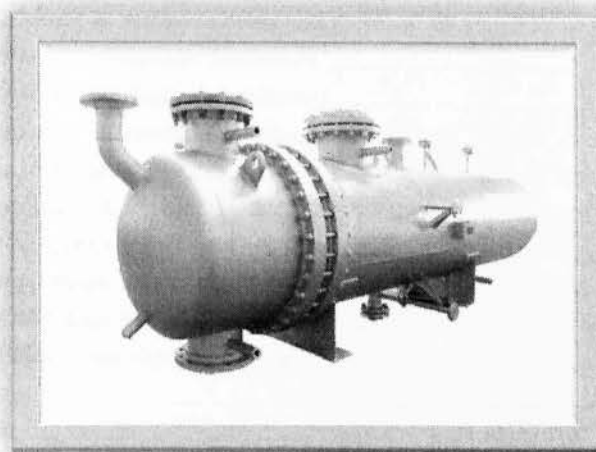


Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
**Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Βιομηχανικοί Εναλλάκτες Θερμότητας Αυλών  
Κελύφους»**



**Σπουδαστής:** Κοπελιάρης Χρήστος **ΑΜ:** 32044

Υπεύθυνος Καθηγητής: Νίκας Κωνσταντίνος

<b>Περιεχόμενα</b>	
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	3
Κεφάλαιο 2. Μηχανισμοί λειτουργίας.....	4
2.1 Θερμότητα .....	4
2.1.1 Σκοπός της εναλλαγής θερμότητας.....	5
2.1.2 Εναλλαγή θερμότητας μεταξύ ρευστών.....	6
2.1.3 Μέθοδοι Μεταφοράς Θερμοκρασίας .....	8
2.2 Ρευστά.....	8
2.2.1 Τύποι ροής ρευστών .....	8
2.2.2 Ροή ρευστών .....	12
2.2.3 Διεύθυνση των ρευστών.....	14
Κεφάλαιο 3. Εναλλάκτες θερμότητας γενικά.....	18
3.1 Εναλλάκτες θερμότητας.....	18
3.2 Βασικές Μορφές Εναλλακτών .....	18
3.3 Κατηγορίες Εναλλακτών.....	19
Κεφάλαιο 4. Εναλλάκτες ΤΕΜΑ.....	27
4.1 Εναλλάκτης αυλών κελύφους της ΤΕΜΑ.....	27
4.1.2 Βασική μορφή του εναλλάκτη.....	28
4.1.3 Κέλυφος.....	31
4.1.4 Δέσμη Αυλών .....	37
4.1.5 Κανάλι - Καπάκι.....	39
4.2 Τύποι εναλλακτών αυλών κελύφους .....	42
4.2.1 Εναλλάκτες σταθερών καθρεφτών .....	42
4.2.2 Εναλλάκτης πλωτής κεφαλής.....	44
4.2.3 Εναλλάκτης με σωλήνες τύπου U .....	45
4.2.4 Εναλλάκτες πολλαπλών διαβάσεων .....	47
4.2.5 Εναλλάκτες αποδομένης επιφάνειας.....	47
4.2.6 Εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων .....	47
4.2.7 Εναλλάκτες αερόψυκτοι.....	49
Κεφάλαιο 5. Συντήρηση - Έλεγχος.....	53
5.1 Έλεγχος Διαρροής και επισκευή Εναλλάκτη .....	53
5.1.1 Ανατούμπωση - κατασκευή δέσμης εναλλάκτη.....	60
5.2 Μέτρηση πίεσης και θερμοκρασίας .....	64
5.3 Κώδικας Θέσεως και πλάκα ταυτότητας .....	65
5.4 Αποθέσεις.....	66
5.5 Διάβρωση .....	67
5.7 Συμβολισμοί.....	69
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα .....	70

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση διαφόρων εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται σε εργοστάσια και διυλιστήρια, και η περαιτέρω ανάλυση συγκεκριμένα των εναλλακτών αυλών κελύφους. Αναφέρεται στον τρόπο που γίνεται η εναλλαγή θερμότητας όπως επίσης θα δούμε την ροή των ρευστών και πως αυτή επηρεάζει την λειτουργία του συστήματος. Τέλος, αναλύεται ο τομέας της συντήρησης και των πιθανών βλαβών, όπως και οι εργασίες που ακολουθούνται για να γίνει η επιδιόρθωση όταν προκύπτει κάποια δυσλειτουργία σε έναν εναλλάκτη.

**Λέξεις-κλειδιά:** Εναλλάκτης, αυλοί, κέλυφος, μεταφορά θερμότητας, δέσμη εναλλάκτη

## Summary

The purpose of this dissertation is the presentation of various heat exchangers that are being used in factory plants and refineries, and the further analysis of shell and tube heat exchangers. We mention the way that heat transfer occurs and also we will talk about the flow of fluids and how these affect the systems procedure. At the end we analyze the maintenance part that is being followed and also the restoration works that take place whenever an exchanger gets damaged.

**Keywords:** Exchanger, Shell & tube, heat transfer, tube bundle, gasket,

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι μία διάταξη, στην οποία γίνεται μεταφορά θερμότητας από ένα ρεύμα θερμού ρευστού (υγρού ή αερίου) σε ένα ρεύμα ψυχρού ρευστού, χωρίς όμως να γίνεται ανάμειξη των δύο ρευστών, Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα εναλλάκτη θερμότητας είναι το ψυγείο του αυτοκινήτου, όπου γίνεται ψύξη του θερμού νερού της μηχανής με ρεύμα ψυχρού αέρα από το περιβάλλον το οποίο σαρώνει την εξωτερική επιφάνεια του ψυγείου.

Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι ένα κομμάτι του εξοπλισμού στον οποίον δύο ρευστά με διαφορετικές θερμοκρασίες ρέουν από τις δυο πλευρές διαχωριστικού χωρίσματος, το οποίο επιτρέπει στη θερμότητα να περνά από το θερμό ρευστό στο ψυχρό.

### Διάρθρωση πτυχιακής

**Κεφάλαιο 1** : Εισαγωγή. Λίγα λόγια για τον εναλλάκτη.

**Κεφάλαιο 2** : Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην θερμότητα και τα ρευστά. Αναλύουμε τους μηχανισμούς και βλέπουμε τις επιδράσεις διαφόρων παραγόντων στο σύστημα μας.

**Κεφάλαιο 3** : Γενικές πληροφορίες για τους εναλλάκτες θερμότητας, αναλυτική περιγραφή των κατηγοριών και μορφών τους. Παρουσίαση των διάφορων χρήσεων που μπορεί να έχει ένας εναλλάκτης.

**Κεφάλαιο 4** : Παρουσίαση εναλλακτών θερμότητας Αυλών-Κελύφους της εταιρίας ΤΕΜΑ για χρήση σε διυλιστήρια.

**Κεφάλαιο 5** : Το κεφάλαιο αυτό αφορά το τεχνικό κομμάτι του ελέγχου και των επισκευών που χρειάζονται οι εναλλάκτες. Αναφέρουμε πιθανές βλάβες που μπορεί να προκύψουν κατά την λειτουργία και πώς πρέπει να αντιμετωπίζουμε κάθε μια από αυτές.

**Κεφάλαιο 6** : Συμπεράσματα και γνώσεις που αποκτήθηκαν πάνω στο θέμα της πτυχιακής κατά την εκπόνηση αυτής.

## Κεφάλαιο 2. Μηχανισμοί λειτουργίας

### 2.1 Θερμότητα

Η θερμότητα είναι η ενέργεια που μεταδίδεται από ένα θερμό σώμα σε ένα ψυχρότερο, Η μετάδοση της ενέργειας (μετάδοση θερμότητας) είναι δυνατή όταν υπάρχει μία θερμοκρασιακή διαφορά και γίνεται πάντοτε από περιοχές υψηλότερων θερμοκρασιών σε περιοχές χαμηλότερων θερμοκρασιών. Κατά την εξέλιξη του φαινομένου της μετάδοσης της θερμότητας παρουσιάζεται πτώση της θερμοκρασίας του θερμότερου σώματος και ανύψωση της θερμοκρασίας του ψυχρότερου σώματος. Η μετάδοση της θερμότητας συνεχίζεται μέχρι να γίνει εξίσωση των θερμοκρασιών, οπότε και δεν υπάρχει πλέον θερμοκρασιακή διαφορά που να προκαλεί την μετάδοση της ενέργειας.

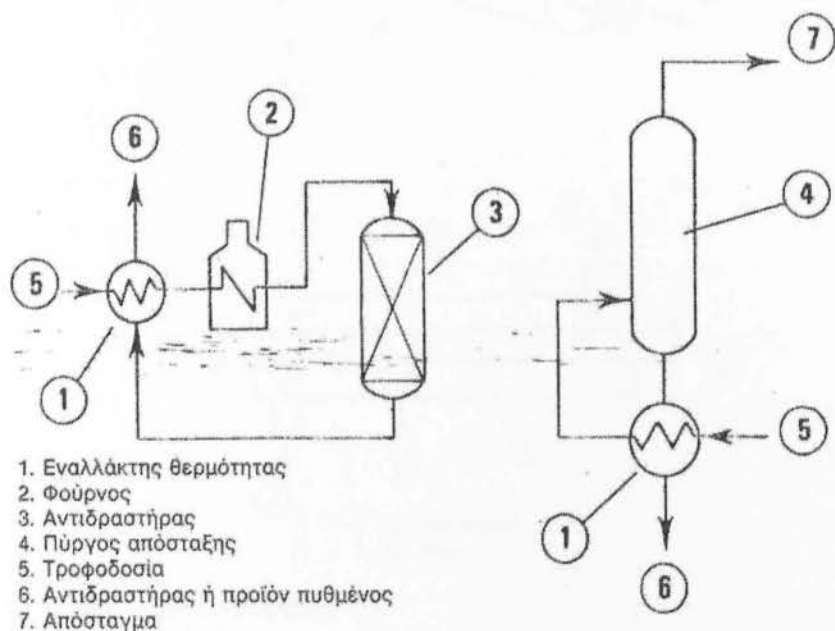
Η μετάδοση της θερμότητας σε μια θερμική διεργασία πραγματοποιείται με τους εναλλάκτες θερμότητας (Heat Exchangers), και γίνεται μεταξύ δύο ρευστών που χωρίζονται μεταξύ τους με ένα τοίχωμα συνήθως μεταλλικό, Ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας μεταξύ του θερμότερου και του ψυχρότερου ρευστού καθορίζεται από τις φυσικές ιδιότητες των ρευστών, από την ροή τους, τις θερμοκρασίες τους και από την επιφάνεια εναλλαγής της θερμότητας η οποία χωρίζει τα δύο ρευστά. Το κυριότερο μέγεθος υπολογισμού των εναλλακτών θερμότητας είναι η επιφάνεια εναλλαγής, δηλαδή η επιφάνεια δια της οποίας μεταδίδεται η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας. Για τον υπολογισμό της επιφανείας εναλλαγής χρειάζεται να γνωρίζουμε τη διαφορά θερμοκρασίας και τον συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Η μελέτη των εναλλακτών θερμότητας περιλαμβάνει και τους υπολογισμούς της πτώσης πίεσεως, που για οικονομικούς λόγους δεν πρέπει να είναι υψηλή.

### 2.1.1 Σκοπός της εναλλαγής θερμότητας

Ο σκοπός της εναλλαγής θερμότητας είναι να μεταφέρει θερμότητα από ένα ρευστό διεργασίας σ' ένα άλλο, χωρίς να λάβει χώρα μεταβολή της καταστάσεως. Επομένως, εναλλαγή θερμότητας μπορεί να λάβει χώρα μεταξύ δύο υγρών, μεταξύ ενός υγρού και ενός αερίου και μεταξύ δύο αερίων.

Ο εξοπλισμός αυτός παίζει σημαντικό ρόλο στη γενική οικονομία μιας διεργασίας, διότι επιτρέπει την αριστοποίηση της διανομής της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται μέσα στα ρευστά διεργασίας, με αποτέλεσμα μεγάλη οικονομία όσον αφορά τα βοηθητικά ρευστά θέρμανσης και ψύξης.

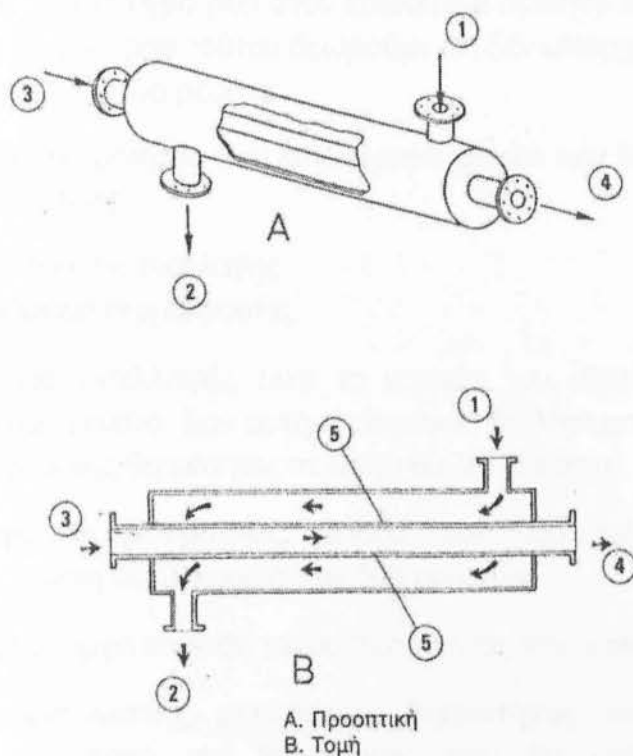
Το επόμενο σχήμα δείχνει δύο παραδείγματα ανάκτησης θερμότητας με τη χρησιμοποίηση εναλλακτών θερμότητας.



**Σχήμα 2.1:** Ανάκτηση θερμότητας με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας

### 2.1.2 Εναλλαγή θερμότητας μεταξύ ρευστών

Όταν μιλάμε για τη μεταφορά θερμότητας, σε μια κατάσταση ισορροπίας, αυτό σημαίνει ότι και η ποσότητα της θερμότητας που εναλλάσσεται και οι θερμοκρασίες εισαγωγής και εξαγωγής των ρευστών σε ένα εναλλάκτη, παραμένουν σταθερές. Σ' αυτές τις συνθήκες ο νόμος διατηρήσεως της ενέργειας, ο οποίος ορίζει ότι «η συνολική ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται αλλά παραμένει σταθερά» μπορεί να εκφραστεί με την πρόταση «όλη η θερμότητα που αποδίδεται από το θερμό ρευστό απορροφάται από το κρύο ρευστό», τουλάχιστον θεωρητικά.



1. Θερμό ρευστό προς ψύξη
2. Ψυχθέν ρευστό
3. Κρύο ρευστό προς θέρμανση
4. Θερμανθέν ρευστό
5. Διαχωριστικό τοίχωμα

**Σχήμα 2.2:** Εναλλάκτης δύο σωλήνων

Σ' ένα εναλλάκτη, τα δύο ρευστά διαχωρίζονται από το τοίχωμα του εσωτερικού αυλού, ο οποίος δεν τους επιτρέπει να αναμιχθούν, επιτρέπει όμως την εναλλαγή θερμότητας. Καθώς μεταφέρεται η θερμότητα από το θερμό ρευστό στο κρύο, το θερμό ρευστό εξέρχεται από τον εναλλάκτη σε πιο χαμηλή θερμοκρασία από αυτήν που μπήκε, ενώ το κρύο ρευστό εξέρχεται σε θερμοκρασία υψηλότερη από αυτήν που μπήκε.

Ένα παράδειγμα της διεργασίας αυτής είναι ο απλός εναλλάκτης διπλού σωλήνος, που φαίνεται στο σχήμα 2.2, οι παραπάνω παρατηρήσεις μας όμως ισχύουν και για τους πιο πολύπλοκους τύπους. Το ψυχρό υγρό ρέει στον εσωτερικό σωλήνα και το θερμό στον εξωτερικό. Πέραν τούτου θεωρούμε ότι δεν υπάρχει μεταβολή καταστάσεως στα δύο ρευστά.

Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ των δύο ρευστών είναι ανάλογο προς:

- Την επιφάνεια εναλλαγής
- Τη διαφορά θερμοκρασίας.

**Η επιφάνεια εναλλαγής** είναι το κομμάτι του εξοπλισμού που χωρίζει τα δύο ρευστά. Εάν αυτή η επιφάνεια διπλασιαστεί το ποσόν της μεταφερόμενης θερμότητας περίπου θα διπλασιαστεί.

**Η διαφορά θερμοκρασίας** μεταξύ των δύο ρευστών είναι πρακτικώς η μέση θερμοκρασία των δύο ρευστών.

Στην πράξη υπάρχει και ένας τρίτος παράγοντας που καλείται:

**Γενικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας** και ο οποίος επηρεάζει το ποσό της θερμότητας που θα μεταφερθεί. Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει υπ' όψιν του το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και τα δύο ρευστά δημιουργούν στερεές αποθέσεις, οι οποίες βαθμιαία σχηματίζουν ορισμένο πάχος και από τις δύο πλευρές του διαχωριστικού τοιχώματος. Οι αποθέσεις αυτές προκαλούν περαιτέρω αντιστάσεις στη μεταφορά θερμότητας και πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπ' όψιν.



Στην πρακτική εφαρμογή ο σχηματισμός των αποθέσεων λαμβάνεται υπ' όψιν με βάση την πείρα και την γνώση των δύο ρευστών στη φάση της κατασκευαστικής μελέτης του εναλλάκτη και στο σημείο που υπολογίζουμε το γενικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι η μελέτη του εναλλάκτη μπορεί να μας εγγυηθεί ότι θα μεταφέρεται το ποσό θερμότητας που υπολογίσαμε μέχρι τη στιγμή που οι αποθέσεις θα σχηματίσουν το πάχος που λάβαμε υπ' όψιν μας στη φάση της μελέτης. Όταν το πάχος των αποθέσεων υπερβεί αυτήν την τιμή, η απόδοση του εναλλάκτη μειώνεται και οι αποθέσεις πρέπει να αφαιρεθούν.

Κατά τη διάρκεια εναλλαγής θερμότητας η κατάσταση του ενός ή και των δύο ρευστών μπορεί να αλλάξει ή και να μην αλλάξει.

### 2.1.3 Μέθοδοι Μεταφοράς Θερμοκρασίας

Ας εξετάσουμε τώρα τους μηχανισμούς, πάνω στους οποίους βασίζεται η μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό σε ένα άλλο.

Εξετάζοντας και πάλι έναν εναλλάκτη διπλού σωλήνα (η πλαγία τομή του οποίου φαίνεται στο σχήμα 2.2) παρατηρούμε ότι η θερμότητα περνά από ένα ρευστό στο άλλο, με τη βοήθεια μιας σειράς από μεταφορές που βασίζονται στην αγωγιμότητα και στη μεταφορά.

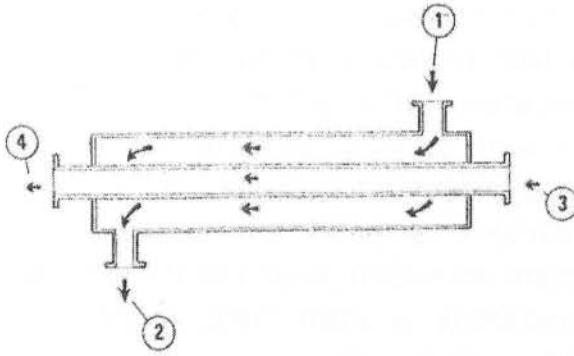
## 2.2 Ρευστά

### 2.2.1 Τύποι ροής ρευστών

Όταν διαλέγουμε τη διεύθυνση της ροής των δύο ρευστών στον εναλλάκτη. Έχουμε δύο εναλλακτικές λύσεις:

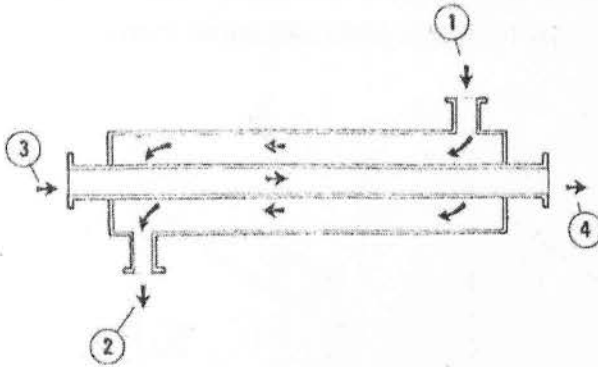
1) Ομοροή (σχ. 2.3) στην οποία και τα δύο ρευστά ρέουν προς την ίδια κατεύθυνση.

2) Αντιροή (σχ. 2.4) στην οποία τα δύο ρευστά ρέουν προς την αντίθετη κατεύθυνση.



1. Θερμό ρευστό προς ψύξη.
2. Ψυχθέν ρευστό
3. Ψυχρό ρευστό προς θέρμανση
4. Θερμανθέν ρευστό

**Σχήμα 2.3:** Εναλλάκτης δύο σωλήνων ομορροής



1. Θερμό ρευστό προς ψύξη.
2. Ψυχθέν ρευστό
3. Ψυχρό ρευστό προς θέρμανση
4. Θερμανθέν ρευστό

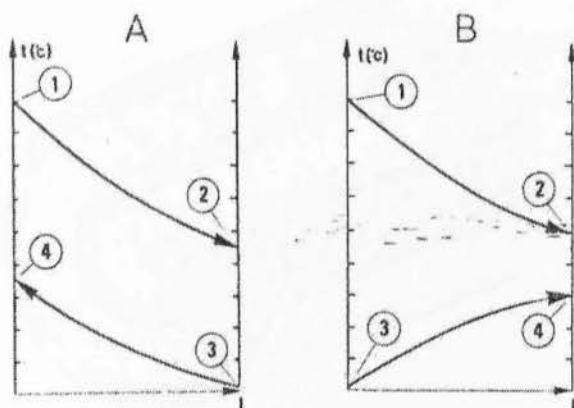
**Σχήμα 2.4:** Εναλλάκτης δύο σωλήνων αντιρροής

Η εναλλαγή κατά αντιρροή έχει καλύτερη απόδοση από την εναλλαγή κατά ομορροή. Οι καμπύλες του σχήματος 2.5 δείχνουν τις θερμοκρασίες των δύο ρευστών, συναρτήσει του μήκους του αυλού .

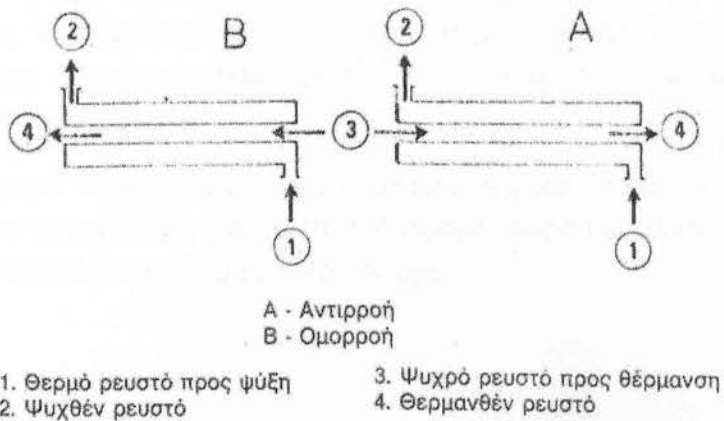
Παρατηρώντας τις καμπύλες της θερμοκρασίας, μπορούμε να δούμε ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών είναι

μεγάλη σε όλο το μήκος του εναλλάκτη, διότι το θερμό εισερχόμενο ρευστό (στην υψηλότερη θερμοκρασία του) συναντά το ψυχρό εξερχόμενο ρευστό (επίσης στην υψηλότερη θερμοκρασία). Επίσης, το θερμό υγρό που εξέρχεται συναντά το ψυχρό ρευστό που εισέρχεται. Αυξάνοντας την ταχύτητα των ρευστών μέσα στους σωλήνες ή στο κέλυφος αυξάνεται ο συντελεστής μεταφοράς, παράλληλα όμως αυξάνεται σημαντικά και η πτώση πίεσης. Υψηλές πτώσεις πίεσεως χρειάζονται μεγάλη δαπάνη μηχανικής ενέργειας και είναι φανερό ότι μεγάλη αύξηση της ροής πάνω από ορισμένη τιμή κάνει αντισυμβατική τη λειτουργία του συστήματος.

Οι αυλοί που χρησιμοποιούνται στους εναλλάκτες θερμότητας έχουν διαστάσεις διαφορετικές από τους συνηθισμένους σωλήνες της μεταφοράς των ρευστών. Κατά κανόνα έχουν λεπτότερα τοιχώματα και οι διαμέτροι είναι σχετικά μικροί.

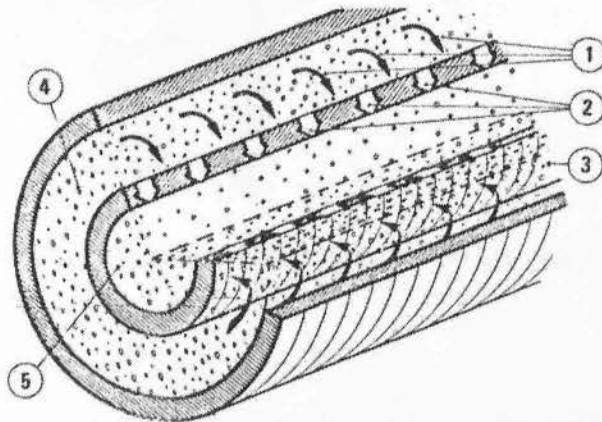


**Σχήμα 2.5:** Καμπύλες θερμοκρασίες ρευστών συναρτήσει του μήκους του αυλού



**Σχήμα 2.6:** Ροή ρευστού κατά Αντιρροή και Ομορροή

Όταν τα δύο ρευστά είναι σε ομορροή, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους στην είσοδο του εναλλάκτη είναι πολύ μεγάλη και μειώνεται γρήγορα καθώς προχωρούμε προς την έξοδο.



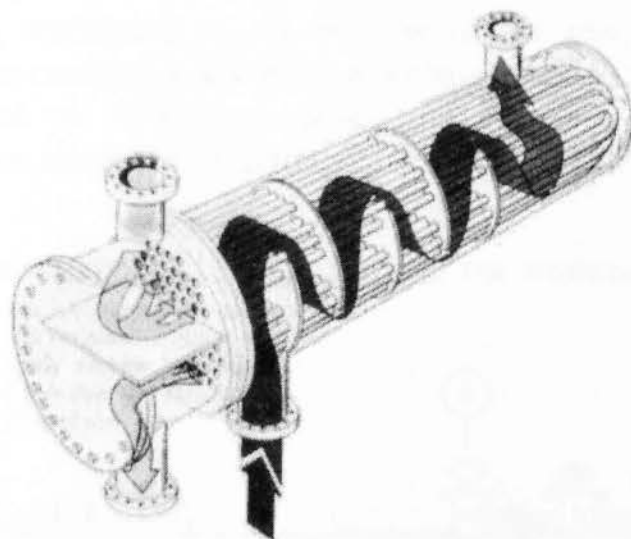
1. Μεταφορά (δια του ρευστού)  
2. Αγωγιμότητα (δια του μεταλλικού τοιχώματος)  
3. Μεταλλικό τοίχωμα  
4. Θερμό ρευστό  
5. Κρύο ρευστό

**Σχήμα 2.7.** Μεταφορά θερμότητας σε έναν εναλλάκτη

Αυτό σημαίνει ότι το τελευταίο μέρος του εξοπλισμού που δουλεύει με πολύ μικρή διαφορά θερμοκρασίας, δεν είναι αποδοτικό.

Στην πράξη πρέπει να θυμόμαστε πάντα ότι εκτός από τους άλλους παράγοντες που επιδρούν στην εναλλαγή θερμότητας, η διαφορά θερμοκρασίας είναι η δύναμη που καθορίζει το μεταφερόμενο ποσό.

Μεταφορά θερμότητας χωρίς διαφορά θερμοκρασίας δεν υπάρχει και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό θερμότητας που εναλλάσσουμε.



**Σχήμα 2.8:** Ροή Υγρού στο κέλυφος και υγρού στα τούμπα σε έναν εναλλάκτη τύπου U.

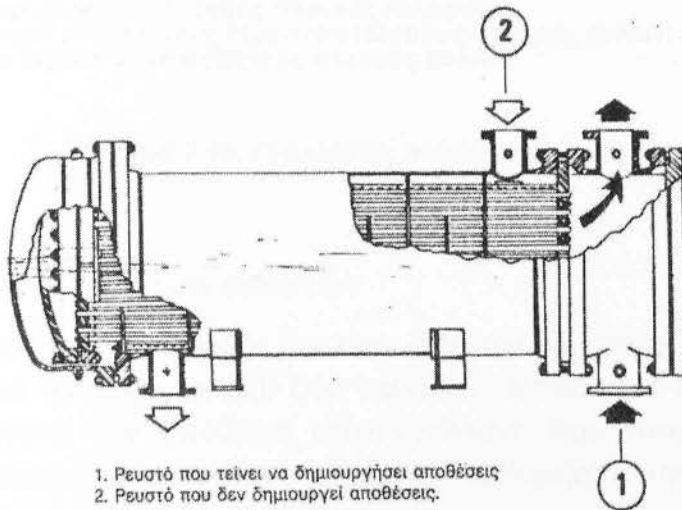
### 2.2.2 Ροή ρευστών

Τα ζεστά και κρύα ρευστά μπορεί να ρέουν είτε από την πλευρά των αυλών είτε από την πλευρά του κελύφους, γενικά πάντως είναι προτιμότερο το ζεστό ρευστό να ρέει από την πλευρά του κελύφους γιατί έτσι χάνει θερμότητα στο περιβάλλον. Ένα σημαντικό κριτήριο για να διαλέξουμε την πλευρά, δια της οποίας θα περάσει το ρευστό, είναι η τάση που έχει το ρευστό να αποθέσει στερεά κατάλοιπα που με την πάροδο του χρόνου αποκτούν ορισμένο πάχος. Ο σχηματισμός των αποθέσεων αυτών είναι πολύ επικίνδυνος για την απόδοση του εξοπλισμού γιατί μειώνει την εναλλαγή θερμότητας και αυξάνει την πτώση πίεσεως.

Η εναλλαγή θερμότητας μειώνεται γιατί το πάχος των αποθέσεων δημιουργεί μια αντίσταση στη ροή της θερμότητας από το ζεστό προς το κρύο ρευστό επειδή συνήθως αυτές οι αποθέσεις έχουν πολύ χαμηλό συντελεστή αγωγιμότητας. Η πτώση πίεσεως δια του εξοπλισμού αυξάνεται γιατί το πάχος των αποθέσεων περιορίζει το χώρο δια του οποίου μπορεί να περάσει το ρευστό.

Από τα παραπάνω βλέπουμε πως είναι αναγκαίο να καθαρίζει κανείς τους εναλλάκτες θερμότητας περιοδικώς, έτσι ώστε να αφαιρεί τις αποθέσεις και να αποκαθιστά την καλή απόδοση. Καθώς είναι συνήθως ευκολότερο να καθαρίζει κανείς την πλευρά αυλών, από την πλευρά κελύφους, τα ρευστά που τείνουν να σχηματίσουν αποθέσεις διοχετεύονται κατά κανόνα δια των αυλών (σχ. 2.9).

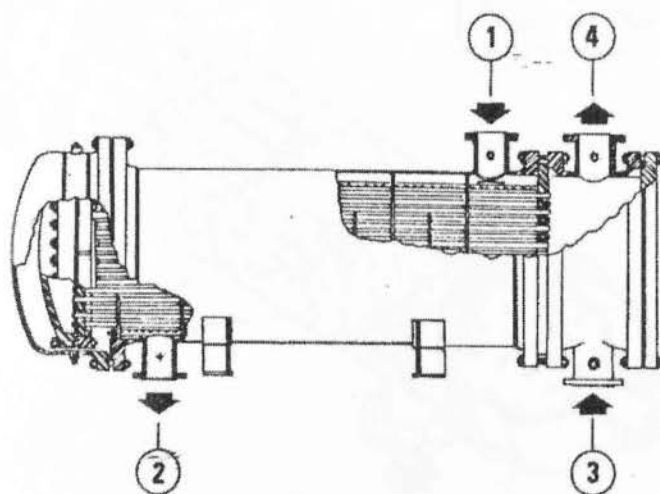
Τα παραπάνω κριτήρια δεν ισχύουν για την περίπτωση αυλών τύπου U.



**Σχήμα 2.9:** Εναλλάκτης αυλών - κελύφους

Σε όλες τις περιπτώσεις, ανεξάρτητα από την πλευρά που ρέει το ρευστό, το θερμό ρευστό μπαίνει στον εξοπλισμό πάντα από την κορυφή και βγαίνει από τον πάτο, γιατί κατά την ψύξη του αυξάνεται η πυκνότητά του.

Το κρύο ρευστό πάντα μπαίνει από τον πάτο και βγαίνει από την κορυφή, διότι θερμαινόμενο αποκτά μικρότερη πυκνότητα (σχ. 2.8).

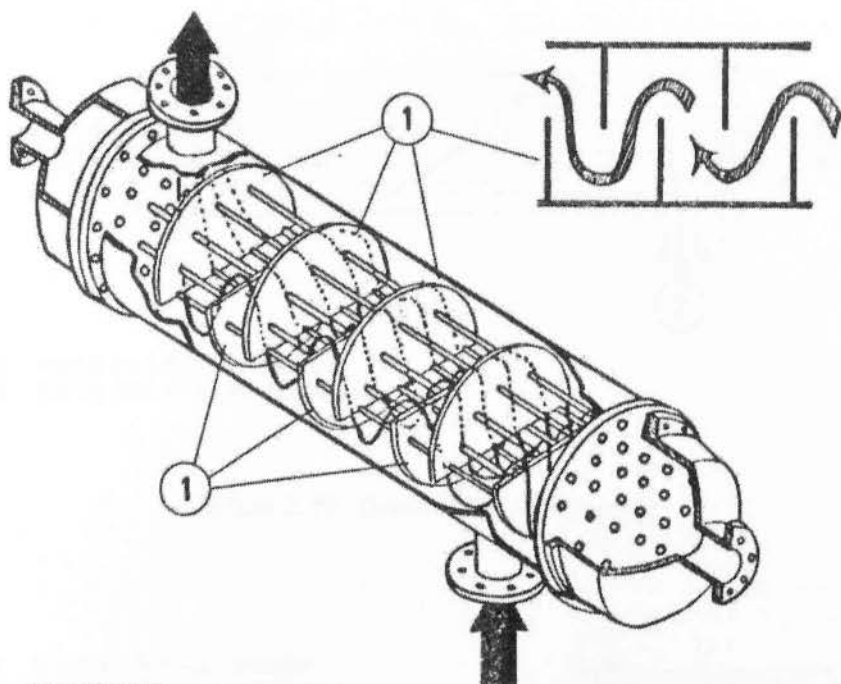


1. Ζεστό ρευστό προς ψύξη. (Είσοδος πλευράς κελύφους)
2. Ψυχθέν ρευστό (Έξοδος πλευράς κελύφους)
3. Ψυχρό ρευστό προς θέρμανση (Είσοδος πλευράς αυλών)
4. Ζεσταμένο ρευστό (Έξοδος πλευράς αυλών)

*Σχήμα 2.10. Εναλλάκτης αυλών - κελύφους*

### 2.2.3 Διεύθυνση των ρευστών

Στον εναλλάκτη με αυλούς δεν είναι δυνατόν να επιτύχουμε τελεία ροή κατά αντιρροή μεταξύ δύο ρευστών. Μπορούμε πάντως να βελτιώσουμε την απόδοση στην εναλλαγή θερμότητας με την εγκατάσταση χωρισμάτων τα οποία καθορίζουν υποχρεωτική διαδρομή και σμίκρυνση της διατομής της ροής από την πλευρά κελύφους αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα του ρευστού και βελτιώνοντας την εναλλαγή θερμότητας (σχ. 2.11).



1. Χωρίσματα

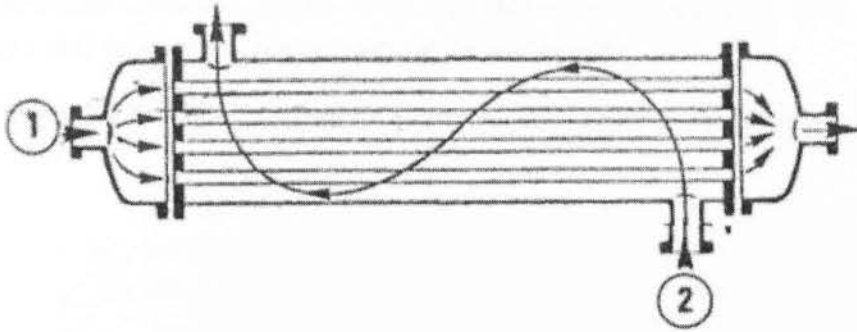
**Σχήμα 2.11.** Χωρίσματα - αρχή λειτουργίας

Η τοποθέτηση των χωρισμάτων δημιουργεί μεγαλύτερη αντίσταση στην κυκλοφορία του ρευστού και ως εκ τούτου αυξημένη πτώση πίεσεως. Ο αριθμός των εγκατεστημένων χωρισμάτων σε ένα εναλλάκτη, μετά τα όσα είπαμε παραπάνω, αποφασίζεται με βάση αυτές τις δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις.

Βαδίζοντας πάντα με το σκοπό να βελτιώσουμε την αποδοτικότητα της εναλλαγής θερμότητας, προσπαθούμε όσο μπορούμε να κάνουμε τη ροή των δύο ρευστών να προσομοιάσει κατά το δυνατόν σε καθαρή αντιρροή, έτσι ώστε τα δύο ρευστά υποχρεώνονται να περάσουν από τον ίδιο εναλλάκτη αρκετές φορές και από την πλευρά των αυλών και από την πλευρά του κελύφους.

Οι εναλλάκτες απλής ροής χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι τα ρευστά και των δύο πλευρών διέρχονται από τον εναλλάκτη μόνο μια φορά.

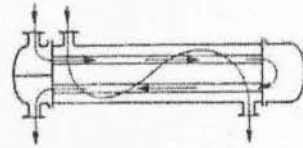




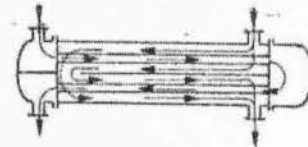
1. Απλή ροή δια των αυλών
2. Απλή ροή δια του κελύφους.

**Σχήμα 2.12:** Εναλλάκτης απλής ροής

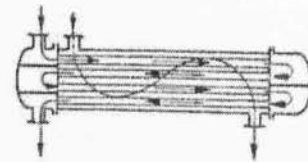
- 2 πάσα δια των αυλών  
1 πάσο δια του κελύφους



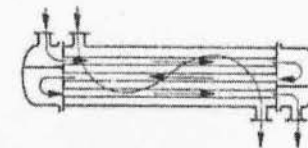
- 2 πάσα δια των αυλών 2  
πάσα δια του κελύφους



- 4 πάσα δια των αυλών  
1 πάσο δια του κελύφους



- 3 πάσα δια των αυλών  
1 πάσο δια του κελύφους



**Σχήμα 2.13:** Εναλλάκτες με πολλά πάσα

Οι εναλλάκτες πολλαπλής ροής χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι είτε το ένα είτε και τα δύο ρευστά περνούν από τον εναλλάκτη

περισσότερο από μια φορά, από την πλευρά των αυλών, από την πλευρά του κελύφους ή και από τις δύο πλευρές.

Το σχήμα 2.13 δείχνει παραδείγματα εναλλακτών με πολλά πάσα.



## Κεφάλαιο 3. Εναλλάκτες θερμότητας γενικά

### 3.1 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα σε όλους τους κλάδους της βιομηχανίας και ειδικότερα στους κλάδους της χημικής Βιομηχανίας, της βιομηχανίας πετρελαίου, της βιομηχανίας τροφίμων, στα θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια, στην ψύξη, τη θέρμανση και τον κλιματισμό.

Με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας είναι δυνατόν να ανακτήσουμε τη θερμότητα που περιέχεται στα θερμά ρεύματα και να τη χρησιμοποιήσουμε για να θερμάνουμε τα ψυχρά ρεύματα στην εγκατάσταση.

### 3.2 Βασικές Μορφές Εναλλακτών

Από τους διάφορους διαθέσιμους τύπους εναλλακτών, σε διυλιστήρια και χημικές βιομηχανίες χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις βασικοί τύποι:

Οι εναλλάκτες κελύφους και σωλήνων (shell and tubes),

Οι εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων (double pipe),

Οι αερόψυκτοι εναλλάκτες (air coolers).

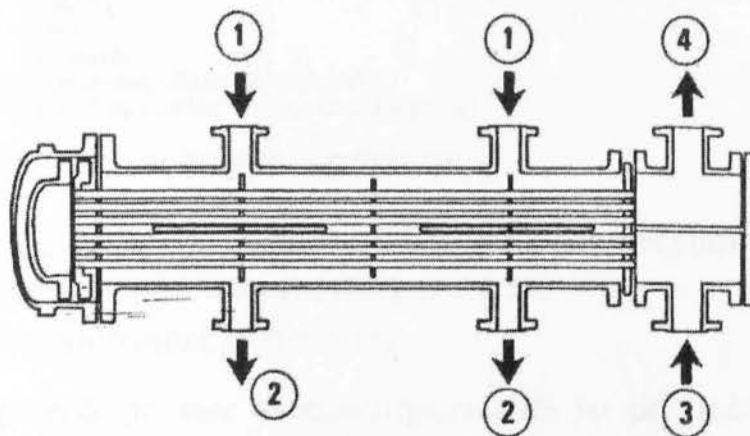
Ο βασικός κανόνας για την κατεύθυνση της ροής των ρευστών σε όλους τους εναλλάκτες είναι, ότι το ρευστό που θερμαίνεται θα ρέει προς τα επάνω και το ρευστό που ψύχεται θα ρέει προς τα κάτω. Αυτό μπορεί να εκφραστεί και ως το θερμό ρεύμα συνδέεται στην επάνω πλευρά του εναλλάκτη και το ψυχρό στην κάτω. Υπάρχουν λίγες εξαιρέσεις σε αυτόν τον κανόνα, Γενικά εάν δεν είναι δυνατή η ατμοποίηση ή η συμπύκνωση κατά την διάρκεια της μετάδοσης της θερμότητας, η ροή μπορεί να γίνει με οποιονδήποτε τρόπο.

### 3.3 Κατηγορίες Εναλλακτών

Ανάλογα με τη χρήση τους οι εναλλάκτες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Καταψύκτες (Chillers):** Παγώνουν υγρά ή αέρια σε θερμοκρασία κατώτερη από εκείνη που μπορούμε να φθάσουμε με νερό. Σαν ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται προπάνιο, φρέον ή αμμωνία.
- **Συμπυκνωτές (Condensers):**

Η χρησιμότητα των συμπυκνωτών και ο σκοπός τους είναι να μεταβάλλουν ένα ρευστό διεργασίας από την αέριο φάση στην υγρή φάση. Το ρευστό ψύξης μπορεί να είναι νερό, αέρας ή άλλο βοηθητικό ρευστό, ή ακόμα άλλο ρευστό διεργασίας που χρειάζεται προθέρμανση. Οι συμπυκνωτές μπορεί να είναι είτε μερικής είτε ολικής συμπύκνωσης, ανάλογα με το αν μεταβάλλουν το ρευστό διεργασίας σε υγρά φάση. Αν μέσα στο ρευστό διεργασίας περιλαμβάνονται και μη συμπυκνούμενα αέρια τότε η συμπύκνωση είναι πάντοτε μερική. Γενικά οι συμπυκνωτές είναι εναλλάκτες που προσομοιάζουν στο συνηθισμένο εναλλάκτη δέσμης αυλών - κελύφους (Σχ. 3.1).



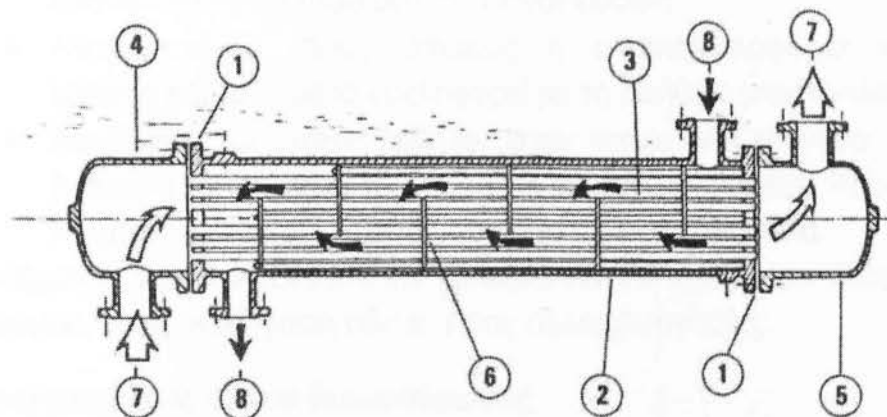
1. Είσοδος αερίου
2. Έξοδος συμπυκνώματος
3. Είσοδος ρευστού ψύξης
4. Έξοδος ρευστού ψύξης

Σχήμα 3.1: Συμπυκνωτής

- **Ψύκτες (Coolers):** Κάθε τύπος εναλλάκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ψυγείο.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε το νερό σαν μέσο ψύξης, έχουμε συνεχή προβλήματα βρομίσματος λόγω αποθέσεων μέσα στους αυλούς. Γι' αυτό το λόγο, εναλλάκτες με αυλούς τύπου u είναι ακατάλληλοι για ψύξη. Εναλλάκτες σταθερού καθρέφτη χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σαν ψυγεία.

Το νερό ψύξης περνά πάντα μέσα από τους αυλούς, για να μπορούμε εύκολα και συχνά να καθαρίζουμε τις αποθέσεις.



1. Σταθεροί καθρέφτες
2. Κέλυφος
3. Δέσμη αυλών
4. Διανομέας
5. Καπάκι
6. Χωρίσματα
7. Νερό ψύξεως (Πλευρά αυλών)
8. Ρευστό διεργασίας (Πλευρά κελύφους)

Σχήμα 315. Ψυγείο με σταθερούς καθρέφτες

- **Θερμαντήρες (Heaters):** Προσφέρουν θερμότητα που παίρνουν από την υγροποίηση ατμών.
- **Αναβραστήρες (Reboilers):**

Η χρησιμότητα των αναβραστήρων είναι να μετατρέπουν ένα ρευστό μερικώς από την υγρά φάση στην αέριο φάση. Το χρησιμοποιούμενο σαν θερμαντικό μέσο μπορεί να είναι ατμός, κάποιο βοηθητικό θερμό υγρό, ή και κάποιο θερμό ρευστό διεργασίας που πρέπει με την σειρά του να ψυχθεί.

Οι αναβραστήρες χρησιμοποιούνται ευρύτατα για να μας

προσφέρουν την θερμότητα που χρειάζεται η απόσταξη. Για το σκοπό αυτό, τοποθετούνται στον πάτο της κολώνας απόσταξης. Ένα μέρος από το υγρό του πυθμένα της κολώνας περνά μέσα από τον αναβραστήρα, εξατμίζεται μερικώς και επιστρέφει στην κολώνα για να προσφέρει την απαιτούμενη θερμική ενέργεια. Το προϊόν που βγαίνει από τον αναβραστήρα αποτελείται από μίγμα υγρού και αερίου.

Οι κύριοι τύποι των αναβραστήρων που συναντάμε είναι:

- Αναβραστήρες τύπου θερμοσίφωνος, στον οποίο η επανακυκλοφορία του ρευστού είναι φυσική.
- Αναβραστήρες στους οποίους η επανακυκλοφορία είναι τεχνητή και το ρευστό κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας αντλίας.
- Αναβραστήρας τύπου λέβητος στον οποίο όλο το υγρό που βγαίνει από τον πάτο της κολώνας απόσταξης, οδεύει προς το λέβητα από τον οποίο βγαίνουν δύο ρεύματα χωριστά.

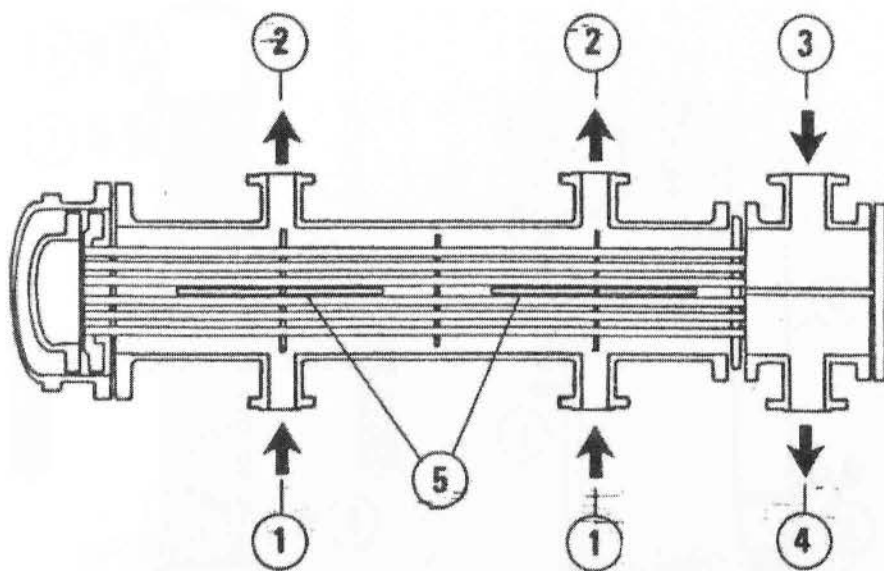
Η αέριος φάση επιστρέφει στην κολώνα για να προσφέρει θερμική ενέργεια, και η υγρά φάση οδεύει προς άλλες διεργασίες.

### **Αναβραστήρας τύπου θερμοσίφωνος**

Ο τύπος αυτός είναι από τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους τύπους αναβραστήρα (Σχ. 3.2). Το ρευστό διεργασίας εξατμίζεται μέσα στο κέλυφος με την βοήθεια του θερμαντικού ρευστού που περνά μέσα από τους αυλούς.

Οι μαστοί εισόδου και εξόδου του ρευστού διεργασίας βρίσκονται στο κεντρικό μέρος του κελύφους και η ροή του ατμού καθοδηγείται και κατευθύνεται από οριζόντια χωρίσματα.

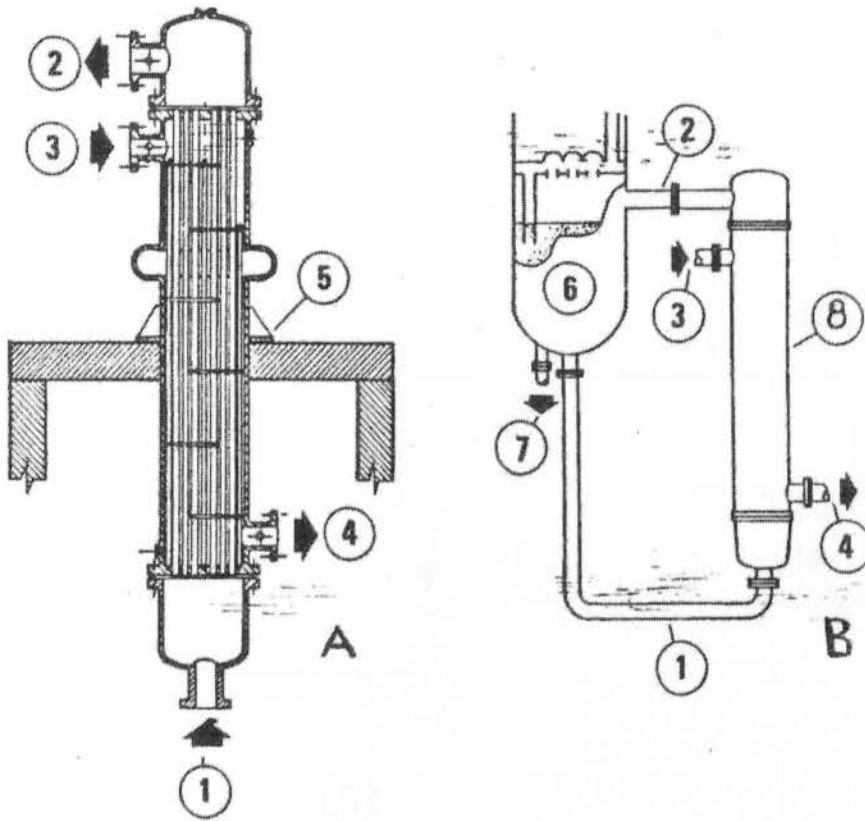
Οι μαστοί εξόδου υγρού και ατμού είναι μεγαλύτεροι από τους μαστούς εισόδου, εξαιτίας της πίεσεως του ατμού.



1. Έξοδος υνρού
2. Έξοδος υνρού και ατιού
3. Είσοδος θεομαντικού ρευστού
4. Έξοδος θεομαντικού ρευστού
5. Χωρίσματα

*Σχήμα 3.2: Αναβραστήρας τύπου θερμοσίφωνος*

Υπάρχουν επίσης κατακόρυφοι αναβραστήρες τύπου θερμοσίφωνος (Σχ. 3.3). Στην ειδική αυτή περίπτωση η εξάτμιση γίνεται μέσα στους αυλούς.



1. Είσοδος υγρού
2. Έξοδος υγρού και ατμού
3. Είσοδος ρευστού θέρμανσης
4. Έξοδος ρευστού θέρμανσης
5. Στήριγμα
6. Κολώνα απόσταξης
7. Προϊόν πυθμένος
8. Αναβραστήρες

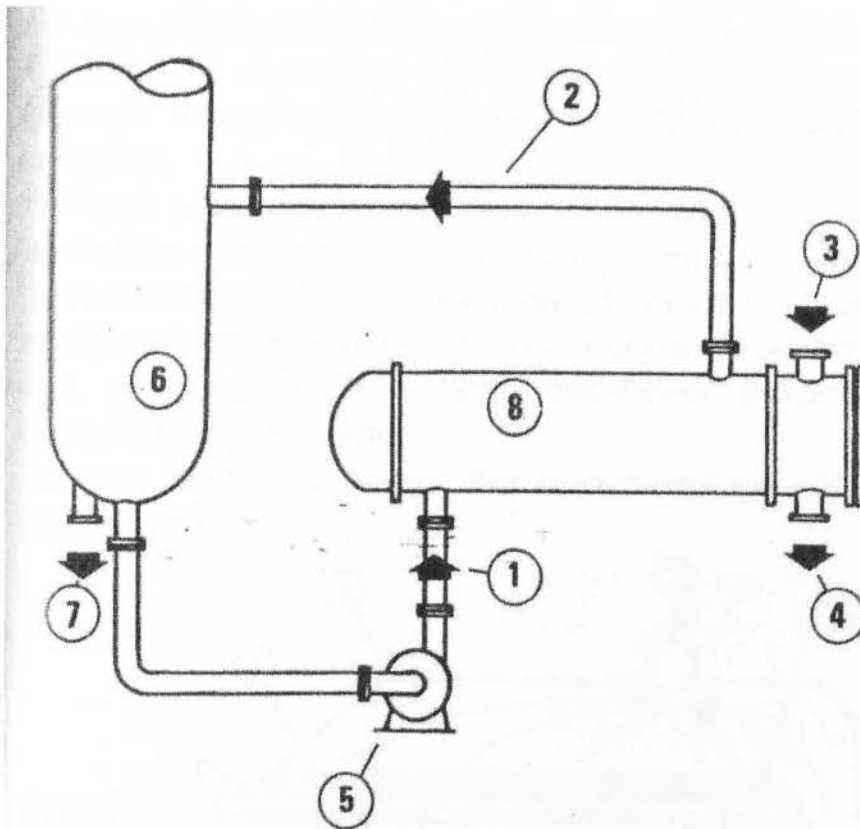
**Σχήμα 3.3:** Κατακόρυφος αναβραστήρας τύπου θερμοσίφωνος (A) και (B) παράδειγμα σύνδεσης στον πύργο.

### Αναβραστήρας τεχνητής ανακυκλοφορίας

Σ' αυτόν τον τύπο του αναβραστήρα χρησιμοποιούμε αντλία για να σπρώξουμε το υγρό διεργασίας μέσα από τον εναλλάκτη (Σχ. 3.4).

Οι αναβραστήρες αυτοί έχουν το προσόν της εύκολης ρύθμισης της ταχύτητας με την οποία εξατμίζεται το ρευστό.





1. Είσοδος υγρού
2. Έξοδος υγρού και αερίου
3. Είσοδος θερμομαντικού ρευστού
4. Έξοδος θερμομαντικού ρευστού
5. Αντλία
6. Κολώνα απόσταξης
7. Προϊόν πυθμένος
8. Αναβραστήρας

**Σχήμα 3.4:** Διάταξη αναβραστήρα τεχνητής κυκλοφορίας

### **Αναβραστήρας τύπου λέβητος.**

Ο αναβραστήρας τύπου λέβητος χρησιμοποιείται βασικά για τη μερική εξαέρωση ενός υγρού (Σχ. 3.5).

Ο αναβραστήρας αποτελείται από ένα κέλυφος κυλινδρικής τομής με διάμετρο περίπου διπλή από αυτήν της δέσμης των αυλών, για να επιτρέπει τον εύκολο διαχωρισμό υγρής και αερίου φάσης.

Το υγρό εισέρχεται από τον πάτο του εναλλάκτη και καλύπτει πλήρως την δέσμη των αυλών, χάρις σε ένα χώρισμα υπερχείλισης που διατηρεί την στάθμη του υγρού σταθερή.

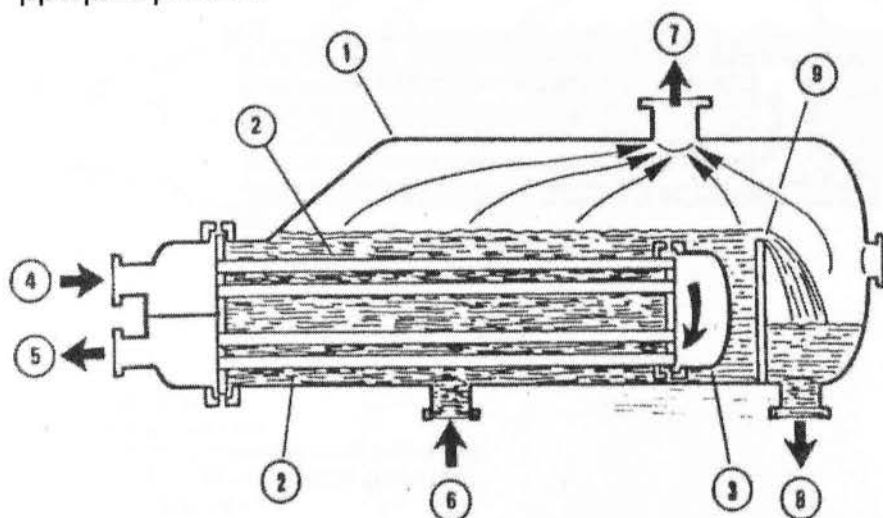
Το πάνω μέρος του κελύφους διευρύνεται για να βοηθήσει στην

ελεύθερη εξάπλωση και έξοδο των δημιουργημένων αερίων. Το μέρος του υγρού που δεν εξατμίζεται περνά πάνω από το χώρισμα υπερχειλίσης και βγαίνει από το κάτω μέρος του κελύφους.

Το θερμό ρευστό περνά μέσα από την πλευρά αυλών. Η δέσμη των αυλών μπορεί να είναι τύπου πλωτής κεφαλής ή τύπου υ.

Οι εναλλάκτες αυτοί έχουν μεγαλύτερη τάση για την δημιουργία αποθέσεων από τους άλλους τύπους αναβραστήρων, διότι πίσω από το χώρισμα υπερχειλίσης αποτίθενται βαθμιαίως και συνεχώς βαριά κατάλοιπα.

Για τους παραπάνω λόγους δεν συνιστώνται για χρήσεις με βρώμικα ρευστά.



1. Κέλυφος
2. Δέσμη αυλών
3. Πλωτή κεφαλή
4. Είσοδος θερμού ρευστού
5. Έξοδος θερμού ρευστού
6. Είσοδος υγρού
7. Έξοδος αερίου
8. Έξοδος υγρού
9. Διάφραγμα υπερχειλίσης

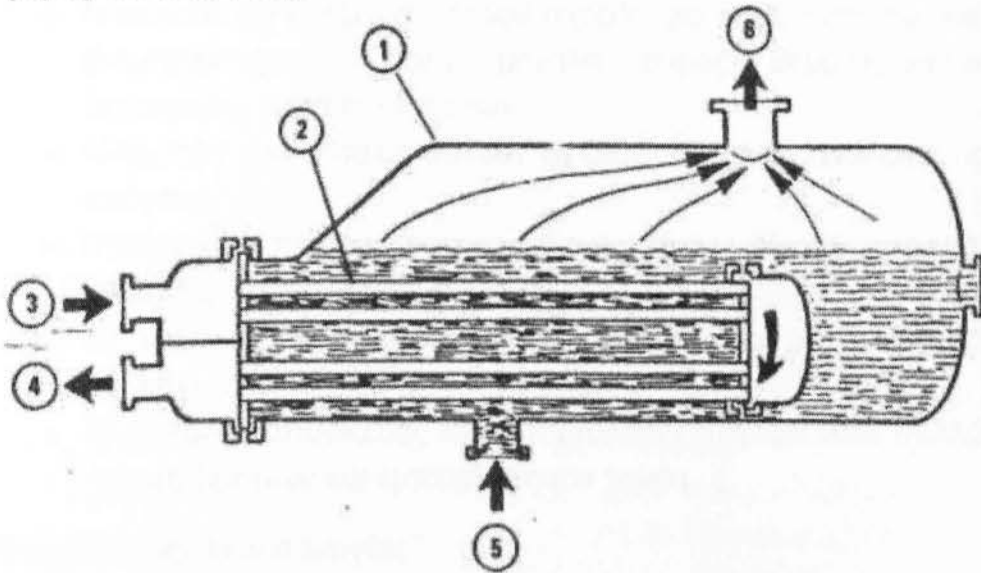
**Σχήμα 3.5:** Εναλλάκτης τύπου λέβητος

- **Ατμογεννήτριες (Steam Generators):**

Ο σκοπός των ατμογεννητριών είναι η παραγωγή ατμού για το εργοστάσιο με ανάκτηση της θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας που είναι διαθέσιμη σε πολύ θερμά ρευστά διεργασίας ή σε καυσάερια.

Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός προσομοιάζει στους εξατμιστές ή αναβραστήρες τύπου λέβητος. Η κυρία διαφορά στην περίπτωση αυτή είναι ότι το προς εξάτμιση υγρό είναι απιονισμένο νερό και το προϊόν είναι ατμός.

Όταν η ατμογεννήτρια μοιάζει με εξατμιστή, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.6, ο ατμός εξέρχεται απ' ευθείας από τον μαστό εξόδου στο πάνω μέρος του κελύφους.



1. Κέλυφος
2. Δέσμη αυλών
3. Είσοδος θερμομαντικού ρευστού
4. Έξοδος θερμομαντικού ρευστού
5. Είσοδος νερού
6. Έξοδος ατμού

Σχήμα 3.6: Ατμογεννήτρια

- Υπερθερμαντήρες (Superheaters):

Ο σκοπός των υπερθερμαντήρων είναι να μετατρέπουν πλήρως ένα υγρό προϊόν σε αέριο. Στην πράξη, κάθε εναλλάκτης (που δεν αποτελεί τμήμα φούρνου) στον οποίον ένα ρευστό εξατμίζεται πλήρως ονομάζεται εξατμιστής.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στους εξατμιστές είναι γενικά όμοιος με τους αναβραστήρες τύπου λέβητος.

## Κεφάλαιο 4. Εναλλάκτες ΤΕΜΑ

### 4.1 Εναλλάκτης αυλών κελύφους της ΤΕΜΑ

Γιατί να επιλέξουμε ένα εναλλάκτη αυλών κελύφους

- Μπορούν να κατασκευαστούν σχεδόν για κάθε τύπο βαριάς βιομηχανίας με πολύ μεγάλο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας αλλά και πιέσεων.
- Μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορα υλικά ανάλογα τις ανάγκες.
- Υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές που δίνουν πολλές επιλογές.
- Οι επισκευές μπορούν να γίνουν από μη εξειδικευμένα συνεργεία.
- Οι μέθοδοι κατασκευής και η τεχνολογία πηγάζει από πολλά χρόνια δοκιμών και εμπειρίας στον τομέα.

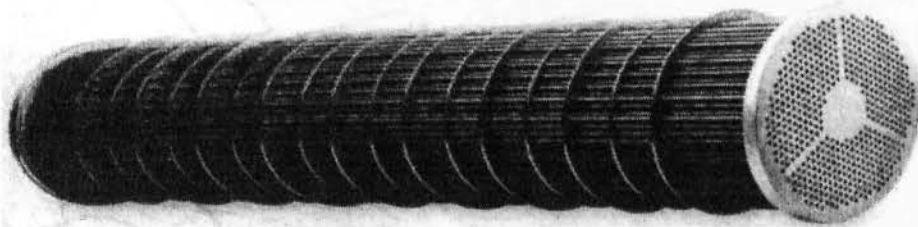
Βασικά στοιχεία λειτουργίας

- Μέγιστες πιέσεις λειτουργίας :  
Κέλυφος : 300 bar  
Σωληνώσεις(τούμπα): 1400 bar
- Θερμοκρασίες λειτουργίας  
Μέγιστο: 600°C  
Ελάχιστο: - 100°C
- Υγρά που διαρρέουν τον εναλλάκτη:  
Ανάλογα τις ανάγκες οποιοδήποτε υγρό χρειάζεται.
- Μέγεθος ανά μονάδα:  
10 – 1000 m<sup>2</sup>

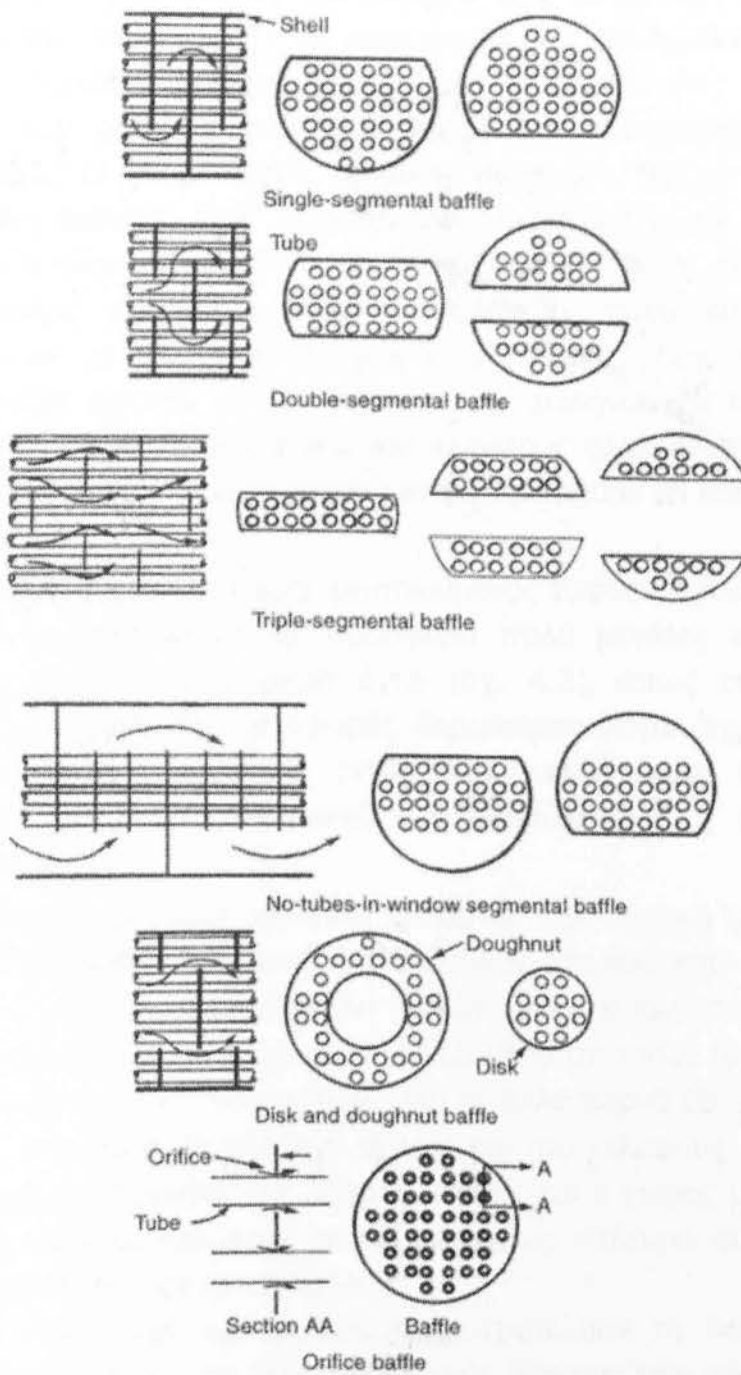
Όλα τα παραπάνω μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με τα υλικά κατασκευής του εναλλάκτη.

#### 4.1.2 Βασική μορφή του εναλλάκτη

- Κέλυφος (Shell): Είναι ο εξωτερικός κύλινδρος κατασκευασμένος ανάλογα με τις απαιτήσεις από διάφορα μέταλλα ή κράματα. Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο μέταλλο είναι το ατσάλι (carbon steel).
- Αυλοί (Tubes): Είναι το πλέγμα των αυλών που βρίσκεται στο εσωτερικό του κελύφους.
- Ανακλαστήρες (Baffles): Μεταλλικά ελάσματα εγκατεστημένα εγκάρσια ή κατά μήκος του κελύφους για την αλλαγή πορείας και ανάδευση των υγρών, όπως επίσης και για στηρίγματα των αυλών. Είναι το μέρος του εναλλάκτη μαζί με την δέσμη των αυλών που παθαίνει τις μεγαλύτερες διαβρώσεις.
- Σύνδεσμοι απορροφήσεως θερμικών διαστολών και συστολών (Expansion Joints) ή απλά δακτύλιοι διαστολής,
- Μετωπικά ελάσματα (Tubes Sheets): Είναι κυκλικοί δίσκοι προσαρμοζόμενοι στα δυο άκρα του κελύφους. Έχουν τρύπες συμμετρικά ανοιγμένες μέσα από τις οποίες περνούν και στηρίζονται οι αυλοί. Το στήριγμα των αυλών γίνεται ή με κόλλημα ή με εκτόνωση.
- Καπάκια του κελύφους (Shell Cover): Κλείνουν το ένα ή και τα δύο (ανάλογα του τύπου του κελύφους) ανοικτά μέρη του κελύφους,
- Ακροφύσια (Nozzles) εισαγωγής εξαγωγής υγρών.
- Εξαεριστήρες (Vents) για να βγαίνει ο αέρας.
- Σημεία αποστραγγίσεως του κελύφους (Drain Connection).
- Θάλαμοι εισαγωγής — εξαγωγής (Channels).



**Σχήμα 4.1:** Δέσμη σωλήνων (tube bundles) Εναλλάκτη. Διακρίνονται οι αυλοί (tubes), τα μετωπικά ελάσματα (tube sheets) και οι ανακλαστήρες (baffles).



**Σχήμα 4.2:** Τύποι ανακλαστήρων

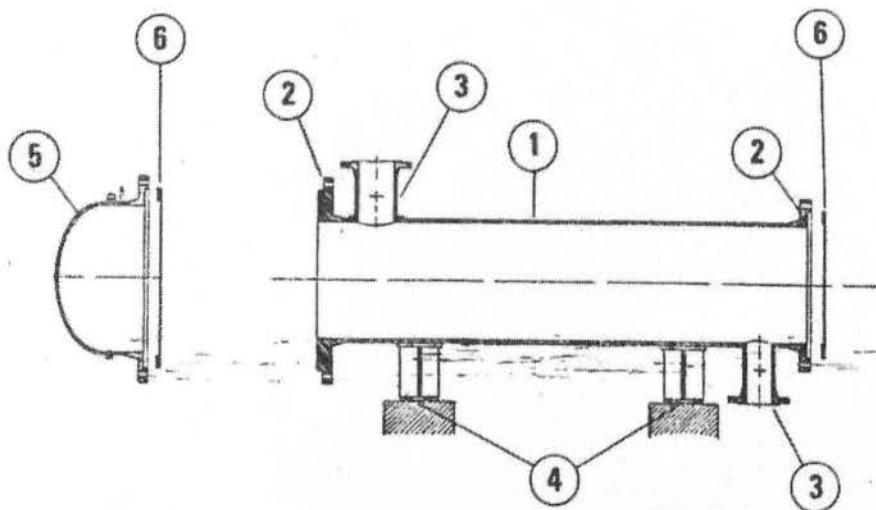
Ο καθαρισμός και η αντικατάσταση των σωλήνων είναι σχετικά

εύκολη. Τα άκρα των σωλήνων προσαρμόζονται σε τρύπες των δυο μετωπικών ελασμάτων (Tube Sheets) του εναλλάκτη με συγκόλληση ή εκτόνωση. Το άνοιγμα των οπών των σωλήνων πάνω στα ελάσματα γίνεται συμμετρικά και ακολουθούνται δυο βασικές διατάξεις, η τετραγωνική και η τριγωνική, στις οποίες τα κέντρα των οπών σχηματίζουν τετράγωνα ή ισοσκελή τρίγωνα αντίστοιχα. Ο μεγαλύτερος αριθμός σωλήνων δίνεται από την τριγωνική διάταξη. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα μετωπικά ελάσματα είναι κομμένα στο εσωτερικό του κελύφους, ή σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται για φλάντζες πάνω στις οποίες βιδώνονται οι θάλαμοι εισαγωγής εξαγωγής. Δεν υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με τον αριθμό των σωλήνων. Μπορούν να καταλάβουν όλο το εσωτερικό του κελύφους αλλά η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορούν να καθαρίζονται εύκολα.

Αυτός είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος τύπος εναλλάκτη, γιατί έχει το χαρακτηριστικό να προσφέρει πολύ μεγάλες επιφάνειες εναλλαγής με σχετικά μικρό όγκο (σχ. 4.3), όπως επίσης και υψηλούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας λόγω της μεγάλης ταχύτητας των ρευστών εντός και εκτός των σωλήνων. Μειονεκτήματα των σωληνωτών εναλλακτών είναι η σημαντική πτώση πίεσεως.

Η κατασκευή τους είναι απλή και το κόστος τους σχετικά χαμηλό, οι εναλλάκτες τύπου κελύφους και σωλήνων αποτελούνται Συνήθως από μια δέσμη παραλλήλων αυλών που εισάγονται σ' ένα κυλινδρικό κέλυφος. Το ένα ρευστό ρέει μέσα από τους αυλούς που αποτελούν τη δέσμη των αυλών, ενώ το άλλο περνά έξω από τους αυλούς στο χώρο μεταξύ των αυλών και του κελύφους. Ο χώρος μέσα από τους αυλούς της δέσμης, καθώς και ο χώρος μεταξύ της δέσμης και τους κελύφους αναφέρονται ως «πλευρά αυλών» και «πλευρά κελύφους» αντιστοίχως.

Και τα δύο άκρα των αυλών που αποτελούν τη δέσμη είναι στερεωμένα επάνω σε δύο μεταλλικούς δίσκους που ονομάζουμε «καθρέφτες». Το ρευστό που ρέει από τους αυλούς μπαίνει στην εισαγωγή με τη βοήθεια διανομέως. Το άλλο άκρο του εναλλάκτη καλύπτεται από ένα κάλυμμα ή καπάκι.



1. Κυλινδρικό περίβλημα
2. Φλάντζες
3. Μαστοί
4. Στηρίγματα
5. Καπάκι (με φλάντζα)
6. Τσόντες

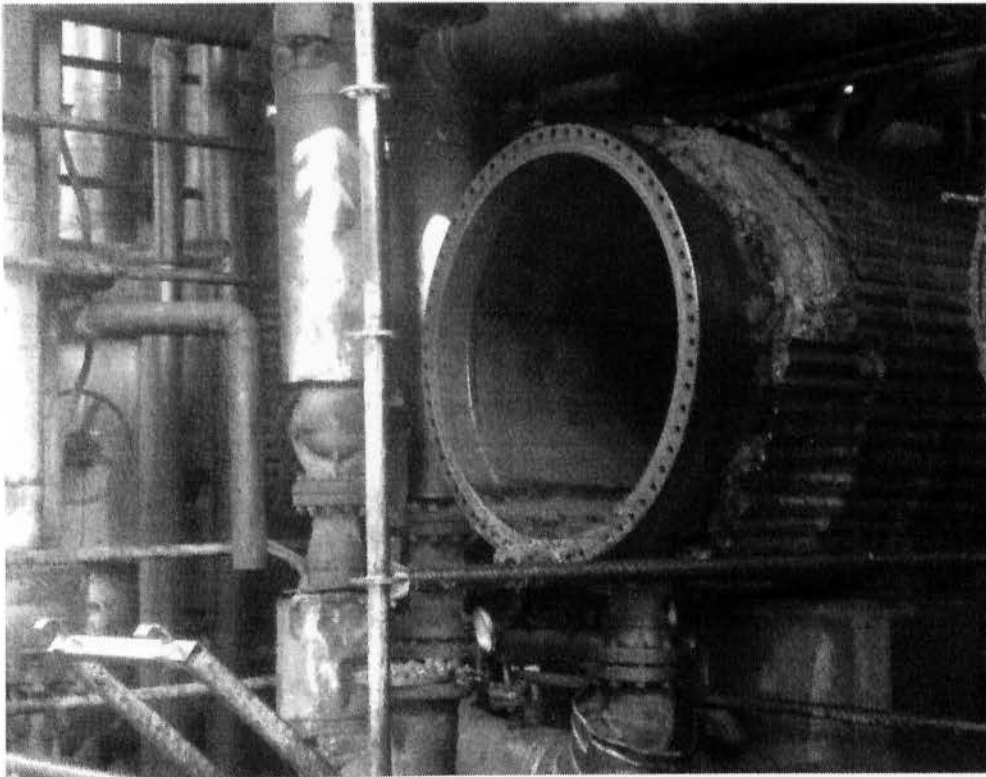
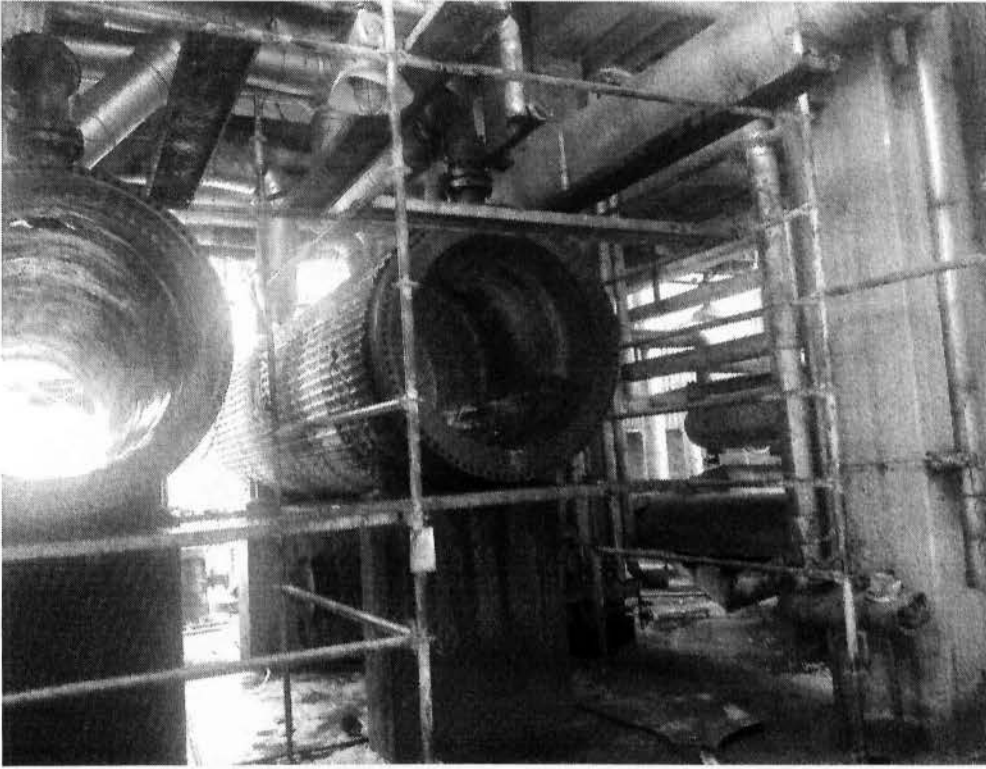
**Σχήμα 4.3:** Εναλλάκτης με δέσμη αυλών

#### 4.1.3 Κέλυφος

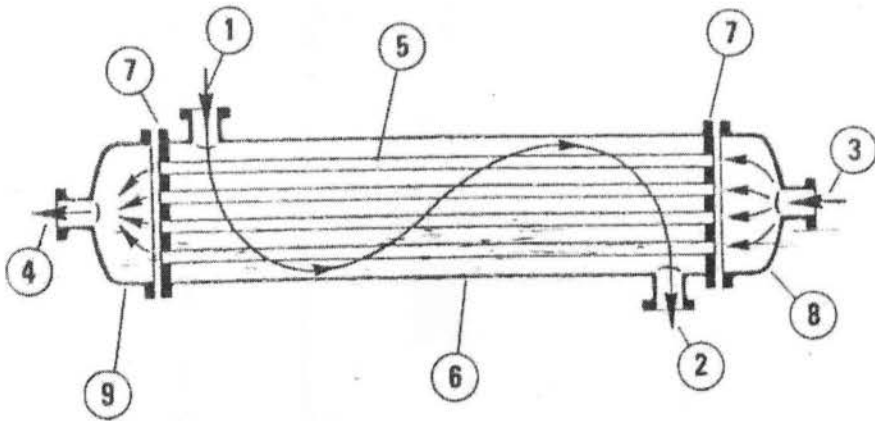
Το κέλυφος είναι η φέρουσα κατασκευή (σχ. 4.5) της δέσμης των αυλών και αποτελείται από:

- Κυλινδρικό περίβλημα
- Φλάντζες
- Μαστούς
- Στηρίγματα
- Καπάκι





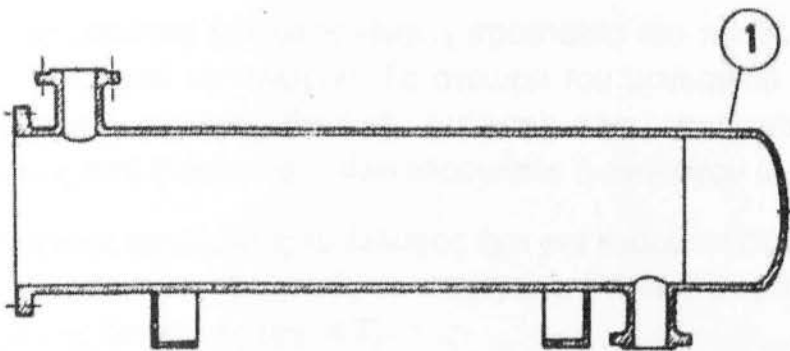
*Σχήμα 4.4: Κελύφη εναλλακτών κατά την γενική συντήρηση*



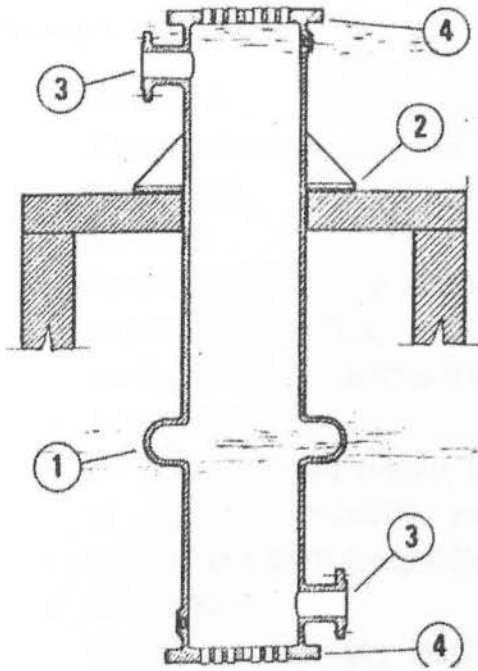
1. Ζεστό ρευστό προς ψύξη
2. Ψυχθέν ρευστό
3. Κρύο ρευστό προς θέρμανση
4. Θερμανθέν ρευστό
5. Αυλός
6. Κέλυφος
7. Καθρέφτης αυλών
8. Διανομέας
9. Καπάκι

**Σχήμα 4.5.** Κέλυφος ενός εναλλάκτη 'αυλών κελύφους'

Σε μερικούς τύπους εναλλακτών το καπάκι ηλεκτροσυγκολλάται πάνω στο κέλυφος (σχ. 4.6). Συνήθως οι εναλλάκτες θερμότητας εγκαθίστανται σε οριζόντια θέση. Πάντως σε ορισμένες περιπτώσεις, είτε για λόγους λειτουργικούς είτε για λόγους χώρου, χρειάζεται η εγκατάσταση κατακόρυφων εναλλακτών που δεν διαφέρουν από τους άλλους παρά μόνον ως προς την τοποθέτηση (σχ. 4.7).



**Σχήμα 4.6:** Κέλυφος εναλλάκτη «Αυλών Κελύφους» με συγκολλημένο καπάκι (1)



1. Κούρμπα διαστολής
2. Στηρίγματα
3. Μαστοί
4. Φλάντζες

**Σχήμα 4.7:** Εναλλάκτης με κούρμπα διαστολής σε κατακόρυφη θέση.

Το κέλυφος του εναλλάκτη θερμότητας συνήθως καλύπτεται από ένα στρώμα μονωτικού υλικού για να περιορίσουμε τις απώλειες θερμότητας και να αυξήσουμε την ανάκτηση θερμότητας.

Άλλος ένας σκοπός μόνωσης είναι η προστασία του προσωπικού και του γειτονικού εξοπλισμού. Το στρώμα του μονωτικού υλικού (Ίνες γυαλιού, ορυκτός βάμβαξ, αμίαντος κλπ.) προστατεύεται παρομοίως από ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου ή ανάλογου υλικού.

Σε ορισμένους εναλλάκτες το κέλυφος έχει μια κούρμπα διαστολής για να επιτρέπει στους αυλούς να επιμηκύνονται σαν αποτέλεσμα της θερμικής διαστολής (σχ. 4.7)

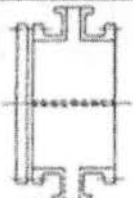
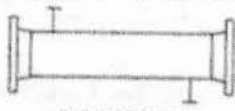

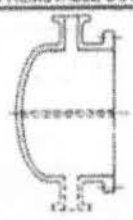
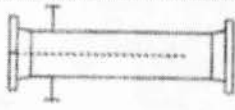
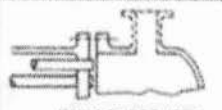
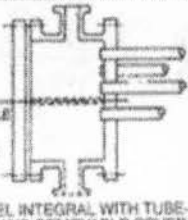
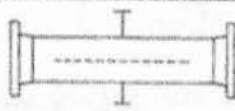

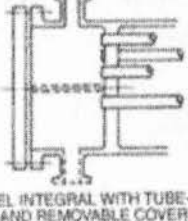
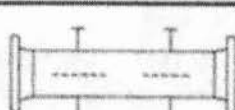
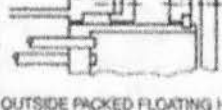
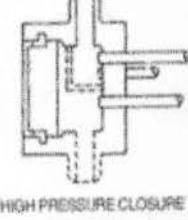

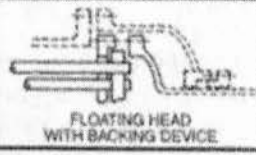
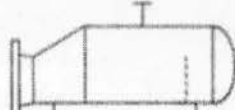
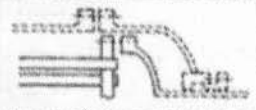
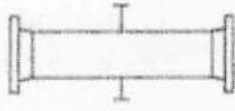
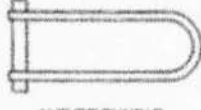

Αυτός ο τύπος του εναλλάκτη έχει συνήθως τους καθρέφτες ηλεκτροσυγκολλημένους στο κέλυφος με μια σειρά από τρύπες για τη στερέωση των σταθερών κεφαλών.

## Μορφές κελύφους:

- Τύπος A  
Χρησιμοποιείται στις πλευρές που μπορεί να χρειαστούν καθαρισμό.
- Τύπος B  
Χρησιμοποιείται κατά προτίμηση λόγω χαμηλού κόστους κατασκευής καθώς δεν έχει αποσπώμενα μέρη, αλλά προτιμάται για περιπτώσεις που δε χρειάζεται καθαρισμό.
- Τύπος C  
Με αποσπώμενη πλάκα για ειδικές περιπτώσεις όπου από τα τούμπα περνούν επικίνδυνα υλικά και ο συχνός καθαρισμός είναι αναγκαίος.
- Τύπος N  
Χρησιμοποιείται για περιπτώσεις όπου επικίνδυνα υλικά χρησιμοποιούνται στο κέλυφος του εναλλάκτη.
- Τύπος D  
Για υψηλές πιέσεις λειτουργίας (Άνω των 150 bar)
- Τύπος E  
Χρησιμοποιείται περισσότερο κυρίως επειδή έχει χαμηλό κόστος και απλό τρόπο κατασκευής.
- Τύπος F  
Χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις όπου τα ρευστά περνούν δύο ή παραπάνω φορές κατά μήκος του κελύφους.
- Τύπος J  
Χρησιμοποιείται για διαχωρισμένη ροή ρευστού χαμηλών πιέσεων.
- Τύπος X  
Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ομορροής ρευστών όπου δεν υπάρχουν καθρέπτες στον εναλλάκτη και επιθυμούμε ελάχιστη πτώση πίεσης.
- Τύπος G  
Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το υγρό ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις και καταλήγει στην έξοδο.
- Τύπος H

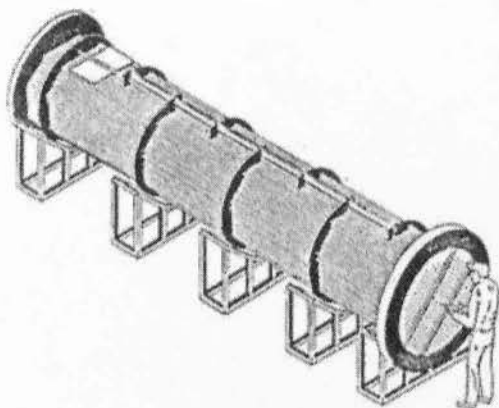
Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις διπλής ροής από δυο εισόδους και καταλήγει σε δύο εξόδους. Το ρευστό διαρρέει τον εναλλάκτη. Για περιπτώσεις χαμηλών πιέσεων.

**Πίνακας 4.1:** Τύποι κελύφους (TEMA STANDARDS)

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
<b>A</b>	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	<b>E</b>	 ONE PASS SHELL	<b>L</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
<b>B</b>	 BONNET (INTEGRAL COVER)	<b>F</b>	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	<b>M</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
<b>C</b>	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	<b>G</b>	 SPLIT FLOW	<b>N</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
<b>N</b>	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	<b>H</b>	 DOUBLE SPLIT FLOW	<b>P</b>	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
<b>D</b>	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	<b>J</b>	 DIVIDED FLOW	<b>S</b>	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		<b>K</b>	 KETTLE TYPE REBOILER	<b>T</b>	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		<b>X</b>	 CROSS FLOW	<b>U</b>	 U-TUBE BUNDLE
				<b>W</b>	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

#### 4.1.4 Δέσμη Αυλών

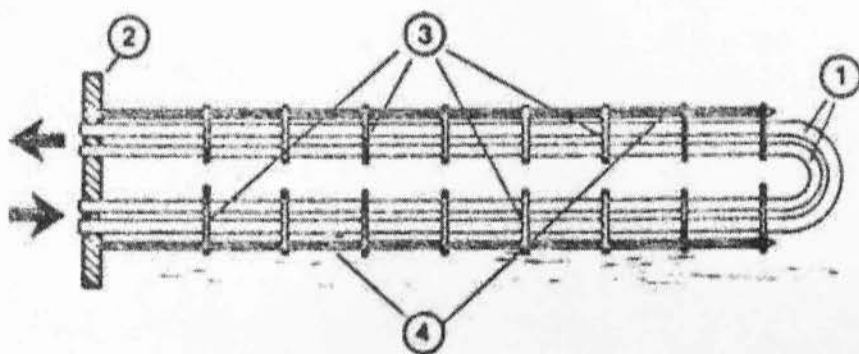
Η δέσμη αυλών αποτελείται από όλους τους αυλούς διά των οποίων ρέει το ρευστό (σχ. 4.8).



**Σχήμα 4.8:** Δέσμη ευθύγραμμη αυλών

Για να μπορεί να αφαιρεθεί η δέσμη των αυλών, οι αυλοί μπορεί να είναι:

- Ευθύγραμμοι (σχήμα 4.8).
- Σχήματος  $U$  (σχήμα 4.9).



1. Αυλοί 3. Χωρίσματα εκτροπής ροής
2. Καθρέφτες 4. Διαχωριστήρες και στηρίγματα

**Σχήμα 4.9.** Δέσμη αυλών σχήματος  $U$

Κατά κανόνα η δέσμη αυλών είναι ευθύγραμμη όταν το καπάκι του κελύφους στερεώνεται με φλάντζες, και είναι σχήματος  $U$  όταν το

καπάκι είναι ηλεκτροσυγκολλημένο. Υπάρχουν πάντως και εξαιρέσεις.

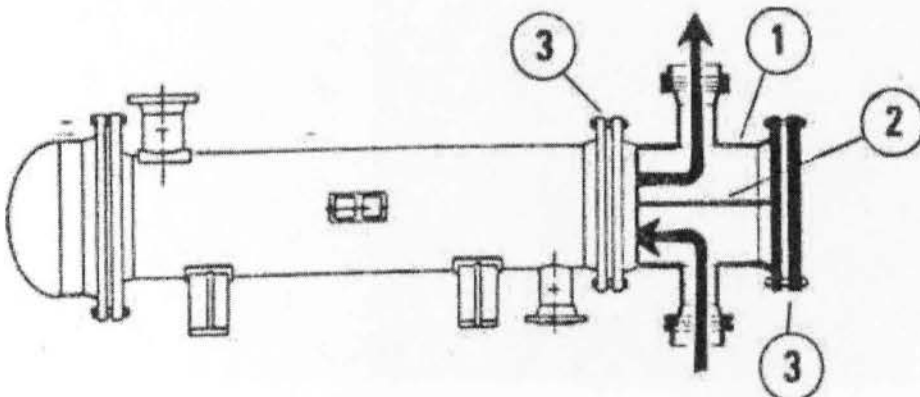




**Σχήμα 4.10:** Δέσμες αυλών στον χώρο συντήρησης και κατά την τοποθέτηση στην μονάδα.

#### 4.1.5 Κανάλι - Καπάκι

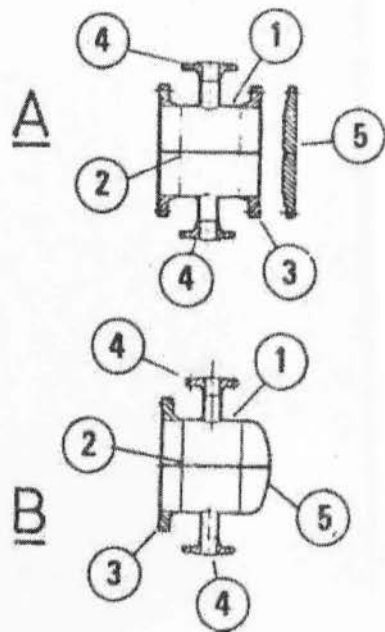
Το τμήμα του εναλλάκτη που χωρίζει τη δέσμη των αυλών σε δύο ή περισσότερα τμήματα ονομάζεται κανάλι ή πάσο (σχ. 4.11). Αυτό επιτρέπει στο ρευστό να κυκλοφορεί μέσα στους αυλούς ακολουθώντας προκαθορισμένη διαδρομή. Το καπάκι του καναλιού μπορεί να μοντάρεται με φλάντζα (σχ. 4.12A) ή να ηλεκτροσυγκολλάται (σχ. 4.12B).



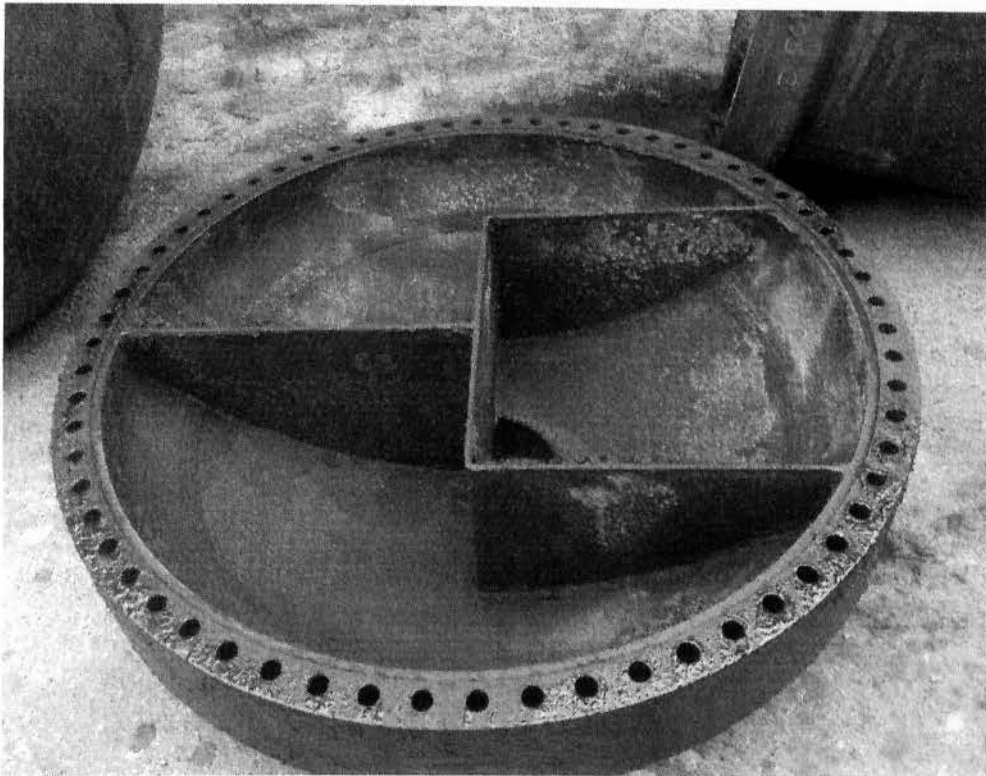
**Σχήμα 4.11:** Ροή ρευστού στον εναλλάκτη

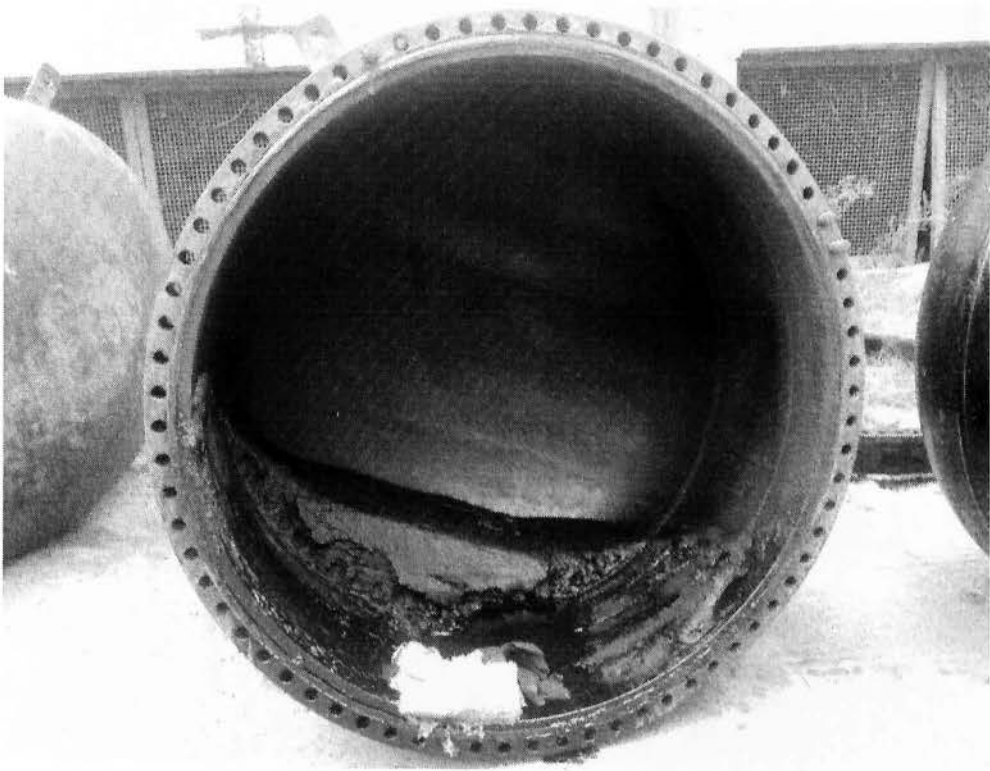


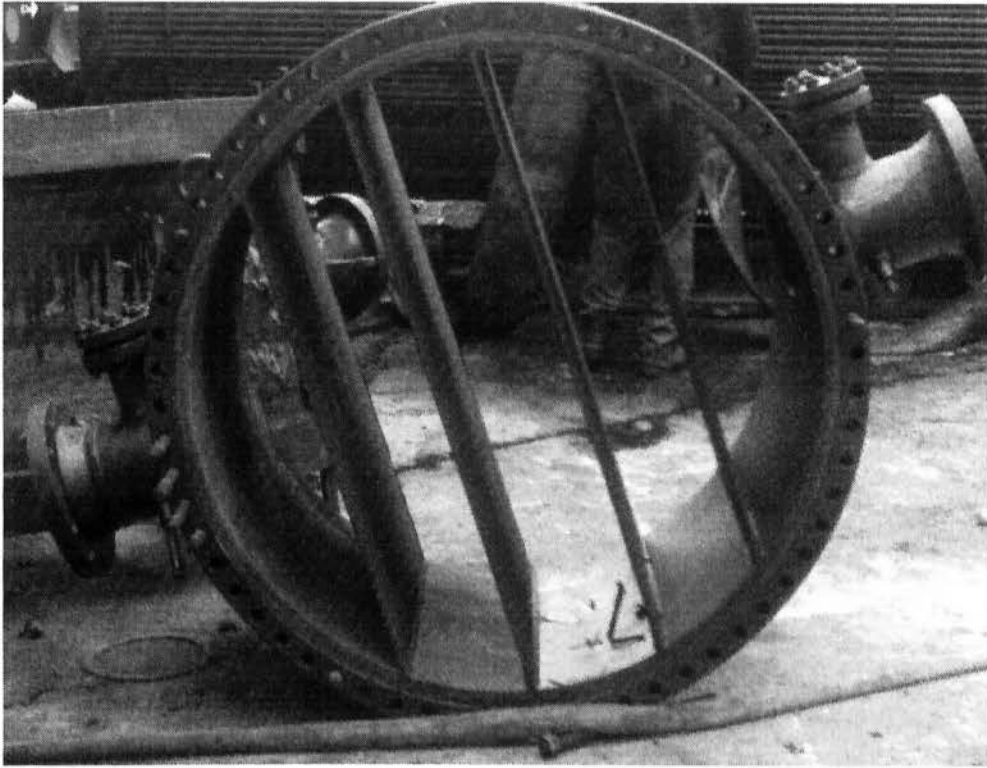
- A. Φλαντζωτό καπάκι  
 B. Ηλεκτροσυγκολλημένο καπάκι
1. Κανάλι
  2. Διάφραγμα
  3. Φλάντζα
  4. Μαστοί εισόδου και εξόδου
  5. Καπάκι



Σχήμα 4.12: Καπάκι







*Σχήμα 4.13: Καπάκια στην μονάδα πριν τον καθαρισμό*

#### 4.2 Τύποι εναλλακτών αυλών κελύφους

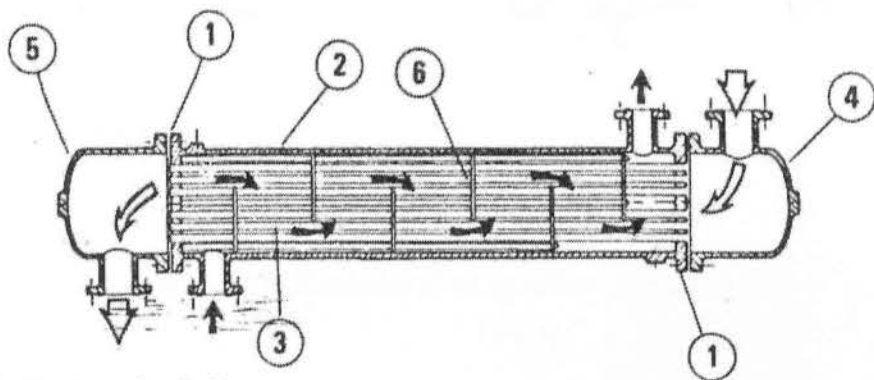
Υπάρχουν πολλοί τύποι εναλλακτών αυλών - κελύφους αλλά οι σημαντικοί είναι:

- Εναλλάκτες σταθερών καθρεφτών
- Εναλλάκτες πλωτής κεφαλής
- Εναλλάκτες καμπύλων αυλών

##### 4.2.1 Εναλλάκτες σταθερών καθρεφτών

Ο εναλλάκτης με δέσμη αυλών που έχει σταθερούς καθρέφτες είναι ο απλούστερος από κατασκευαστική πλευρά, και γι' αυτό είναι ο πιο φτηνός (Σχ. 4.14).

Ο εναλλάκτης αυτός έχει το μειονέκτημα ότι επιτρέπει μικρές μόνον διαφορές θερμικής διαστολής μεταξύ της δέσμης των αυλών και του κελύφους, καθόσον οι καθρέφτες των αυλών είναι ηλεκτροσυγκολλημένοι στο κέλυφος. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι ο εναλλάκτης αυτός χρησιμοποιείται μόνον όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών είναι μικρή.

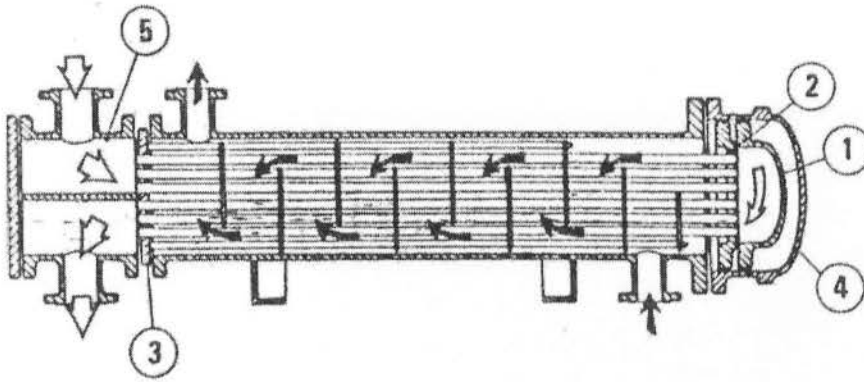


1. Σταθεροί καθρέφτες
2. Κέλυφος
3. Δέσμη αυλών
4. Διανομέας
5. Καπάκι
6. Χωρίσματα

**Σχήμα 4.14:** Εναλλάκτης με σταθερούς καθρέφτες

Πέραν τούτου δεν υπάρχει δυνατότης να καθαριστεί ποτέ η πλευρά κελύφους επειδή δεν μπορεί να αφαιρεθεί η δέσμη. Για τον λόγο αυτό η χρήση του περιορίζεται στις περιπτώσεις όπου το ρευστό από την πλευρά κελύφους είναι πολύ καθαρό και δεν προκαλεί αποθέσεις, όπως π.χ. σε μερικά πετροχημικά εργοστάσια.

Όταν φυσικά αφαιρέσουμε το καπάκι και τον διανομέα ο καθαρισμός των αυλών είναι εύκολος.



1. Πλωτή κεφαλή
2. Κινητός καθρέφτης
3. Σταθερός καθρέφτης
4. Εξωτερικό καπάκι
5. Διανομέας

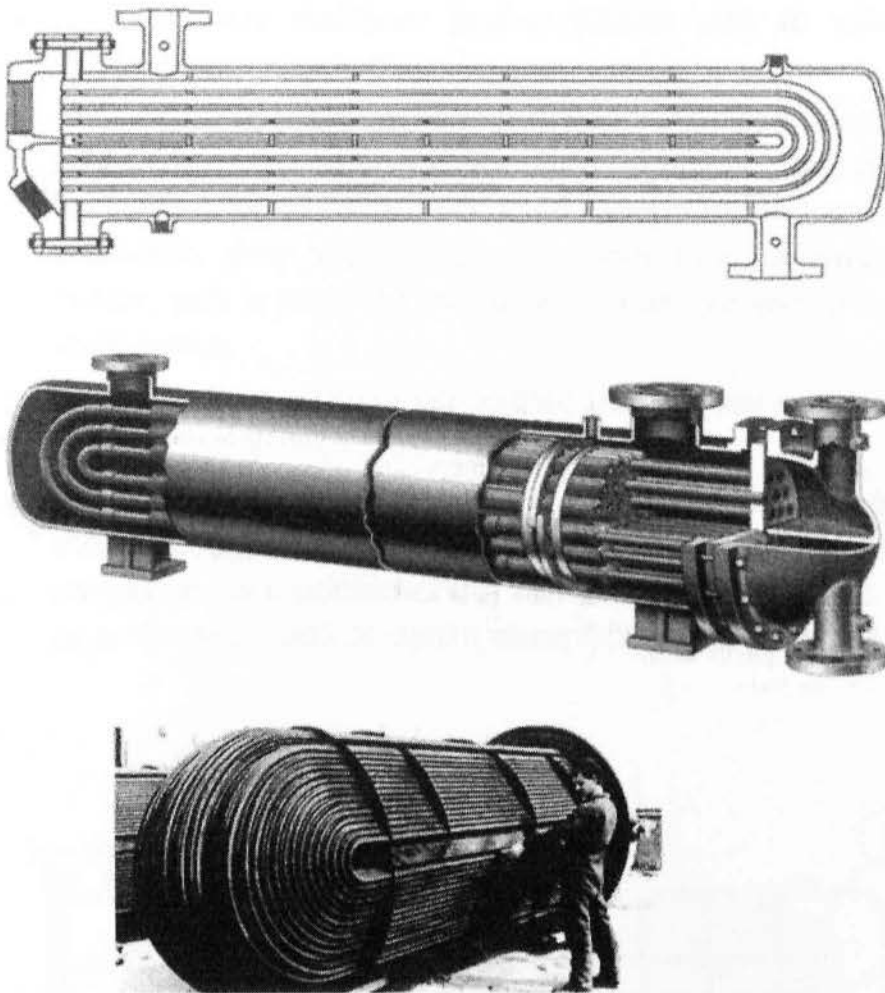
*Σχήμα 4.15: Εναλλάκτης με κινητούς καθρέφτες*

#### 4.2.2 Εναλλάκτης πλωτής κεφαλής

Οι Εναλλάκτες πλωτής κεφαλής είναι εναλλάκτες ειδικής κατασκευής στους οποίους το ένα άκρο των αυλών μπορεί να διασταλεί για την αντιμετώπιση των μετωπικών τάσεων που προκαλούνται σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας.

Ο εναλλάκτης με δέσμη αυλών και πλωτή κεφαλή είναι ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος παρά το γεγονός ότι είναι πιο πολύπλοκος και ακριβός από κατασκευαστικής πλευράς διότι μπορεί να συντηρηθεί πλήρως και ευκόλως και από τις δύο πλευρές.

Ο εναλλάκτης αυτός έχει το χαρακτηριστικό ότι ένας από τους δύο καθρέφτες δεν είναι συγκολλημένος στο κέλυφος αλλά μπορεί να κινείται ελεύθερα υπό την επίδραση της θερμικής διαστολής. Επάνω στον κινητό καθρέφτη προσαρμόζεται μια πλωτή κεφαλή με σκοπό να κατευθύνει το ρευστό της πλευράς αυλών και να επιτρέπει την εύκολη επιθεώρηση και καθαρισμό των αυλών την ώρα που η πλωτή κεφαλή και το εξωτερικό καπάκι έχουν ξεμονταριστεί.



**Σχήμα 4.16 :** Εναλλάκτης πλωτής κεφαλής

Η φραγή μεταξύ του κελύφους και του κινητού καθρέφτη εξασφαλίζεται από τσόντες.

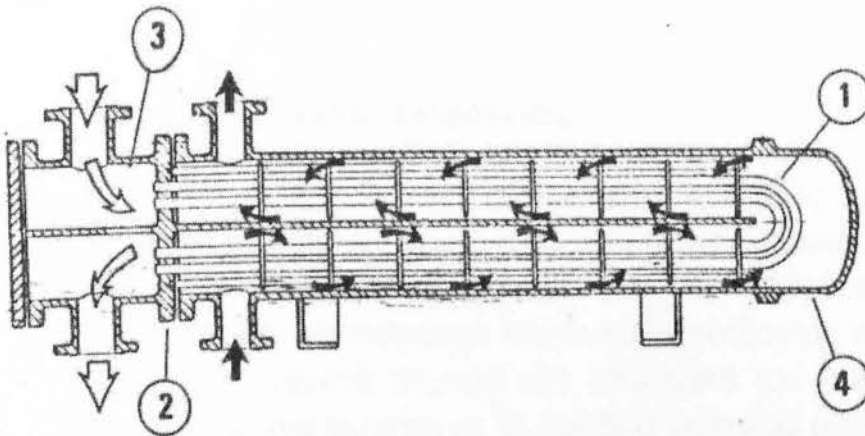
Ο σταθερός καθρέφτης δεν συγκολλείται επάνω στο κέλυφος αλλά στερεώνεται μεταξύ του κελύφους και του διανομέως με ένα σύστημα από τσόντες φραγής. Έτσι η δέσμη των αυλών μπορεί να αφαιρεθεί πλήρως.

#### 4.2.3 Εναλλάκτης με σωλήνες τύπου U

Συνηθισμένος τύπος εναλλάκτη στην βιομηχανία είναι ο τύπος με

σωλήνες σε σχήμα U, ο οποίος έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η δέσμη των σωλήνων βγαίνει εύκολα από το κέλυφος ξεβιδώνοντας το μετωπικό έλασμα
- Κάθε σωλήνας μπορεί να διασταλεί ελεύθερα γιατί δεν υπάρχει τίποτα που να τον εμποδίζει. Ο αριθμός των αυλών που μπορεί να φέρει ένα μετωπικό έλασμα αυτού του τύπου εναλλάκτη είναι μικρότερος από εκείνο των ευθυγράμμων αυλών, γιατί η καμπύλη στο U δεν μπορεί να γίνει με πολύ μικρή ακτίνα.
- Χρησιμοποιούνται πολύ για υψηλές πιέσεις γιατί έχουν μικρό κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Μηχανικός καθαρισμός δεν μπορεί να γίνει στο εσωτερικό των αυλών λόγω της καμπύλης. Μόνο ειδικού τύπου καθαριστήρες μπορεί να χρησιμοποιηθούν ή το καθάρισμα μπορεί να γίνει με εκτόξευση νερού σε υψηλή πίεση ή με χημικά μέσα.



1. Δέσμη αυλών
2. Σταθερός καθρέφτης
3. Διανομέας
4. Συγκολλημένο καπάκι

**Σχήμα 4.17 :** Εναλλάκτης αυλών τύπου U

Ο εναλλάκτης με σωλήνες τύπου u χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που είναι αναγκαίο να αποφύγουμε την ανάμιξη των δύο ρευστών σαν αποτέλεσμα διαρροών από τις σαλαμάστρες και τσόντες.

Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι το εσωτερικό των αυλών είναι δύσκολο να καθαριστεί και υφίσταται μόνον χημικό καθαρισμό.

Όπως φαίνεται παρακάτω ο καθρέφτης μπορεί να συγκολληθεί με τον διανομέα και στην περίπτωση αυτή η δέσμη των αυλών αφαιρείται μαζί με τον διανομέα. Σε άλλες περιπτώσεις η δέσμη των αυλών μπορεί να στερεωθεί μεταξύ του κελύφους και του διανομέως έτσι ώστε να διευκολύνεται το ξεμοντάρισμα και η αφαίρεση της δέσμης των αυλών.

#### 4.2.4 Εναλλάκτες πολλαπλών διαβάσεων

Είναι σύνθετοι εναλλάκτες στους οποίους τα δυο ρευστά διέρχονται από τους σωλήνες και το κέλυφος περισσότερες από μια φορές, (Στον κώδικα ΤΕΜΑ χαρακτηρίζονται από το δεύτερο γράμμα του κωδικού).

#### 4.2.5 Εναλλάκτες αποδομένης επιφάνειας

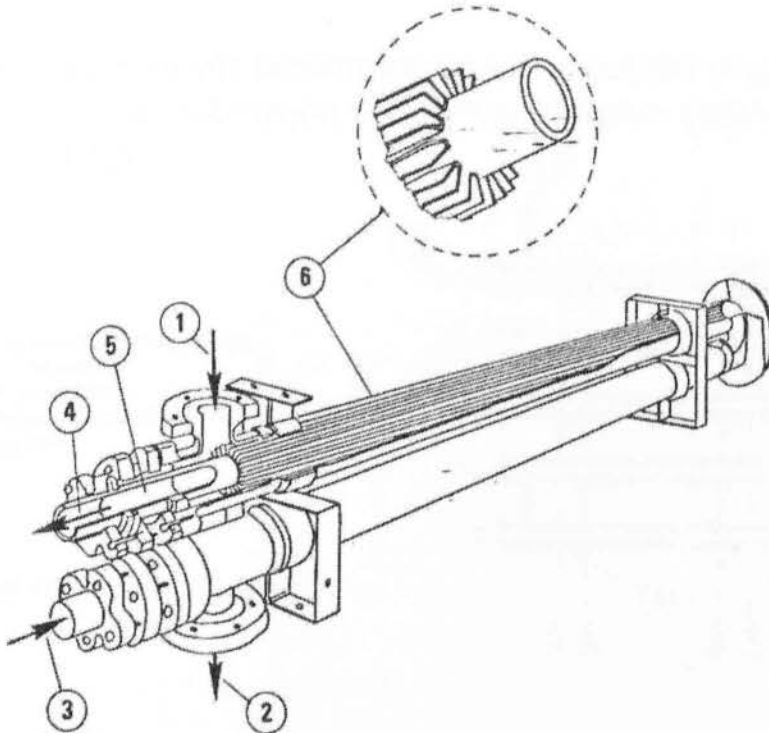
Οι εναλλάκτες της μορφής αυτής αποτελούνται συνήθως από ομόκεντρους ομοαξονικούς κυλίνδρους. Ο εσωτερικός κύλινδρος φέρνει ξέστρα τα οποία με κατάλληλα ελατήρια περιστρεφόμενα εφάπτονται στην εσωτερική επιφάνεια του αυλού αποξέοντάς την. Το προς επεξεργασία ρευστό περνάει στο εσωτερικά του αυλού ενώ η εξωτερική επιφάνεια ψύχεται με τη βοήθεια ψυκτικού υγρού. Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται εκεί όπου η μεταφορά θερμότητας συνοδεύεται με φαινόμενα κρυσταλλώσεως, φαινόμενο που παρατηρείται συνήθως στην επεξεργασία των λαδιών.

#### 4.2.6 Εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων

Οι εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων αποτελούνται από δύο σωλήνες τον έναν μέσα στον άλλον. Ο εσωτερικός σωλήνας συνήθως φέρει πτερύγια για αύξηση της επιφάνειας μετάδοσης



θερμότητας. Το ένα ρευστό ρέει μέσα από τον εσωτερικό σωλήνα, ενώ το δεύτερο ρέει στο χώρο μεταξύ του μεγαλύτερου εξωτερικού σωλήνα και του εξωτερικού τοιχώματος του μικρότερου εσωτερικού σωλήνα, που όπως είπαμε, περιέχει το πρώτο ρευστό.



1. Ζεστό ρευστό προς ψύξη
2. Ψυχθέν ρευστό
3. Κρύο ρευστό προς θέρμανση
4. Θερμανθέν ρευστό
5. Εσωτερικός σωλήνας
6. Πτερύγια

**Σχήμα 4.18:** Εναλλάκτης διπλού σωλήνος με ειδικά πτερύγια

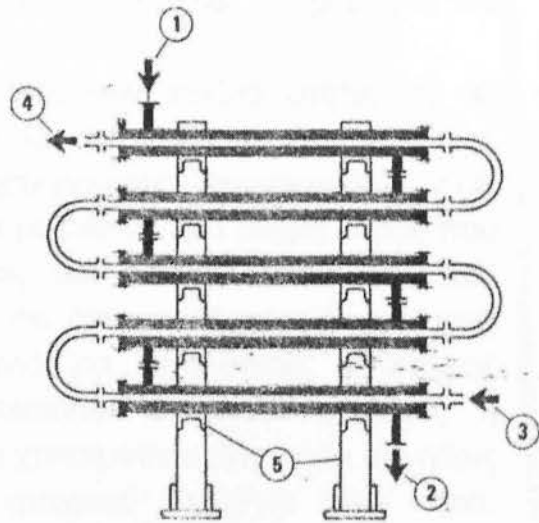
Σ' αυτόν τον εξοπλισμό λαμβάνει χώρα ιδανική ροή «κατά αντιρροή». Χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις που έχουμε χαμηλές παροχές, απαιτούνται μικρές μεταβολές των θερμοκρασιών των ρευστών, και ειδικά σε εφαρμογές υψηλών πιέσεων διότι λόγω των μικρών διαστάσεων είναι οικονομική η κατασκευή τους.

Το ρευστό που έχει μεγαλύτερη τάση να ρυπαίνει οδεύει συνήθως μέσα από τον εσωτερικό σωλήνα, του οποίου το καθάρισμα είναι πιο εύκολο.

Για βελτίωση της απόδοσης οι εσωτερικοί σωλήνες φέρουν συνήθως ειδικά πτερύγια κολλημένα στην εξωτερική τους επιφάνεια. Με αυτά αυξάνεται η επιφάνεια μετάδοσης της θερμότητας, με αποτέλεσμα την βελτίωση της απόδοσης του εναλλάκτη.

Η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας μπορεί ν' αυξηθεί μέχρι ενός βαθμού με τη χρησιμοποίηση προσθέτων στοιχείων εναλλαγής εν σειρά (σχ. 4.19).

1. Θερμό ρευστό προς ψύξη
2. Ψυχθέν ρευστό
3. Ψυχρό ρευστό
4. Θερμανθέν ρευστό
5. Στηρίγματα



**Σχήμα 4.19:** Στοιχεία εναλλαγής εν σειρά

#### 4.2.7 Εναλλάκτες αερόψυκτοι

Οι αερόψυκτοι εναλλάκτες είναι ειδικός τύπος εναλλακτών που χρησιμοποιούνται κυρίως σαν συμπυκνωτές και ψυγεία στα οποία το μέσον ψύξης είναι ο αέρας. Η χρήση του αέρα για ψύξη έχει επεκταθεί ταχύτατα και τείνει να αναπληρώσει σχεδόν τα παραδοσιακά συστήματα ψύξης με νερό.

Πολλοί είναι οι λόγοι γι' αυτήν την ταχεία εξέλιξη, ο κυριότερος των οποίων είναι η δυσκολία ανεύρεσης των τεραστίων ποσοτήτων νερού που απαιτεί η ψύξη. Η αύξηση στο μέγεθος των εργοστασίων χρειάζεται σημαντικές ποσότητες νερού που είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν λόγω της ρύπανσης η οποία συχνά βλάπτει τα υλικά των εργοστασίων. Καθώς ο αέρας δεν μας δημιουργεί τα ίδια προβλήματα με το νερό, όπως π.χ. αποθέσεις, επιμολύνσεις, και ανάγκες εξεύρεσης και επεξεργασίας του, σε περιοχές που δεν είναι διαθέσιμο σε απεριόριστες ποσότητες, η σημερινή τεχνολογία προτιμά την χρήση του αέρος. Η χρήση του αέρος μας επιτρέπει να

καταργήσουμε όλον τον εξοπλισμό που ήταν απαραίτητος για τη μετακίνηση και αποθήκευση του ενός από τα δύο ρευστά, ενώ ταυτοχρόνως μας περιορίζει τα έξοδα συντήρησης που ανέρχονται σε υψηλά ποσά στους εναλλάκτες νερού. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι τα αεροψυγεία δεν είναι οικονομικά στις περιπτώσεις που η διαφορά θερμοκρασιών, μεταξύ του αέρος και του προς ψύξη ρευστού είναι μικρότερη από 10 βαθμούς Κελσίου. Στις περιπτώσεις αυτές ένα μικτό σύστημα αέρος - νερού είναι πιο οικονομικό.

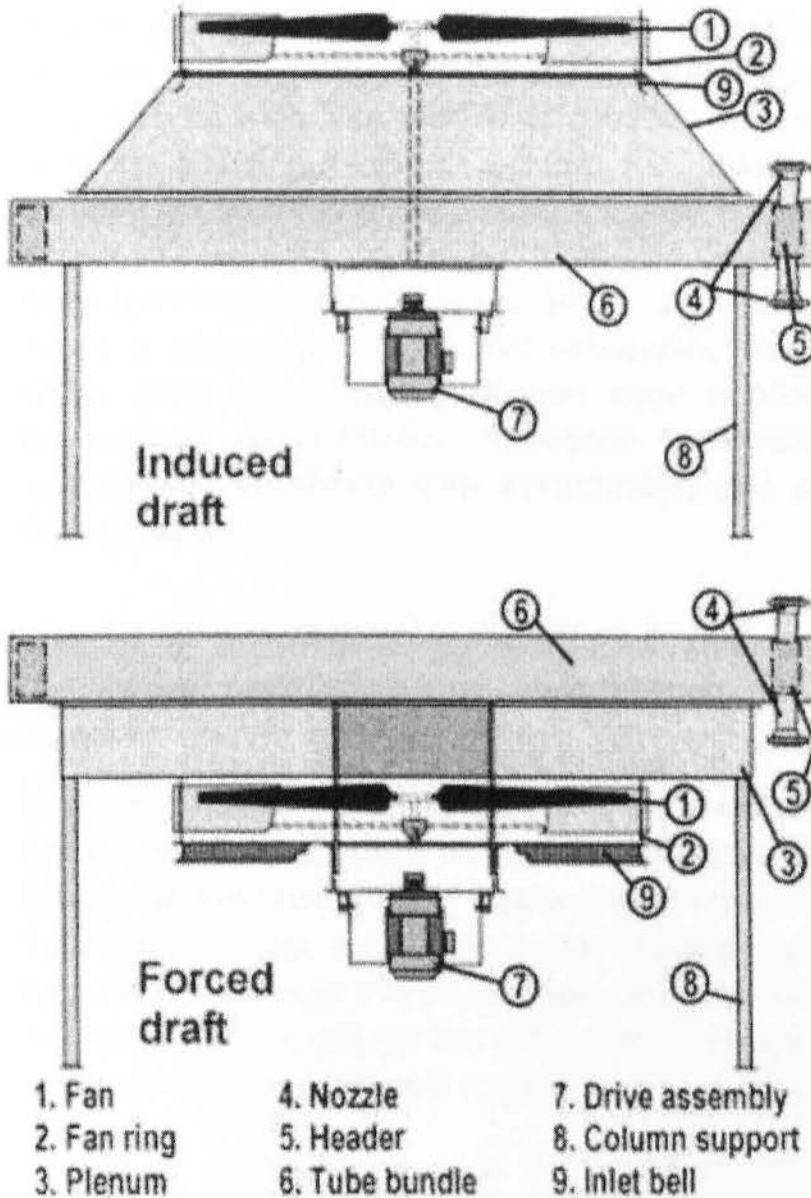
Η ψύξη με αέρα χρησιμοποιείται σαν πρώτο στάδιο (ή για συμπύκνωση) και η ψύξη με νερό χρησιμοποιείται σαν δεύτερο στάδιο για να επιτύχουμε χαμηλότερες θερμοκρασίες όταν χρειάζεται. Η ψύξη επιτυγχάνεται με ένα ισχυρό ρεύμα αέρος που κινεί ένας μεγάλος ανεμιστήρας και περνάει μέσα από ένα σύστημα λεπτών σωλήνων. Το πιο οικονομικό μέταλλο για τους σωλήνες είναι το αλουμίνιο αλλά για μεγαλύτερες απαιτήσεις ισχύος κατασκευής χρησιμοποιούνται ασάλινοι σωλήνες ή ανοξείδωτοι. Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως αξονικοί που δίνουν μεγάλη γραμμική ταχύτητα στον αέρα. Υπάρχουν δύο τύποι αερόψυκτων ανάλογα με την θέση του ανεμιστήρα σε σχέση με τους σωλήνες. Αυτοί όπου ο ανεμιστήρας είναι τοποθετημένος πάνω από τους σωλήνες (induced draft) και αυτοί που ο ανεμιστήρας είναι τοποθετημένος κάτω από τους σωλήνες (forced draft).

Τα αεροψυγεία αποτελούνται από:

- Μια δέσμη αυλών
- Ένα σύστημα που κατευθύνει τον αέρα προς τη δέσμη.

Ο αέρας αναρροφάται από το περιβάλλον και οδηγείται προς τη δέσμη των αυλών, με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Κατόπιν εξέρχεται από την απέναντι πλευρά αρκετά μακριά από το σημείο αναρρόφησης για να μην επιστρέφει στον κύκλο. Το θερμό ρευστό περνά μέσα από τους αυλούς θερμαίνοντάς τους. Ο αέρας, επαπτόμενος στην εξωτερική επιφάνεια, αφαιρεί την θερμότητα και κατεβάζει την θερμοκρασία του υγρού. Η δέσμη αυλών ενός αεροψυγείου αποτελείται συνήθως από σωλήνες με πτερύγια. Στην πραγματικότητα ο αέρας έχει πολύ χαμηλό συντελεστή μεταφοράς

Θερμότητας, και τα πτερύγια είναι αναγκαία για να προσφέρουν πολύ μεγάλες επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας.



Οι εναλλάκτες με τον ανεμιστήρα τοποθετημένο πάνω από τους σωλήνες (induced draft) παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα όπως:

- Ευκολότερη τοποθέτηση και απλούστερη και οικονομικότερη σιδηροκατασκευή στήριξης, διότι όλο το σύστημα απλώς προσαρμόζεται στην υπόλοιπη κατασκευή.
- Η επανακυκλοφορία του θερμού αέρα περιορίζεται στο ελάχιστο, διότι λόγω της τοποθέτησης του ανεμιστήρα πάνω από τους σωλήνες δεν υπάρχουν εμπόδια στην ροή του αέρα και η ταχύτητα εξόδου του από τον εναλλάκτη είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη από τον άλλο τύπο, όπου ο αέρας υποχρεώνεται να διέλθει μέσα από τους σωλήνες αφού έχει επιταχυνθεί στον ανεμιστήρα.
- Αυτός ο περιορισμός της επανακυκλοφορίας του θερμού πλέον αέρα έχει μεγάλη επίδραση στην απόδοση του αερόψυκτου και επιπλέον προσφέρει προστασία στο προσωπικό που κινείται στην εγκατάσταση από ρεύματα θερμού αέρα.

Οι εναλλάκτες με τον ανεμιστήρα τοποθετημένο κάτω από τους σωλήνες (forced draft) έχουν σε αντιστάθμισμα τα κάτωθι πλεονεκτήματα:

- Είναι κατάλληλοι για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, διότι δεν έχουν κινούμενα μέρη με μηχανισμούς πάνω από την δέσμη των σωλήνων, όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλές.
- Το προσωπικό της συντήρησης είναι προστατευμένο από ρεύματα θερμού αέρα που δημιουργούνται από τα υπόλοιπα αερόψυκτα, όταν εργάζεται στο κάτω μέρος του αερόψυκτου για αντικατάσταση ή ρύθμιση πτερυγίων.

## Κεφάλαιο 5. Συντήρηση - Έλεγχος

### 5.1 Έλεγχος Διαρροής και επισκευή Εναλλάκτη

Τα Κύρια μέρη της διαδικασίας είναι:

- Απομόνωση εναλλακτών
- Αφαίρεση και επανατοποθέτηση μόνωσης εναλλάκτη
- Εξάρμωση εναλλάκτη
- Εξαγωγή αυλοφόρου δέσμης (κατά τη διάρκεια συντήρησης εναλλακτών σε περίοδο SD)
- Μεταφορά της αυλοφόρου δέσμης στο χώρο καθαρισμού και επιστροφή (κατά τη διάρκεια συντήρησης εναλλακτών σε περίοδο SD)
- Καθαρισμός εναλλακτών (κατά τη διάρκεια συντήρησης εναλλακτών σε περίοδο SD)
- Επανατοποθέτηση αυλοφόρου δέσμης και συναρμολόγηση εναλλάκτη (κατά τη διάρκεια συντήρησης εναλλακτών σε περίοδο SD)
- Υδραυλικές δοκιμές εναλλάκτη
  - Περίπτωση μη γνώσης της διαρροής
  - Περίπτωση γνώσης της ύπαρξης της διαρροής
- Επισκευή εναλλάκτη
- Αποκατάσταση εναλλάκτη
- Χημικός καθαρισμός

**Αναλυτικά :**

#### ➤ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

1. Η απομόνωση των εναλλακτών γίνεται με τύφλωμα όλων των στομιών - (του κελύφους και του channel) και των

σωληνώσεων που οδηγούν σε αυτά τα στόμια (στη φλάντζα που συνδέεται στο κάθε στόμιο ή/και σε προηγούμενη από αυτή φλάντζα) - του καθενός εναλλάκτη καθ' υπόδειξη της επίβλεψης αφ' ενός για την προετοιμασία των υδραυλικών δοκιμών και αφ' ετέρου για την αποφυγή διαρροής αερίων στο χώρο εργασιών, με τις σχετικές τυφλές φλάντζες (αναλόγως των διαστάσεων και της γεωμετρίας των υπαρχόντων φλαντζών.

2. Συγκεκριμένα η εργασία αυτή συμπεριλαμβάνει τα ακόλουθα:
3. Την προμήθεια και μεταφορά των τυφλών φλαντζών στο χώρο του έργου.
4. Την παραλαβή νέων κοχλιών και παρεμβυσμάτων (GASKETS) από την αποθήκη.
5. Την αποσύνδεση των σωληνώσεων από τα στόμια των εναλλακτών και την τυχόν στήριξή τους για την ασφάλεια προσωπικού και εξοπλισμού.
6. Την τύφλωση των αναφερομένων στομίων ή/και σωληνώσεων με την τοποθέτηση των τυφλών φλαντζών, κοχλιών και παρεμβυσμάτων (GASKETS).
7. Την σύσφιξη των κοχλιών.
8. Την αποσύνδεση όλων των τυφλών φλαντζών που τοποθετήθηκαν μετά το πέρας των εργασιών συντήρησης.
9. Την επανασύνδεση των σωληνώσεων με τα στόμια του κάθε εναλλάκτη, με την τοποθέτηση νέων παρεμβυσμάτων (GASKETS) και χρησιμοποιώντας τους ίδιους (ή/και νέους εάν απαιτείται) κοχλίες αφού προηγουμένως αυτοί στο σύνολο τους γραφίτωθούν.

#### ➤ **ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΩΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ**

Η αφαίρεση της θερμικής μονώσεως [λαμαρίνα αλουμινίου και μονωτικό υλικό (πετροβάμβακας)] σε όσους εναλλάκτες υπάρχει μόνωση γίνεται μόνο στα σημεία που θα γίνει η αποκοχλίωση για την εξάρμωση/απομόνωση του εναλλάκτη. Όσες μονώσεις δεν καταστρέφονται επανατοποθετούνται.

### ➤ ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΥΛΟΦΟΡΟΥ ΔΕΣΜΗΣ

1. Για την εξαγωγή της αυλοφόρου δέσμης των εναλλακτών, θα πρέπει να γίνει εξάρμωση του εναλλάκτη με αποκοχλίωση των φλαντζών του περιβλήματος.
2. Κατά την εξάρμωση του εναλλάκτη, γραφιώνονται όλοι οι κοχλίες που έχουν αφαιρεθεί ώστε να είναι έτοιμοι για επανατοποθέτηση και να φυλάσσονται σε ασφαλή χώρο. Επίσης πρέπει να φυλάσσονται με προσοχή οι επιφάνειες επαφής των φλαντζών, ώστε να μην υπάρξουν προβλήματα διαρροών κατά την υδραυλική δοκιμή.
3. Η αφαίρεση της δέσμης του εναλλάκτη γίνεται είτε με τη χρήση εξολκέα είτε με άλλα χειροκίνητα μέσα αλλά και τη συμβολή γερανού και ενδεχομένως περνοφόρου. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος και τη θέση του εναλλάκτη.



*Σχήμα 5.1: Εξολκέας δέσμης εναλλακτών*

### ➤ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΥΛΟΦΟΡΟΥ ΔΕΣΜΗΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ

1. Μετά την εξαγωγή της αυλοφόρου δέσμης του καθ' ενός εναλλάκτη, ακολουθεί η μεταφορά της, στο χώρο όπου θα γίνει ο καθαρισμός. Ο καθαρισμός της δέσμης εσωτερικά των αυλών και εξωτερικά γίνεται με υδροβολή από εξειδικευμένο συνεργείο. Πριν την επιστροφή της δέσμης, γίνεται έλεγχος για το αποτέλεσμα του καθαρισμού αλλά και την κατάστασή

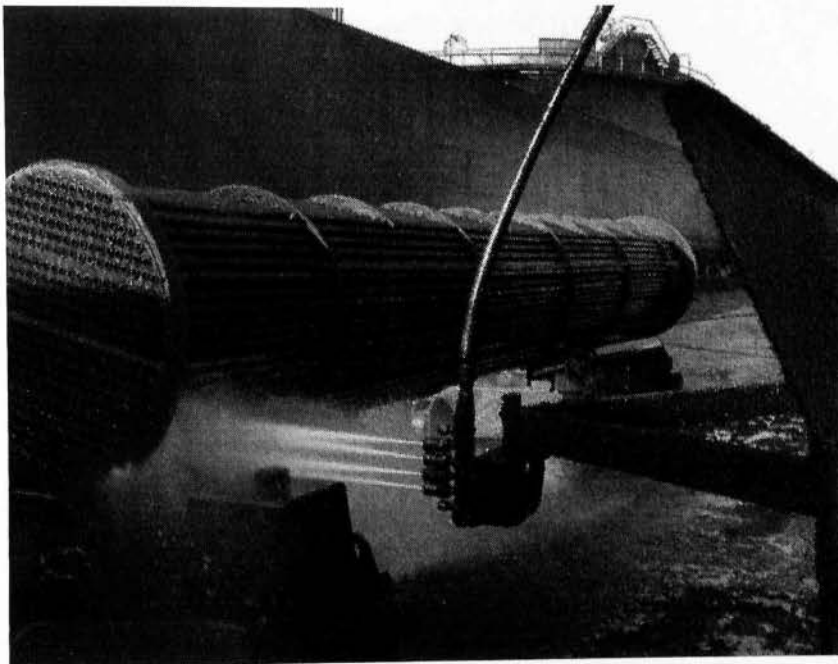


της από τμήμα επιθεώρησης και από το τμήμα του Συγκροτήματος της μονάδος

2. Η μεταφορά και εναπόθεση της αυλοφόρου δέσμης στο χώρο καθαρισμού, ως και η επιστροφή της στο χώρο από όπου εξαρμώθηκε, γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή
3. Στην περίπτωση της αντικατάσταση δέσμης, η δέσμη μεταφέρεται (με ανυψωτικά/μεταφορικά), στο χώρο που θα υποδειχθεί. Επίσης θα πρέπει να μεταφερθεί (με ανυψωτικά/μεταφορικά μέσα και προσωπικό δικά του) και η νέα δέσμη από το χώρο αποθήκευσης στη μονάδα που βρίσκεται ο εναλλάκτης.

### ➤ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

1. 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 [Floating Head, Channel, καμπάνα κλπ].



*Σχήμα 5.2: Μηχάνημα υδροβολής δέσμης εναλλάκτη*

2. Σε περίπτωση που οι επικαθήσεις προϊόντων στα κινητά μέρη του εναλλάκτη [Floating Head, Channel, καμπάνα κλπ] δεν μπορούν να καθαριστούν επιτόπου με μηχανικά μέσα (σπάτουλες κλπ.), θα πρέπει να μεταφερθούν στο χώρο καθαρισμού των δεσμών, όπου θα είναι εγκατεστημένα τα μηχανήματα υδροβολής και θα γίνεται ο καθαρισμός τους.

➤ **ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΥΛΟΦΟΡΟΥ ΔΕΣΜΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ**

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

2. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η συναρμογή των διαφόρων εξαρτημάτων που έχουν εξαρμωθεί, τοποθετώντας νέα παρεμβύσματα και χρησιμοποιώντας τους ίδιους (ή/καί νέους) κοχλίες (οι οποίοι έχουν εκ των προτέρων γραφίτωθεί), Στην περίπτωση που απαιτηθεί αντικατάσταση της δέσμης του εναλλάκτη, θα πρέπει να ληφθεί το ενδεχόμενο του τροχίσματος της δέσμης σε περίπτωση μη εύκολης εισαγωγής της δέσμης.

➤ **ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ**

**A) Περίπτωση μη γνώσης της διαρροής**

1. Σε κάθε εναλλάκτη θα πραγματοποιούνται δύο υδραυλικές δοκιμές με τη χρησιμοποίηση αντλίας υψηλής πίεσης. Η μία υδραυλική δοκιμή γίνεται από την πλευρά των αυλών (tube side) και η άλλη από την πλευρά του κελύφους (shell side).
2. Μετά το πέρας της συναρμογής των διαφόρων τμημάτων του εναλλάκτη και το απαραίτητο τύφλωμα των στομιών του, τοποθετούνται κατάλληλες βάνες, σε διάφορα στόμια του εναλλάκτη, για την πραγματοποίηση της υδραυλικής δοκιμής.

3. Οι τυφλές φλάντζες για την υδραυλική δοκιμή και την απομόνωση του εξοπλισμού πρέπει να είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές και ανάλογες με την πίεση Υδραυλικής δοκιμής.
4. Αφού τοποθετηθούν οι βάνες και τα τυφλά, ακολουθεί το γέμισμα του εναλλάκτη με νερό.
5. Η ενδεδειγμένη σε κάθε περίπτωση πίεση δοκιμής θα υποδειχθεί από τον επιβλέποντα και τον εκπρόσωπο του Τμήματος Επιθεώρησης και θα διατηρείται επί μισή ώρα τουλάχιστον.
6. Η παραλαβή του εναλλάκτη και η πιστοποίηση των υδραυλικών δοκιμών γίνεται και από τον εκπρόσωπο του Τμήματος Επιθεώρησης
7. Τοποθετείται το channel cover ή τοποθετείται το channel. Επίσης αφαιρείται η καμπάνα στο πίσω μέρος του εναλλάκτη και επαναλαμβάνεται η διαδικασία της υδραυλικής δοκιμής από την πλευρά των τούμπων.
8. Τοποθετούμε την καμπάνα και γεμίζεται με νερό ο εναλλάκτης και προβαίνουμε σε υδραυλική δοκιμή από την πλευρά του κελύφους, όπου ελέγχεται η εξασφάλιση της στεγανότητας μόνον.
9. Η παραλαβή του εναλλάκτη και η πιστοποίηση των υδραυλικών δοκιμών γίνεται και από τον εκπρόσωπο του Τμήματος Επιθεώρησης

## **B) Περίπτωση γνώσης της ύπαρξης της διαρροής**

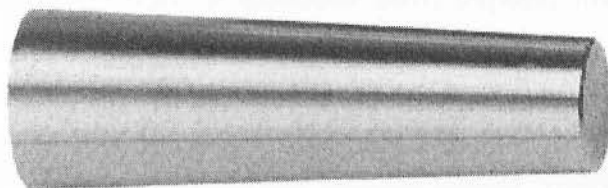
Στην περίπτωση αυτή παραλείπονται τα βήματα 5,6 και 7

### **➤ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ**

Περίπτωση Εκτονωμένων αυλών

1. Μετά τον εντοπισμό του αυλού που διαρρέει γίνεται απομόνωσή του. Αυτό γίνεται με τη χρήση ταπών. Στα δύο

άκρα του αυλού τοποθετούνται οι τάπες και με διαδοχικά χτυπήματα στερεώνονται και σφηνώνουν με αποτέλεσμα να γίνεται αδύνατη η διέλευση του ρευστού μέσα από το σωλήνα.



**Σχήμα 5.3:** Τάπα για τούμπα εναλλακτών

2. Στην περίπτωση που η διαρροή εντοπίζεται στο εκτόνωμα ανάμεσα στο τούμπο με τον καθρέπτη, ξαναγίνεται εκτόνωση στο τούμπο.

#### Περίπτωση κολλητών αυλών στους καθρέπτες

1. Στην περίπτωση που τα τούμπα είναι κολλητά με τους καθρέπτες, χωρίς να είναι εκτονωμένα και η διαρροή εντοπίζεται στο κόλλημα, τότε τροχίζεται το κόλλημα και ξαναγίνεται η κόλληση.
  2. Εάν το τούμπο είναι εκτονωμένο και κολλητό στον καθρέπτη, αμέσως μετά το τρόχισμα γίνεται το εκτόνωμα και στη συνέχεια το κόλλημα.
  3. Μετά την ολοκλήρωση των κολλημάτων γίνεται μη καταστροφικός έλεγχος συνήθως με Penetrant Testing (PT), από το Τμήμα Επιθεώρησης.
  4. Μετά το πέρας της επισκευή κανονικά επαναλαμβάνεται η διαδικασία της υδραυλικής δοκιμής
- **ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ**

1. Μετά την αποπεράτωση των υδραυλικών δοκιμών αφαιρούνται όλες τις τυφλές φλάντζες και βάνες που τοποθετήθηκαν, γίνεται σύνδεση των σωληνώσεων που

απομονώθηκαν και τυφλώθηκαν σε όλα τα σημεία, να επανατοποθετηθούν οι αποξηλωθείσες μονώσεις (ή/και να κατασκευαστούν καινούργια τμήματα αυτής σε περίπτωση καταστροφής τους.) και να απομακρυνθούν τυχόν ικριώματα και όλα τα υπόλοιπα υλικά και εργαλεία. Επίσης πραγματοποιείται καθαρισμός του χώρου από τυχόν κατάλοιπα λαδιών πετρελαίων κλπ. υγρών, που σχετίζονται με την εξάρμωση του εναλλάκτη.

2. Βαρύτητα πρέπει να δοθεί για την αποκατάσταση τυχόν διαρροών που θα εμφανιστούν στους εναλλάκτες καθώς και για το σφίξιμο των κοχλιών τους εν θερμό (hot-bolting).

### ➤ ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

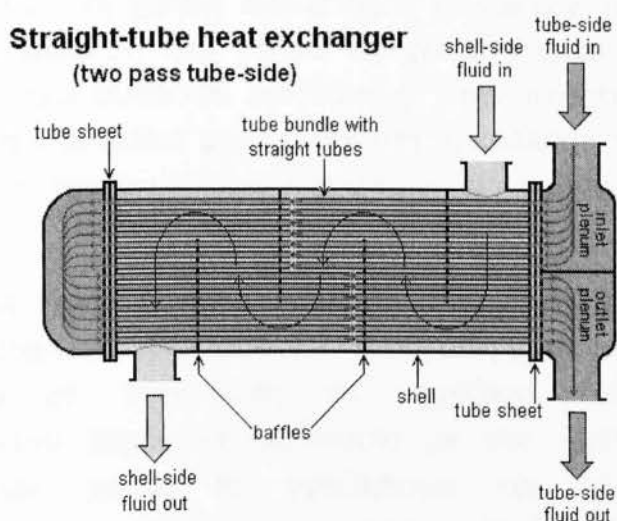
1. Ένας άλλος τρόπος καθαρισμού των εναλλακτών είναι ο χημικός καθαρισμός, που μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένους εναλλάκτες, ανάλογα με το προϊόν που περνάει από αυτούς.
2. Στην περίπτωση που απαιτηθεί χημικός καθαρισμός πρέπει να τοποθετηθούν τυφλές φλάντζες και κατάλληλες βάνες στα στόμια του εναλλάκτη.
3. Σε αυτές τις βάνες προσαρμόζεται ένα κύκλωμα που αποτελείται από σωληνώσεις αντλία και δοχείο του χημικού που θα χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό.
4. Αφού γίνει ο χημικός καθαρισμός μετά τη σύνδεση του κατάλληλου δικτύου αντλιών και σωληνώσεων στις κατάλληλες βάνες του εναλλάκτη, είναι δυνατόν να απαιτηθεί εξάρμωση και άρμωση του μεταλλικού καλύμματος του εναλλάκτη, της καμπάνας (shell cover), του Floating Head (FH) και ενδεχομένως πλύσιμο των αυλών με γλυκό νερό.

#### 5.1.1 Ανατούμπωση - κατασκευή δέσμης εναλλάκτη

Με τον όρο ανατούμπωση νοείται η ανακατασκευή μιας δέσμης ενός αυλοφόρου εναλλάκτη θερμότητας, όπου αυτή περιλαμβάνει

κατά κύριο λόγω την αντικατάσταση των τούμπων και οποιοδήποτε άλλο τμήμα - εξάρτημα της δέσμης χρίζει αντικατάστασης λόγω μη καταλληλότητας, πλην των καθρεπτών. Φυσικά προϋπόθεση είναι η ύπαρξη παλαιάς δέσμης στην οποία θα γίνει ανατούμπωση.

**Κατασκευή νέας δέσμης:** Στην περίπτωση που δεν υπάρχει παλαιά δέσμη το σύνολο των εργασιών χαρακτηρίζεται ως κατασκευή νέας δέσμης, εφόσον οι εργασίες γίνονται εκ του μηδενός. Η κατασκευή νέας δέσμης γίνεται επίσης όταν 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.



**Σχήμα 5.4:** Εναλλάκτης θερμότητας

## Εργασίες ανατούμπωσης δέσμης

Τα στάδια που διέπουν τις εργασίες ανατούμπωσης μιας δέσμης είναι:

1. Αποσυναρμολόγηση της δέσμης με κόψιμο των τούμπων, κάνοντας χρήση συστήματος οξυγόνου ασετιλίνης. Έτσι, παίρνονται τα διάφορα στοιχεία που απαρτίζουν την δέσμη όπως:

- Καθρέπτες (Tubesheets)
- Διαχωριστικά (Baffles)
- Ντίζες (Tie Rods)
- Γλισιέρες (Slides)
- Προστατευτικές πλάκες τούμπων εισόδου του ρευστού (Impigements plates)
- Λάμες φραγής ρευστού μεταξύ διαχωριστικών – κελύφους (Seal strips)

2. Ακολουθεί ο καθαρισμός των καθρεπτών που περιλαμβάνει τις εξής εργασίες:

Αφαίρεση των κομμένων τούμπων που είναι ενωμένα στο καθρέπτη. Στην περίπτωση που τα τούμπα είναι εκτονωμένα, αυτά αφαιρούνται με τη χρήση κρουστικών εργαλείων και όταν είναι δύσκολη η αφαίρεσή τους γίνεται και χρήση Radial. Ακολουθεί ο καθαρισμός των αυλακιών εκτόνωσης. Στην περίπτωση που τα τούμπα είναι κολλημένα στον καθρέπτη, η κόλληση τροχίζεται και ακολουθεί η αφαίρεση των τούμπων με χρήση κρουστικών εργαλείων.

3. 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 τα τούμπα. Αναλυτικά, κόβονται οι λαμαρίνες που επιλέγονται σύμφωνα με το υλικό και τις διαστάσεις που αναγράφονται στα σχέδια, στις επιθυμητές διαστάσεις. Οι διαστάσεις των διαχωριστικών της δέσμης πρέπει να είναι σύμφωνα με τα σχέδια του κατασκευαστή και σε περίπτωση που είναι ελλειπή, σύμφωνα με τα πρότυπα ΤΕΜΑ. 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, γίνονται οι οπές στο συγκολλητό κομμάτι. Στη συνέχεια τα κομμάτια διαχωρίζονται και μετά από επεξεργασία στον τόρνο αποκτούν τις ακριβής εξωτερικές

διαστάσεις. Κάθε οπή φρεζάζεται 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 και κόψιμο των ελασμάτων.

4. Κατασκευάζονται νέες ντίζες προς αντικατάσταση των παλαιών.
5. Κατασκευάζονται νέες γλισιέρες.
6. Κατασκευάζονται προστατευτικές πλάκες ροής, λάμες φραγής στις περιπτώσεις που υπάρχουν.
7. Γίνεται η συναρμολόγηση της δέσμης με την τοποθέτηση των τούμπων, ντίζες, 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 καθρέπτη. Η συναρμολόγηση 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 ΤΕΜΑ.
8. Στην περίπτωση που τα τούμπα είναι εκτονωμένα στους καθρέπτες ακολουθεί η εκτόνωσή τους με ειδικό μηχάνημα εκτόνωσης. Στην περίπτωση που τα τούμπα είναι κολλημένα χωρίς να υποδεικνύονται λούκια εκτόνωσης στο σχέδιο, γίνεται μια πρώτη εκτόνωση των τούμπων και μετά οι κολλήσεις και ακολουθεί μη καταστροφικός έλεγχος από το Τμήμα Επιθεώρησης με τη μέθοδο Penetrant Testing (PT). Στην περίπτωση που τα τούμπα είναι εκτονωμένα και κολλημένα γίνεται πρώτα η εκτόνωση των τούμπων σε κάθε καθρέπτη και ακολουθεί η κόλλησή τους με εφαρμογή μη καταστροφικού ελέγχου.
9. Τοποθετούνται και οι γλισιέρες στο κάτω μέρος της δέσμης.
10. Με την ολοκλήρωση της ανατούμπωσης, η δέσμη αποθηκεύεται μέχρι τη στιγμή της τοποθέτησής της στον εναλλάκτη.



## ➤ Εργασίες κατασκευής νέας δέσμης

Στην περίπτωση κατασκευής νέας δέσμης πρέπει να κατασκευαστούν όλα τα τμήματα που αποτελούν τη δέσμη:

- Καθρέπτες (Tubesheets)
- Διαχωριστικά (Baffles)
- Ντίζες (Tie Rods)
- Γλισιέρες (Slides)
- Προστατευτικές πλάκες τούμπων εισόδου του ρευστού (Impigement plates)
- Λάμες φραγής ρευστού μεταξύ διαχωριστικών – κελύφους (Seal strips)

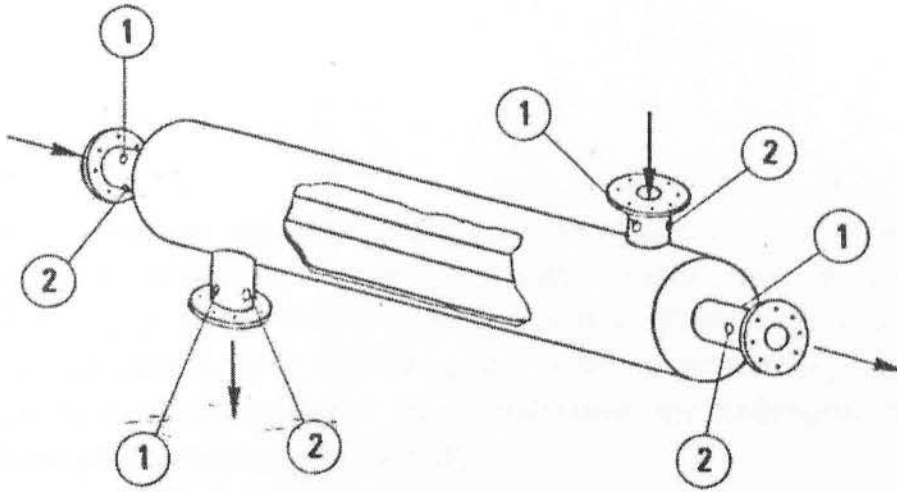
### **Κατασκευή καθρεπτών**

Επιλέγεται η λαμαρίνα σύμφωνα με τις διαστάσεις και το υλικό του καθρέπτη και κόβεται. Γίνεται μια πρώτη κατεργασία στον τόρνο κοντά στις επιθυμητές διαστάσεις αλλά όχι ακριβώς, δημιουργούνται τα κατάλληλα καλούπια της διάταξης των τούμπων 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 στην περίπτωση που τα τούμπα θα πρέπει να εκτονωθούν στον καθρέπτη και στη συνέχεια γίνεται η τελική κατεργασία των οπών με γλύφανο.

## 5.2 Μέτρηση πίεσης και θερμοκρασίας

Γενικά, όλος ο εξοπλισμός εναλλαγής θερμότητας έχει σημεία στα οποία τοποθετούνται ενδείκτες πίεσεως και θερμοκρασίας (σχ. 35)

Οι εναλλάκτες γειώνονται πάντοτε όπως και ο υπόλοιπος κύριος εξοπλισμός.



1. Ενδείκτες θερμοκρασίας (θερμόμετρα)
2. Ενδείκτες πίεσης (μανόμετρα)

*Σχήμα 5.5: Ενδείκτες θερμοκρασίας και πίεσης*

### 5.3 Κώδικας Θέσεως και πλάκα ταυτότητας

Κάθε εναλλάκτης έχει ένα όνομα που αποτελείται από αριθμούς και γράμματα π.χ.: M 201 A/B/O.

Το γράμμα M δείχνει ότι το κομμάτι του εξοπλισμού είναι εναλλάκτης θερμότητας. Ο αριθμός 201 είναι ο αύξων αριθμός των εναλλακτών της μονάδας 200. Τα γράμματα A,B,O, αναφέρουν τον αριθμό των κομματιών του εξοπλισμού που έχουν την ίδια χρήση μέσα στη μονάδα 200. Οι εναλλάκτες συνήθως φέρουν μια πλάκα ταυτότητας που αναφέρει: Το όνομα του κατασκευαστή, Το έτος κατασκευής, Τον αριθμό παραγωγής, Τον τύπο του εξοπλισμού, Το σημείο αναγνώρισης, Την πίεση λειτουργίας από την πλευρά των αυλών, Την πίεση λειτουργίας από την πλευρά κελύφους, Την υδραυλική πίεση δοκιμής στην πλευρά των αυλών, και την υδραυλική πίεση δοκιμής στην πλευρά κελύφους. Η πλάκα πρέπει επίσης να έχει ελεύθερο χώρο για τις ανάγλυφες σφραγίδες των

εταιριών που είναι υπεύθυνες για τους ελέγχους και τις επιθεωρήσεις.

#### 5.4 Αποθέσεις

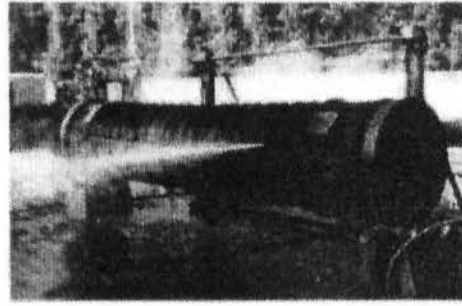
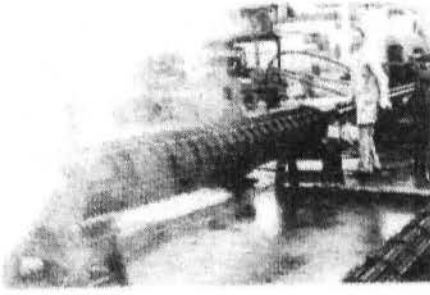
Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των εναλλακτών οι μεταλλικές επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας καλύπτονται από στρώμα οξειδίων, αλάτων και άλλων αποθέσεων που εξαρτώνται από το είδος του ρευστού που περνάει μέσα. Αυτές οι αποθέσεις έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα με αποτέλεσμα την ελάττωση του ρυθμού μετάδοσης της θερμότητας.

Ο σχηματισμός αποθέσεων (fouling, scaling) μπορεί να οφείλεται στην ελάττωση της διαλυτότητας και κρυστάλλωση των αλάτων, στον πολυμερισμό κλπ. Οι φυσικοχημικές αυτές αντιδράσεις επιταχύνονται στις υψηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό εμφανίζονται εντονότερες στα θερμαινόμενα τοιχώματα των εναλλακτών.

Αν το ρευστό δημιουργεί αποθέσεις ή διάβρωση τότε είναι προτιμότερο να περνάει από το εσωτερικό των σωλήνων παρά από το κέλυφος γιατί το εσωτερικό των σωλήνων καθαρίζεται ευκολότερα.

Οι εναλλάκτες που υπόκεινται σε εναποθέσεις πρέπει να καθαρίζονται περιοδικά, γιατί εκτός του ότι είναι μονωτικές προκαλούν και πτώση πίεσης, η οποία αυξάνεται με την αύξηση των εναποθέσεων. Ο καθαρισμός γίνεται συνήθως με υδροβολή υψηλής πίεσης. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει και μηχανικός καθαρισμός με ειδικές ξύστρες και βούρτσες.

Ο σχηματισμός αποθέσεων αντιμετωπίζεται με διάφορες μεθόδους, όπως η αύξηση της ταχύτητας του υγρού, το έντονο ανακάτεμα και η προσθήκη χημικών ουσιών.



*Σχήμα 5.6: Καθαρισμός δέσμης σωλήνων με υδροβολή.*

## 5.5 Διάβρωση

Κατά κανόνα χρησιμοποιούνται στους εναλλάκτες θερμότητας σαν κατασκευαστικά υλικά διάφορα μέταλλα και κράματα που έχουν υψηλή αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και διαβρώσεις. Το κυριότερο κατασκευαστικό υλικό είναι το ασάλι που επί πλέον έχει και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Το κυριότερό του μειονέκτημα είναι η τάση για διάβρωση, ιδιαίτερα στα συστήματα νερού.

Οι εναλλάκτες θερμότητας διαβρωτικών ρευστών κατασκευάζονται από διάφορα ανθεκτικά μέταλλα και κράματα τα κυριότερα των οποίων είναι:

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες (stainless steel), οι οποίοι είναι κράματα σιδήρου - χρωμίου - νικελίου και ειδικά οι τύποι 304 και 316 (Cr Ni 18/8).

**Ο χαλκός και τα κράματά του:** Χρησιμοποιούνται κυρίως στους εναλλάκτες τους ψυχομένους με νερό. Ο χαλκός εκτός από την ανθεκτικότητά του στη διάβρωση προτιμάται και για την υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Μειονέκτημα η μικρή αντοχή στην πίεση. Τα πιο συνηθισμένα κράματα χαλκού είναι ο μπρούντζος (Bronze CuZn 30), ο ναυτικός μπρούντζος το κράμα αλουμινίου και μπρούντζου AluBrass (CuZn20Al2) και το κράμα χαλκού και νικελίου Cupronickel (CuNi 90/10).

Το νικέλιο και τα κράματά του: Χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές διαβρωτικών ρευστών όπως το κράμα νικελίου και χαλκού Monel (NiCu 70/30). Επίσης άλλα κράματα νικελίου χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών.

Πολλοί εναλλάκτες κατασκευάζονται από διαφορετικά μέταλλα. Σ' αυτή την περίπτωση όμως πρέπει να γίνει μια πολύ προσεκτική επιλογή των μετάλλων γιατί μπορεί να σχηματισθεί γαλβανικό ρεύμα λόγω των διαφορετικών μετάλλων και αυτό να προκαλέσει ηλεκτρολυτική διάβρωση,

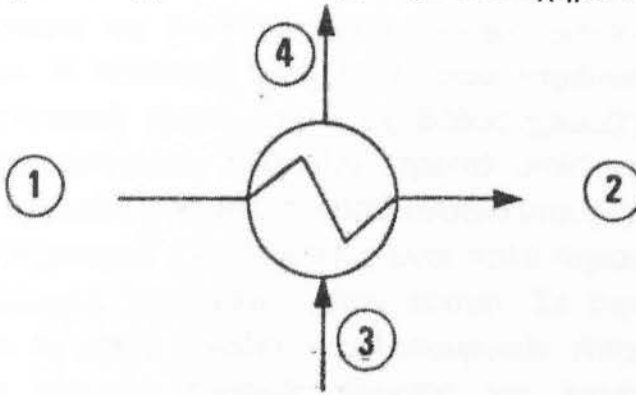
Το συνηθέστερο μέσο προστασίας από την διάβρωση στους βιομηχανικούς εναλλάκτες είναι η χρήση κομματιών καθαρού ψευδάργυρου, τα οποία συγκολλούνται στα καπάκια και στους θαλάμους εισαγωγής και εξαγωγής των εναλλακτών. Αυτά έχουν την τάση να διαβρώνονται εύκολα και με τον τρόπο αυτό προστατεύουν το ασάλι από το οποίο κατασκευάζεται ο εναλλάκτης. Αντικαθίστανται όταν ανοίγει ο εναλλάκτης για συντήρηση. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε εναλλάκτες από τους οποίους περνάει νερό και ειδικά θαλασσινό.

## 5.6 Θερμική μόνωση

Για να μειώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τις απώλειες θερμότητας από τα ρευστά που περνούν μέσα από τους εναλλάκτες συνήθως τους επενδύουμε με ένα ειδικό μονωτικό υλικό. Μονωτικά υλικά θεωρούνται εκείνα στα οποία η ταχύτητα μετάδοσης της θερμότητας είναι ελάχιστη σε σύγκριση με τα μέταλλα. Τα μονωτικά υλικά είναι αυτούσια ή σε μίγματα σε διάφορους τύπους και μορφές, και κυρίως χρησιμοποιούνται πετροβάμβακας σε εφαρμογές μεγάλης θερμοκρασίας και πολυουρεθάνη σε εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας (ψύξη).

## 5.7 Συμβολισμοί

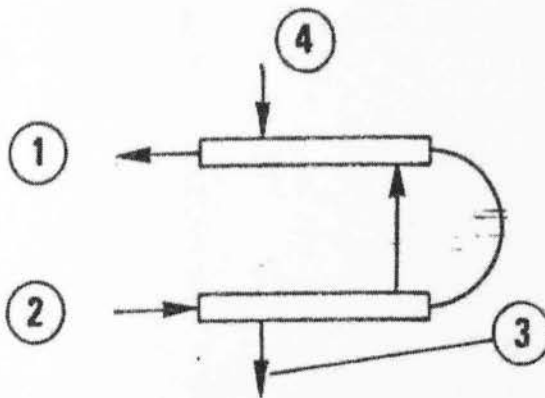
Στα διαγράμματα διεργασίας χημικών εργοστασίων και διυλιστηρίων, οι εναλλάκτες αυλών - κελύφους εμφανίζονται γενικά με το σύμβολο που δείχνουμε στο Σχήμα 36.



1. Είσοδος ρευστού, πλευρά αυλών
2. Έξοδος ρευστού πλευρά αυλών
3. Είσοδος ρευστού πλευρά κελύφους
4. Έξοδος ρευστού πλευρά κελύφους

**Σχήμα 5.7:** Σύμβολο του εναλλάκτη αυλών-κελύφους

Ο εναλλάκτης διπλού σωλήνος παρίσταται από το σύμβολο του σχήματος 5.8.



1. Έξοδος ρευστού, εσωτερικός σωλήνας
2. Είσοδος ρευστού, εσωτερικός σωλήνας
3. Έξοδος ρευστού, εξωτερικός σωλήνας
4. Είσοδος ρευστού, εξωτερικός σωλήνας

**Σχήμα 5.8:** Σύμβολο εναλλάκτη διπλού σωλήνος

## Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών σε ένα διυλιστήριο, αν και αρκετά απλή, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι από ένα σύνολο διαδικασιών. Ένας εναλλάκτης αν σταματήσει να λειτουργεί ίσως να μην μπορεί να δουλέψει μια ολόκληρη μονάδα τεραστίων διαστάσεων. Η εναλλαγή θερμότητας που λαμβάνει χώρα είναι εύκολα κατανοητή αρχικά, αλλά εις βάθος χρειάζεται ιδιαίτερες γνώσεις. Η συντήρησή τους είναι αρκετά απλή και αφορά σε μηχανικές εργασίες που γίνονται από ανειδίκευτους εργάτες με την επίβλεψη μηχανικού. Οι εναλλάκτες είναι πολύ σημαντικό κομμάτι στις μεγαλύτερες βιομηχανίες στον κόσμο. Σε ένα διυλιστήριο απαρτίζουν τις μισές μονάδες που λειτουργούν. Απαραίτητο είναι να γίνεται πάντοτε επαρκής έλεγχος της κατάστασης των εναλλακτών, καθώς εύκολα μπορεί να υπολειτουργήσει έστω και ένας από αυτούς με αποτέλεσμα να συμπαρασύρει μια ολόκληρη μονάδα με τεράστια έσοδα, άρα και μεγάλο κόστος αν σταματήσει ξαφνικά. Ο τομέας των εναλλακτών συνήθως απασχολεί μεγάλες εταιρείες με πολλούς εργαζομένους, αλλά απαιτεί και μεγάλες εγκαταστάσεις για συντήρησή τους.

## **Βιβλιογραφία**

[http://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_exchanger](http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger)

<http://www.wlv.com/products/thermal-management-databooks.html>

<http://www.thermopedia.com/content/1121/?tid=110&sn=23>

### **TEMA STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURER ASSOCIATION**

**A Heat Transfer Textbook 3rd ed. J. Lienhard, J. Lienhard (2003) WW**

**Βιβλίο Διυλιστηρίου ΕΛΠΕ**

**Εκμάθηση Εναλλακτών ΑΣΠΡΟΦΟΣ Α.Ε.**

**Εκμάθηση Εναλλακτών Motor Oil**

**Οδηγίες Συντήρησης Εναλλακτών ΤΕΜΑ (Εσωτερικές Σημειώσεις ΕΛΠΕ για μηχανικούς συντήρησης)**