600kwh$$

$$=185142857,1KJ/1000$$

$$=185143 MJ$$

$$M = \frac{Q_0}{\Delta H} = \frac{185143}{19} = 9744,36Kg$$

$$170€/tn = 0,17€/kg$$

Ένα κιλό ξύλα κοστίζει περίπου 0,17€

Συνεπώς το συνολικό κόστος με ξύλο είναι :

$$9744,36 * 0,17 = 1656,5412€$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στην λειτουργία, τις εφαρμογές και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των περισσοτέρων ειδών εναλλακτών θερμότητας. Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να επισημάνουμε ότι ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελεί μια διάταξη με ευρεία χρήση στην βιομηχανική περιοχή εφαρμογών, με σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση και μεταφορά της θερμότητας. Οι διάφορες διατάξεις που έχουν αναπτυχθεί εξυπηρετούν μια μεγάλη ομάδα εφαρμογών οι οποίες ολοένα περνούν και σε μικρότερη κλίμακα όπως είναι η οικιακή χρήση εναλλακτών για την θέρμανση και τον δροσισμό μιας οικίας. Χαρακτηριστικότερα παραδείγματα της παραπάνω εφαρμογής είναι η ενδοδαπέδια θέρμανση / ψύξη με πηγή ενέργειας την γεωθερμία και φυσικά η αντλία θερμότητας η οποία αποτελεί και την εφαρμογή που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία.

Η αντλία θερμότητας τα τελευταία χρόνια αποτελεί την πιο συμφέρουσα και οικολογική λύση για κάθε σπίτι στην προσπάθειά του να λύσει οικονομικά και αποδοτικά το θέμα της θέρμανσης και του δροσισμού. Τα κυριότερα μέρη μιας αντλίας θερμότητας είναι δύο είδη εναλλακτών θερμότητας (συμπυκνωτής, εξατμιστής) ενώ η αρχή λειτουργία της βασίζεται στον ανάστροφο κύκλο του Carnot.

Σύμφωνα με μετρήσεις της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σχετικά με την σύγκριση του κόστους και της απόδοσης της θέρμανσης σε σχέση με διάφορες τεχνολογίες η αντλία θερμότητας κατέλαβε της περισσότερες πρωτιές σε μεταβλητές θετικού νοήματος για τον καταναλωτή. Χαρακτηριστικότερα, οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε συνάρτηση και με την κλιματική ζώνη μιας περιοχή για την περιοχή της Αχαΐας η οποία ανήκει στην Β ζώνη τα συμπεράσματα των μετρήσεων είναι τα παρακάτω:

- 1) Η χρησιμοποίηση της αντλίας θερμότητας στην ζώνη Β έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο καθαρό κόστος θερμικής ενέργειας έναντι των υπολοίπων τεχνολογιών.
- 2) Αποτελεί την οικονομικότερη λύση σε όρους συνολικού κόστους συγκρινόμενη έναν συνήθη λέβητα πετρελαίου (τιμή πετρελαίου 1,256 €/lt) και συγκεκριμένα καταναλώνει μόνο το 39% του συνολικού κόστους ενέργειας σε σχέση με τον λέβητα πετρελαίου
- 3) Συγκρίνοντας το εκτιμώμενο κόστος θέρμανσης ανά σεζόν και έτη απόσβεσης λόγω αντικατάστασης του υφιστάμενου συγκροτήματος λέβητα καυστήρα πετρελαίου, ως συνάρτηση της απαιτούμενης ωφέλιμης θερμικής ενέργειας καταδείχτηκε ότι: Η επένδυση αποσβένει σχεδόν εκθετικά με την αύξηση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας γεγονός που φανερώνει την χρησιμοποίηση της για εφαρμογές με μεσαία και μεγάλη απαίτηση σε θερμικά φορτία. Το γεγονός αυτό οφείλεται και στον παράγοντα της μεγάλης απόστασης ως προς το κόστος που έχει αντλία θερμότητας σε σχέση με τον λέβητα πετρελαίου ανά σεζόν

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω γίνεται επιστημονικά αποδεκτό ότι η χρήση της αντλίας θερμότητας αποτελεί την καλύτερη επιλογή από κάθε άλλο

θερμαντικό μέσο. Ενώ η αντικατάσταση του υπάρχοντα λέβητα είναι αποσβέσιμη σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα όσο η ανάγκη για θερμικό φορτίο είναι υψηλή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαιο 1

1. Y. A. Cengel, M. A. Boles, 2011: *Θερμοδυναμική για μηχανικούς εκδόσεις Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα*
2. C Kittel. :1976. *Εισαγωγή στη φυσική στερεάς καταστάσεως*, Εκδόσεις Γ. Α. Πνευματικού, Αθήνα
3. Perrot, Pierre, 1998: *A to Z of Thermodynamics*. Oxford University Press.
4. P.W Atkins,;2012: *Φυσικοχημεία* :Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Κρήτη

Κεφάλαιο 2

- 5 Industrial Shell-and-tube heat exchangers; American Industrial Heat Transfer Inc.; <http://www.aihti.com/pdf/fbf.pdf>
- 6 Heat Exchangers Kevin D. Rafferty, Gene Culver Geo-Heat Center, 1996–2001
- 7 RK Shah, DP Sekulic 2003: *Fundamentals of heat exchanger design*, Wiley
- 8 Raj M. Manglik Arthur E. Bergles 1995: *Heat transfer and pressure drop correlations for the rectangular offset strip fin compact heat exchange Experimental Thermal and Fluid Science* Volume 10, Issue 2, Pages 171–180
9. DD Ganji, A Zahmatkesh, A Barouz, H Zahedi 2013 : *A survey study on different methods of controlling temperature of shell and tube heat exchangers*, International Research Journal of Applied and Basic Science
- 10 M. Benhammou,B. Draoui, M. Zerrouki, Y. Marif 2015: *Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate*, Energy Conversion and Management, Elsevier Volume 91, February 2015, Pages 1–11

Κεφάλαιο 3

11. Silverstein, Calvin C 1992 : Design and technology of heat pipes for cooling and heat exchange Wasington :Hemisphere
12. Smith, J.M., Ness, Van H.C., Abbott, Michael M., Εισαγωγή στη Θερμοδυναμική, Θεσσαλονίκη :Α. Τζιόλα. Ε. , 1990
- Υ. A. Cengel, M. A. Boles, 2011: *Θερμοδυναμική για μηχανικούς εκδόσεις Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα*
13. Δρ. Εμμανουήλ Κακαράς, Δρ. Σωτήριος Καρέλλας, Δρ. Παναγιώτης Βουρλιώτης, Δρ. Παναγιώτης Γραμμέλης, Πλάτων Πάλλη1, Εμμανουήλ Καραμπίνης 2013: *Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες*,

Ιστοσελίδες

<http://www.real-world-physics-problems.com/heat-exchanger.html>

<http://www.offshoreenergytoday.com/alfa-laval-to-supply-plate-heat-exchangers-for-brazilian-offshore-plaforms/>

<http://www.cejco.net/products-heat.php>

<http://www.enggcyclopedia.com/2011/05/heat-exchanger-types/>

<http://www.bmwforum.gr/forum/showthread.php?t=14594&langid=1>

<https://www.souheat.com/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger

http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_air-source_heat_pump.html

<http://www.calorex.com/pool-heating/swimming-pool-heat-pumps>

<http://switch2renewable.com/geothermal/>

<http://scopewe.com/category/chemical-engineering/heat-exchanger-chemical-engineering-2/>