

MHX
679

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΕΝΟΣ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ»**



Σπουδαστής: Κασιφόλης Παναγιώτης

ΑΜ: 32033

Εισηγητής: Νίκας Κωνσταντίνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Νίκα Κωνσταντίνο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή εργασία στο θέμα που επιθυμούσα καθώς και τον κύριο Ιωάννη Σιγάλα για την διάθεση του να με βοηθήσει και να μου λύσει οποιαδήποτε απορία οποιαδήποτε στιγμή το χρειαζόμουν.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συμπαράσταση όχι μόνο κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και κατά την διάρκεια των σπουδών μου.



Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Περιεχόμενα | 3 |
| Περίληψη | 5 |
| Κεφάλαιο 1. Εναλλάκτες Θερμότητας | 7 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 7 |
| 1.1.1 Εναλλάκτες Θερμότητας Γενικά | 8 |
| 1.1.2 Βασικοί Τύποι Εναλλακτών Θερμότητας..... | 10 |
| 1.1.3 Προβλήματα Κατά Τη Χρήση Εναλλακτών Θερμότητας | 12 |
| 1.2 Φαινόμενα μεταφοράς (θερμότητα και θερμοκρασία) | 13 |
| 1.2.1 Μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας | 14 |
| 1.2.2 Χρόνος Αποκατάστασης | 21 |
| 1.3 Μέθοδοι ανάλυσης εναλλακτών θερμότητας | 21 |
| 1.3.1 Η μέθοδος της Μέσης Λογαριθμικής Θερμοκρασιακής Διαφοράς (LMTD)..... | 24 |
| 1.3.2 Η μέθοδος της Αποτελεσματικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας (NTU) | 30 |
| Κεφάλαιο 2. Εναλλάκτης Κελύφους Αυλών | 37 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 37 |
| 2.2 Εναλλάκτης κεφαλής αυλού σταθερής δέσμης αυλών..... | 44 |
| 2.3 Εναλλάκτες κελύφους – αυλού μορφής U..... | 45 |
| 2.4 Εναλλάκτες κελύφους – αυλού μετέωρης (floating) κεφαλής..... | 46 |
| 2.5 Ταξινόμηση ανάλογα με τη λειτουργία..... | 47 |
| 2.6 Βασικά στοιχεία του εναλλάκτη..... | 48 |
| Κεφάλαιο 3. Έλεγχος και συντήρηση εναλλάκτη | 52 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 52 |
| 3.2 Διαδικασία ελέγχου του εναλλάκτη | 52 |

| | |
|---|----|
| 3.3 Διαδικασία συντήρησης του εναλλάκτη..... | 53 |
| 3.4 Περιγραφή διαδικασιών | 53 |
| 3.4.1 Απομόνωση εναλλακτών | 53 |
| 3.4.2 Αφαίρεση και επανατοποθέτηση της μόνωσης του εναλλάκτη..... | 54 |
| 3.4.3 Μεταφορά αυλοφόρου δέσμης στο χώρο καθαρισμού και επιστροφή στη μονάδα | 56 |
| 3.4.4 Καθαρισμός των υπόλοιπων τμημάτων του εναλλάκτη μετά την εξαγωγή της δέσμης | 57 |
| 3.4.5 Επανατοποθέτηση αυλοφόρου δέσμης και συναρμολόγηση του εναλλάκτη | 58 |
| 3.4.6 Υδραυλικές δοκιμές..... | 58 |
| 3.4.7 Επισκευή του εναλλάκτη | 62 |
| 3.4.7.1 Περίπτωση εκτονωμένων αυλών..... | 62 |
| 3.4.7.2 Περίπτωση αυλών κολλητών στους καθρέπτες..... | 62 |
| 3.4.8 Αποκατάσταση του εναλλάκτη | 63 |
| 3.4.9 Χημικός Καθαρισμός..... | 64 |
| 3.5 Ανακατασκευή αυλών (Ανατούμπωση) | 64 |
| 3.5.1 Πεδίο εφαρμογής – Ορισμοί..... | 65 |
| 3.5.2 Περιγραφή..... | 66 |
| 3.5.2.1 Εργασίες ανακατασκευής δέσμης..... | 66 |
| 3.5.2.2 Εργασίες κατασκευής νέας δέσμης | 69 |
| Συμπεράσματα | 70 |
| Βιβλιογραφία: | 72 |

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται ανασκόπηση των εναλλακτών θερμότητας και ιδιαίτερα των εναλλακτών κελύφους αυλού που χρησιμοποιούνται σε ένα διυλιστήριο. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας και η ταξινόμηση των εναλλακτών θερμότητας καθώς και η βασική θεωρία της μετάδοσης θερμότητας στους εναλλάκτες θερμότητας.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στους εναλλάκτες κελύφους αυλού που είναι κατ'εξοχήν βιομηχανικοί εναλλάκτες και χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές των διυλιστηρίων. Περιγράφονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά και η αρχή λειτουργία τους ενώ τονίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από τη χρήση τους.

Η συντήρηση και ο έλεγχος των εναλλακτών θερμότητας είναι τα βασικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη στην βιομηχανία αφού επηρεάζουν άμεσα το συνολικό κόστος της λειτουργίας της βιομηχανικής μονάδας στην προκειμένη περίπτωση του διυλιστηρίου. Η μέθοδος συντήρησης που χρησιμοποιείται σχετίζεται άμεσα με τις ανάγκες λειτουργίας του εναλλάκτη καθώς και από την εμπειρία του προσωπικού που είναι υπεύθυνο για την λειτουργία του. Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η μέθοδος συντήρησης και ελέγχου των εναλλακτών θερμότητας που υπάρχουν σε ένα διυλιστήριο.

Λέξεις-κλειδιά:

Εναλλάκτης θερμότητας, κέλυφος αυλός, μετάδοση θερμότητας, συντήρηση και έλεγχος.

Summary

In the present study an overview of heat transfer exchangers and especially tube shell exchangers used in refinery presented. In particular, the working principle and the classification of heat exchangers as well as the basic theory of heat transfer in them are presented.

Shell tube heat exchangers which are mainly used for industrial applications such as refinery are presented in this work. Their main characteristics and their operation principle are described and a comparison with other types of heat exchangers is made.

The maintenance and control of heat exchangers are the key elements to be considered in the industry since they directly affect the total cost of operation of the plant in our case the refinery. The preservation method used is directly related to the operational needs of the alternator and the experience of the staff responsible for the operation. In this paper we present the method of preservation and control of heat present in refinery.

Keywords:

Heat exchangers, Shell Tube Heat Exchanger, heat transfer, control and maintenance

Κεφάλαιο 1. Εναλλάκτες Θερμότητας

1.1 Εισαγωγή

Με το πέρασμα του χρόνου ο άνθρωπος έστρεψε το ενδιαφέρον του στην κατασκευή συσκευών οι οποίες θα κατανάλωναν ολόένα και λιγότερη ενέργεια και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε παραγωγικές εταιρείες ώστε να αναπτυχθούν περισσότερο. Οι συσκευές αυτές ονομάστηκαν εναλλάκτες θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς.

Όταν δύο σώματα παρουσιάζουν διαφορά θερμοκρασίας ή ένα σώμα έχει διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ δύο σημείων του τότε έχουμε διάδοση θερμότητας από το θερμότερο σημείο ή σώμα στο ψυχρότερο. Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας που μεταβιβάζεται από το ένα σώμα στο άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.

Η θερμότητα μπορεί να διαδοθεί με τρεις τρόπους:

1. με αγωγή
2. με μεταφορά
3. με ακτινοβολία

Ο πρώτος τρόπος εμφανίζεται και στις τρεις καταστάσεις της ύλης, δηλαδή στερεά – υγρά – αέρια, ο δεύτερος τρόπος στα ρευστά, δηλαδή υγρά – αέρια και ο τρίτος στα διαφανή υλικά, στερεά – υγρά - αέρια και στο κενό.

Η κατανόηση των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τους μηχανισμούς αυτούς για να μπορέσει να φτιάξει τους εναλλάκτες που θα είχαν ευρεία εφαρμογή και θα μείωναν την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Οι μηχανικοί για τον σχεδιασμό και τη μελέτη εναλλακτών χρησιμοποιούν δύο μεθόδους:

α) Τη μέθοδο της Μέσης Λογαριθμικής Θερμοκρασιακής Διαφοράς-LMTD

β) Τη μέθοδο της Αποτελεσματικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας-NTU

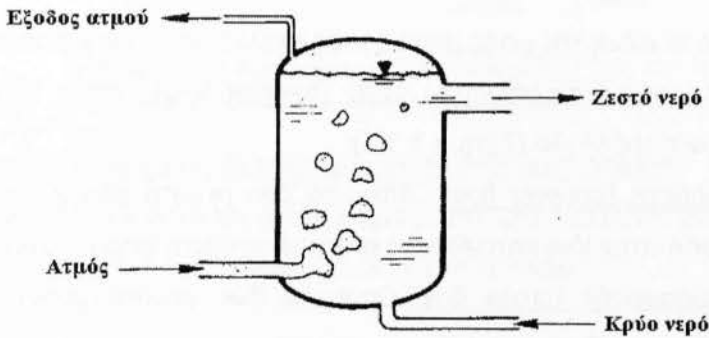
1.1.1 Εναλλάκτες Θερμότητας Γενικά

Εναλλάκτη θερμότητας καλούμε την συσκευή μεταφοράς θερμότητας (θερμικής ενέργειας) από ένα ρευστό σ' ένα άλλο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το θερμό ρευστό προς το ψυχρό ρευστό.

Στη φυσική μπορούμε να συναντήσουμε μία από τις τρεις φυσικές καταστάσεις της ύλης: τη στερεά, την αέρια και την υγρή. Συχνά όμως χρησιμοποιούμε τον όρο ρευστό, η οποία χαρακτηρίζει οποιαδήποτε ουσία που μπορεί να παρουσιάσει ροή. Τέτοιες ουσίες είναι τα υγρά, τα αέρια ή ακόμα και τα στερεά που βρίσκονται σε φάση ροής. Οπότε ο όρος ρευστό χαρακτηρίζει συνοπτικά τα υγρά και τα αέρια των οποίων οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων είναι χαλαρές με αποτέλεσμα η μάζα να ολισθαίνει ελεύθερα (περίπτωση υγρών) ή να μετατοπίζεται ανεξάρτητα (περίπτωση αερίων) έτσι ώστε να μπορούν κάθε φορά να καταλαμβάνουν το σχήμα του χώρου που βρίσκονται ή του μέσου δια του οποίου κινούνται. Αντίθετα με το στερεό στο οποίο οι δυνάμεις συνοχής είναι τόσο ισχυρές που δεν του επιτρέπουν να καταλαμβάνει το σχήμα του χώρου στο οποίο βρίσκεται αλλά έχει συγκεκριμένο σχήμα και όγκο [2].

Οι εναλλάκτες θερμότητας ανάλογα με τη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας μπορούν να διαχωριστούν σε δυο κατηγορίες:

α. Εναλλάκτης άμεσης επαφής, όπου τα δύο διαφορετικά ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και διαχωρίζονται πάλι (Σχήμα 1.1.1).



Σχήμα 1.1.1. Εναλλάκτης θερμότητας άμεσης επαφής

β. Εναλλάκτης έμμεσης επαφής, όπου τα δύο ρευστά δεν αναμειγνύονται αλλά παραμένουν χωρισμένα λόγω μιας επιφάνειας που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους και μέσω αυτής μεταφέρεται θερμότητα. Όταν η παρεμβαλλόμενη επιφάνεια έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα τότε "παίζει" ρόλο στο φαινόμενο μεταφοράς και οι εναλλάκτες έμμεσης επαφής καλούνται <<αναγεννητές>>

Οι εναλλάκτες θερμότητας ανάλογα με την πυκνότητα των κατασκευαστικών στοιχείων διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

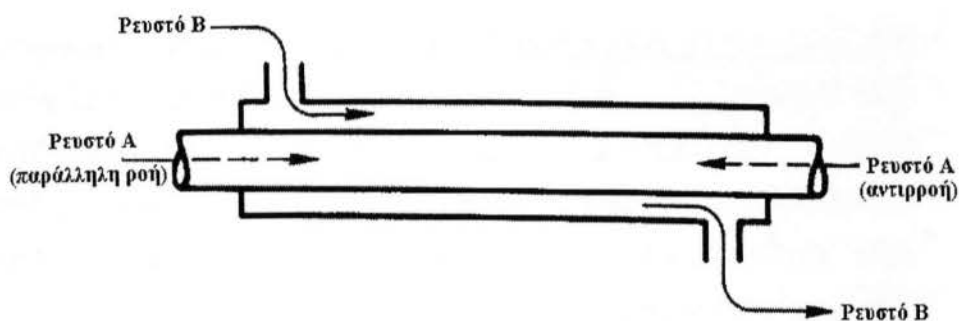
- Συμπαγείς εναλλάκτες, οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα, με τιμή που ξεπερνάει τα $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- Μη συμπαγείς εναλλάκτες, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα.

1.1.2 Βασικοί Τύποι Εναλλακτών Θερμότητας

Οι εναλλάκτες μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση την εφαρμογή τους. Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες αλλά θα αναλύσουμε τις πιο σημαντικές [3, 4, 5].

Ανάλογα με το είδος της ροής μέσα στους εναλλάκτες, αυτοί διακρίνονται σε:

- α) Ομορορής ή παράλληλης ροής (parallel flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν παράλληλα (Σχήμα 1.1.2).
- β) Αντιρορής (counter flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν αντιπαράλληλα δηλαδή στην ίδια κατεύθυνση αλλά με αντίθετη φορά (Σχήμα 1.1.2).
- γ) Σταυρορορής (cross flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν σε κάθετες διευθύνσεις (Σχήμα 1.1.5).
- δ) Σύνθετους, όπου έχουμε συνδυασμό των παραπάνω ροών.

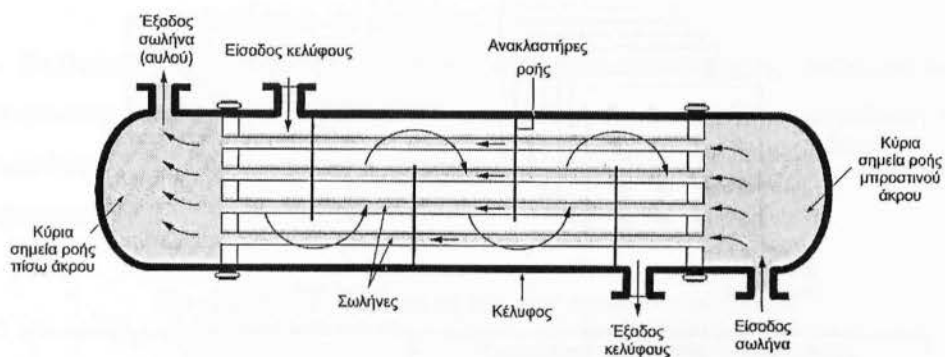


Σχήμα 1.1.2 Εναλλάκτης θερμότητας ομορορής και αντιρορής

Ανάλογα με την κατασκευή τους οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

- α) Ομοκεντρικούς κυκλικής διατομής
- β) Εναλλάκτες αυλού- κελύφους (shell-and-tube heat exchangers)

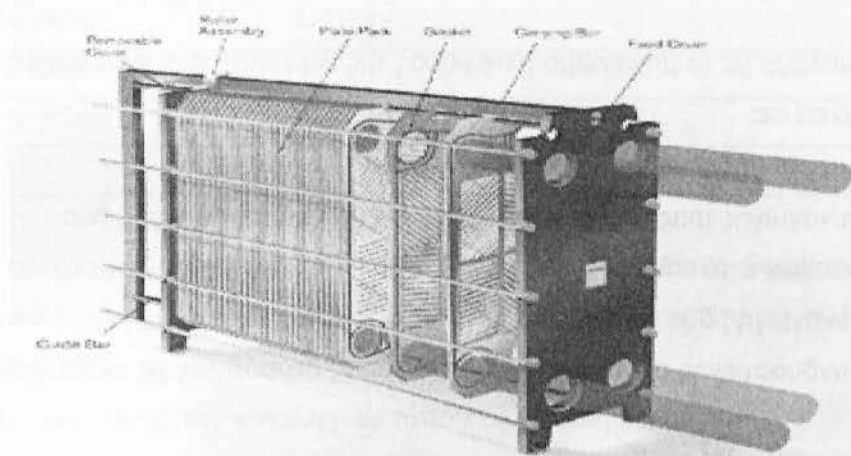
Οι εναλλάκτες αυλού – κελύφους, είναι οι πιο δημοφιλείς στις βιομηχανίες και διαθέτουν σωλήνες και διαφράγματα.



Σχήμα 1.1.3 Εναλλάκτης αυλών - κελύφους

γ) Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (plate heat exchangers)

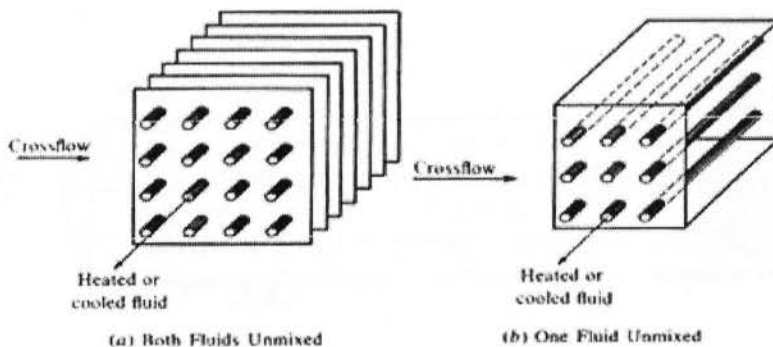
Οι πλακοειδής εναλλάκτες αποτελούνται από μία συστοιχία αυλακωτών μεταλλικών πλακών πιεσμένες μέσα σε ένα πλαίσιο.



Σχήμα 1.1.4 Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας

δ) Προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια

Τα πτερύγια αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής από την πλευρά του αέρα και, επομένως, το συντελεστή συναγωγής (Σχήμα 1.1.5 α.)



Σχήμα 1.1.5 Εναλλάκτες σταυρωτής ροής (α) με πτερύγια και χωρίς ανάμιξη και (β) χωρίς πτερύγια και με ανάμιξη του ρευστού εκτός σωλήνα

ε) Εναλλάκτες αναγέννησης (αναγεννητές):

Είναι οι εναλλάκτες εκείνοι που διαθέτουν διαχωριστική επιφάνεια μεγάλης θερμοχωρητικότητας

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 που βοηθούν στην ανάπτυξη μικροοργανισμών με αποτέλεσμα μετά από μια χρονική περίοδο λειτουργίας του εναλλάκτη οι επιφάνειες του να καλύπτονται από διάφορες επικαθήσεις ή ακόμα και να διαβρώνονται. Οι επικαθήσεις αυτές έχουν συνήθως, πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ένα λεπτό στρώμα επικαθήσεων 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: Τιμές 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 |
| Ασβεστίτης | 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.

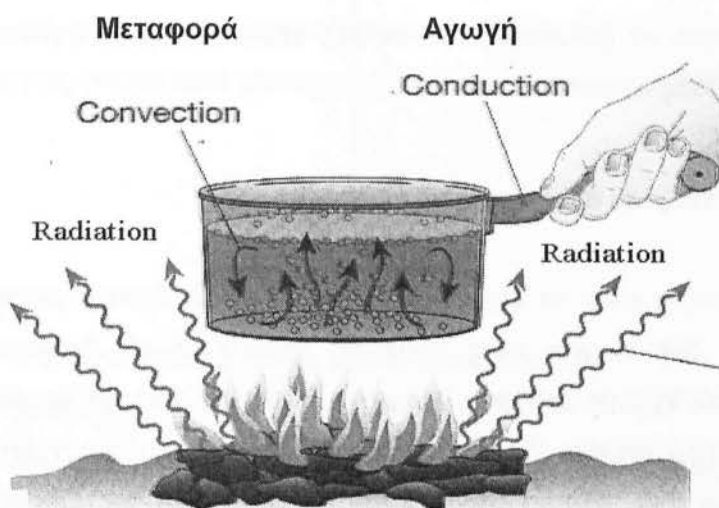
Συχνά στη φυσική υπάρχει η σύγχυση ότι, θερμότητα και θερμοκρασία είναι ακριβώς τα ίδια φυσικά μεγέθη αλλά αυτό είναι εσφαλμένο διότι το πρώτο είναι ενέργεια ενώ το δεύτερο είναι ένα φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει το πόσο ευκίνητες είναι οι δομικές μονάδες ενός σώματος. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ενός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

Πίνακας 2: Τρόποι, μέσα και μηχανισμοί διάδοσης θερμότητας.

| 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. |

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

- **Αγωγή ή θερμική αγωγιμότητα**

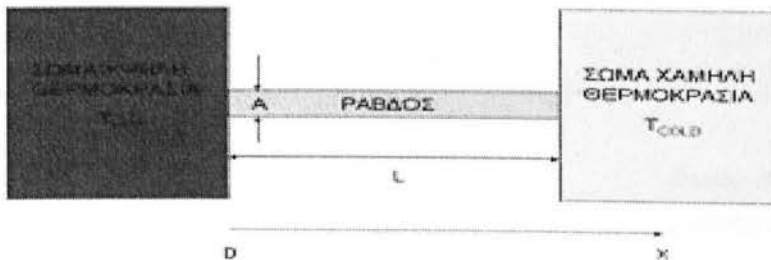
Θερμική αγωγιμότητα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο έχουμε μεταφορά ενέργειας. Όταν δύο σημεία ενός σώματος βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες τότε έχουμε διάδοση θερμικής ενέργειας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σημείο. Αρχικά σ' όλα τα σημεία του συστήματος η θερμοκρασία είναι ίδια, κάποια 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 από 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

Αγωγή (1ος τρόπος ανταλλαγής θερμότητας)

- Δεν έχω μετακίνηση ύλης, αφορά κυρίως τα στερεά, πρέπει να υπάρχει επαφή.



Σχήμα 1.2.2 Μεταφορά θερμότητας με αγωγή.

Η θερμική αγωγιμότητα εκφράζεται με το Νόμο του Fourier. Αν η διάδοση θερμότητας γίνεται κατά μήκος του άξονα x τότε χρησιμοποιώ τη σχέση (2.1).

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

Όπου,

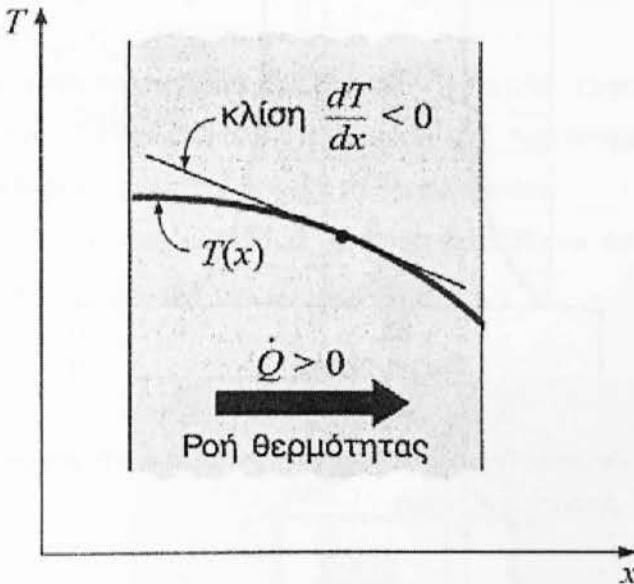
λ : είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

S : το εμβαδόν επιφάνειας

$\frac{dT}{dx}$: ονομάζεται θερμοβαθμίδα και αποτελεί την κλίση σε ένα διάγραμμα

T - x [Σχήμα 1.2.3].

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

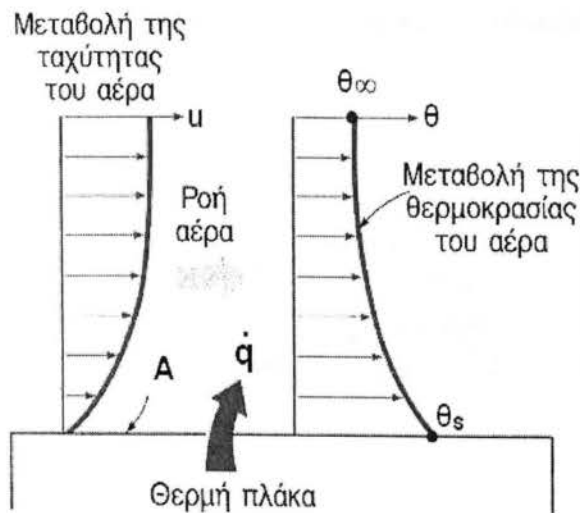


Σχήμα 1.2.3 Ροή θερμότητας

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. Στο 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:

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

Όπου,

h : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή

A : η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας

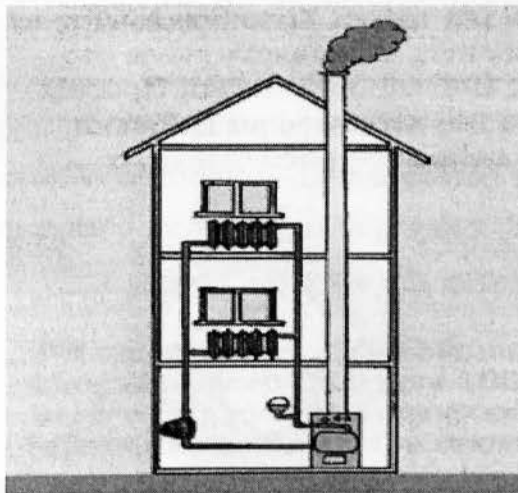
T_S : η θερμοκρασία της επιφάνειας

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:

- Η φυσική ή αυτόματη μεταφορά, η οποία εμφανίζεται όταν η μετακίνηση οφείλεται στην ελάττωση της πυκνότητας του ρευστού λόγω θερμικής διαστολής κατά τη θέρμανση του.
- Η εξαναγκασμένη μεταφορά, η οποία εμφανίζεται όταν η μετακίνηση του ρευστού οφείλεται σε εξωτερική αιτία.



Σχήμα 1.2.5 Τρόπος μεταφοράς θερμότητας σε ένα σπίτι.

Διάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Ο μηχανισμός αυτός σε σχέση με τους δυο προηγούμενους που περιγράψαμε παρουσιάζει μια διαφορά, 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. Η θερμότητα σ' αυτή την περίπτωση μεταφέρεται μέσα 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 απορροφάτε η θερμότητα από το σώμα.

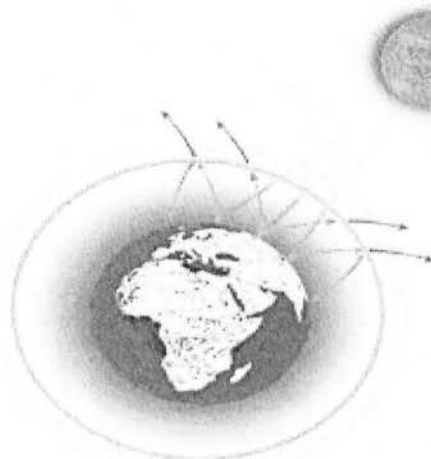
Ο Νόμος των Stefan-Boltzmann (2.3) δίνει τη θερμότητα που εκπέμπεται ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα εμβαδού:

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

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



Σχήμα 1.2.6 Διάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

1.2.2 Χρόνος Αποκατάστασης

Ο όρος “Χρόνος Αποκατάστασης” χρησιμοποιείται για να εκφράσει την καθυστέρηση ενός συστήματος όταν αυτό βρεθεί σε διαταραχή. Όταν το σύστημα βρεθεί υπό την επίδραση εξωτερικών αιτιών αυτές του προκαλούν διαταραχή οπότε αυτό παύει να βρίσκεται σε ισορροπία. Όταν οι εξωτερικές αιτίες εκλείψουν, το σύστημα θα επανέλθει στην κατάσταση ισορροπίας του αλλά για να συμβεί αυτό θα πρέπει να μεσολαβήσει κάποιο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει το σύστημα στην κατάσταση ισορροπίας ονομάζεται χρόνος αποκατάστασης. Ο χρόνος αποκατάστασης εξαρτάται από το είδος της διαταραχής που συμβαίνει στο σύστημα.

1.3 Μέθοδοι ανάλυσης εναλλακτών θερμότητας

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να παρουσιάσουμε τις δυο κύριες μεθόδους που χρησιμοποιούμε για τη μελέτη ενός εναλλάκτη:

- α) Η μέθοδος της Μέσης Λογαριθμικής Θερμοκρασιακής Διαφοράς-LMTD
- β) Η μέθοδος της Αποτελεσματικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας-NTU

Πριν ξεκινήσουμε την ανάλυση όμως των δυο παραπάνω μεθόδων θα πρέπει να αναλύσουμε διάφορα μεγέθη τα οποία μας είναι χρήσιμα για να κατανοήσουμε καλύτερα τις μεθόδους.

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 (3.1) για επίπεδο τοίχωμα

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_1}} \quad (3.1)$$

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

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

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

Όπου,

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

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

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

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

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 $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$)

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 (Πίνακας 3.1), ο οποίος παρουσιάζει ενδεικτικά τις τιμές του συντελεστή αυτού για διάφορες περιπτώσεις που συναντώνται στην πράξη.

Πίνακας 3.1 Προσεγγιστικές τιμές του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε πρακτικές εφαρμογές

| ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$) |
|---|--|
| 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 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

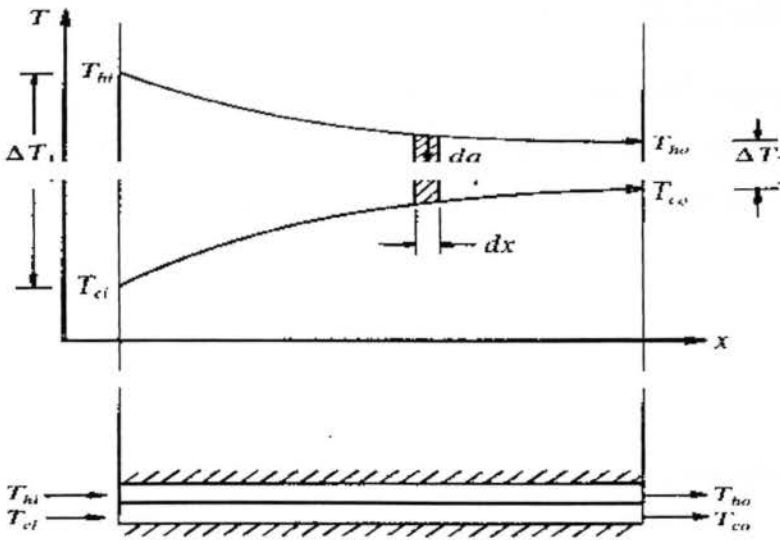
A: η συνολική επιφάνεια του εναλλάκτη (σε m^2)

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:

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

Απαλείφοντας 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:

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

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,

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

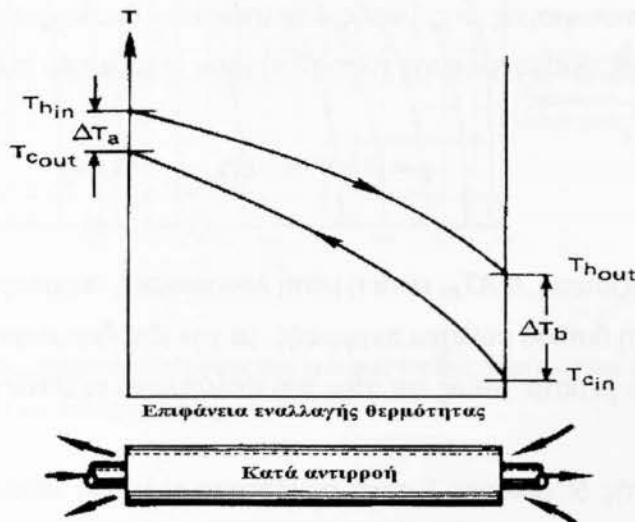
προς το φυσικό λογάριθμο του πηλίκου των δύο αυτών διαφορών.

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 ομορροής. 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 ομορροής 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 αντιρροή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τις ίδιες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου, η μέση λογαριθμική διαφορά στην περίπτωση της αντιρροής είναι πάντα μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ομορροής. Αυτό σημαίνει ότι η επιφάνεια εναλλαγής που απαιτείται, είναι στην περίπτωση της αντιρροής 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 αντιρροής, καθώς και για εναλλάκτες διπλού σωλήνα ομορροής και αντιρροής.

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:

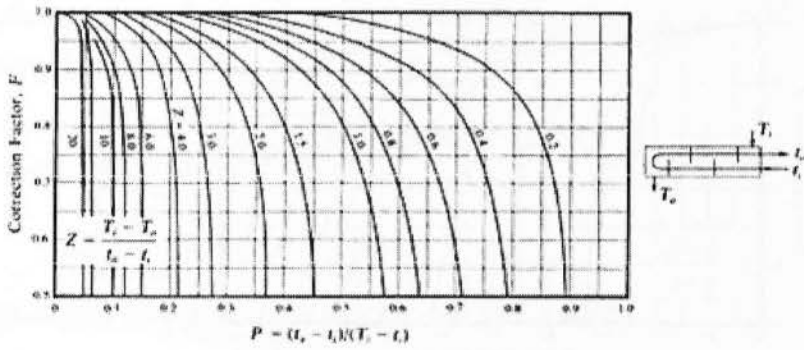
$$P = \frac{T_{t_{out}} - T_{t_{in}}}{T_{s_{in}} - T_{s_{out}}} \quad (3.15)$$

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

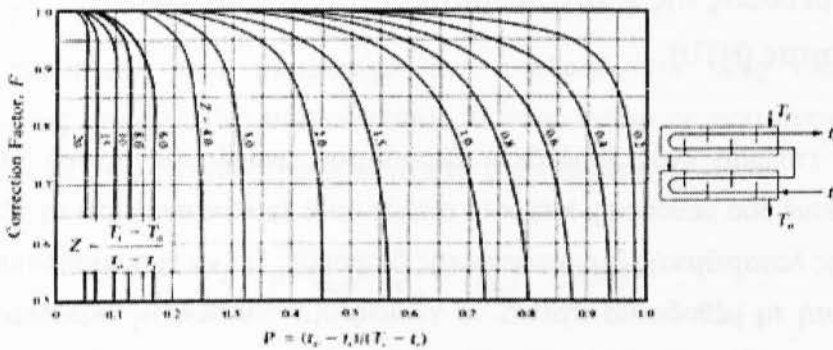
Όπου,

T_s είναι η θερμοκρασία του ρευστού που ρέει στην κυψέλη και

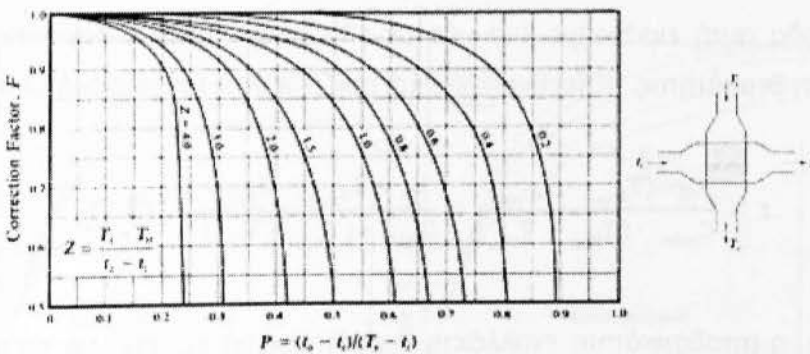
T_t είναι η θερμοκρασία του ρευστού που ρέει στις σωληνώσεις.



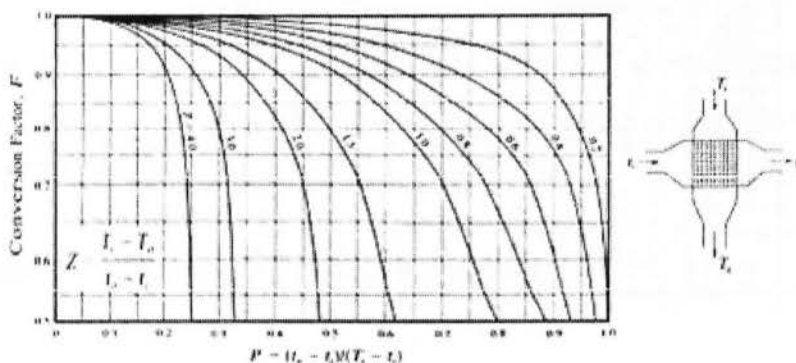
Σχήμα 1.3.3. Εναλλάκτης μιας διαδρομής στο κέλυφος και άρτιου αριθμού διαδρόμων στους σωλήνες



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 ότι 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 [5].

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

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

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 σαν 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 $C_{h,c}$ και $C_{c,h}$

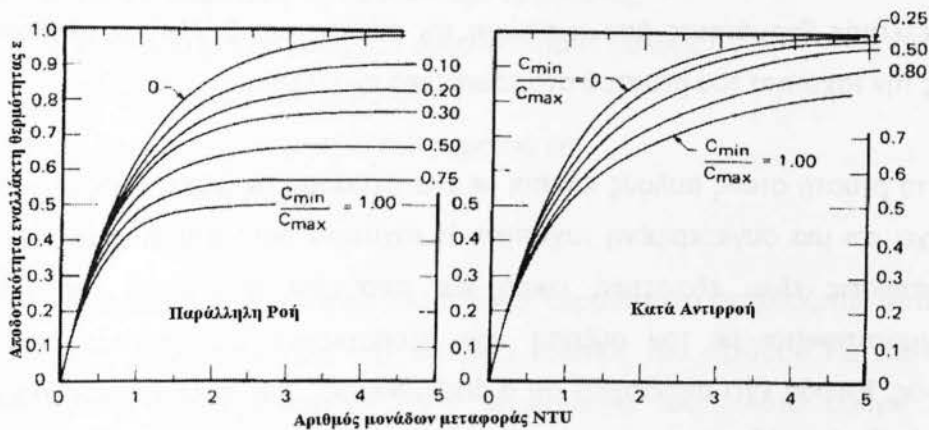
NTU αδιάστατος αριθμός που ονομάζεται αριθμός μονάδων μεταφοράς (Number of Transfer Units) και ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

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

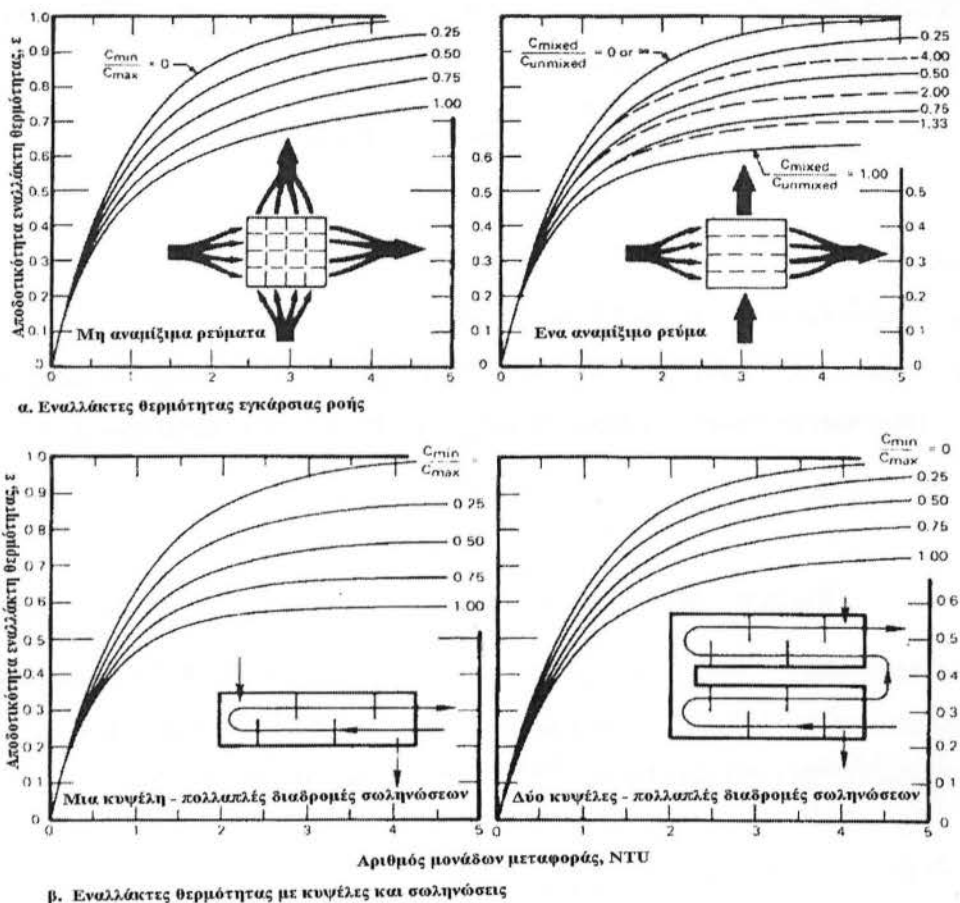
Στην περίπτωση που γνωρίζουμε την αποδοτικότητα ενός εναλλάκτη θερμότητας μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό ενέργειας που πραγματικά μεταφέρεται στον εναλλάκτη θερμότητας από τον παρακάτω τύπο:

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

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται η εξάρτηση της αποδοτικότητας (ε), για διάφορες διατάξεις εναλλακτών θερμότητας, από τα αδιάστατα μεγέθη NTU , $\frac{C_{\min}}{C_{\max}}$ [3].



Σχήμα 1.3.7. Αποδοτικότητα (ε) απλών εναλλακτών θερμότητας.



Σχήμα 1.3.8. Αποδοτικότητα (ϵ) σύνθετων διατάξεων εναλλαγής θερμότητας

Στους εναλλάκτες κελύφους αυλού οι υπολογισμοί για τη μετάδοση θερμότητας στους αυλούς είναι σχετικά απλή διαδικασία αφού η ροή εκεί μπορεί να θεωρηθεί ως η ροή διαμέσω ενός κυκλικού αγωγού. Τόσο ο συντελεστής θερμότητας όσο η πτώση της πίεσης μεταβάλλονται ανάλογα προς την ταχύτητα του ρευστού στο εσωτερικό των αυλών.

Εάν το ρευστό στους αυλούς κινείται με ένα πέρασμα σε όλους τους αυλούς θα έχει και μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Η ταχύτητα αυτή στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εξαιρετικά μικρή και απαιτείται η αύξησή της που πραγματοποιείται με την αύξηση των περασμάτων του ρευστού στους αυλούς. Επειδή έχει αποδειχθεί ότι ο διπλασιασμός των περασμάτων στους αυλούς διπλασιάζει και την ταχύτητα ροής του ρευστού μέσα από αυτούς ο αριθμός των αυλών που χρησιμοποιούνται είναι 1, 2, 4 κτλ.

Επιπλέον ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας h για τους αυλούς του συγκεκριμένου εναλλάκτη, είναι συνάρτηση της διαμέτρου του αυλού, του αριθμού Reynolds (Re) και του αριθμού Prandtl [3]. Κατά συνέπεια ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας επηρεάζεται από τις φυσικές παραμέτρους της ροής όπως το ιξώδες του ρευστού, τη θερμική αγωγιμότητα και την ειδική θερμότητα, τη διάμετρο των αυλών και την ταχύτητα ροής της μάζας του ρευστού.

Τη σημαντικότερη επίδραση στο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας την έχει το ιξώδες του υγρού. Στους πραγματικούς εναλλάκτες κελύφους αυλού η ροή του ρευστού μέσα στους αυλούς θεωρείται τυρβώδης οπότε η μετάδοση της θερμότητας χαρακτηρίζεται από τον αριθμό Nusselt που ορίζεται ως:

$$Nu = 0.027 Re^{0.8} Pr^{0.33} \quad (2.6)$$

από όπου προκύπτει:

$$\frac{hd}{k} = 0.027 \left(\frac{du}{\mu}\right)^{0.8} \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{0.33} \rightarrow h = 0.027 \left(\frac{du}{\mu}\right)^{0.8} \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{0.33} \frac{k}{d} \quad (2.7)$$

Όπου,

h είναι ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για το ρευστό που ρέει στους αυλούς,

d είναι η διάμετρος των αυλών του εναλλάκτη,

u είναι η ταχύτητα ροής του ρευστού στους αυλούς,

μ είναι το ιξώδες του ρευστού,

k η θερμική αγωγιμότητα του ρευστού και

c η ειδική θερμότητα.

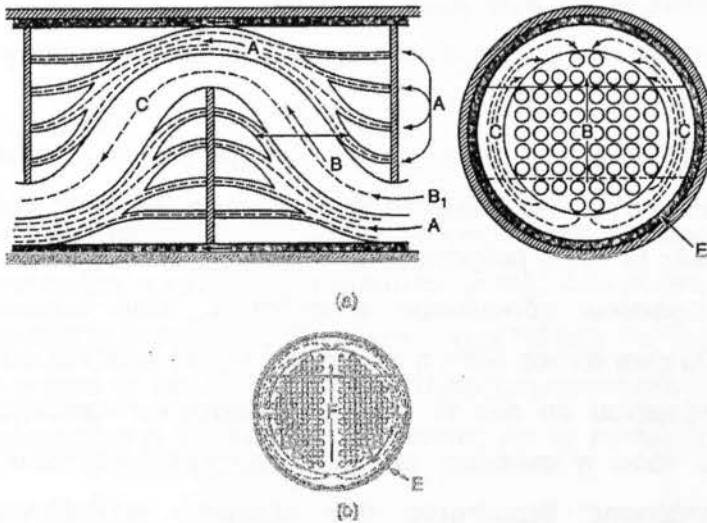
Κατά συνέπεια ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας επηρεάζεται από το ιξώδες και από τη θερμική αγωγιμότητα εξαιτίας του αριθμού Re και του αριθμού Pr που εμπλέκονται στον υπολογισμό τους. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως όσο μεγαλύτερη είναι η θερμική αγωγιμότητα του ρευστού τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας.

Η ταχύτητα του ρευστού επηρεάζει επίσης το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Στην περίπτωση της τυρβώδους ροής ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας στους αυλούς μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα ροής όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.7). Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι η ταχύτητα ροής αυξάνεται και κατά συνέπεια η πτώση πίεσης αυξάνεται με πιο γρήγορους ρυθμούς σε σχέση με το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Κατά συνέπεια θα υπάρχει μια βέλτιστη τιμή για την ταχύτητα του ρευστού πάνω από την οποία δεν θα είναι αναγκαία η περαιτέρω αύξησή της.

Επιπλέον οι πολύ μεγάλες ταχύτητες του ρευστού μπορεί να προκαλέσουν φαινόμενα διάβρωσης, οπότε οι περιορισμοί στην πτώση πίεσης μπορεί να ελέγξουν τη μη δημιουργία αυτών των ταχυτήτων. Γενικά όταν μέσα στους αυλούς ρέει υγρό η ελάχιστη ταχύτητα που απαιτείται είναι 1m/s ενώ η μέγιστη δεν ξεπερνάει τα 3m/s.

Η πτώση πίεσης εξαρτάται από την ταχύτητα και το συνολικό μήκος του ρευστού στους αυλούς, με αποτέλεσμα όταν αυξάνονται οι διελεύσεις του στους αυλούς για συγκεκριμένο αριθμό αυλών και σταθερή ταχύτητα ροής, η πτώση πίεσης να είναι ίση με την τρίτη δύναμη αυτής της αύξησης. Η πτώση της πίεσης μπορεί επίσης να επιτευχθεί με αύξηση του αριθμού αυλών που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα για δεδομένο αριθμό αυλών και δύο διελεύσεις, η πτώση πίεσης είναι μικρότερη από την επιτρεπτή τιμή ενώ αν ο αριθμός των διελεύσεων αυξηθεί η πτώση πίεσης είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπτή τιμή. Στην δεύτερη περίπτωση αν είναι συγκεκριμένος ο αριθμός των αυλών θα πρέπει να προσδιοριστεί χαμηλότερη ταχύτητα ροής. Αν όμως η διάμετρος του αυλού και το μήκος τους μπορεί να μεταβληθεί η επιτρεπόμενη πτώση πίεσης μπορεί να θεωρηθεί ως η μέγιστη και παράλληλα να χρησιμοποιηθεί και μεγαλύτερη ταχύτητα ροής.

Στο κέλυφος δεν υπάρχει μόνο ένα είδος, αλλά υπάρχει ένα κύριο ρεύμα διασταυρούμενης ροής και τέσσερα ρεύματα διαρροής ή παράκαμψης.



Σχήμα 2.7.3: Κατανομή της ροής στο κέλυφος του εναλλάκτη κελύφους- αυλού.

Τα ρεύματα αυτά που φαίνονται στο Σχήμα 2.7.3 είναι:

- Το *Ρεύμα A* που είναι το ρεύμα παράκαμψης που σχηματίζεται στην απόσταση μεταξύ της οπής του αυλού και του τοιχώματός του
- Το *Ρεύμα B* που είναι το κύριο αποτελεσματικό ρεύμα που σχετίζεται με τη ροή κατά μήκος των δεσμών των αυλών
- Το *Ρεύμα C* που είναι ρεύμα παράκαμψης το οποίο σχηματίζεται στο κενό που υπάρχει μεταξύ της δέσμης των αυλών και του τοιχώματος του κελύφους
- Το *Ρεύμα E* που σχηματίζεται μεταξύ της άκρης του ανακλαστήρα και του τοιχώματος του κελύφους και
- Το *Ρεύμα F* που σχηματίζεται στα κανάλια ροής εξαιτίας της έλλειψης αυλών στα περάσματα.

Από τα ρεύματα αυτά η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται αποτελεσματικά στο Ρεύμα B. Στο ρεύμα A είναι επίσης αποτελεσματική η μετάδοση θερμότητας δεδομένου ότι το ρευστό του κελύφους είναι σε επαφή με τους αυλούς. Ομοίως στο ρεύμα C το ρευστό είναι σε επαφή με τα εξωτερικά τοιχώματα της δέσμης των αυλών και στο F είναι σε επαφή με τους αυλούς κατά μήκος των περασμάτων. Παρά το γεγονός πως και σε αυτά τα ρεύματα πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας αυτή είναι λιγότερο αισθητή

σε σχέση με το ρεύμα Β. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο ρεύμα Ε που δεν υπάρχει επαφή του ρευστού με τους αυλούς δεν υπάρχει και μετάδοση θερμότητας.

Οι αναλογίες της συνολικής ροής αυτών των ρευμάτων μπορούν να καθοριστούν υπολογιστικά για δεδομένη γεωμετρία και συνθήκες ροής του κελύφους. Συνήθως τα πέντε ρεύματα είναι παράλληλα και ρέουν κάτω από την επίδραση διαφόρων υδραυλικών αντιστάσεων. Κατά συνέπεια, οι αναλογίες ροής θα είναι τέτοιες, ώστε η πτώση πίεσης στο κάθε ένα από αυτά να είναι ίδια, δεδομένου ότι όλα τα ρεύματα ξεκινάνε και καταλήγουν σε ακροφύσια. Άρα τόσο η συνολική απόδοση του κελύφους, όσο και ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας στο κέλυφος, καθορίζονται ως συνάρτηση της απόδοσης του κάθε ρεύματος.

Η απόδοση του κελύφους ενός εναλλάκτη κελύφους αυλού μπορεί να επηρεαστεί μεταβάλλοντας τα ακόλουθα μεγέθη: α) την απόσταση των ανακλαστήρων, β) τη γωνία τοποθέτησης των αυλών και το βήμα των αυλών, γ) των αριθμό και το πάχος των στρωμάτων που υπάρχουν κατά μήκος της ροής, δ) την απόσταση μεταξύ των αυλών και του κέντρου του ανακλαστήρα και ε) την απόσταση του κελύφους και του ανακλαστήρα.

Η χρήση ανακλαστήρων σε μικρές αποστάσεις προκαλεί αύξηση των ρευμάτων παράκαμψης αφού και τα πέντε ρεύματα είναι παράλληλα και κατά συνέπεια, έχουν την ίδια πτώση πίεσης. Όταν η απόσταση των ανακλαστήρων μειώνεται η αντίσταση στο κύριο ρεύμα και άρα και η πτώση πίεσης αυξάνεται και δεδομένου ότι η πτώση πίεσης πρέπει να είναι ίδια και στα πέντε ρεύματα τα ρεύματα παράκαμψης αυξάνονται προκειμένου να γίνει η εξίσωση της πτώσης πίεσης. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση της πτώσης πίεσης χωρίς όμως συνεπακόλουθη αύξηση του συντελεστή θερμότητας.

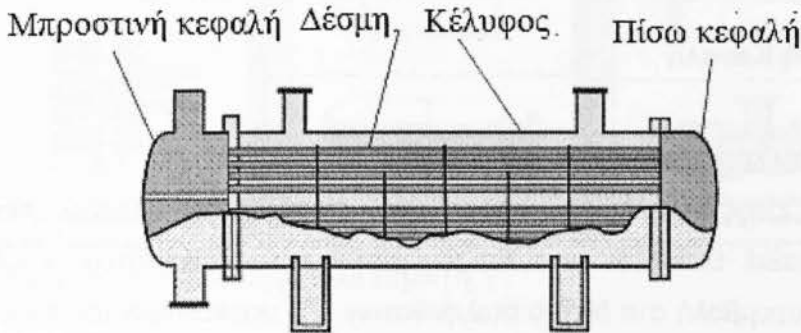
Προφανώς η ανάλυση των ρευμάτων στο κέλυφος του εναλλάκτη επηρεάζεται σημαντικά και από το ιξώδες του ρευστού όπως επίσης και από τη μέση θερμοκρασιακή διαφορά.

Κεφάλαιο 2. Εναλλάκτης Κελύφους Αυλών

2.1 Εισαγωγή

Οι εναλλάκτες θερμότητας (heat exchangers) είναι συσκευές στις οποίες πραγματοποιείται η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών. Στην ουσία ένας εναλλάκτης θερμότητας διευκολύνει τη μετάδοση του θερμικού ρευστού από ένα ρευστό σε ένα άλλο. Στα διυλιστήρια χρησιμοποιούνται συνήθως δύο είδη εναλλακτών: οι πλακοειδής εναλλάκτες και οι εναλλάκτες κελύφους – αυλού.

Από τους πιο διαδεδομένους τύπους εναλλακτών θερμότητας είναι οι εναλλάκτες κελύφους αυλού που παρέχουν την ευκολία λειτουργίας τους σε ένα μεγάλο εύρος πιέσεων και θερμοκρασιών. Οι εναλλάκτες κελύφους αυλού διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: αυτοί που χρησιμοποιούνται στην πετροχημική βιομηχανία όπως για παράδειγμα στα διυλιστήρια και σε αυτούς για την παραγωγή ισχύος στη βιομηχανία ως θερμαντήρες νερού ή ως συμπυκνωτές.



Σχήμα 2.1.1: Τυπική μορφή εναλλάκτη κελύφους - αυλών

Ένας εναλλάκτης κελύφους-αυλού αποτελείται από ένα πλήθος σωλήνων που τοποθετούνται στο εσωτερικό ενός κυλινδρικού κελύφους.

Η μπροστινή κεφαλή του εναλλάκτη είναι το τμήμα εκείνο στο οποίο εισέρχεται το ρευστό στο εσωτερικό των σωλήνων ενώ η πίσω κεφαλή είναι

το σημείο μέσω του οποίου το ρευστό εγκαταλείπει τον εναλλάκτη. Η δέσμη των σωλήνων αποτελείται από σωλήνες, δέσμες αυλών, ανακλαστήρες και ράβδους που συγκρατούν τη δέσμη. Η δέσμη των σωλήνων περιέχεται στο εσωτερικό του κελύφους.

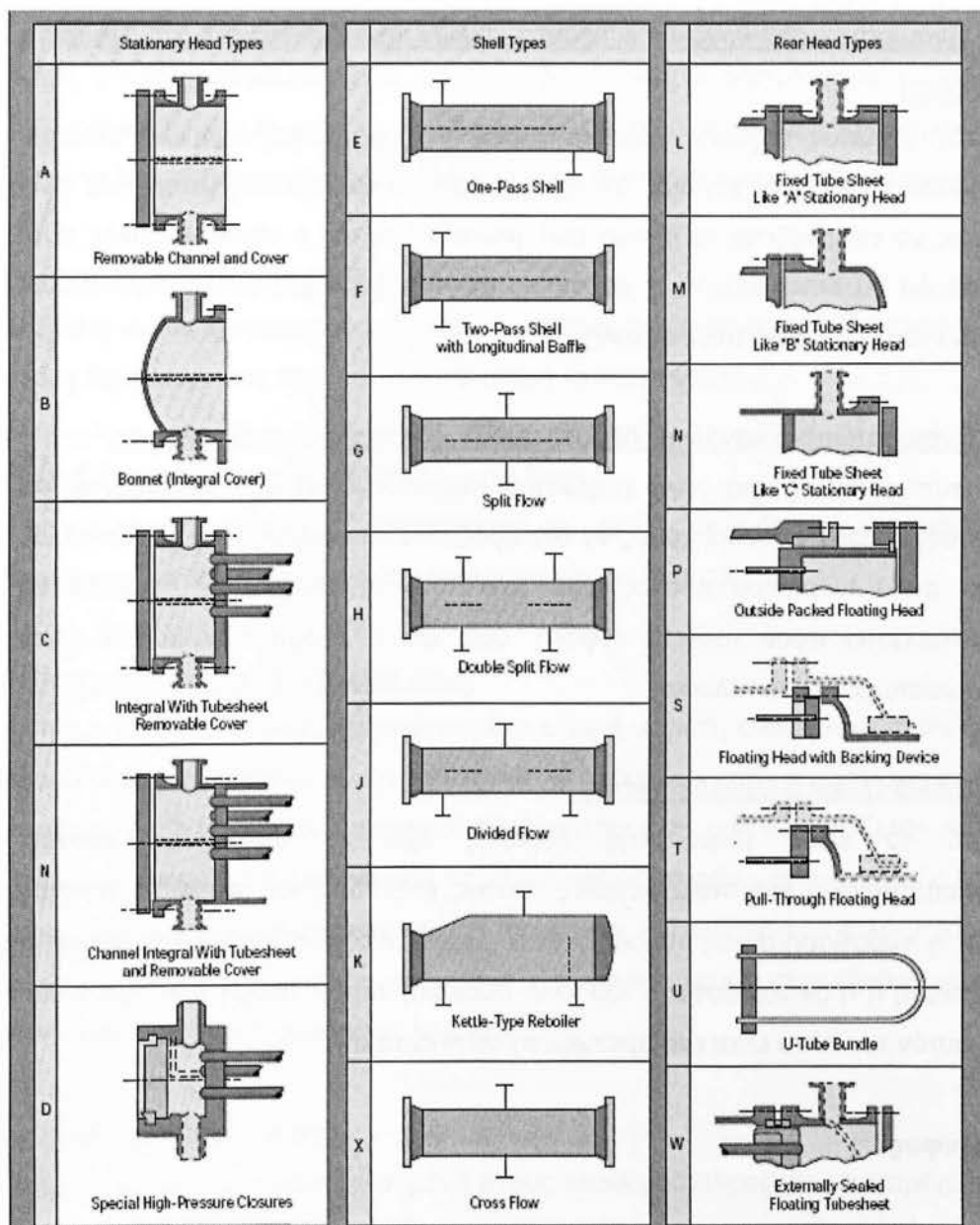
Ανεξάρτητα από τη βιομηχανία στην οποία χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένοι εναλλάκτες παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά. Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται στην πετροχημική βιομηχανία ικανοποιούν τις προδιαγραφές του Συνδέσμου Κατασκευαστών Κυλινδρικών Εναλλακτών (Tubular Exchanger Manufacturer Association, TEMA). Ενδεικτικά παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1.2, τα είδη εναλλακτών που έχουν τυποποιηθεί από την TEMA.

Το γεγονός ότι οι εναλλάκτες κελύφους αυλού χρησιμοποιούνται ευρέως, οδήγησαν την TEMA να δημιουργήσει ένα πρότυπο ονοματολογίας για το σχεδιασμό τους. Το πρότυπο αυτό αποτελείται από γράμματα και νούμερα καθώς και διαγράμματα. Το πρώτο γράμμα περιγράφει τον τύπο της μπροστινής κεφαλής, το δεύτερο τον τύπο του κελύφους και το τρίτο τον τύπο της πίσω κεφαλής.

Μπροστινή Κεφαλή

A: Με κανάλι και αποσπώμενο κάλυμμα.

Αυτό το είδος εναλλάκτη μπορεί να επισκευαστεί εύκολα και να αντικατασταθεί. Επιπλέον οι αυλοί του μπορούν να καθαριστούν χωρίς να υπάρχει παρεμβολή στο δίκτυο σωληνώσεων. Το μειονέκτημα του είναι πως έχει δύο στεγανές περιοχές (seals) μία ανάμεσα στην δέσμη των αυλών και την κεφαλή και η άλλη ανάμεσα στην κεφαλή και την κάτω πλάκα, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο διαρροής καθώς και το κόστος της κεφαλής σε σχέση με τον τύπο B.



Σχήμα 2.1.2: Ονοματολογία κατά TEMA [7].

B: Κάλυμμα (bonnet).

Αυτός είναι ο πιο φθηνός τύπος μπροστινής κεφαλής. Χρησιμοποιείται περισσότερο σε σχέση με τον τύπο A επειδή έχει μια μόνο στεγανοποίηση. Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι κατά την απομάκρυνση της κεφαλής από τον εναλλάκτη επηρεάζεται και το δίκτυο σωληνώσεων.

C: Ενσωματωμένο κανάλι με δέσμες αυλών (tubesheet) και αποσπώμενο κάλυμμα.

Αυτός ο τύπος κεφαλής χρησιμοποιείται για εφαρμογές υψηλών πιέσεων (>100bar). Παρά το γεγονός ότι η πρόσβαση στους αυλούς μπορεί να γίνει χωρίς να επηρεάζεται το δίκτυο σωληνώσεων, αυτός ο τύπος κεφαλής είναι δύσκολο να επισκευαστεί ή να αντικατασταθεί επειδή η δέσμη των αυλών είναι ενσωματωμένη στην κεφαλή.

N: Ενσωματωμένο κανάλι με δέσμες αυλών και αποσπώμενο κάλυμμα.

Ο τύπος αυτός για την μπροστινή κεφαλή δίνει τη δυνατότητα να προσεγγιστούν οι αυλοί χωρίς να διαταράζονται οι σωληνώσεις και επιπλέον έχει πολύ μικρότερο κόστος από τον τύπο A, αλλά είναι δύσκολο να επισκευαστεί αφού τόσο η κεφαλή, όσο και η δέσμη των αυλών, είναι ενσωματωμένα στο κέλυφος.

D: Ειδικό κλείσιμο υψηλής πίεσης.

Αυτό το είδος μπροστινής κεφαλής έχει το υψηλότερο κόστος. Χρησιμοποιείται για πολύ μεγάλες πιέσεις (>150bar) και παρά το γεγονός πως η πρόσβαση στους αυλούς δεν επηρεάζει το δίκτυο των σωληνώσεων, η επισκευή ή η αντικατάστασή του είναι δύσκολη γιατί η δέσμη των αυλών και σε αυτόν τον τύπο είναι ενσωματωμένη στην κεφαλή.

Κελύφος

Οι τύποι κελύφους κατά TEMA μπορεί να είναι τύπου E, F, G, H, J, X, K.

E: Κέλυφος ενός περάσματος.

Αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος κελύφους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες εφαρμογές. Οι υπόλοιποι τύποι κελύφων χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές.

F: Κέλυφος δύο περασμάτων με μεγάλο μήκους ανακλαστήρα.

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται στις μονάδες διπλού περάσματος με καθαρή ροή αντιρροής. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί σε κελύφη διπλού περάσματος όπου τα δύο περάσματα χωρίζονται από έναν ανακλαστήρα μεγάλου μήκους.

G: διαχωρισμένης ροής (split flow).

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για τους οριζόντιους αναθερμαντήρες στους θερμοσίφωνες όπου απαιτείται μικρή πτώση πίεσης.

H: ροή διπλού διαχωρισμού (double split flow).

Αυτός ο τύπος κελύφους χρησιμοποιείται σε μεγάλες μονάδες και εφαρμογές παρόμοιες με αυτές στις οποίες χρησιμοποιείται ο G τύπος.

J: διαχωρισμένης ροής (divided flow).

Αυτός ο τύπος κελύφους χρησιμοποιείται όταν η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στο κέλυφος υπερβαίνει αυτήν του τύπου E ακόμα και στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται διπλοί τμηματικοί ανακλαστήρες. Η ροή διαχωρίζεται στην πλευρά του κελύφους μειώνοντας τις ταχύτητες ροής πάνω στους αυλούς και κατά συνέπεια μειώνοντας την πτώση πίεσης και την πιθανότητα ταλάντωσης του αυλού. Όταν στην είσοδο υπάρχουν δύο ακροφύσια και στην έξοδο ένα, ο συγκεκριμένος τύπος κελύφους λέγεται I.

K: Αναθερμαντήρας νερού.

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται μόνο στους αναθερμαντήρες για να παρέχουν μεγάλο χώρο αποχώρησης ώστε να περιορίζεται η μεταφορά υγρού στην πλευρά του κελύφους. Αυτός ο τύπος κελύφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ψύκτης όπου ψύχει το ρευστό στους αυλούς, θερμαίνοντας ένα ρευστό στην πλευρά του κελύφους.

X: Διασταυρούμενης ροής.

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται όταν η πτώση πίεσης σε κάθε άλλο κέλυφος και συνδυασμό ανακλαστήρων ξεπερνάει την επιτρεπόμενη τιμή.

Πίσω Κεφαλές

Τέλος οι πίσω κεφαλές του εναλλάκτη μπορεί να είναι τύπου L, M, N, P, S, T, U, W.

L: Με σταθερές δέσμες αυλών όπως και η μπροστινή κεφαλή.

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται μόνο με σταθερές δέσμες αυλών που είναι συγκολλημένες πάνω στο κέλυφος. Σε αυτό το είδος κεφαλών δεν είναι δυνατόν να υπάρξει πρόσβαση στο εξωτερικό μέρος των σωληνών. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι μπορεί να προσεγγιστεί το εσωτερικό των αυλών χωρίς να μετακινηθούν οι σωληνώσεις. Το μειονέκτημά του είναι πως απαιτείται φυσητήρας στην περίπτωση μεγάλων θερμικών διαστολών που περιορίζει το εύρος της επιτρεπόμενης θερμοκρασίας και πίεσης.

M: Σταθερές σωληνώσεις όπως η τύπου B μπροστινή κεφαλή.

Αυτός ο τύπος είναι παρόμοιος με τον L, αλλά έχει μικρότερο κόστος ενώ απαιτείται η μετακίνηση της συγκεκριμένης κεφαλής για να προσεγγιστεί το εσωτερικό των αυλών.

N: Σταθερές σωληνώσεις όπως η τύπου N μπροστινή κεφαλή.

Σε αυτόν τον τύπο οι αυλοί προσεγγίζονται χωρίς να επηρεάζονται οι σωληνώσεις. Παρόλα αυτά η επισκευή και αντικατάστασή της είναι δύσκολη γιατί τόσο η κεφαλή, όσο και η δέσμη των αυλών, είναι ενσωματωμένα στο κέλυφος.

P: Εξωτερικά μετέωρη κεφαλή (outside floating head).

Αυτή είναι μια εξωτερικά μετέωρη πίσω κεφαλή που θεωρητικά έχει μικρό κόστος και επιτρέπει την πρόσβαση στο εσωτερικό των αυλών. Ένα από τα βασικά μειονεκτήματά της είναι ότι η χρήση της περιορίζεται σε χαμηλής πίεσης μη τοξικά ρευστά εξαιτίας της πιθανότητας διαρροών και επιτρέπεται πολύ μικρή θερμική διαστολή.

S: Μετέωρη κεφαλή με μηχανισμό υποστήριξης (backing device).

Αυτός ο τύπος κεφαλής έχει το μεγαλύτερο κόστος από τις υπόλοιπες αποσπώμενες κεφαλές αλλά επιτρέπει τη μετακίνηση της δέσμης και δεν περιορίζει τη θερμική διαστολή. Το κέλυφος είναι πολύ μικρότερο σε αυτόν τον τύπο.

T: Επιτυχώς μετέωρη κεφαλή (pull through floating head).

Η κεφαλή αυτή έχει το μικρότερο κόστος και είναι πιο εύκολη η αντικατάσταση της δέσμης των αυλών σε σχέση με την S κεφαλή και επιπλέον δεν θέτει περιορισμούς για την θερμική διαστολή.

U: Δέσμη σωλήνων τύπου U.

Από όλους τους σχεδιασμούς αποσπώμενων αυλών αυτός ο τύπος είναι ο φθηνότερος, αλλά έχει μεγαλύτερο κόστος από τις κεφαλές με σταθερούς αυλούς σε εφαρμογές χαμηλών πιέσεων. Το πλεονέκτημα της εντοπίζεται στον απλό σχεδιασμό της και στο ότι επιτρέπει χωρίς όρια τη θερμική διαστολή.

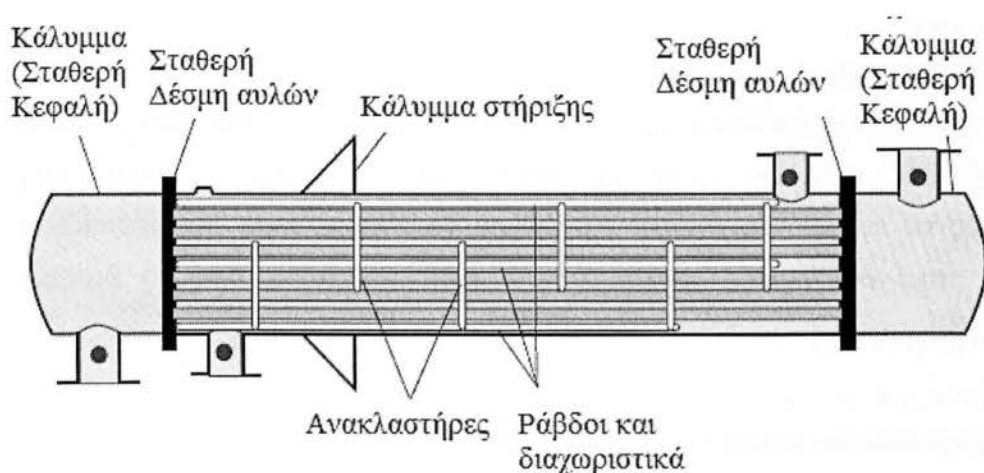
W: Εξωτερικά σφραγισμένη μετέωρη δέσμη αυλών.

Αυτή η πίσω κεφαλή έχει σφραγισμένη μετέωρη δέσμη αυλών με δακτύλιο. Από τους σχεδιασμούς αυτού του είδους κεφαλής είναι ο πιο φθηνός τύπος και επιτρέπει την χωρίς όρια θερμική διαστολή αλλά θέτει περιορισμό στα μη τοξικά ρευστά για λειτουργία σε χαμηλές πιέσεις. Επιπλέον, αν υπάρχει διαρροή στο συγκεκριμένο τύπο κεφαλής, μπορεί να υπάρχει ανάμιξη των ρευστών του αυλού και του κελύφους.

Κατά συνέπεια οι εναλλάκτες κελύφους - αυλού θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με την μορφή κατασκευής τους δηλαδή: με σταθερή δέσμη αυλών, οι μορφής U και οι εναλλάκτες με μετέωρη κεφαλή.

2.2 Εναλλάκτης κεφαλής αυλού σταθερής δέσμης αυλών

Ο εναλλάκτης σταθερής δέσμης αυλών έχει ευθύγραμμους αυλούς που είναι στερεώνονται στο κέλυφος με συγκόλληση. Η κατασκευή τους μπορεί να έχει μετακινούμενα καλύμματα καναλιού ή ενσωματωμένες δέσμες αυλών. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι το χαμηλό τους κόστος που είναι αποτέλεσμα της απλής κατασκευής τους. Άλλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εναλλάκτη είναι ότι είναι μικρή η πιθανότητα διαρροής τους ρευστού στο κέλυφος αφού δεν υπάρχουν αρθρωτές φλάντζες.



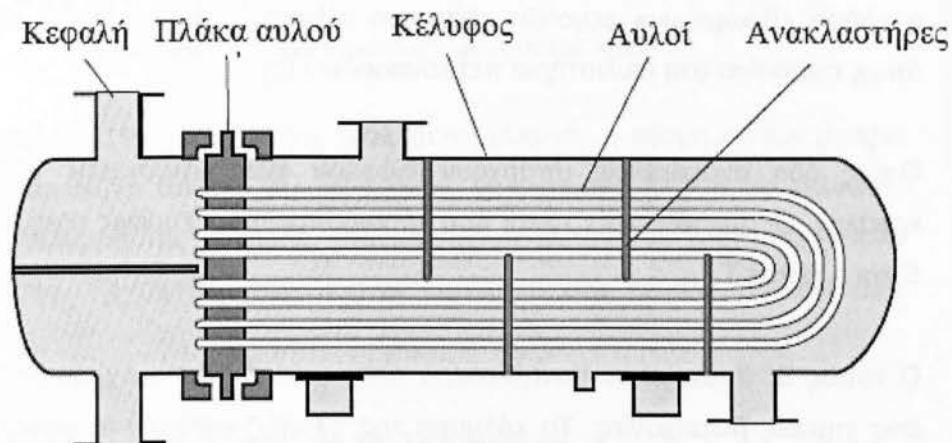
Σχήμα 2.2.1: Εναλλάκτης κελύφους-αυλού σταθερής δέσμης αυλών

Το βασικό τους μειονέκτημα ότι δεδομένου ότι η δέσμη είναι στερεωμένη πάνω στο κέλυφος και δεν μπορεί να μετακινηθεί το εξωτερικό μέρος των αυλών δεν μπορεί να καθαριστεί για αυτό και οι συγκεκριμένοι εναλλάκτες περιορίζονται για χρήσεις με ρευστά στην μεριά του κελύφους που δεν προκαλούν μολύνσεις.

Στην περίπτωση μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας ανάμεσα στους αυλούς και στο κέλυφος οι δέσμες των αυλών δεν μπορούν να απορροφήσουν τις αναπτυσσόμενες τάσεις γεγονός που καθιστά απαραίτητη την χρήση αρμών διαστολής. Αυτό όμως αυξάνει το κόστος κατασκευής τους.

2.3 Εναλλάκτες κελύφους – αυλού μορφής U

Όπως υποδηλώνει και το όνομα του, αυτός ο εναλλάκτης έχει αυλούς σχήματος U. Στον συγκεκριμένο εναλλάκτη υπάρχει μια μόνο δέσμη αυλών αλλά το κόστος του είναι συγκρίσιμο με αυτό των εναλλακτών σταθερής δέσμης αυλών, εξαιτίας της μεγαλύτερης διαμέτρου του κελύφους που απαιτείται για να καλύψει το U σχήμα των αυλών.



Σχήμα 2.3.1: Εναλλάκτης θερμότητας σχήματος U

Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εναλλάκτη είναι ότι επειδή το ένα άκρο του είναι ελεύθερο η δέσμη μπορεί να διαστέλλεται ή να συστέλλεται σε αναλογία με τις διαφορετικές αναπτυσσόμενες τάσεις.

Από άποψη συντήρησης στο συγκεκριμένο εναλλάκτη είναι δυνατό το καθάρισμα του εξωτερικού μέρους των αυλών αφού είναι δυνατόν να βγει η δέσμη των αυλών. Ο περιορισμός των ρευστών υπάρχει για το εσωτερικό των αυλών στο οποίο πρέπει να εισέρχονται «καθαρά» ρευστά αφού δεν είναι δυνατό το καθάρισμα του εσωτερικού τμήματος.

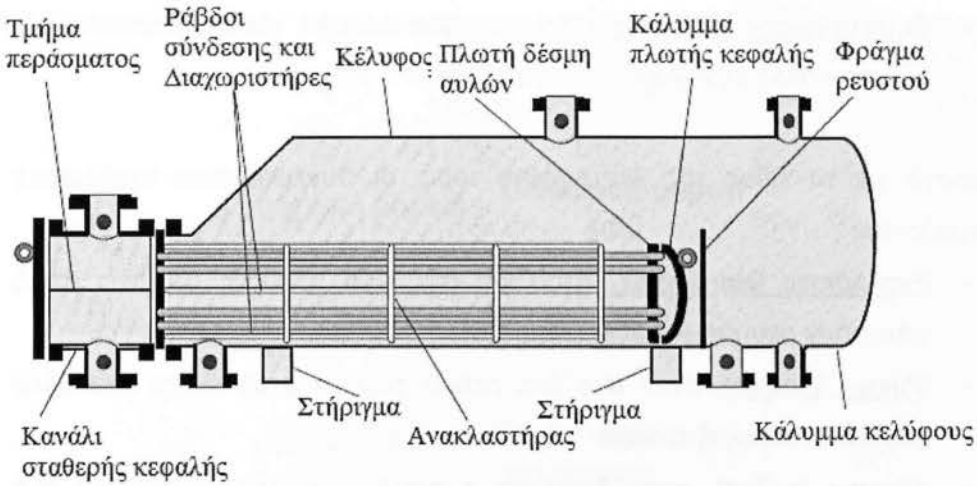
2.4 Εναλλάκτες κελύφους – αυλού μετέωρης (floating) κεφαλής

Οι εναλλάκτες αποσπώμενης κεφαλής αποτελούν το πιο ευέλικτο είδος εναλλακτών θερμότητας και επίσης το πιο φθινό. Στον συγκεκριμένο τύπο μια δέσμη αυλών στερεώνεται σε σχέση με το κέλυφος ενώ η άλλη είναι ελεύθερη να «επιπλέει» μέσα στο κέλυφος. Αυτό επιτρέπει την ελεύθερη διαστολή της δέσμης των αυλών όπως επίσης και το εσωτερικό και εξωτερικό τους καθάρισμα. Κατά συνέπεια στους συγκεκριμένους εναλλάκτες είναι δυνατή και η χρήση «βρώμικων» ρευστών τόσο στο κέλυφος, όσο και στους αυλούς, όπως συμβαίνει στα διυλιστήρια πετρελαιοειδών [8].

Όπως ήδη αναφέρθηκε υπάρχουν διάφορα είδη κατασκευής μετέωρης κεφαλής. Οι συνηθέστεροι τύποι που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι ο τύπος S και ο τύπος T.

Ο τύπος S, αποτελεί το συνηθέστερο τύπο εναλλάκτη που χρησιμοποιείται στις χημικές βιομηχανίες. Το κάλυμμα της πλωτής κεφαλής ασφαρίζεται σε σχέση με τη δέσμη των σωλήνων με κοχλιοσύνδεση που πραγματοποιείται σε έναν υποστηρικτικό δακτύλιο.

Στον τύπο T, η εσωτερική δέσμη αυλών μαζί με τη συνδεσμολογία της κεφαλής μπορεί να απομακρυνθεί από το σταθερό άκρο του εναλλάκτη, ενώ η διάμετρος του κελύφους είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο της φλάντζας της πλωτής κεφαλής. Σε αυτόν τον τύπο δεν είναι απαραίτητος ο υποστηρικτικός δακτύλιος, αφού η κεφαλή συνδέεται απευθείας πάνω στην πλωτή δέσμη αυλών.



Σχήμα 2.4.1: Εναλλάκτης κελύφους-αυλού τύπου T

Το πλεονέκτημα σε αυτούς τους εναλλάκτες είναι ότι η δέσμη αυλών μπορεί να απομακρύνεται από το κέλυφος χωρίς να μετακινείται ούτε το κέλυφος, ούτε το κάλυμμα της κεφαλής, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το χρόνο συντήρησης. Το υψηλό τους κόστος οφείλεται στο μεγάλο μέγεθος του κελύφους.

2.5 Ταξινόμηση ανάλογα με τη λειτουργία

Η λειτουργία του συγκεκριμένου εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να είναι μιας φάσης ή δύο φάσεων. Με δεδομένο ότι σε έναν εναλλάκτη κελύφους αυλού υπάρχουν δύο πλευρές λειτουργίας, μπορεί να υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί λειτουργιών.

Ανάλογα με το είδος της λειτουργίας τους οι εναλλάκτες κελύφους – αυλού ταξινομούνται σε εναλλάκτες:

- Απλής φάσης όπου η μονή φάση είναι και στην πλευρά του αυλού και στην πλευρά του κελύφους.
- Συμπύκνωσης, όπου η μία πλευρά λειτουργεί ως συμπυκνωτής και η άλλη είναι απλή φάση.
- Εξάτμισης όπου στη μια πλευρά γίνεται εξάτμιση και η άλλη είναι μονής φάσης.

- Συμπύκνωσης/εξάτμισης όπου στη μία πλευρά γίνεται συμπύκνωση και στην άλλη εξάτμιση.

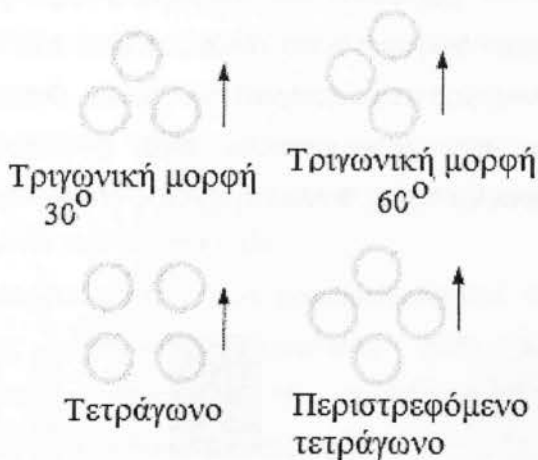
Ανάλογα με το είδος της λειτουργίας τους, οι συγκεκριμένοι εναλλάκτες ονομάζονται:

- Εναλλάκτες θερμότητας, όταν και στις δυο πλευρές υπάρχει απλή φάση των ρευμάτων διεργασίας.
- Ψύκτες (cooler), όταν στο ένα ρεύμα ρέει το ρευστό και στο άλλο ψύχεται ο αέρας ή το νερό.
- Ψύκτης (chiller), ονομάζεται και ο εναλλάκτης στον οποίο στο ένα ρεύμα συμπυκνώνεται το ρευστό σε ημιατμοσφαιρική θερμοκρασία και στο άλλο ρέει ένα θερμαινόμενο αντιψυκτικό.
- Θερμαντήρες, όταν στο ένα ρεύμα ρέει το ρευστό και στο άλλο ένα θερμό μέσο όπως ζεστό έλαιο.
- Συμπυκνωτής, όταν το ένα ρεύμα είναι συμπυκνωμένος ατμός και στο άλλο ψύχεται αέρας ή το νερό.
- Αναθερμαντήρας, όταν το ένα ρεύμα είναι στον πυθμένα και προέρχεται από στήλη κλασματικής απόσταξης και το άλλο ρεύμα είναι ένα θερμαινόμενο ρευστό, που μπορεί να είναι ατμός ή κάποιο θερμαινόμενο έλαιο.

2.6 Βασικά στοιχεία του εναλλάκτη

Παρά το γεγονός του μεγάλου πλήθους σχεδιασμού των εναλλακτών κελύφους αυλού τα βασικά στοιχεία που περιέχουν αυτοί οι εναλλάκτες είναι περιορισμένα.

Το βασικό στοιχείο αυτών των εναλλακτών είναι οι αυλοί που δημιουργούν την επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας ανάμεσα σε ένα ρευστό που ρέει στο εσωτερικό τους και ένα ρευστό που ρέει κατά μήκος της εξωτερικής τους επιφάνειας. Στους εναλλάκτες κελύφους αυλού, οι αυλοί που συνήθως χρησιμοποιούνται έχουν συνήθως διάμετρο 19.05 ή 25.4 mm και διευθετούνται στις δέσμες σε τριγωνική ή τετραγωνική μορφή.



Σχήμα 2.6.1: Επίπεδα διεύθεσης αυλών

Το πλεονέκτημα της τριγωνικής διεύθεσης είναι ότι επιτρέπει την τοποθέτηση περισσότερων αυλών σε έναν δεδομένο χώρο. Το βήμα των αυλών είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ των κέντρων των αυλών, ενώ η απόσταση των αυλών ορίζεται από το λόγο του βήματος προς τη διάμετρο των αυλών και συνήθως είναι ίση με 1.25 ή 1.33.

Το κέλυφος είναι στην ουσία ο κορμός του εναλλάκτη που περιέχει το ρευστό και τους αυλούς καθώς και τα υπόλοιπα στοιχεία του εναλλάκτη, όπως τους ανακλαστήρες. Το κέλυφος έχει συνήθως κυλινδρική διατομή και στην είσοδο και την έξοδό του έχει ακροφύσια. Το ακροφύσιο της εισόδου έχει συνήθως μια πλάκα πρόσκρουσης, που βοηθάει το ρευστό να πέφτει με δύναμη πάνω στην επιφάνεια των αυλών.

Τα κανάλια ροής και τα ακροφύσια που υπάρχουν στους αυλούς ελέγχουν την ροή του ρευστού στο εσωτερικό τους και στο εξωτερικό τους. Τα καλύμματα των καναλιών είναι κυκλικές πλάκες που κοχλιώνονται στις φλάντζες και μπορεί να μετακινείται για την επιθεώρηση των αυλών.

Οι ανακλαστήρες τοποθετούνται στο κέλυφος του εναλλάκτη προκειμένου να αυξήσουν το ρυθμό μετάδοσης θερμότητας και παράλληλα στηρίζουν τους

αυλούς προκειμένου να μειώσουν την πιθανότητα ζημιάς τους εξαιτίας ταλαντώσεων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων που στηρίζουν τους αυλούς και προωθούν τη ροή στο εσωτερικό των αυλών. Ο πιο συνηθισμένος τύπος ανακλαστήρων που χρησιμοποιείται είναι ο ενιαίος, ενώ συχνά συναντώνται και οι ανακλαστήρες διπλού τμήματος καθώς και οι δακτυλιοειδής και δακτυλιοειδείς.



Σχήμα 2.6.2: Τύποι ανακλαστήρων στους εναλλάκτες κελύφους - αυλού

Το βήμα των ανακλαστήρων είναι η απόσταση των κέντρων του και μπορεί να μεταβληθεί με τη μεταβολή της ταχύτητας της διασταυρούμενης ροής. Πρακτικά το βήμα του ανακλαστήρα δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από την εσωτερική διάμετρο του κελύφους ή το ένα πέμπτο της διαμέτρου του, ανάλογα με το πια απόσταση έχει μεγαλύτερη τιμή.

Εκτός από τους ανακλαστήρες στους συγκεκριμένους εναλλάκτες, χρησιμοποιούνται και συσκευές ενίσχυσης της μετάδοσης θερμότητας που διακρίνονται σε:

- Επίπεδες επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του βρασμού όταν η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μικρή.
- Ένθετα στους αυλούς. Αυτά συνήθως είναι ένθετα σύρματα ή ταινίες και χρησιμοποιούνται όταν το ρευστό στον εναλλάκτη έχει μεσαίο ή υψηλό ιξώδες. Η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η τύρβη

στη ροή και με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η μετάδοση θερμότητας. Προκειμένου η χρήση τους να είναι πιο αποτελεσματική θα πρέπει κατά το σχεδιασμό να θεωρείται μεγαλύτερη διάμετρος κελύφους και μικρότερο μήκος αυλών καθώς και λιγότερα περάσματα αυλών προκειμένου να καλυφθούν τα χαρακτηριστικά των υψηλών απωλειών πίεσης αυτών των μηχανισμών.

- Εκτεταμένες επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της επιφάνειας μετάδοσης θερμότητας στην περίπτωση μικρών συντελεστών μετάδοσης. Ο πιο συνηθισμένος τύπος αυτών των επιφανειών είναι οι αυλοί με πτερύγια.

Κεφάλαιο 3. Έλεγχος και συντήρηση εναλλάκτη

3.1 Εισαγωγή

Ένας εναλλάκτης θερμότητας κελύφους αυλών περιέχει πολλές εκατοντάδες αυλούς οι οποίοι κατά τη λειτουργία τους μπορούν να υποστούν τόσο μηχανική καταπόνηση όσο και χημική διάβρωση. Η διάβρωση του εναλλάκτη είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού μπορεί να προκαλέσει διαρροές στον υπόλοιπο εξοπλισμό. Οι διαρροές μπορεί να προκαλέσουν διακοπή της παραγωγής του ψυχρού νερού, αλλά και την πρόκληση ζημιών στο συμπιεστή και στα εσωτερικά στοιχεία του εναλλάκτη θερμότητας, με αποτέλεσμα να διακόπτεται η λειτουργία του συστήματος.

Κατά συνέπεια, η κατάσταση των αυλών είναι κρίσιμης σημασίας για την απόδοση του ψυκτικού συγκροτήματος, ωστόσο οι αυλοί δεν ελέγχονται κατά την τυπική συντήρηση. Στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφεται η διαδικασία ελέγχου και συντήρησης για εναλλάκτη θερμότητας κελύφους αυλού που χρησιμοποιούνται στα διυλιστήρια. Η περιγραφή γίνεται βάση της διαδικασίας που ακολουθείται στην εταιρεία των Ελληνικών Πετρελαίων.

3.2 Διαδικασία ελέγχου του εναλλάκτη

Ο έλεγχος και η συντήρηση του εναλλάκτη είναι μια πολυβηματική διαδικασία που το κάθε στάδιο απαιτεί έμπειρο προσωπικό και συγκεκριμένες ενέργειες. Αρχικά πραγματοποιείται η απομόνωση των εναλλακτών από την παραγωγική διαδικασία, είτε πρόκειται για έλεγχο, είτε για συντήρηση εναλλακτών. Στη συνέχεια και στις δυο περιπτώσεις αφαιρείται και επανατοποθετείται η μόνωση του εναλλάκτη. Αφού αφαιρεθεί η μόνωση, εξαρμώνεται ο εναλλάκτης. Κατά τη διαδικασία αυτή, οι αυλοί αποσυνδέονται και απομακρύνονται από το κέλυφος του εναλλάκτη. Το επόμενο βήμα είναι η πραγματοποίηση των υδραυλικών δοκιμών στον εναλλάκτη. Κατά τις υδραυλικές δοκιμές υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) να είναι γνωστή η ύπαρξη

της διαρροής και β) να μην είναι γνωστή η ύπαρξη της διαρροής. Στην περίπτωση της ανίχνευσης διαρροής ή βλάβης πραγματοποιείται η επισκευή του εναλλάκτη και η αποκατάστασή του. Επιπλέον, πραγματοποιείται ο χημικός καθαρισμός με ειδικά υγρά, προκειμένου να απομακρυνθούν τα άλατα που μειώνουν την απόδοσή του.

3.3 Διαδικασία συντήρησης του εναλλάκτη

Η διαδικασία συντήρησης του εναλλάκτη είναι μια διαδικασία η οποία περιγράφεται παρακάτω και γίνεται γιατί μετά από κάποια χρονική περίοδο, η απόδοση του εναλλάκτη λόγω των επικαθήσεων κυρίως που προκαλούν μια προσθετή αντίσταση αλλά και διαρροών που μπορεί να υπάρχουν μειώνεται.

3.4 Περιγραφή διαδικασιών

Στην παράγραφο αυτή, περιγράφονται οι διαδικασίες που αφορούν τις διαδικασίες συντήρησης των εναλλακτών θερμότητας. Συγκεκριμένα περιγράφονται οι εξής διαδικασίες

- Απομόνωσης των εναλλακτών,
- Αφαίρεσης και επανατοποθέτησης της μόνωσης του εναλλάκτη,
- Μεταφοράς της αυλοφόρου δέσμης στο χώρο καθαρισμού και επιστροφής στη μονάδα,
- Καθαρισμού των υπόλοιπων τμημάτων του εναλλάκτη μετά την εξαγωγή της δέσμης,
- Διαδικασίας των υδραυλικών δοκιμών,
- Επανατοποθέτησης της αυλοφόρου δέσμης και συναρμολόγησης του εναλλάκτη.

3.4.1 Απομόνωση εναλλακτών

Για να πραγματοποιηθεί η απομόνωση των εναλλακτών θα πρέπει σε πρώτη φάση να σφραγιστούν (“τυφλωθούν”) όλα τα στόμια και στο κέλυφος και στο κανάλι, καθώς και οι σωληνώσεις που οδηγούν σε αυτά τα στόμια σε κάθε εναλλάκτη. Οι σωληνώσεις των στομιών αναφέρονται τόσο στη φλάντζα που

συνδέεται στο κάθε στόμιο ή/και σε προηγούμενη από αυτή φλάντζα. Το “τύφλωμα” των στομιών πραγματοποιείται από έμπειρο προσωπικό που την επιβλέπει, προκειμένου να αποφευχθούν διαρροές αερίων στο χώρο των εργασιών από τις αντίστοιχες τυφλές φλάντζες, αλλά και για να προετοιμάσει τις υδραυλικές δοκιμές. Η διαρροή των αερίων είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (διάμετρος, σχήμα) των υφιστάμενων φλαντζών.

Η εργασία της απομόνωσης ακολουθεί συνήθως την παρακάτω διαδικασία εργασιών:

1. Προμηθεύονται οι τυφλές φλάντζες και μεταφέρονται στο χώρο του έργου όπως επίσης παραλαμβάνονται και οι νέοι κοχλίες και τα παρεμβύσματα (gaskets).
2. Αποσυνδέονται οι σωληνώσεις από τα στόμια των εναλλακτών και αν κριθεί απαραίτητο για λόγους ασφαλείας τόσο του προσωπικού όσο και του υπάρχοντος εξοπλισμού στηρίζονται ανάλογα.
3. Τυφλώνονται τα αναφερόμενα στόμια ή/και οι σωληνώσεις τοποθετώντας τις τυφλές φλάντζες με τους κατάλληλους κοχλίες και τα παρεμβύσματα και συσφίγγονται οι κοχλίες.
4. Αποσυνδέονται οι τυφλές φλάντζες που τοποθετήθηκαν μετά το τέλος των εργασιών συντήρησης και επανασυνδέονται οι σωληνώσεις με τα στόμια του κάθε εναλλάκτη με την τοποθέτηση νέων παρεμβυσμάτων και χρησιμοποιώντας τους ίδιους ή αν απαιτείται, νέους κοχλίες. Στην περίπτωση που απαιτηθούν νέοι κοχλίες αυτοί θα πρέπει πρώτα να γραφίτσουν (δηλαδή η επιφάνεια τους να μετατραπεί σε γραφίτη). Αυτό επιτυγχάνεται με θερμικές κατεργασίες.

3.4.2 Αφαίρεση και επανατοποθέτηση της μόνωσης του εναλλάκτη

Η θερμική μόνωση του εναλλάκτη αποτελείται από λαμαρίνα αλουμινίου και το κατάλληλο μονωτικό υλικό που συνήθως είναι ο πετροβάμβακας. Η εργασία αυτή αφορά μόνο στους εναλλάκτες στους οποίους υπάρχει μόνωση και μόνο στα σημεία που γίνεται αποκοχλίωση για την αποσυναρμολόγηση αρμών

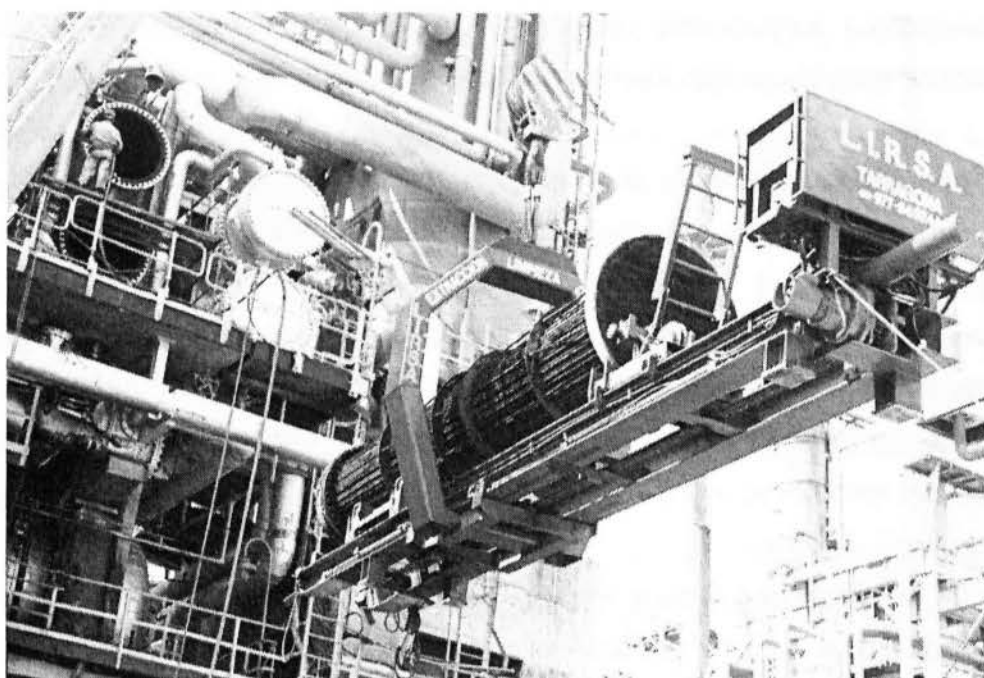
(εξάρμωση) / απομόνωση του εναλλάκτη. Οι μονώσεις που κατά την αφαίρεση τους δεν καταστρέφονται επανατοποθετούνται.

Η εξάρμωση του εναλλάκτη είναι απαραίτητη, προκειμένου να απομακρυνθεί η αυλοφόρος δέσμη των εναλλακτών, με αποκοχλίωση των φλαντζών του περιβλήματος. Κατά την εξάρμωση του εναλλάκτη οι κοχλίες που έχουν αφαιρεθεί, αφού πρώτα γραφίτοποιηθούν, επανατοποθετούνται και φυλάσσονται σε ασφαλή χώρο. Η φύλαξη των φλαντζών θα πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα διαρροών κατά την πραγματοποίηση των υδραυλικών δοκιμών.

Για την αφαίρεση της δέσμης του εναλλάκτη, χρησιμοποιείται η διάταξη του εξολκέα (Εικόνα 3.4.2.1), είτε άλλα χειροκίνητα μέσα, αλλά και με τη συμβολή γερανού και ενδεχομένως περονοφόρου. Το πώς θα πραγματοποιηθεί η αφαίρεση της δέσμης του εναλλάκτη εξαρτάται από το μέγεθος και τη θέση του. Αν το μέγεθος του εναλλάκτη είναι μικρό τότε η αφαίρεση της δέσμης γίνεται χειροκίνητα. Στην περίπτωση όμως εναλλακτών μεγάλου μεγέθους, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των διυλιστηρίων, η αφαίρεση της δέσμης γίνεται με γερανό, προκειμένου να είναι δυνατή η μεταφορά της δέσμης.



Εικόνα 3.4.2.1: Εξολκέας δέσμης εναλλακτών



Εικόνα 3.4.2.2: Εξολκείας δέσμης εναλλακτών

3.4.3 Μεταφορά αυλοφόρου δέσμης στο χώρο καθαρισμού και επιστροφή στη μονάδα

Αφού αφαιρεθεί η αυλοφόρος δέσμη από κάθε έναν εναλλάκτη, αυτή μεταφέρεται στο χώρο όπου θα γίνει ο καθαρισμός. Ο καθαρισμός της δέσμης εσωτερικά των αυλών και εξωτερικά γίνεται με υδροβολή, από εξειδικευμένο εργολάβο. Πριν την επιστροφή της δέσμης, η τελευταία ελέγχεται για το αποτέλεσμα του καθαρισμού αλλά και την κατάστασή της, από τμήμα επιθεώρησης και από το τμήμα του συγκροτήματος της μονάδας.

Η μεταφορά και εναπόθεση της αυλοφόρου δέσμης στο χώρο καθαρισμού, όπως και η επιστροφή της στο χώρο που έγινε η εξάρμωση, πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή.

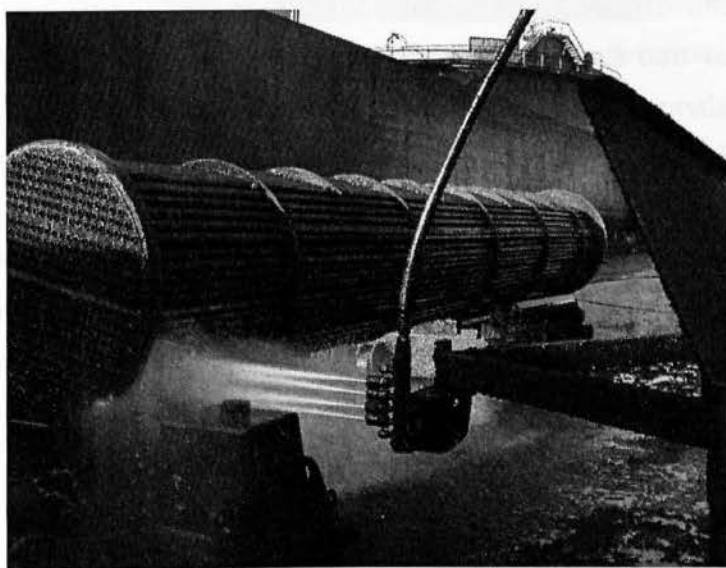
Στην περίπτωση της αντικατάστασης δέσμης, η δέσμη μεταφέρεται με ανυψωτικά/μεταφορικά μέσα, στο χώρο που υποδεικνύεται από τους υπεύθυνους. Επίσης η νέα δέσμη θα πρέπει να μεταφερθεί από το χώρο

αποθήκευσης στη μονάδα που βρίσκεται ο εναλλάκτης. Η μεταφορά πραγματοποιείται επίσης με ανυψωτικά/μεταφορικά μέσα και εξειδικευμένο προσωπικό της μονάδας.

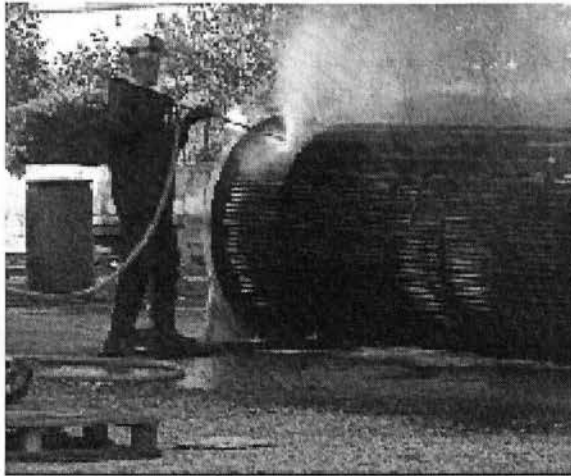
3.4.4 Καθαρισμός των υπόλοιπων τμημάτων του εναλλάκτη μετά την εξαγωγή της δέσμης

Μετά την αφαίρεση της δέσμης από τον εναλλάκτη και πριν την επανατοποθέτησή της, πρέπει να γίνει ο καθαρισμός των εσωτερικών επιφανειών του κελύφους του εναλλάκτη και των μη κινητών μερών αυτού, καθώς και όλων των κινητών μερών του.

Στην περίπτωση που υπάρχουν επικαθήσεις των προϊόντων στα κινητά μέρη του εναλλάκτη, οι οποίες δεν μπορούν να καθαριστούν επιτόπου με μηχανικά μέσα, όπως για παράδειγμα ειδικές σπάτουλες, θα πρέπει να μεταφερθούν στο χώρο καθαρισμού των δεσμών, όπου είναι εγκατεστημένα τα μηχανήματα υδροβολής (Εικόνα 3.4.4) και εκεί θα πραγματοποιηθεί ο καθαρισμός τους.



Εικόνα 3.4.4.1 Υδροβολή εξωτερικά της δέσμης



Εικόνα 3.4.4.2 Υδροβολή εξωτερικά της δέσμης

3.4.5 Επανατοποθέτηση αυλοφόρου δέσμης και συναρμολόγηση του εναλλάκτη

Με την ολοκλήρωση του καθαρισμού της δέσμης αυλών και των άλλων κινητών και ακίνητων μερών του εναλλάκτη και των τυχόν επισκευών που έχουν προκύψει, επανατοποθετείται η δέσμη.

Μετά την επανατοποθέτηση πραγματοποιείται η συναρμογή των διαφόρων εξαρτημάτων που έχουν εξαρμωσθεί, τοποθετώντας νέα παρεμβύσματα και χρησιμοποιώντας τους ίδιους ή αν κριθεί απαραίτητο νέους κοχλίες, οι οποίοι θα έχουν πρώτα γραφίτοποιηθεί.

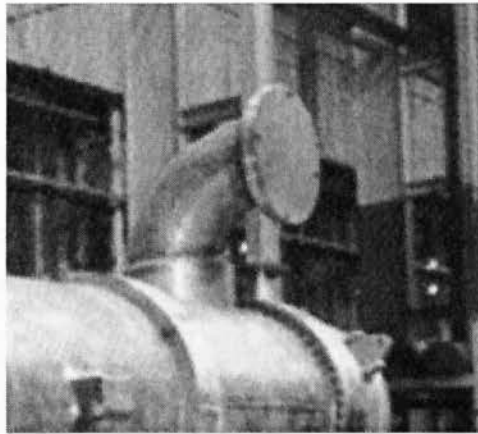
Στην περίπτωση που η δέσμη των αυλών του εναλλάκτη πρέπει να αντικατασταθεί, θα πρέπει να ληφθεί το ενδεχόμενο του τροχίσματος της σε περίπτωση μη εύκολης εισαγωγής της.

3.4.6 Υδραυλικές δοκιμές

Σε κάθε εναλλάκτη πραγματοποιούνται δύο υδραυλικές δοκιμές με τη βοήθεια μιας αντλίας υψηλής πίεσης. Η μία υδραυλική δοκιμή γίνεται στην πλευρά των αυλών (tube side) και η άλλη στην πλευρά του κελύφους (shell side).

Όταν τα διάφορα τμήματα του εναλλάκτη συναρμολογηθούν και τυφλωθούν τα στόμια του τοποθετούνται κατάλληλες βάνες, σε διάφορα στόμια του εναλλάκτη, για την πραγματοποίηση της υδραυλικής δοκιμής. Η τυφλώση των στομιών πραγματοποιείται όπως γίνεται στο στάδιο της απομόνωσης των αυλών.

Οι τυφλές φλάντζες για την υδραυλική δοκιμή (Εικόνα 3.4.6.1) και την απομόνωση του εξοπλισμού, ακολουθούν το πρότυπο ΑΣΠΡΟΦΟΣ 2100-STD-4-51-01 και είναι ανάλογες με την πίεση υδραυλικής δοκιμής, με δοκιμή αντοχής στα 65 bar και μέγιστη πίεση λειτουργίας 45 bar.



Εικόνα 3.4.6.1: Τυφλωμένη βάνα εναλλάκτη στο συνεργείο.

Μετά την τοποθέτηση των βάνων και των τυφλών, ο εναλλάκτης γεμίζεται με νερό.

Ο υπεύθυνος και ο εκπρόσωπος του Τμήματος Επιθεώρησης του διυλιστηρίου υποδεικνύει την κατάλληλη κάθε φορά πίεση δοκιμής η οποία διατηρείται για μισή ώρα τουλάχιστον. Επιπλέον, ο εκπρόσωπος του Τμήματος Επιθεώρησης παραλαμβάνει τον εναλλάκτη και πιστοποιεί τις υδραυλικές δοκιμές.

Στη συνέχεια τοποθετείται το κάλυμμα του καναλιού ή το κανάλι και αφαιρείται η κεφαλή στο πίσω μέρος του εναλλάκτη. Αφού γίνει και αυτό η υδραυλική δοκιμή πραγματοποιείται στην πλευρά των αυλών.

Όταν τοποθετηθεί η κεφαλή του, εναλλάκτης αυτός γεμίζεται με νερό και η υδραυλική δοκιμή πραγματοποιείται στη μεριά του κελύφους. Σε αυτήν την δοκιμή ελέγχεται μόνο η στεγανότητα. Η παραπάνω διαδικασία αφορά την περίπτωση που δεν υπάρχει γνώση της διαρροής του εναλλάκτη.

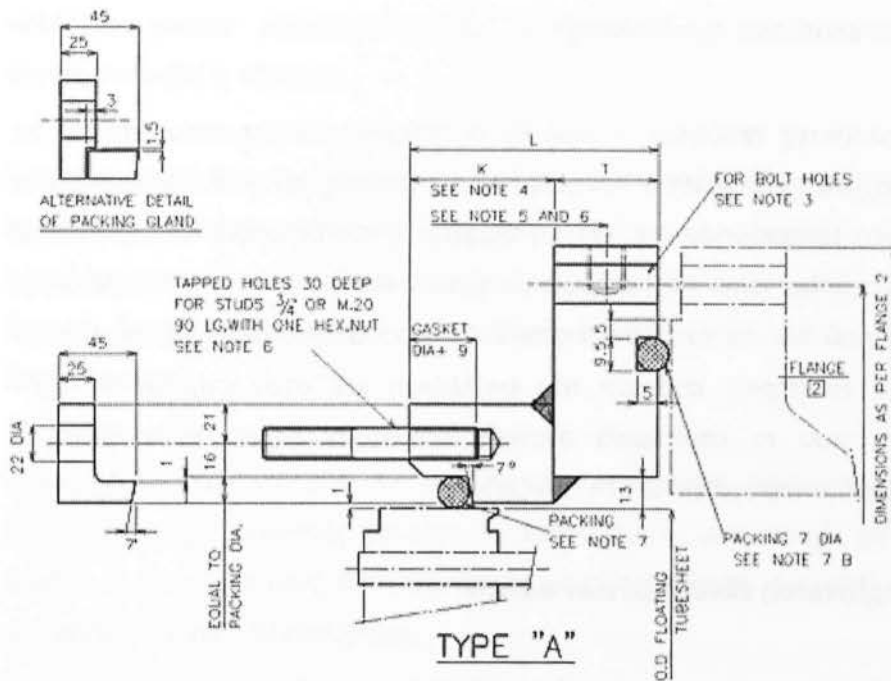
Στην περίπτωση που είναι γνωστή η ύπαρξη της διαρροής στον εναλλάκτη, πραγματοποιείται η υδραυλική δοκιμή από την εξωτερική πλευρά των αυλών δηλαδή στο κέλυφος για τον εντοπισμό και την επισκευή εκείνων των αυλών που παρουσιάζουν διαρροή.

Σε αυτήν την περίπτωση, μετά το τύφλωμα των στομιών του εναλλάκτη ακολουθεί η τοποθέτηση κατάλληλων βάνων σε διάφορα στόμια, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η υδραυλική δοκιμή.

Οι τυφλές φλάντζες που θα χρησιμοποιηθούν στην υδραυλική δοκιμή και για την απομόνωση του εξοπλισμού ακολουθούν το πρότυπο ΑΣΠΡΟΦΟΣ 2100-STD-4-51-01 και είναι ανάλογες με την πίεση υδραυλικής δοκιμής. Μετά την τοποθέτηση των βανών και των τυφλών ακολουθεί το γέμισμα του εναλλάκτη με νερό.

Και σε αυτήν την περίπτωση, η πίεση δοκιμής υποδεικνύεται από τον επιβλέποντα και τον εκπρόσωπο του Τμήματος Επιθεώρησης και διατηρείται τουλάχιστον για μισή ώρα.

Στην περίπτωση που εμφανιστεί διαρροή σε αυλούς, αρχικά αφαιρείται το καπάκι του καναλιού ή τοποθετείται ο αντίστοιχος δοκιμαστικός δακτύλιος (test ring), μετά την αφαίρεση του καναλιού εφόσον το κανάλι δεν διαθέτει καπάκι (Εικόνα 3.4.6.2). Ο εναλλάκτης γεμίζει με νερό και πραγματοποιείται υδραυλική δοκιμή στην πλευρά του κελύφους (shell side). Λόγω της πίεσης της υδραυλικής δοκιμής γίνεται εμφανές το σημείο διαρροής και αρχίζουν οι εργασίες αποκατάστασης της διαρροής



Εικόνα 3.4.6.2: Ενδεικτικός Δακτύλιος Δοκιμής (Test Ring)

Στη συνέχεια ακολουθεί η επισκευή του εναλλάκτη. Τοποθετείται το κάλυμμα του καναλιού ή αφαιρείται ο δοκιμαστικός δακτύλιος και τοποθετείται το κανάλι. Επίσης αφαιρείται η κεφαλή στο πίσω μέρος του εναλλάκτη και επαναλαμβάνεται η διαδικασία της υδραυλικής δοκιμής από την πλευρά των αυλών (tube side), οπότε πιστοποιείται η ορθότητα της επισκευής.

Στη συνέχεια τοποθετείται η κεφαλή και γεμίζει με νερό ο εναλλάκτης και πραγματοποιείται η υδραυλική δοκιμή από την πλευρά του κελύφους (shell side), κατά την οποία ελέγχεται μόνο η εξασφάλιση της στεγανότητας.

Η ενδεδειγμένη σε κάθε περίπτωση πίεση δοκιμής υποδεικνύεται από τον επιβλέποντα και από το Τμήμα Επιθεώρησης και διατηρείται για μισή ώρα τουλάχιστον.

Τόσο η παραλαβή του εναλλάκτη όσο και η πιστοποίηση των υδραυλικών δοκιμών γίνεται από το Τμήμα Επιθεώρησης

3.4.7 Επισκευή του εναλλάκτη

Στους εναλλάκτες κελύφους – αυλού, οι πιθανές βλάβες που μπορεί να παρουσιαστούν εντοπίζονται συνήθως στους αυλούς, αφού αυτοί υπόκεινται σε μηχανική καταπόνηση και χημική διάβρωση. Οι διαρροές στους αυλούς που προέρχονται από τη διάβρωση προκαλούν διακοπή της παραγωγής ψυχρού νερού και αν δεν εντοπιστούν έγκαιρα μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα εσωτερικά στοιχεία του εναλλάκτη και στον συμπιεστή. Στην περίπτωση που τα εσωτερικά στοιχεία υποστούν ζημιά ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια.

3.4.7.1 Περίπτωση εκτονωμένων αυλών

Όταν εντοπιστεί ο αυλός που έχει διαρροή πρέπει να γίνει η απομόνωσή του. Αυτό γίνεται με τη χρήση τάπας (Εικόνα 3.4.7.1). Στα δύο άκρα του αυλού τοποθετούνται τάπες και με διαδοχικά χτυπήματα στερεώνονται – σφηνώνουν με αποτέλεσμα να γίνεται αδύνατη η διέλευση του ρευστού μέσα από τον αυλό.



Εικόνα 3.4.7.1 Τάπα για αυλούς εναλλακτών

Στην περίπτωση που η διαρροή εντοπίζεται στο σημείο εκτόνωσης ανάμεσα στον αυλό και τον καθρέπτη, ξαναγίνεται εκτόνωση στον αυλό.

3.4.7.2 Περίπτωση αυλών κολλητών στους καθρέπτες

Στην περίπτωση που οι αυλοί είναι κολλητοί με τους καθρέπτες, χωρίς να είναι εκτονωμένοι και η διαρροή εντοπίζεται στο σημείο της κόλλησης, τότε το σημείο αυτό τροχίζεται και ξαναγίνεται η κόλληση. Η τροχίση πριν τη νέα

κόλληση γίνεται προκειμένου να εξομαλυνθεί η επιφάνεια και να στεγανοποιηθεί η κόλληση.

Εάν ο αυλός είναι εκτονωμένος και κολλητός στον καθρέπτη, αμέσως μετά το τρόχισμα γίνεται η εκτόνωση και στη συνέχεια η κόλληση. Μετά την ολοκλήρωση των κολλημάτων γίνεται μη καταστροφικός έλεγχος συνήθως με δοκιμή διεισδυτικών υγρών (Penetrant Testing, PT), από το Τμήμα Επιθεώρησης.

Όταν ολοκληρωθούν όλα τα στάδια της επισκευής επαναλαμβάνεται η διαδικασία της υδραυλικής δοκιμής. Η προτεινόμενη τιμή πίεσης υδραυλικής πίεσης δίνεται από τους κατασκευαστές με συνηθέστερη τιμή να ισούται με 1.1 φορές την πίεση λειτουργίας.

3.4.8 Αποκατάσταση του εναλλάκτη

Όταν ολοκληρωθούν οι υδραυλικές δοκιμές αφαιρούνται όλες οι τυφλές φλάντζες όπως και οι βάνες που τοποθετήθηκαν, γίνεται επανασύνδεση των σωληνώσεων που απομονώθηκαν / τυφλώθηκαν σε όλα τα σημεία, επανατοποθετείται η μόνωση που αφαιρέθηκε, ή / και κατασκευάζονται καινούργια τμήματα αυτής σε περίπτωση καταστροφής της και απομακρύνονται τυχόν ικριώματα και όλα τα υπόλοιπα υλικά και εργαλεία. Επίσης πραγματοποιείται καθαρισμός του χώρου από τυχόν κατάλοιπα λαδιών πετρελαίων κ.λ.π. υγρών, που σχετίζονται με την εξάρμωση του εναλλάκτη και τέλος παραδίδεται έτοιμος προς λειτουργία.

Σημαντικό σημείο της αποκατάστασης του εναλλάκτη είναι η αποκατάσταση τυχόν διαρροών που θα εμφανιστούν στους εναλλάκτες καθώς και για το σφίξιμο των κοχλιών τους εν θερμώ (hot-bolting).

3.4.9 Χημικός Καθαρισμός

Ένας άλλος τρόπος καθαρισμού των εναλλακτών είναι ο χημικός καθαρισμός. Ο χημικός καθαρισμός πραγματοποιείται με ειδικά για αυτή την εργασία χημικά υγρά, ώστε να αφαιρεθούν τα άλατα που εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας από το πρωτεύον στο δευτερεύον κύκλωμα των εναλλακτών. Ο χημικός καθαρισμός μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένους εναλλάκτες, ανάλογα με το ρευστό που περνάει από αυτούς.

Στην περίπτωση που απαιτείται χημικός καθαρισμός, πρέπει να τοποθετηθούν τυφλές φλάντζες και κατάλληλες βάνες στα στόμια του εναλλάκτη. Σε αυτές τις βάνες προσαρμόζεται ένα κύκλωμα που αποτελείται από σωληνώσεις, μια αντλία και ένα δοχείο με το χημικό που θα χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό.

Αφού γίνει ο χημικός καθαρισμός μετά τη σύνδεση του κατάλληλου δικτύου αντλιών και σωληνώσεων στις κατάλληλες βάνες του εναλλάκτη, μπορεί να απαιτηθεί εξάρμωση / άρμωση του μεταλλικού καλύμματος του εναλλάκτη, του καλύμματος του κελύφους (shell cover), της μετέωρης κεφαλής (floating head) και ενδεχομένως πλύσιμο των αυλών με γλυκό νερό.

Όταν ολοκληρωθεί ο χημικός καθαρισμός και μετά από εντολή της επίβλεψης εκτελούνται οι εργασίες άρμωσης, υδραυλικών δοκιμών και αποκατάστασης σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν.

3.5 Ανακατασκευή αυλών (Ανατούμπωση)

Η τεχνική διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια αναφέρεται στα βήματα που ακολουθούνται κατά την επανατοποθέτηση των αυλών και κατά την κατασκευή νέας δέσμης ενός εναλλάκτη θερμότητας κελύφους-αυλού [18, 19].

3.5.1 Πεδίο εφαρμογής – Ορισμοί

Η διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια, πραγματοποιείται από το συνεργείο εναλλακτών του Τμήματος Γενικού Μηχανολογικού Εξοπλισμού του διυλιστηρίου, σε συνεργασία με εξωτερικό μηχανουργείο (εργασίες φρεζαρίσματος και διαμόρφωσης αυλακιών εφαρμογής διαχωριστικών του καναλιού).

Στην περίπτωση που απαιτείται η κατασκευή μιας νέας δέσμης, αυτή υλοποιείται συνήθως από εξωτερικό προμηθευτή, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος. Παρόλα αυτά είναι εφικτό, η κατασκευή της δέσμης να γίνει και από το συνεργείο των εναλλακτών του Τμήματος Γενικού Μηχανολογικού Εξοπλισμού, σε συνεργασία με εξωτερικό μηχανουργείο στο ίδιο το διυλιστήριο.

Ανακατασκευή αυλών (ανατούμπωση)

Με τον όρο αυτό εννοείται η ανακατασκευή μιας δέσμης ενός αυλοφόρου εναλλάκτη θερμότητας, όπου αυτή περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την αντικατάσταση των αυλών και οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα - τμήμα της δέσμης χρίζει αντικατάστασης λόγω μη καταλληλότητας, εκτός από τους καθρέπτες. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη παλαιάς δέσμης η οποία θα μπορεί να ανακατασκευαστεί.

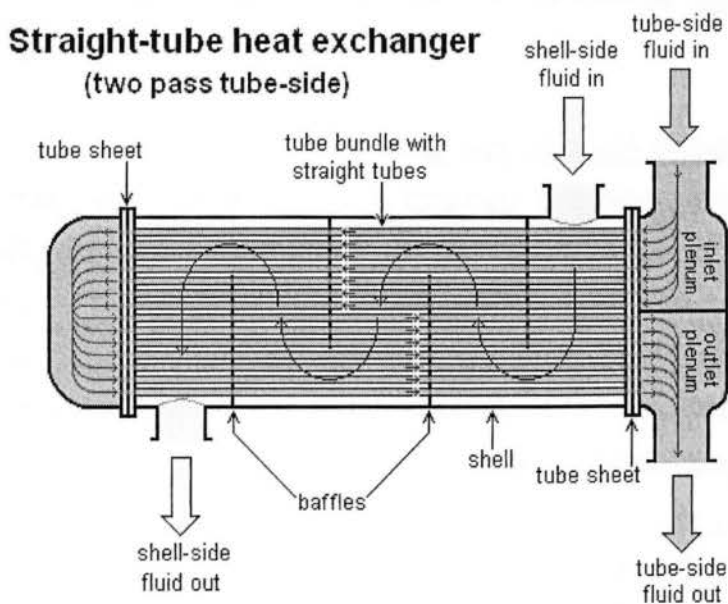
Κατασκευή νέας δέσμης

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει παλαιά δέσμη το σύνολο των εργασιών χαρακτηρίζεται ως κατασκευή νέας δέσμης, εφόσον οι εργασίες ξεκινάνε από το μηδέν. Ως κατασκευή νέας δέσμης χαρακτηρίζεται επίσης η περίπτωση που υπάρχει παλαιά δέσμη και χρειάζεται αντικατάσταση ένας από τους δύο ή και οι δύο καθρέπτες λόγω φθοράς. Στην περίπτωση που απαιτείται αντικατάσταση ενός εκ των δύο καθρεπτών αντικαθίστανται και οι δύο καθρέπτες.

3.5.2 Περιγραφή

3.5.2.1 Εργασίες ανακατασκευής δέσμης

Για να πραγματοποιηθεί η ανακατασκευή μιας δέσμης θα πρέπει αρχικά να αποσυναρμολογηθεί η δέσμη με κόψιμο των αυλών με τη βοήθεια συστήματος κοπής μετάλλων οξυγόνου-ασετιλίνης. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνονται τα διάφορα στοιχεία που αποτελούν τη δέσμη, όπως οι καθρέπτες (Tubesheets), τα διαχωριστικά (Baffles), οι ντιζες (tie rods), οι γλισιέρες (slides), οι προστατευτικές πλάκες των αυλών εισόδου του ρευστού (impingements plates), οι λάμες φραγής ρευστού μεταξύ των διαχωριστικών-κελύφους (seal strips).

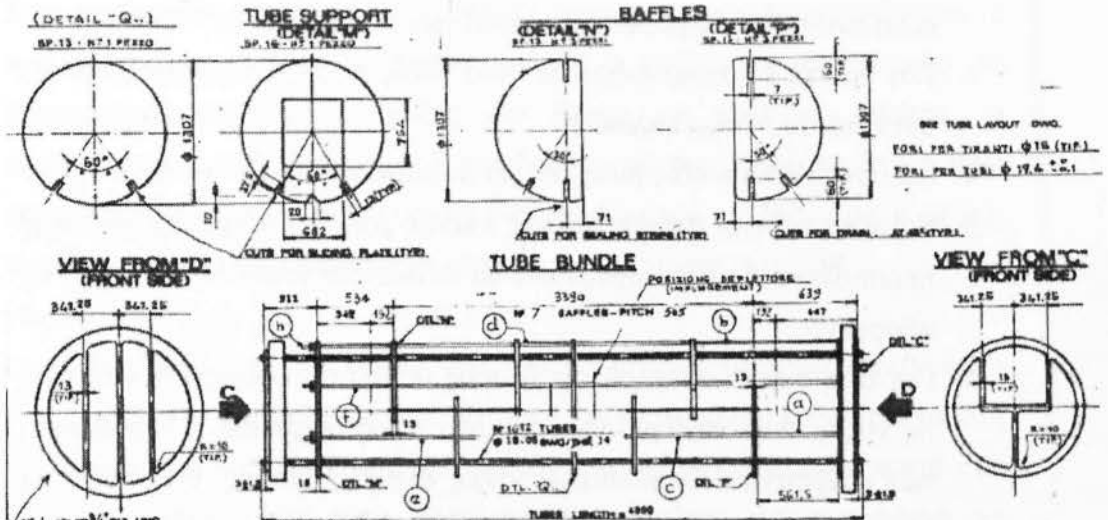


Εικόνα 3.5.2.1.1: Εναλλάκτης θερμότητας

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο καθαρισμός των καθρεπτών που περιλαμβάνει τις εξής εργασίες [19]:

1. Αφαιρούνται οι κομμένοι αυλοί που είναι ενωμένοι με τον καθρέπτη. Στην περίπτωση που οι αυλοί είναι εκτονωμένοι, αυτοί αφαιρούνται με τη χρήση κρουστικών εργαλείων. Ακολουθεί ο καθαρισμός των αυλακιών εκτόνωσης. Στην περίπτωση που οι αυλοί είναι κολλημένοι στον

καθρέπτη, η κόλληση τροχίζεται και ακολουθεί η αφαίρεση των αυλών με χρήση κρουστικών εργαλείων. Τέλος στην περίπτωση που υπάρχει κόλληση και εκτόνωση των τούμπων, τροχίζονται οι κολλήσεις και μετά αφαιρούνται οι αυλοί με τη χρήση κρουστικών εργαλείων.



Εικόνα 3.5.2.1.2: Ενδεικτικό κατασκευαστικό σχέδιο δέσμης

2. Γίνεται έλεγχος για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα διαχωριστικά. Αν είναι σε καλή κατάσταση χρησιμοποιούνται τα ίδια και σε περίπτωση που χρίζουν αντικατάστασης, ακολουθείται παρόμοια διαδικασία με την κατασκευή των καθρεπτών, χωρίς το φρεζάρισμα και τη δημιουργία αυλακώσεων των οπών για τους αυλούς. Πιο αναλυτικά, κόβονται οι λαμαρίνες που επιλέγονται σύμφωνα με το υλικό και τις διαστάσεις που αναγράφονται στα σχέδια, στις επιθυμητές διαστάσεις, χωρίς οι τελευταίες να είναι και οι ακριβείς διαστάσεις. Οι διαστάσεις των διαχωριστικών της δέσμης πρέπει να είναι σύμφωνα με τα σχέδια του κατασκευαστή και σε περίπτωση που είναι ελλειπή, καθορίζονται από τα πρότυπα TEMA Mechanical Standard (διαστάσεις, ανοχές κλπ), API 660 & AF 2100-1210/1. Όλα τα διαχωριστικά συγκολλούνται μεταξύ τους κατάλληλα ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο κομμάτι για τη δημιουργία των οπών. Με βάση τα καλούπια που έχουν κατασκευαστεί με την κατάλληλη διάταξη των οπών, διανοίγονται οι οπές στο συγκολλητό κομμάτι. Στη συνέχεια τα κομμάτια διαχωρίζονται και μετά από επεξεργασία στον τόρνο, αποκτούν τις ακριβείς εξωτερικές

διαστάσεις. Κάθε οπή φρεζάρεται έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν γρέζια, που δημιουργήθηκαν κατά το στάδιο της δημιουργίας των οπών. Γίνεται το σημάδεμα των διαχωριστικών στα σημεία που θα εφαρμοστούν οι λάμες συγκράτησης και οι γλισιέρες, όπου ακολουθεί και η αντίστοιχη διαμόρφωση – κοπή των ελασμάτων.

3. Στη συνέχεια κατασκευάζονται νέες ντίζες που χρησιμοποιούνται για αντικατάσταση των παλαιών.
4. Κατασκευάζονται νέες γλισιέρες για αντικατάσταση των παλιών.
5. Κατασκευάζονται προστατευτικές πλάκες ροής και λάμες φραγής, στις περιπτώσεις που υπάρχουν για να αντικαταστήσουν τις παλιές ή τις φθαρμένες.
6. Γίνεται η συναρμολόγηση της δέσμης με την τοποθέτηση των αυλών, τις ντίζες, των διαχωριστικών και στο τέλος ακολουθεί η τοποθέτηση των καθρέπτων. Οι γλισιέρες, ντίζες κλπ της δέσμης, θα πρέπει να προσαρμόζονται στον σταθερό καθρέπτη της δέσμης και όχι στην πλωτό. Η συρναμολόγηση της δέσμης (τήρηση αποστάσεων διαχωριστικών, θέση γλισιέρων και προστατευτικών πλακών κλπ), πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα σχέδια του κατασκευαστή και σε περίπτωση που αυτά είναι ελλιπή, σύμφωνα τα πρότυπα TEMA Mechanical Standard, API 660 & AF 2100-1210/1.
7. Στην περίπτωση που οι αυλοί είναι εκτονωμένοι στους καθρέπτες, ακολουθεί η εκτόνωσή τους με ειδικό μηχάνημα εκτόνωσης. Στην περίπτωση που οι αυλοί είναι κολλημένοι χωρίς να υποδεικνύονται λούκια εκτόνωσης στο σχέδιο, γίνεται μια πρώτη εκτόνωση των αυλών, μετά οι κολλήσεις και ακολουθεί μη καταστροφικός έλεγχος από το Τμήμα Επιθεώρησης με τη μέθοδο διείσδυσης υγρών (Penetrant Testing, PT). Στην περίπτωση που οι αυλοί είναι εκτονωμένοι και κολλημένοι γίνεται πρώτα η εκτόνωση των αυλών σε κάθε καθρέπτη και ακολουθεί η κόλλησή τους με εφαρμογή μη καταστροφικού ελέγχου.
8. Τοποθετούνται και οι γλισιέρες στο κάτω μέρος της δέσμης.
9. Με την ολοκλήρωση της ανακατασκευής των αυλών, η δέσμη αποθηκεύεται μέχρι τη στιγμή της τοποθέτησής της στον εναλλάκτη.

3.5.2.2 Εργασίες κατασκευής νέας δέσμης

Στην περίπτωση κατασκευής νέας δέσμης πρέπει να κατασκευαστούν όλα τα τμήματα που αποτελούν τη δέσμη, δηλαδή οι καθρέπτες (tubesheets), τα διαχωριστικά (baffles), οι ντίζες (tie Rods), οι γλισιέρες (slides), οι προστατευτικές πλάκες των αυλών εισόδου του ρευστού (impigement plates) και οι λάμες φραγής ρευστού μεταξύ διαχωριστικών – κελύφους (seal strips). Τα βήματα που ακολουθούνται σε αυτήν την περίπτωση είναι [19]:

1. Η Κατασκευή των καθρεπτών. Για να πραγματοποιηθεί επιλέγεται η λαμαρίνα σύμφωνα με τις διαστάσεις και το υλικό του καθρέπτη και στη συνέχεια κόβεται. Γίνεται μια πρώτη κατεργασία στον τόρνο κοντά στις επιθυμητές διαστάσεις αλλά όχι με ακρίβεια. Δημιουργούνται τα κατάλληλα καλούπια της διάταξης των αυλών στον εναλλάκτη βάση σχεδίων και με τη χρήση αυτού σημαδεύεται το μεταλλικό κομμάτι που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του καθρέπτη. Μετά το τρύπημα των καθρεπτών ακολουθεί η δημιουργία των λουκιών εκτόνωσης για την περίπτωση που η εκτόνωση των αυλών πρέπει να γίνει στον καθρέπτη και στη συνέχεια γίνεται η τελική κατεργασία των οπών με γλύφανο. Η κατεργασία του φρεζαρίσματος για τη δημιουργία αυλακώσεων όπου εισχωρούν τα διαχωριστικά των καναλιών, των καπακιών ή των καλυμμάτων, πραγματοποιείται από εξωτερικό συνεργάτη λόγω έλλειψης εξοπλισμού. Η κατασκευή των καθρεπτών πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα σχέδια του κατασκευαστή και σε περίπτωση που αυτά είναι ελλιπή να εφαρμόζονται τα πρότυπα TEMA Mechanical Standard (διαστάσεις, ανοχές κλπ), API 660 & AF 2100-1210/1.
2. Κατασκευή λοιπών τμημάτων και συναρμολόγηση της δέσμης. Η κατασκευή των λοιπών τμημάτων και η συναρμολόγηση της δέσμης ακολουθούν την ίδια διαδικασία με αυτήν της ανακατασκευής των αυλών.

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι εναλλάκτες κελύφους - αυλού που χρησιμοποιούνται κυρίως στις εγκαταστάσεις των διυλιστηρίων. Παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού και υπολογισμού των συγκεκριμένων εναλλακτών θερμότητας και οι τρόποι συντήρησης και επισκευής τους.

Επιγραμματικά οι εναλλάκτες κελύφους - αυλού πλεονεκτούν έναντι των άλλων τύπων εναλλακτών διότι:

- Έχουν χαμηλότερο κόστος
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών
- Η πτώση πίεση κατά μήκος των αυλών είναι μικρή.

Ενώ τα βασικά τους μειονεκτήματα είναι:

- Η μικρότερη θερμική απόδοση
- Έχουν πιο πολύπλοκες διαδικασίες συντήρησης
- Καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο.

Ο συνηθέστερος τύπος εναλλάκτη που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια είναι οι κελύφους - αυλού και αυτό γιατί πλεονεκτούν έναντι των πλακοειδών έχοντας:

- Μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης ψυκτικού ρευστού κατά 80%
- Μεγαλύτερη αντοχή σε υδραυλικά πλήγματα
- Πολύ μεγάλη αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της απόψυξης

Στη συγκεκριμένη εργασία αναφέρονται οι βασικές διαδικασίες συντήρησης και επισκευής των εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται στα διυλιστήρια πετρελαίου. Η απόδοση ενός εναλλάκτη κελύφους αυλού όπως ήδη αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια σχετίζεται με το ποσό θερμότητας που παράγεται και το ποσό θερμότητας θεωρητικά πρέπει να

παραχθεί από τον εναλλάκτη κελύφους αυλού. Στις βιομηχανικές εφαρμογές όπως τα διυλιστήρια υπάρχει συνεχές σύστημα παρακολούθησης της θερμότητας που παράγεται από τους εναλλάκτες και με περιοδικούς ελέγχους που προσδιορίζονται από την εφαρμογή υπολογίζεται ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και το χρονικό όριο καθαρίσματος των εναλλακτών.

Μια σημαντική βλάβη που μπορεί να υποστεί ο εναλλάκτης είναι η διάβρωση λόγω ακαθαρσιών που επικάθονται στην επιφάνεια τους. Η φθορά του εναλλάκτη μπορεί να επιταχυνθεί στην περίπτωση πολύ μικρής ή πολύ μεγάλης ροής ρευστού, στην εναπόθεση σωματιδίων πάνω στην επιφάνεια του εναλλάκτη και την εναπόθεση ακαθαρσιών στα πλευρικά τοιχώματα του εναλλάκτη λόγω ενδιάμεσων θερμοκρασιών.

Η διάρκεια ζωής του εναλλάκτη θερμότητας καθορίζεται από τον έλεγχο που γίνεται και από τη συχνή συντήρησή του. Όσο πιο συχνά επιλέγεται να πραγματοποιηθεί η συντήρηση του εναλλάκτη τόσο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής θα έχει. Επιπλέον, ο συχνός έλεγχος των εναλλακτών θερμότητας μειώνει την πιθανότητα ανεπανόρθωτης βλάβης τους και κατά συνέπεια το κόστος συντήρησης και επισκευής. Τέλος η απόδοση του εναλλάκτη είναι η μέγιστη δυνατή όταν όλα τα προβλήματα φθοράς έχουν επιλυθεί και έχει διασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργία του.

Βιβλιογραφία

1. Λεξικό φυσικής (Μάλλιαρης)
2. Φυσική 1 - Μηχανισμοί Διάδοσης Θερμότητας Α.Α ΖΗΣΟΣ
3. Μοριακή Φυσική - Θερμοδυναμική Χρ.Τρικαλινός
4. www.metal.ntua.gr/uploads/3277/248.Ph-Met-2-1.pdf Νυμφοδώρα Παπασιώπη
5. Μετάδοση Θερμότητας, VDI-WARMEATLAS, Μετάφραση Κ.Ν.Πάττα
6. Brogan, R.J., *Shell and Tube Heat Exchanger*.
<http://www.thermopedia.com/content/1121/>.
7. Tubular Exchanger, Manufacturers Association, *TEMA Seventh Edition*, 1988.
8. Mukherjee, R., *Effectively Design Shell and Tube Heat Exchangers*. Chemical engineering progress, 1998.
9. *Construction of Tube and Shell Heat Exchangers*. Wolverine Tube Heat Transfer Data Book,
http://www.wlv.com/products/databook/ch1_4.pdf.
10. Bergles, A.E., *Augmentation of heat transfer single phase*.
<http://www.thermopedia.com/content/574/>.
11. http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/heat_exchangers/ch05_enallaktes_A4.pdf.
12. *Shell and Tube Heat Exchanger Design*.
<http://www.engr.iupui.edu/me/courses/shellandtube>.
13. Tinker, T., *Shellside Characteristics of Shell-and-tube Heat Exchangers: A Simplified Rating System for Commercial Heat Exchangers*. Trans. ASME, 1958. **80**: p. 36-52.
14. www.metal.ntua.gr/uploads/2263/enallaktes.pdf
15. http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/paragogiki_diadikasia_enallaktes.htm
16. Μοντελοποίηση και έλεγχος απόδοσης πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων - Διπλωματική Εργασία Αντωνία Παπαλαζάρου
17. <http://www.inspection-for-industry.com/heat-exchanger-inspection.html>

18. Shell and Tube Heat Exchanger Student Manual

http://www.che.utah.edu/departement_equipment/Projects_Lab/H_Shell_and_Tube_Heat_Exchanger/MANUAL_Shell_and_Tube_Heat_Exchanger_Manual.pdf

19. Σημειώσεις από τα Ελληνικά Πετρέλαια.

20. http://www.apv.com/pdf/manuals/Heat_Exchangers/PHE_Manual_100_0E_EL.pdf