

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΘΕΜΑ : ΨΥΓΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΕΠΠΕΔΕΣ  
ΠΛΑΚΕΣ Η ΦΥΛΛΑ PLATES HEAT EXCHANGERS  
ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΚΓΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΨΥΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΧΙΛΙΤΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2015**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΨΥΓΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΠΕΔΕΣ  
ΠΛΑΚΕΣ Η ΦΥΛΛΑ PLATES HEAT EXCHANGERS  
ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΨΥΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**A.M : 4788**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά ενέργειας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας, για να πραγματοποιηθεί η μεταβίβαση αυτή είναι απαραίτητο να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας των δυο συναλλασσόμενων ρευστών ,γιατί κατά το Β' Θερμοδυναμικό Νόμο ή αρχή του Carnot ,στην απλή του έκφραση ,η θερμότητα πορεύεται από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες . Το πολύ αυξημένο ενδιαφέρον για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα σε συνδυασμό με τα οικονομικά κίνητρα που έδωσαν οι περισσότερες κεντρικές κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο οδήγησε τις παραγωγικές εταιρίες ανεξαρτήτως μεγέθους να αναπτύξουν τεχνολογίες αποτελεσματικότερης αξιοποίησης της ενέργειας. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη του παραπάνω στόχου έπαιξαν και συνεχίζουν να παίζουν οι συσκευές εναλλαγής θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς ανάμεσα σε αυτούς εξέχουσα θέση έχουν η χημική και η μεταλλουργική βιομηχανία. Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η κατανόηση της λειτουργίας του πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας (ψυγεία επιφανείας με επίπεδες πλάκες) και τα εξαρτήματα τα οποία που αποτελείται. Στα πρώτα κεφάλαια αναπτύσσονται τα θεωρητικά μέρη των εναλλακτών θερμότητας έπειτα αναφέρονται διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας επίσης αναφέρεται η μέθοδος θερμογράφισης του πλακοειδή εναλλάκτη, η οποία μας βοηθάει να εντοπίσουμε για τυχόν βλάβες στον εναλλάκτη.

## ABSTRACT

The alternators of heat are appliances with which is achieved the transport of energy from one of fluid high temperature in other fluid lower temperature, in order to is realized this transfer is essential exists difference of temperature the two dealing fluid, because at B' Thermodynamic Law or beginning of Carnot, to his simple expression, the heat heads from highest to lower temperatures. The very increased interest for the reduction of consumption of energy in world level the last decades of 20th century in combination with the economic motives that gave most central governments in the all world led the productive companies of independent size to develop technologies of her more effective exploitation energies. Important role for the achievement of parapano objective they played and they continue playing the appliances of alternation of heat.

The alternators of heat find a lot of applications in the all industrial sectors between them distinguished place have the chemical and metallurgic industry. The aim of final work is the comprehension of operation of plate heat exchanger and the elements which that are constituted. In the first chapters are developed the theoretical parts of alternators of heat then are reported various types of heat exchangers are also reported the method of infrared thermography in plate heat exchangers that which us helps we locate for by any chance damage.

## Πρόλογος

Τους πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας τους συναντάμε στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις σε ποικίλες μορφές, π.χ. τα ψυγεία των εξατμίσεων στις ατμομηχανές, οι **ψυκτήρες λαδιού** λιπάνσεως, πόσιμου νερού ή αέρα, **οι βραστήρες** παραγωγής αποσταγμένου νερού, **οι προθερμαντήρες** τροφοδοτικού νερού, λαδιού λιπάνσεως, πετρελαίου νερού καθαρισμού δεξαμενών καυσιγόνου αέρα, **οι οικονομητήρες** τροφοδοτικού νερού, **οι υπερθερμαντήρες**, οι αφυγραντήρες, **αναθερμαντήρες** ατμού, οι αναθερμαντήρες των αεριοστρόβιλων κλπ. Με τους εναλλακτικές θερμότητας επιδιώκεται είτε η θέρμανση ενός ρευστού από άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία, οπότε γενικά ονομάζονται θερμαντήρες (**heaters**), είτε η αφαίρεση θερμότητας, δηλαδή η ψύξη ενός ρευστού από άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία, οπότε γενικά ονομάζονται ψυγεία ή ψυκτήρες (**coolers**). Σε περιπτώσεις που κατά την εναλλαγή πραγματοποιείται εξάτμιση ή συμπύκνωση ενός ρευστού με σταθερή, ως γνωστό θερμοκρασία, τότε οι εναλλακτικές ονομάζονται ειδικότερα εξατμιστήρες (**evaporators**) και συμπυκνωτές (**condensers**). Σε όλες όμως τις περιπτώσεις το φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται μέσα σε αυτούς και εξετάζεται ως ενιαίο, είναι η μετάδοση της θερμότητας, επίσης οι εναλλάκτες θερμότητας με πλάκες χρησιμοποιούνται συνήθως και για την θέρμανση ή ψύξη τροφίμων ή άλλων προϊόντων με χαμηλό έως μέτριο βαθμό ιξώδους. Ο κάθε εναλλάκτης θερμότητας με πλάκες σχεδιάζεται για συγκεκριμένο σκοπό, που ορίζεται στην τεκμηρίωση του προϊόντος, και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται με άλλον τρόπο χωρίς την έγκριση του προμηθευτή.

## Κεφάλαιο 1

### 1.1 Εισαγωγή.

Η κατανόηση των μηχανισμών της Μεταφοράς Θερμότητας καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική, δεδομένου ότι διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο στον ενεργειακό σχεδιασμό εργοστασίων, κτιρίων αλλά και πλήθος άλλων χρηστικών συσκευών. Πέρα από την χρησιμότητα της κατανόησης των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας, σημασία πρέπει να δίνεται και στον βέλτιστο τρόπο εφαρμογής τους, ο οποίος επιβάλλεται από το έντονο ενδιαφέρον του σύγχρονου κόσμου για μείωση την καταναλισκόμενης ενέργειας και ορθολογικότερη διαχείριση της.

Σπουδαίο ρόλο για την επίτευξη του παραπάνω στόχου διαδραματίζουν οι συσκευές εναλλαγής θερμότητας ή εναλλάκτες θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν αναπόσπαστο μέρος πολλών ενεργειακών συστημάτων, με πολυάριθμες εφαρμογές σε όλους σχεδόν τους βιομηχανικούς τομείς. Ορισμένοι από τους τομείς αυτούς είναι η παραγωγή ενέργειας, η χημική βιομηχανία, η μεταλλουργία, η ναυτιλία και κυρίως η θέρμανση, η ψύξη και ο κλιματισμός.

Για κάθε διαφορετική εφαρμογή μεταφοράς θερμότητας, απαιτείται και το ανάλογο είδος εξοπλισμού μεταφοράς θερμότητας. Η προσπάθεια προσαρμογής του μηχανικού εξοπλισμού μεταφοράς θερμότητας, ανάλογα με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς της εκάστοτε εφαρμογής, είχε ως αποτέλεσμα μια πληθώρα τύπων εναλλακτών θερμότητας με μεγάλη ποικιλία σε συνδυασμούς των χαρακτηριστικών τους. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος αποτελεί το κεντρικό αντικείμενο μελέτης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

### 1.2 Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας

Η θερμότητα ( $Q$ ) ορίζεται ως το μέρος της ροής της ολικής ενέργειας στα όρια ενός συστήματος, που προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος ή μεταξύ δύο συστημάτων. Με τον όρο θερμότητα, απλοποιείται συχνά ο όρος μεταφορά θερμότητας ή ροή θερμότητας. Σύμφωνα με τον πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής, η θερμότητα δεν δημιουργείται εκ του μηδενός, αλλά ούτε και καταστρέφεται, ωστόσο μπορεί να μεταφέρεται και να μετασχηματίζεται. Παρόλο που η θερμότητα και η θερμοκρασία συνδέονται στενά ως έννοιες, αξίζει να τονιστεί ότι η φύση τους είναι διαφορετική. Σε αντίθεση με τη

θερμοκρασία που είναι βαθμωτό μέγεθος, η θερμότητα αποτελεί διανυσματική ποσότητα. Επομένως για την πλήρη περιγραφή της μεταφοράς θερμότητας, πρέπει να προσδιορίζεται το μέγεθος και η διεύθυνσή της.

Η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί από μία πηγή σε έναν δέκτη με τρεις κύριους μηχανισμούς. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι η αγωγή (conduction), η συναγωγή (convection) και η ακτινοβολία (radiation). Σε πολλές περιπτώσεις η θερμότητα μεταφέρεται με συνδυασμό δύο ή τριών από τους παραπάνω τρόπους.

### 1.2.1 Μεταφορά Θερμότητας με Αγωγή.

Στην αγωγή η θερμότητα μεταφέρεται από το ένα μόριο της ύλης στο γειτονικό του, χωρίς να συνοδεύεται από μακροσκοπική μετακίνηση του υλικού, ενώ συντελείται κυρίως σε στερεά και ακινητοποιημένα ρευστά. Ο ρυθμός μεταφοράς με αγωγή μέσα από ένα σώμα εξαρτάται από τη γεωμετρία του, το πάχος του, το υλικό του και τη διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του σώματος. Η αγωγή περιγράφεται από το νόμο του Fourier.

$$Q_{\text{cond}} = -K \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

Όπου:

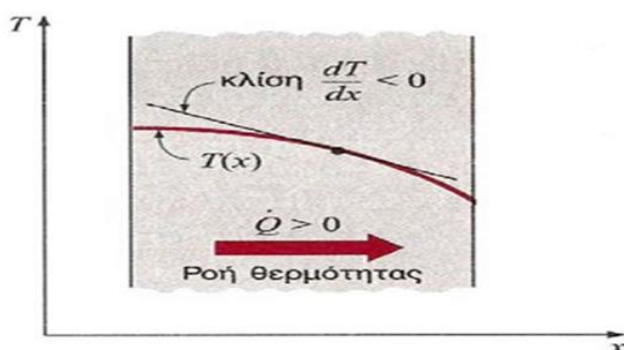
**k:** η θερμική αγωγιμότητα του υλικού

**A:** το εμβαδόν επιφανείας

**T:** η σημειακή θερμοκρασία του υλικού

**x:** το πάχος του υλικού

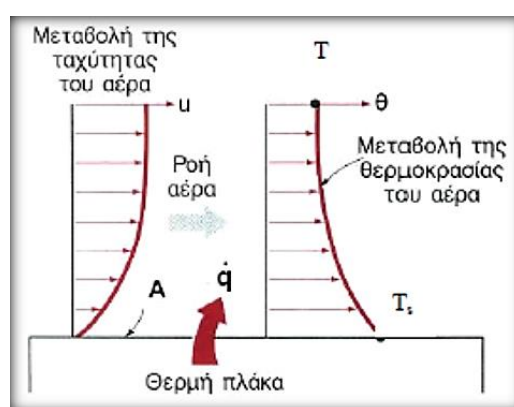
$\Delta T/\Delta x$ : η θερμοκρασιακή κλίση, η οποία αποτελεί την κλίση της καμπύλης σε ένα διάγραμμα T-x (Σχήμα 1.2α).



1 Σχήμα 1.2α : Η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T/\Delta X$  αποτελεί την κλίση της καμπύλης θερμοκρασίας στο διάγραμμα T-x

### 1.2.2 Μεταφορά Θερμότητας με Συναγωγή.

Η συναγωγή είναι ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας στα ρευστά, όπου η ύλη μπορεί να μετακινείται ελεύθερα. Επίσης ο μηχανισμός της συναγωγής χαρακτηρίζει τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ενός στερεού και ενός ρευστού που βρίσκεται σε κίνηση. Καθώς τα στοιχεία μάζας του ρευστού μετακινούνται από μία περιοχή σε μία άλλη, μεταφέρουν μαζί με τη μάζα τους και όλες τις υπόλοιπες ιδιότητές τους, όπως η ορμή και η θερμική τους ενέργεια. Υπάρχουν δύο ειδών προβλήματα αναφορικά με τη συναγωγή. Τα προβλήματα όπου η συναγωγή συντελείται με φυσικό τρόπο και αυτά στα οποία ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις, οπότε χαρακτηρίζεται ως εξαναγκασμένη συναγωγή (Σχήμα 1.2α).



**2 Σχήμα 1.2α:** περίπτωση ρευστού που κινείται κοντά σε επιφάνεια με διαφορετική θερμοκρασία.

Η εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό μεταφοράς της θερμότητας με συναγωγή, ο οποίος είναι ανάλογος με τη διαφορά θερμοκρασίας, εκφράζεται με το Νόμο Ψύξης του Newton ως εξής:

$$q^0_{\text{conv}} = h (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W/m}^2)$$

ή

$$Q^0_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W})$$

Όπου:

**h:** ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή σε  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

**A :** η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας σε  $\text{m}^2$

**T<sub>s</sub>:** η θερμοκρασία της επιφάνειας σε  $^\circ\text{C}$

**T<sub>∞</sub>:** η θερμοκρασία του ρευστού αρκετά μακριά από την επιφάνεια σε  $^\circ\text{C}$  (Σχήμα 1.2α)

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.

### 1.2.3 Μεταφορά Θερμότητας με Ακτινοβολία

Ακτινοβολία είναι η θερμότητα που εκπέμπει η ύλη υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά θερμότητας δεν απαιτείται η ύπαρξη κάποιου υλικού μέσου. Η θερμότητα στην περίπτωση αυτή μεταφέρεται με την ταχύτητα του φωτός. Η ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπει μια επιφάνεια με ακτινοβολία σε συγκεκριμένο μήκος κύματος, εξαρτάται από το υλικό του σώματος, της κατάσταση της επιφάνειάς του, καθώς και από τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Η εκπεμπόμενη θερμότητα ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα εμβαδού δίνεται από το Νόμο των **Stefan - Boltzmann**:

$$q_{\mu} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

όπου

$\sigma$ : η σταθερά Stefan – Boltzmann ίση με  $5.67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)

$T_s$ : η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας σε K

$\varepsilon$ : η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας με  $0 \leq \varepsilon \leq 1$

## Κεφάλαιο 2

### Εναλλάκτες Θερμότητας.

Εναλλάκτης θερμότητας (heat exchanger) ονομάζεται η διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Με τον όρο ρευστό εννοούμε οποιαδήποτε ουσία παρουσιάζει ροή, δηλαδή υγρά αέρια ή ακόμη και στερεά σε ρευστή μορφή. Οι εναλλάκτες θερμότητας επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας με δυνατότητα ανάμιξης των ρευστών (εναλλάκτες άμεσης επαφής), αλλά και δυνατότητα μη ανάμιξής τους (εναλλάκτες έμμεσης επαφής). Στους πρώτους δύο διαφορετικής φάσης ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και διαχωρίζονται πάλι. Στους εναλλάκτες έμμεσης επαφής, οι ροές των δύο ρευστών διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω ενός μη διαπερατού θερμοαγωγίμου διαχωριστικού τοιχώματος και έτσι τα δύο ρευστά παραμένουν χωρισμένα, ενώ η θερμότητα μεταφέρεται μέσω της διαχωριστικής επιφάνειας. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιοριστούμε στη μελέτη εναλλακτών θερμότητας με διαχωριστικό τοίχωμα ανάμεσα

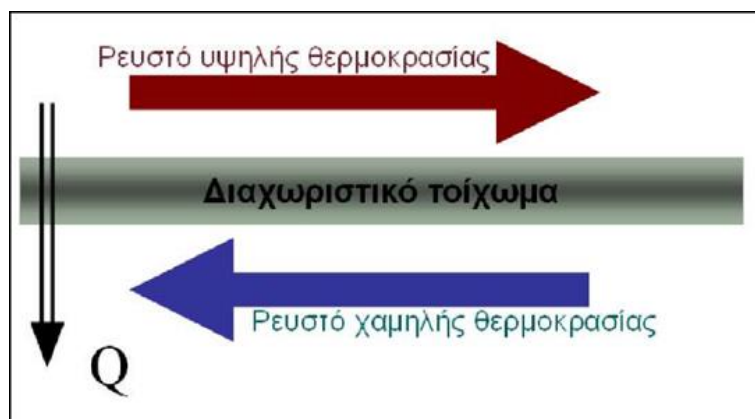


στα δύο ρευστά, οι οποίοι αποτελούν την πλειοψηφία των εμπορικών συσκευών εναλλαγής θερμότητας.

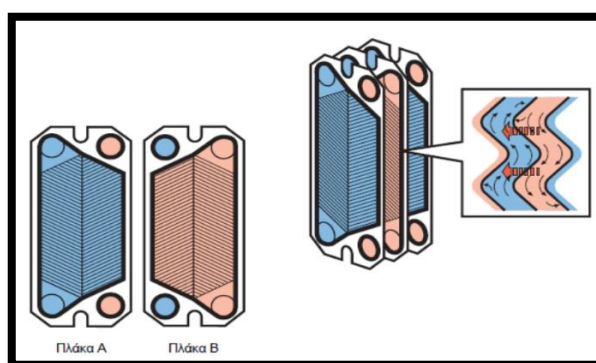
## 2.1 Αρχή Λειτουργίας Εναλλακτών Θερμότητας.

Η αρχή λειτουργίας των εναλλακτών θερμότητας φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα

**2.1α.** Εξαιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα δυο ρευστά, υπάρχει ωθούσα δύναμη για μεταφορά ενέργειας υπό μορφή θερμότητας από το ρευστό υψηλής θερμοκρασίας προς το ρευστό θερμότητας, η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται από το θερμό ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας, σύμφωνα με το 2ο Θερμοδυναμικό Αξίωμα. Σε έναν εναλλάκτη στο τοίχωμα μέσω συναγωγής, διαμέσου του τοιχώματος με αγωγή και από το τοίχωμα στο ψυχρό ρευστό και πάλι μέσω συναγωγής. Οι επιδράσεις της ακτινοβολίας συμπεριλαμβάνονται συνήθως στους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή.



3Σχήμα 2.1α: Αρχή λειτουργίας εναλλάκτη θερμότητας.



3 Εικόνα 2.1β: Πλάκες ή φύλλα εναλλακτών θερμότητας.

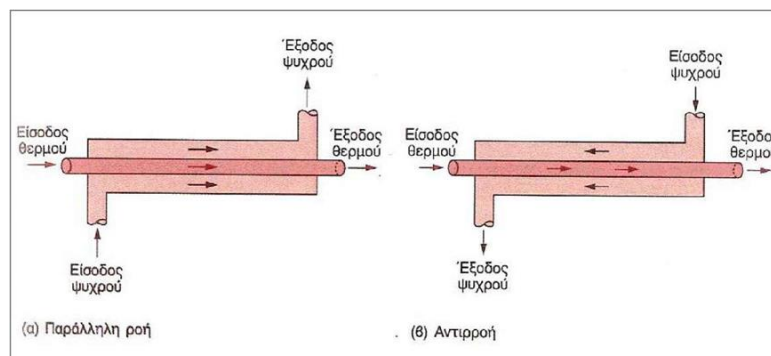
## 2.2 Βασικοί Τύποι Εναλλακτών Θερμότητας.

Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν μία πολυπληθή οικογένεια και τα χαρακτηριστικά τους ποικίλουν ανάλογα με το είδος της εκάστοτε εφαρμογής. Ένα πρώτο κριτήριο διαχωρισμού των εναλλακτών, σχετίζεται με το είδος της ροής και ανάλογα με αυτό διακρίνονται ως εξής:

- **Εναλλάκτες Παράλληλης ροής ή ομοροής (parallel flow)**, όπου τα δύο ρευστά ρέουν παράλληλα (Σχήμα 2.2α).
- **Εναλλάκτες Αντιροής (counter flow)**, όπου τα ρευστά ρέουν στην ίδια διεύθυνση αλλά με αντίθετη φορά (Σχήμα 2.2α).
- **Εναλλάκτες Σταυρωτής ροής ή σταυροροής (cross flow)**, στους οποίους τα δύο ρευστά ρέουν σε κάθετες διευθύνσεις.
- **Σύνθετους Εναλλάκτες**, όταν συνδυάζουν κάποια από τα παραπάνω είδη ροής. Στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι οι εναλλάκτες αντιροής παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα μεταφοράς θερμότητας συγκριτικά με τα άλλα είδη ροής και για το λόγο αυτό απαντάται στις περισσότερες εφαρμογές.

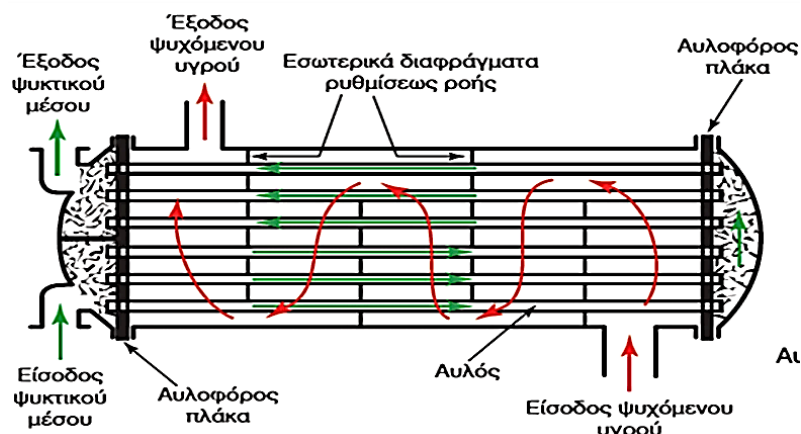
Το δεύτερο κριτήριο αναφέρεται στη διάταξη του εναλλάκτη και ανάλογα προκύπτει ο παρακάτω διαχωρισμός για ορισμένα από τα πιο γνωστά είδη εναλλακτών:

- **Εναλλάκτες διπλού αυλού ή διπλού σωλήνα (double pipe heat exchangers)**. Ο τύπος αυτός είναι ο απλούστερος τύπος εναλλάκτη (Σχήμα 2.2α) και αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες με το ένα ρευστό να ρέει διαμέσου του μικρότερου σωλήνα και το δεύτερο στο χώρο που παρεμβάλλεται μεταξύ των σωλήνων.



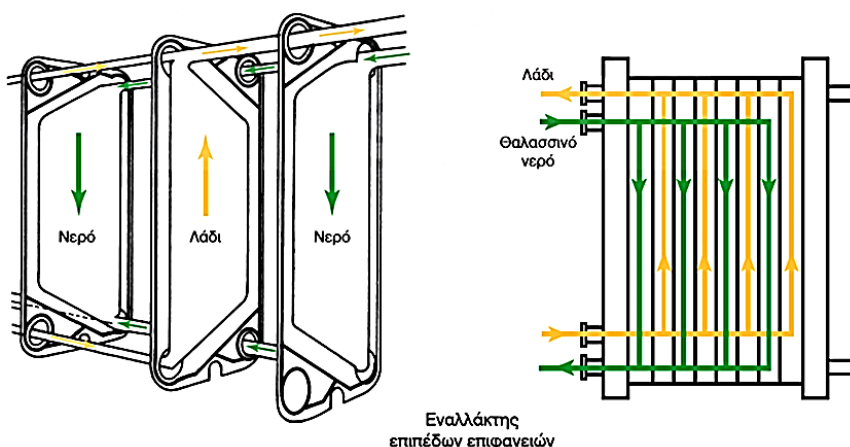
**4 Σχήμα 2.2α:** Διαφορετικές καταστάσεις ροής και σχετικές θερμοκρασιακές κατανομές σε εναλλάκτη θερμότητας διπλού σωλήνα.

- Εναλλάκτες κελύφους και αυλών ή δέσμης σωλήνων με διαφράγματα (shell-and-tube heat exchangers), είναι ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης στη βιομηχανία διεργασιών και αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 60% των εναλλακτών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Ο εναλλάκτης αυτός απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2β.



**5 Σχήμα 2.2β:** Η σχηματική απεικόνιση ενός εναλλάκτη θερμότητας δέσμης σωλήνων (ή αυλών) με διαφράγματα (ή κελύφη).

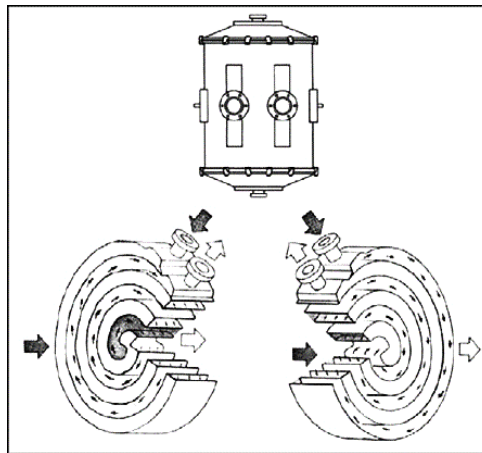
- Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (**plate heat exchangers**), οι οποίοι αποτελούνται από μία συστοιχία αυλακωτών μεταλλικών πλακών πιεσμένες μέσα σε ένα πλαίσιο. Στο Σχήμα 2.2γ διακρίνεται ένας πλακοειδής εναλλάκτης.



**6 Σχήμα 2.2γ:** Εικονίζεται διαγραμματικά η διαμόρφωση του εναλλακτήρα με πλάκες ή επίπεδα ψυκτικών επιφανειών. Οι πλάκες ή επιφάνειες εφάπτονται μεταξύ τους μέσα σε κατάλληλο σκελετό.

Παριστάνει επίσης και την ροή των δύο συναλλασσόμενων ρευστών, λαδιού λιπάνσεως και θαλασσινού νερού στην περίπτωση αυτή.

- Σπειροειδείς εναλλάκτες (spiral heat exchangers), στους οποίους τα ρευστά ρέουν σε σπειροειδείς επιφάνειες, οι οποίες διαχωρίζονται από υπερυψωμένες προεξοχές και σφραγίζονται με δύο πλάκες άκρων (Σχήμα 2.2δ).



**7 Σχήμα 2.2δ: Σπειροειδής εναλλάκτης θερμότητας.**

- Συμπαγείς εναλλάκτες (compact heat exchangers), οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εφαρμογές με αυστηρούς περιορισμούς βάρους και όγκου διότι επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών σε έναν μικρό όγκο. Οι συμπαγείς εναλλάκτες παρουσιάζουν υψηλές τιμές του λόγου της επιφάνειας θερμοεναλλαγής προς τον όγκο τους και εξ' ορισμού ο λόγος αυτός (πυκνότητα επιφάνειας,  $\beta$ ) λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Τέτοιοι εναλλάκτες είναι τα ψυγεία των αυτοκινήτων, οι υαλοκεραμικοί αεροστροβιλικοί εναλλάκτες και ο αναγεννητήρας μιας μηχανής Stirling.

Ανάλογα με τη φύση της εκάστοτε εφαρμογής, χρησιμοποιούνται και άλλου είδους εναλλάκτες όπως οι εναλλάκτες προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια, οι εναλλάκτες αερίου-αερίου, οι αερόψυκτοι εναλλάκτες, οι συμπυκνωτές (condensers), οι εξατμιστήρες (evaporators) και οι αναγεννητές (regenerators). Επιπροσθέτως υπάρχουν εναλλάκτες που εντοπίζονται στην καθημερινότητα, όπως οι λέβητες (boilers), οι βραστήρες, τα κλιματιστικά ή τα σώματα καλοριφέρ.

### 2.3 Κριτήρια Επιλογής Εναλλακτών

Μία από τις σημαντικές ενέργειες ενός Μηχανικού είναι να επιλέξει μέσα από μία πληθώρα ετοιμοπαράδοτων εναλλακτών θερμότητας διαφόρων τύπων, τον καταλληλότερο εναλλάκτη προς χρήση. Οι παράγοντες που καθορίζουν την απόφαση αυτή είναι πολλοί και με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας ο καθένας. Ο σύγχρονος Μηχανικός έχει στη διάθεσή του ορισμένα χρήσιμα διαγράμματα, πρότυπα αλλά και προγράμματα στα οποία μπορεί να καταφύγει, ωστόσο ο συνδυασμός των παραγόντων

που τίθενται ως περιορισμοί σπάνια είναι ίδιοι. Έτσι οι πληροφορίες αυτές είναι χρήσιμες για τον γρήγορο αποκλεισμό ορισμένων τύπων. Οι κυριότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

### **Ο Ρυθμός Μεταφοράς Θερμότητας**

Ο ρυθμός Μεταφοράς Θερμότητας είναι η σημαντικότερη ποσότητα κατά την επιλογή ενός εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης που θα επιλεγθεί θα πρέπει να εξασφαλίσει ένα συγκεκριμένο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας, ώστε να επιτευχθεί η θερμοκρασιακή μεταβολή του ρευστού σε καθορισμένη παροχή μάζας.

### **Το Κόστος**

Οι οικονομικοί περιορισμοί παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην επιλογή των εναλλακτών. Οι ετοιμοπαράδοτοι εναλλάκτες κοστίζουν πολύ λιγότερο από τους κατά παραγγελία εναλλάκτες, ωστόσο ενδέχεται κανένας από τους υπάρχοντες στην αγορά εναλλάκτες να μη μπορεί να επιτελέσει την εργασία για την οποία προορίζεται. Έτσι η κατασκευή του είναι αναγκαία, ιδιαίτερα όταν χρειάζεται να ενταχθεί σε μία ολοκληρωμένη διάταξη. Το χαρακτηριστικό μέγεθος για την κοστολόγηση των εναλλακτών είναι η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας  $A$ . Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το πάγιο κόστος ενός εναλλάκτη  $C_f$  δίνεται από τον τύπο:

$$C_f = f_d \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_b$$

Όπου

$f_d = \exp[-1.1156 + 0.0906 \cdot (\ln A)]$ , παράγοντας ο οποίος εξαρτάται από το τύπο του εναλλάκτη

$f_m = 1.204 + 0.50764 \cdot (\ln A)$ , παράγοντας ο οποίος εξαρτάται από το υλικό της κατασκευής

$f_p = 0.7771 + 0.04981 \cdot (\ln A)$ , παράγοντας ο οποίος εξαρτάται από την πίεση λειτουργίας

$C_b = \exp[8.821 - 0.30863 \cdot (\ln A) + 0.0681 \cdot (\ln A)^2]$

Το αποτέλεσμα της παραπάνω σχέσης αναπροσαρμόζεται κάθε έτος με τη βοήθεια των οικονομικών δεικτών του περιοδικού Chemical Engineering, ώστε να υπολογιστεί το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του εναλλάκτη.

### **Η Πτώση Πίεσης**

Η Πτώση πίεσης δημιουργείται μέσα στον εναλλάκτη από τις συνθήκες ροής των ρευστών και σχετίζεται άμεσα με την ισχύ άντλησης. Αυξημένες πτώσεις πίεσης εντός

του εναλλάκτη αυξάνουν την ισχύ άντλησης και συνεπώς το λειτουργικό κόστος του εναλλάκτη, διότι τα βοηθητικά εξαρτήματα (αντλίες, ανεμιστήρες) που χρησιμοποιούνται για την άντληση των ρευστών καταναλώνουν ενέργεια. Πέρα από τον οικονομικό παράγοντα, και οι απαιτήσεις της διεργασίας συχνά επιβάλλουν μικρή πτώση πίεσης διότι ενδέχεται τα κατασκευαστικά υλικά να μην αντέχουν τις τάσεις αυξημένων πιέσεων και θερμοκρασιών. Ωστόσο, η μειωμένη πτώση πίεσης δεν αποτελεί κανόνα, διότι έχει παρατηρηθεί ότι μειώνεται ταυτόχρονα ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας και συνεπώς θα χρειαστεί ένας μεγαλύτερος εναλλάκτης για να επιτελέσει το ίδιο καθήκον. Με αυτή τη λογική αυξάνεται πάλι το αρχικό κόστος αγοράς. Συνεπώς απαιτείται να βρεθεί μια χρυσή τομή ανάμεσα στην πτώση πίεσης και το μέγεθος του εναλλάκτη.

### **Το Μέγεθος και το Βάρος**

Γενικά είναι προτιμότερο ο εναλλάκτης θερμότητας να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος και ελαφρύτερος. Ιδιαίτερα σε ορισμένες εφαρμογές, όπως στην αεροναυπηγική και την αυτοκινητοβιομηχανία το μικρό μέγεθος και βάρος επιβάλλονται. Δεδομένου ότι το κόστος ενός εναλλάκτη επηρεάζεται κυρίως από την επιφάνειά του  $A$ , ένας μεγαλύτερος εναλλάκτης κοστίζει περισσότερο.

### **Το Είδος και οι Ιδιότητες των Ρευστών**

Το είδος του εναλλάκτη θερμότητας που επιλέγεται επηρεάζεται από τις ιδιότητες και τη χημική συμπεριφορά των ρευστών, ιδιαίτερα όταν στη διεργασία περιλαμβάνεται και αλλαγή φάσης κάποιου ρευστού

### **Τα υλικά κατασκευής**

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός εναλλάκτη ενδέχεται να μην αντέχουν κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας, όπως μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές. Σε αυτήν την περίπτωση τίθεται πρόβλημα διαφορικής θερμικής διαστολής. Επιπλέον όταν γίνεται χρήση ενός διαβρωτικού ρευστού περιορίζονται οι δυνατότητες επιλογής των μετάλλων και συνήθως χρησιμοποιείται το ανοξείδωτο ατσάλι ή το τιτάνιο, τα οποία είναι σχετικά ακριβά υλικά.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι εναλλάκτες δεν λειτουργούν στις συνθήκες για τις οποίες σχεδιάστηκαν. Συνήθως επιλέγεται ένας ετοιμοπαράδοτος εναλλάκτης και αν για παράδειγμα κατά τον σχεδιασμό του, έχει συμπεριληφθεί ο

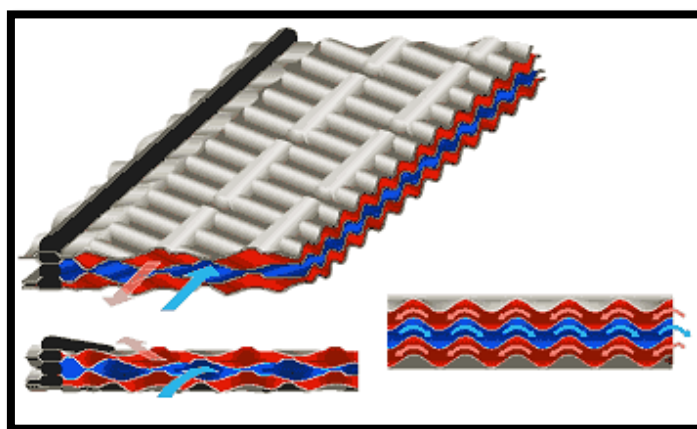
παράγοντας επικαθήσεων Rf, αρχικά θα είναι υπερσχεδιασμένος και πριν τη συντήρησή του υποσχεδιασμένος. Οι σύγχρονες διαδικασίες διασφάλισης της ποιότητας, καθιστούν επιτακτικό και αναγκαίο τον έλεγχο του εναλλάκτη που παραλαμβάνεται για να εξακριβωθεί κατά πόσον ισχύουν οι αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού του.

## Κεφάλαιο 3

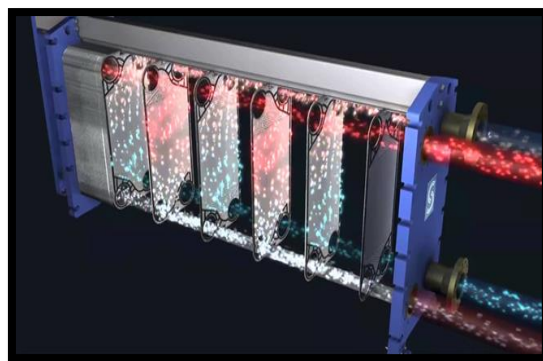
### Εναλλάκτες Θερμότητας με επίπεδες πλάκες επιφανείας (Plates heat exchangers).

#### 3.1 Αρχή λειτουργίας.

Ο εναλλάκτης θερμότητας με πλάκες αποτελείται από ένα σετ αυλακωτών μεταλλικών πλακών με θύρες για τη διόδο των δύο ρευστών μεταξύ των οποίων συντελείται η μετάδοση της θερμότητας. Οι πλάκες είναι εφοδιασμένες με φλάντζες που στεγανοποιούν το διάυλο και κατευθύνουν τα ρευστά σε εναλλακτικούς δίαυλους. Το σετ των πλακών συναρμολογείται μεταξύ μίας πλάκας πλαισίου και μίας πλάκας πίεσης και συμπιέζεται με μπουλόνια σύσφιξης. Σχηματίζονται δίαυλοι μεταξύ των πλακών και οι γωνιακές θύρες είναι τοποθετημένες έτσι ώστε τα δύο μέσα να ρέουν μέσω εναλλακτικών διαύλων. Η θερμότητα μεταδίδεται μέσω της πλάκας μεταξύ των διαύλων και δημιουργείται πλήρης αντιρροή για τη μεγαλύτερη δυνατή αποδοτικότητα. Η αυλάκωση της πλάκας παρέχει τη διόδο μεταξύ των πλακών, στηρίζει κάθε πλάκα με τη γειτονική της και βελτιώνει την Τυρβώδη ροή.



**8 Εικόνα 3.1α:** αυλακώσεις μεταξύ πλακών όπου με κόκκινο χρώμα είναι το ψυχόμενο υγρό και με μπλε είναι το μέσο ψύξης ενός πλακοειδή εναλλάκτη και στις άκρες με μαύρο οι φλάντζες στεγανοποίησης.

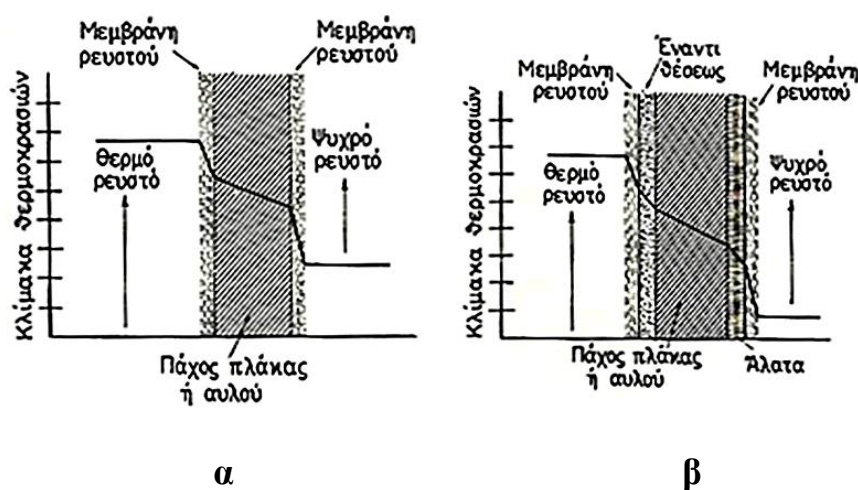


9 Εικόνα 3.1β: Η ροή των δύο ρευστών μέσα από τις επίπεδες πλάκες του εναλλάκτη.

### 3.2 Η μετάδοση της θερμότητας στους εναλλακτήρες επιφανείας.

Για τη μελέτη του φαινομένου λαμβάνουμε υπόψη (σχ. 3.2α) ότι, όταν ρευστό κινείται και εφάπτεται σε στερεή επιφάνεια, τότε στην επιφάνεια αυτή σχηματίζεται πάντοτε λεπτό στρώμα ή μεμβράνη που κινείται με ελάχιστη ταχύτητα ή παραμένει σχεδόν ακίνητη. Η θερμότητα του ρευστού αναγκάζεται έτσι να διέλθει πρώτα μέσω της μεμβράνης αυτής και στη συνέχεια να εισέλθει στη στερεή πλάκα. Το πάχος της μεμβράνης ελαττώνεται στο ελάχιστο, όταν η ροή του από στρωτή, όπως είναι σε μικρές ταχύτητες, μετατρέπεται σε στροβιλώδη (στις μεγαλύτερες ταχύτητες) ή διαφορετικά, ή διαφορετικά, όταν υπερβεί την κρίσιμη ταχύτητα ροής.

Οποσδήποτε όμως η μεμβράνη αυτή, ανεξάρτητα από το πάχος που έχει κάθε φορά, προσφέρει σοβαρή αντίσταση στη διάβαση της θερμότητας. Η αντίσταση αυτή εκφράζεται με το λεγόμενο συντελεστή μεμβράνης (film coefficient) του ρευστού.

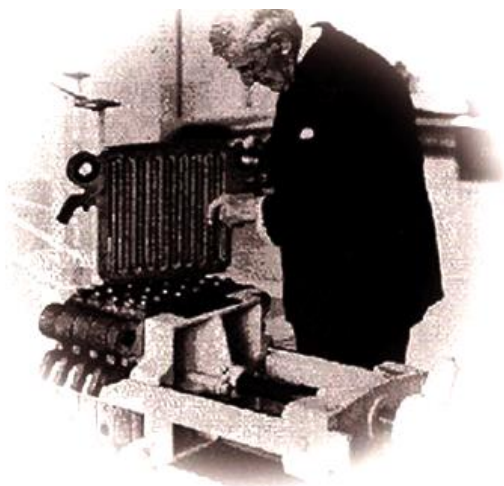


Σχήμα 3.2α: Εικονίζεται γραφικά η πτώση της θερμοκρασίας από το θερμό ρευστό προς το ψυχρό μέσω των δύο μεμβρανών και του σώματος της πλάκας λόγω επικαθήσεως αλάτων που συσσωρεύονται και στις δύο επιφάνειες της πλάκας ή οι επικαθήσεις άλλων δυσθερμαγωγών ουσιών.

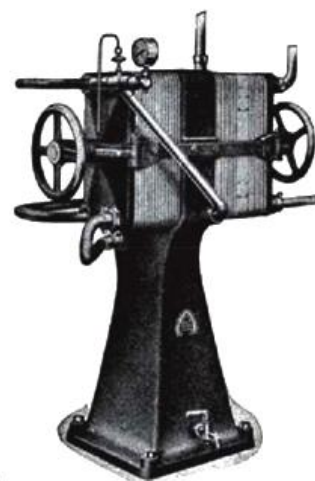


### 3.3 Διάταξη και Υλικά Κατασκευής

Ο πλακοειδής εναλλάκτης (plate-and-frame heat exchanger) αναγνωρίζεται και με ορισμένους επιπλέον όρους όπως επίπεδος εναλλάκτης, εναλλάκτης τύπου πλακών, εναλλάκτης πλακών και πλαισίου ή στεγανοποιημένος εναλλάκτης (gasketed). Ο πρώτος πλακοειδής εναλλάκτης (**Εικόνα 3.3α**), σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 1923 από τον Dr. Richard Seligman, ιδρυτή της εταιρίας Aluminum Plant and Vessel Company Ltd, ευρύτατα γνωστή σήμερα ως **APV**.



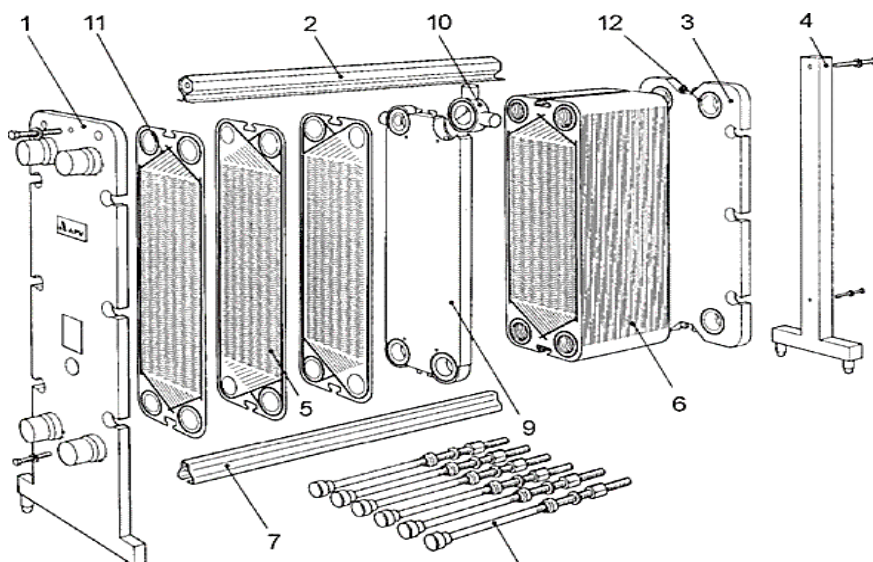
α.



β.

**10 Εικόνα 3.3α :** (α) ο πρώτος πλακοειδής εναλλάκτης και ο κατασκευαστής του Dr. Richard Seligman, (β) Ένας από τους πρώτους πλακοειδείς εναλλάκτες.

Ένας σύγχρονος πλακοειδής εναλλάκτης απεικονίζεται στο **Σχήμα(3.3β)** παρακάτω και αποτελείται από μία σειρά πολύ λεπτών μεταλλικών πλακών (**6**) ορθογωνικού σχήματος (**5**), μονωμένες στην εξωτερική τους περίμετρο με χρήση ελαστικού παρεμβύσματος (**11**), οι οποίες συγκρατούνται μέσα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (**1**). Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται επίπεδες χαλύβδινες διαβάσεις ροής. Η μία από τις δύο ράβδους του πλαισίου (**3**), διαθέτει κατάλληλες υποδοχές με θύρες σύνδεσης (**12**) για τα ρεύματα ροής, ενώ η δεύτερη είναι μετακινούμενη και τοποθετείται ανάλογα με τον αριθμό των πλακών.



**11 Εικόνα 3.3β: Εξαρτήματα πλακοειδούς εναλλάκτη.**

Επιπλέον το πλαίσιο διαθέτει οδηγητικές ράβδους (2,7) οι οποίες επιτρέπουν τη σωστή και ευθυγραμμισμένη τοποθέτηση των πλακών. Για το σκοπό αυτό οι πλάκες του εναλλάκτη διαθέτουν μία εγκοπή στο μέσο κάθε πλευράς τους, ώστε να προσαρμόζονται στις οδηγητικές ράβδους. Το σύνολο των πλακιδίων και του πλαισίου συσφίγγεται με χρήση κοχλιών μεγάλου μήκους (8), διασφαλίζοντας την καλύτερη απομόνωση των σχηματισμένων καναλιών του εναλλάκτη. Σε περίπτωση που ο αριθμός των πλακών ξεπεράσει μία τιμή ανάλογη με το μέγεθος του εναλλάκτη, τότε χρησιμοποιείται συνδετική μεταλλική πλάκα (9) και οδηγός- συνδετήρας (10) για την αποφυγή κάμψης της κάτω ράβδου. Οι τυπικές διαστάσεις ενός πλακοειδούς εναλλάκτη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μέγιστη Επιφάνεια Εναλλαγής	2500 m <sup>2</sup>
Αριθμός Πλακών	3 έως 700
Τυπική Πίεση	0.1 έως 3.0 MPa
Τυπική Θερμοκρασία	-40 έως 260 °C
Τυπική Παροχή ανά Κανάλι Εναλλάκτη	0.05 έως 12.5 m <sup>3</sup> /h
Πάχος Πλακών	0.5 έως 1.2 mm
Επιφάνεια Πλάκας	0.03 έως 3.6 m
Απόσταση μεταξύ Πλακών	1.5 έως 7 mm
Πλάτος Πλάκας	0.07 έως 1.2 m
Μήκος Πλάκας	0.4 έως 5 m

**12 Πίνακας 3.3γ: τυπικές διαστάσεις ενός πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας.**

### **Υλικά κατασκευής**

Για την κατασκευή ενός τέτοιου τύπου εναλλάκτη, χρησιμοποιούνται συνήθως μέταλλα που μπορούν να υποστούν ψυχρή κατεργασία. Τα πλέον συνηθισμένα είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας (AISI 304, AISI 306, AISI 316) και το τιτάνιο. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κράματα (Incoloy 825, Inconel 625, Hastelloy C-276), ενώ σε περιπτώσεις διαβρωτικών ρευστών προτιμότερο είναι οι πλάκες να είναι από γραφίτη ή πολυμερικά υλικά. Τα παρεμβύσματα που τοποθετούνται ως σφραγίσματα ανάμεσα στις πλάκες είναι κατασκευασμένα συνήθως από ελαστικό βουτιλίου ή ελαστικό νιτριλίου. Ορισμένα άλλα συμπίεστά υλικά που προορίζονται για την κατασκευή τους είναι το νεοπρένιο, το Hypalon και το Viton.

### **3.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικών πλακών εναλλακτών θερμότητας**

#### **Βασικός σχεδιασμός πλακών.**

Οι πλάκες κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316/304 με λάστιχα στεγανότητας από NBR/EPDM/FKM για θέρμανση, ψύξη και ανάκτηση θερμότητας με υγρό – υγρό ή ατμό /υγρό. Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας αποτελούνται από τις πλάκες εναλλαγής θερμότητας τον σκελετό, τα εξαρτήματα σύσφιξης και τα στόμια εισόδου / εξόδου

Οι πλάκες είναι κατασκευασμένες από πρεσσαριστά φύλλα μετάλλου με αυλακώσεις σχεδιασμένες με τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη μετάδοση θερμότητας. Κάθε πλάκα διαθέτει μία φλάντζα από συνθετικό ελαστικό που στεγανοποιεί το υγρό ανάμεσα στις δύο πλάκες. Οι πλάκες κρέμονται από την πάνω ράβδο-οδηγό και σφίγγονται μεταξύ της βάσης (σταθερός σκελετός). Το υγρό ρέει μέσω ενός στενού χώρου ανάμεσα στις πλάκες και η θερμότητα μεταφέρεται από την επιφάνεια των πλακών. Στους πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας τα υγρά μπορούν να ρέουν προς διάφορες κατευθύνσεις, όπως σε βρόγχο σε μια σειρά πλακών.



**13 Εικόνα 3.3.1α :** Εξαγωγή πλάκας από την ράβδο - οδηγό του εναλλάκτη, και σύσφιξη των πλακών.

### Τύποι πλακών στους εναλλάκτες θερμότητας επιφανείας

- Πλάκες ελεύθερης ροής
- Ημισυγκόλλητες πλάκες
- Πλάκες **Gemini** διπλού τοιχώματος, (για αυξημένη ασφάλεια λειτουργίας. Οι πλάκες μπορούν να διαχωριστούν για έλεγχο του χώρου μεταξύ των πλακών)
- Πλάκες ελεύθερης ροής

Οι πλάκες ελεύθερης ροής είναι ειδικά σχεδιασμένες για ρευστά που περιέχουν ίνες ή άλλα σωματίδια τα οποία μπορεί να μπλοκάρουν έναν παραδοσιακό πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας. Οι πλάκες ελεύθερης ροής είναι κατάλληλα σχεδιασμένες ώστε να μην υπάρχει μεταλλική επαφή ανάμεσα στις πλάκες, στο τμήμα μετάδοσης θερμότητας της πλάκας. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται υψηλή τύρβη και συνακολουθιά υψηλός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας.



**Ημισυγκόλλητες πλάκες**

Ο εναλλάκτης θερμότητας ημι-συγκολλημένων αποτελείται από μια σειρά από λεπτές κυματοειδές δίδυμο πλακών. Μία πλευρά είναι συγκολλημένη και η άλλη πλευρά είναι εφοδιασμένη με φλάντζες. Οι πλάκες στη συνέχεια συμπιέζονται μαζί σε ένα άκαμπτο πλαίσιο για να δημιουργήσει μια διάταξη παράλληλων καναλιών ροής.

Τα δύο ρευστά ρέουν σε εναλλακτικές κανάλια έτσι υπάρχει μια μεγάλη έκταση επιφανείας επί της οποίας η μεταφορά της ενέργειας θερμότητας από ένα ρευστό στο άλλο μπορεί να πραγματοποιηθεί. Τα κανάλια είναι ειδικά σχεδιασμένα για να προκαλέσει τη μέγιστη αναταραχή στις δύο ροές ρευστού, προκειμένου να κάνουν τη μεταφορά θερμότητας όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη.

Ο σχεδιασμός καθιστά επίσης εύκολο να διαχωριστούν οι πλάκες γρήγορα - όταν, για παράδειγμα, θα πρέπει να καθαριστεί. Καθιστά επίσης εύκολο να προσαρμοστεί η αλιευτική ικανότητα με την απλή προσθήκη ή αφαίρεση πλακών όταν απαιτείται.

**Πλάκα διπλού τοιχώματος :**

Αποτελείται από δύο εξαιρετικά λεπτές πλάκες που σχηματίζουν ένα μικρό διάκενο διαρροής. Τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου των πλακών διαμορφώνονται δια συγκολλησεως. Εκτός από αυτό, ο σχεδιασμός τους είναι ίδιος με εκείνον των συμβατικών εναλλακτών θερμότητας με πλάκες με συναρμογή μέσω παρεμβύσματος.

Σε περίπτωση ρωγμής σε μία πλάκα, το προϊόν δεν θα εισέλθει στο γειτονικό διάκενο ροής, αλλά αντίθετα θα εισέλθει στο διάκενο διαρροής. Το προϊόν μεταφέρεται προς τα έξω μέσω ειδικών διαύλων διαρροής αποκλείοντας το ενδεχόμενο της ανάμιξης των πλακών του εναλλάκτη θερμότητας

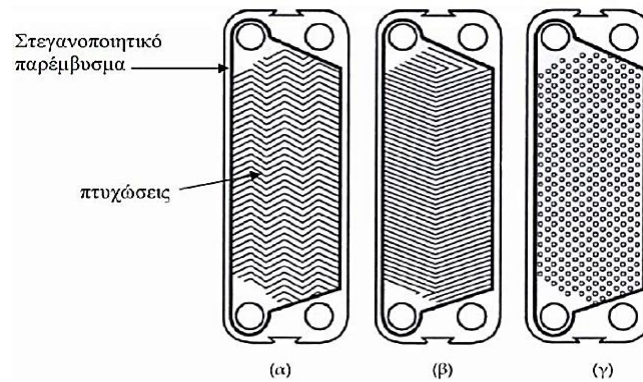
Γενικά οι πλάκες αναγνωρίζονται από ένα ή περισσότερα σημάδια που είναι σταμπαρισμένα πάνω στην πλάκα.

**3.4 Πτυχώσεις Πλακών και Συνθήκες Ροής**

Οι πλάκες των πλακοειδών εναλλακτών κατασκευάζονται με την αποτύπωση ενός προτύπου πτυχώσεων ή κυματισμών (corrugated pattern) στην επιφάνειά τους (Σχήμα 3.4α). Οι πτυχώσεις αυτές κατασκευάζονται υπό γωνία ως προς τη φορά ροής των ρευστών και απαντώνται σε διάφορα σχήματα (τετραγωνικά, τριγωνικά, τραπεζοειδή, ημιτονοειδή). Πλευρικά κάθε πλάκας τοποθετούνται ειδικά κανάλια στα οποία

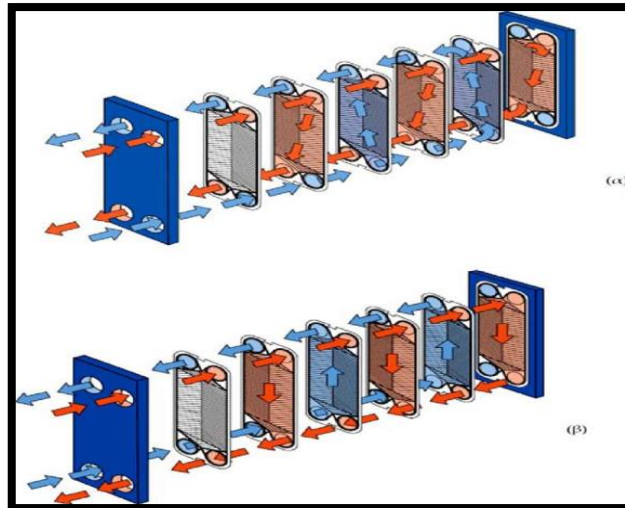
εναποτίθεται το παρέμβυσμα, το οποίο χρησιμοποιείται για την στεγανοποίηση των καναλιών, αλλά και την κατεύθυνση των ρευμάτων ροής μέσα σε αυτά.

Η διαμόρφωση πτυχώσεων στις πλάκες του εναλλάκτη οδηγούν στην αυξημένη παραγωγή τύρβης. Οι κατασκευαστές των εναλλακτών με πλάκες διαθέτουν μία μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων πλακών, ώστε να ευνοείται η μεταφορά θερμότητας. Οι πλέον δημοφιλείς τύποι είναι οι διαμορφώσεις αλληλοσύνδεσης και chevron. Ο τύπος chevron ευνοεί γενικά τη μεταφορά θερμότητας περισσότερο από τους υπόλοιπους. Ωστόσο ακόμα και στον ίδιο τύπο πτυχώσεων μπορούν να υπάρξουν διαφοροποιήσεις με την μεταβολή της γωνίας  $\theta$  των πτυχώσεων από λίγο έως πολύ απότομη ( $\theta=[30^\circ\sim 75^\circ]$ ).



**14 Εικόνα 3.4α :** Πλάκες εναλλάκτη με πτυχώσεις τύπου chevron (α) zig-zag, (β) herringbone, (γ) Κοιλότητες.

Κάθε πλάκα έχει τέσσερις θύρες (ports) ροής μία σε κάθε γωνία για την είσοδο και την έξοδο των δύο ρευστών σε ζεύγη. Κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης του εναλλάκτη επιλέγεται το κατάλληλο ζεύγος θυρών το οποίο καθορίζει το είδος ροής και οι θύρες ευθυγραμμίζονται δημιουργώντας δύο δευτερεύοντα κανάλια διανομής της ροής στα επιμέρους κανάλια του εναλλάκτη (Σχήμα 3.4β). Κάθε ψυχρή ροή ρευστού περιβάλλεται από δύο θερμές ροές ρευστού και το αντίστροφο, με αποτέλεσμα μία αυξημένη μεταφορά θερμότητας. Πέρα από τη δημιουργία στροβιλισμών στη ροή του ρευστού, ενισχύεται και η μηχανική σταθερότητα των πλακών και ελέγχεται η μεταξύ τους απόσταση.



**15 Εικόνα 3.4β:** Τυπική διάταξη συναρμολόγησης πλακοειδούς εναλλάκτη και αναπαράσταση της αντιρροής : (α) Διαγώνια διεύθυνση ροών , (β) Παράλληλη διεύθυνση ροών.

Το είδος της ροής στα κανάλια του πλακοειδούς εναλλάκτη αποτελεί ένα από τα κυριότερα θέματα που απασχολεί τους ερευνητές. Έχει παρατηρηθεί ότι εξαιτίας της αλληλεπίδρασης της ροής εντός του στενού καναλιού που δημιουργείται μεταξύ δύο πτυχώσεων, με την υψηλής ταχύτητας ροή πάνω από τις κορυφές των πτυχώσεων δημιουργείται μία δευτερεύουσα ροή. Αυτές οι δευτερεύουσες ροές ονομάζονται δίνες (goertler) και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα φαινόμενα που επηρεάζουν την μεταφορά θερμότητας, καθώς λεπταίνουν το οριακό στρώμα στο χαμηλότερο σημείο των πτυχώσεων. Πρακτικά οι δίνες διαταράσσουν και διασπών το οριακό αυτό στρώμα της ροής και η συνεχής ανανέωση του ρευστού κοντά στα τοιχώματα.

οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας. Έτσι η δευτερεύουσα αυτή ροή οδηγεί σε αύξηση του τυρβώδους της ροής. Από μία πληθώρα πειραματικών μετρήσεων που έχουν διεξαχθεί αναφορικά με το μοντέλο ροής σε τέτοιου είδους εναλλάκτες προέκυψε το διάγραμμα του Σχήματος 3.4γ. Σε αυτό διακρίνονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός πλακοειδούς εναλλάκτη με διαμόρφωση τύπου chevron και γωνία  $30^\circ$  ως προς την κατεύθυνση ροής.

Ο αριθμός **Reynolds** ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Re = \rho * U * D_e / \mu$$

$\rho$ : η πυκνότητα του ρευστού σε kg/m

$U$ : η ταχύτητα του ρευστού σε m/s

**De:** η υδραυλική διάμετρος του ρευστού σε m

**μ:** το ιξώδες του ρευστού στη μέση θερμοκρασία σε Pa's.

Ο αριθμός **Prandtl** καθορίζεται από τη σχέση:

$$Pr = C_p * \mu / k$$

**Cp:** είναι η ειδική θερμότητα του ρευστού υπό σταθερή πίεση σε kJ/kg'K

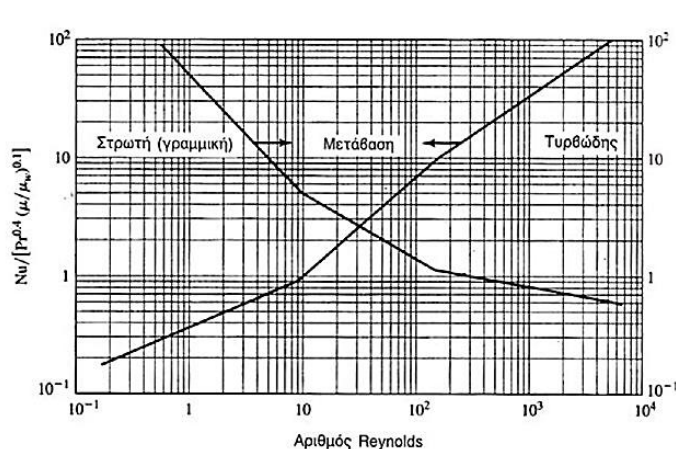
**k:** η θερμική αγωγιμότητα του ρευστού σε kJ/s'm'K

Ο αριθμός **Nusselt** υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Nu = h * D_e / k$$

**h:** ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε W/mK

Οι αριθμοί Prandtl και Nusselt εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού και ο συντελεστής τριβής *f* εξαρτάται από τη γεωμετρία του καναλιού και το είδος των πτυχώσεων.

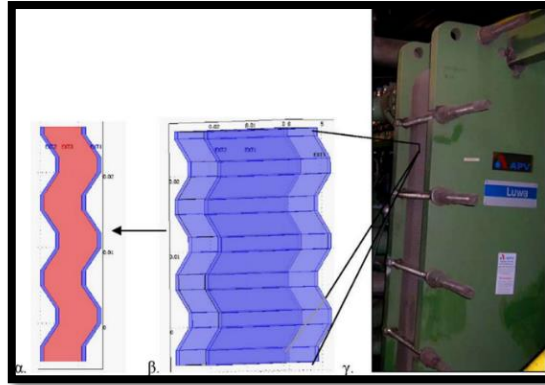


**16 Διάγραμμα 3.4γ:** Χαρακτηριστικά λειτουργίας μιας πλάκας εναλλάκτη με αυλακώσεις τύπου chevron.

Από το διάγραμμα γίνεται εμφανής η διαφοροποίηση που παρουσιάζουν οι συνθήκες ροής στα κανάλια ροής του εναλλάκτη από εκείνες που ισχύουν στους λείους κυλινδρικούς αγωγούς. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι ο αριθμός Reynolds στον οποίο πραγματοποιείται η μετάβαση από τη γραμμική ή στρωτή ροή στην τυρβώδη είναι αρκετά μικρότερος από ότι για τους λείους αγωγούς. Επίσης παρατηρείται μία σημαντική αύξηση της μεταβατικής περιοχής. Επιπρόσθετα, οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας στην περιοχή μετάβασης και την τυρβώδη είναι σημαντικά αυξημένοι απ'



ότι για τη ροή μέσα σε ένα λείο αγωγό της ίδιας ισοδύναμης διαμέτρου. Η αύξηση αυτή στους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, οφείλεται στις συνθήκες της ροής που δημιουργούν οι πτυχώσεις των πλακών.



*17 Εικόνα 3.4δ: Δισδιάστατο μοντέλο καναλιού, β. Τρισδιάστατο μοντέλο καναλιού ροής, γ. Πλακοειδής εναλλάκτης.*

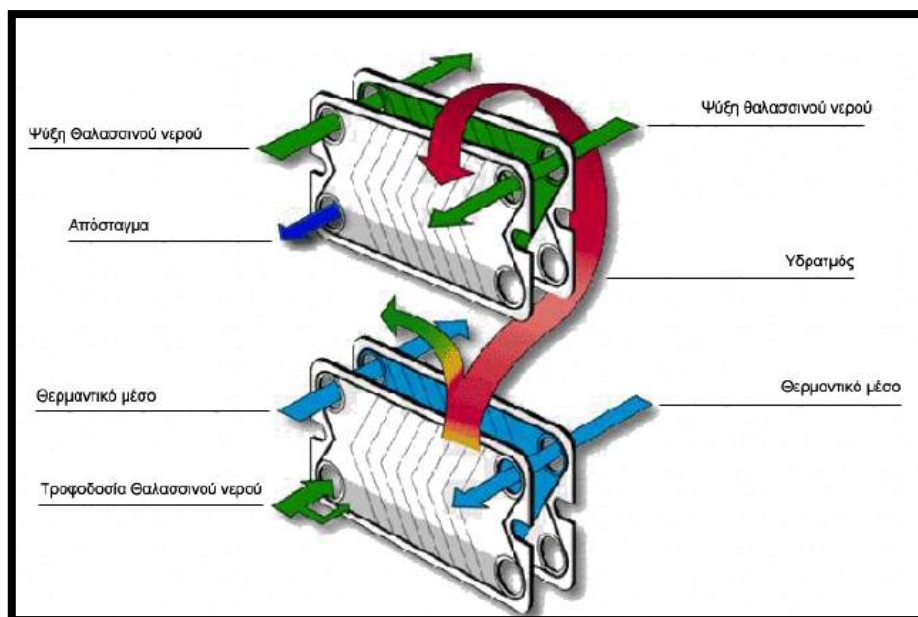
### 3.5 Χρήσεις ψυγείων επιφανείας με επίπεδες πλάκες

#### 3.5.1 Χρήση εναλλάκτη θερμότητας με επίπεδες πλάκες επιφανείας για παραγωγή γλυκού νερού στα πλοία.

Για την παραγωγή αποσταγμένου νερού στα πλοία χρησιμοποιούνται συσκευές παραγωγής αποσταγμένου νερού ονομάζονται αποστακτήρες ή βραστήρες (evaporators)

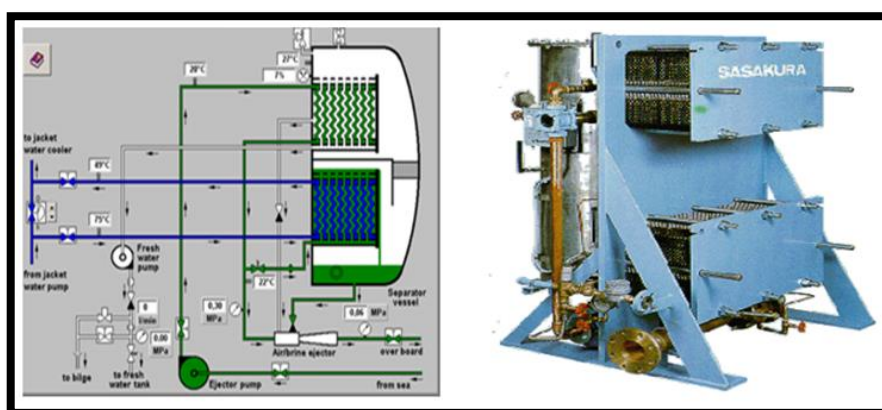
Ο αποστακτήρας γλυκού νερού αποτελείται από δύο πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας, εκ των οποίων ο ένας λειτουργεί ως εξατμιστής για να εξατμίσει το θαλασσινό νερό και ο άλλος ως συμπυκνωτής για να συμπυκνώσει τους υδρατμούς και να τους μετατρέψει σε συμπύκνωμα (υγρό). Και οι δύο εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από τιτάνιο. Ικανότητα παραγωγής από 1... 100t/24h.

Οι βραστήρες αποτελούνται από το κέλυφος, το εξατμηστή (heater), το συμπυκνωτή (condenser), ασφαλιστικό, εγχυτήρα, αντλίες, θερμομέτρα, μανόμετρα.



**18 Εικόνα 3.5α:** Αρχή λειτουργίας εναλλακτήρων σε εξατμιστή και συμπυκνωτή του αποστακτήρα με επίπεδες πλάκες.

Ο τρόπος παραγωγής του γλυκού νερού γίνεται με την εκμετάλλευση της θερμότητας που περιέχει το νερό ψύξης ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για να εξατμίσει το θαλασσινό νερό σε υψηλό κενό που επιτρέπουν την εξάτμιση σε θερμοκρασίες ακόμη και κάτω από 48 °C. Ως εναλλακτική πηγή θερμότητας, αντί του νερού ψύξης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ατμός.



**19 Εικόνα 3.5β:** Βραστήρας με επίπεδες πλάκες σε εγκατάσταση πλοίου.

### 3.5.2 Ψύξη του νερού ψύξεως της κύριας μηχανής και βοηθητικών μηχανημάτων του μηχανοστασίου:

Στα πλοία χρησιμοποιούνται με συντριπτική πλειοψηφία οι τύποι ψυγείων επιφανείας με επίπεδες πλάκες ή φύλλα λόγω του χαμηλού ειζώδες του νερού ψύξης γίνεται καλύτερα η μετάδοση θερμότητας του μέσου ψυξης που είναι το θαλασσινό νερό και

του ψυχόμενου υγρού που είναι το νερό ψύξης της μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων, τα οποία ρευστά ρέουν διαμέσου στις αυλωφόρες πλάκες επιφανείας όπου γίνεται η μεταφορά θερμότητας από το θερμό στο ψυχρό ρευστό.



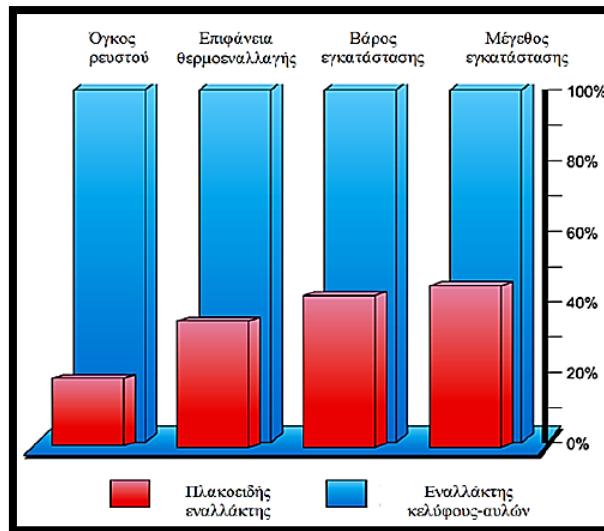
***20 Εικόνα:** εγκατάσταση πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας F.W CENTRAL COOLERS.*

### **3.5.3 Ψύξη λιπαντικού της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων:**

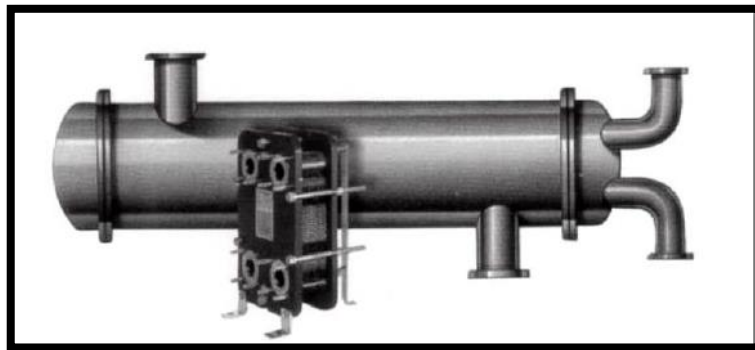
Το λάδι έπειτα από την έξοδο του από την κύρια μηχανή έχει αυξημένη θερμοκρασία λόγω της τριβής που δημιουργούν τα κινητά μέρη στο εσωτερικό της, γιαυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ψυγεία επιφανείας με επίπεδες πλάκες όπου από την μια πλευρά της πλάκας διέρχεται το γλυκό νερό το οποίο έχει ψυχθεί και από την άλλη πλευρά ρέει το λιπαντικό λάδι της μηχανής.

### **3.6 Πλεονεκτήματα, Εφαρμογές και Περιορισμοί πλακοειδών εναλλακτών.**

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες είναι διατάξεις που κατορθώνουν μία υψηλής απόδοσης μεταφορά θερμότητας (55%-75%) με σχετικά μικρό όγκο, συγκρινόμενοι πάντα με άλλους εναλλάκτες θερμότητας. Συγκρινόμενοι με τους πλέον γνωστούς εναλλάκτες κελύφους - αυλών (Σχήμα3.6α , Εικόνα3.6β), χαρακτηρίζονται από μειωμένο μέγεθος και βάρος, μικρή ανάγκη για στήριξη και με κατάλληλη διεύθυνση της ροής μπορούν να επιτύχουν πολύ μικρή θερμοκρασιακή προσέγγιση μεταξύ των ρευμάτων. Επιπλέον οι πλακοειδείς εναλλάκτες είναι εξαιρετικά αξιόπιστοι και δεν απαιτούν συχνή συντήρηση. Η συντήρησή τους είναι μία εύκολη διαδικασία, εξαιτίας της εύκολης αφαίρεσης των πλακών.



**21 Σχήμα 3.6α:** Σύγκριση πλακοειδούς εναλλάκτη και εναλλάκτη κελύφους -αυλών σε ορισμένα κρίσιμα μεγέθη.



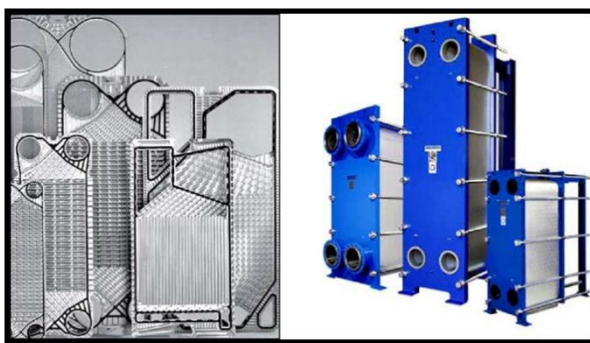
**22 Εικόνα 3.6β:** Σύγκριση μεγεθών πλακοειδούς εναλλάκτη και εναλλάκτη κελύφους -αυλών.

Το κυριότερο πλεονέκτημα του πλακοειδούς εναλλάκτη είναι ότι παρουσιάζει ευελιξία ως προς την μεταβολή του αριθμού των πλακών του. Έτσι σε περίπτωση που παραστεί ανάγκη, η ολική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας μπορεί να αυξηθεί προσθέτοντας τον απαιτούμενο αριθμό πλακών. Για όλους αυτούς τους λόγους ο εναλλάκτης τύπου πλακών με παρεμβύσματα βρίσκει εφαρμογή σε πολλά πεδία, μερικά από οποία είναι:

- Η βιομηχανία τροφίμων (κυρίως για την παστερίωση προϊόντων)
- Τα συστήματα ψύξης (κατηγορίες ψυγείων, air-condition)
- Τα συστήματα θέρμανσης (κτιρίων, ξενοδοχείων)
- Οι σταθμοί παραγωγής και συμπαραγωγής ενέργειας
- Οι ναυτικές εφαρμογές

- Η χημική βιομηχανία (πετροχημικά, φαρμακευτικά, λιπαντικά ή και αέρια προϊόντα)
- Οι μονάδες ανακύκλωσης (π.χ. χαρτιού)

Οι σημερινοί εναλλάκτες πλακών διατίθενται από πλήθος προμηθευτών που δραστηριοποιούνται στον εξοπλισμό μεταφοράς θερμότητας, οι οποίοι διαθέτουν μεγάλη ποικιλία προϊόντων για κάθε εφαρμογή. Υπάρχουν πολλές επιλογές αναφορικά με το μέγεθος του εναλλάκτη, τα υλικά κατασκευής και τη μορφή των πτυχώσεων ή των σημείων εισόδου των ρευστών. Ωστόσο, η αντοχή του υλικού που χρησιμοποιείται για παρέμβυσμα, δεν αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις και το γεγονός αυτό αποτελεί το βασικό περιορισμό στη χρησιμοποίηση ενός πλακοειδούς εναλλάκτη. Το ανώτατο όριο των θερμοκρασιών κυμαίνεται στους 250°C, ενώ η πίεση λειτουργίας περιορίζεται στα 3 MPa, επομένως ο πλακοειδής εναλλάκτης κρίνεται ακατάλληλος για χρήση σε τέτοιες περιπτώσεις. Η πτώση πίεσης είναι γενικότερα το σημείο που δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό των εναλλακτών θερμότητας και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνά το ανώτατο όριο που καθορίζεται για κάθε τύπο εναλλάκτη. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ο πλακοειδής εναλλάκτης με συγκολλημένες πλάκες (**brazed plate heat exchanger**), ο οποίος όμως κοστίζει επιπλέον 25-30%.



A

B

23 Εικόνα 3.6γ : (A) μερικές από τις σύγχρονες πλάκες που διατίθενται στην αγορά, (B). διάφορα μεγέθη πλακοειδών εναλλακτών.



24 Εικόνα 3.6δ: Τοποθέτηση παρεμβύσματος σε μία πλάκα του εναλλάκτη.

## Κεφάλαιο 4

### 4.1 Η Υπέρυθρη Θερμογραφία στη Διαδικασία Θερμικού Ελέγχου Πλακοειδούς Εναλλάκτη.

Η σύγχρονη τάση σχεδίασης των μηχανημάτων μεταφοράς θερμότητας ολοένα και μεγαλύτερης απόδοσης με ταυτόχρονο έλεγχο των απωλειών θερμότητας χωρίς αύξηση του κόστους και το σταμάτημα των εργασιών, είναι μια εξαιρετικά απαιτητική εργασία. Χάρη στις καινοτομίες στον τομέα της θερμογράφησης, η διαδικασία αυτή έχει απλοποιηθεί κατά πολύ. Η υπέρυθη θερμογραφία μετατρέπει την θερμική ενέργεια, η οποία εκπέμπεται από τα αντικείμενα στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε ορατή εικόνα. Οι σημαντικότεροι τομείς εφαρμογής της είναι η θερμοδυναμική ρευστών, η τεχνολογία και η πολιτιστική κληρονομιά.

#### Υπέρυθρη Θερμογραφία

Είναι γνωστό ότι οποιοδήποτε αντικείμενο σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδεν ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  ή  $0\text{ }^{\circ}\text{K}$ ), εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την μορφή ακτινών οι οποίες βρίσκονται στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [ $1\text{ }\mu\text{m}$ - $1000\text{ }\mu\text{m}$ ]. Αυτή η ενέργεια δεν είναι δυνατόν να γίνει αντιληπτή από την ανθρώπινη όραση. Η υπέρυθη θερμογραφία (**IRT infrared thermography**) είναι μια τεχνική που εντάσσεται στους μη καταστροφικούς ελέγχους, διότι επιτρέπει την οπτικοποίηση της θερμικής ενέργειας ενός αντικειμένου, χωρίς να υπεισέρχεται επαφή ή διείσδυση στο εξεταζόμενο αντικείμενο και στις περισσότερες των περιπτώσεων χωρίς να σταματά η λειτουργία του, όταν πρόκειται για κάποιο μηχάνημα.

Η θερμογραφία πραγματοποιείται με χρήση μίας θερμοκάμερας για την καταγραφή εικόνων του θερμοκρασιακού πεδίου ενός αντικειμένου και την αποστολή τους σε μικροεπεξεργαστές με σκοπό την εμφάνιση οπτικών εικόνων των αντικειμένων. Οι θερμογραφικές κάμερες ανιχνεύουν υπέρυθη ενέργεια και μετατρέπουν τη προσλαμβανόμενη ακτινοβολία σε τιμές θερμοκρασίας. Η θερμική εικόνα απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας στο εξεταζόμενο αντικείμενο. Η ανίχνευση διαφοροποιήσεων της θερμοκρασιακής κατανομής οδηγεί στην αναγνώριση βλαβών. Ωστόσο, μέσω του θερμικού ελέγχου υπάρχουν και άλλες δυνατότητες ελέγχου. Για παράδειγμα:

- **Επαλήθευση της αποτελεσματικότητας του εξεταζόμενου αντικειμένου**
- **Ανίχνευση ατελειών στη δομή του**
- **Εντοπισμός της εστίας των δυσλειτουργιών ενός συστήματος**

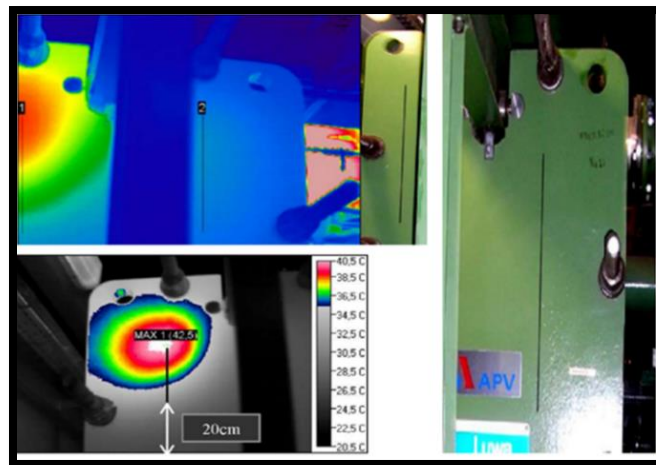
Η θερμογραφία από μόνη της παρέχει μια εξαιρετικά ακριβή και αξιόπιστη μέθοδο για την επίβλεψη και μέτρηση της θερμοκρασιακής κατανομής. Επιπλέον παρέχει την δυνατότητα για διεξαγωγή ελέγχου θερμικής διάγνωσης, δίνοντας το θερμικό χάρτη του αντικειμένου που ελέγχεται.

#### **4.1.1 Θερμογράφιση Πλακοειδούς Εναλλάκτη**

Το κύριο θερμογράφημα του εναλλάκτη φαίνεται στην Εικόνα **4.1.1α**, όπου απεικονίζεται η περιοχή γύρω από την είσοδο του θερμού λαδιού και την εξόδο του θερμού νερού στην επιφάνεια του εξωτερικού μεταλλικού πλαισίου. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν θερμογραφήματα εντός του εναλλάκτη, αυτά ελήφθησαν στην επιφάνειες του εξωτερικού του πλαισίου. Το πλαίσιο αυτό είναι χαλύβδινο και έχει πάχος 3 cm. Η θερμοκρασία στο πλαίσιο μεταφέρεται με αγωγή και η διαφορά των 13.5 °C της εξωτερικής θερμογραφούμενης επιφάνειάς (42.5 °C, **Εικόνα 4.1.1α**) με την εσωτερική του (56 °C), η οποία έρχεται σε επαφή με το θερμό ρευστό κατά την είσοδό του στον εναλλάκτη, είναι αναμενόμενη. Αυτή η διαφορά της θερμοκρασίας δεν αποτελεί πρόβλημα, διότι στην προκειμένη περίπτωση δεν ενδιαφέρει η καταγραφή των απόλυτων θερμοκρασιών, αλλά ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλονται κατά μήκος του εναλλάκτη.



**25 Εικόνα:** θερμοκάμερα τύπου IVN 780-P, που χρησιμοποιείται για τη θερμογράφιση του πλακοειδούς εναλλάκτη.

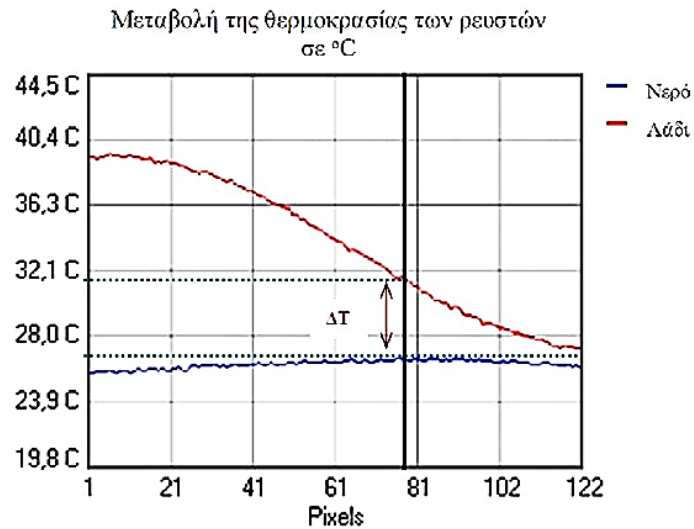


**26 Εικόνα 4.1.1α :** θερμογράφιση πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας.

Θερμογράφημα εναλλάκτη στη χρωματική κλίμακα της θερμοκάμερας πάνω αριστερά, Εναλλάκτης που θερμογραφήθηκε (δεξιά), Θερμογράφημα στη χρωματική κλίμακα του γκρίζου (κάτω αριστερα).

Συνεπώς σε αυτό το τμήμα υπολογίζεται η θερμοκρασιακή μεταβολή  $\Delta T$  των ρευστών.

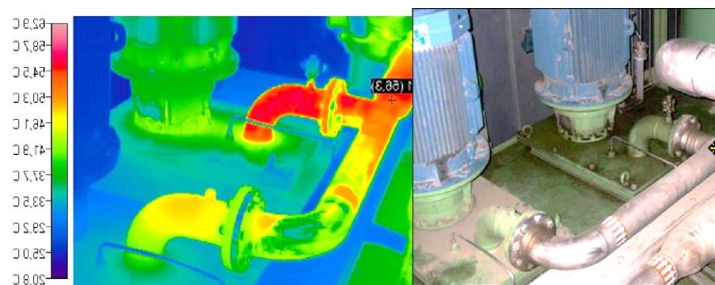




**27 Εικόνα 4.1.1β:** Η μείωση της θερμοκρασίας του λαδιού  $\Delta T$ , όπως προκύπτει από την ανάλυση του θερμογραφήματος.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ξεκάθαρα ότι στα πρώτα 20 cm που διατρέχει το λάδι, η θερμοκρασία του μειώνεται κατά 3.8 °C. Όσον αφορά στο νερό παρατηρείται μία πολύ μικρή μεταβολή και κάτι τέτοιο είναι φυσικό δεδομένου ότι σε όλο το μήκος του εναλλάκτη (173 cm), η θερμοκρασία του αυξάνεται μόνο κατά 3 °C.

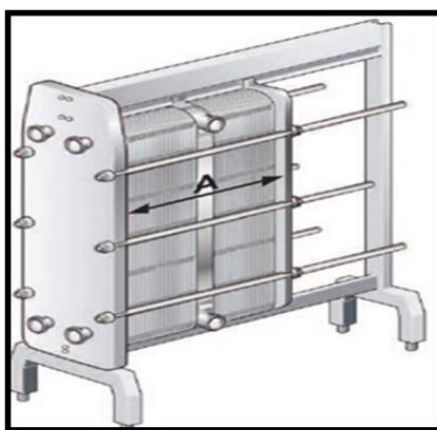
Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, η θερμογραφία μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς σκοπούς πέρα από την συμβολή της στον θερμικό έλεγχο, όπως η ανίχνευση ατελειών ή ρωγμών. Ένας ακόμη που εντοπίζεται στην παρούσα εφαρμογή είναι η δυνατότητα λήψης δεδομένων, εκεί που δεν υπάρχουν τοπικοί ή ηλεκτρονικοί μετρητές αλλά και δυνατότητα σύγκρισης ή επαλήθευσης εκεί που υπάρχουν.



**28 Εικόνα 4.1.1γ:** Θερμογράφημα με σκοπό τη λήψη της θερμοκρασίας του λαδιού αμέσως μετά την έξοδο του από την δεξαμενή του λαδιού και το πέρασμα του από την αντλία λιπάνσεως.

## 4.2 Εντοπισμός βλαβών στους πλακοειδούς εναλλάκτες θερμότητας .

Βλάβη	Διόρθωση
Η απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας με πλάκες όσον αφορά στη μετάδοση της θερμότητας ή/και στην πώση της πίεσης δεν είναι κανονική.	Ελέγξτε τις πλάκες. Η εσφαλμένη τοποθέτηση των πλακών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μερικοί δίαυλοι να προσπερνιούνται, δημιουργώντας μια νεκρή περιοχή. Με τη στασιμότητα που ακολουθεί δεν είναι δυνατόν ο καθαρισμός μέσω της κυκλοφορίας και ο κίνδυνος διάβρωσης ή/και μόλυνσης του προϊόντος είναι άμεσος.
Διαρροή προς τα έξω	Ελέγξτε την απόσταση Α. Αν συνεχίζει η διαρροή, σημειώστε τις πλάκες με τη διαρροή, ανοίξτε και αντικαταστήστε τις σχετικές φλάντζες.
Ανάμιξη υγρών, εσωτερική διαρροή	Εφαρμόστε πίεση νερού στη μία πλευρά όλων των τμημάτων της μονάδας. Γεμίστε την άλλη πλευρά με νερό και στη συνέχεια ανοίξτε όλες τις συνδέσεις σε εκείνη την πλευρά. Αν η πλάκα έχει οπές, το νερό θα τρέχει από τη μία πλευρά των αντίστοιχων ανοιχτών συνδέσεων. Ελέγξτε τις πλάκες του ελαπτωματικού τμήματος με υγρά εντοπισμού ρωγμών. Τα μεγάλα τμήματα πλακών μπορούν να διαχωριστούν σε μικρότερα και η δοκιμή πίεσης να επαναληφθεί προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των πλακών στις οποίες πρέπει να χρησιμοποιηθεί το υγρό εντοπισμού ρωγμών.



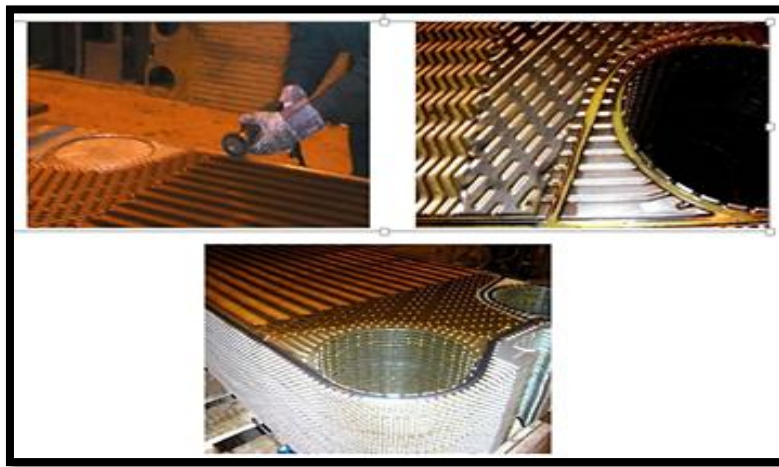
*29 Εικόνα 4.2α.: Έλεγχος απόστασης Α για καλή στεγανοποίηση των πλακών.*

### 4.2.1 Αφαίρεση και η επανατοποθέτηση των παρεμβυσμάτων (gaskets)

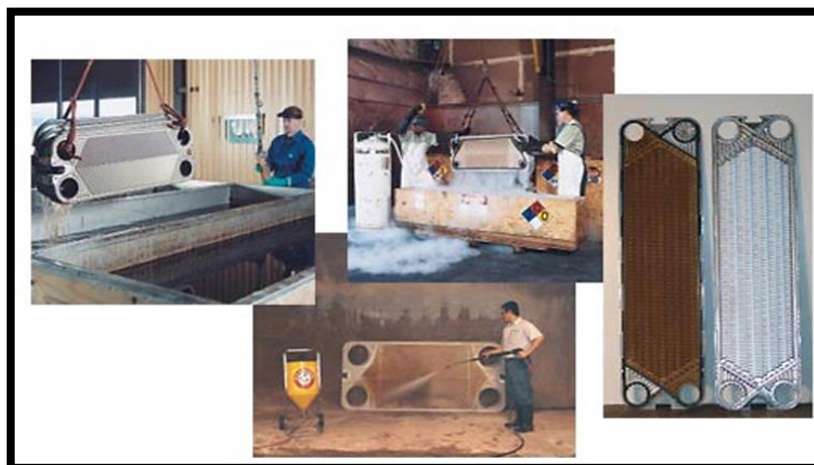
Η αφαίρεση και η επανατοποθέτηση των παρεμβυσμάτων (gaskets) είναι ένα κρίσιμο κομμάτι της συντήρησης, διότι οποιαδήποτε παράληψη θέτει σε κίνδυνο την μόνωση του εναλλάκτη και επομένως την μεταφορά θερμότητας από το ένα ρευστό στο άλλο κατά τη λειτουργία του. Μετά τη διαδικασία της τοποθέτησης όλων των

παρεμβυσμάτων, οι πλάκες τοποθετούνται μία μία στο πλαίσιο του εναλλάκτη σύμφωνα με τον σειριακό κωδικό τους και συσφίγγονται σταδιακά. Ενδέχεται να περάσουν μέχρι και 48 ώρες μέχρι να κριθεί ότι ο εναλλάκτης είναι ορθά σφιγμένος

Ο παράγοντας ακαθαρσιών είναι προφανές ότι είναι μηδενικός για έναν καινούριο ή έναν πρόσφατα συντηρημένο εναλλάκτη και αυξάνει με το πέρασμα του χρόνου. Ο παράγοντας αποθέσεων είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, της ταχύτητας των ρευστών καθώς και του χρόνου λειτουργίας. Συγκεκριμένα, οι ακαθαρσίες αυξάνουν όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και μειώνεται ο ρυθμός ροής των ρευστών.



**30 Εικόνα 4.2.1α : Αφαίρεση κόλλας παρεμβύσματος με ειδικό τροχό. Τοποθέτηση νέας κόλλας παρεμβύσματος .τοποθέτηση παρεμβύσματος σε όλες τις πλάκες.**



**31 Εικόνα 4.2.1β :Χημικός καθαρισμός , πλύσιμο πλακών εναλλάκτη.**

### 4.3 Αντιμετώπιση βλαβών στους εναλλάκτες θερμότητας.

Πρόβλημα	Πιθανές αιτίες	Προτεινόμενες λύσεις.
<b>1. Μειωμένη μετάδοση θερμότητας.</b>	<p>A. Οι θερμοκρασίες εισόδου ή οι ταχύτητες ροής δεν ανταποκρίνονται στον αρχικό σχεδιασμό.</p> <p>B. Οι επιφάνειες πλάκας έχουν ρυπανθεί από την πλευρά προϊόντος ή από την πλευρά σέρβις.</p>	<p>Διορθώστε τις θερμοκρασίες ή τις ταχύτητες ροής σύμφωνα με τις προβλεπόμενες συνθήκες.</p> <p>Ανοίξτε τον εναλλάκτη και καθαρίστε τις πλάκες ή καθαρίστε τις πλάκες (χωρίς άνοιγμα) ρίχνοντας το κατάλληλο καθαριστικό ή αντιστρέφοντας τη ροή για να φύγουν οι ακαθαρσίες.</p>
<b>2. αυξημένη πτώση πίεσης ή μειωμένη ταχύτητα ροής.</b>	<p>A. Οι επιφάνειες πλάκας έχουν ρυπανθεί από την πλευρά υνυόμενου υγρού ή από την πλευρά του μέσου ψύξης.</p> <p>B. Η ρύπανση μπλοκάρει τα κανάλια ροής.</p>	<p>-Ανοίξτε τον εναλλάκτη και καθαρίστε τις πλάκες. Πρέπει να τοποθετηθούν διαφράγματα ή φίλτρα για να μην εισέρχονται οι ακαθαρσίες στη μονάδα - Αντιστρέψτε τη ροή για να αφαιρέσετε τους ρύπους.</p>
<b>3.Ορατή διαρροή</b>	<p>A. Η λειτουργική πίεση ξεπερνά την προβλεπόμενη τιμή του εναλλάκτη.</p> <p>B. Ο εναλλάκτης δεν έχει σφικτεί σωστά για τις λειτουργικές συνθήκες.</p> <p>Γ. Οι επιφάνειες στεγάνωσης πλακών ή φλαντζών ίσως να έχουν πάθει ζημιά ή να είναι βρώμικες.</p> <p>Δ. Χημική προσβολή στις φλάντζες.</p>	<p>-Μειώστε την λειτουργική πίεση στην προβλεπόμενη τιμή του εναλλάκτη. Αν η μονάδα συνεχίζει να έχει διαρροή αφού μειωθεί η πίεση, οι πλάκες και ίσως έχουν πάθει ζημιά ή οι φλάντζες είναι παλιές και ίσως χρειάζονται αλλαγή.</p> <p>-Σφίξτε και άλλο τον εναλλάκτη ανά πλάκα, ελέγχοντας κάθε φορά για διαρροές. Μη σφίγγετε κάτω από τις ελάχιστες διαστάσεις που ισχύουν στο σχέδιο γενικής διάταξης.</p> <p>Αν συνεχίσει η διαρροή,</p> <p>-Ανοίξτε τον εναλλάκτη και επιθεωρήστε τις πλάκες και τις φλάντζες. Δεν πρέπει να υπάρχουν κοψίματα, ραγίσματα ακαθαρσίες ή λεκέδες στις φλάντζες. Οι φλάντζες χωρίς κόλλα δεν πρέπει να έχουν καθόλου ακαθαρσίες κάτω από τη φλάντζα. Οι πλάκες πρέπει να είναι καθαρές και χωρίς γρατζουνιές ή βαθουλώματα και στις δύο πλευρές.</p> <p>-Αντικαταστήστε τα ελαττωματικά εξαρτήματα.</p> <p>-Προσδιορίστε την πηγή χημικής προσβολής και επιδιορθώστε είτε αφαιρώντας το διαβρωτικό καθαριστικό είτε αλλάζοντας το υλικό των φλαντζών.</p>
<b>4.Αλληλομόλυνση</b>	<p>A. ραγίσματα σε μία ή περισσότερες πλάκες. Αυτά ίσως προκλήθηκαν από καταπόνηση εξαιτίας των διακυμάνσεων πίεσης κατά τη διάρκεια λειτουργίας.</p> <p>B. Οπές στις πλάκες εξαιτίας της διάβρωσης.</p>	<p>-Ανοίξτε τον εναλλάκτη και επιθεωρήστε τις πλάκες αντικαταστήστε τα ελαττωματικά εξαρτήματα. Προσδιορίστε την αιτία των διακυμάνσεων πίεσης και διορθώστε.</p> <p>-Για να μην προσδιορίσετε ραγίσματα στις πλάκες ίσως να χρειάζεται ένα διεισδυτικό βαφής ή μια εναλλακτική δοκιμή επί τόπου. Στην περίπτωση αυτή, ρωτήστε το τμήμα σέρβις του εργοστασίου.</p> <p>-Προσδιορίστε την αιτία διάβρωσης και επιδιορθώστε είτε αφαιρώντας το διαβρωτικό καθαριστικό είτε αλλάζοντας το υλικό των πλακών.</p>

#### 4.4 Γενικές πληροφορίες για την συντήρηση ψυγείων επιφανείας με επίπεδες πλάκες.

##### Συντήρηση

Καθημερινά παρατηρούμε την πίεση. Δηλαδή στο ψυγείο λαδιού, νερού το προς ψύξη υγρό πρέπει να έχει μεγαλύτερη πίεση ώστε να μην υπάρξει για παράδειγμα εισροή νερού στο λάδι και προκληθεί ζημιά στη μηχανη, είναι προτιμότερο να έχουμε μια μικρή απώλεια λαδιού μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη.

Για την προφύλαξη του ψυγείου από την ενέργεια διαβρώσεως λόγω ηλεκτρολυτικής ενέργειας χρησιμοποιούνται, προστατευτικές πλάκες από ψευδάργυρο ή μαλακό χάλυβα. Οι αυλοφόρες πλάκες και οι αυλοί εσωτερικά προσβάλλονται από μηχανική διάβρωση (erosion), ιδίως όταν η ταχύτητα κυκλοφορίας του νερού είναι μεγάλη. Για την προστασία των αυλών εξωτερικά από τη μηχανική ενέργεια του ατμού τοποθετούνται προστατευτικά ελάσματα, ώστε να μην προσπίπτει αυτός κατευθείαν επάνω τους.

Στα εμπορικά πλοία συνήθως καθαρίζονται οι επιφάνειες του ψυγείου που έρχεται σε επαφή με τη θάλασσα από τη λάσπη και τις καθαλατώσεις με μηχανικά παρασκευάσματα.η μέθοδος είναι ασφαλής και γρήγορη.

Για την αφαίρεση των ελαιωδών επικαθίσεων επάνω στους αυλούς εκτελείται **βρασμός του ψυγείου.**

Τα σε ακινησία ψυγεία πρέπει να συντηρούνται ή να είναι **τελείως γεμάτα νερό** προς το χώρο της θάλασσας ή **τελείως κενά** ανάλογα με τη μέθοδο στεγανοποίησης των άκρων των αυλών. Όλα σχεδόν τα ψυγεία των πλοίων έχουν τους αυλούς ή εκτονούμενους στα δύο άκρα ή εκτονούμενους στο άκρο της εισόδου και με στυπιοθλίπτη με παρεμβάσματα από φίμπερ στην είσοδο και στυπιοθλίπτη με μεταλλικό στην έξοδο. Στις περιπτώσεις αυτές διατηρούνται κενά και τελείως στεγνά όταν είναι σε ακινησία. Όταν όμως πρόκειται να **τεθούν σε λειτουργία** μετά από μία εβδομάδα περίπου, τότε πρέπει να **φυλάσσονται γεμάτα με νερό**. Γεμάτα με νερό πρέπει να φυλάσσονται επίσης και τα ψυγεία με ινώδη παρεμβύσματα για να μην επέρχεται αποξήρανση τους και λόγω αυτής ανάλογη διαρροή.

Επίσης σε κάθε εγκατάσταση ενός ψυγείου επιφανείας με επίπεδες πλάκες στην θύρα εισόδου του θαλασσινού νερού τοποθετείται φίλτρο αποτρέποντας τα διάφορα

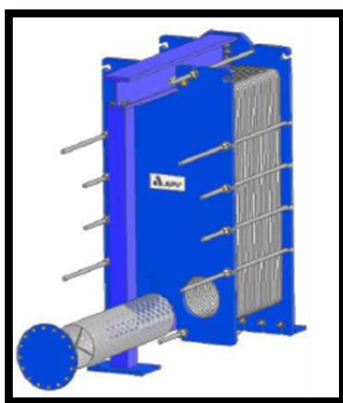
σωματίδια να προκαλέσουν ρύπανση στις πλάκες ή να μποκάρουν τις διόδους του εναλλάκτη.

#### 4.5 Συντήρηση-Απόδοση Πλακοειδούς Εναλλάκτη.

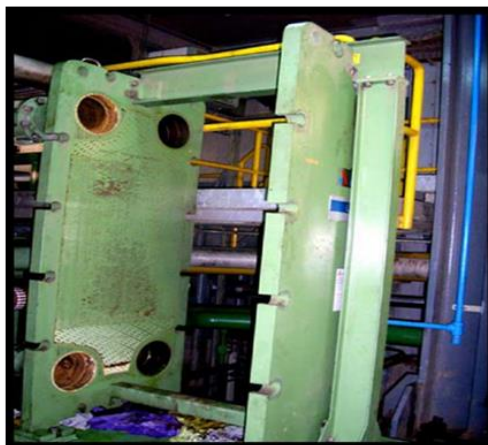
Η απόδοση των εναλλακτών θερμότητας ελαττώνεται συνήθως με το πέρασμα του χρόνου εξαιτίας της συσσώρευσης υπολειμμάτων στις επιφάνειες του εναλλάκτη. Τα στρώματα των υπολειμμάτων αναπαριστούν την επιπλέον αντίσταση στην μεταφορά θερμότητας, η οποία προκαλεί τη μείωση της απόδοσης του εναλλάκτη.

Αυτή την επιπρόσθετη αντίσταση εκφράζει ο παράγοντας ακαθαρσιών ή αποθέσεων **Rf** (fouling factor).

Το πιο συνηθισμένο είδος ακαθαρσιών είναι η καθίζηση στερεών υπολειμμάτων των ρευστών πάνω στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας. Η καθίζηση αυτή είναι ουσιαστικά ένα στρώμα ή μια κρούστα ασβεστούχων υπολειμμάτων. Συνήθως απομακρύνεται με ξύσιμο και με παράλληλη χρήση ειδικών χημικών απορρυπαντικών. Ένας δεύτερος τύπος ακαθαρσιών, ο οποίος απαντάται συχνά στη βιομηχανία χημικής επεξεργασίας, είναι η διάβρωση και οι χημικές ακαθαρσίες από τη συσσώρευση προϊόντων των χημικών αντιδράσεων πάνω στις επιφάνειες. Επιπλέον υπάρχει ο κίνδυνος οι εναλλάκτες θερμότητας να γεμίσουν ακαθαρσίες εξαιτίας της αύξησης της φύκης στα θερμά ρευστά. Το είδος αυτών των ακαθαρσιών ονομάζεται βιολογικός και αποφεύγεται με χημική επεξεργασία.



**32 Εικόνα 4.5α:** Προστατευτικό φίλτρο στην είσοδο της θάλασσας του εναλλάκτη.

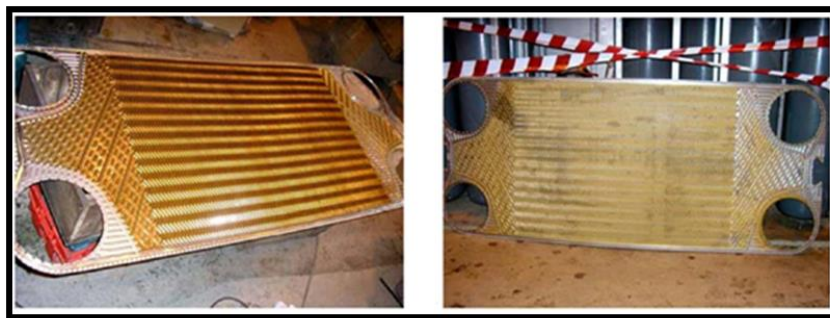


**33 Εικόνα 4.5β :** Πλαίσιο πλακοειδούς εναλλάκτη αφαιρουμένων των πλακών.

Η αποσυναρμολόγηση του πλαισίου, η αφαίρεση των πλακών και ο καθαρισμός τους, η αφαίρεση των φθαρμένων παρεμβυσμάτων και η αντικατάστασή τους με νέα καθώς και η εκ νέου συναρμολόγηση του εναλλάκτη, είναι οι κυριότερες διεργασίες κατά τη συντήρησή του. Η συντήρηση ενός πλακοειδούς εναλλάκτη είναι ιδιαίτερα δύσκολη και αποτελεί ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα του. Για το λόγο αυτό τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του αλλά και τα ίδια τα ρευστά επιλέγονται πολύ προσεκτικά έτσι ώστε να παρατείνεται η συντήρησή του. Μετά από 7 χρόνια λειτουργίας, στις πλάκες του εναλλάκτη εντοπίστηκαν επικαθήσεις οι οποίες απεικονίζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



**34 Εικόνα 4.5γ :** Πλάκα εναλλάκτη πριν τον καθαρισμό ,Πλάκα εναλλάκτη όπου έχουν αφαιρεθεί τοπικά οι επικαθήσεις.



**35 Εικόνα 4.5δ: Πλάκα ροής λαδιού πριν τον καθαρισμό Πλάκα ροής νερού πριν τον καθαρισμό.**

Όπως φαίνεται από την εικόνα 4.5γ οι επικαθήσεις που δημιουργούνται στις πλάκες διαφέρουν ανάλογα με το είδος του ρευστού που τις διαβρέχει. Ο κατασκευαστής δίνει τον παράγοντα ακαθαρσιών  $Rf$  για κάθε ρευστό προσεγγιστικά. Οι συντελεστές ρύπανσης υπολογίζονται πειραματικά, δοκιμάζοντας τον εναλλάκτη κάτω από διάφορες συνθήκες (καθαρές επιφάνειες και επιφάνειες με αποθέσεις).

#### **4.5.1 Χημικός καθαρισμός εναλλάκτη επιφανείας με επίπεδες πλάκες.**

Ο χημικός καθαρισμός βρίσκει εφαρμογή στον καθαρισμό εγκαταστάσεων εναλλακτών θερμότητας με επίπεδες πλάκες, και γενικά σε κάθε εγκατάσταση που περιέχει και έρχεται σε επαφή με υγρά.

Ο Σκοπός του χημικού καθαρισμού είναι η αφαίρεση επικαθίσεων όπως αλάτων, λεβητολίθου, σκουριάς, υπολειμμάτων πετρελαιοειδών, γράσων, ελαίων κτλ.

Για την διαδικασία καθαρισμού χρησιμοποιούμε ειδική αντλία και σωληνώσεις με αντοχή σε διαβρωτικά χημικά υγρά που διέρχονται και εξέρχονται από την προς καθαρισμό μονάδα εγκατάστασης. Επιπλέον χρησιμοποιεί ανοξείδωτο δοχείο – δεξαμενή κατάλληλων διαστάσεων για την ανακυκλοφορία των υγρών καθαρισμού, την συλλογή και απομάκρυνση των επικαθίσεων. Καθ'όλη την διάρκεια καθαρισμού εφαρμόζονται απλές μέθοδοι ελέγχου της αλκαλικότητας και της οξύτητας των υγρών.

#### **4.5.2 Η διαδικασία του Χημικού Καθαρισμού περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:**

1. Απομόνωση της εγκατάστασης.
2. Υδραυλική σύνδεση του δικτύου ανακυκλοφορίας (αντλία-πλαστικές σωλήνες) με το προς καθαρισμό δίκτυο.



3. Προκαταρκτικός έλεγχος για διαρροές ανακυκλοφορώντας μόνο νερό και όχι χημικά.
4. Εκκίμηση ανακυκλοφορίας των διαλυμάτων των χημικών προϊόντων.
5. Εκκένωση του λέβητα, εξουδετέρωση των αποβλήτων και απομάκρυνσή των σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς προστασίας περιβάλλοντος.
6. Ανακυκλοφορία με νερό μόνο, εξουδετέρωση των επιφανειών του δικτύου και πλύσιμο μέχρι πλήρους απομάκρυνσης των υπολειμμάτων.

Ο χημικός καθαρισμός δύναται κατά περίπτωση να διαρκέσει από 6 έως και 48 ώρες.

Ανάλογα με την φύση των αποθέσεων, το κόστος, τη δραστικότητα, τη τοξικότητα και τη διαβρωτικότητα των χημικών προϊόντων γίνεται και η επιλογή των χημικών υγρών που θα χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία. Συνηθίζεται οι κατασκευαστές των Λεβήτων, εναλλακτών θερμότητας, εξατμιστικών συμπυκνωτών και άλλων συσκευών, να προτείνουν τα ακριβή χημικά υλικά που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό τους.



*36 Εικόνα 4.5.2α : Χημικός καθαρισμός πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας .*

#### **4.6 Σύστημα καθαρισμού ψυγείου επιφανείας με επίπεδες πλάκες με σύστημα flash backwashing.**

Οι επικαθίσεις των λεπτών σωματιδίων, όπως η άμμος, ο βούρκος, η λάσπη, καθώς επίσης και οι νεκρές οργανικές ουσίες μειώνουν τη ροή στο μέσω του ανταλλάκτη θερμότητας και παρεμποδίζουν το σχεδιασμένο σχέδιο διανομής και ροής νερού, καθώς επίσης και την απαραίτητη ταχύτητα νερού μεταξύ των πλακών. Η απόφραξη των ακροφυσίων στην είσοδο του θαλασσινού νερού από τα μεγάλα σωματίδια όπως οι κλαδιά, πέτρες, φύκια, ψάρια, γαρίδες, κ.λπ. όλες οι αρνητικές επιπτώσεις στη ροή

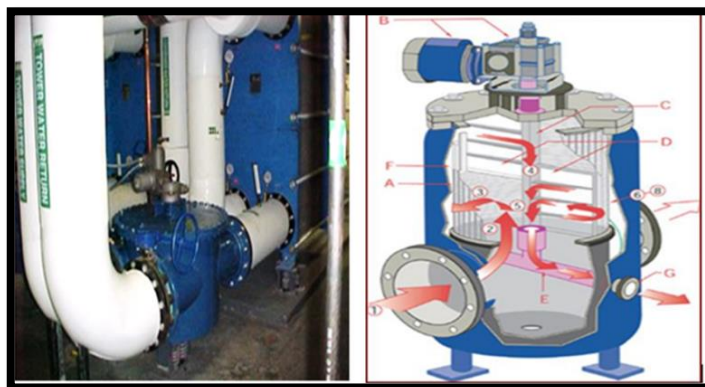
του νερού μέσα στις πλάκες και τα πλαίσια, έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, μειωμένη αποδοτικότητα, μειωμένη απόδοση, και αυξανόμενη συντήρηση των ψυγείων επιφανείας με επίπεδες πλάκες.

Το παραδοσιακό φιλτράρισμα μπορεί να αφαιρέσει μόνο τα μεγαλύτερα σωματίδια. Τα λεπτά σωματίδια όπως λάσπη, άμμος, λάσπη, τη νεκρή οργανική ύλη, κ.λπ. εξακολουθούν να εισέρχονται στον εναλλάκτη και συσσωρεύεται στο εσωτερικό της μονάδας και μεταξύ των πλακών, προκαλώντας φράξιμο, καθώς και την συσσώρευση σωματιδίων στις αυλακώσεις της πλάκας. Για να αποφευχθεί η καθίζηση και το φράξιμο των φυτών συχνά γίνεται εγκατάσταση από μια σειρά βαλβίδων και σωληνώσεις οι οποίες επιτρέπουν τον χειροκίνητο καθαρισμό της πλάκας και του πλαισίου δημιουργώντας **αντιρροή του θαλασσινού νερού** έτσι τα λεπτά σωματίδια αποκολλούνται και απομακρύνονται εκτός του ψυγείου.

#### 4.6.1 Λειτουργία backwashing

Η four-way βαλβίδα αντιστρέφει αυτόματα τη ροή του νερού στον ανταλλάκτη θερμότητας για περίπου 30 δευτερόλεπτα, μία φορά κάθε 6 ώρες. Η βαλβίδα αρμόζει στη διοχέτευση με σωλήνες ανεφοδιασμού και επιστροφής και είναι συνήθεια που κατασκευάζεται έτσι για να ταιριάζει σε οποιαδήποτε διαμόρφωση σωληνώσεων.

Ο πίνακας του συστήματος αυτόματου ελέγχου backflashing αποτελείται από ένα χρονόμετρο 24ωρου, τον ηλεκτρονόμο αναμετάδοσης relay για να ελέγχει τον χρόνο όπου η βαλβίδα παραμένει στην αντίστροφη ροή, έναν μετρητή κύκλων backwashing και έναν δείκτη δυσλειτουργίας. Το προσωπικό συντήρησης μπορεί εύκολα να ελέγξει τους κύκλους backwashing με την τοποθέτηση ενός ενσωματωμένου μετρητή κύκλων backwashing και του αισθητήρα ένδειξης της θέσης της βαλβίδας.



**37** *Εικόνα 4.6.1α.: Οι φωτογραφίες απεικονίζουν σύστημα backwashing σε ψυγεία επιφανείας και την βαλβίδα η οποία αντιστρέφει την ροή στην είσοδο του ψυγείου.*

## Κεφάλαιο 5

### ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΟΙ ΠΛΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (BRAZED PLATES HEAT EXCHANGERS).

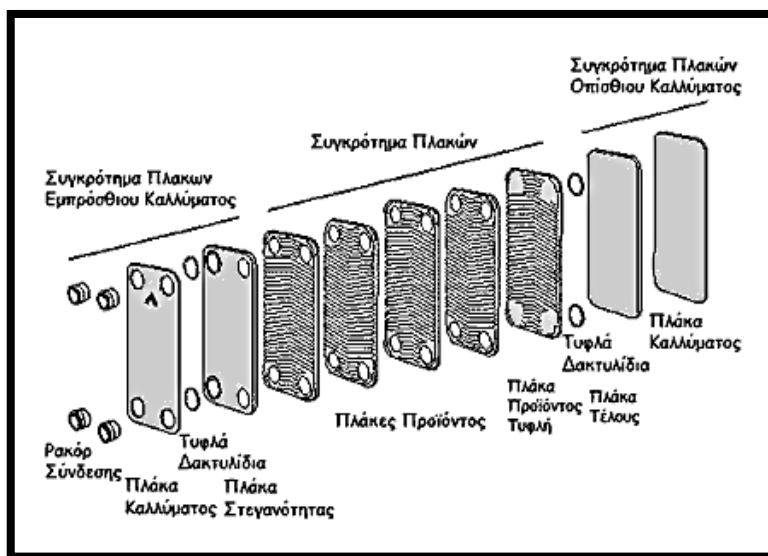


Οι Συγκολλημένοι Πλακοειδείς Εναλλάκτες Θερμότητας (BPHE) είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να μεταφερθεί θερμότητα από ένα μέσο στο άλλο. Ένας Συγκολλητός Εναλλάκτης Θερμότητας (Brazed) BPHE αποτελείται από κυματοειδείς πλάκες που συνδυάζονται για να δημιουργήσουν πολύπλοκους διαύλους μέσω των οποίων ένα καυτό μέσο και ένα ψυχρό μέσο κυκλοφορούν. Τα δύο μέσα βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση στο εσωτερικό του Εναλλάκτη BPHE, στις δύο πλευρές της κάθε αυλακωτής πλάκας χωρίς να έρχονται σε επαφή, και η θερμότητα μεταφέρεται από το ένα στο άλλο καθώς ρέουν δίπλα-δίπλα. Ο αρθρωτός σχεδιασμός του προϊόντος, με εντελώς προσαρμόσιμα μέρη, σημαίνει ότι μπορεί πάντα να βρεθεί η ιδανική λύση για κάθε εφαρμογή.

#### 5.1 Τεχνικός σχεδιασμός

Οι Συγκολλημένοι Πλακοειδείς Εναλλάκτες Θερμότητας (BPHE) είναι κατ' αρχήν κατασκευασμένοι σαν ένα συγκρότημα λεπτών πλακών με αυλακωτά κανάλια που βρίσκονται μεταξύ του συγκροτήματος εμπρόσθιας και οπίσθιας πλάκας. Τα συγκροτήματα εμπρόσθιας και οπίσθιας πλάκας αποτελούνται από τις πλάκες στεγανοποίησης, τους δακτύλιους στεγάνωσης και τις εξωτερικές πλάκες. Ο τύπος των ρακόρ σύνδεσης μπορεί να προσαρμοστεί για να καλύψει συγκεκριμένες απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Κατά την διαδικασία της συγκόλλησης υπό κενό, γίνεται μια συγκόλληση σε κάθε σημείο επαφής μεταξύ της βάσης και του υλικού πληρώσεως. Ο σχεδιασμός δημιουργεί έναν εναλλάκτη θερμότητας που αποτελείται από δύο ξεχωριστά κανάλια ή κυκλώματα. Πλάκες στεγανοποίησης χρησιμοποιούνται για στεγανοποίηση του χώρου μεταξύ των εξωτερικών πλακών και της πρώτης και της

τελευταίας πλάκας προϊόντος. Ο αριθμός των εξωτερικών πλακών ποικίλλει, π.χ. ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του εναλλάκτη καθώς και της πίεσης λειτουργίας.



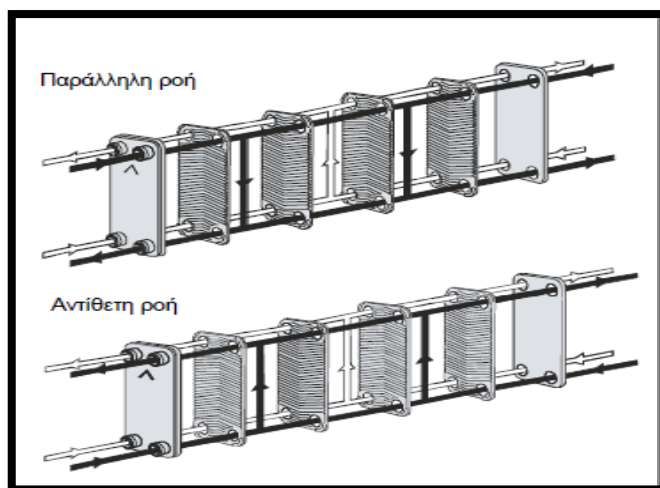
**38 Εικόνα 5.1α :** Συγκρότημα εξαρτημάτων ΒΡΗΕ.

## 5.2 Πλάκες εναλλακτών και είδη καναλιών

Μερικοί εναλλάκτες θερμότητας είναι διαθέσιμοι με διαφορετικούς τύπους πλάκας καναλιών όπου το σχέδιο ψαροκόκαλου ποικίλλει. Με τη χρήση διαφορετικών πλακών (με υψηλή, μέση, χαμηλή αντίσταση) στον ίδιο εναλλάκτη, τα θερμικά χαρακτηριστικά του πλακοειδούς εναλλάκτη μπορούν να τροποποιηθούν. Για παράδειγμα, ένας εναλλάκτης μπορεί να έχει την ίδια πτώση πίεσης και στις δύο πλευρές παρά τις διαφορετικές παροχές.

Τα υγρά μπορούν να διέλθουν μέσω του εναλλάκτη θερμότητας με διαφορετικούς τρόπους. Για εναλλάκτες παράλληλης ροής, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι ροής:

- Με την ίδια φορά
- Με αντίθετη φορά.
- Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές των τρόπων ροής καναλιών. Παρακάτω είναι μερικά παραδείγματα:
- Εναλλάκτες διπλού κυκλώματος
- Εναλλάκτες διπλού περάσματος, το οποίο αντιστοιχεί σε δύο μονάδες που συνδέονται σε σειρά.
- Εναλλάκτες διπλού κυκλώματος συνδυασμένοι με διπλό πέραςμα



### 5.3 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΡΗΕ

Χάρη στο συνήθως πολύ υψηλό βαθμό στροβιλισμό στους ΒΡΗΕ τα κανάλια αυτοκαθαρίζονται. Ωστόσο, σε ορισμένες εφαρμογές η τάση δημιουργίας επίστρωσης στα τοιχώματα είναι πολύ υψηλή, π.χ. όταν χρησιμοποιείται εξαιρετικά σκληρό νερό σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε τέτοια περίπτωση υπάρχει πάντα η δυνατότητα να καθαριστεί ο εναλλάκτης με την εισαγωγή καθαριστικού υγρού (CIP - Επιτόπου Καθαρισμός). Χρησιμοποιήστε ένα δοχείο με ασθενές οξύ, φωσφορικό οξύ 5% ή, εάν ο εναλλάκτης καθαρίζεται συχνά, οξαλικό οξύ 5%. Αναρροφήστε το καθαριστικό υγρό μέσω του εναλλάκτη.

Για εγκαταστάσεις υψηλών απαιτήσεων σας συνιστούμε τις προεγκατεστημένες από το εργοστάσιο συνδέσεις/βαλβίδες επιτόπου καθαρισμού (CIP) για εύκολη συντήρηση.

Για βέλτιστο καθαρισμό, η ροή του καθαριστικού διαλύματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 φορές η κανονική ροή, κατά προτίμηση κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Μετά από τη χρήση μην ξεχνάτε να ξεπλύνετε τον εναλλάκτη θερμότητας προσεκτικά με καθαρό νερό. Χρησιμοποιώντας ένα διάλυμα υπεροξειδίου του νατρίου (NaOH) ή διττανθρακικού νατρίου (NaHCO<sub>3</sub>) 1-2% εξασφαλίζεται η ουδετεροποίηση όλων των οξέων. Καθαρίζετε ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

## Κεφάλαιο 6

### 6.1 Εναλλάκτες θερμότητας της εταιρίας ALFA LAVAL

#### 6.1.2 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ – FHR



#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας: 27 bar

Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας: 180 °C

Συντελεστής Μετάδοσης Θερμότητας: 4.000 - 6.000 kcal/m<sup>2</sup>h°C

Μέγιστη Παροχή: 1.286 m<sup>3</sup>/h

#### 6.1.3 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ - CH



#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

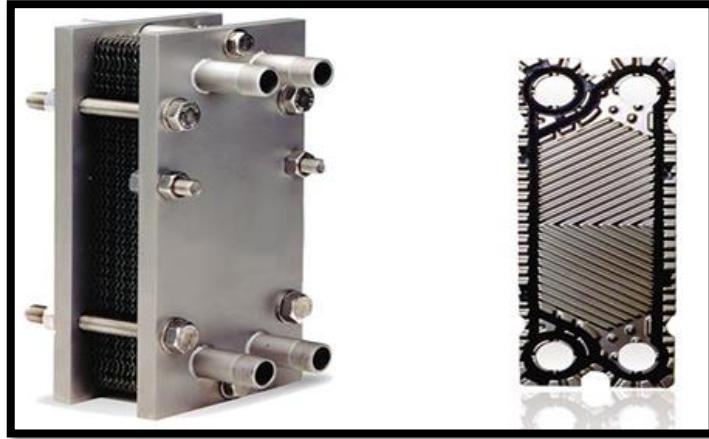
Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας: **16 bar**

Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας: **180 °C**

Συντελεστής Μετάδοσης Θερμότητας: **4.000 - 7.000 kcal/m<sup>2</sup>h°C**

Μέγιστη Παροχή: **710 m<sup>3</sup>/h**

#### 6.1.4 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ - FH00-CH00



##### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας: **10 bar**

Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας: **150 °C**

Συντελεστής Μετάδοσης Θερμότητας: **4.000 - 7.000 kcal/m<sup>2</sup>h°C**

Μέγιστη Παροχή: **11 m<sup>3</sup>/h**

#### 6.1.5 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ – FHS



##### Τεχνικά χαρακτηριστικά

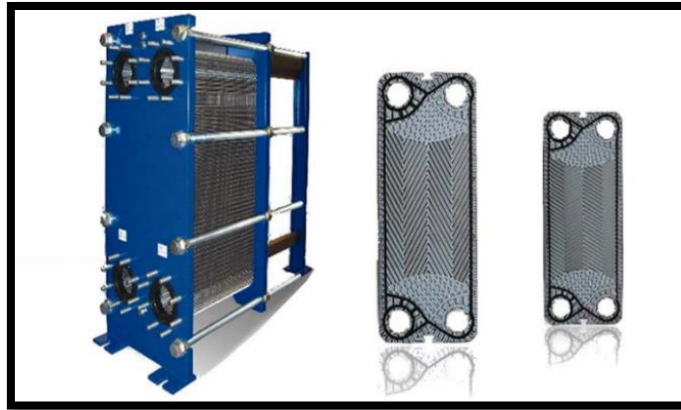
Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας: **29 bar**

Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας: **180 °C**

Συντελεστής Μετάδοσης Θερμότητας: **4.000 – 6.000 kcal/m<sup>2</sup>h°C**

Μέγιστη Παροχή: **2.287 m<sup>3</sup>/h**

## 6.1.6 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ – FHL



### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας: **18 bar**

Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας: **180 °C**

Συντελεστής Μετάδοσης Θερμότητας: **4.000 – 6.000 kcal/m<sup>2</sup>h°C**

Μέγιστη Παροχή: **790 m<sup>3</sup>/h**

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν η κατανόηση της λειτουργίας των εναλλακτών θερμότητας με επίπεδες πλάκες επιφανείας και τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας μιας ναυτικής εγκατάστασης και γενικά στην βιομηχανία. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά ενέργειας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η καλή λειτουργία του πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας συμβάλει σημαντικά στην βελτίωση του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης, στην οποία γίνεται σωστή ψύξη των μηχανημάτων όπου λειτουργούν κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης είναι σημαντικό να γίνεται σωστός έλεγχος διαπίστωσης ανωμαλιών και βλαβών κατά την λειτουργία του εναλλάκτη και επίλυση αυτών. Τέλος τα πλεονεκτήματα των πλακοειδών εναλλακτών είναι η μεγάλη ισχύς σε σχέση με τον όγκο του εναλλάκτη, η δυνατότητα ακριβούς ελέγχου των θερμοκρασιών, μικρές απώλειες, υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις λειτουργίας.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- <http://www.powerflushing.gr/8-ximikos-katharismos/22-katharismos-plakoeidon-enallakton-thermotitas>
- [http://www.sts.gr/?page\\_id=23865](http://www.sts.gr/?page_id=23865).
- <http://www.cjmulanixco.com/Material-Reference.php>
- ALFA LAVAL INSTRUCTION MANUAL PLATE HEAT EXCHANGER.
- Βοηθητικά μηχανήματα πλοίων, Γεωργίου Φ. Δανιήλ και Κων .Ηρ Μιμηκοπούλου .
- Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική Κωνσταντίνος Ζ . Παγωνάρι.
- Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας, Μεταφορά θερμότητας, Τεχνολογίες αιχμής, Alfa Laval.
- [http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/heat\\_exchangers/heat04.pdf](http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/heat_exchangers/heat04.pdf)
- <http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS ANAKTHSHS THERMOTHTA S.pdf>
- Εγχειρίδιο ALSTOM, "Lube Oil Cooler", data sheet HTCT 691 502 V0001B.
- <http://www.apv.com/us/products/heatexchangers/Heat+exchangers.asp>
- Instruction\_Manual\_M3-M6-M10-TS6-T2-T5\_GR
- Brazed plate heat exchanger 2009
- profil\_GREEK\_net\_08 SONDEX.
- PHE\_Manual\_1000E\_EL\_tcm11-7534
- Navy\_and\_Marine\_Shell\_and\_Tube\_HX 104\_30
- [http://www.heattransfer.com.au/?page\\_id=179](http://www.heattransfer.com.au/?page_id=179)

## **Πίνακας περιεχομένων**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>Πρόλογος</b> .....	4
<b>Κεφάλαιο 1</b> .....	5
<b>1.1 Εισαγωγή</b> .....	5
<b>1.2 Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας</b> .....	5
<b>1.2.1 Μεταφορά Θερμότητας με Αγωγή</b> .....	6
<b>1.2.2 Μεταφορά Θερμότητας με Συναγωγή</b> .....	7
<b>1.2.3 Μεταφορά Θερμότητας με Ακτινοβολία</b> .....	8
<b>Κεφάλαιο 2</b> .....	8
<b>Εναλλάκτες Θερμότητας</b> .....	8
<b>2.1 Αρχή Λειτουργίας Εναλλακτών Θερμότητας</b> .....	9
<b>2.2 Βασικοί Τύποι Εναλλακτών Θερμότητας</b> .....	10

2.3 Κριτήρια Επιλογής Εναλλακτών .....	12
<b>Κεφάλαιο 3</b> .....	15
<b>Εναλλάκτες Θερμότητας με επίπεδες πλάκες επιφανείας</b> .....	15
3.1 Αρχή λειτουργίας.....	15
3.2 Η μετάδοση της θερμότητας στους εναλλακτήρες επιφανείας.....	16
3.3 Διάταξη και Υλικά Κατασκευής .....	17
<b>Υλικά κατασκευής</b> .....	19
3.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικών πλακών εναλλακτών θερμότητας.....	19
Βασικός σχεδιασμός πλακών. ....	19
Τύποι πλακών στους εναλλάκτες θερμότητας επιφανείας.....	20
Ημισυγκόλλητες πλάκες.....	21
Πλάκα διπλού τοιχώματος :.....	21
3.4 Πτυχώσεις Πλακών και Συνθήκες Ροής.....	21
3.5 Χρήσεις ψυγείων επιφανείας με επίπεδες πλάκες.....	25
3.5.1 Χρήση εναλλάκτη θερμότητας με επίπεδες πλάκες επιφανείας για παραγωγή γλυκού νερού στα πλοία. ....	25
3.5.2 Ψύξη του νερού ψύξεως της κύριας μηχανής και βοηθητικών μηχανημάτων του μηχανοστασίου:.....	26
3.5.3 Ψύξη λιπαντικού της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανημάτων:...	27
3.6 Πλεονεκτήματα, Εφαρμογές και Περιορισμοί πλακοειδών εναλλακτών.....	27
<b>Κεφάλαιο 4</b> .....	30
<b>4.1 Η Υπέρυθρη Θερμογραφία στη Διαδικασία Θερμικού Ελέγχου Πλακοειδούς Εναλλάκτη</b> .....	30
Υπέρυθρη Θερμογραφία .....	30
4.1.1 Θερμογράφιση Πλακοειδούς Εναλλάκτη .....	31
4.2 Εντοπισμός βλαβών στους πλακοειδούς εναλλάκτες θερμότητας .....	34
4.2.1 Αφαίρεση και η επανατοποθέτηση των παρεμβυσμάτων (gaskets) .....	34
4.3 Αντιμετώπιση βλαβών στους εναλλάκτες θερμότητας.....	36
4.4 Γενικές πληροφορίες για την συντήρηση ψυγείων επιφανείας με επίπεδες πλάκες. ....	37
4.5 Συντήρηση-Απόδοση Πλακοειδούς Εναλλάκτη. ....	38
4.5.1 Χημικός καθαρισμός εναλλάκτη επιφανείας με επίπεδες πλάκες. ....	40
4.5.2 Η διαδικασία του Χημικού Καθαρισμού περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: 40	
4.6 Σύστημα καθαρισμού ψυγείου επιφανείας με επίπεδες πλάκες με σύστημα flash backwashing.....	41
4.6.1 Λειτουργία backwashing.....	42
<b>Κεφάλαιο 5</b> .....	43

<b>ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΟΙ ΠΛΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....</b>	<b>43</b>
<b>(BRAZED PLATES HEAT EXCHANGERS).....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Τεχνικός σχεδιασμός .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2 Πλάκες εναλλακτών και είδη καναλιών .....</b>	<b>44</b>
<b>5.3 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΡΗΕ .....</b>	<b>45</b>
<b>Κεφάλαιο 6.....</b>	<b>46</b>
<b>6.1 Εναλλάκτες θερμότητας της εταιρίας ALFA LAVAL.....</b>	<b>46</b>
<b>6.1.2 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ – FHR .....</b>	<b>46</b>
<b>6.1.3 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ - CH .....</b>	<b>46</b>
<b>6.1.4 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ - FH00-CH00 ....</b>	<b>47</b>
<b>6.1.5 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ – FHS.....</b>	<b>47</b>
<b>6.1.6 ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ – FHL .....</b>	<b>48</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>48</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>49</b>