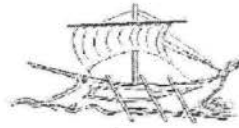


M/H
829

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

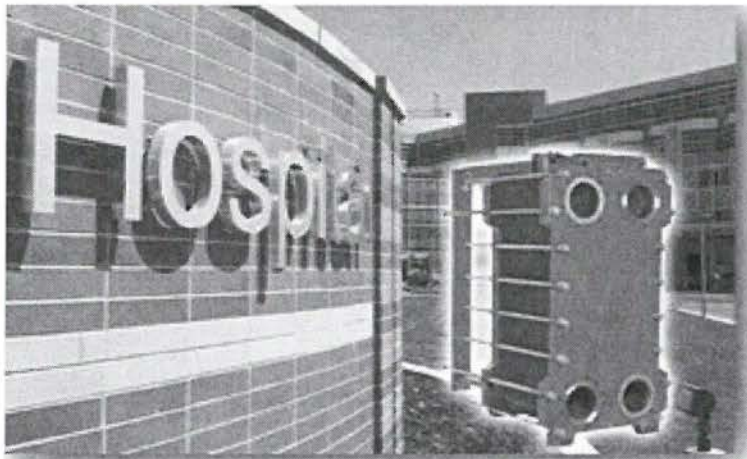
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ»**

**«COMPARATIVE STUDY OF HEAT EXCHANGERS TO MEET
HOSPITAL NEEDS»**



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Σπουδαστής: Βοζίκης Γεώργιος Α.Μ. 33635

Εισηγητής: Νίκας Κωνσταντίνος

HM
258

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Νίκα Κωνσταντίνο που μου εμπιστεύτηκε το θέμα της παρούσας εργασίας καθώς και τον κ. Ιωάννη Σιγάλα για την καθοδήγηση του αλλά και για τον χρόνο που αφιέρωσε δίνοντας μου πολλές χρήσιμες πληροφορίες και επιλύοντας μου, με μεγάλη θέληση, όποιες απορίες είχα.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συμπαράσταση και την κατανόηση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περίληψη.....	5
Κεφάλαιο 1	7
1.1 Εναλλάκτες θερμότητας	7
1.1.1 Διάκριση εναλλακτών θερμότητας με τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας	7
1.1.2 Διάκριση εναλλακτών θερμότητας ανάλογα με τον τύπο της ροής και την κατασκευαστικής τους διάταξη	8
1.1.3 Προβλήματα Κατά Τη Χρήση Εναλλακτών Θερμότητας	12
1.2 Φαινόμενα μεταφοράς.....	13
1.2.1 Μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας	14
1.3 Μέθοδοι ανάλυσης εναλλακτών θερμότητας	20
1.3.1 Η μέθοδος της Μέσης Λογαριθμικής Θερμοκρασιακής Διαφοράς (LMTD)	23
1.3.2 Η μέθοδος της Αποτελεσματικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας (NTU).....	29
Κεφάλαιο 2	32
2.1 Εισαγωγή	32
2.2 Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας για ζεστο νερό χρήσης.....	35
2.3 Δοχείο Αδρανείας.....	39
2.4 Υπολογισμός απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης	45
2.5 Υπολογισμός Θερμικής Απόδοσης πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας	47
2.6 Υπολογισμός ισχύος λέβητα	50
2.7 Μελέτη περίπτωσης	51
2.7.1 Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας	52
2.7.2 Πλακοειδής εναλλάκτης σε σειρά με δοχείο αδράνειας	54

2.7.3 Αυλωτός εναλλάκτης.....	55
2.7.4 Αυλωτός εναλλάκτης και δοχείο αδράνειας.....	56
2.8 Σύγκριση συστημάτων	59
Κεφάλαιο 3	61
3.1 Συμπεράσματα.....	61
Βιβλιογραφία	62

Περίληψη

Στην εργασία που ακολουθεί, γίνεται ανασκόπηση των εναλλακτών θερμότητας και ιδιαίτερα του πλακοειδή εναλλάκτη, του εναλλακτή αυλών - κελύφους καθώς και του δοχείου αδρανείας ως μέσα παραγωγής ζεστού νερού για την κάλυψη των αναγκών ενός νοσοκομείου.

Στο θεωρητικό μέρος παρουσιάζεται η βασική θεωρία της μετάδοσης θερμότητας στους εναλλάκτες και στη συνέχεια γίνεται η ταξινόμηση και ο διαχωρισμός των εναλλακτών θερμότητας ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους και τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας.

Σημαντικές πληροφορίες μας δίνει το υπολογιστικό μέρος στο οποίο εξετάζονται οι παραπάνω εναλλάκτες ξεχωριστά καθώς και συνδυασμοί αυτών με δοχεία αδρανείας με σκοπό την ανάδειξη του συστήματος το οποίο είναι πιο οικονομικό στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας με στόχο το μέγιστο ενεργειακό όφελος.

Ολοκληρώνοντας, συμπεραίνουμε ότι οι πλακοειδής εναλλάκτες έχουν μεγαλύτερο ενεργειακό όφελος καθώς έχουν μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης δηλαδή οι ανάγκες που υπάρχουν σε ένα νοσοκομείο από ζεστό νερό καλύπτονται σε μεγαλύτερο ποσοστό με τους πλακοειδής εναλλάκτες. Σχετικά με το κόστος ενέργειας, το σύστημα πλακοειδή εναλλάκτη με δοχείο αδρανείας, έχει μικρότερο κόστος ενέργειας με μικρή διαφορά από το σύστημα εναλλάκτη κελύφους αυλού και δοχείο αδρανείας.

Λέξεις-κλειδιά: Μετάδοση θερμότητας, πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας, εναλλάκτης κελύφους – αυλού, δοχείο αδρανείας.

Summary

The following assignment gives a review of heat exchangers and particularly of the plate ones. In addition the shell and tube exchangers as well as the buffer tank as a means of generating hot water for the needs of a hospital are presented.

The theoretical part presents the basic theory of heat transmission to the heat exchangers. It also refers to the classification and separation of the heat exchangers according to their functional rules and the way of the heat transmission.

Moreover, significant information is provided by several calculations through which the above heat exchangers are separately examined. Furthermore, latter's' combinations with buffer tank aim to the appointment of the least expensive system in the field of energy consumption flat to maximize the maximum energy benefit.

To sum up, we comprehend that the plate heat exchangers have higher energy benefit as they have a higher usage rate. For instance the existing need of hot water in a hospital is satisfied at a greater rate, by the plate heat exchangers. As far as the energy cost, is concerned, the system including the plate exchanger with a buffer tank is more affordable having a slight difference, from the system including the shell tube with the buffer tank.

Keywords: heat transmission, plate heat exchanger, shell tube heat exchanger, buffer tank

Κεφάλαιο 1

1.1 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι εναλλάκτες είναι συσκευές στις οποίες στο εσωτερικό επιτυγχάνεται η μεταφορά της θερμότητας ενός ρευστού με μεγάλη θερμοκρασία σε ένα άλλο μικρότερης θερμοκρασίας, ο διαχωρισμός τους γίνεται από κάποιο στερεό τοίχωμα. Η μεταφορά θερμότητας συμβαίνει λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς που υπάρχει ανάμεσα τους. Η δημιουργία εναλλακτών έγινε αφενός μεν για μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας εφετέρου δε για οικονομικά κίνητρα.

1.1.1 Διάκριση εναλλακτών θερμότητας με τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Έχουμε τρεις μεγάλες κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να κατατάξουμε τους εναλλάκτες θερμότητας :

- Άμεσης επαφής
- Έμμεσης επαφής
- Ημιάμεσης επαφής

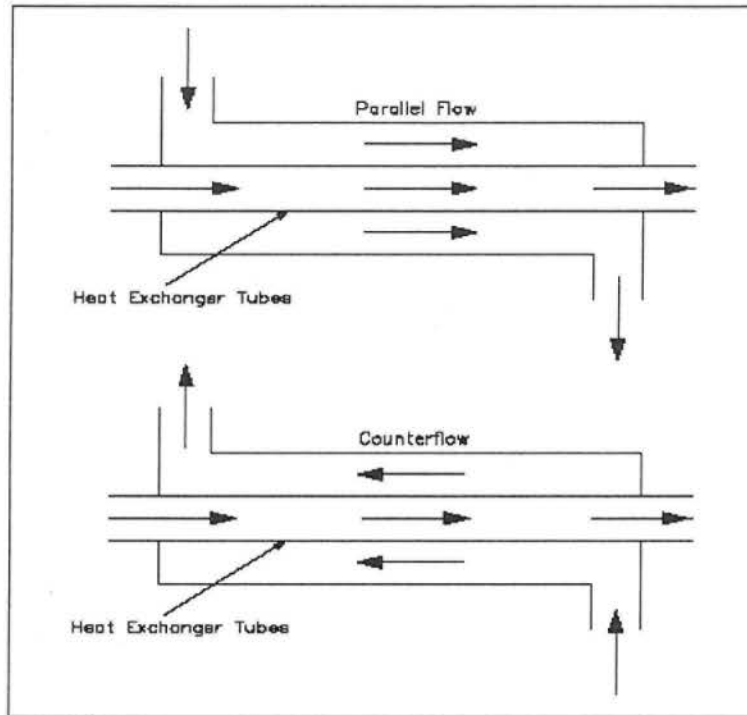
Στους εναλλάκτες άμεσης επαφής έχουμε ανάμιξη των δυο ρευστών, καθώς δεν υπάρχει κάποιος διαχωρισμός ανάμεσα τους και έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά της θερμότητας. Στην συνέχεια τα δυο ρευστά διαχωρίζονται από μόνα τους λόγω φυσικών ιδιοτήτων.

Στους εναλλάκτες έμμεσης επαφής, τα δυο ρευστά ρέουν ταυτόχρονα μέσα στη συσκευή και ο διαχωρισμός τους γίνεται από ενδιάμεσα τοιχώματα μέσω των οποίων γίνεται η μεταφορά θερμότητας, τα τοιχώματα αυτά είναι από υλικό καλής αγωγιμότητας, και τα οποία δεν τους επιτρέπουν να αναμιχθούν.

Στους εναλλάκτες ημιάμεσης επαφής, η ίδια επιφάνεια θέρμανσης εκτίθεται διαδοχικά σε θερμό και ψυχρό ρευστό. Η επιφάνεια στην αρχή παίρνει θερμότητα από το θερμό ρευστό την αποδίδει στο ψυχρό ρευστό.

1.1.2 Διάκριση εναλλακτών θερμότητας ανάλογα με τον τύπο της ροής και την κατασκευαστικής τους διάταξη

1. Οι εναλλάκτες θερμότητας, ανάλογα με το είδος της ροής του ρευστού, διακρίνονται σε:
 - α) Εναλλάκτες παράλληλης ροής ή ομορορροής (parallel flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν παράλληλα (Σχήμα 1.1)
 - β) Εναλλάκτες αντιρορροής (counter flow), όπου τα δυο ρευστά ρέουν στην ίδια κατεύθυνση αλλά με αντίθετη φορά (Σχήμα 1.1)
 - γ) Εναλλάκτες σταυρωτής ροής ή σταυρορορροής (cross flow), στους οποίους τα δύο ρευστά ρέουν σε κάθετες διευθύνσεις (Σχήμα 1.6)
 - δ) Σύνθετους εναλλάκτες , όταν η κίνηση της ροής αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω ροών .

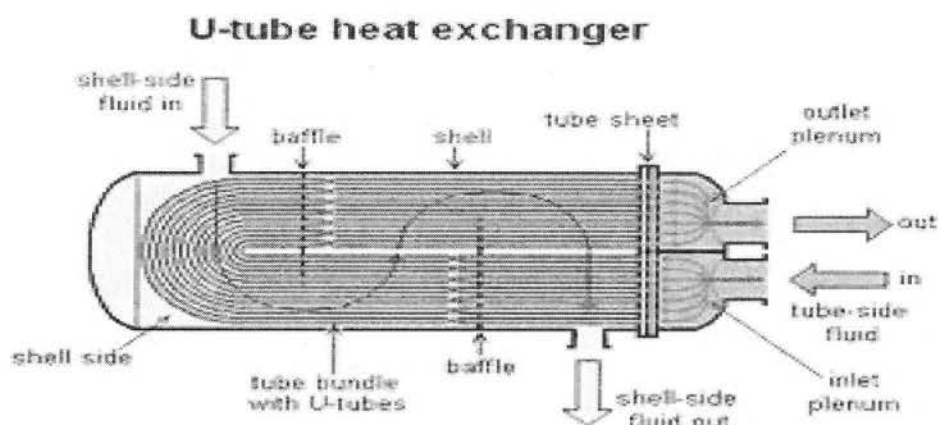


Σχήμα 1.1 Εναλλάκτης θερμότητας παράλληλης ροής και αντιρροής

2. Ένα δεύτερο κριτήριο διαχωρισμού των εναλλακτών είναι η **διάταξη τους** όπου διακρίνονται σε:

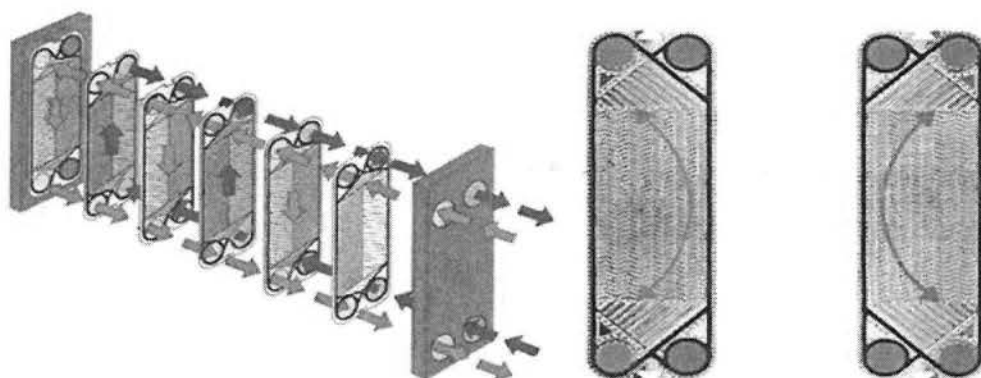
α) **Εναλλάκτες διπλού σωλήνα ή διπλού αυλού (double pipe heat exchangers)**: Είναι ο πιο απλός τύπος εναλλάκτη ο οποίος αποτελείται από δύο σωλήνες όπου ο ένας βρίσκεται μέσα στον άλλο και τα δύο ρευστά ρέουν το ένα μέσα στον μικρό σωλήνα και το άλλο στον εξωτερικό σωλήνα.

β) **Εναλλάκτες αυλών- κελύφους (shell-and-tube heat exchangers)**: Ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης στις βιομηχανίες και διαθέτει σωλήνες και διαφράγματα .



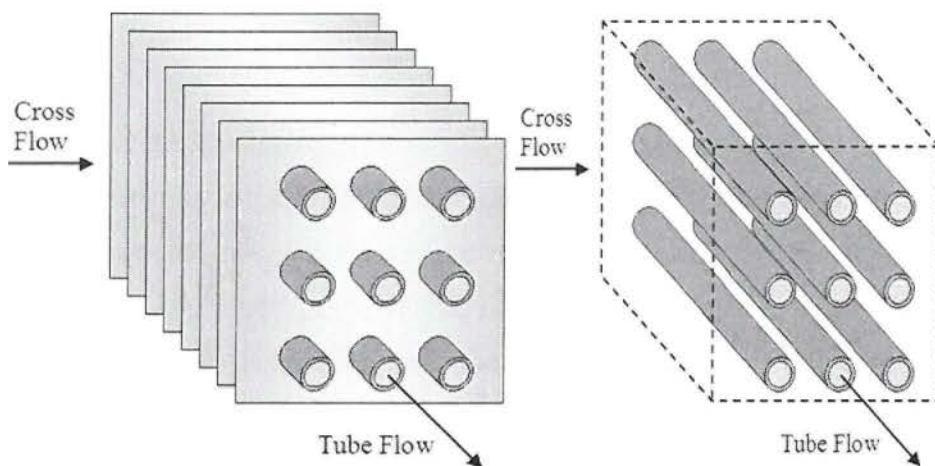
Σχήμα 1.2 Εναλλάκτης αυλών-κελύφους

γ) Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (plate heat exchangers), οι οποίοι αποτελούνται από μεταλλικές πλάκες οι οποίες είναι τοποθετημένες η μια παράλληλα στην άλλη.



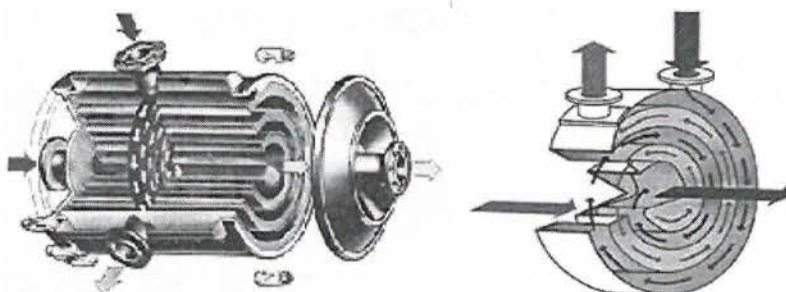
Σχήμα 1.3 Πλακοειδής εναλλάκτης

δ) Προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια. Τα πτερύγια αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής από την πλευρά του αέρα και, επομένως, το συντελεστή συναγωγής (Σχήμα 1.4 α)



Σχήμα 1.4 Εναλλάκτες σταυρωτής ροής. (α) με πτερύγια και χωρίς ανάμιξη, (β) χωρίς πτερύγια και με ανάμιξη του ρευστού εκτός σωλήνα

ε) **Σπειροειδείς εναλλάκτες (spiral heat exchangers)**: Σε αυτού του είδους τους εναλλάκτες τα ρευστά ρέουν σε σπειροειδής επιφάνειες. (Σχήμα 1.5)



Σχήμα 1.5 Σπειροειδής εναλλάκτης

3. Τέλος ανάλογα με το **μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας** οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

- α) συναγωγής μιας φάσης και από τις δύο πλευρές
- β) συναγωγής μιας φάσης από τη μια πλευρά και συναγωγής δύο φάσεων από την άλλη
- γ) συναγωγής δύο φάσεων και από τις δύο πλευρές και
- δ) συνδυασμένης συναγωγής και μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία

1.1.3 Προβλήματα Κατά Τη Χρήση Εναλλακτών Θερμότητας

Ο εναλλάκτης όπως προαναφέραμε είναι συσκευή στην οποία έχουμε μεταφορά θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών . Συχνά τα ρευστά αυτά περιέχουν διάφορες ουσίες ή βοηθούν στην ανάπτυξη μικροοργανισμών με αποτέλεσμα μετά από μια χρονική περίοδο λειτουργίας του εναλλάκτη οι επιφάνειες του να καλύπτονται από διάφορες επικαθίσεις ή ακόμα και να διαβρώνονται . Οι επικαθίσεις αυτές έχουν, συνήθως, πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι, ένα λεπτό στρώμα επικαθίσεων μπορεί να προκαλεί μια πρόσθετη αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας, μειώνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του εναλλάκτη.

Η διαδικασία της εναπόθεσης των διάφορων υλικών στις διαχωριστικές επιφάνειες ονομάζεται ρύπανση αυτών, ενώ η αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας που προκαλείται από τις επικαθίσεις ονομάζεται αντίσταση ρύπανσης .

Πίνακας 1.1.3.1 Τιμες συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας υλικών

Υλικό	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m°C)
Βιολογικό φιλμ	0,7
Συστατικά γάλακτος	0,5 - 0,7
Ανθρακικό ασβέστιο	2,9
Θειικό ασβέστιο	2,3
Φωσφορικό ασβέστιο	2,6
Φωσφορικό μαγνήσιο	2,3
Μαγνητίτης	2,9
Αιμαμίτης	0,6
Ασβεσίτης	0,9
Γύψος	1,3

Για την αντιμετώπιση των επικαθίσεων στους εναλλάκτες θερμότητας το σημαντικότερο βήμα είναι ο σωστός σχεδιασμός τους, ο οποίος πρέπει να περιλαμβάνει:

- α) την επιλογή του κατάλληλου τύπου εναλλάκτη θερμότητας,
- β) την αναζήτηση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας, όπως για παράδειγμα τη βέλτιστη ταχύτητα ροής των ρευστών και
- γ) την όσο το δυνατόν καλύτερη κατασκευή του εναλλάκτη.

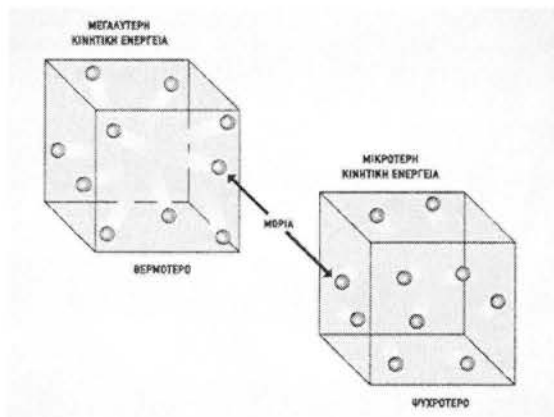
1.2 Φαινόμενα μεταφοράς

Θερμότητα και θερμοκρασία

Όλα τα σώματα είτε αυτά είναι στερεά είτε αέρια είτε υγρά αποτελούνται από δομικές μονάδες (άτομα , ιόντα , μόρια) που κινούνται συνεχώς μέσα στο σώμα . Οι δομικές αυτές μονάδες διαθέτουν διάφορες μορφές ενέργειας όπως είναι η κινητική και η δυναμική . Το σύνολο των ενεργειών που έχουν οι δομικές μονάδες ονομάζεται εσωτερική ενέργεια . Η εσωτερική ενέργεια είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη θερμότητα.

Θερμότητα (Q) είναι η ενέργεια που ρέει από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα και έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνει την εσωτερική ενέργεια του ψυχρότερου και να ελαττώνει την εσωτερική ενέργεια του θερμότερου σώματος . Οπότε θερμότητα είναι η ενέργεια που προσφέρεται ή αποβάλλεται από ένα σώμα όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας . Η θερμότητα είναι ένα φυσικό μέγεθος το οποίο δε δημιουργείται από το μηδέν αλλά ούτε καταστρέφεται , μπορεί όμως να μεταφέρεται και να μετατρέπεται σε μια άλλη μορφή ενέργειας .

Συχνά στη φυσική υπάρχει η σύγχυση ότι , θερμότητα και θερμοκρασία είναι ακριβώς τα ίδια φυσικά μεγέθη αλλά αυτό είναι εσφαλμένο διότι το πρώτο είναι ενέργεια ενώ το δεύτερο είναι ένα φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει το πόσο ευκίνητες είναι οι δομικές μονάδες ενός σώματος . Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος τόσο έντονη είναι η κινητικότητα που εμφανίζουν οι δομικές μονάδες .

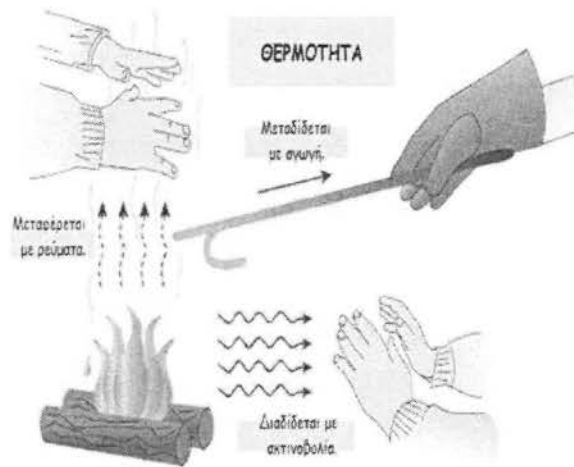


1.2.1 Μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας

Όταν έχουμε δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία τότε αναπτύσσονται διάφοροι μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας που έχουν ως σκοπό να επαναφέρουν την ισορροπία στο σύστημα των δυο σωμάτων δηλαδή να αποκτήσουν τα δύο σώματα την ίδια θερμοκρασία . Η ισορροπία αυτή επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση των μηχανισμών αυτών, τη μεταβίβαση δηλαδή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα.

Οι μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας είναι :

- α) Διάδοση θερμότητας με αγωγή
- β) Διάδοση θερμότητας με μεταφορά (συναγωγή)
- γ) Διάδοση θερμότητας με ακτινοβολία



Σχήμα 1.2.1 Τρόποι Διάδοσης Θερμότητας

Η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί , σε πολλές περιπτώσεις , με συνδυασμό δύο ή τριών από τους παραπάνω τρόπους.

ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ	ΜΕΣΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ
Αγωγή(Conduction)	Μεταφορά ενέργειας μεταξύ δυο σημείων ή περιοχών ενός υλικού , ή δύο σωμάτων που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία .	Όχι	Στερεά, υγρά , αέρια .
Μεταφορά(Convection)	Μεταφορά θερμών μαζών λόγω διαφοράς πυκνότητας (φυσική μεταφορά), ή με εξωτερικό αίτιο (εξαναγκασμένη μεταφορά) .	Ναι	Ρευστά (υγρά, αέρια)
Ακτινοβολία(Radiation)	Διάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας η οποία δεν προϋποθέτει παρουσία ύλης στο χώρο μεταξύ των σωμάτων .	Όχι	Στερεά, υγρά , αέρια , κενό .

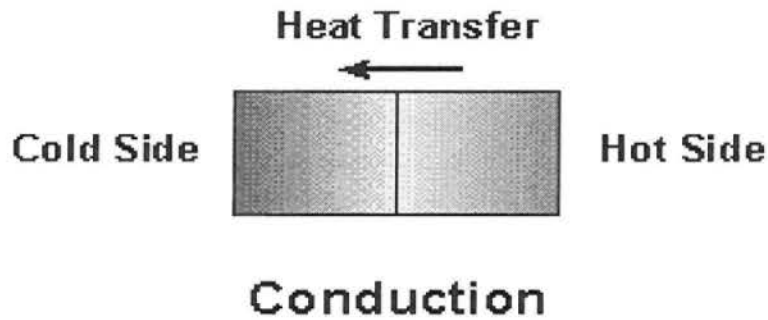
Θερμική αγωγιμότητα

Θερμική αγωγιμότητα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο έχουμε μεταφορά ενέργειας μεταξύ δυο σημείων ή περιοχών ενός υλικού , ή δύο σωμάτων που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σημείο . Αρχικά σ' όλα τα σημεία του συστήματος η θερμοκρασία είναι ίδια , κάποια στιγμή υπάρχει διαταραχή της ισορροπίας δηλαδή η θερμοκρασία αλλάζει σε κάποια περιοχή του χώρου .

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μετακίνηση θερμότητας μέχρις ότου να οδηγηθεί το σύστημα στην εξίσωση των θερμοκρασιών σε όλα τα σημεία του χώρου .

Ο ρυθμός μεταφοράς με αγωγή μέσα απο ένα σώμα εξαρτάται από τέσσερα στοιχεία :

1. τη γεωμετρία του σώματος,
2. το πάχος του,
3. το υλικό,
4. τη διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του σώματος



Σχήμα 1.2.2 Αγωγή, τρόπος ανταλλαγής θερμότητας

Η θερμική αγωγιμότητα εκφράζεται με το Νόμο του Fourier :

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Αν η διάδοση θερμότητας γίνεται κατά μήκος του άξονα x τότε χρησιμοποιώ τη σχέση (2.1).

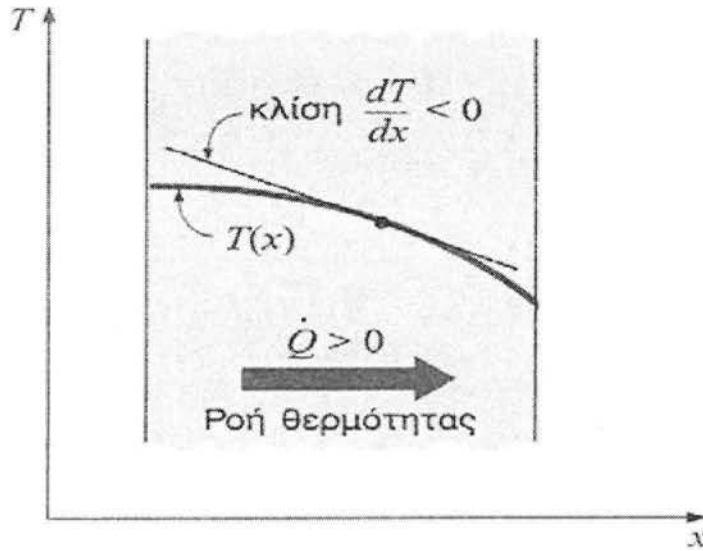
Όπου ,

λ : είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητα.

S: το εμβαδόν επιφάνειας

$\frac{dT}{dx}$: ονομάζεται θερμοβαθμίδα και αποτελεί την κλίση σ' ένα διάγραμμα T-x [Σχήμα 1.2.3].

Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι η θερμότητα ρέει πάντοτε προς την κατεύθυνση που ελαττώνεται η θερμοκρασία .



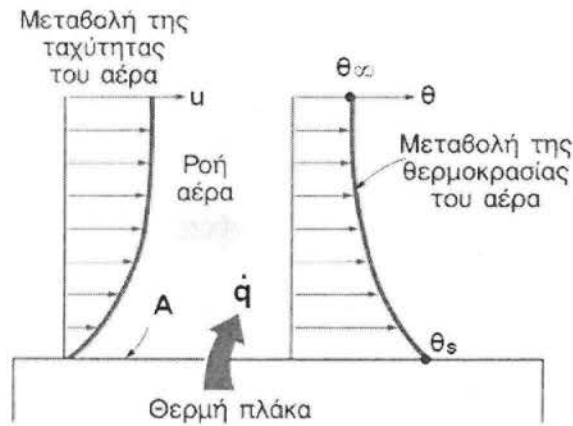
Σχήμα 1.2.3 Διάγραμμα T-x

Τα υλικά που έχουν μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ ονομάζονται καλοί αγωγοί της θερμότητας και αυτά είναι κυρίως τα στερεά και ειδικότερα τα μέταλλα . Τα υγρά παρουσιάζουν μικρότερη αγωγιμότητα και ακόμη μικρότερη παρουσιάζουν τα αέρια .

Διάδοση θερμότητας με μεταφορά (συναγωγή)

Στα ρευστά ανεξάρτητα από τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή, εμφανίζεται μια άλλη μορφή διάδοσης θερμότητας που ονομάζεται μεταφορά . Στον μηχανισμό αυτό ποσότητες ρευστού , κυρίως υγρού θερμαίνονται σε κάποιο σημείο και όταν μεταφέρονται σε περιοχές ψυχρότερες προκαλούν θέρμανση , μεταφέροντας θερμική ενέργεια στις περιοχές αυτές . Είναι

εμφανής ότι η μεταφορά συνοδεύεται από μετακίνηση της μάζας ενός ρευστού από τη μια περιοχή του χώρου σε μια άλλη . Επίσης ο συγκεκριμένος μηχανισμός αναφέρεται και στον τρόπο μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ενός στερεού κι ενός ρευστού που βρίσκονται σε κίνηση [Σχήμα 1.2.4]



Σχήμα 1.2.4 Μεταφορά Θερμότητας μεταξύ ενός Στερεού κι ενός Ρευστού που βρίσκονται σε κίνηση.

Ο Νόμος ψύξης του Newton είναι αυτός που περιγράφει τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας με μεταφορά :

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

Όπου ,

h : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή

A : η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας

T_s : η θερμοκρασία της επιφάνειας

T_∞ : η θερμοκρασία του ρευστού αρκετά μακριά από την επιφάνεια

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή h , είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μίας στερεάς επιφάνειας και ενός ρευστού ανά μονάδα εμβαδού και ανά μονάδα διαφοράς θερμοκρασίας .

Υπάρχουν δύο τρόποι μεταφοράς :

α) **Φυσική ή αυτόματη μεταφορά** , η οποία εμφανίζεται όταν η μετακίνηση οφείλεται στην ελάττωση της πυκνότητας του ρευστού λόγω θερμικής διαστολής κατά τη θέρμανση του .

β) **Εξαναγκασμένη μεταφορά** , η οποία εμφανίζεται όταν η μετακίνηση του ρευστού οφείλεται σε εξωτερική αιτία .

Διάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Ο μηχανισμός αυτός δεν έχει καμία σχέση με τους δυο προηγούμενους αφού για τη διάδοση της θερμότητας δεν απαιτείται η παρουσία ύλης . Στον μηχανισμό αυτό έχουμε μεταφορά ενέργειας από το ένα σώμα στο άλλο χωρίς αυτά να έρθουν σε επαφή, θερμότητα μεταφέρεται στο κενό. Ο μηχανισμός αυτός λέγεται διάδοση με ακτινοβολία .

Ακτινοβολία είναι η ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από ένα στερεό ,υγρό ή αέριο ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του . Ένα υλικό σώμα δε θερμαίνεται από την ακτινοβολία παρά μόνο στο βαθμό που απορροφάται η θερμότητα από το σώμα .

Ο Νόμος των Stefan-Boltzmann (2.3) δίνει τη θερμότητα που εκπέμπεται ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα εμβαδού :

$$Q'' = \sigma * T_s^4 \quad (2.3)$$

Όπου ,

σ : η σταθερά Stefan-Boltzmann ίση με $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

T_s : η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας σε Kelvin

1.3 Μέθοδοι ανάλυσης εναλλακτών θερμότητας

Οι δυο κύριες μέθοδοι για τη μελέτη ενός εναλλάκτη είναι :

1. Η μέθοδος της Μέσης Λογαριθμικής Θερμοκρασιακής Διαφοράς-LMTD
2. Η μέθοδος της Αποτελεσματικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας-NTU

Για να κατανοήσουμε τις παραπάνω μεθόδους πρέπει να εισάγουμε κάποιες βασικές έννοιες και μεγέθη.

Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι αντιστρόφως ανάλογος με το άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων . Οι πιο συχνές σχέσεις για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου συντελεστή είναι:

- η σχέση για επίπεδο τοίχωμα (3.1)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_i}} \quad (3.1)$$

- και οι σχέσεις για κυλινδρικό τοίχωμα (3.2) και (3.3)

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i h_i} + \frac{[r_o \ln(\frac{r_o}{r_i})]}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (3.2)$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{[r_i \ln(\frac{r_o}{r_i})]}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (3.3)$$

Όπου,

U_i : ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που βασίζεται στον εσωτερικό σωλήνα (σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$)

U_o : ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που βασίζεται στον εξωτερικό σωλήνα (σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_i : ο συντελεστής συναγωγής μεταξύ του εσωτερικού ρευστού και της εσωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα (σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_o : ο συντελεστής συναγωγής μεταξύ του εξωτερικού ρευστού και της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα (σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$)

r_i : η εσωτερική ακτίνα του εσωτερικού σωλήνα (σε m)

r_o : η εξωτερική ακτίνα του εσωτερικού σωλήνα (σε m)

k : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού του εσωτερικού σωλήνα (σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$)

L : το μήκος του εσωτερικού σωλήνα που έχει επαφή και με τα δύο ρευστά (σε m)

Οι δείκτες i (=in) και o (=out) εκφράζουν τις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες του τοιχώματος .

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις μπορεί να υπολογιστεί με μεγάλη ακρίβεια ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και να σχεδιαστεί κατάλληλα ο εναλλάκτης . Παραθέτουμε στο σημείο αυτό έναν πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.1.1) ο οποίος παρουσιάζει ενδεικτικά τις τιμές του συντελεστή αυτού για διάφορες περιπτώσεις που συναντώνται στην πράξη.

Πίνακας 1.2.1.1 Προσεγγιστικές τιμές του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε πρακτικές εφαρμογές

ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ($W/m^2\cdot^{\circ}C$)
Εξωτερικός τοίχος με τούβλα, σοβαντισμένος, χωρίς μόνωση	2,55
Γυάλινο παράθυρο	6,2
Εναλλάκτης θερμότητας νερού - νερού	850-1700
Εναλλάκτης θερμότητας νερού - αέρα, με πτερυγιωτούς σωλήνες	25-55
Εναλλάκτης θερμότητας νερού - ελαίου	110-350
Εναλλάκτης θερμότητας ατμού – κηροζίνης	280-1140
Εναλλάκτης θερμότητας ατμού - αέρα, με πτερυγιωτούς σωλήνες	28-280
Εναλλάκτης θερμότητας αερίου - αερίου	10-40

Εφόσον έχουμε υπολογίσει τον συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ των δυο ρευστών χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{AB} \quad (3.4)$$

όπου ,

q : το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ των δύο ρευστών (σε W)

U : ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (σε $W/m^2\cdot^{\circ}C$)

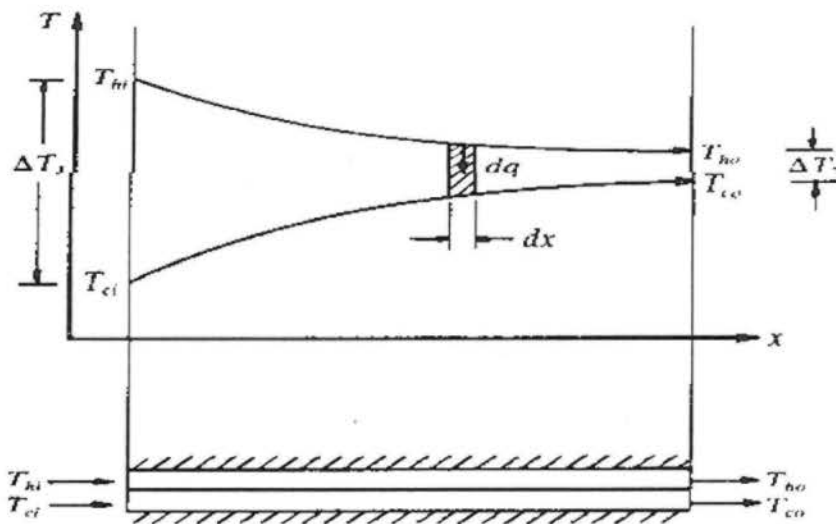
A : η συνολική επιφάνεια του εναλλάκτη (σε m^2)

ΔT_{AB} : συνολική μέση μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο ρευστών (σε $^{\circ}C$).

1.3.1 Η μέθοδος της Μέσης Λογαριθμικής Θερμοκρασιακής Διαφοράς (LMTD)

Για να μπορέσουμε να κάνουμε υπολογισμούς με βάση την εξίσωση (3.4) και να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ δυο σωμάτων θα πρέπει αρχικά να ορίσουμε τον όρο ΔT_{AB} . Για να ορίσουμε τον όρο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν συγκεκριμένο εναλλάκτη και να κάνουμε κάποιες παραδοχές.

Θεωρούμε έναν εναλλάκτη πλακών ομορροής, που τα θερμοκρασιακά του προφίλ απεικονίζονται στο Σχήμα 1.3.1.



Σχήμα 1.3.1. Θερμοκρασιακό προφίλ εναλλάκτη πλακών ομορροής

Κάνουμε τις εξής υποθέσεις:

1. Ο παράγοντας U είναι σταθερός σ' όλο τον εναλλάκτη.
2. Το σύστημα παρουσιάζει αδιαβατική συμπεριφορά. Η μετάδοση θερμότητας γίνεται μόνο μεταξύ των δύο ρευστών (τέλεια μόνωση των εξωτερικών τοιχωμάτων του εναλλάκτη).
3. Οι θερμοκρασίες και των δύο ρευστών είναι σταθερές σε κάθε δεδομένη διατομή και αντιπροσωπεύονται από τις μέσες θερμοκρασίες των ρευστών.
4. Οι ειδικές θερμότητες των ρευστών είναι σταθερές.
5. Έχουμε αμελητέα θερμική αγωγή κατά μήκος των σωλήνων.
6. Έχουμε αμελητέες μεταβολές της δυναμικής και κινητικής ενέργειας.

Βασισμένοι σ' αυτές τις υποθέσεις, η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του θερμού και του ψυχρού ρευστού για διαφορικό μήκος dx είναι

$$dq = U \cdot (T_h - T_c) \cdot dA \quad (3.5)$$

αφού το dA είναι το γινόμενο του μήκους dx επί του σταθερού πλάτους. Η ενέργεια που λαμβάνει το ψυχρό ρευστό είναι ίση μ' αυτή που δίνεται από το θερμό ρευστό, δηλαδή :

$$dq = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot dT_c = -\dot{m}_h \cdot c_h \cdot dT_h \quad (3.6)$$

όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας (ο ρυθμός μεταβολής μάζας), c είναι η ειδική θερμότητα και οι δείκτες c και h υποδηλώνουν το ψυχρό και θερμό ρευστό αντίστοιχα. Λύνοντας ως προς τα θερμοκρασιακά διαφορικά από την (3.6) και αφαιρώντας κατά μέλη παίρνουμε :

$$d(T_h - T_c) = -\left(\frac{1}{\dot{m}_h \cdot c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right) \cdot dq \quad (3.7)$$

Διώχνοντας τον όρο dq μεταξύ των (3.5) και (3.7) έχουμε :

$$\frac{d(T_h - T_c)}{T_h - T_c} = -U \cdot \left(\frac{1}{\dot{m}_h \cdot c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right) \cdot dA \quad (3.8)$$

που με ολοκλήρωση δίνει :

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = -U \cdot \left(\frac{1}{\dot{m}_h \cdot c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right) \quad (3.9)$$

Όπου οι όροι ΔT απεικονίζονται στο Σχήμα 1.3.1. Από τα ενεργειακά ισοζύγια για το κάθε ρευστό, παίρνουμε :

$$\dot{m}_h \cdot c_h = \frac{q}{(T_{hi} - T_{ho})} \quad \text{και} \quad \dot{m}_c \cdot c_c = \frac{q}{(T_{co} - T_{ci})} \quad (3.10)$$

Και αντικαθιστώντας αυτές τις σχέσεις στην (3.9) παίρνουμε :

$$\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right) = -U \cdot A \frac{(T_{hi} - T_{ho}) + (T_{co} - T_{ci})}{q} \quad (3.11)$$

ή εκφρασμένο με όρους διαφορών των τελικών θερμοκρασιών :

$$q = U \cdot A \cdot \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (5.12)$$

Συγκρίνοντας αυτό το αποτέλεσμα με την σχέση (3.5), παρατηρούμε ότι

$$\langle \Delta T \rangle = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \Delta T_{lm} \quad (5.13)$$

Όπου ΔT_{lm} είναι η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά (log-mean temperature difference, LMTD). Η θερμοκρασιακή διαφορά είναι ίση με το λόγο της διαφοράς θερμοκρασίας στις εξόδους του εναλλάκτη ,

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{co} ,$$

μείον τη διαφορά θερμοκρασίας στις εισόδους του εναλλάκτη,

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{ci} ,$$

προς το φυσικό λογάριθμο του πηλίκου των δύο αυτών διαφορών . Αν αλλάξουμε τους δείκτες 1 και 2 η τιμή της ΔT_{lm} δεν αλλάζει .

Πρέπει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι , ως τώρα θεωρήσαμε εναλλάκτη ομοροής . Στην περίπτωση όμως που ο εναλλάκτης είναι αντιρροής η διαδικασία υπολογισμού της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς είναι ίδια με τη μόνη διαφορά ότι έχουμε αντίθετη κατεύθυνση ροής των δυο ρευστών (Σχήμα 1.3.2) . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καταλήγουμε στις ίδιες σχέσεις με τον εναλλάκτη ομοροής αλλά θα ορίσουμε διαφορετικά τα μεγέθη ΔT_2 και ΔT_1 :

$$\Delta T_2 = T_{hi} - T_{co}$$

$$\Delta T_1 = T_{ho} - T_{ci}$$



Σχήμα 1.3.2 Θερμοκρασιακή κατανομή στα ρευστά απλού εναλλάκτη θερμότητας κατά αντίρροή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τις ίδιες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου, η μέση λογαριθμική διαφορά στην περίπτωση της αντίρροής είναι πάντα μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ομορροής. Αυτό σημαίνει ότι η επιφάνεια εναλλαγής που απαιτείται, είναι στην περίπτωση της αντίρροής μικρότερη από αυτή της ομορροής, εφόσον βέβαια έχουμε και στις δύο περιπτώσεις τον ίδιο ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας.

Οι σχέσεις (3.12) και (3.13) ισχύουν και για άλλους εναλλάκτες μονής διαδρομής όπως για πλακοειδείς εναλλάκτες αντίρροής, καθώς και για εναλλάκτες διπλού σωλήνα ομορροής και αντίρροής.

Διορθωτικός συντελεστής (correction factor) F

Η μέθοδος της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση απλού εναλλάκτη παράλληλης ροής ή αντιρροής . Στην περίπτωση που ο εναλλάκτης που εξετάζουμε είναι πολύπλοκος όπως για παράδειγμα αυτοί που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα θα πρέπει να εισάγουμε έναν συντελεστή ο οποίος ονομάζεται διορθωτικός συντελεστής . Επειδή ο υπολογισμός της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς είναι δύσκολος εισάγουμε στον τύπο (3.4) έναν διορθωτικό συντελεστή F :

$$q = U \cdot F \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (3.14)$$

Στην οποία εξίσωση η ΔT_{lm} είναι η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά για εναλλάκτη διπλού σωλήνα αντιρροής, με την ίδια θερμοκρασία εισόδου και εξόδου για το ρευστό, όπως και στον πιο πολύπλοκο εναλλάκτη .

Ο συντελεστής διόρθωσης F είναι συνάρτηση των δύο αδιάστατων αριθμών P , R , δηλαδή $F=F(P,R)$. Τα αδιάστατα αυτά μεγέθη ορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

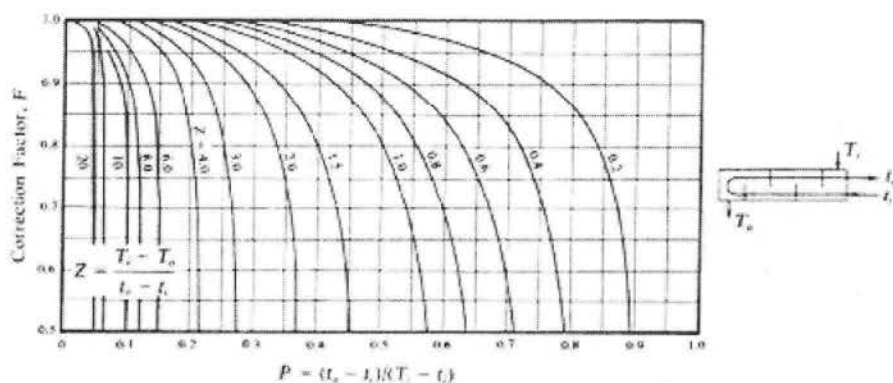
$$P = \frac{T_{t_{out}} - T_{t_{in}}}{T_{s_{in}} - T_{s_{out}}} \quad (3.15)$$

$$R = \frac{T_{s_{in}} - T_{s_{out}}}{T_{t_{out}} - T_{t_{in}}} \quad (3.16)$$

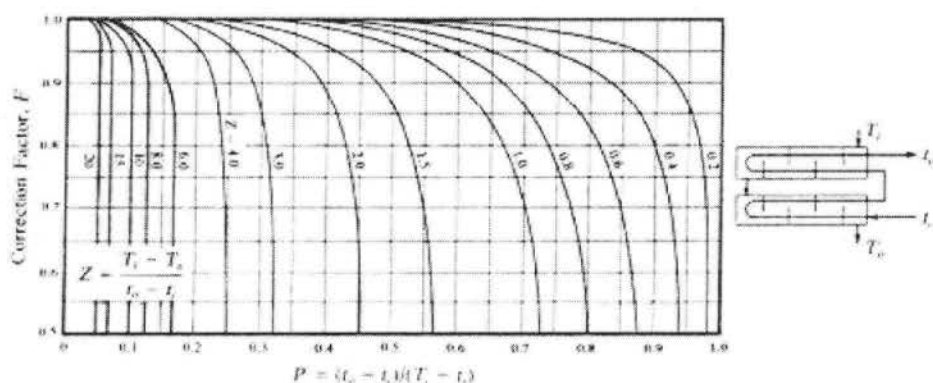
Όπου ,

T_s είναι η θερμοκρασία του ρευστού που ρέει στη κυψέλη και

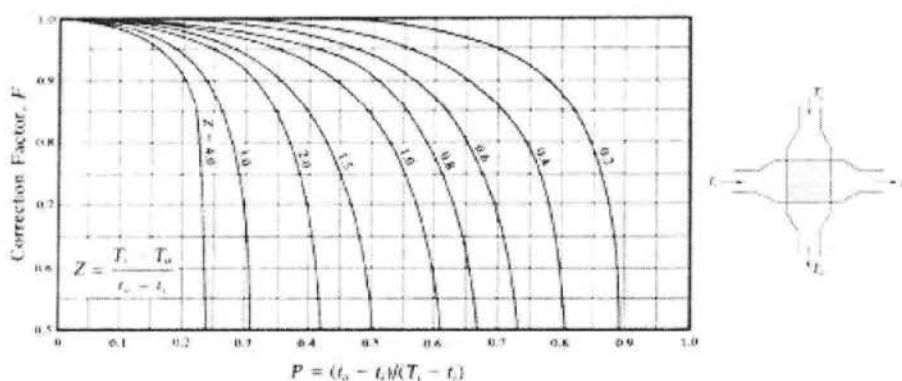
T_t είναι η θερμοκρασία του ρευστού που ρέει στις σωληνώσεις.



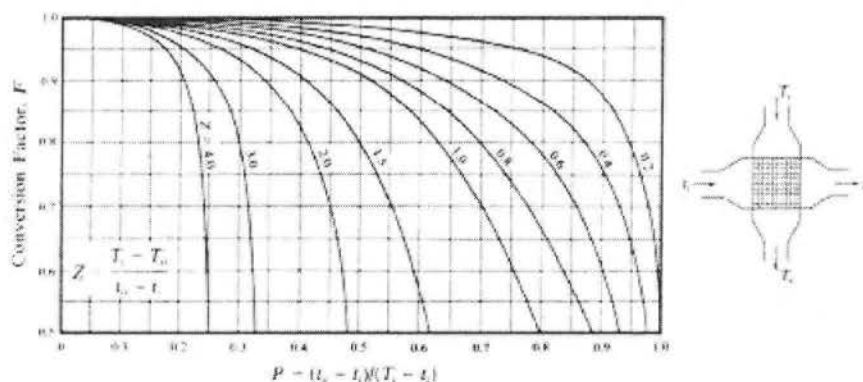
Σχήμα 1.3.3 Εναλλάκτης μιας διαδρομής στο κέλυφος και άρτιου αριθμού διαδρόμων στους σωλήνες



Σχήμα 1.3.4 Εναλλάκτης διπλής διαδρομής στο κέλυφος και δύο φορές άρτιου αριθμού διαδρόμων στους σωλήνες



Σχήμα 1.3.5 Εναλλάκτης σταυρωτής ροής με ανάμιξη ενός από τα ρευστά



Σχήμα 1.3.6 Εναλλάκτης σταυρωτής ροής χωρίς ανάμιξη των ρευστών

1.3.2 Η μέθοδος της Αποτελεσματικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας (NTU)

Για την επίλυση ενός εναλλάκτη θερμότητας αναφέραμε αρχικά ό,τι θα αναλύσουμε δυο μεθόδους . Μέχρι το σημείο αυτό έχουμε αναλύσει τη μέθοδο της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς. Για να χρησιμοποιήσουμε όμως αυτή τη μέθοδο θα πρέπει να γνωρίζουμε πλήρως τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των δύο ρευστών καθώς επίσης και την τιμή του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Πολλές φορές όμως δεν είμαστε σε θέση να τα γνωρίζουμε οπότε χρησιμοποιούμε μια άλλη μέθοδο η οποία καλείται μέθοδος αποδοτικότητας εναλλάκτη θερμότητας .

Στη μέθοδο αυτή εισάγουμε ένα νέο μέγεθος που καλείται αποδοτικότητα εναλλάκτη θερμότητας (Effectiveness) και ορίζεται απο την παρακάτω σχέση :

$$\varepsilon = \frac{C_h \cdot (T_{h_{in}} - T_{h_{out}})}{C_{min} \cdot (T_{h_{in}} - T_{c_{in}})} = \frac{C_c \cdot (T_{c_{out}} - T_{c_{in}})}{C_{min} \cdot (T_{h_{in}} - T_{c_{in}})} \quad (3.17)$$

Πρακτικά , η αποδοτικότητα εναλλάκτη θερμότητας (ε) ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που πραγματικά μεταφέρεται στον εναλλάκτη από το θερμό στο ψυχρό ρεύμα προς το μέγιστο ποσό ενέργειας που θα μπορούσε να μεταφερθεί από το ένα ρεύμα στο άλλο . Θεωρητικά , όμως ορίζεται σα συνάρτηση δύο αδιάστατων μεγεθών :

$$\varepsilon = f\left(\frac{C_{min}}{C_{max}}, NTU\right) \quad (3.18)$$

Όπου

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

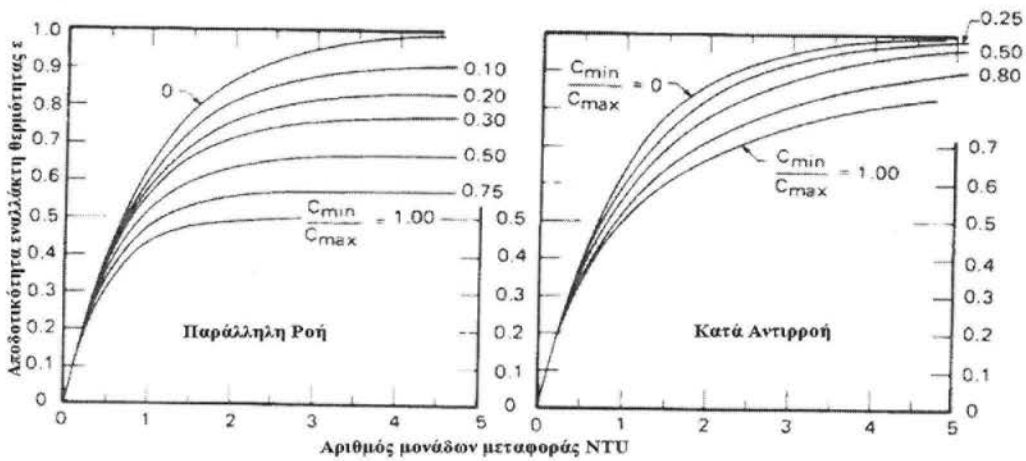
NTU αδιάστατος αριθμός που ονομάζεται αριθμός μονάδων μεταφοράς (Number of Transfer Units) και ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \quad (3.19)$$

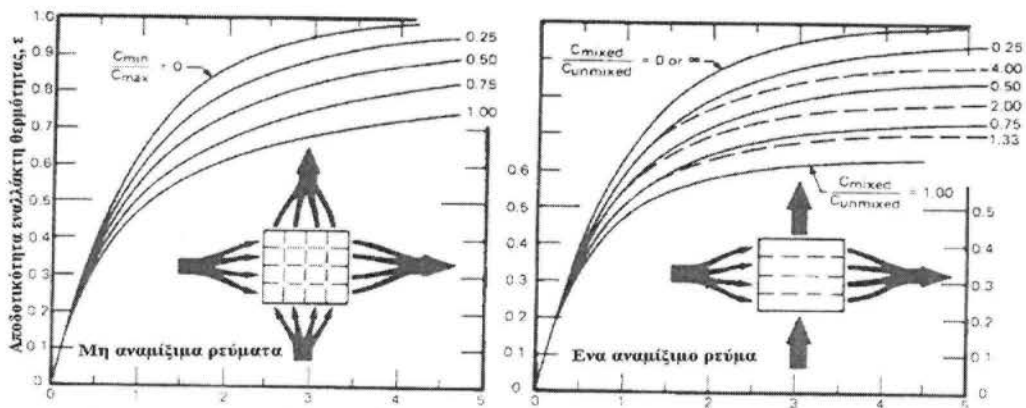
Στην περίπτωση που γνωρίζουμε την αποδοτικότητα ενός εναλλάκτη θερμότητας μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό ενέργειας που πραγματικά μεταφέρεται στον εναλλάκτη θερμότητας από τον παρακάτω τύπο :

$$\dot{q} = \varepsilon \cdot C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (3.20)$$

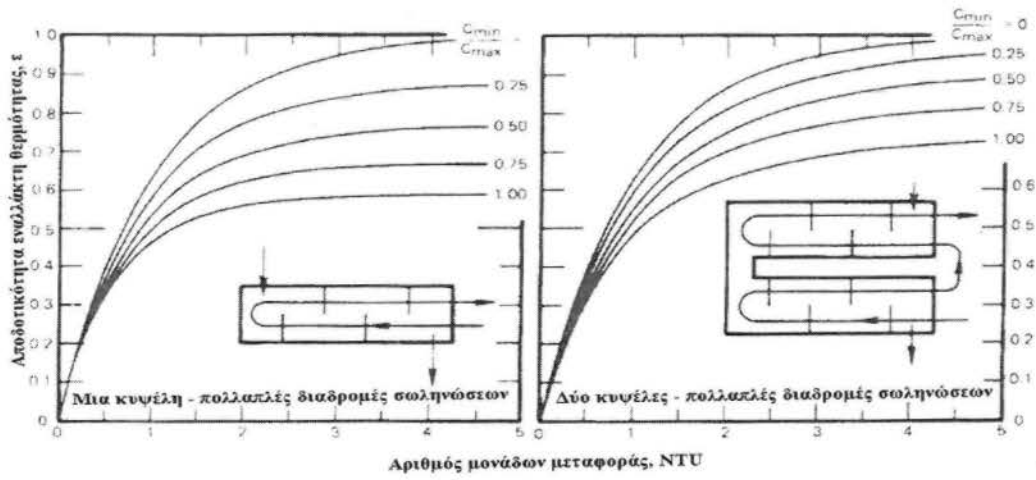
Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται η εξάρτηση της αποδοτικότητας (ε), για διάφορες διατάξεις εναλλακτών θερμότητας, από τα αδιάστατα μεγέθη NTU και $\frac{C_{min}}{C_{max}}$.



Σχήμα 1.3.7. Αποδοτικότητα (ε) απλών εναλλακτών θερμότητας.



α. Εναλλάκτης θερμότητας εγκάρσιας ροής



β. Εναλλάκτες θερμότητας με κυψέλες και σωληνώσεις

Σχήμα 1.3.8. Αποδοτικότητα (ϵ) σύνθετων διατάξεων εναλλαγής θερμότητας

Κεφάλαιο 2

Εναλλάκτες θερμότητας



2.1 Εισαγωγή

Οι εναλλάκτες θερμότητας βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στη θέρμανση χώρων. Η θέρμανση στις περισσότερες περιπτώσεις αποσκοπεί στη διαμόρφωση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό χώρων σε κατοικίες και δημόσια κτήρια. Σήμερα ο σχεδιασμός κτηρίων γίνεται έτσι ώστε να υπάρχει το μέγιστο ενεργειακό όφελος και διάφορες υπηρεσίες εξυπηρετούνται μεταξύ των άλλων όπως για παράδειγμα η θέρμανση του νερού που χρησιμοποιείται σε ένα κτήριο. Οι θερμικές εφαρμογές γενικά διαιρούνται σε δυο κατηγορίες τη θερμότητα υπηρεσιών και την περιφερειακή θέρμανση. Τα συστήματα θέρμανσης των υπηρεσιών έχουν συνήθως την πηγή θερμότητας στο εσωτερικό και αυτά τα συστήματα θέρμανσης εφαρμόζονται συνήθως στα κτήρια. Οι πηγές θερμότητας σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να είναι boilers αλλά επίσης μπορεί να είναι αντλίες θερμότητας ή ηλιακοί συλλέκτες. Η

θερμοκρασία λειτουργίας είναι 100° C και οι πιέσεις φτάνουν στα 6bar ή και παραπάνω. Αντίθετα τα περιφερειακά συστήματα θέρμανσης διανέμουν ζεστό νερό και θερμότητα σε πολλαπλά κτήρια. Μια ποικιλία θερμικών πηγών χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα όπως οι μονάδες συμπαραγωγής και συστήματα ανάκτησης θερμότητας για βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι εναλλάκτες θερμότητας παίζουν σημαντικό ρόλο με τους πλακοειδείς εναλλάκτες να είναι οι πιο ελκυστικοί για εφαρμογές στα κτήρια. Στα περισσότερα νοσοκομεία χρησιμοποιούνται οι πλακοειδείς και οι εναλλάκτες κελύφους αυλού για την παραγωγή ζεστού νερού και σε πολλές περιπτώσεις σε συνδυασμό με δοχείου σε δοχείο. Αυτοί οι εναλλάκτες αποτελούν και το αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου.



Με δεδομένο ότι οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν στοιχεία που εντοπίζονται σχεδόν σε κάθε εφαρμογή ανάκτησης θερμότητας και παραγωγής ισχύος η ανάγκη για την ανάπτυξη προτύπων και κωδίκων που αφορούν στο σχεδιασμό και τη χρήση τους αποτέλεσε από πολύ νωρίς αναγκαία προϋπόθεση για την διασφάλιση της ασφάλειας της λειτουργίας τους έναντι της αστοχίας τους. Οι αστοχίες ενός εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να είναι το αποτέλεσμα σχεδιαστικών ανεπαρκειών της χρήσης ακατάλληλων υλικών κατά την κατασκευή ή ανεπαρκούς εκπαίδευσης του προσωπικού κατά την κατασκευή τους.

Οι κώδικες και οι προδιαγραφές δίνουν οδηγίες και σε μερικές περιπτώσεις κατευθύνουν το σχεδιασμό την κατασκευή τη λειτουργία και τη συντήρηση των εναλλακτών θερμότητας και των δοχείων πίεσης. Η δημιουργία τους γίνεται από μέλη της βιομηχανίας επαγγελματικές ομάδες χρήστες, κυβερνήσεις ασφαλιστικές εταιρείες και οποιοδήποτε άλλον ενδιαφέρεται για τη διατήρηση ενημέρωση και αναθεώρηση των κωδικών και των προτύπων που βασίζονται στην τεχνολογική πρόοδο, την έρευνα, την εμπειρία και τις μεταβολές στις προδιαγραφές και τις σχετικές ρυθμίσεις. Οι σημερινές προδιαγραφές των εναλλακτών βασίζονται στην απλή προϋπόθεση που θέτουν οι ασφαλιστικές εταιρείες για την ασφαλή λειτουργία τους έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή και την ιδιοκτησία.

Οι προδιαγραφές αφορούν στις τεχνικές οδηγίες και κατευθύνσεις για το πώς ένας εναλλάκτης θερμότητας θα σχεδιαστεί και θα κατασκευαστεί. Οι προδιαγραφές γενικά ακολουθούνται εθελοντικά αφού παρά το γεγονός πως δίνουν κατευθυντήριες γραμμές δεν αποτελούν από μόνες τους νόμους. Οι προδιαγραφές αποτελούν διεθνείς παραδοχές που αφορούν στην κατασκευή και λειτουργία των εναλλακτών θερμότητας και περιλαμβάνουν γενικές αρχές για την επιλογή των υλικών του εξοπλισμού και όλων των στοιχείων που αποτελούν τον εναλλάκτη. Στόχος των προδιαγραφών είναι η μείωση του κόστους των προϊόντων και των διαδικασιών με τον ακόλουθο τρόπο. Σε σχεδιαστικό επίπεδο πραγματοποιείται ο εξορθολογισμός της διαδικασίας σχεδιασμού και γίνεται ο καθορισμός των προδιαγραφών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η επανάληψη της λεπτομερούς σχεδιαστικής ανάλυσης για παρόμοιες εργασίες.

Οι προδιαγραφές βοηθούν στην πλήρη εναλλαγή και ομοιομορφία του θεμελιώδη σχεδιασμού των εργαλείων των βαλβίδων των βοηθητικών εργαλείων κτλ. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες προδιαγραφών: οι προδιαγραφές εταιρείας, οι εμπορικές προδιαγραφές των κατασκευαστών, οι εθνικές προδιαγραφές και οι διεθνείς προδιαγραφές. Οι εμπορικές προδιαγραφές ακολουθούνται από μεμονωμένες εταιρείες, μέτοχους σε εταιρείες και τους διανομείς αδειών.

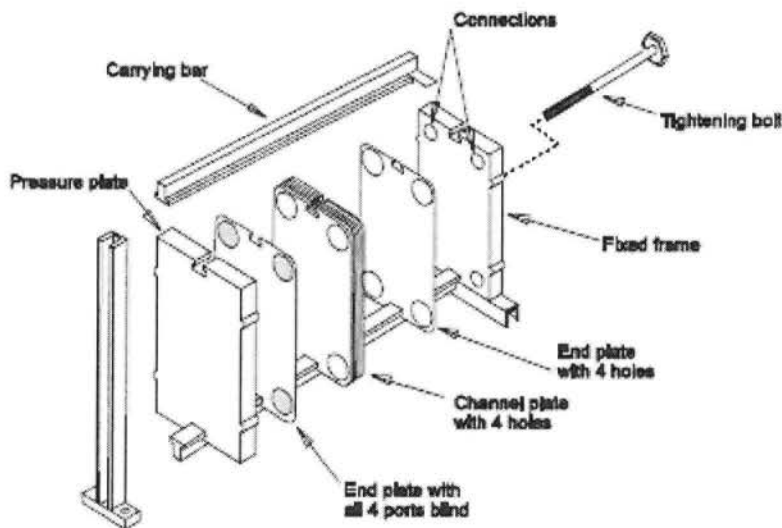
2.2 Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας για ζεστό νερό χρήσης

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται περισσότερο σε εφαρμογές ζεστού νερού χρήσης σε σχέση με τους εναλλάκτες κελύφους αυλού εξαιτίας ενός πλήθους πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν για τις συγκεκριμένες εφαρμογές. Μερικά από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι:

- Μεγάλη θερμική απόδοση: οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας είναι ικανοί για προσέγγιση πολύ χαμηλής θερμοκρασίας (-12°C) συγκριτικά με τους -6°C που είναι η ονομαστική θερμοκρασία των εναλλακτών σωλήνων- κελύφους.
- Η διαθεσιμότητα ενός μεγάλου εύρους υλικών που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη διάβρωση. Με δεδομένο ότι η επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας μπορεί να κατασκευαστεί από λεπτές πλάκες ανοξειδωτου χάλυβα ή άλλα κράματα με μεγάλη ανθεκτικότητα στη διάβρωση οι συγκεκριμένοι εναλλάκτες έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής από τους αντίστοιχους εναλλάκτες κελύφους-αυλού.
- Η ευκολία στην συντήρηση. Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε κατά την αποσυναρμολόγησή τους να είναι διαθέσιμες όλες οι επιφάνειες τους για επιθεώρηση και καθάρισμα.
- Η επεκτασιμότητα και η ικανότητα πολλαπλών χρήσεων. Η φύση των πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας επιτρέπει την επέκταση της μονάδας μετά την εγκατάσταση για επέκταση των απαιτήσεων της μετάδοσης θερμότητας. Επιπλέον, οι απαιτήσεις για χώρο εγκατάστασης και το κόστος του κεφαλαίου μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την εγκατάσταση δυο εναλλακτών αυτού του είδους σε ένα πλαίσιο.
- Συμπαγής σχεδιασμός. Η μεγαλύτερη θερμική απόδοση των πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας και οι σχεδιαστικές απαιτήσεις χώρου εγκατάστασης των πλακών έχουν ως αποτέλεσμα μια πολύ

συμπαγή συσκευή. Συγκριτικά με τους εναλλάκτες κελύφους – αυλού οι πλακοειδείς εναλλάκτες εξοικονομούν μέχρι και 50% του απαιτούμενου χώρου.

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας είναι στην πραγματικότητα μια σειρά μεμονομένων πλακών που συμπιέζονται ανάμεσα σε δυο βαριά καλύμματα. Η εσωτερική σύνδεση συγκρατείται ενωμένη με τη βοήθεια κοχλιών. Οι πλάκες είναι συγκρατούνται από την πάνω οδηγό ράβδο και καθοδηγούνται από την κάτω μπάρα. Για κυκλώματα απλού περάσματος οι συνδέσεις ζεστού και κρύου ρευστού συνήθως τοποθετούνται στο σταθερό κάλυμμα ενώ όταν υπάρχουν πολλαπλά περάσματα έχουν ως αποτέλεσμα συνδέσεις των ρευστών τόσο στο σταθερό όσο και στο κινούμενο κάλυμμα.



Σχήμα 2.2.1 Τα στοιχεία ενός πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας.

Τα επίπεδα περιβλήματα (gaskets) ρυθμίζουν τη ροή του νερού και την κυκλοφορία των ρευστών γενικά στον εναλλάκτη. Τα περιβλήματα τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε οποιαδήποτε αστοχία συμβεί σε αυτά να μην προκαλεί ανάμιξη των ρευστών.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες είναι εναλλάκτες σχετικά χαμηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας διατάξεις. Για τους περισσότερους κατασκευαστές οι προδιαγραφές θερμοκρασίας και πίεσης που δίνονται είναι 204° C και 20,5 atm. Αν η εφαρμογή αναφέρεται σε μεγαλύτερες από αυτές τις τιμές θα πρέπει να επιλεγεί ένας άλλος εναλλάκτης θερμότητας.

Η επιφάνεια των πλακών ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή από 0,027 έως 2m² ενώ η μέγιστη επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας κυμαίνεται στα 1204m². Η ροή του ρευστού για τους συγκεκριμένους εναλλάκτες είναι συνάρτηση του μεγέθους τους. Οι μεγαλύτερες μονάδες μπορεί να διαχειριστούν 23m³/min ενώ οι μικρότερες μπορεί να διαχειριστούν 0,02m³/min. Οι τυπικές διαστάσεις ενός πλακοειδούς εναλλάκτη φαίνονται στον πίνακα 2.2.1 που ακολουθεί.

Μέγιστη επιφάνεια εναλλαγής	2500m²
Αριθμός Πλακών	3 έως 700
Τυπική Πίεση	0.1 έως 3MPa
Τυπική θερμοκρασία	-40 έως 260° C
Τυπική παροχή ανά κανάλι εναλλάκτη	0.05 έως 12.5 m ³ /h
Πάχος Πλακών	0.5 έως 1.2mm
Επιφάνεια Πλάκας	0.03 έως 3.6m ²
Απόσταση μεταξύ πλακών	1.5 έως 7mm
Πλάτος πλάκας	0.07 έως 1.2 m
Μήκος πλάκας	0.4 έως 5m

Πίνακας 2.2.1 Τυπικές διαστάσεις ενός πλακοειδούς εναλλάκτη

Η επιλογή υλικών για πλακοειδής εναλλάκτες εστιάζεται κυρίως στην επιλογή των κατάλληλων υλικών για τις πλάκες και τα παρεμβύσματα.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πλακοειδών εναλλακτών που τους καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικούς για εφαρμογές θέρμανσης – ψύξης είναι η διαθεσιμότητα ενός εύρους υλικών ανθεκτικών στη διάβρωση που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τις επιφάνειες μετάδοσης θερμότητας. Οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν πλάκες κατασκευασμένες από τα ακόλουθα κράματα: Ανθρακούχο χάλυβα 304, 316 και 317, τιτάνιο, ταντάλιο και αλουμίνιο με ορείχαλκο. Επιπλέον είναι δυνατή η χρήση και άλλων κραμάτων κάτω από παραγγελία. Οι περισσότεροι πάντως κατασκευαστές χρησιμοποιούν για τους πλακοειδείς εναλλάκτες ως βασικό υλικό τον ανθρακούχο χάλυβα 304 ή 316 ή το τιτάνιο.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα παρεμβύσματα επίσης καλύπτουν ένα εύρος επιλογών.

Υλικό	Όνομασία	Όριο Θερμοκρασίας (°C)
Στυρένιο-Βουταδιένιο	Buna-S	85
Νεοπρένιο	Neoprene	121
Ακρυλονιτρίλιο-Βουταδιένιο	Buna-N	135
Αιθυλένιο/Προπυλένιο	EPDM	149
Φθωροάνθρακας	Viton	149
Ρυτίνη βουτύλιο	Resin Cured Butyl	149
Συμπιεσμένη άσβεστος	Compressed Asbestos	260

Πίνακας 2.2.2 Υλικά παρεμβυσμάτων στους πλακοειδείς εναλλάκτες

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

Η λειτουργία των πλακοειδών εναλλακτών απαιτεί επιπλέον εξαρτήματα σύνδεσης, αποφρακτικές βάνες, ένα διακόπτη ροής μια τρίοδη θερμοστατική ρυθμιστική βάνα και έναν κυκλοφορητή. Ο διακόπτης ροής τοποθετείται στην είσοδο του κρύου νερού από το δίκτυο στο νοσοκομείο και θέτει σε λειτουργία τον κυκλοφορητή σε κάθε ζήτηση του ζεστού νερού. Ο διακόπτης ροής είναι δηλαδή ένας ηλεκτρικός διακόπτης ο οποίος λειτουργεί με υποπίεση. Σε κάθε ζήτηση ζεστού νερού χρήσης κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα στον κυκλοφορητή και σταματάει την παροχή όταν δεν υπάρχει ζήτηση ζεστού νερού.

Ο διακόπτης νερού είναι μια μεμβράνη που ρυθμίζεται για μικρές ή μεγάλες πιέσεις νερού από το κεντρικό δίκτυο. Η ρυθμιστική βάνα ρυθμίζει τη θερμοκρασία του νερού του λέβητα το οποίο είναι αυτό που περνάει από τον εναλλάκτη εξασφαλίζοντας σταθερή θερμοκρασία στο νερό χρήσης. Στην πραγματικότητα το σύστημα αυτό βοηθάει στο να διατηρείται η θερμοκρασία του νερού σε θερμοκρασία επιθυμητή όχι μεγαλύτερη από τους 55° C. Ανάμεσα στο λέβητα και το νερό χρήσης η διαφορά θερμοκρασίας είναι περίπου 10° C .

2.3 Δοχείο Αδρανείας

Για τη θέρμανση – ψύξη – κλιματισμό των νοσοκομείων χρησιμοποιούνται συνήθως τα συστήματα δοχείων αδρανείας (buffer tank). Τα συστήματα αυτά αποτελούν δοχεία στα οποία διοχετεύεται το νερό του κυκλώματος θέρμανσης και το οποίο είναι το ίδιο νερό που περιέχει το νερό του κυκλώματος που είναι το ίδιο νερό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του λέβητα και των θερμαντικών σωμάτων και fan-coil. Η τροφοδοσία από το δοχείο αδρανείας γίνεται ανάλογα με τη ζήτηση και μπορεί να είναι για ενδοδαπέδια θέρμανση, επιτοίχια θέρμανση, απαιτήσεις από τα θερμαντικά σώματα τα fan coils τα boilers ZNX και όπου αλλού χρειάζεται θερμική ενέργεια.

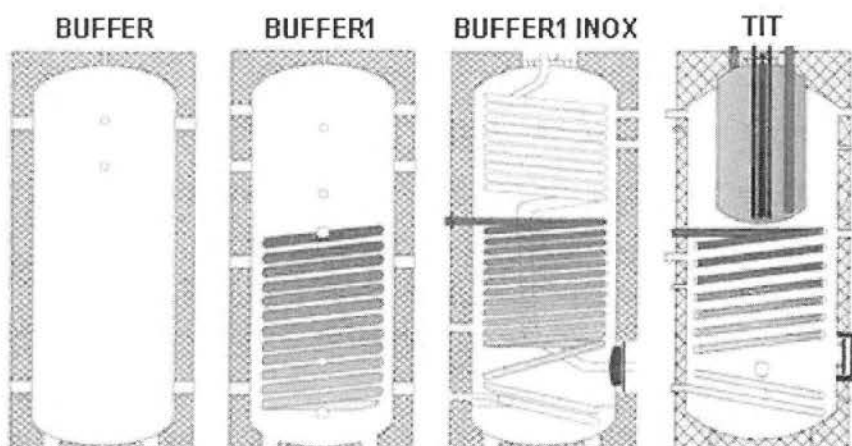
Λειτουργία δοχείου αδράνειας

Συνήθως στους εσωτερικούς χώρους η θερμική άνεση εξασφαλίζεται μέσω μιας πηγής θερμότητας όπως είναι ο λέβητας που συνήθως στα νοσοκομεία είναι λέβητας φυσικού αερίου. Για να διατηρηθούν οι συνθήκες εσωτερικής άνεσης σταθερές για παράδειγμα στους 21° C στη διάρκεια της ημέρας και στους 17° C στη διάρκεια της νύκτας θα πρέπει να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία μέσω του ισοζυγίου θερμότητας δηλαδή η θερμότητα που απορρίπτεται από ένα χώρο πρέπει να είναι ισοδύναμη με αυτή που προστίθεται.

Το πλεονέκτημα των δοχείων αδράνειας είναι πως είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην επιδαπέδια θέρμανση ενώ η χρήση του είναι επιβεβλημένη στη θέρμανση με στερεά καύσιμα για να ελέγχεται η θερμοκρασία νερού προς τις σωληνώσεις και μέσω αυτοματισμών δίνεται η δυνατότητα μίξης του νερού με επανακυκλοφορίας π.χ μέσω τρίοδης βάνας για τη σωστή θερμοκρασία εισόδου του νερού στο σύστημα.

Κατά τη λειτουργία της θέρμανσης όταν επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία και ικανοποιηθεί η ζήτηση τότε κλείνει ο καυστήρας και σταματάει η καύση. Το δοχείο αδράνειας συνδέεται σε σειρά με το λέβητα και αποθηκεύει την περισσευούμενη θερμότητα που παράγεται όταν ο καυστήρας έχει σταματήσει τη λειτουργία του. Για παράδειγμα αν ένας λέβητας λειτουργεί από τις 7 έως τις 11 το βράδυ αυτές τις τέσσερις ώρες παρέχει ζεστό νερό υψηλής θερμοκρασίας το οποίο μέσω του κυκλοφορητή μεταφέρεται στα σώματα του καλοριφέρ ή στο υποδαπέδιο σύστημα θέρμανσης αν αυτό υπάρχει στο νοσοκομείο. Όσο ο λέβητας λειτουργεί το ζεστό νερό αποθηκεύεται στο δοχείο αδράνειας το οποίο όταν σταματήσει ο λέβητας να λειτουργεί μεταφέρεται από τον κυκλοφορητή στα καλοριφέρ ή στο υποδαπέδιο σύστημα θέρμανσης διατηρώντας τη θέρμανση για αρκετές ώρες ακόμα.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται οικονομία ενέργειας και χρημάτων αφού χρησιμοποιείται το δοχείο αδράνειας και δεν είναι απαραίτητη η συνεχής λειτουργία του λέβητα.



Σχήμα 2.3.1: Διάφοροι τύποι δοχείων αδρανείας

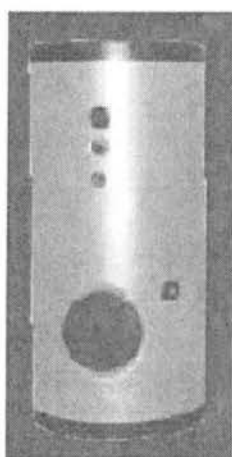
Το μέγεθος χωρητικότητας του δοχείου αδρανείας εξαρτάται από τα kW του λέβητα στον οποίο συνδέονται. Οι κατασκευαστές ορίζουν πως για κάθε kW λέβητα χρειάζονται 25 λίτρα δεξαμενής.

Τα δοχεία αδρανείας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση κρύου νερού λειτουργώντας με τον ίδιο τρόπο όπως στην περίπτωση του ζεστού νερού με τη διαφορά ότι συνδέονται με ψύκτες αντί για λέβητα.

Στα σύγχρονα νοσοκομεία τα δοχεία αδρανείας χρησιμοποιούνται σε πολυλειτουργικές μονάδες και έχουν διπλό ρόλο να παρέχουν θερμότητα στα θερμαντικά σώματα του κτηρίου και να παρέχουν παράλληλα και ζεστό νερό χρήσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσαρμογή στο κομμάτι της θέρμανσης δεξαμενών νερού για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Επιπλέον στα συστήματα αυτά είναι η δυνατή η χρήση ηλιακών συλλεκτών στους οποίους συνδέονται τα δοχεία ζεστού νερού χρήσης με έναν εναλλάκτη. Το υδραυλικό κύκλωμα σε αυτήν την περίπτωση είναι ξεχωριστό από το αντίστοιχο κύκλωμα της μονάδας. Επίσης το δοχείο ζεστού νερού χρήσης συνδέεται με πηγή υψηλής θερμοκρασίας η οποία συνδέεται επίσης με το δοχείο μέσω κατάλληλου εναλλάκτη.

Τα μπόιλερ διακρίνονται σε διπλής και τριπλής ενέργειας. Τα μπόιλερ διπλής ενέργειας μπορούν να παράγουν ζεστό νερό χρήσης με τη χρήση είτε μιας ηλεκτρικής αντίστασης είτε με τη χρήση λέβητα ενώ τα μπόιλερ τριπλής ενέργειας μπορούν να θερμάνουν το ζεστό νερό χρησιμοποιώντας τη θερμότητα από την ηλεκτρική αντίσταση ή από το λέβητα.

Στις συνδυαστικές διατάξεις παραγωγής θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης χρησιμοποιούνται δοχεία αδράνειας κάθετα ή οριζόντια του λεβητοστασίου που έχουν χωρητικότητα συνήθως μεγαλύτερη από 120lt. Τα δοχεία αυτά εδράζονται στο έδαφος και είναι διπλής ή τριπλής ενέργειας.



Σχήμα 2.3.2 Μπόιλερ λεβητοστασίου κάθετο

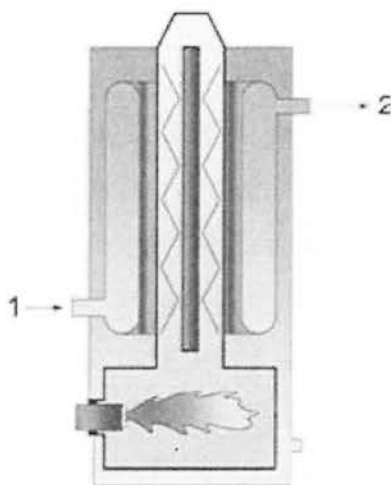
Τα μπόιλερ διπλής ενέργειας μπορεί να είναι με μανδύα ή σερπαντινα ενώ τα τριπλής ενέργειας μπορεί να είναι με δύο μανδύες ή σερπαντίνες ή με έναν μανδύα ή σερπαντίνα.

Τα μπόιλερ με μανδύα κατασκευάζονται με απλό τρόπο από απλό χάλυβα που προστατεύεται από τη διάβρωση με το γυαλί ή από ανοξειδωτο χάλυβα ή χαλκό. Τα μπόιλερ αποτελούνται από δυο δοχεία διαφορετικής διαμέτρου τα οποία βρίσκονται το ένα μέσα στο άλλο. Στον ενδιάμεσο χώρο των δοχείων αυτών κυκλοφορεί το νερό το οποίο θερμαίνεται από το λέβητα. Το εσωτερικό δοχείο είναι η αποθήκη νερού η οποία θερμαίνεται από το νερό και μεταδίδει τη θερμότητα στο νερό χρήσης μέσω της επιφάνειας συναλλαγής. Τα δυο υγρά δεν έρχονται σε επαφή ενώ η συσκευή θερμομονώνεται εξωτερικά.

Άλλα μπόιλερ που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι οι λέβητες με ενσωματωμένο εναλλάκτη, ο εναλλάκτης με σερπαντίνα και οι εναλλάκτες ροής που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Λέβητες με ενσωματωμένο εναλλάκτη

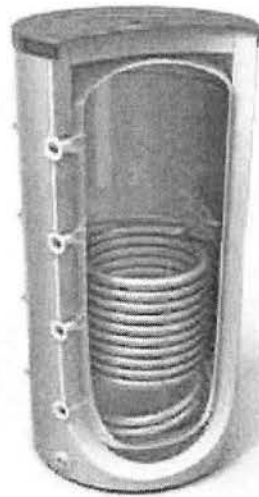
Οι λέβητες αυτού του τύπου είναι δύο ειδών: με σερπαντίνα ή με δοχείο αποθήκευσης. Στους πρώτους υπάρχει ένας σωλήνας ικανού μήκους μέσα στον λέβητα στον οποίο περνάει το νερό χρήσης το οποίο θερμαίνεται από το νερό του κλειστού κυκλώματος του λέβητα. Στους λέβητες με ενσωματωμένο ένα δοχείο αποθήκευσης υπάρχει ενσωματωμένος εναλλάκτης (κυλινδρικό δοχείο) στον οποίο αποθηκεύεται το νερό χρήσης. Το νερό του λέβητα θερμαίνει το ζεστό νερό χρήσης όταν έρχεται σε επαφή με το κυλινδρικό δοχείο.



Σχήμα 2.3.3: Λέβητας με ενσωματωμένο δοχείο αποθήκευσης

Εναλλάκτης με σερπαντίνα

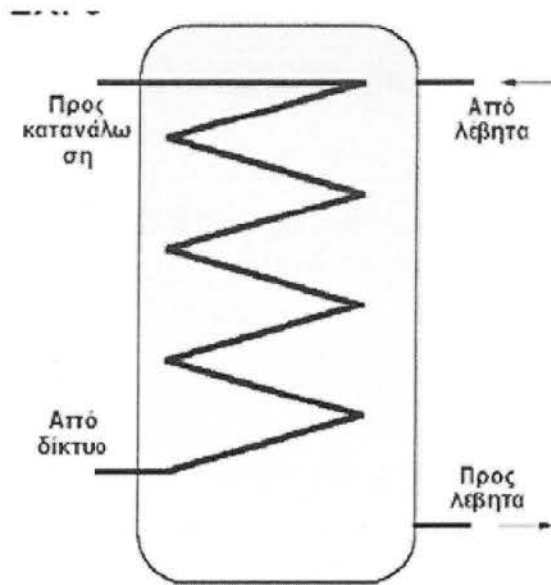
Ο εναλλάκτης αυτός αποτελείται από ένα δοχείο στο οποίο αποθηκεύεται το νερό χρήσης από το κεντρικό δίκτυο. Μέσα σε αυτό το δοχείο είναι τοποθετημένος ένας ελικοειδής εναλλάκτης (σερπαντίνα) με τέτοιο μήκος ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη επιφάνεια εναλλαγής. Τα συγκεκριμένα μπόιλερ μπορεί να εξυπηρετήσουν μεγάλη ζήτηση νερού.



Εναλλάκτης ροής

Οι εναλλάκτες ροής είναι παρόμοιοι με τους εναλλάκτες με σερπαντίνα και η λειτουργική τους διαφορά είναι πως το νερό χρήσης περνά από τη σερπαντίνα ενώ το νερό από τον λέβητα την περιβρέχει. Το νερό από τον λέβητα μεταδίδει τη θερμότητά του στη σερπαντίνα η οποία με τη σειρά της μεταδίδει την θερμότητα αυτή στο νερό χρήσης που διέρχεται από αυτήν. Στους εναλλάκτες αυτούς δεν υπάρχει αποθήκευση νερού χρήσης και έτσι παράγεται καθαρό νερό χωρίς παθογόνους μικροοργανισμούς. Δεν επηρεάζονται από τις μεγάλες πιέσεις του δικτύου άρδευσης και δεν απαιτούν πρόσθετα εξαρτήματα όπως μειωτές πίεσης, δοχεία διαστολής ή βαλβίδα ασφαλείας. Η αντοχή τους είναι ανεξάρτητη από τις απότομες διακυμάνσεις της πίεσης κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο του ζεστού νερού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σερπαντίνα είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας με

αποτέλεσμα να είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση και να αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους.



Σχήμα 2.3.4: Εναλλάκτης ροής

2.4 Υπολογισμός απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης

Η μέθοδος του υπολογισμού της απαιτούμενης ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης μπορεί να γίνει μέσω της σύστασης R03/3 της ιταλικής θερμοτεχνικής επιτροπής.

Σύμφωνα με την οδηγία αυτή θα πρέπει αρχικά να υπολογιστεί το ποσό ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του κτηρίου (στη συγκεκριμένη περίπτωση νοσοκομείο) και το εμβαδόν επιφάνειας του, τον αριθμό νοσηλευόμενων ιατρών και γενικά «κατοίκων» του κτηρίου, των επιθυμητών θερμοκρασιών κτλ.

Στη συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί η ελάχιστη ισχύς της μονάδας παραγωγής με δεδομένο το χρόνο της θερμικής φόρτωσης της δεξαμενής αποθήκευσης.

Η θερμική ισχύς που υπολογίζεται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να διαφέρει από την θερμική ισχύ που απαιτείται για τη θέρμανση του κτηρίου. Η επιλογή της μονάδας γίνεται με βάση τη μεγαλύτερη ισχύ.

Το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης γίνεται από τη σχέση:

$$Q_{DHW} = V_{DHW} \times \rho_w \times C_{S,w} \times N_{add} \times (T_w - T_o) \quad (2.4.1)$$

όπου

Q_{DHW} είναι η θερμική απαίτηση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

V_{DHW} είναι η ημερήσια απαίτηση για ζεστό νερό χρήσης

ρ_w είναι η πυκνότητα νερού (kg/m^3)

$C_{S,w}$ είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού ($=4186 \text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

N_{add} είναι ο αριθμός των ημερών που θεωρούμε για τη μελέτη (για ευκολία=1)

T_w είναι η θερμοκρασία χρήσης του ζεστού νερού χρήσης σε $^\circ\text{C}$ (φυσιολογικά 40°C)

T_o είναι η θερμοκρασία νερού από την κεντρική παροχή σε $^\circ\text{C}$

Αν θεωρηθεί το θερμικό φορτίο του δοχείου σε μια συγκεκριμένη περίοδο χρόνου μπορεί να προσδιοριστεί η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς από τη μονάδα πολλαπλών λειτουργιών με την παρακάτω εξίσωση:

$P_{DWH} = Q_{DWH} / t_{RT}$ όπου: Q_{DWH} είναι η θερμική απαίτηση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

P_{DWH} είναι η απαιτούμενη ισχύς

t_{RT} ο χρόνος λειτουργίας σε ζεστό νερό χρήσης για την επαναφόρτωση του δοχείου.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει πως η μείωση της απαιτούμενης θερμοκρασίας για το νερό χρήσης οδηγεί και σε μικρότερης ισχύος απαιτήσεις

για το λέβητα. Η μέγιστη συνεχόμενη παροχή του νερού στο λέβητα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας.

2.5 Υπολογισμός Θερμικής Απόδοσης πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας έχουν συνήθως τυρβώδεις συνθήκες ροής ενώ είναι αποτελεσματικοί και για γραμμική μετάδοση θερμότητας και για αυτό βρίσκουν εφαρμογή σε εφαρμογές ψύξης και εξάτμισης.

Για την μετάδοση θερμότητας σε έναν πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας με τυρβώδη ροή η θερμική απόδοση μπορεί υπολογιστεί από τη σχέση:

$$Nu=C(Re)_n(Pr)_m(\mu/\mu_w)_x$$

όπου Nu =αριθμός Nusselt

Re =αριθμός Reynolds

Pr = αριθμός Prandtl

D_e =Ισοδύναμη διάμετρος (2x μέσο κενό πλάκας)

(μ/μ_w) = Συντελεστής διόρθωσης

Οι αναφερόμενες τιμές για τις σταθερές και τους δείκτες είναι:

$$C=0,15-0,4 \quad m=0.3-0,45$$

$$n=0.65-0.85 \quad x=0.05-0.2$$

Οι τυπικές τιμές ταχύτητες στους πλακοειδείς εναλλάκτες για τυρβώδεις ροές είναι 0.3-0.9m/s αλλά οι πραγματικές ταχύτητες σε συγκεκριμένες περιοχές μπορεί να είναι μεγαλύτερες κατά ένα συντελεστή από ένα έως τέσσερα εξαιτίας της επίδρασης των αυλακώσεων. Όλοι οι σχετικοί υπολογισμοί με τη μετάδοση θερμότητας και την πτώση πίεσης βασίζονται στην ταχύτητα που υπολογίζεται από το μέσο κενό της πλάκας ή στο ρυθμό ροής ανά πέρασμα.

Ένα επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό των πλακοειδών εναλλακτών είναι πως οι τυρβώδεις ροές που προκαλούνται από τις πτυχώσεις στις πλάκες μειώνουν τον αριθμό Reynolds στον οποίο η ροή γίνεται γραμμική. Αν το χαρακτηριστικό μήκος στον αριθμό Reynolds ληφθεί διπλάσιο από το μέσο κενό ανάμεσα στις πλάκες ο Re που προκύπτει θα κυμαίνεται από 100 έως 400 ανάλογα με το είδος της πλάκας.

Για την επίτευξη μεγάλων συντελεστών είναι απαραίτητη η κατανάλωση ενέργειας. Πάνω στην πλάκα του εναλλάκτη οι συντελεστές τριβής που συνήθως αναπτύσσονται είναι δέκαπλάσιοι ή τετρακόσιες φορές μεγαλύτεροι από αυτούς που αναπτύσσονται στο εσωτερικό για τους ίδιους αριθμούς Re. Παρόλα αυτά οι ονομαστικές ταχύτητες είναι χαμηλές και το μήκος των πλακών δεν ξεπερνά τα 2,5m έτσι ώστε ο όρος $V^2L/2g$ στην πτώση πίεσης να είναι πολύ μικρότερος από αυτόν που εμπλέκεται στον αντίστοιχο υπολογισμό του εναλλάκτη κελύφους αυλού. Επιπρόσθετα η λειτουργία μονού περάσματος επιτυγχάνει πολλές λειτουργίες έτσι ώστε η πτώση πίεσης να είναι αποτελεσματική και να μην χάνεται σε απώλειες εξαιτίας των μεταβολών στη ροή. Ο συντελεστής τριβής σχετίζεται με τις εξισώσεις

$$f=B/(Re)_y \quad (3.21)$$

$$\Delta p=fLrV^2/2gd \quad (3.22)$$

Όπου το y εξαρτάται από το είδος της χρησιμοποιούμενης πλάκας στον εναλλάκτη και κυμαίνεται από 0.1 έως 0.4 και B είναι μια σταθερά χαρακτηριστική της πλάκας.

Αν ο συνολικός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας $Q=UA\Delta T$ χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμότητας θα πρέπει να είναι γνωστός ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U , η επιφάνεια θερμότητας A και η μέση θερμοκρασιακή διαφορά ΔT .

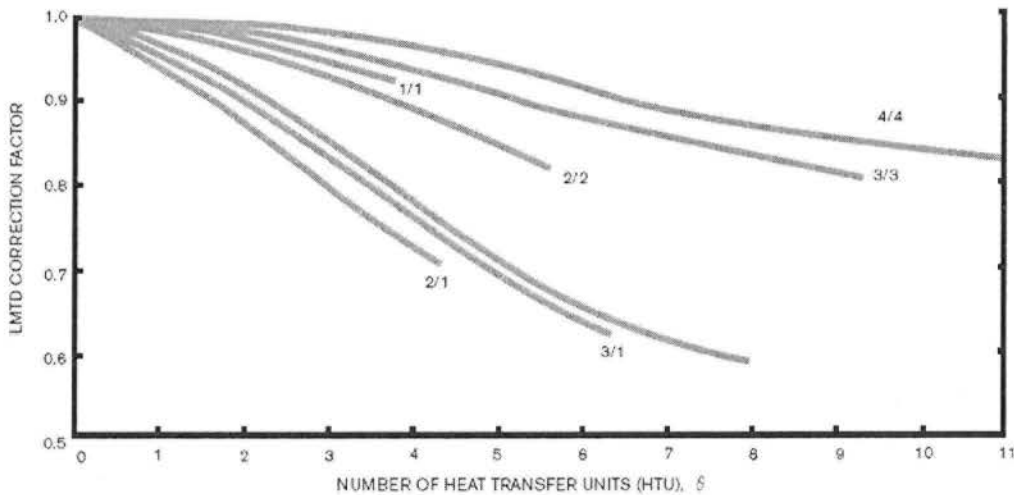
Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$1/U=r_{fh}+r_{fc}+r_{dh}+r_{dc} \quad (3.23)$$

όπου:

r_{th} , r_{fc} είναι οι αντιστάσεις υμένα για το θερμό και το ψυχρό ρευστό αντίστοιχα και r_{dh} , r_{dc} είναι οι αντιστάσεις ρύπανσης (fouling resistances) του θερμού και του ψυχρού ρευστού και βασίζονται κυρίως σε εμπειρικές σχέσεις.

Η διαφορά ΔT υπολογίζεται από τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας πολλαπλασιασμένη με ένα συντελεστή διόρθωσης. Όταν η λειτουργία του πλακοειδή εναλλάκτη είναι μονού περάσματος ο συντελεστής διόρθωσης είναι ίσος με τη μονάδα εκτός από την περίπτωση που ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων πλακών στον εναλλάκτη είναι ίσος με 20 οπότε το τελικό αποτέλεσμα έχει σημαντική επίδραση στους υπολογισμούς. Αυτό οφείλεται στο ότι το πέρασμα σε οποιοδήποτε άκρο της ομάδας πλακών μεταφέρει θερμότητα μόνο από τη μια πλευρά και κατά συνέπεια το θερμικό φορτίο μειώνεται.



Σχήμα 2.5.1: Συντελεστές διόρθωσης μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας για πλακοειδείς εναλλάκτες.

Όταν οι πλάκες του πλακοειδή εναλλάκτη είναι πολλαπλών περασμάτων θα πρέπει να εφαρμοστεί ένας επιπλέον συντελεστής διόρθωσης. Ακόμα και όταν δύο περάσματα διασταυρώνονται με δύο άλλα τουλάχιστον ένα από αυτά παρουσιάζει διασταυρούμενη ροή. Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.3.1

όταν χρησιμοποιείται άνισος αριθμός περασμάτων ο συντελεστής διόρθωσης οδηγεί σε σημαντική αύξηση της επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό όταν οι ροές στον εναλλάκτη είναι άνισες.

Η αντίσταση ρύπανσης αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για τους πλακοειδής εναλλάκτες θερμότητας και εξαρτάται από την θερμοκρασία που φτάνει το ρευστό κατά τη διαδικασία διαιρεμένη με τη μέση θερμοκρασιακή διαφορά (HTU). Οι περισσότεροι κατασκευαστές εναλλακτών θερμότητας προτείνουν για χαμηλούς παράγοντες ρύπανσης πλεόνασμα του HTU κατά 5%, πλεόνασμα για μέσο συντελεστή ρύπανσης 10% και 15-20% πλεόνασμα για μεγάλους συντελεστές ρύπανσης.

Αν για τον εναλλάκτη θερμότητας καθοριστεί μεγάλη αντίσταση ρύπανσης απαιτείται η προσθήκη επιπλέον πλακών συνήθως σε παράλληλη διάταξη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες ταχύτητες μεγαλύτερες θερμοκρασίες κατά την έναρξη λειτουργίας και την πιθανότητα μεγαλύτερων ρυθμών ρύπανσης. Επειδή οι πλάκες βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους και ιδιαίτερα επειδή οι ροές εισόδου και εξόδου είναι μικρές η ρύπανση στην πλάκα δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία του εναλλάκτη εξαιτίας της πτώσης πίεσης μειώνοντας σημαντικά τη θερμική απόδοση του συστήματος.

2.6 Υπολογισμός ισχύος λέβητα

Ο χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης απαιτεί και μια προκαθορισμένη ισχύ λέβητα. Ο υπολογισμός της ισχύος του λέβητα γίνεται μέσω της σχέσης:

$$Q=a(t_1-t_2) \quad (2.6.1)$$

όπου

Q είναι η ισχύς του λέβητα που δίνεται σε Kcal/h a είναι η ροή του νερού σε l/h, t_1 η θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης και t_2 η θερμοκρασία του κρύου νερού χρήσης.

2.7 Μελέτη περίπτωσης

Εφαρμογή σε νοσοκομείο

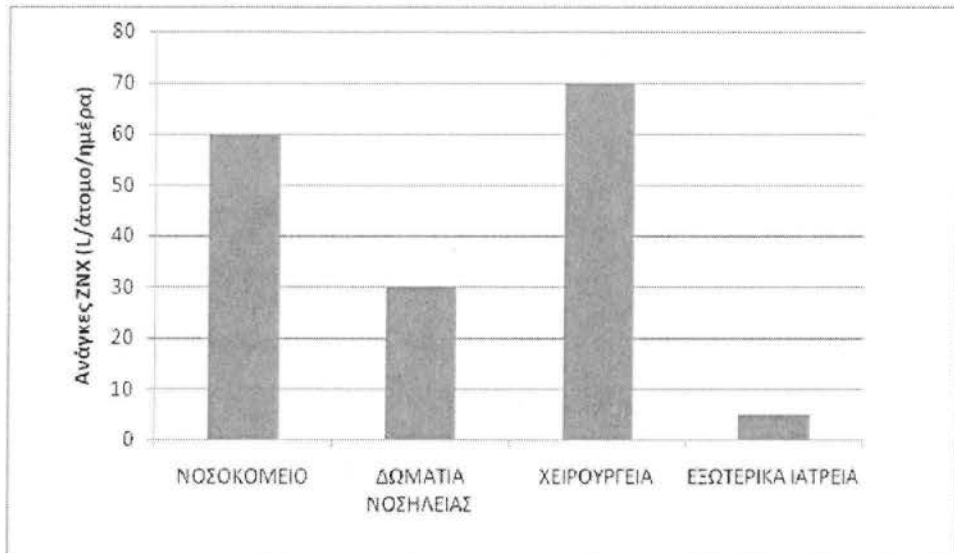
Στα πλαίσια της μελέτης περίπτωσης θα εξεταστεί η απόδοση εναλλάκτη σε νοσοκομείο συνολικής επιφάνειας 3000m² με μέγιστο αριθμό κλινών 300. Ο μέγιστος αριθμός ατόμων στο νοσοκομείο συμπεριλαμβανομένου των γιατρών των ασθενών που νοσηλεύονται καθώς και των ασθενών που επισκέπτονται το νοσοκομείο είναι 2000 άτομα ημερησίως. Οι βασικοί χώροι στους οποίους γίνεται κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης είναι τα δωμάτια νοσηλείας, τα χειρουργεία, τα εξωτερικά ιατρεία και οι ειδικοί χώροι του νοσοκομείου όπως τα πλυντήρια, η κουζίνα και οι τουαλέτες. Οι χώροι αυτοί για λόγους απλότητας ονομάζονται «νοσοκομείο».

Ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης

Οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης καταγράφονται στη βιβλιογραφία και οι απαιτήσεις σε ZNX σε ημερήσια βάση στο νοσοκομείο είναι:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1

Χώρος	Κατανάλωση ZNX l/άτομο/ημέρα	Άτομα στο χώρο	Κατανάλωση ZNX l/s
Νοσοκομείο	60	400	0,277
Δωμάτια νοσηλείας	30	600	0,208
Χειρουργεία	70	200	0,162
Εξωτερικά ιατρεία	5	800	0,046



Σχήμα 2.7.1 Ανάγκες σε ZNX συναρτήσει των χώρων του νοσοκομείου

2.7.1 Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας

Στην πρώτη περίπτωση επιλέγεται σύστημα μεγάλου πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας με συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $900\text{W/m}^2\text{K}$

Η ενέργεια που παράγει ο εναλλάκτης θα είναι

$$Q=UA\Delta T \rightarrow A=Q/U\Delta T$$

Η ενέργεια που αποδίδεται σε κάθε χώρο του νοσοκομείου για τη θέρμανση του νερού από τους 20°C στους 45°C είναι:

$$E=mc\Delta T=V\rho c\Delta T$$

Από τη σχέση (2) προκύπτουν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1.1

Χώρος	Κατανάλωση ZNX (l/s)	Ενέργεια (kW)
Νοσοκομείο	0,277	28,988
Δωμάτια νοσηλείας	0,208	21,767
Χειρουργεία	0,162	16,953
Εξωτερικά ιατρεία	0,046	4,835

Η συνολική ενέργεια που απαιτείται είναι $E_{ολ}=72,553 \text{ kW}$ Οπότε από τη σχέση 1 υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια του εναλλάκτη.

$$A=72,553/0,9*25=3,224\text{m}^2$$

Επιλέγουμε εμπορικό εναλλάκτη με επιφάνεια εναλλαγής $3,5\text{m}^2$ οπότε η παραγόμενη θερμότητα είναι:

$$Q=3,5\text{m}^2*0,9\text{kW}*25^\circ\text{C}=78,75\text{kW}$$

Συντελεστής χρήσης:

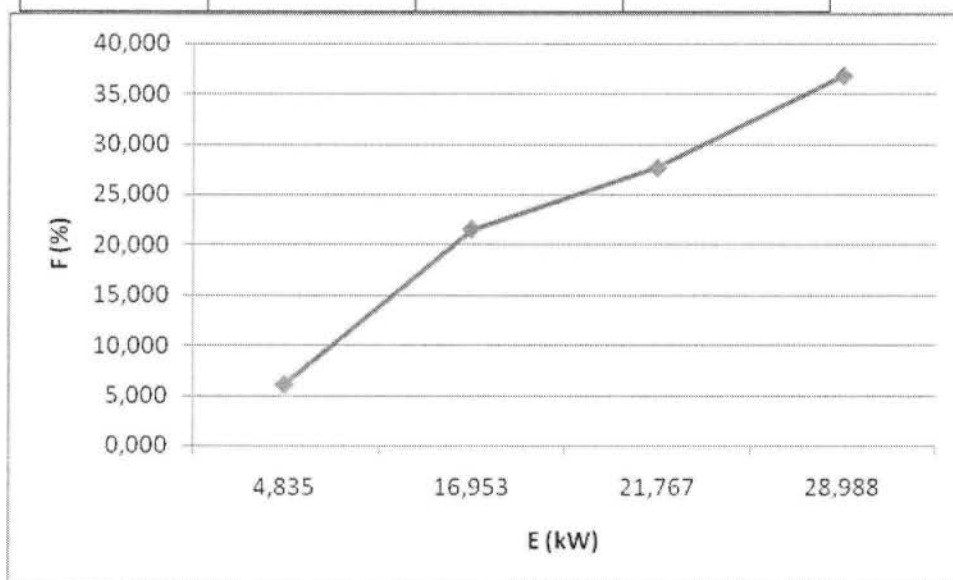
$$F=(E/Q)*100$$

$$F=(E/Q)*100=(28,988\text{kW}/78,75\text{kW})*100=36,810\%$$

και τελικά ο συντελεστής χρήσης γίνεται για κάθε περίπτωση

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1.2

Χώρος	Κατανάλωση ZNX (l/s)	Ενέργεια (kW)	Συντελεστής χρήσης F (%)
Νοσοκομείο	0,277	28,988	36,810
Δωμάτια νοσηλείας	0,208	21,767	27,641
Χειρουργεία	0,162	16,953	21,528
Εξωτερικά ιατρεία	0,046	4,835	6,139



Σχήμα 2.7.2 Ενέργεια πλακοειδή εναλλάκτη συναρτήσει συντελεστή χρήσης %

2.7.2 Πλακοειδής εναλλάκτης σε σειρά με δοχείο αδράνειας

Στην δεύτερη περίπτωση επιλέγεται σύστημα πλακοειδούς εναλλάκτης σε συνδυασμό με το δοχείο αδράνειας. Το σύστημα θα λειτουργεί σε θερμοκρασία από 20 έως 70 °C οπότε η παραγόμενη θερμότητά του θα είναι:

$$Q = UA\Delta T \rightarrow A = Q/UA\Delta T \rightarrow A = 72,553 \text{ kW} / 0, \text{ kW} 9 * 50^\circ \text{ C} = 1,612 \text{ m}^2$$

Επιλέγουμε εναλλάκτη θερμότητας επιφάνειας 2m² και η θερμότητα που θα παράγεται είναι:

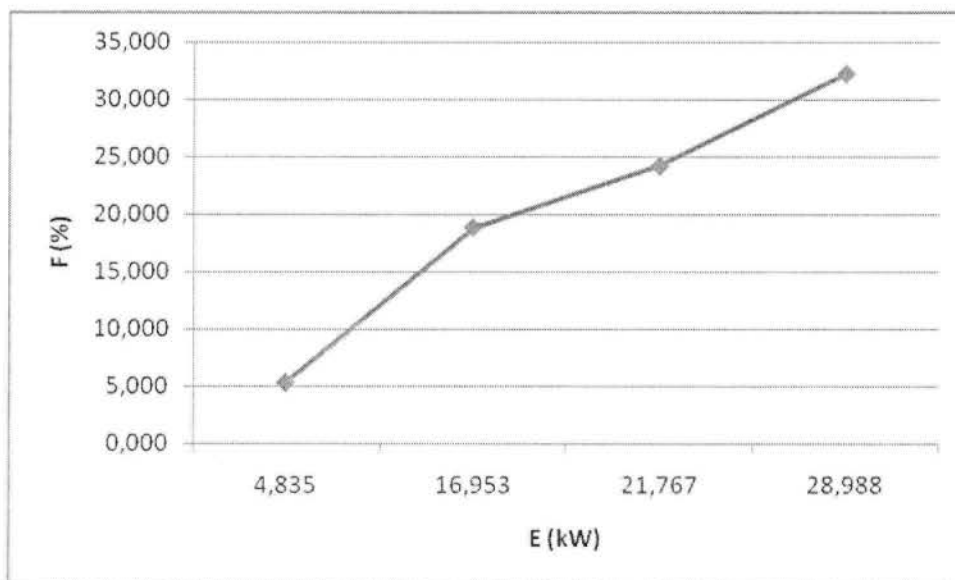
$$Q = 0,9 \text{ kW} * 2 \text{ m}^2 * 50^\circ \text{ C} = 90 \text{ kW}$$

Το δοχείο αδράνειας θα έχει όγκο:

$$Q = V * \rho * c * \Delta T \rightarrow V = Q / \rho * c * \Delta T \rightarrow V = 90 \text{ kW} / 1 \text{ kg} / \text{ l} * 4.186 \text{ kJ} / \text{ kg} * 25^\circ \text{ C} = 0.86 \text{ l} / \text{ sec} = 27121 \text{ m}^3 / \text{ \acute{e}τος}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.2.1

Χώρος	Κατανάλωση ZNX (l/s)	Ενέργεια (kW)	Συντελεστής χρήσης F (%)
Νοσοκομείο	0.277	28,988	32.209
Δωμάτια νοσηλείας	0,208	21,767	24.186
Χειρουργεία	0,162	16,953	18.837
Εξωτερικά ιατρεία	0,046	4,835	5.372



Σχήμα 2.7.2.1 Σύστημα πλακοειδή εναλλάκτη με δοχείο αδράνειας

Όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς ο συντελεστής χρήσης του δοχείου αδρανείας σε συνδυασμό με τον πλακοειδή εναλλάκτη για κάθε χώρο χρήσης του ζεστού νερού είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο συντελεστή του πλακοειδή εναλλάκτη μόνου του. Αυτό σημαίνει πρακτικά πως ο πλακοειδής εναλλάκτης είναι πιο αποτελεσματικός για τη χρήση ζεστού νερού από τον συνδυασμό του με το δοχείο αδρανείας.

Κόστος συστήματος

Ένας πλακοειδής εναλλάκτης 90kW μπορεί να έχει κόστος αγοράς 1200€ το κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού είναι περίπου 1800€. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,08€/kWh

Για την περίπτωση του πλακοειδή εναλλάκτη χωρίς το δοχείο αδρανείας σε kWh ένα έτος έχουμε για 8ωρη χρήση:

$78,75\text{kW} \times 8\text{h} \times 365 = 229950\text{kWh}$ και το κόστος χρήσης ενέργειας είναι $229950\text{kWh} \times 0,08 = 18396\text{€}$ το έτος αναγόμενο στον όγκο ZNX ($21854\text{m}^3/\text{έτος}$) είναι $0,84\text{€/m}^3$

Για το σύστημα του πλακοειδή εναλλάκτη σε συνδυασμό με το δοχείο αδρανείας είναι: $90\text{kW} \times 8\text{h} \times 365 = 262800\text{kWh}$ και το κόστος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας είναι: $262800 \times 0,08 = 21024\text{€}$ Αναγόμενο στον όγκο ZNX είναι $0,775\text{€/m}^3$

2.7.3 Αυλωτός εναλλάκτης

Στην τρίτη περίπτωση επιλέγεται σύστημα αυλωτού εναλλάκτη θερμότητας με συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $200\text{W/m}^2\text{K}$.

Για τη θέρμανση του νερού από τους 20 στους 45°C σε αυλωτό εναλλάκτη θερμότητας υπολογίζουμε τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας.

$$\text{LMTD} = T_c - T_h / \ln(T_c / T_h) = (293 - 318) / \ln(293 / 318) = -25 / (-0,08) = 312,5\text{K}$$

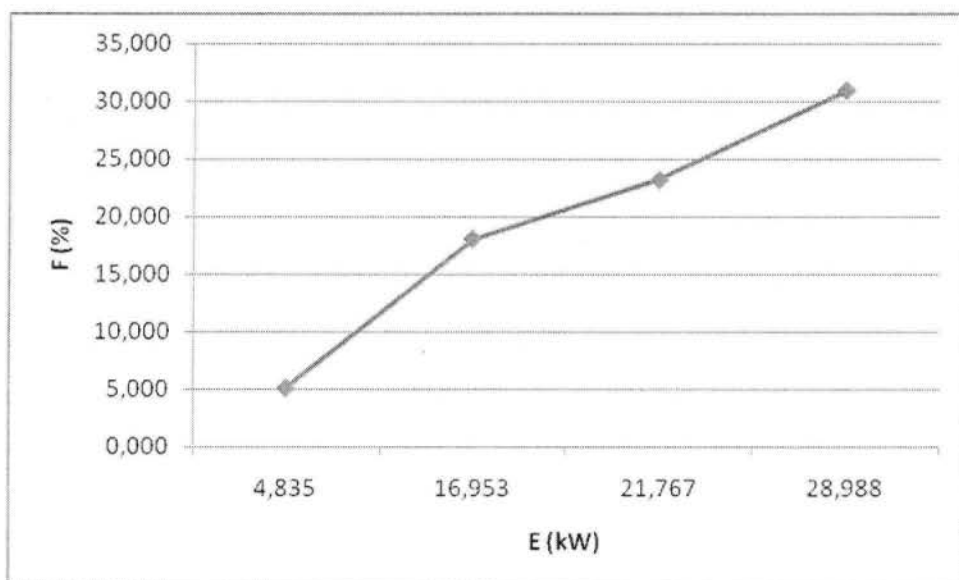
$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \rightarrow A = Q / (U \cdot \text{LMTD}) \rightarrow A = 72546,3 / (312,5 \cdot 200) = 1,16\text{m}^2$$

Επιλέγουμε εναλλάκτη επιφάνειας $1,5\text{m}^2$ και έχουμε:

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} = 1,5 \cdot 200 \cdot 312,5 = 93750\text{W} = 93,750\text{kW}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.3.1

Χώρος	Κατανάλωση ΖΝΧ (l/s)	Ενέργεια (kW)	Συντελεστής χρήσης F (%)
Νοσοκομείο	0,277	28,988	30,921
Δωμάτια νοσηλείας	0,208	21,767	23,218
Χειρουργεία	0,162	16,953	18,084
Εξωτερικά ιατρεία	0,0462	4,835	5,157



Σχήμα 2.7.3.1 Ενέργεια αυλωτού εναλλάκτη συναρτήσει συντελεστή χρήσης

2.7.4 Αυλωτός εναλλάκτης και δοχείο αδράνειας

Στη τέταρτη και τελευταία περίπτωση έχουμε το σύστημα αυλωτού εναλλάκτη σε συνδυασμό με το δοχείο αδράνειας. Θα λειτουργεί σε θερμοκρασία από 20 έως 70° C οπότε η μέση λογαριθμική διαφορά της θερμοκρασίας θα είναι:

$$LMTD = T_c - T_h / \ln(T_c / T_h) = (293 - 343) / \ln(293 / 343) = -50 / (-0,157) = 318,47$$

η παραγόμενη θερμότητά του θα είναι:

$$Q = UALMTD \rightarrow A = Q / ULMTD \rightarrow A = 74,5463 / 0,2 * 318,47 = 1,17m^2$$

Επιλέγουμε εναλλάκτη θερμότητας επιφάνειας 1,5m² και η θερμότητα που θα παράγεται είναι:

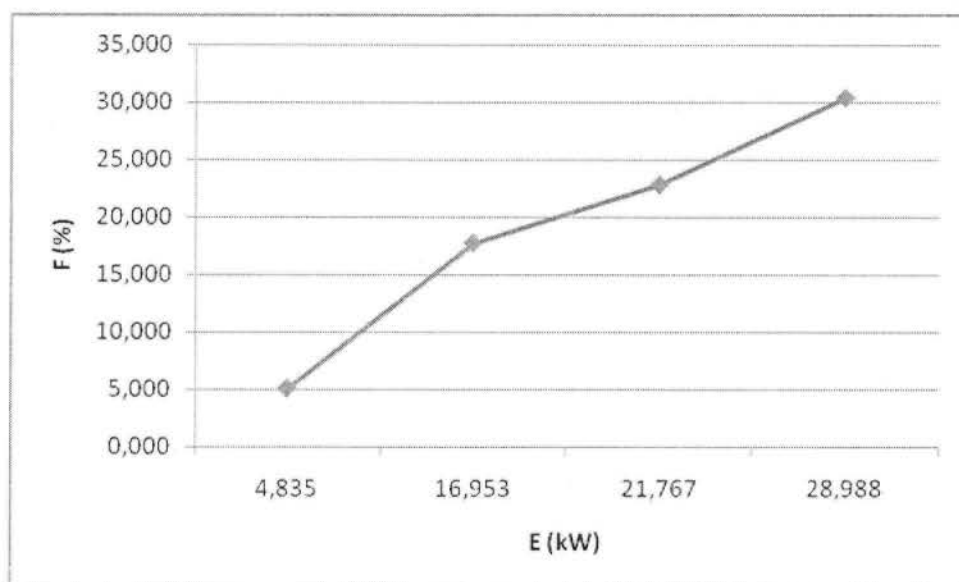
$$Q=200 \times 1.5 \times 318.47 = 95,541 \text{ kW}$$

Το δοχείο αδράνειας θα έχει όγκο:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow V = Q / \rho \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow V = 95,541 \text{ kW} / 1 \text{ kg/l} \times 4.186 \text{ kJ/kg} \times 25^\circ \text{C} = 0.912 \text{ l/sec} \\ = 28396,63 \text{ m}^3 / \text{έτος}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.4.1

Χώρος	Κατανάλωση ZNX (l/s)	Ενέργεια (kW)	Συντελεστής χρήσης (%)
Νοσοκομείο	0,277	28,988	30,341
Δωμάτια νοσηλείας	0,208	21,767	22,783
Χειρουργεία	0,162	16,953	17,745
Εξωτερικά ιατρεία	0,046	4,835	5,060



Σχήμα 2.7.4.1 Αυλωτός εναλλάκτης και δοχείο αδράνειας

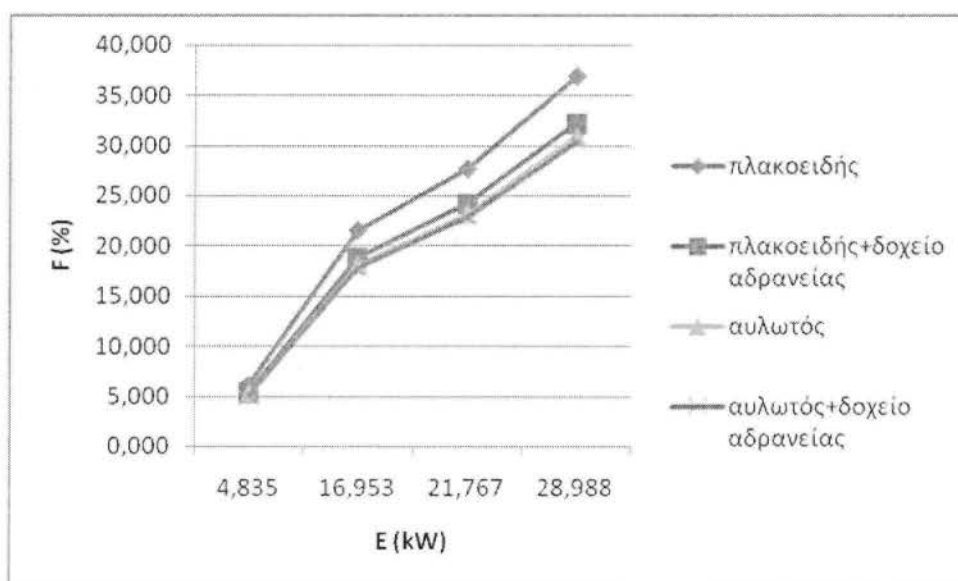
Κόστος συστήματος

Ένας αυλωτός εναλλάκτης 90kW μπορεί να έχει κόστος αγοράς 1800€ το κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού είναι περίπου 2000€. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,08€/kWh

Για την περίπτωση του αυλωτού εναλλάκτη χωρίς το δοχείο αδρανείας σε kWh ένα έτος έχουμε για 8ωρη χρήση:

$93,75\text{kW} \times 8\text{h} \times 365\text{ημέρες} = 273750\text{kWh}/\text{έτος}$ και το κόστος χρήσης ενέργειας είναι $273750\text{kWh} \times 0,08\text{€} = 21900\text{€}$ το έτος αναγόμενο στον όγκο ZNX ($21854\text{m}^3/\text{έτος}$) είναι 1€/m^3

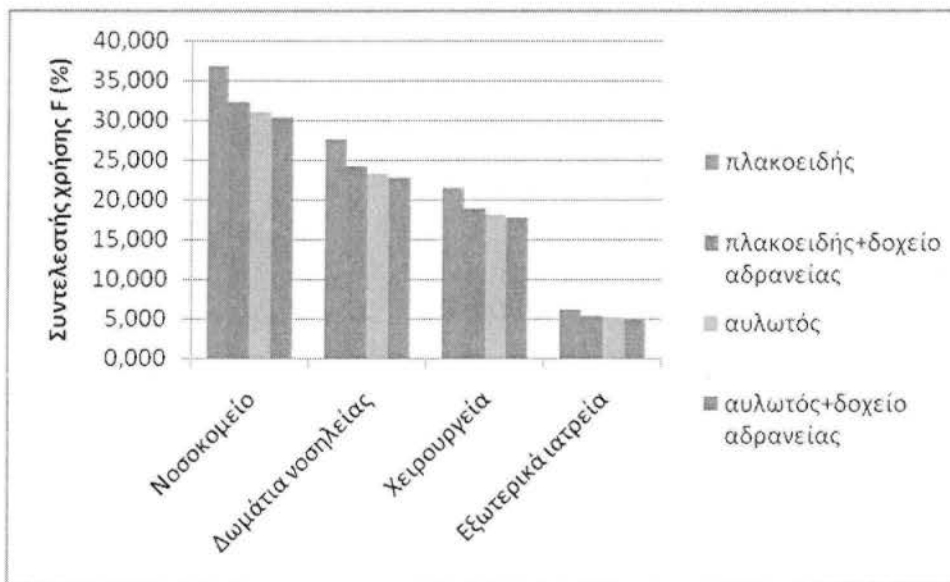
Για το σύστημα του πλακοειδή εναλλάκτη σε συνδυασμό με το δοχείο αδρανείας είναι: $95,54\text{kW} \times 8\text{h} \times 365\text{ημέρες} = 278977\text{kWh}/\text{έτος}$ και το κόστος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας είναι: $278977 \times 0,08 = 22318\text{€}$ Αναγόμενο στον όγκο ZNX είναι $0,786\text{€/m}^3$



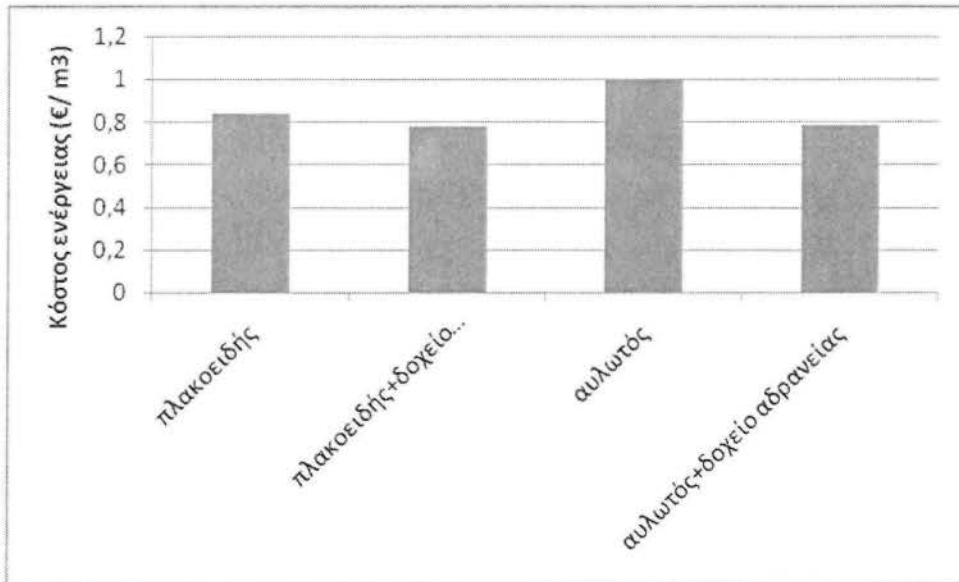
Σχήμα 2.7.4.2 Συγκεντρωτικό διάγραμμα ενέργειας των συστημάτων συναρτήσεως του συντελεστή χρήσης

2.8 Σύγκριση συστημάτων

Από τη σύγκριση των διαφόρων συστημάτων ως προς το συντελεστή χρήση της θερμότητας προκύπτει ότι σε όλες τις περιπτώσεις τα εξωτερικά ιατρεία έχουν τον μικρότερο συντελεστή χρήσης ενώ ο πλακοειδής εναλλάκτης παρουσιάζει το μεγαλύτερο συντελεστή χρήσης όταν είναι μεμονωμένος. Ο συντελεστής χρήσης για το δοχείο αδρανείας με πλακοειδή εναλλάκτη είναι μεγαλύτερος σε όλες τις περιπτώσεις από το συντελεστή χρήσης με αυλωτό εναλλάκτη.



Σχήμα 2.8.1 Ενέργεια των συστημάτων σε όλους τους χώρους συναρτήσεως συντελεστή χρήσης



Σχήμα 2.8.2 Ενέργεια ανά m^3 ZNX συναρτήσει των διαφόρων συστημάτων

Κεφάλαιο 3

3.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι εναλλάκτες θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές θέρμανσης ψύξης κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης. Ιδιαίτερα παρουσιάστηκαν οι βασικές προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των δοχείων αδρανείας, των πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας και των αυλωτών εναλλακτών. Και οι τρεις αυτοί εναλλάκτες χρησιμοποιούνται στα νοσοκομεία σε συγκεκριμένα συστήματα πολλαπλής χρήσης.

Στα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας με πιο διαδεδομένους τους πλακοειδείς εναλλάκτες.

Όπως παρατηρήσαμε και από την μελέτη εφαρμογής, ο πλακοειδής εναλλάκτης, παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά χρήσης σε όλους του χώρους του νοσοκομείου συγκριτικά από τις άλλες περιπτώσεις συστημάτων. Αθροιστικά ο πλακοειδής εναλλάκτης έχει ποσοστό χρήσης 92,118%, ο πλακοειδής με το δοχείο αδρανείας έχει 80,604%, ο αυλωτός 77,38% και ο αυλωτός με το δοχείο αδρανείας 75,929%. Αυτό λοιπόν σημαίνει ότι με τον πλακοειδή εναλλάκτη επιτυγχάνουμε την μέγιστη δυνατή απόδοση που είναι ένα από τα βασικά κριτήρια επιλογής εναλλάκτη.

Όσον αφορά στο κόστος ενέργειας ανά m^3 ζεστού νερού χρήσης, είναι σαφές ότι το σύστημα πλακοειδή εναλλάκτη και δοχείου αδρανείας, συμφέρει σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα καθώς παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές. Αναλυτικά ο πλακοειδής εναλλάκτης έχει κόστος $0,84€/m^3$, ο πλακοειδής με το δοχείο αδρανείας $0,775€/m^3$, ο αυλωτός έχει $1€/m^3$ και ο αυλωτός με το δοχείο αδρανείας $0,786€/m^3$.

Βιβλιογραφία

1. Αρχές της μετάδοσης θερμότητας για μηχανικούς (Συνοπτική Θεωρία & Ασκήσεις), ΝΙΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΣΤΕΦΑΝΟΣ Π., ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ ΕΛΕΝΗ
2. Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική (Συνοπτική Θεωρία & Λυμένες Ασκήσεις), ΝΙΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΣΤΕΦΑΝΟΣ Π.
3. Φυσική 1 - Μηχανισμοί Διάδοσης Θερμότητας Α.Α ΖΗΣΟΣ
4. Μοριακή Φυσική - Θερμοδυναμική Χρ.Τρικάλινός
5. Kupprian, T Heat exchanger Design Handbook, Taylor and Francis, 2013
6. Εναλλάκτες μπόιλερ ζεστού νερού χρήσης «Υδραυλικός» Τεύχος 1388 Μάρτιος 2005
7. Κ. Τ. Παπακώστας, Εξοικονόμηση ενέργειας σε συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού ΤΕΕ Σεμινάρια 2009 Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτηρίων
8. Λεξικό φυσικής (Μάλλιαρης)
9. Bergles, A.E., Augmentation of heat transfer single phase. <http://www.thermopedia.com/content/574/>.
10. http://ikaros.teipir.gr/heattransfer/deigma_book_A.pdf
11. <http://www.levitostasia.net/viewtopic.php?f=10&t=82>
12. <http://www.artfire.gr/el/info/useful-articles/81--buffer-tank->
13. <http://www.engr.iupui.edu/me/courses/shellandtube>
14. http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/paragogiki_diadikasia_en_allaktes.htm
15. <http://www.evoiki.gr/en/products.html>
16. <http://clima-energy-gas.skrouzstore.gr/p.president-160-docheio-adraneias-glass-me-1-enallakti-160-litra.827976.html>
17. http://www.apv.com/pdf/manuals/Heat_Exchangers/PHE_Manual_1000_E_EL.pdf
18. <http://thermansinews.blogspot.gr/2013/01/buffer-tank.html>
19. http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/HeatExchangers_SinglePhase_2.pdf
20. http://users.uoi.gr/vkalpak/files/Notes_Heat-Transfer_Nikolos.pdf