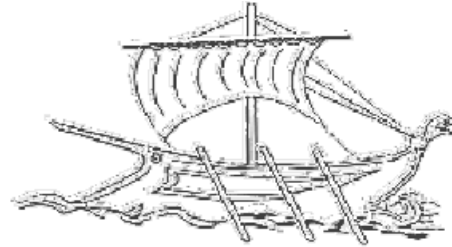


**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΕΡΩΝ ΤΥΠΩΝ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ***

***EXPERIMENTAL STUDY AND COMPARISON OF VARIOUS TYPES OF
HEAT EXCHANGERS***



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :

ΚΑΤΣΙΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΚΥΠΡΙΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ :

ΝΙΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ – ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΑΘΗΝΑ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ	4
ABSTRACT.....	4
KEY-WORDS.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	5
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	5
1.2 ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	5
1.2.1 ΜΟΡΦΗ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	5
1.2.2 ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΡΟΗΣ	6
1.2.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ.....	8
1.3 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	16
2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	16
2.1.1. Μέθοδος μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς (Log Mean Temperature Difference – LMTD)	16
2.1.2. Μέθοδος απόδοσης των μονάδων μεταφοράς της θερμότητας (effectiveness – NTU) ...	20
2.2. ΚΑΝΟΝΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	39
4.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $T=f(x)$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ	39
4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ	40
4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ	41
4.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ.....	51
4.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ	59
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ	68

4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ	69
4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΟΜΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ	71
4.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ	73
4.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΠΟΣΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ.....	74
4.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΠΟΣΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
5.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	80
5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	80
5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τρεις διαφορετικούς εναλλάκτες θερμότητας, ομόκεντρων σωλήνων, πλακιδίων και κελύφους-αυλών, για τις δυο διευθετήσεις ροής, ομορροή και αντιρροή, και για δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα ρευστού, θερμό και ψυχρό. Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν συγκρίθηκαν για τις δύο διευθετήσεις ροής, ομορροής και αντιρροής, για κάθε μεταβαλλόμενο ρεύμα, για κάθε εναλλάκτη μέσω των διαγραμμάτων του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , της διαφοράς θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος ΔT και του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας για το θερμό και το ψυχρό ρεύμα. Επίσης, έγινε σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εναλλακτών θερμότητας ομορροής και αντιρροής. Η σύγκριση έγινε με τα κριτήρια αποδοτικότητας των εναλλακτών θερμότητας, τα οποία είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Εναλλάκτες θερμότητας, ομορροή, αντιρροή, ομόκεντρων σωλήνων, κελύφους-αυλών, πλακιδίων, συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά

ABSTRACT

We carried out measurements for three different heat exchangers, concentric tubes, tiles and shell-tubes, for both flow, co-current and counter-current flow arrangements, and for two changing fluid streams, hot and cold. We presented the results and the comparison of the two flow, co-current and counter-current flow arrangements for each variable current for each exchanger by means of the graphs of the total heat transfer coefficient U , the difference between the hot and the cold current ΔT and the transferred amount of heat for the hot and the cold stream. We made comparison between different heat exchangers as well as comparing the heat exchange between different heat exchangers. The comparison was made with the efficiency criteria of the heat exchangers, which are the heat transfer coefficient and the log mean temperature difference.

KEY-WORDS

Heat exchangers, co-current flow, counter-current flow, concentric tubes, shell-tubes, tiles, heat transfer coefficient, log mean temperature difference

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Εναλλάκτες θερμότητας ονομάζονται οι συσκευές, που συσχετίζονται με την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών εφαρμογών, όπως τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού στις οικίες, καθώς και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος και ανάκτησης θερμότητας.

1.2 ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι μια διάταξη μέσω της οποίας μεταφέρεται θερμότητα μεταξύ, ενός θερμού και ενός ψυχρού ρεύματος ουσίας, συνήθως ρευστού. Η κάθε μια τεχνολογική εφαρμογή μεταφοράς θερμότητας απαιτεί και αντίστοιχη γεωμετρία, κατάλληλων συσκευών, η οποία προσδιορίζεται από τους εκάστοτε περιορισμούς της εφαρμογής.

Η κατανόηση της θεωρίας των εναλλακτών θερμότητας, ο σχεδιασμός και η μελέτη τους έχουν μεγάλο ενδιαφέρον, τόσο από κατασκευαστικής πλευράς, όσο και από πλευράς απόδοσης, για τις προκαθορισμένες, κάθε φορά, συνθήκες λειτουργίας τους, αποσκοπώντας στην επιλογή του κατάλληλου εναλλάκτη θερμότητας ανάλογα με τη μορφή συναλλαγής θερμότητας, τη διεύθυνση – διεύθυνση της ροής των ρευμάτων και το είδος της κατασκευής-γεωμετρίας.

1.2.1 ΜΟΡΦΗ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Τα είδη των εναλλακτών θερμότητας, που κατατάσσονται ανάλογα με τον τρόπο ή τη μορφή συναλλαγής θερμότητας, είναι οι εξής:

α) Με ανάκτηση θερμότητας

Σε αυτού του τύπου τους εναλλάκτες θερμότητας, η συναλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα από το θερμό προς το ψυχρό ρεύμα ρευστού, τα οποία διαχωρίζονται από ένα τοίχωμα. Ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας είναι ένας συνδυασμός συναγωγιμότητας, από το θερμό ρευστό προς το διαχωριστικό τοίχωμα, αγωγιμότητας μέσω του διαχωριστικού (κυρίως μεταλλικού) τοιχώματος, και στη συνέχεια, μέσω συναγωγιμότητας από το διαχωριστικό τοίχωμα προς το ψυχρό ρευστό.

β) Με αναγέννηση

Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου αποτελούνται, κυρίως από ένα χώρο, που ονομάζεται πυρήνας, τον οποίο καταλαμβάνουν εναλλάξ το θερμό και το ψυχρό ρευστό. Ο πυρήνας (ή μήτρα) λειτουργεί ως θάλαμος αποθήκευσης θερμότητας, ο οποίος περιοδικά, θερμαίνεται από την παρουσία του θερμού ρευστού και στη συνέχεια, μεταφέρει τη θερμότητα στο ψυχρό

ρεύμα. Η διαδικασία αυτής της συναλλαγής θερμότητας έχει εφαρμογή στους θαλάμους καύσης των αεριοστρόβιλων (αναθερμαντήρες) στον κύκλο των μηχανών STIRLING και στους φούρνους ή επίπεδους θαλάμους καύσης. Επιπλέον θα πρέπει να αναφερθεί, ότι εφαρμόζεται μόνο σε αέρια.

γ) Με άμεση επαφή

Σε αυτού του τύπου τους εναλλάκτες θερμότητας η συναλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα με άμεση επαφή του θερμού και του ψυχρού ρεύματος ρευστού, με αντίστοιχες εφαρμογές στην ψύξη μεταλλικών φύλλων, με τη μέθοδο καταιονισμού σταγόνων νερού ή ρεύματος αέρα, στις πρέσες ή σε πύργους ψύξης, όπου το καταιονιζόμενο νερό ψύχεται από ρεύμα αέρα, αντίθετης ροής.

Η ροή θερμότητας με ακτινοβολία, οπωσδήποτε, λαμβάνει χώρα σε αυτές τις περιπτώσεις, αλλά επειδή είναι μικρού ποσοτικού μεγέθους θεωρείται αμελητέα και δεν λαμβάνεται υπόψη, κατά τη μελέτη των θερμικών υπολογισμών στους εναλλάκτες.

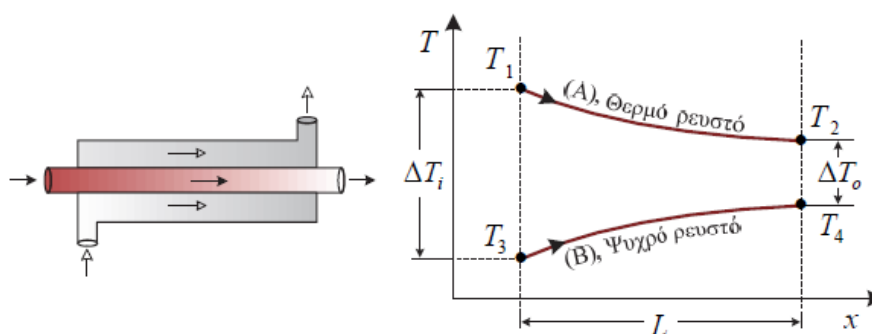
1.2.2 ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΡΟΗΣ

Οι εναλλάκτες θερμότητας ταξινομούνται σύμφωνα με τη διεύθετηση – διεύθυνση της ροής των δυο ρευστών όπως παρακάτω.

α) Παράλληλης ροής

Δύο τύποι εναλλακτών θερμότητας ανήκουν σε αυτή την κατηγορία ανάλογα με τη σχετική διεύθυνση της κίνησης των δυο ρευμάτων:

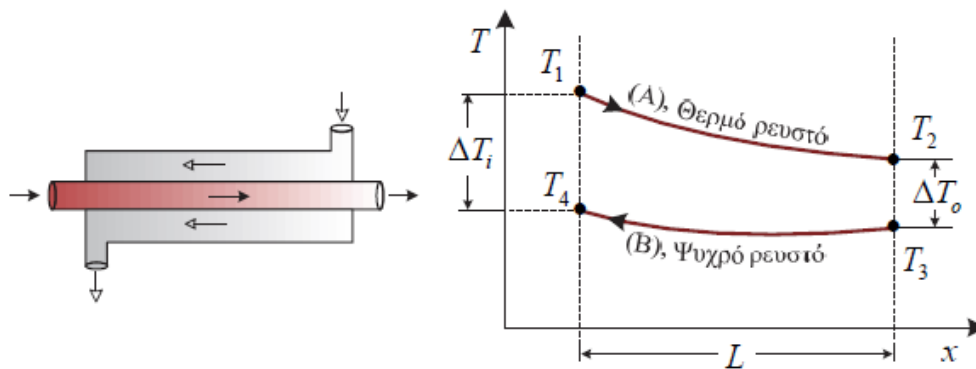
Ομορροής : Σε αυτό τον τύπο εναλλάκτη θερμότητας, η ροή των δυο ρευμάτων είναι παράλληλη αλλά και της ίδιας διεύθυνσης και φοράς. Επιπλέον τα εργαζόμενα ρευστά εισέρχονται στη μια πλευρά και εξέρχονται από την άλλη πλευρά του εναλλάκτη όπως στο Σχήμα 1.1 απεικονίζεται, σε ομόκεντρη σωλήνωση ή κατασκευή διπλής σωλήνωσης.



Σχήμα 1.1: Εναλλάκτης ομοαξονικών σωλήνων ομορροής

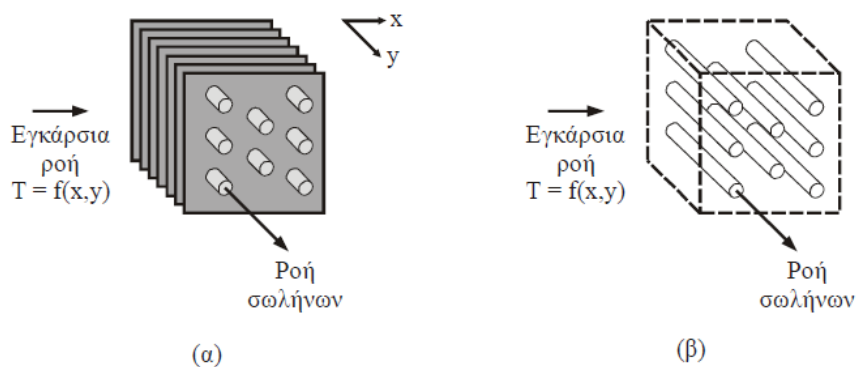
Αντιρροής: Σε αυτούς τους εναλλάκτες θερμότητας, η ροή των δύο ρευστών είναι παράλληλη αλλά αντίθετης διεύθυνσης και φοράς κατά την οποία τα ρευστά εισέρχονται από

αντίθετη πλευρά και εξέρχονται κατά την αντίθετη πλευρά του εναλλάκτη, όπως στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Εναλλάκτης ομοαξονικών σωλήνων αντιρροής

Β) Διασταυρούμενης ροής: Στους εναλλάκτες θερμότητας διασταυρούμενης ροής, οι διευθύνσεις της ροής των δυο εργαζόμενων ρευστών (συνήθως αέρια) είναι διασταυρούμενες (και κατά κύριο λόγο, κάθετες) και διακρίνονται ανάλογα με την ανάμειξη του κινούμενου γύρω από τους αγωγούς ρευστού κατά τη διεύθυνση y , όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3. Αν το ρευστό μπορεί να κινηθεί ελεύθερα, καθώς περνά από τον εναλλάκτη, τότε υπάρχει ανάμειξη (*mixing*) του ρευστού. Σταυρωτή ροή μπορούμε να έχουμε με χρήση ή όχι πτερυγίων. Συγκεκριμένα στο Σχήμα 1.3α δεν υπάρχει ανάμειξη, επειδή τα πτερύγια εμποδίζουν την κίνηση του ρευστού στη διεύθυνση y , που είναι κάθετη στη διεύθυνση x της κύριας ροής. Αντίθετα, στο Σχήμα 1.3β, υπάρχει ανάμειξη στο ρευστό, που ρέει εκτός των σωλήνων.



Σχήμα 1.3: Εναλλάκτες σταυρωτής ροής α. Πτερυγιοφόρων αυλών, με τις δύο ροές μη μιγνύμενες β. Μη πτερυγιοφόρων αυλών με τη μια ροή μιγνύμενη (εγκάρσια ροή) και την άλλη μη μιγνύμενη (ροή σωλήνων).

1.2.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Οι εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες τους.

1.2.3.1 Διπλού αγωγού ή ομόκεντρων σωλήνων

Ο πιο απλός τύπος εναλλάκτη θερμότητας καλείται ομόκεντρων σωλήνων και αποτελείται από δύο ομόκεντρους κυλίνδρους, διαφορετικής διατομής, μέσα στους οποίους κινούνται παράλληλα το θερμό και το ψυχρό ρεύμα, το ένα εντός του αγωγού, με τη μικρότερη διατομή και το άλλο στο δακτυλιοειδές κενό, που σχηματίζεται ανάμεσα στους δυο κυλίνδρους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4.

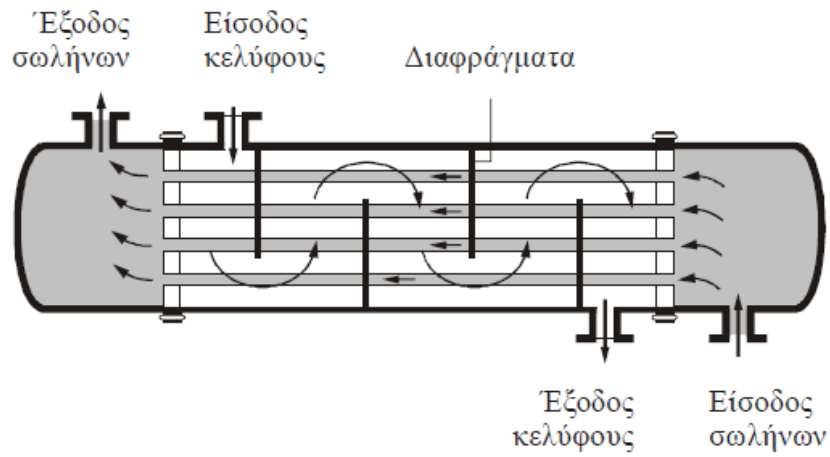


Σχήμα 1.4: Σχηματική παράσταση ενός εναλλάκτη διπλού σωλήνα

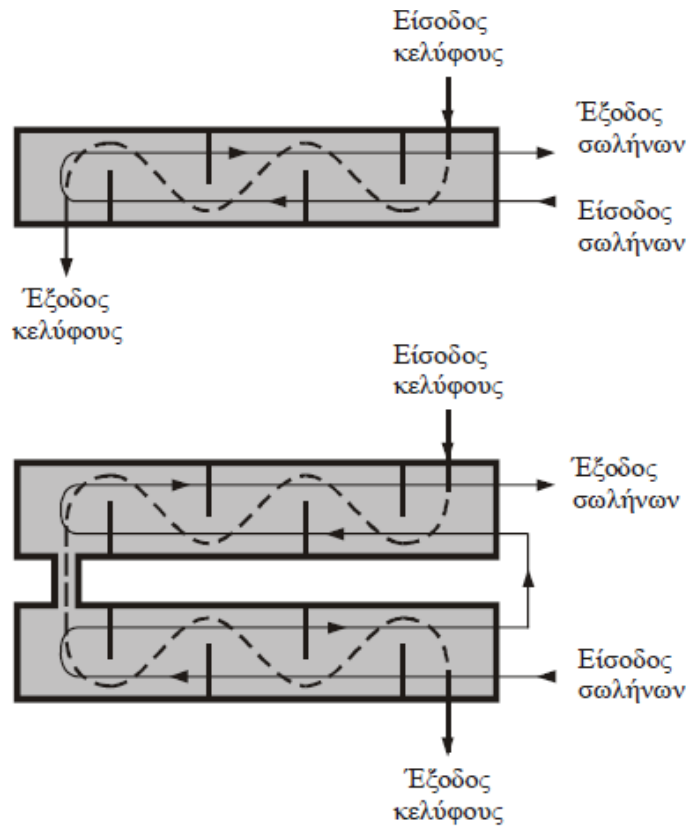
Είναι απλές διατάξεις, κατάλληλες για μικρά θερμικά φορτία ($A=0.25$ έως 100m^2). Το εύρος θερμοκρασιών και πιέσεων είναι παρόμοιο με των εναλλακτών αυλών-κελύφους. Συχνά απαντώνται με εγκάρσια ή διαμήκη πτερύγια στον εσωτερικό σωλήνα.

1.2.3.2 Κελύφους-αυλών

Ένας πολύ διαδεδομένος τύπος εναλλακτών είναι οι εναλλάκτες αυλών - κελύφους (Σχ. 1.5). Οι εναλλάκτες του τύπου αυτού διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό των κελυφών (εξωτερικές διαδρομές) και των σωλήνων (εσωτερικές διαδρομές) (Σχ. 1.6). Στους εναλλάκτες αυτούς τοποθετούνται συνήθως διαφράγματα στο κέλυφος, τα οποία προκαλούν διαταραχές στη ροή και την καθιστούν τυρβώδη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο συντελεστής συναγωγής του ρευστού που ρέει στο κέλυφος.



Σχήμα 1.5: Εναλλάκτης αυλών - κελύφους μιας εξωτερικής και μιας εσωτερικής διαδρομής

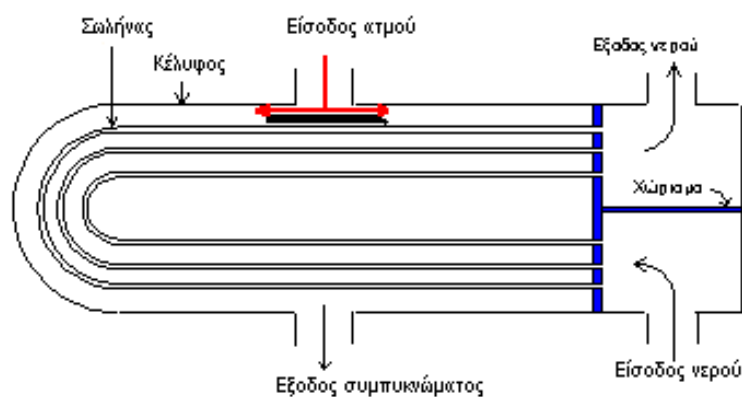


Σχήμα 1.6: Εναλλάκτες δέσμης σωλήνων - κελύφους. α. Μια εξωτερική - δύο εσωτερικές διαδρομές. β. Δύο εξωτερικές - τέσσερις εσωτερικές διαδρομές.

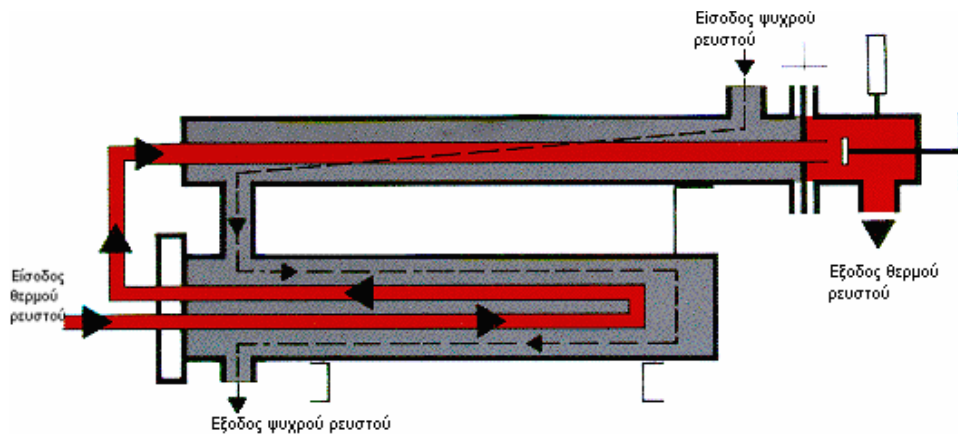
Στα βασικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν έναν εναλλάκτη θερμότητας περιλαμβάνονται:

- ο αριθμός περασμάτων στο κέλυφος και στους αυλούς: η γνώση των περασμάτων καθορίζει την ονομασία του εναλλάκτη, π.χ. εναλλάκτης 2-4 σημαίνει εναλλάκτης με δύο περάσματα στο κέλυφος και τέσσερα στους αυλούς.
- το μήκος των αυλών, η διάμετρος και το πάχος των αυλών
- η διάταξη των αυλών: υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των αυλών π.χ. τριγωνική διάταξη, τετραγωνική διάταξη.
- τα διαχωριστικά: με αυτά κατευθύνεται η ροή του κελύφους έτσι ώστε να διασχίσει το ρευστό όσο το δυνατόν περισσότερες φορές τους αυλούς. Τα διαχωριστικά στηρίζουν τους αυλούς αφού έχουν οπές και οι αυλοί περνούν μέσα από αυτές.
- η πτώση πίεσης: είναι ένα από τα προβλήματα λειτουργίας ενός εναλλάκτη. Οφείλεται στην απώλεια λόγω τριβής των ρευστών είτε στο κέλυφος είτε στους αυλούς, στα διαχωριστικά, κ.ά.
- οι αρθρώσεις διαστολής: είναι αρθρώσεις που βρίσκονται στο κέλυφος και δίνουν μία επιπλέον δυνατότητα διαστολής του κελύφους. Χρησιμοποιούνται όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών είναι μεγάλη και εμφανίζονται διαφορετικές διαστολές στο κέλυφος και στους αυλούς.

Οι συνδυασμοί τέλους ροών και τύπων κατασκευής (Σχ. 1.7, Σχ. 1.8) είναι καθοριστικής σημασίας για τους συντελεστές συναγωγής και τις θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των ρευστών, εν τέλει δηλαδή για τη θερμορροή, που λαμβάνει χώρα στον εναλλάκτη.



Σχήμα 1.7: Εναλλάκτης κελύφους με αναστρεφόμενους σωλήνες (σχήματος U)



Σχήμα 1.8: Ειδικός εναλλάκτης κελύφους με τρεις διαδρομές σωληνώσεων, όπου παρουσιάζονται και οι διαδρομές των ρευστών

Οι συμβατικοί σωληνωτοί εναλλάκτες κελύφους με σωλήνες διαμέτρου 19 mm, που έχουν πυκνότητα επιφάνειας μεγαλύτερη από $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$, χαρακτηρίζονται επίσης ως συμπαγείς. Οι συμπαγείς εναλλάκτες θερμότητας, λόγω της μεγάλης επιφάνειας συναλλαγής που παρουσιάζουν, χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αερίων ή, γενικά, μεταξύ ρευστών με μικρό συντελεστή συναγωγής.

Αποτελούν το συνηθέστερα απαντώμενο τύπο εναλλάκτη στη χημική και ενεργειακή βιομηχανία. Η διάδοσή τους οφείλεται κυρίως στα εξής χαρακτηριστικά:

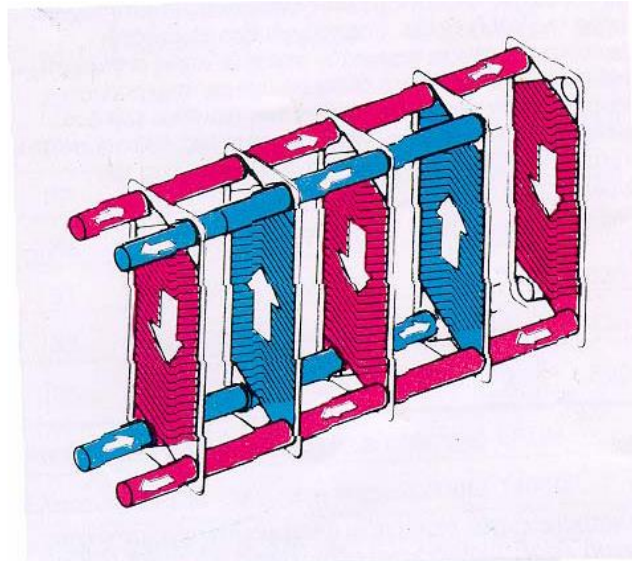
- Λειτουργούν σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών (-25 έως 600°C) και πιέσεων (έως 1400bar στους αυλούς και έως 300bar στο κέλυφος).
- Είναι κατάλληλοι για μονοφασικές και διφασικές εφαρμογές (βραστήρες- συμπυκνωτές).
- Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών (επιφάνεια από 10 έως 1000m^2).
- Είναι ιδιαίτερα ευέλικτοι στον καθορισμό της πτώσης πίεσης από την πλευρά του κελύφους.
- Έχουν στιβαρή (αλλά ταυτόχρονα βαριά και ογκώδη) κατασκευή.
- Είναι οι πλέον προτυποποιημένοι εναλλάκτες, γεγονός, που διευκολύνει το σχεδιαστικό μηχανικό στην επιλογή και διαστασιολόγησή τους.

1.2.3.3 Πλακοειδής εναλλάκτες

Οι πλακοειδής εναλλάκτες, αποτελούνται από ένα σύνολο ανοξείδωτων πλακών, ενωμένων και συγκολλημένων μεταξύ τους ή στερεωμένων με ειδικούς συνδέσμους.

Οι πλάκες αυτές είναι κυματοειδής, για να προκαλείται στροβιλισμός, προς μεταφορά θερμότητας.

Το όλο σύστημα δημιουργεί δύο ανεξάρτητα κανάλια, που περιέχουν δύο διαφορετικά υγρά με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτά να ρέουν χωρίς να αναμειγνύονται (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7: Σχηματική παράσταση πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας, με πλάκες πλαισίου, όπου παρουσιάζονται και οι διαδρομές των ρευστών.

Στο κάτω και στο πάνω μέρος του όλου συστήματος, υπάρχουν τέσσερα (4) στο σύνολο στόμια σύνδεσης. Τα δύο από αυτά, συνδέονται με το μέσο που θερμαίνει το υγρό και μεταφέρουν το υγρό από αυτό μέσα στα κανάλια. Τα άλλα δύο μεταφέρουν το υγρό μέσω των καναλιών που υπάρχουν στο ενδιάμεσο των προηγούμενων και συνδέονται το ένα με την παροχή ψυχρού υγρού και το άλλο με τις παροχές κατανάλωσης θερμού υγρού. Τα στόμια αυτά, συνήθως βρίσκονται στη μία πλευρά του εναλλάκτη και η ροή των δύο ρευστών είναι αντίθετη.

Η εφαρμογή τους ξεκίνησε από τη βιομηχανία τροφίμων (π.χ. παστεριώσεις) λόγω ευκολίας καθαρισμού, αλλά τα τελευταία χρόνια η χρήση τους έχει γενικευθεί. Κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους είναι τα εξής:

- Παρουσιάζουν πολύ υψηλούς συντελεστές συναγωγής, αλλά και μεγάλη πτώση πίεσης.
- Ο ρυθμός σχηματισμού αποθέσεων είναι μικρότερος από άλλων τύπων εναλλακτών.
- Δεν συνιστώνται για εφαρμογές σε κενό ή σε πίεση άνω των 30 bar.
- Κατασκευάζονται σε οποιοδήποτε μέγεθος και είναι εξαιρετικά συμπαγείς.

Τα πλεονεκτήματα των πλακοειδών εναλλακτών είναι:

- Μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού σε κάθε ζήτηση
- Σταθερή θερμοκρασία στο νερό χρήσης

- Έλεγχος αρχικής θερμοκρασίας
- Ελάχιστη απώλεια από ακτινοβολία επομένως οικονομία καυσίμων
- Λειτουργία του συστήματος μόνο κατά την στιγμή ζήτησης ζεστού νερού
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση
- Μικρός χώρος εγκατάστασης για μεγάλη παραγωγή ζεστού νερού.
- Πολύ λίγη αποθήκευση νερού
- Μέγιστη πίεση λειτουργίας 30 ή 45bar
- Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 225 βαθμούς Κελσίου
- Ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας -120 βαθμούς

1.3 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η σημαντικότερη παράμετρος λειτουργίας ενός εναλλάκτη θερμότητας είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας σ' αυτόν. Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας U είναι ανάλογος με το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων. Ο συντελεστής αυτός καθορίζει τη συνολική θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των δύο ρευστών, σύμφωνα με την σχέση:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{AB} \quad (1.1)$$

όπου q είναι το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ των δύο ρευστών (σε W),

με U συμβολίζεται ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη (σε W/m²C), A είναι η συνολική επιφάνεια του εναλλάκτη (σε m²) και ΔT_{AB} η συνολική μέση μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο ρευστών (σε °C).

Για έναν απλό εναλλάκτη θερμότητας με δύο σωλήνες (Σχήμα 1.8), έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό, ο συντελεστής μεταφοράς υπολογίζεται από τις παρακάτω δύο σχέσεις, ανάλογα εάν η ανάλυση βασίζεται στη μεταβολή του ποσού θερμότητας του εσωτερικού [εξ. (1.2.α)] ή του εξωτερικού ρευστού [εξ. (1.2.β)]:

$$U_i = \frac{1}{1/h_i + A_i \ln(r_o / r_i) / 2\pi kL + (1/h_o) * (A_i / A_o)} \quad (1.2.α)$$

$$U_o = \frac{1}{1/h_o + A_o \ln(r_o / r_i) / 2\pi kL + (1/h_i) * (A_o / A_i)} \quad (1.2.β)$$

Στις παραπάνω σχέσεις συμβολίζονται με:

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

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

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

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

A_i : η επιφάνεια επαφής του εσωτερικού ρευστού με τον εσωτερικό σωλήνα (σε m^2)

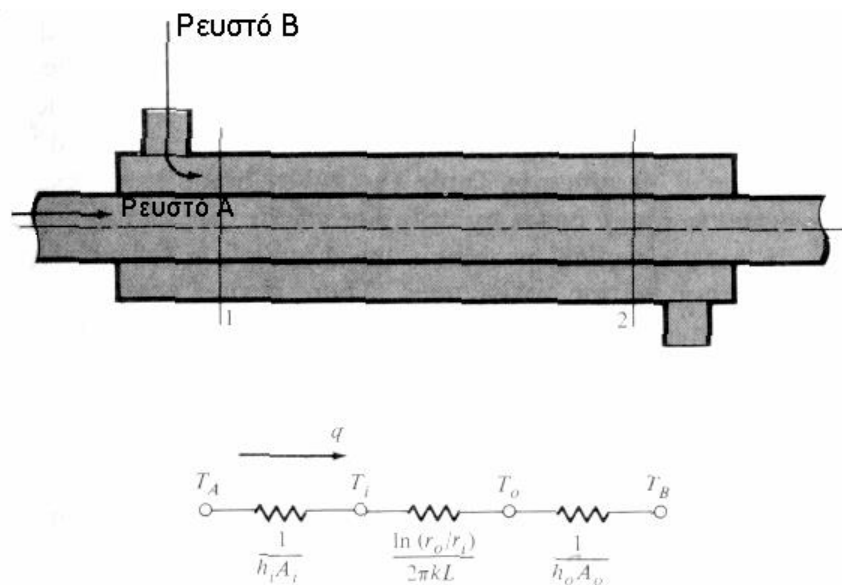
A_o : η επιφάνεια επαφής του εξωτερικού ρευστού με τον εσωτερικό σωλήνα (σε m^2)

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

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

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

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



Σχήμα 1.8: Σχηματική παράσταση απλού εναλλάκτη θερμότητας ομορροής, δύο σωλήνων, και οι θερμικές αντιστάσεις της μεταφοράς θερμότητας

Στο Σχήμα 1.8 δίνονται παραστατικά και οι θερμικές αντιστάσεις στη ροή της θερμότητας μεταξύ των δύο ρευστών.

Στον τελικό σχεδιασμό των εναλλακτών θερμότητας ο συνολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς μπορεί, με βάση τις ανωτέρω σχέσεις, να υπολογισθεί με μεγάλη ακρίβεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Για τη διαστασιολόγηση των εναλλακτών θερμότητας, καθώς και για τον υπολογισμό των παραμέτρων της λειτουργίας τους δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως:

α) η μέθοδος της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς ή LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) και

β) η μέθοδος της απόδοσης των μονάδων μεταφοράς θερμότητας (*effectiveness –NTU method*).

2.1.1. Μέθοδος μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς (*Log Mean Temperature Difference – LMTD*)

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο [εξ. (1.1)] το ποσό θερμότητας, που μεταφέρεται στον εναλλάκτη δίνεται από την σχέση:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (2.1)$$

όπου ΔT_m είναι μία κατάλληλη μέση θερμοκρασιακή διαφορά κατά μήκος του εναλλάκτη θερμότητας. Η ποσότητα αυτή υπολογίζεται από την σχέση :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln[(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})]} = \Delta T_{lm} \quad (2.2)$$

όπου είναι:

T_{h1} : η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρευστού

T_{h2} : η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού

T_{c1} : η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρευστού

T_{c2} : η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού

Η θερμοκρασιακή διαφορά της εξ. (2.2) ονομάζεται μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά και ισούται με το λόγο της διαφοράς θερμοκρασίας στις εξόδους του εναλλάκτη μείον τη διαφορά θερμοκρασίας στις εισόδους του εναλλάκτη προς το φυσικό λογάριθμο του πηλίκου των δύο αυτών διαφορών. Αυτή η προσέγγιση έχει προκύψει κάνοντας δύο σημαντικές παραδοχές. Συγκεκριμένα ότι:

α) η ειδική θερμότητα των ρευστών δεν μεταβάλλεται με την θερμοκρασία

και

β) οι συντελεστές συναγωγής των ρευστών είναι σταθεροί καθ' όλο το μήκος του εναλλάκτη.

Η δεύτερη παραδοχή είναι η σημαντικότερη, διότι λόγω των συνθηκών που επικρατούν στον εναλλάκτη το ιξώδες, η θερμική αγωγιμότητα κ.λπ. των ρευστών μεταβάλλονται, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και ο συντελεστής συναγωγής τους.

Για τη διόρθωση της μεθόδου προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μεταβολή αυτή των συντελεστών συναγωγής των ρευστών χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι, ενώ η εξίσωση μεταφοράς της θερμότητας [εξ. (2.1)] λαμβάνει τη μορφή:

$$q = U \cdot F \cdot A \cdot \Delta T l_m \quad (2.3)$$

όπου F είναι ο συντελεστής διόρθωσης.

Ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος του εναλλάκτη.

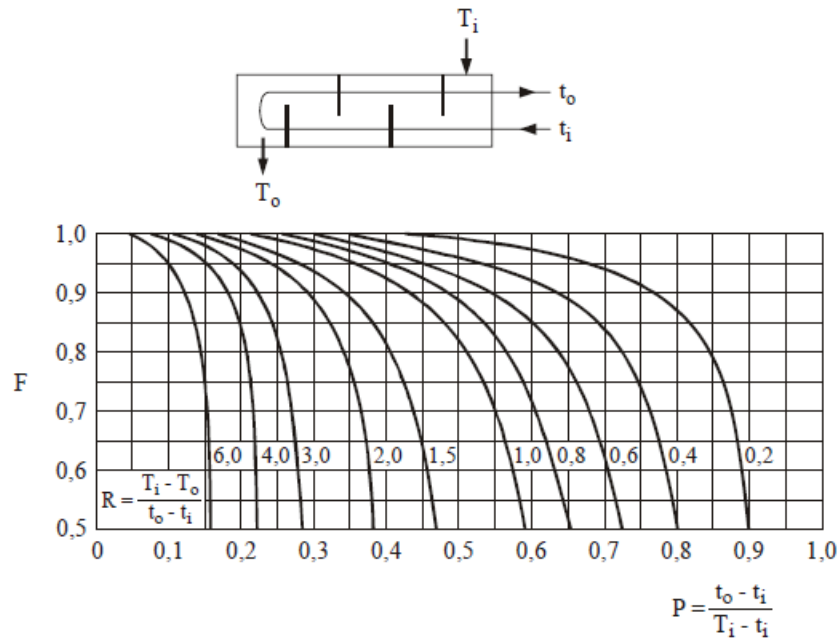
Ο συντελεστής διόρθωσης F για διάφορες διατάξεις των εναλλακτών προκύπτει από αντίστοιχα διαγράμματα. Τέτοια διαγράμματα για συνήθεις διατάξεις εναλλακτών απεικονίζονται στα Σχήματα 2.1, 2.2, 2.3 και 2.4. Στα διαγράμματα αυτά, όσον αφορά τις θερμοκρασίες των ρευστών, χρησιμοποιούνται τα σύμβολα T και t , με το σύμβολο t , να αντιστοιχεί πάντα στο ρευστό, που ρέει στις σωληνώσεις του εναλλάκτη, ανεξάρτητα αν αυτό είναι το ψυχρό ή το θερμό ρευστό.

Ο συντελεστής διόρθωσης F κυμαίνεται μεταξύ ένα και μηδέν, ανάλογα με τις συνθήκες. Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα είναι συνάρτηση των αδιάστατων παραμέτρων:

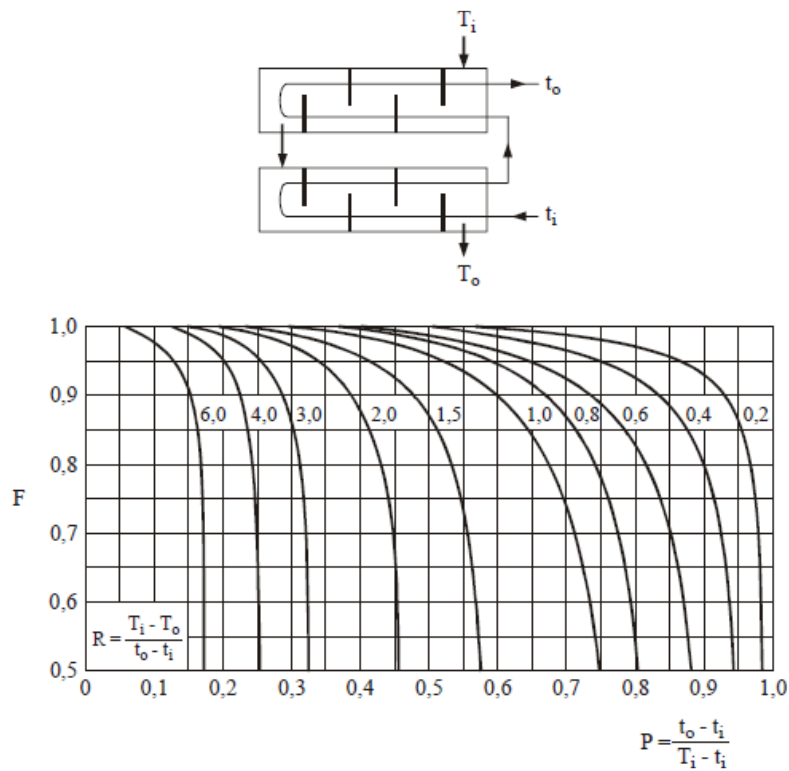
$$P = \frac{t_0 - t_i}{T_i - t_i} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{T_i - T_0}{t_0 - t_i} \quad (2.5)$$

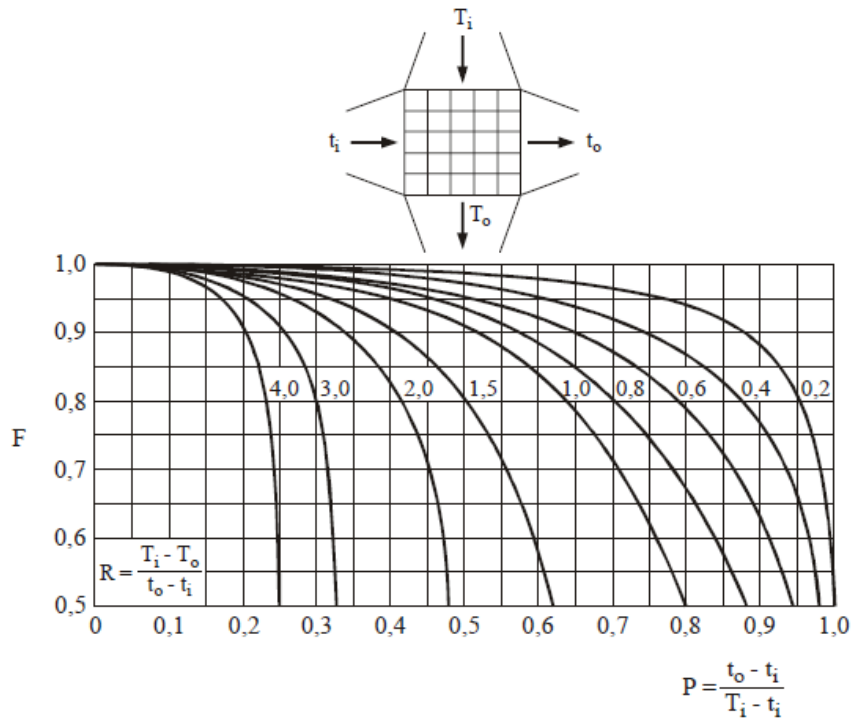
Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 2.1 ως 2.4, αν η θερμοκρασία του ενός ρευστού μεταβάλλεται ελάχιστα, τότε η μία από τις δύο παραμέτρους P και R θα είναι σχεδόν μηδέν, ο δε συντελεστής διόρθωσης F γίνεται 1. Στην περίπτωση αυτή η διάταξη του εναλλάκτη δεν παίζει κανένα ρόλο. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες το ένα ρευστό αλλάζει φάση (εξάτμιση ή συμπύκνωση).



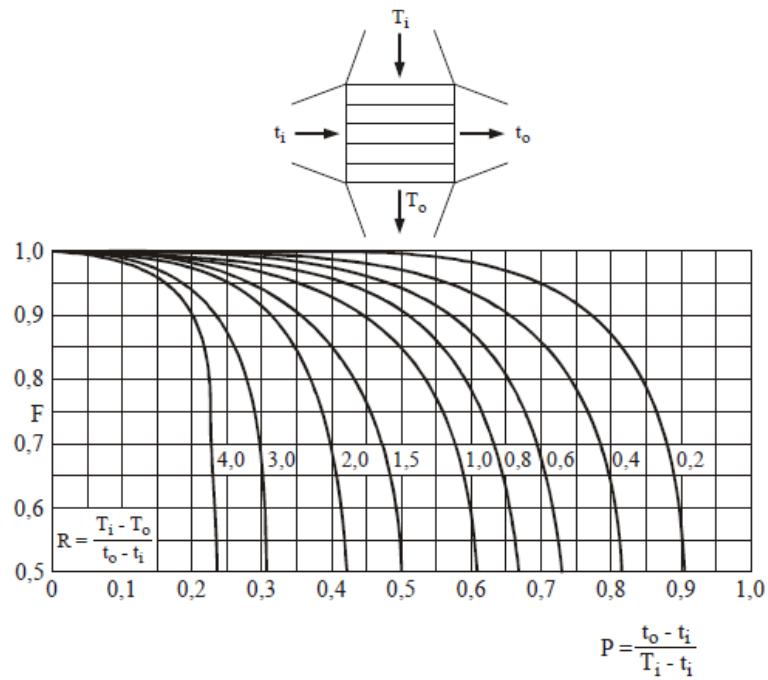
Σχήμα 2.1. Συντελεστής διόρθωσης για εναλλάκτη δέσμης σωλήνων – κελύφους μιας εξωτερικής και πολλαπλάσιες των δύο (2,4,κλπ) εσωτερικών διαδρομών



Σχήμα 2.2. Συντελεστής διόρθωσης για εναλλάκτη δέσμης σωλήνων – κελύφους δύο εξωτερικών και πολλαπλάσιες των τεσσάρων (4,8,κλπ) εσωτερικών διαδρομών



Σχήμα 2.3. Συντελεστής διόρθωσης για εναλλάκτη σταυρωτής ροής με αμφότερες τις ροές μη μιγνυόμενες



Σχήμα 2.4. Συντελεστής διόρθωσης για εναλλάκτη σταυρωτής ροής με τη μια ροή μιγνυόμενη και την άλλη μη μιγνυόμενη.

Η σχέση (2.2) λαμβάνει την εξής μορφή για αντιρροή:

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln[(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})]} \quad (2.6)$$

όπου είναι:

T_{h1} : η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρευστού

T_{h2} : η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού

T_{c1} : η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρευστού

T_{c2} : η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού

Επίσης, αυτές οι σχέσεις χρησιμοποιούνται για εξατμιστήρες και συμπυκνές ομορροής και αντιρροής μονής διαδρομής, όπου ένα από τα ρευστά παραμένει σε σταθερή θερμοκρασία.

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

Η μέθοδος της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν είναι γνωστές οι θερμοκρασίες εισόδου των ρευστών στον εναλλάκτη, οι δε θερμοκρασίες εξόδου μπορούν να καθορισθούν από τα ενεργειακά ισοζύγια. Αν όμως είναι γνωστές μόνο οι θερμοκρασίες εισόδου, όπως συνήθως συμβαίνει όταν δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της συσκευής, τότε η χρήση της μεθόδου της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας απαιτεί επαναληπτική διαδικασία. Τέτοια προβλήματα απλοποιούνται σημαντικά με την βοήθεια της μεθόδου *αποτελεσματικότητας - μονάδων μεταφοράς*.

2.1.2. Μέθοδος απόδοσης των μονάδων μεταφοράς της θερμότητας (effectiveness - NTU)

Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι της προηγούμενης στο ότι είναι ευκολότερη και δεν απαιτεί τη γνώση της μεταβολής των θερμοκρασιών και των δύο ρευστών, αλλά μόνον του ενός. Για να γίνει ο σχεδιασμός του εναλλάκτη ο συνολικός συντελεστής απωλειών θερμότητάς του συσχετίζεται με τις θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου, τη συνολικώς μεταφερόμενη ποσότητα θερμότητας και τη συνολική επιφάνεια θερμοεναλλαγής. Η ανάλυση βασίζεται στην αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη όταν μεταφέρει μία ποσότητα θερμότητας, δηλαδή στην απόδοσή του. Η απόδοση του εναλλάκτη (ϵ) ορίζεται ως εξής:

$$\varepsilon = \frac{\text{Πραγματική μεταφορά θερμότητας}}{\text{Μέγιστη δυνατή μεταφορά θερμότητας}} \quad (2.7)$$

Η πραγματική μεταφορά θερμότητας υπολογίζεται είτε από την ενέργεια που χάνεται από το θερμό ρευστό, είτε από την ενέργεια που ανακτάται από το ψυχρό ρευστό. Για εναλλάκτη ομορροής, το πραγματικό ποσό θερμότητας q που μεταφέρεται είναι:

$$q = m_h \cdot c_h (T_{h1} - T_{h2}) = m_c \cdot c_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (2.8)$$

ενώ για εναλλάκτη αντιρροής είναι:

$$q = m_h \cdot c_h (T_{h1} - T_{h2}) = m_c \cdot c_c (T_{c1} - T_{c2}) \quad (2.9)$$

Στις παραπάνω σχέσεις (2.8) και (2.9) συμβολίζονται με :

q : το πραγματικό ποσό θερμότητας που μεταφέρεται

m_h : η ροή μάζας του θερμού ρευστού (kg/s)

c_h : η ειδική θερμότητα του θερμού ρευστού (kJ/kg °C)

T_{h1} : η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρευστού

T_{h2} : η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού

m_c : η ροή μάζας του ψυχρού ρευστού (kg/s)

c_c : η ειδική θερμότητα του ψυχρού ρευστού (kJ/kg °C)

T_{c1} : η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρευστού

T_{c2} : η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού

Για τον καθορισμό της μέγιστης δυνατής ποσότητας θερμότητας, που μπορεί να μεταφερθεί από τον εναλλάκτη πρέπει, κατ' αρχήν, το ένα από τα ρευστά να υποστεί τη μέγιστη μεταβολή θερμοκρασίας που επικρατεί στον εναλλάκτη. Αυτή είναι η διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου του θερμού και του ψυχρού ρευστού στον εναλλάκτη. Το ρευστό που θα υποστεί αυτή τη μεταβολή πρέπει να είναι αυτό που έχει το μικρότερο γινόμενο ($m \cdot c$). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, βάσει της αρχής διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια που λαμβάνεται από το ένα ρευστό πρέπει να είναι ίση με αυτή που παρέχεται από το άλλο. Εάν, λοιπόν, το ρευστό με το μεγαλύτερο γινόμενο ($m \cdot c$) υποστεί τη μέγιστη μεταβολή θερμοκρασίας, το άλλο ρευστό θα έπρεπε να υποστεί μια ακόμα μεγαλύτερη μεταβολή θερμοκρασίας, πράγμα άτοπο.

Το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που μπορεί να μεταφερθεί επομένως στον εναλλάκτη είναι:

$$q_{max} = (m \cdot c)_{min} (T_{h\text{εισόδου}} - T_{c\text{εισόδου}}) \quad (2.10)$$

όπου τα σύμβολα αναπαριστούν:

q_{max} : το μεγαλύτερο ποσόν θερμότητας που μπορεί να μεταφερθεί στον εναλλάκτη

$(m \cdot c)_{min}$: το μικρότερο γινόμενο παροχής μάζας επί τη θερμοχωρητικότητα του ρευστού

$T_{\text{εισόδου}}$: τη θερμοκρασία εισόδου του θερμότερου ρευστού

$T_{\text{εισόδου}}$: τη θερμοκρασία εισόδου του ψυχρότερου ρευστού

Πίνακας 2.1: Σχέσεις της μεθόδου NTU για τους εναλλάκτες θερμότητας

Γεωμετρία ροής	Σχέση
Δισωλήνιοι εναλλάκτες	
Παράλληλης ροής	$N = \frac{-\ln[1 - (1 + C)\varepsilon]}{1 + C}$
Αντιρροής	$N = \frac{1}{C-1} \ln\left(\frac{\varepsilon-1}{C\varepsilon-1}\right)$
Αντιρροής, για C=1	$N = \frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}$
Σταυρορροής	
C_{max} μικτή ροή, C_{min} στρωτή ροή	$N = -\ln\left[1 + \frac{1}{C} \ln(1 - C\varepsilon)\right]$
C_{max} στρωτή ροή, C_{min} μικτή ροή	$N = \frac{-1}{C} [1 + C \ln(1 - \varepsilon)]$
Κελύφους με σωλήνες	
Ένα κέλυφος με 2, 4, 6 διαδρομές σωλήνων	$N = -(1 + C^2)^{-1/2} \times \ln\left[\frac{2/\varepsilon - 1 - C - (1 + C^2)^{1/2}}{2/\varepsilon - 1 - C + (1 + C^2)^{1/2}}\right]$
Εναλλάκτες με C=0	
Βραστήρες, Συμπυκνωτές κ.λπ.	$N = -\ln(1 - \varepsilon)$

Όπου: $C_{min} = (m \cdot c)_{min}$,

$C_{max} = (m \cdot c)_{max}$,

$N = NTU = UA / C_{min}$,

$C = C_{min} / C_{max}$,

ε = απόδοση του εναλλάκτη.

Ανάλογα με τον τύπο του εναλλάκτη και το είδος της ροής των ρευστών μέσα σ' αυτόν, η απόδοσή του υπολογίζεται με τη χρήση διαφορετικών σχέσεων, οι οποίες παρατίθενται στους Πίνακες 2.1 και 2.2. Ο λόγος UA/C_{min} ονομάζεται NTU (*Number of Transfer Units*), δηλαδή αριθμός μονάδων μεταφοράς, διότι αυτός υποδεικνύει το μέγεθος του εναλλάκτη θερμότητας. Στους παρακάτω Πίνακες, αλλά και στον ορισμό του NTU, με C συμβολίζεται το γινόμενο ($m \cdot c$).

Πίνακας 2.2: Σχέσεις υπολογισμού της απόδοσης των εναλλακτών θερμότητας

Γεωμετρία ροής	Σχέση
Δισωλήνιοι εναλλάκτες	
Ομοροής	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-N(1+C)]}{1+C}$
Αντιροής	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-C)]}{1 - C \exp[-N(1-C)]}$
Αντιροής για C=1	$\varepsilon = \frac{N}{N+1}$
Σταυροροής	
Στρωτή ροή και των δύο ρευστών	$\varepsilon = 1 - \exp\left[\frac{\exp(-NC\eta) - 1}{C\eta}\right]$ όπου: $\eta = N^{-0,22}$
Μικτή ροή και των δύο ρευστών	$\varepsilon = \left[\frac{1}{1 - \exp(-N)} + \frac{C}{1 - \exp(-NC)} - \frac{1}{N} \right]^{-1}$
C_{max} μικτή ροή, C_{min} στρωτή ροή	$\varepsilon = (1/C) \{1 - \exp[-C(1 - e^{-N})]\}$
C_{max} στρωτή ροή, C_{min} μικτή ροή	$\varepsilon = 1 - \exp\{(1/C)[1 - \exp(-NC)]\}$
Κελύφους με σωλήνες	
Ένα κέλυφος με 2, 4, 6 διαδρομές σωλήνων	$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{1/2} \times \frac{1 + \exp\left[-N(1 + C^2)^{1/2}\right]}{1 - \exp\left[-N(1 + C^2)^{1/2}\right]} \right\}^{-1}$
Εναλλάκτες με C=0	
Βραστήρες, Συμπυκνωτές κ.λπ.	$\varepsilon = 1 - e^{-N}$

Όπου: $C_{min} = (m \cdot c)_{min}$,

$C_{max} = (m \cdot c)_{max}$,

$N = NTU = UA/C_{min}$,

$C = C_{min}/C_{max}$,

ε = απόδοση του εναλλάκτη.

Για τον υπολογισμό των πλακοειδών εναλλακτών χρησιμοποιείται η σχέση των εναλλακτών αντιρροής, διότι η ροή των ρευστών σ' αυτούς είναι αντιθέτου φοράς.

2.2. ΚΑΝΟΝΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ

Η ποσότητα θερμότητας, που χρειάζεται ένα σώμα για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό θερμοκρασίας είναι η θερμική χωρητικότητα λ του σώματος. Για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του σώματος κατά βαθμούς πρέπει να του δώσουμε επομένως ποσό θερμότητας $\Delta\theta$:

$$Q=\lambda\cdot\Delta\theta \quad (2.11)$$

Η μονάδα θερμικής χωρητικότητας προκύπτει έτσι,

$$\lambda=Q/\Delta\theta=\text{J}/^\circ\text{C}=\text{J}/\text{K} \quad (2.12)$$

Η θερμική χωρητικότητα είναι ανάλογη της μάζας m του σώματος. Δηλαδή:

$$\lambda=m\cdot c$$

Η σταθερά αναλογίας c είναι η θερμική χωρητικότητα ανά μονάδα μάζας του υλικού. Λέγεται ειδική θερμότητα και εξαρτάται από το ίδιο το υλικό. Η μονάδα μέτρησης της ειδικής θερμότητας προκύπτει από την εξίσωση (2.13)

$$C=L/m=\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}=\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C} \quad (2.13)$$

Η ειδική θερμότητα είναι ίση προς το ποσό θερμότητας, που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία νερού μάζας 1kg κατά 1K, ή 1 °C.

Η ειδική θερμότητα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Στα περισσότερα υλικά (π.χ. μέταλλα, αέρια) η ειδική θερμότητα αυξάνει με τη θερμοκρασία. Για τις συνηθισμένες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος η ειδική θερμότητα είναι πρακτικά ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία.

Από τις εξισώσεις 2.11 και 2.13 προκύπτει:

$$Q=m\cdot c\cdot\Delta T \quad (2.14)$$

Όταν αναμειγνύουμε σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε τα θερμότερα σώματα προσφέρουν θερμότητα στα ψυχρότερα, έως ότου αποκατασταθεί θερμική ισορροπία, δηλαδή έως ότου εξισωθούν οι θερμοκρασίες των σωμάτων.

Αν αναμειξουμε N σώματα, τότε κάθε ένα από αυτά, είτε θα προσλάβει θερμότητα, οπότε η θερμοκρασία του θα αυξηθεί, είτε θα αποβάλλει θερμότητα, οπότε η θερμοκρασία του θα μειωθεί. Υπό την προϋπόθεση, ότι κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας κάθε ένα από τα

σώματα παραμένει στην αρχική φάση του (στερεή, υγρή, ή αέρια), τότε το ποσό θερμότητας, που ανταλλάσσει με τα υπόλοιπα σώματα, είναι σύμφωνα με την εξίσωση 2.15 ίσο προς:

$$\Delta Q_i = m_i \cdot c_i \cdot (\vartheta - \vartheta_i) \quad (2.15)$$

όπου: m_i =μάζα του i σώματος σε kg

c_i =ειδική θερμότητα του i σώματος σε kJ/kg·°C

ϑ_i =αρχική θερμοκρασία του i σώματος σε °C

ϑ =τελική θερμοκρασία του i σώματος σε °C

Αν $\vartheta > \vartheta_i$, τότε $\Delta Q_i > 0$, δηλαδή το σώμα λαμβάνει θερμότητα. Αν $\vartheta < \vartheta_i$, τότε $\Delta Q_i < 0$, δηλαδή το σώμα αποβάλλει θερμότητα.

Θεωρούμε ότι το σύστημα είναι απομονωμένο, δηλαδή δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον, οπότε το θερμικό ισοζύγιο είναι μηδέν. Δηλαδή:

$$\sum_{i=1}^N \Delta Q_i = 0 \quad (2.16)$$

Επομένως

$$\sum_{i=1}^N m_i \cdot c_i (\vartheta - \vartheta_i) = 0 \quad (2.17)$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει το νόμο της θερμιδομετρίας και μας οδηγεί στον υπολογισμό της τελικής θερμοκρασίας του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

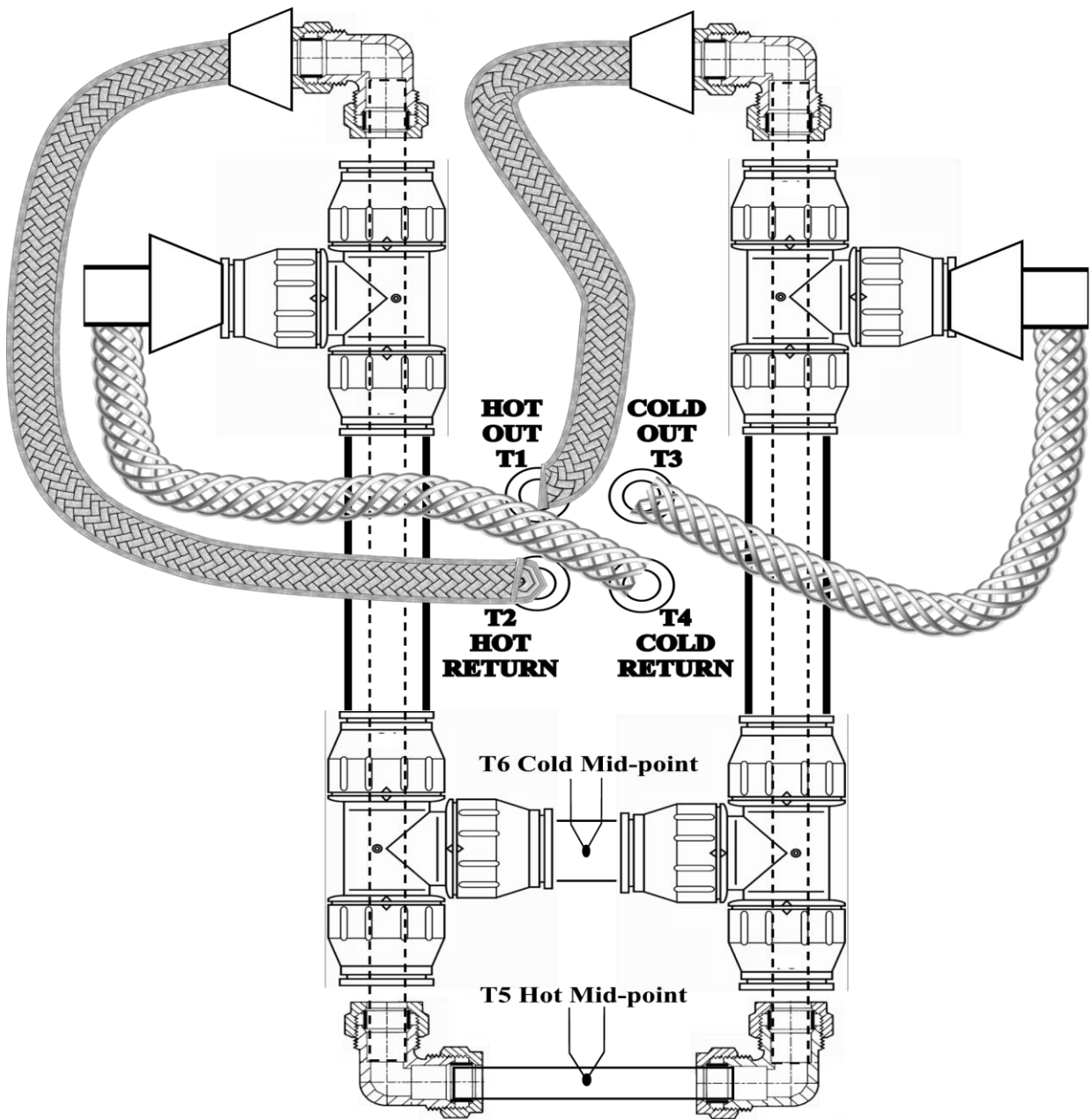
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Η πειραματική συσκευή, που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις είναι ο εναλλάκτης θερμότητας, H102 και οι παρελκόμενες μονάδες ομόκεντρων σωλήνων, H102A, πλακιδίων, H102B και κελύφους – αυλών, H103C.

Οι δυνατότητες των εναλλακτών θερμότητας είναι οι παρακάτω:

- Επίδειξη της έμμεσης θέρμανσης ή ψύξης με μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό ρεύμα στο άλλο, όταν διαχωρίζονται από ένα στερεό τοίχωμα (μεταφορά θερμότητας από υγρό σε υγρό).
- Εφαρμογή ενεργειακού ισοζυγίου σε εναλλάκτη θερμότητας ομόκεντρων σωλήνων και υπολογισμός της συνολικής απόδοσης με διαφορετικούς ρυθμούς ροής ρευστών.
- Επίδειξη των διαφορών μεταξύ όμορροής και αντιρροής και επίδραση στη θερμότητα, που μεταφέρεται, αποδόσεις και προφίλ θερμοκρασίας.
- Προσδιορισμός του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιώντας τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας για την εκτέλεση των υπολογισμών για ομορροή και αντιρροή.
- Διερεύνηση της επίδρασης των μεταβολών σε θερμό και ψυχρό ρεύμα ρευστού για τη βελτίωση της θερμοκρασιακής απόδοσης και του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.
- Διερεύνηση της επίδρασης της δύναμης οδήγησης (διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού και ψυχρού ρεύματος) σε ομορροή και αντιρροή.

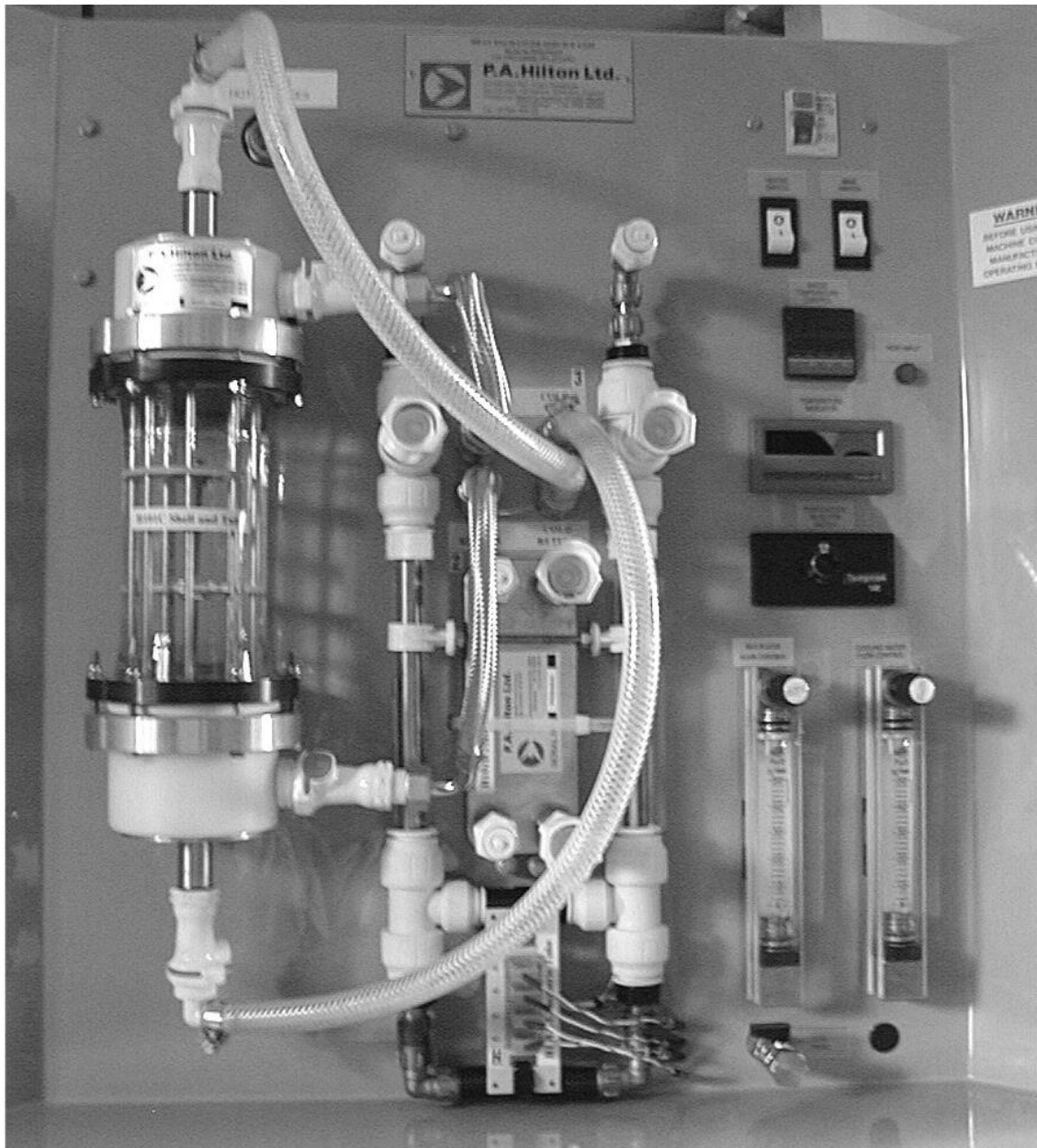
H102A Concentric Tube Heat Exchanger (Co-Current Flow)





Σχήμα 3.1: H102A Εναλλάκτης ομόκεντρων σωλήνων, τοποθετημένος στη μονάδα H102

Σημειώνεται, ότι αυτή η άποψη δείχνει την παλαιότερη ένδειξη ψηφιακής θερμοκρασίας με ξεχωριστό διακόπτη επιλογής.



Σχήμα 3.2: Τρεις εναλλάκτες θερμότητας τοποθετημένοι στη μονάδα λειτουργίας HI102

3.1.1 ΘΕΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα θερμοστοιχεία μετράνε τις θερμοκρασίες ρεύματος σε τέσσερις θέσεις:

T1 - Παροχή θερμού νερού στον εναλλάκτη θερμότητας

T2 – Επιστροφή θερμού νερού από τον εναλλάκτη θερμότητας

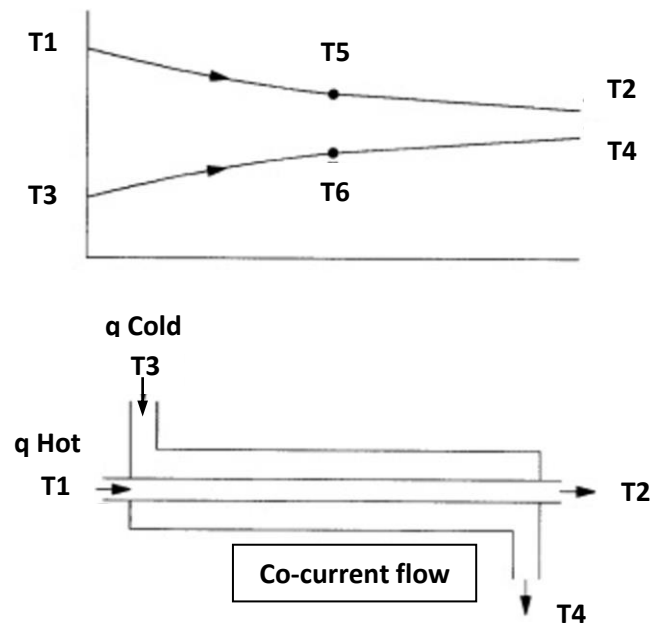
T3 - Παροχή ψυχρού νερού στον εναλλάκτη θερμότητας

T4 - Επιστροφή ψυχρού νερού από τον εναλλάκτη θερμότητας

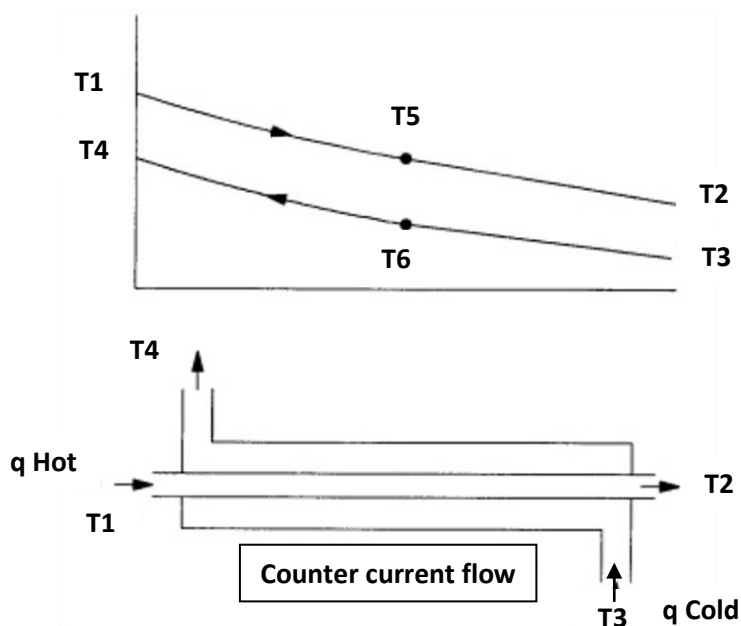
Επιπλέον, για τον εναλλάκτη ομόκετρων σωλήνων, υπάρχουν ακόμη δύο θέσεις μέτρησης:

T5 – Μεσαία -θέση θερμού

T6 - Μεσαία-θέση ψυχρού



Σχήμα 3.3: Σχηματικές παραστάσεις ομορροής



Σχήμα 3.4: Σχηματικές παραστάσεις αντιρροής

3.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ Η102Α

Ο εναλλάκτης ομόκεντρων σωλήνων αποτελείται από δύο ομοαξονικούς σωλήνες, ο ένας μέσα στον άλλο, που μεταφέρουν υγρά με διαφορετικές θερμοκρασίες. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας, η θερμότητα ρέει από το θερμότερο ρεύμα στο ψυχρότερο. Αυτή είναι η απλούστερη μορφή του εναλλάκτη θερμότητας, ενώ μπορεί να αναλυθεί επιτυχώς περιγραφόμενος από εμπειρικές εξισώσεις.

Ο εναλλάκτης θερμότητας ομόκεντρων σωλήνων Η102Α, καταδεικνύει τις βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας. Ο εναλλάκτης Η102Α προορίζεται για χρήση με την κύρια συσκευή Η102. Δύο ξεχωριστοί ομόκεντροι σωλήνες διατάσσονται σε σειρά σε μορφή U, για να μειωθεί το συνολικό μήκος. Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι τοποθετημένος στο πάνελ του πίνακα Η102 και ασφαλίζεται από ειδικά κλιπ κλειδώματος.

Σε κανονική λειτουργία, το θερμό νερό από τη δεξαμενή θέρμανσης και μέσω αντλίας περνά διαμέσου εύκαμπτου σωλήνα ως «ΕΞΟΔΟΣ ΘΕΡΜΟΥ» και δημιουργεί αυτοστεγανοποιούμενη σύζευξη μέσα στον εσωτερικό σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα. Στη συνέχεια κυκλοφορεί στον εναλλάκτη θερμότητας και επιστρέφει ως «ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΘΕΡΜΟΥ» μέσω εύκαμπτου σωλήνα. Κρύο νερό ρέει από εύκαμπτο σωλήνα στο σημείο «ΕΞΟΔΟΣ ΨΥΧΡΟΥ» μεταξύ του διαφανούς πλαστικού σωλήνα και του εσωτερικού σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα. Με το θερμό νερό στο εσωτερικό του σωλήνα, οι απώλειες από το σύστημα προς το περιβάλλον ελαχιστοποιούνται, ενώ επιτρέπει την οπτική επαφή με

την κατασκευή της μονάδας. Όταν το ψυχρό ρεύμα θερμαίνεται, επάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, θα υπάρξουν κάποιες απώλειες θερμότητας. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι τύπου K.

Η απόληξη του σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα (θερμό ρεύμα) είναι θηλυκή ενώ του πλαστικού σωλήνα (ψυχρό ρεύμα) είναι αρσενική. Οι ταχυσύνδεσμοι είναι αυτοστεγανοποιούμενοι και η μετάβαση της ροής από ομορροή σε αντιρροή και τανάπαλιν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς διακοπή της αντλίας. Προτείνεται η αντιστροφή της ροής του ψυχρού ρεύματος ως ασφαλέστερη επιλογή.

Οι τεχνικές προδιαγραφές του εναλλάκτη θερμότητας ομόκεντρων σωλήνων H102A είναι:

Εσωτερικός σωλήνας

- Υλικό από ανοξείδωτο χάλυβα
- Εξωτερική Διάμετρος 0.012m
- Πάχος Τοιχώματος 0.001 m

Εξωτερικός σωλήνας

- Ακρυλικό υλικό διαφανές
- Εσωτερική διάμετρος 0.022m
- Πάχος Τοιχώματος 0.003m

Ενεργό Τμήμα Μετάδοσης Θερμότητας

Μήκος 2 x 0.3180m

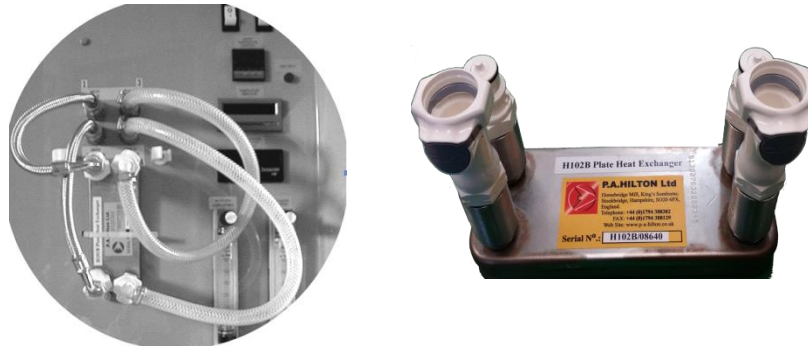
Επιφάνεια 0.02198 m²

Επισημαίνεται, ότι η επιφάνεια του εναλλάκτη θερμότητας είναι περίπου ίση με εκείνη του εναλλάκτη θερμότητας πλάκων H102B, αλλά και του κελύφους-αυλών H102C, ώστε να επιτραπεί η άμεση σύγκριση των επιδόσεων, μεταξύ τους.

3.1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΛΑΚΩΝ H102B

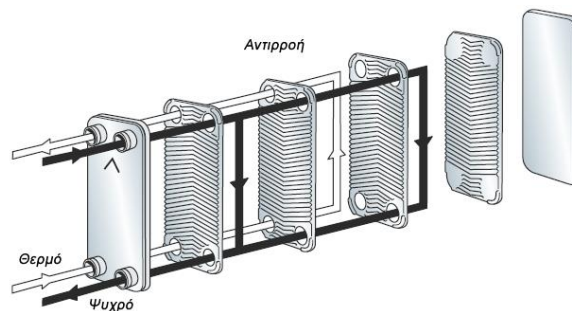
Ο συγκολλητού τύπου (brazed) εναλλάκτης θερμότητας πλακών νερού-νερού περιλαμβάνει τέσσερις πλάκες, εντός των οποίων κυκλοφορεί νερό διαφορετικής θερμοκρασίας. Το θερμότερο των δύο ρευμάτων κυκλοφορεί στην εσωτερική πλάκα, ενώ το ψυχρότερο ρεύμα κυκλοφορεί στις ακραίες.

Ο εναλλάκτης θερμότητας τροφοδοτείται μέσω μιας μονάδας υπό μορφή πάνελ. Το θερμό ρεύμα διαμορφώνεται με ηλεκτρικούς θερμαντήρες εμβαπτισμένους σε εσωτερική δεξαμενή και παρέχεται στην είσοδο του εναλλάκτη από την έξοδο HOT OUT στο πάνελ. Επιστρέφει στη δεξαμενή από την είσοδο HOT RETURN. Το ψυχρό ρεύμα είναι νερό δικτύου και παρέχεται από την έξοδο COLD OUT, ενώ επιστρέφει στην είσοδο COLD RETURN.



Σχήμα 3.5: Φωτογραφία συσκευής HI102 (P.A. Hilton) και εναλλάκτη πλακών HI102B

Η σύνδεση του θερμού ρεύματος με τον εναλλάκτη πραγματοποιείται μέσω μεταλλικά επενδεδυμένου σωλήνα, ενώ αυτή του ψυχρού μέσω πλαστικού. Ο αγωγός του θερμού ρεύματος καταλήγει σε θηλυκό βύσμα σε αντίθεση με τον αγωγό του ψυχρού, όπου το βύσμα είναι αρσενικό.



Σχήμα 3.6: Απεικόνιση των ρευμάτων στον εναλλάκτη HI102B για διαμόρφωση αντιρροής

Η διαμόρφωση περιλαμβάνει διευθέτηση ομορροής και αντιρροής. Η αλλαγή σύνδεσης στο ψυχρό ρεύμα, γίνεται ακόμη και σε κατάσταση λειτουργίας του εναλλάκτη, για την εναλλαγή μεταξύ ομορροής και αντιρροής.

Δύο σταθερά θερμοζεύγη T1, T2 είναι τοποθετημένα στην είσοδο και στην έξοδο του εναλλάκτη. Αντίστοιχα, δύο σταθερά θερμοζεύγη T3, T4 είναι τοποθετημένα στην είσοδο και στην έξοδο του εναλλάκτη.

Τα τεχνικά στοιχεία του εναλλάκτη πλακών είναι:

- Κενό ανάμεσα σε πλάκες, b: 2.24mm
- Πλάτος πλάκας, w: 72mm

- Επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας: 0.024m²

3.1.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ Η102C

Ο εναλλάκτης θερμότητας κελύφους αυλών, περιλαμβάνει επτά ανοξείδωτους αυλούς, συνολικής επιφάνειας συναλλαγής 0.0185m², οι οποίοι περικλείονται από κέλυφος κατασκευασμένο από διαφανές πυρίμαχο υλικό. Στο κέλυφος περιλαμβάνονται και δύο διαφράγματα, προς βελτίωσης του συναλλασσόμενου ποσού θερμότητας.

3.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη συσκευή συναλλαγής θερμότητας Η102, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τρεις διαφορετικούς εναλλάκτες θερμότητας, ομόκεντρων σωλήνων, πλακιδίων και κελύφους-αυλών, για τις δυο διευθετήσεις ροής, ομορροή και αντιρροή.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η σύγκριση των δυο διευθετήσεων ροής, ομορροής και αντιρροής, για κάθε μεταβαλλόμενο ρεύμα, για κάθε εναλλάκτη μέσω των διαγραμμάτων του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , της διαφοράς θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος ΔT και του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας για το θερμό και το ψυχρό ρεύμα.

Επίσης, σκοπός της εργασίας είναι η σύγκριση ομορροής μεταξύ διαφορετικών εναλλακτών θερμότητας, όπως και η σύγκριση της αντιρροής, μεταξύ διαφορετικών εναλλακτών θερμότητας.

Η σύγκριση θα μας οδηγήσει σε συμπεράσματα για το ποιος εναλλάκτης και ποια διεύθετηση ροής είναι πιο αποδοτικά.

3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Παρατίθενται οι μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν στους εναλλάκτες πλακών, ομόκεντρων σωλήνων και κελύφους – αυλών για ομορροή και αντιρροή.

3.3.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ ΟΜΟΡΡΟΗΣ

Στον Πίνακα 3.1 παρατίθενται οι μετρήσεις του εναλλάκτη πλακιδίων για την ομορροή, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού και ψυχρού ρεύματος, όπου T_1 H_{in} είναι η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος, T_2 H_{out} η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, T_3 C_{in}

η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρεύματος, T4 Cout η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος, V_{HOT} η παροχή του θερμού ρεύματος και V_{COLD} η παροχή του ψυχρού ρεύματος.

Πίνακας 3.1 Μετρήσεις εναλλάκτη Πλακιδίων για Ομορροή

T _{1 Hin}	60,4	60,4	60,4	61,5	61,7	64,4	59,4	59,2	61,2	61,3
T _{2 Hout}	32,4	39,4	43,8	47,2	49,6	53,7	45,4	42,8	41,9	40,4
T _{3 Cin}	18,9	19,5	20	20,1	20,3	20,6	19,8	19,5	19,9	19,5
T _{4 Cout}	28,2	33,2	36,6	39,3	41,1	48,3	39,2	35,7	34,1	32,1
V _{HOT}	10	20	30	40	50	30	30	30	30	30
V _{COLD}	30	30	30	30	30	10	20	30	40	50

3.3.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ

Στον Πίνακα 3.2 παρατίθενται οι μετρήσεις του εναλλάκτη πλακιδίων για την αντιρροή, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού και ψυχρού ρεύματος, όπου T1 Hin είναι η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος, T2 Hout η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, T3 Cin η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρεύματος, T4 Cout η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος, V_{HOT} η παροχή του θερμού ρεύματος και V_{COLD} η παροχή του ψυχρού ρεύματος.

Πίνακας 3.2 Μετρήσεις εναλλάκτη Πλακιδίων για Αντιρροή

T _{1 Hin}	61,1	59,4	61	61,1	58,7	61,9	60,1	59,1	60,7	58,6
T _{2 Hout}	28,8	35,6	41,5	44,9	45,8	50,5	44,1	40,4	38,8	36,6
T _{3 Cin}	18,9	19,2	19,9	20	19,9	20,8	19,6	19,3	19,1	19
T _{4 Cout}	30,3	34,8	39,1	41,2	41,4	51,1	43	37,8	35,2	32
V _{HOT}	10	20	30	40	50	30	30	30	30	30
V _{COLD}	30	30	30	30	30	10	20	30	40	50

3.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΟΜΟΡΡΟΗΣ

Στον Πίνακα 3.3 παρατίθενται οι μετρήσεις του εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων για την ομορροή, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού και ψυχρού ρεύματος, όπου T1 Hin είναι η

θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος, T2 Hout η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, T3 Cin η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρεύματος, T4 Cout η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος, T5 η θερμοκρασία στη μεσαία θέση του θερμού ρεύματος, T6 η θερμοκρασία στη μεσαία θέση του ψυχρού ρεύματος, V_{HOT} η παροχή του θερμού ρεύματος και V_{COLD} η παροχή του ψυχρού ρεύματος.

Πίνακας 3.3 Μετρήσεις εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων για ομορροή

T _{1 Hin}	61,6	61,6	61,9	61,4	61	64,8	60,8	61,9	60,4	60,8
T _{2 Hout}	50	52,4	54,6	55,4	56	59,4	54,4	54,6	53,2	52,3
T _{3 Cin}	21,7	20,6	20,5	20,4	20,4	21,2	20,5	20,5	20,2	19,8
T _{4 Cout}	26	26,9	28	28,6	29	36,2	29,8	28	27,4	24,9
T5	54,7	55,9	57,2	57,3	57,6	60,8	56,7	57,2	55,8	55,6
T6	23,9	24,2	24,7	25	25,2	30,4	25,8	24,7	24,4	23
V _{HOT}	10	20	30	40	50	30	30	30	30	30
V _{COLD}	30	30	30	30	30	10	20	30	40	50

3.3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΗΣ

Στον Πίνακα 3.4 παρατίθενται οι μετρήσεις του εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων για την αντιρροή, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού και ψυχρού ρεύματος, όπου T1 Hin είναι η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος, T2 Hout η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, T3 Cin η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρεύματος, T4 Cout η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος, T5 η θερμοκρασία στη μεσαία θέση του θερμού ρεύματος, T6 η θερμοκρασία στη μεσαία θέση του ψυχρού ρεύματος, V_{HOT} η παροχή του θερμού ρεύματος και V_{COLD} η παροχή του ψυχρού ρεύματος.

Πίνακας 3.4 Μετρήσεις εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων για αντιρροή

T _{1 Hin}	62,6	58,8	58,5	59,9	60,8	65,1	61,4	60,4	60,5	61,1
T _{2 Hout}	49,4	46,6	51,5	53,6	55,3	59,2	54,5	52,8	52	52,1
T _{3 Cin}	20,1	20,2	20,2	19,9	19,9	20,7	20,1	19,6	19,4	19,4
T _{4 Cout}	24,8	26,3	27,4	28,1	28,8	36,6	29,9	27,1	25,3	24,5
T ₅	55,3	53,7	54,6	56,6	57,4	61,2	57,2	55,9	55,7	55,8
T ₆	22,9	23,5	24,1	24,3	24,6	29,2	25,3	23,6	22,6	22,2
V _{HOT}	10	20	30	40	50	30	30	30	30	30
V _{COLD}	30	30	30	30	30	10	20	30	40	50

3.3.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ ΟΜΟΡΡΟΗΣ

Στον Πίνακα 3.5 παρατίθενται οι μετρήσεις του εναλλάκτη κελύφους-αυλών για την ομορροή, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού και ψυχρού ρεύματος, όπου T_{1 Hin} είναι η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος, T_{2 Hout} η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, T_{3 Cin} η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρεύματος, T_{4 Cout} η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος, V_{HOT} η παροχή του θερμού ρεύματος και V_{COLD} η παροχή του ψυχρού ρεύματος.

Πίνακας 3.5 Μετρήσεις εναλλάκτη κελύφους - αυλών για ομορροή

T _{1 Hin}	62,1	61,3	61,1	61,4	61,3	60,9	61,9	61,1	62	61,9
T _{2 Hout}	57,6	55,2	54	53,3	52,7	48,9	52,4	54	56,1	56,9
T _{3 Cin}	22,4	21	20,3	20	19,9	20	20,1	20,3	20,3	20,2
T _{4 Cout}	35,3	30	27,5	25,9	25,1	24	26,5	27,5	28,6	28,9
V _{HOT}	10	20	30	40	50	30	30	30	30	30
V _{COLD}	30	30	30	30	30	10	20	30	40	50

3.3.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΗΣ

Στον Πίνακα 3.6 παρατίθενται οι μετρήσεις του εναλλάκτη κελύφους-αυλών για την αντιρροή, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού και ψυχρού ρεύματος, όπου $T_{1\text{ Hin}}$ είναι η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος, $T_{2\text{ Hout}}$ η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, $T_{3\text{ Cin}}$ η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρεύματος, $T_{4\text{ Cout}}$ η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος, V_{HOT} η παροχή του θερμού ρεύματος και V_{COLD} η παροχή του ψυχρού ρεύματος.

Πίνακας 3.6 Μετρήσεις εναλλάκτη κελύφους - αυλών για αντιρροή

$T_{1\text{ Hin}}$	62,5	61,7	61,7	61,6	61,4	61,3	62	61,7	62,2	61,9
$T_{2\text{ Hout}}$	58,1	56,2	55,5	54,5	53,4	50	53	55,5	56,5	57,3
$T_{3\text{ Cin}}$	27,8	27,3	26,3	25,3	23,4	22,8	23	26,3	23,3	23,3
$T_{4\text{ Cout}}$	40,2	35,2	32,9	30,8	28,2	26,8	29,2	32,9	30,9	31,5
V_{HOT}	10	20	30	40	50	30	30	30	30	30
V_{COLD}	30	30	30	30	30	10	20	30	40	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

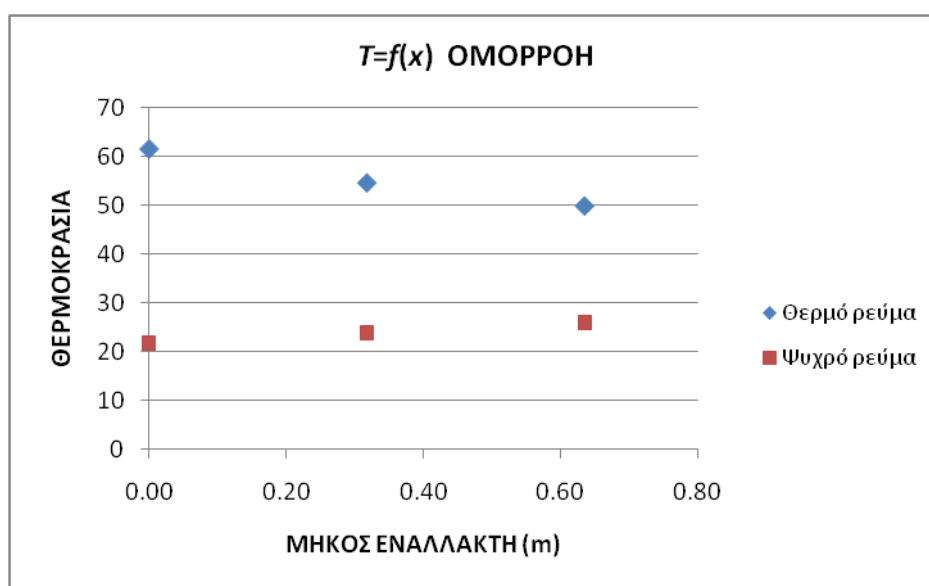
4.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $T=f(x)$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ

Το Σχήμα $T=f(x)$ παρουσιάζει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του θερμού και του ψυχρού ρεύματος κατά μήκος του εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων. Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν την εν λόγω μεταβολή για την 1^η μέτρηση της ομορροής (Σχήμα 4.1) και την 1^η μέτρηση της αντιρροής (Σχήμα 4.2).

Πίνακας 4.1. Μετρήσεις ομορροής για τον εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων

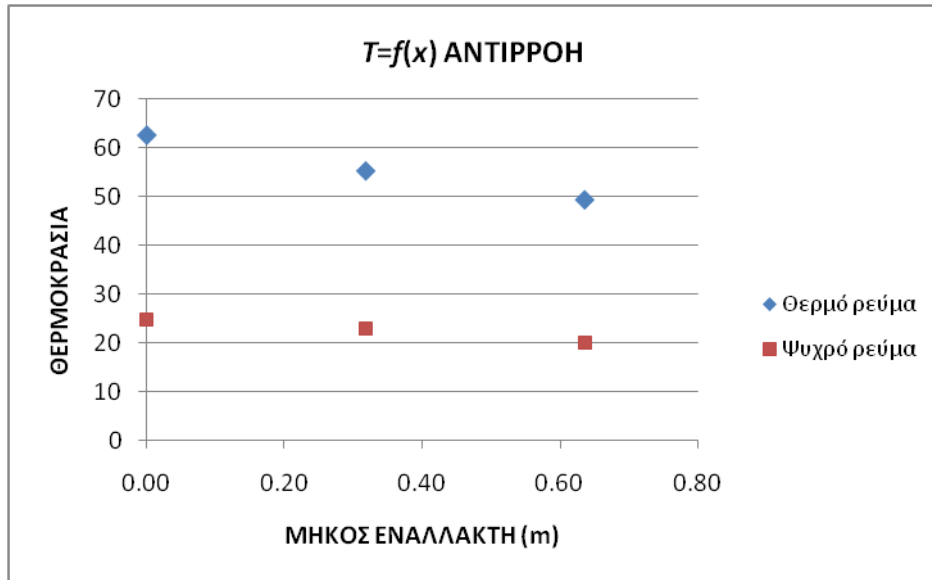
x		T_{hot}		T_{cold}
0,11	T_1	61,60	T_3	21,70
0,21	T_5	54,70	T_6	23,90
0,32	T_2	50,00	T_4	26,00

Σχήμα 4.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος του εναλλάκτη για την ομορροή



Πίνακας 4.2: Μετρήσεις αντιρροής για τον εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων

x		T_{hot}		T_{cold}
0,11	T1	62,60	T3	20,10
0,21	T5	55,30	T6	22,90
0,32	T2	49,40	T4	24,80



Σχήμα 4.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος του εναλλάκτη για την αντιρροή

Παρατηρείται στα διαγράμματα, ότι η θερμοκρασία του θερμού ρεύματος μειώνεται και του ψυχρού ρεύματος αυξάνεται, και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής, όπως ήταν αναμενόμενο. Η θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρεύματος, είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρεύματος. Η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta T(x) = T1(x) - T2(x)$ των θερμοκρασιών θερμού και ψυχρού ρευστού είναι συνάρτηση της θέσης x , μειώνεται δε καθώς αυξάνεται το x . Είναι επίσης εμφανές από το Σχήμα 4.1, ότι σε ένα εναλλάκτη ομορροής, η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού δεν μπορεί ποτέ να ξεπεράσει τη θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού. Αντιθέτως, σε εναλλάκτη αντιρροής η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού μπορεί να ξεπεράσει τη θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων περιλαμβάνουν:

- Το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας με βάση το ψυχρό (Q_c) και το θερμό ρεύμα (Q_h).

$$Q_c = m_c \cdot c_p \cdot \Delta T_c \quad (4.1)$$

$$Q_h = m_h \cdot c_p \cdot \Delta T_h \quad (4.2)$$

- Το βαθμό απόδοσης (η).

$$\eta = Q_h / Q_c$$

- Τους ισοθερμοκρασιακούς βαθμούς απόδοσης (η_h) και (η_c).

$$\eta_h = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_4) \cdot 100 \quad (4.3)$$

$$\eta_c = (T_4 - T_3) / (T_1 - T_4) \cdot 100 \quad (4.4)$$

- Τη μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} .
- Τα ΔT θερμού (ΔT_h) και ψυχρού (ΔT_c) ρεύματος.

$$\Delta T_h = T_1 - T_2 \quad (4.5)$$

$$\Delta T_c = T_4 - T_3 \quad (4.6)$$

- Το συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U .
- Το ποσοστό του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $\%U$ όσο αυξάνει η ροή μάζας.

4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ

Από τις μετρήσεις προκύπτουν δύο περιπτώσεις προς εξέταση: μεταβαλλόμενη ροή μάζας ψυχρού ρεύματος και μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού ρεύματος.

Για την ομορροή, η μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος, παρατίθεται στον Πίνακα 4.3. Με βάση αυτές τις θερμοκρασίες λαμβάνονται από πίνακες οι τιμές για τις ιδιότητες του νερού. Οι τιμές αυτές δίνονται στους Πίνακες 4.4 και 4.5. για θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3: Μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος για μεταβαλλόμενο θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα

ΟΜΟΡΡΟΗ	Σταθερό $V_{cold}=30$ g/s					Σταθερό $V_{hot}=30$ g/s				
Μέση θερμοκρασία hot	46,4	49,9	52,1	54,35	55,65	62,1	57,6	58,25	56,8	56,55
Μέση θερμοκρασία cold	23,55	26,35	28,3	29,7	30,7	28,7	25,15	24,25	23,8	22,35

Πίνακας 4.4: Οι ιδιότητες του νερού για το θερμό ρεύμα.

Ιξώδες θερμού ν (m ² /s)	5,90E-07	5,6E-07	5,33E-07	5,25E-07	0,00000049	4,61E-07	4,95E-07	4,8E-07	4,98E-07
C_p θερμού (kJ/kg·K)	4,18	4,181	4,182	4,183	4,183	4,186	4,184	4,185	4,184
Pr_f θερμού	3,8	3,52	3,4	3,3	3,2	2,85	3,1	3,02	3,18
k θερμού (W/m·k)	0,641	0,64	0,645	0,645	0,65	0,656	0,65	0,65	0,65
ρ πυκνότητα θερμού (kg/m ³)	989,2	988,2	987,2	985,8	985,4	982,2	984,0	983,9	982,4

Πίνακας 4.5: Οι ιδιότητες του νερού για το ψυχρό ρεύμα.

Ιξώδες ψυχρού ν (m ² /s)	9,5E-07	8,5E-07	8,1E-07	7,9E-07	0,00000079	8,1E-07	8,2E-07	9,4E-07	9,5E-07	9,6E-07
C_p ψυχρού (kJ/kg·K)	4,181	4,179	4,179	4,18	4,18	4,18	4,18	4,181	4,181	4,181
Pr_f ψυχρού	6,22	6,02	5,62	5,54	5,4	5,6	6,1	6,2	6,2	6,6
k ψυχρού (W/m·k)	0,61	0,61	0,615	0,617	0,617	0,615	0,609	0,607	0,606	0,606
ρ πυκνότητα ψυχρού (kg/m ³)	997,8	997,3	996,8	996,5	995,9	996,2	997,1	997,3	997,3	997,8

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την ομορροή παρατίθενται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα ομορροής εναλλάκτη πλακιδίων

	ΣΤΑΘΕΡΟ Vcold					ΣΤΑΘΕΡΟ Vhot				
Qh	1171	1757	2083	2393	2532	1344	1757	2058	2422	2623
Qc	1167	1719	2082	2408	2609	1158	1622	2032	2375	2635
η	99.66	97.83	99.95	100.63	103.05	86.19	92.33	98.74	98.06	100.45
ηh	67.47	51.34	41.09	34.54	29.23	24.43	35.35	41.31	46.73	50.00
ηc	22.41	33.50	41.09	46.38	50.24	63.24	48.99	40.81	34.38	30.14
ΔT _{lm}	16.28	18.39	19.25	20.22	20.78	18.34	18.01	18.94	20.10	20.72
U	2986	3894	4507	4962	5231	2630	3753	4471	4924	5298
ΔT _{hot}	28	21	16.6	14.3	12.1	10.7	14	16.4	19.3	20.9
ΔT _{cold}	9.3	13.7	16.6	19.2	20.8	27.7	19.4	16.2	14.2	12.6
% U		30.39	15.77	10.08	5.43		42.67	19.14	10.13	7.59

Παρατηρούμε, ότι οι τιμές του βαθμού απόδοσης είναι αρκετά υψηλές και βαίνουν αυξανόμενες στις μετρήσεις με μεταβαλλόμενη την παροχή του ψυχρού ρεύματος. Σε κάποιες μετρήσεις, ο βαθμός απόδοσης προέκυψε μεγαλύτερος από 100%, γεγονός το οποίο αποδίδεται είτε σε πειραματικά σφάλματα, κατά τη λήψη των μετρήσεων, είτε στη μεγαλύτερη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία του ψυχρού ρεύματος, με αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον προς το σύστημα του εναλλάκτη και ιδιαίτερα στο ψυχρό ρεύμα.

Ο βαθμός απόδοσης η_h, μειώνεται όσο αυξάνει η ροή μάζας του θερμού ρεύματος, ενώ αυξάνει με αύξηση της ροής μάζας του ψυχρού ρεύματος.

Αντίθετη μεταβολή παρουσιάζει ο βαθμός απόδοσης η_c. Αυξάνει με αύξηση της ροής μάζας του ψυχρού ρεύματος και μειώνεται με αύξηση της ροής μάζας του θερμού ρεύματος.

Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} αυξάνει και στις δύο περιπτώσεις, με αύξηση της παροχής των ρευμάτων, όπως είναι αναμενόμενο, λόγω αύξησης της τύρβης και των αντίστοιχων συντελεστών συναγωγιμότητας. Οι τιμές είναι περίπου ίδιες στις εξεταζόμενες περιπτώσεις.

Το ποσοστό της αύξησης του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας %U, μειώνεται με αύξηση της παροχής και στις δυο περιπτώσεις. Οι μετρήσεις με μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές U, γεγονός που αποδίδεται στο ότι

κυκλοφορεί στο διάκενο μεταξύ των δύο αυλών και επομένως, θα διαφοροποιείται λίγο από το θερμό, που κυκλοφορεί στον εσωτερικό αυλό.

Οι παρατηρήσεις για τα υπόλοιπα αποτελέσματα απεικονίζονται παρακάτω στα αντίστοιχα διαγράμματα.

Για την αντιρροή, η μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος, παρατίθενται στον Πίνακα 4.7. Με βάση αυτές τις θερμοκρασίες λαμβάνονται από πίνακες οι τιμές για τις ιδιότητες του νερού. Οι τιμές αυτές δίνονται στους Πίνακες 4.8 και 4.9 για θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.7: Μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος για μεταβαλλόμενο θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

ΑΝΤΙΡΡΟΗ	Σταθερό Vcold=30 g/s					Σταθερό Vhot=30 g/s				
Μέση θερμοκρασία hot	44,95	47,5	51,25	53	52,25	56,2	52,1	49,75	49,75	47,6
Μέση θερμοκρασία cold	24,6	27	29,5	30,6	30,65	35,95	31,3	28,55	27,15	25,5

Πίνακας 4.8: Οι ιδιότητες του νερού για το θερμό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	6,01E-07	5,85E-07	5,38E-07	5,4E-07	5,38E-07	5,05E-07	5,36E-07	5,6E-07	5,6E-07	5,6E-07
C_p θερμού (kJ/kg·K)	4,181	4,18	4,182	4,182	4,182	4,184	4,182	4,181	4,181	4,18
Pr_f θερμού	3,57	3,8	3,4	3,3	3,4	3,18	3,43	3,57	3,57	3,7
k θερμού (W/m·k)	0,637	0,64	0,645	0,645	0,645	0,65	0,645	0,648	0,648	0,645
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	990,3	989,1	987,3	987,3	987,2	984,5	987,2	988,7	988,7	989,3

Πίνακας 4.9: Οι ιδιότητες του νερού για το ψυχρό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	9,1E-07	8,6E-07	8,1E-07	8E-07	8E-07	7,5E-07	7,9E-07	8,3E-07	8,4E-07	8,9E-07
C_p ψυχρού (kJ/kg·K)	4,18	4,179	4,179	4,178	4,178	4,178	4,178	4,179	4,179	4,18
Pr_f ψυχρού	6,1	5,83	5,53	5,5	5,5	4,7	5,3	5,6	5,8	6
k ψυχρού (W/m·k)	0,609	0,613	0,616	0,616	0,616	0,62	0,619	0,617	0,613	0,61
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	997,914	997,009	997,62	997,502	997,492	994,504	997,425	997,75	997,124	997,71

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την αντιρροή δίνονται στον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα αντιρροής εναλλάκτη πλακιδίων

	ΣΤΑΘΕΡΟ Vcold					ΣΤΑΘΕΡΟ Vhot				
Qh	1351	1991	2447	2711	2698	1431	2008	2347	2748	2760
Qc	1430	1957	2408	2659	2697	1267	1957	2321	2693	2718
η	105.89%	98.30%	98.41%	98.08%	99.94%	88.51%	97.44%	98.89%	97.99%	98.48%
ηh	76.54	59.20	47.45	39.42	33.25	27.74	39.51	46.98	52.64	55.56
ηc	27.01	38.81	46.72	51.58	55.41	73.72	57.78	46.48	38.70	32.83
ΔT _{lm}	18.41	20.22	21.75	22.31	21.31	18.68	20.58	21.20	22.48	21.79
U	3237	4032	4614	4967	5273	2825	3962	4561	4992	5198
ΔT _{hot}	32.3	23.8	19.5	16.2	12.9	11.4	16	18.7	21.9	22
ΔT _{cold}	11.4	15.6	19.2	21.2	21.5	30.3	23.4	18.5	16.1	13
% U		24.58	14.43	7.66	6.15	-46.42	40.23	15.13	9.46	4.11

Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι παραπλήσιος για όλες σχεδόν τις μετρήσεις. Διαφοροποιήσεις αποδίδονται σε σφάλματα κατά την πειραματική διαδικασία.

Ο βαθμός απόδοσης η_h, μειώνεται με αύξηση της παροχής του θερμού ρεύματος, ενώ αυξάνει στο ψυχρό ρεύμα.

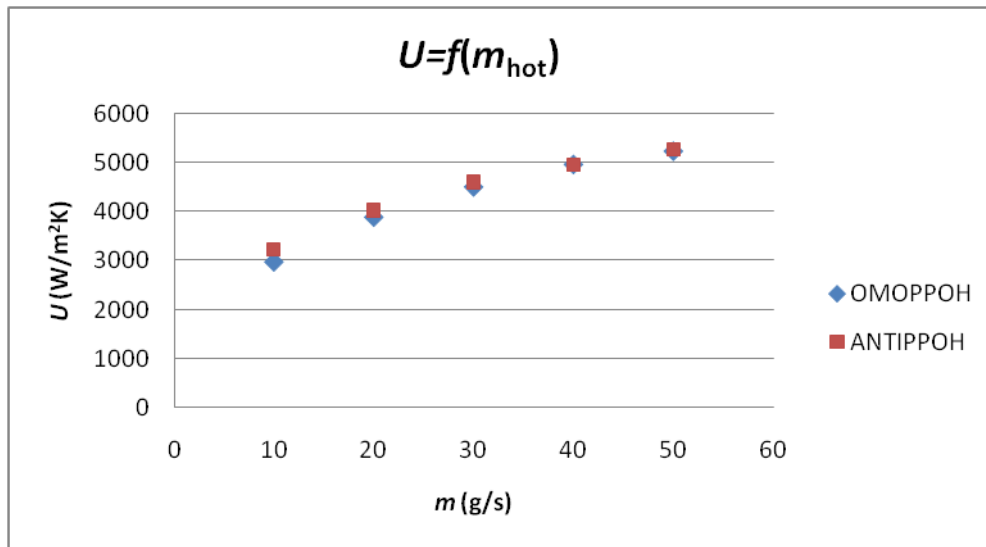
Αντίστροφα, ο βαθμός απόδοσης η_c, αυξάνει με αύξηση της παροχής του θερμού ενώ μειώνεται στο ψυχρό ρεύμα.

Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} αυξάνεται με αύξηση της παροχής και στα δύο ρεύματα. Οι τιμές είναι περίπου ίδιες και στις δύο περιπτώσεις. Για ίδιες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου η μέση λογαριθμική διαφορά σε εναλλάκτη αντιρροής είναι μεγαλύτερη από ότι σε εναλλάκτη ομορροής. Αυτό σημαίνει ότι για ίδια θερμορροή, η απαραίτητη επιφάνεια συναλλαγής είναι μικρότερη στον εναλλάκτη αντιρροής απ' ότι στον ομορροής (υποθέτοντας φυσικά, ίδια τιμή συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας).

Το ποσοστό του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας %U όσο αυξάνει η ροή της μάζας, μειώνεται και στις δυο περιπτώσεις μεταβαλλόμενου ρεύματος. Για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα ξεκινάει με μεγαλύτερες τιμές και καταλήγει σε μικρότερες από τις αντίστοιχες για μεταβαλλόμενο θερμό ρεύματος.

Οι παρατηρήσεις για τα υπόλοιπα αποτελέσματα φαίνονται κάτω από τα αντίστοιχα διαγράμματα.

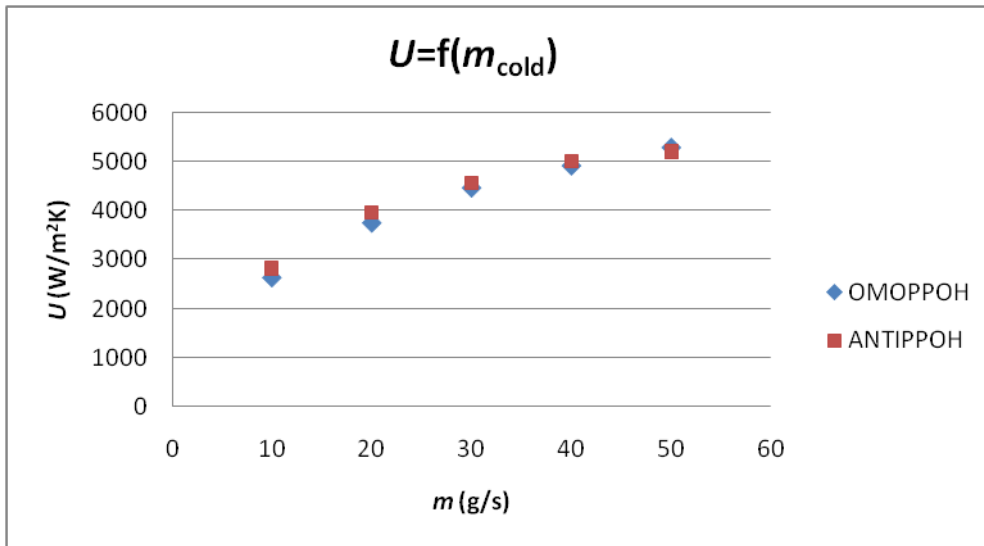
Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.3, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U , για το μεταβαλλόμενο θερμό ρεύμα αυξάνεται, με τον ίδιο ρυθμό, και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές σχεδόν ταυτίζονται, γεγονός που ήταν αναμενόμενο, καθώς δεν μεταβάλλονται οι συντελεστές συναγωγιμότητας με την εναλλαγή ομορροής-αντιρροής, κι επομένως υποδεικνύει ότι οι μετρήσεις ήταν ορθές.

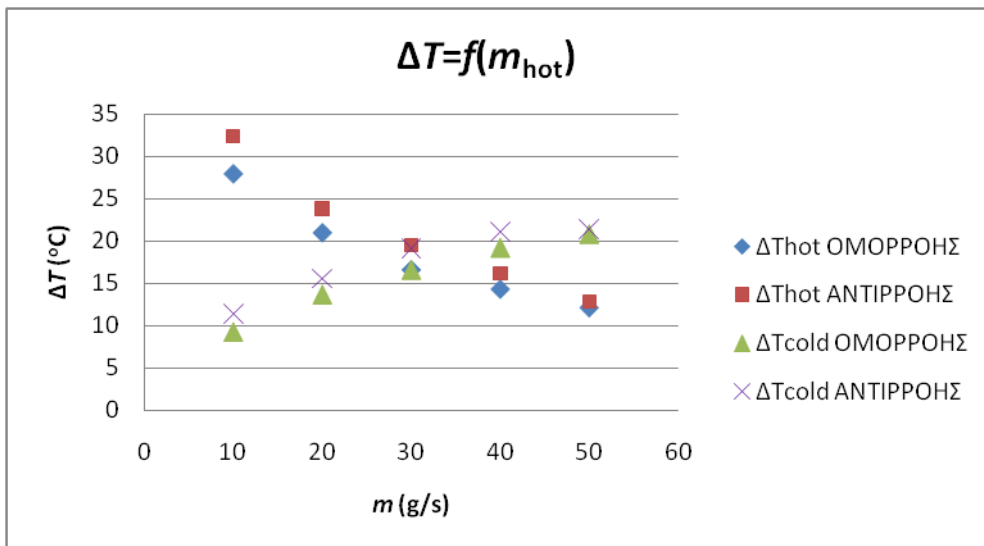
Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.4, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U , για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα αυξάνεται, με τον ίδιο ρυθμό, και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές σχεδόν ταυτίζονται και ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις με τη μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος.

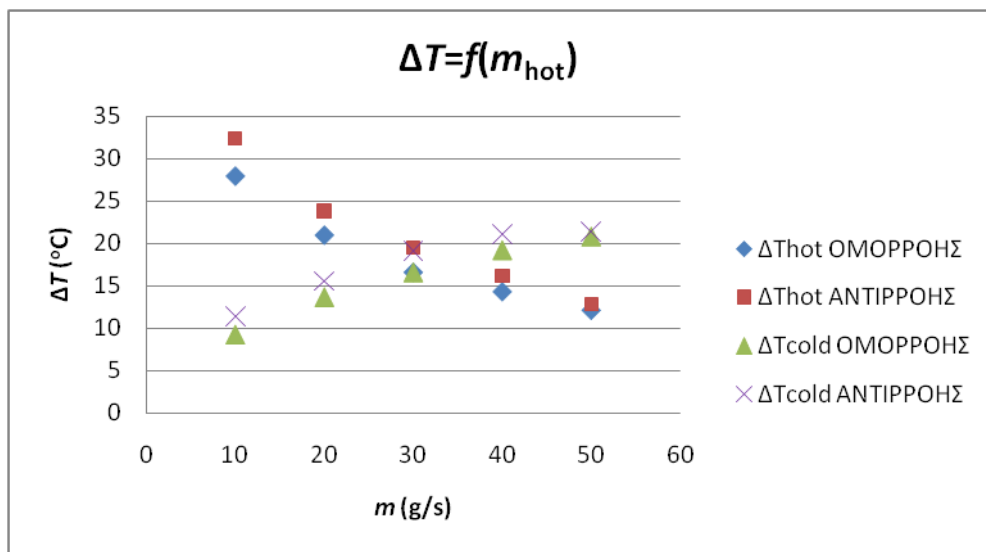
Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.5, η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT θερμού ρεύματος, μειώνεται με αύξηση της παροχής του θερμού, καθώς κυκλοφορεί στον εναλλάκτη με μεγαλύτερη ταχύτητα και στις δυο περιπτώσεις ομορροής και αντιρροής. Αντίθετα, η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT του ψυχρού ρεύματος, αυξάνει και στις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής, με αύξηση της παροχής του θερμού. Οι διαφορές θερμοκρασίας στην αντιρροή είναι μεγαλύτερες από αυτές τις ομορροής.

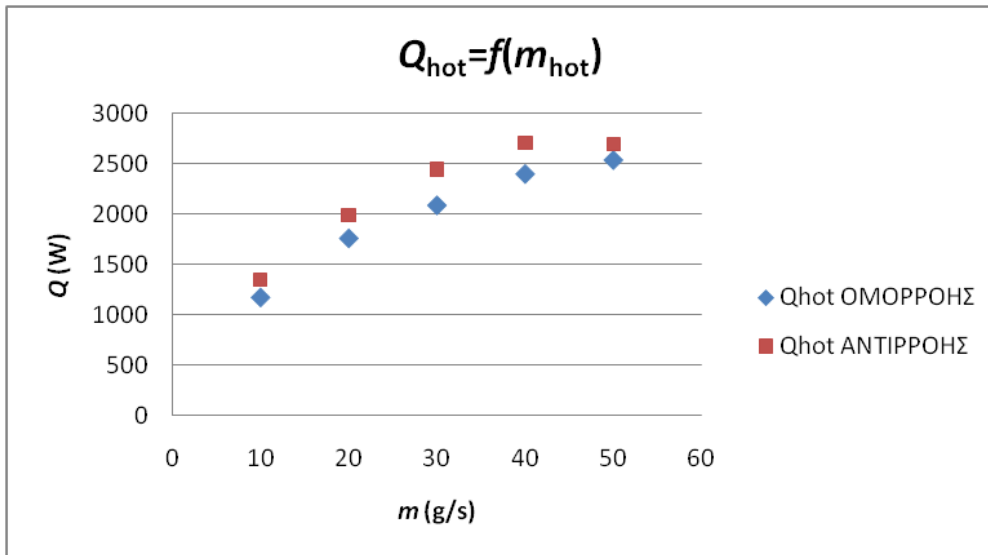
Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.6, η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT ψυχρού ρεύματος, μειώνεται και στις δυο περιπτώσεις ομορροής και αντιρροής, με αύξηση της παροχής του ψυχρού ρεύματος. Αντιθέτως, η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT του θερμού ρεύματος, αυξάνεται και στις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές αντιρροής παρουσιάζονται μεγαλύτερες από αυτές τις ομορροής.

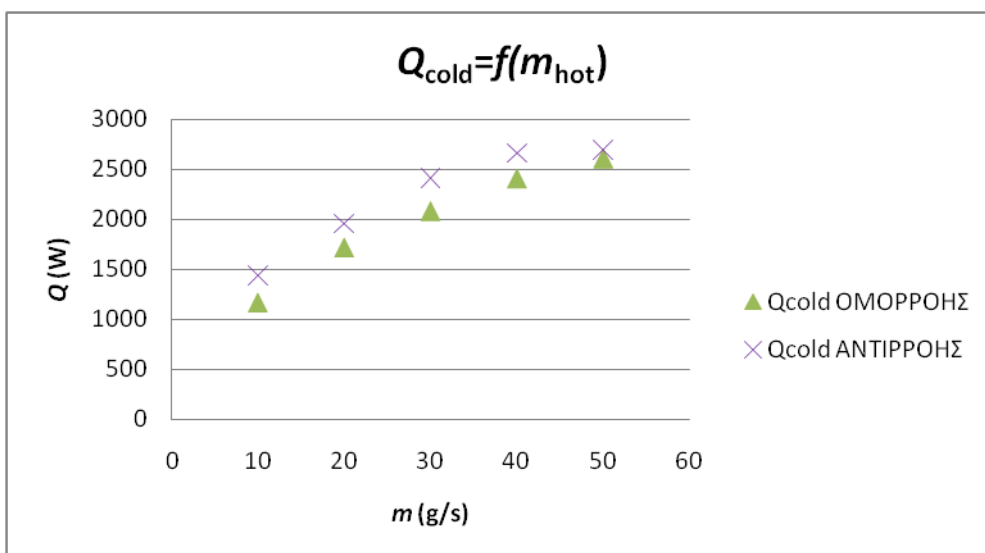
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7: Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

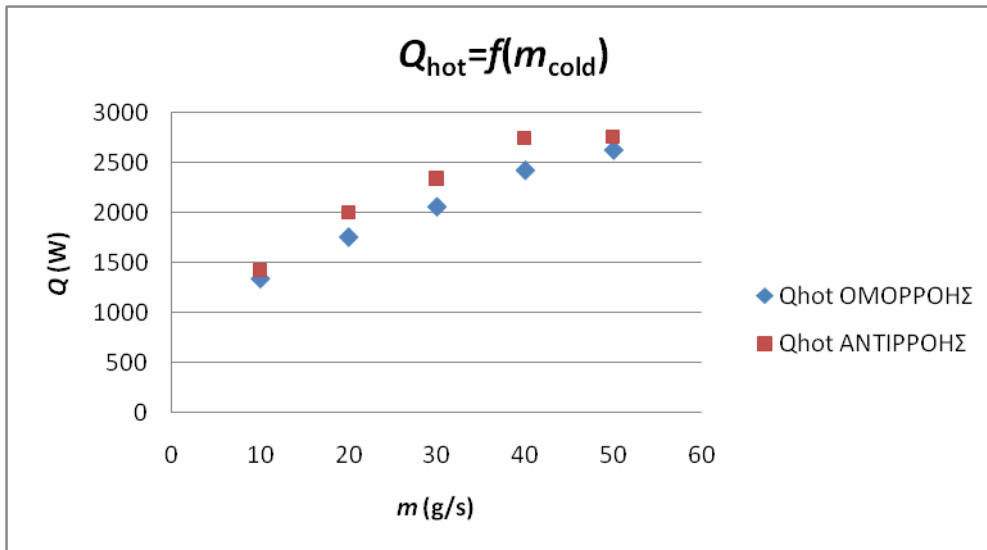
Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.7, η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ των ρευμάτων αυξάνει με αύξηση της παροχής. Οι τιμές είναι μεγαλύτερες στην αντιρροή από ότι στην ομορροή, λόγω μεγαλύτερης μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς.

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν, όπως παραπάνω.



Σχήμα 4.8: Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

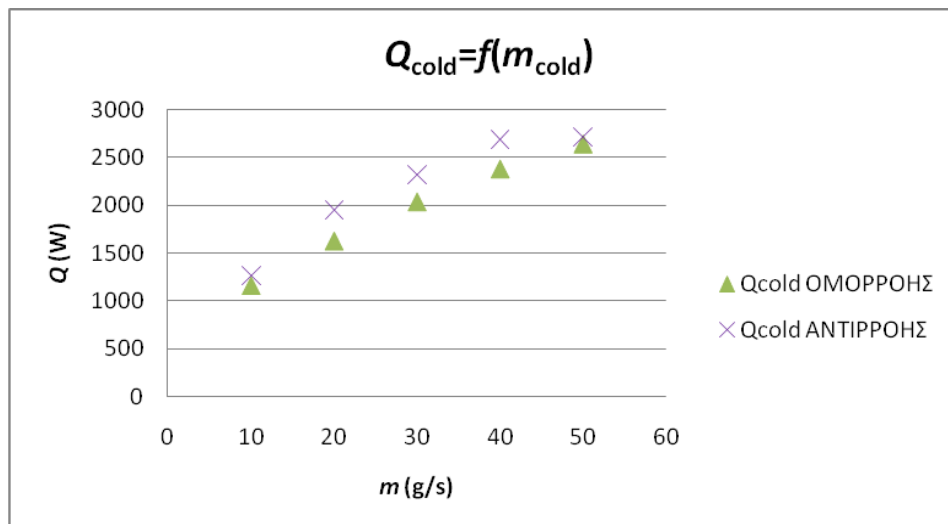
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9: Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.9, το ποσό θερμότητας που απελευθερώνει το θερμό ρεύμα, είναι αυξανόμενο καθώς η παροχή ψυχρού ρεύματος αυξάνει και στις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές αντιρροής είναι μεγαλύτερες από αυτές τις ομορροής, λόγω μεγαλύτερης ΔT_{lm} , για την ίδια επιφάνεια εναλλάκτη.

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.10: Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.10, το ποσό θερμότητας που προσλαμβάνει το ψυχρό ρεύμα, αυξάνει με αύξηση της ροής μάζας του, και στις δύο περιπτώσεις, ομοροής και αντιροής, με τις τιμές στην αντιροή να είναι μεγαλύτερες από αυτές τις ομοροής.

4.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ

Από τις μετρήσεις προκύπτουν δύο περιπτώσεις προς εξέταση: μεταβαλλόμενη ροή μάζας ψυχρού ρεύματος και μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού ρεύματος.

Για την ομοροή, η μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος, δίνεται στον Πίνακα 4.11. Με βάση αυτές τις θερμοκρασίες λαμβάνονται από πίνακες οι τιμές για τις ιδιότητες του νερού. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στους Πίνακες 4.12 και 4.13. για το θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.11. Μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος για μεταβαλλόμενο θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

ΟΜΟΡΡΟΗ	Σταθερό V _{cold} =30 g/s					Σταθερό V _{hot} =30 g/s				
Μέση θερμοκρασία hot	55,8	57	58,25	58,4	58,5	62,1	57,6	58,25	56,8	56,55
Μέση θερμοκρασία cold	23,85	23,75	24,25	24,5	24,7	28,7	25,15	24,25	23,8	22,35

Πίνακας 4.12 Οι ιδιότητες του νερού για το θερμό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	4,86E-07	4,97E-07	4,33E-07	4,3E-07	0,00000049	4,61E-07	4,95E-07	4,3E-07	4,98E-07
C_p (kJ/kg·K)	4,182	4,184	4,183	4,183	4,183	4,186	4,184	4,183	4,184
Pr_f	3,28	3,15	3,02	3,01	3	2,88	3,1	3,02	3,18
k (W/m·k)	0,648	0,65	0,65	0,65	0,65	0,656	0,65	0,65	0,65
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	985,2	985,7	984,2	984,2	984,2	982,2	985,7	984,2	985,7

Πίνακας 4.13 Οι ιδιότητες του νερού για το ψυχρό ρεύμα

Ιξώδες ν (m ² /s)	9,5E-07	9,5E-07	9,0E-07	9E-07	8,9E-07	8,4E-07	8,2E-07	9E-07	9,5E-07	9,6E-07
C_p (kJ/kg·K)	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179	4,178	4,179	4,179	4,179	4,18
Pr_f	6,22	6,26	6,18	6,1	6	5,5	5,95	6,1	6,22	6,6
k (W/m·k)	0,61	0,61	0,61	0,611	0,611	0,613	0,609	0,607	0,606	0,606
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	997,3	997,3	997,3	997,3	997,4	996,2	997,1	997,3	997,3	997,8

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την ομορροή παρατίθενται στον Πίνακα 4.14.

Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα ομορροής και αντιρροής σε εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων

	ΟΜΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΕΡΟ Vcold					ΟΜΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΕΡΟ Vhot				
Qh	485	770	917	1004	1046	678	804	917	904	1067
Qc	540	791	941	1029	1079	627	778	941	1205	1067
η	111.1	102.7	102.7	102.4	103.1	92.48	96.81	102.67	133.26	99.96
η_h	29.07	22.44	17.63	14.63	12.32	12.39	15.88	17.63	17.91	20.73
η_c	10.78	15.37	18.12	20.00	21.18	34.40	23.08	18.12	17.91	12.44
ΔT_{lm}	31.28	32.64	33.46	33.40	33.34	32.33	31.81	33.46	32.47	33.74
U	785	1102	1280	1402	1473	882	1113	1280	1688	1438
ΔT_{hot}	11.6	9.2	7.3	6	5	5.4	6.4	7.3	7.2	8.5
ΔT_{cold}	4.3	6.3	7.5	8.2	8.6	15	9.3	7.5	7.2	5.1
% U		40.41	16.13	9.52	5.06		26.08%	15.01%	31.89%	-14.79%

Αναφορικά με τις μεταβολές των μεγεθών, ισχύει ότι και στον εναλλάκτη πλακιδίων.

Ο βαθμός απόδοσης, η , λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από 100% στην περίπτωση της ομορροής με σταθερή ροή μάζας του ψυχρού ρεύματος. Το γεγονός αυτό αποδίδεται σε πειραματικά σφάλματα, καθώς το ψυχρό ρεύμα προερχόταν από το νερό δικτύου και καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων, η παροχή του δεν διατηρείτο σταθερή αλλά μεταβαλλόταν λίγο και συγκεκριμένα αυξανόταν. Ως αποτέλεσμα, το προσλαμβανόμενο ποσό θερμότητας από το ψυχρό ρεύμα ήταν στην πραγματικότητα μεγαλύτερο από το υπολογιζόμενο κι επειδή, ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται ως Q_c/Q_h , παρατηρείται το παράδοξο μεγαλύτερης τιμής από 100%. Παρομοίως, ο βαθμός απόδοσης υπό σταθερή παροχή θερμού ρεύματος, που είναι μεγαλύτερος από 100%, αποδίδεται σε πειραματικά σφάλματα, πιθανόν, έλλειψης θερμικής ισορροπίας μεταξύ των δύο ρευμάτων.

Ο θερμοκρασιακός βαθμός απόδοσης, η_h , μειώνεται με αύξηση της ροής μάζας του θερμού ρεύματος, γεγονός που είναι αναμενόμενο, καθώς μειώνεται η διαφορά θερμοκρασίας του θερμού ρεύματος μεταξύ εισόδου και εξόδου, όταν το θερμό ρευστό κυκλοφορεί ταχύτερα εντός του εναλλάκτη και όταν οι θερμοκρασίες εισόδου των δύο ρευμάτων παραμένουν σταθερές.

Αντίστοιχη επεξήγηση ισχύει για το θερμοκρασιακό βαθμό απόδοσης η_c . Μειώνεται με αύξηση της ροής μάζας του ψυχρού ρεύματος και αυξάνει με αύξηση της ροής μάζας του θερμού, καθώς στις αντίστοιχες περιπτώσεις μειώνεται και αυξάνεται το $\Delta T_{cold}=|T_4-T_3|$.

Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} αυξάνεται με αύξηση της ροής μάζας των ρευμάτων. Οι τιμές είναι περίπου ίδιες και στις δύο περιπτώσεις.

Το ποσοστό του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας %U μειώνεται με αύξηση της ροής μάζας. Στην τελευταία μέτρηση (μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού) όπου είναι αρνητικό, οφείλεται πιθανόν, σε σφάλματα της προηγούμενης μέτρησης (κατά την οποία παρουσιάζεται και βαθμός απόδοσης μεγαλύτερος από 100%).

Οι παρατηρήσεις για τα υπόλοιπα αποτελέσματα απεικονίζονται στα παρακάτω αντίστοιχα διαγράμματα.

Για την αντιρροή, η μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος διατίθενται στον Πίνακα 4.15. Με βάση αυτές τις θερμοκρασίες λαμβάνονται από πίνακες οι τιμές ιδιοτήτων του νερού. Οι τιμές αυτές δίνονται στους Πίνακες 4.16 και 4.17 για θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.15. Μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος

ANTIPPOH	Σταθερό $V_{cold}=30 \text{ g/s}$					Σταθερό $V_{hot}=30 \text{ g/s}$				
Μέση θερμοκρασία hot	56	52,7	55	56,75	58,05	62,15	57,95	56,6	56,25	56,6
Μέση θερμοκρασία cold	22,45	23,25	23,8	24	24,35	28,65	25	23,35	22,35	21,95

Πίνακας 4.16 Οι ιδιότητες του νερού για το θερμό ρεύμα

Ιξώδες $\nu(\text{m}^2/\text{s})$	4,96E-07	5,35E-07	5,15E-07	5E-07	4,9E-07	4,61E-07	4,92E-07	4,6E-07	4,98E-07	4,97E-07
C_p (kJ/kg·K)	4,184	4,182	4,183	4,184	4,184	4,186	4,184	4,184	4,184	4,184
Pr_f	3,1	3,47	3,05	3,15	3,2	2,88	3,05	3,12	3,12	3,12
k (W/m·k)	0,65	0,645	0,648	0,65	0,65	0,656	0,65	0,648	0,65	0,65
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	984,265	987,17	985,167	984,25	983,98	982,3	983,998	984,652	984,35	984,252

Πίνακας 4.17 Οι ιδιότητες του νερού για το ψυχρό ρεύμα

Ιξώδες $\nu(\text{m}^2/\text{s})$	9,5E-07	9,4E-07	9,3E-07	9,2E-07	9,0E-07	8,2E-07	8,9E-07	9,4E-07	9,6E-07	9,6E-07
C_p (kJ/kg·K)	4,181	4,181	4,18	4,18	4,18	4,179	4,18	4,181	4,181	4,181
Pr_f	6,6	6,5	6,45	6	5,9	5,7	5,88	6,5	6,6	6,62
k (W/m·k)	0,606	0,606	0,607	0,607	0,608	0,614	0,617	0,606	0,606	0,606
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	997,914	997,85	997,62	997,502	997,492	996,654	996,085	997,75	997,924	998,01

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την αντιρροή παρατίθενται στον Πίνακα 4.18.

Πίνακας 4.18: Αποτελέσματα αντιρροής

	ΣΤΑΘΕΡΟ V _{cold}					ΣΤΑΘΕΡΟ V _{hot}				
Q _h	552	1021	879	1055	1151	741	866	954	1067	1130
Q _c	590	765	903	1029	1117	665	820	941	987	1067
η	106.78%	74.98%	102.81%	97.56%	97.02%	89.72%	94.62%	98.64%	92.51%	94.41%
η _h	31.06%	31.61%	18.28%	15.75%	13.45%	13.29%	16.71%	18.63%	20.68%	21.58%
η _c	11.06%	15.80%	18.80%	20.50%	21.76%	35.81%	23.73%	18.38%	14.36%	12.23%
ΔT _{lm}	33.37	29.34	31.20	32.74	33.67	33.25	32.93	33.25	33.88	34.61
U	804	1187	1317	1430	1509	910	1133	1288	1326	1402
ΔT _{hot}	13.2	12.2	7	6.3	5.5	5.9	6.9	7.6	8.5	9
ΔT _{cold}	4.7	6.1	7.2	8.2	8.9	15.9	9.8	7.5	5.9	5.1
% U		47.58%	11.01%	8.53%	5.53%		24.50%	13.70%	2.94%	5.78%

Παρατηρείται, ότι ο βαθμός απόδοσης η, παρουσιάζει διακύμανση, στην περίπτωση, όπου διατηρήθηκε σταθερή η παροχή του ψυχρού ρεύματος, γεγονός που αποδίδεται, κυρίως, στη μεταβολής της ροής μάζας του νερού από το δίκτυο (ψυχρό ρεύμα), κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

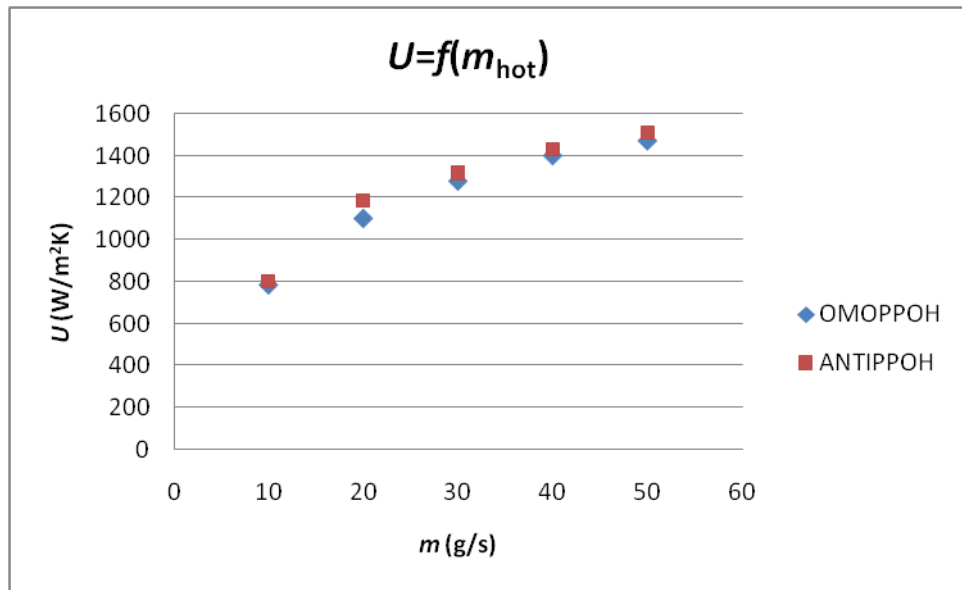
Σχετικά, με τους θερμοκρασιακούς βαθμούς απόδοσης η_h και η_c, ισχύει ότι και για τον εναλλάκτη πλακιδίων.

Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} αυξάνεται για το μεταβαλλόμενο θερμό και ψυχρό ρεύμα. Οι τιμές είναι περίπου ίδιες και στις δύο περιπτώσεις.

Το ποσοστό αύξησης του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας %U, μειώνεται όσο αυξάνει η ροή της μάζας, και στις δυο περιπτώσεις.

Οι παρατηρήσεις για τα υπόλοιπα αποτελέσματα παριστάνονται παρακάτω στα αντίστοιχα διαγράμματα.

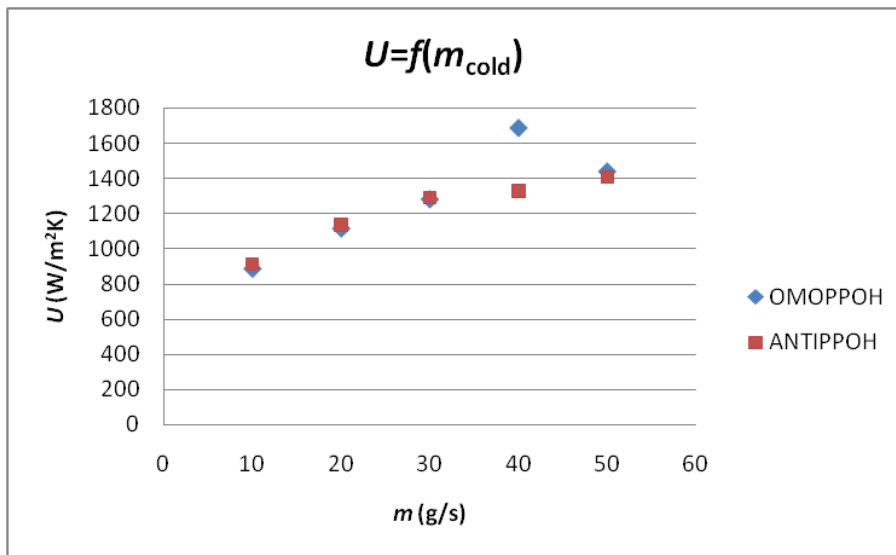
Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομοροή και αντιρροή παριστάνεται στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.11 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.11, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού ρεύματος, είναι αυξανόμενος, και στις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής, με τις τιμές σχεδόν να ταυτίζονται, όπως είναι αναμενόμενο.

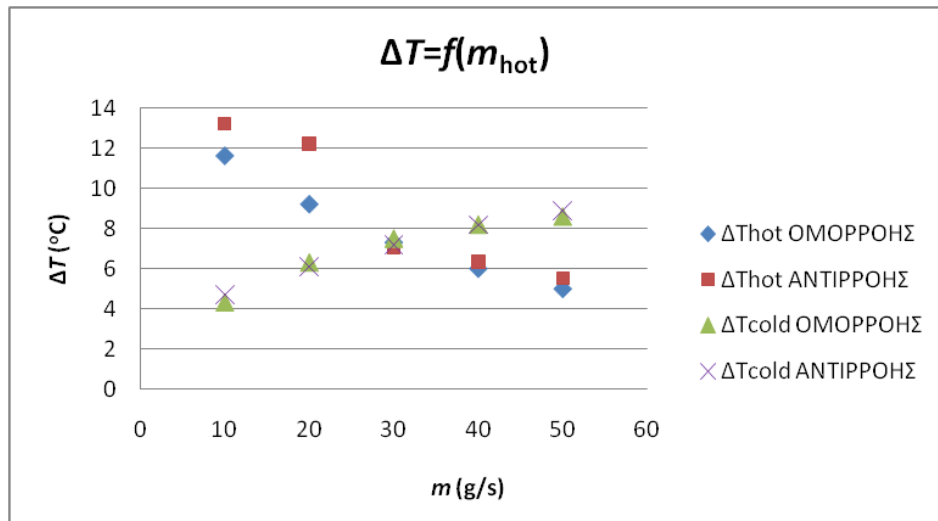
Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή παριστάνεται στο Σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Ομοίως, ισχύει και για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος. Η τιμή U , που αντιστοιχεί στην 4^η μέτρηση ομορροής, φαίνεται να είναι εσφαλμένη.

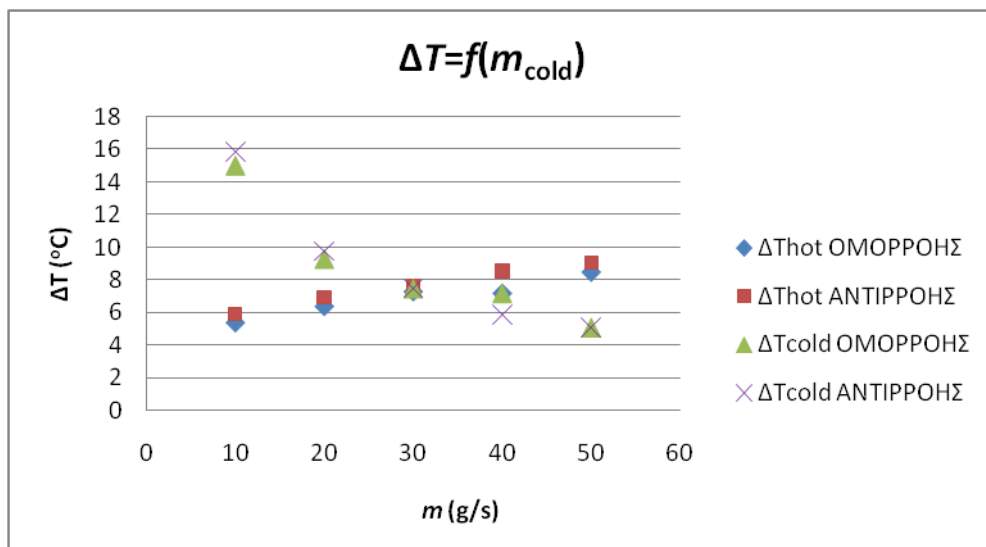
Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή παριστάνεται στο Σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13: Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.13, η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή του, μειώνεται και στις δυο περιπτώσεις ομορροής, αντιρροής. Οι τιμές αντιρροής είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές τις ομορροής. Αντίθετα, η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT του ψυχρού ρεύματος, αυξάνει και για στις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές αντιρροής σχεδόν ταυτίζονται με αυτές της ομορροής.

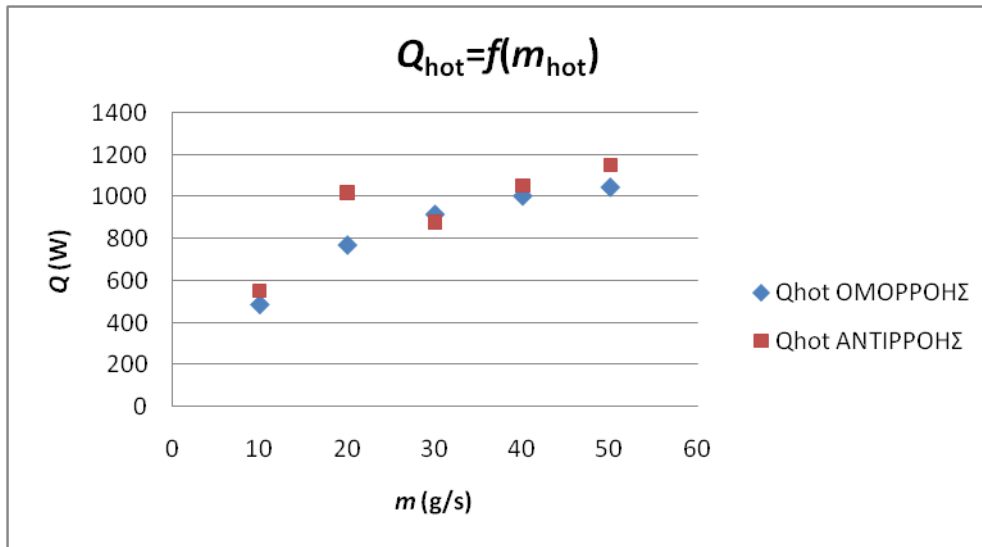
Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή παριστάνεται στο Σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Η αντίθετη μεταβολή, παρατηρείται στο Σχήμα 4.14, όταν μεταβάλλεται η ροή μάζας του ψυχρού ρεύματος. Οι τιμές αντιρροής είναι μεγαλύτερες από αυτές τις ομορροής στις αρχικές μετρήσεις και καταλήγουν ίδιες με τις ομορροής στην τελευταία. Η μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT ψυχρού ρεύματος, αυξάνει και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές αντιρροής σχεδόν ταυτίζονται με αυτές της ομορροής.

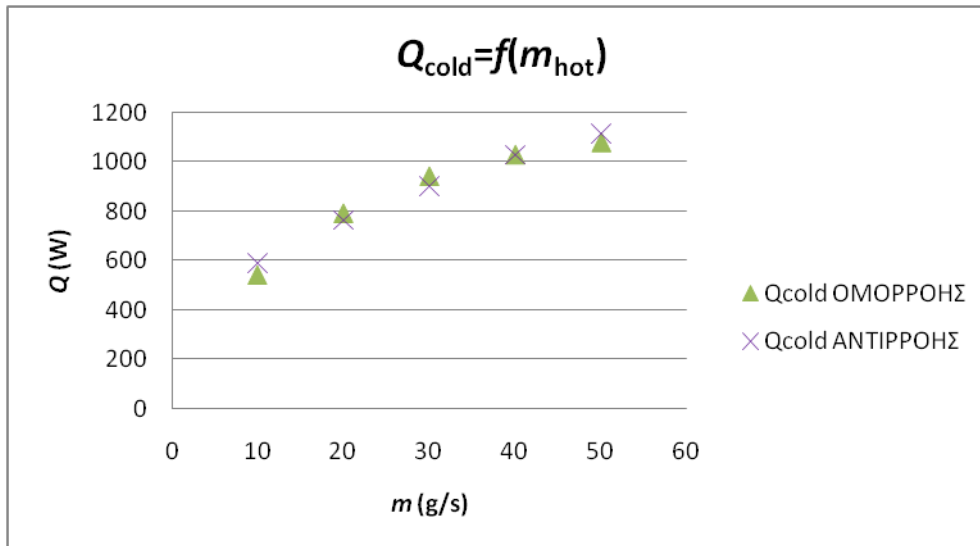
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.15.



Σχήμα 4.15 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.15, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας που απελευθερώνει το θερμό ρεύμα, αυξάνει με αύξηση της ροής μάζας του, και στις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Η τιμή της αντιρροής είναι λίγο μικρότερη από αυτή της ομορροής στη 4^η μέτρηση, γεγονός που αποδίδεται σε σφάλμα κατά τη μέτρηση, ενώ στις υπόλοιπες είναι μεγαλύτερη. Η 2^η μέτρηση αντιρροής αποκλίνει σημαντικά από τις υπόλοιπες, γεγονός, που επίσης, αποδίδεται σε σφάλματα μετρήσεων.

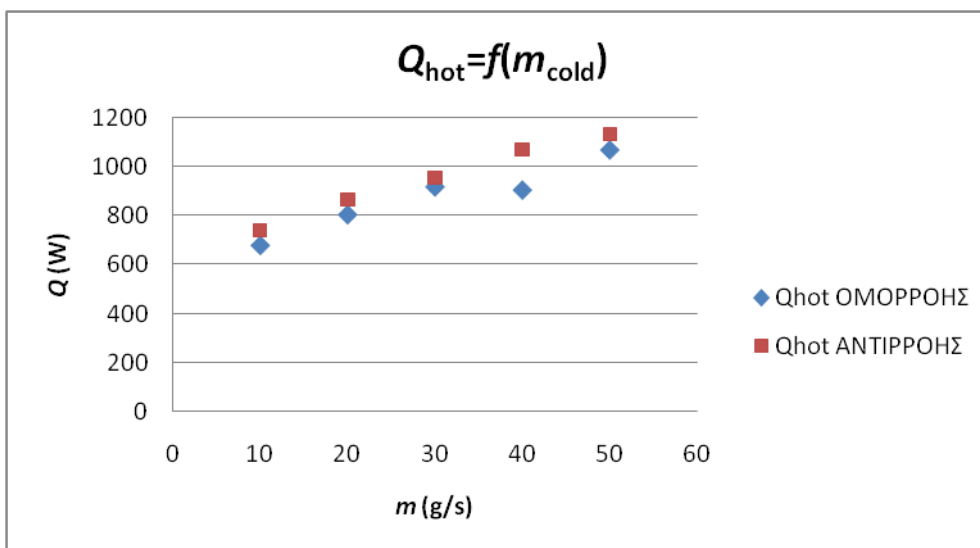
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.16 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Παρόμοια αύξηση του ποσού ροής θερμότητας, που προσλαμβάνει το ψυχρό ρεύμα, εμφανίζεται, όταν μεταβάλλεται η ροή μάζας του θερμού, με τις τιμές αντιρροής και ομορροής, σχεδόν να ταυτίζονται.

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.17.

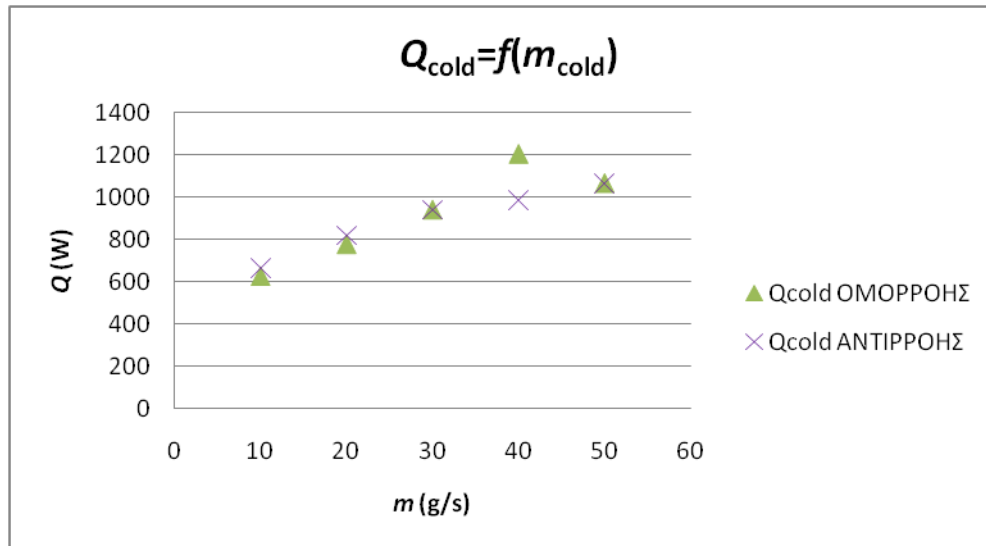


Σχήμα 4.17 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Από το Σχήμα 4.17, προκύπτουν αντίστοιχες παρατηρήσεις, για το ποσό θερμότητας που απελευθερώνει το θερμό ρεύμα, με αύξηση της ροής μάζας του ψυχρού, με τις τις τιμές

αντιρροής να είναι υψηλότερες της ομορροής, ως είναι αναμενόμενο, λόγω υψηλότερης μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς.

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή παριστάνεται στο Σχήμα 4.18.



Σχήμα 4.18 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.18, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα, αυξάνει και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές σχεδόν ταυτίζονται εκτός από την 4^η μέτρηση όπου η τιμή της ομορροής παρουσιάζεται αρκετά υψηλότερη, αποκλίνοντας από τις υπόλοιπες.

4.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ

Από τις μετρήσεις προκύπτουν δύο περιπτώσεις προς εξέταση: μεταβαλλόμενη ροή μάζας ψυχρού ρεύματος και μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού ρεύματος.

Από τη μέση θερμοκρασία των δύο ρευμάτων, όπως παρατίθεται στον Πίνακα 4.19, λαμβάνονται από Πίνακες ιδιοτήτων νερού, οι αναγκαίες ιδιότητες, όπως δίνονται στους Πίνακες 4.20 και 4.21.

Πίνακας 4.19. Μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος για μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού και ψυχρού ρεύματος αντίστοιχα.

ΟΜΟΡΡΟΗ	Σταθερό V _{cold} =30 g/s					Σταθερό V _{hot} =30 g/s				
Μέση θερμοκρασία hot	59.85	58.25	57.55	57.35	57	54.9	57.15	57.55	59.05	59.4
Μέση θερμοκρασία cold	28.85	25.5	23.9	22.95	22.5	22	23.3	23.9	24.45	24.55

Πίνακας 4.20 Οι ιδιότητες του νερού για το θερμό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	5.90E-07	5.6E-07	5.33E-07	5.25E-07	4.90E-07	4.61E-07	4.95E-07	4.8E-07	4.98E-07
C_p (kJ/kg·K)	4.186	4.185	4.185	4.185	4.185	4.184	4.185	4.185	4.186
Pr_f	3.8	3.52	3.4	3.3	3.2	2.85	3.1	3.02	3.18
k (W/m·k)	0.641	0.64	0.645	0.645	0.65	0.656	0.65	0.65	0.65
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	989	988	987	986	985	982	984	984	982

Πίνακας 4.21 Οι ιδιότητες του νερού για το ψυχρό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	9.5E-07	8.5E-07	8.1E-07	7.9E-07	7.9E-07	8.1E-07	8.2E-07	9.4E-07	9.5E-07	9.6E-07
C_p (kJ/kg·K)	4.181	4.182	4.183	4.183	4.183	4.183	4.183	4.183	4.182	4.182
Pr_f	6.22	6.02	5.62	5.54	5.4	5.6	6.1	6.2	6.2	6.6
k (W/m·k)	0.61	0.61	0.615	0.617	0.617	0.615	0.609	0.607	0.606	0.606
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	998	997	997	997	996	996	997	997	997	998

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την ομορροή παρατίθενται στον Πίνακα 4.22.

Πίνακας 4.22: Αποτελέσματα εναλλάκτη κελύφους – αυλών για ομορροή

	ΟΜΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΕΡΟ Vcold					ΟΜΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΕΡΟ Vhot				
Qh	452	686	778	820	921	540	653	778	892	954
Qc	552	728	803	866	941	544	719	803	903	983
η	122.09	106.01	103.16	105.56	102.23	100.75	110.20	103.16	101.33	102.99
η_h	26.34	21.35	16.80	13.54	11.80	11.81	14.29	16.80	18.83	20.05
η_c	10.73	15.10	17.34	19.06	20.11	35.71	23.63	17.34	14.32	12.40
ΔT_{lm}	32.82	30.87	30.16	29.91	30.97	26.83	28.95	30.16	31.03	31.35
U	899	1260	1424	1548	1625	1084	1329	1424	1557	1677
ΔT_{hot}	10.8	8.2	6.2	4.9	4.4	4.3	5.2	6.2	7.1	7.6
ΔT_{cold}	4.4	5.8	6.4	6.9	7.5	13	8.6	6.4	5.4	4.7
% U		40.14	12.96	8.72	4.99		22.57	7.15	9.35	7.69

Παρατηρείται, ότι ο βαθμός απόδοσης η , παρουσιάζει αρκετά μεγάλη διακύμανση μεταξύ των διαφόρων μετρήσεων, με αρκετές τιμές να υπερβαίνουν το 100%. Από τα αποτελέσματα αυτά, δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Σφάλματα μπορεί να οφείλονται σε έλλειψη θερμοκρασιακής ισορροπίας, κατά τη λήψη των μετρήσεων και εγκλωβισμένος αέρας, εντός των αυλών.

Αντιθέτως, οι θερμοκρασιακοί βαθμοί απόδοσης, η_h και η_c , ακολουθούν τις ίδιες μεταβολές όπως και στους προηγούμενους δύο εναλλάκτες.

Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} λαμβάνει παρόμοιες τιμές και στις δύο περιπτώσεις.

Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αυξάνει με αύξηση της παροχής, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό αύξησής του μειώνεται. Από τις μετρήσεις καθίσταται εμφανές, ότι η 4^η μέτρηση, υπό σταθερή ροή μάζας του ψυχρού, είναι εσφαλμένη.

Οι παρατηρήσεις για τα υπόλοιπα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω από τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Για την αντιρροή, η μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος δίνεται στον Πίνακα 4.23. Με βάση αυτές τις θερμοκρασίες λαμβάνονται από πίνακες οι τιμές για τις ιδιότητες

του νερού. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στους Πίνακες 4.24 και 4.25 για θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.23. Μέση θερμοκρασία θερμού και ψυχρού ρεύματος για μεταβαλλόμενο θερμό και ψυχρό ρεύμα αντίστοιχα.

ΑΝΤΙΠΡΟΗ	Σταθερό Vcold=30 g/s					Σταθερό Vhot=30 g/s				
Μέση θερμοκρασία hot	60.3	58.95	58.6	58.05	57.4	55.65	57.5	58.6	59.35	59.6
Μέση θερμοκρασία cold	34	31.25	29.6	28.05	25.8	24.8	26.1	29.6	27.1	27.4

Πίνακας 4.24 Οι ιδιότητες του νερού για το θερμό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	6.01E-07	5.85E-07	5.38E-07	5.4E-07	5.38E-07	5.05E-07	5.36E-07	5.6E-07	5.6E-07	6.01E-07
C_p (kJ/kg·K)	4.186	4.186	4.185	4.185	4.185	4.185	4.185	4.185	4.186	4.186
Pr_f	3.57	3.8	3.4	3.3	3.4	3.18	3.43	3.57	3.57	3.57
k (W/m·k)	0.637	0.64	0.645	0.645	0.645	0.65	0.645	0.648	0.648	0.637
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	990	989	987	987	987	984	987	989	989	990

Πίνακας 4.25 Οι ιδιότητες του νερού για το ψυχρό ρεύμα.

Ιξώδες ν (m ² /s)	9.1E-07	8.6E-07	8.1E-07	8E-07	8.0E-07	7.5E-07	7.9E-07	8.3E-07	8.4E-07	8.9E-07
C_p (kJ/kg·K)	4.181	4.181	4.181	4.181	4.182	4.182	4.182	4.181	4.182	4.182
Pr_f	6.1	5.83	5.53	5.5	5.5	4.7	5.3	5.6	5.8	6
k (W/m·k)	0.609	0.613	0.616	0.616	0.616	0.62	0.619	0.617	0.613	0.61
ρ πυκνότητα (kg/m ³)	998	997	998	998	997	995	997	998	997	998

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την ομορορή παρατίθενται στον Πίνακα 4.26.

Πίνακας 4.26 Αποτελέσματα εναλλάκτη κελύφους – αυλών για αντιρροή

	ΑΝΤΙΠΡΟΗ ΣΤΑΘΕΡΟ Vcold					ΑΝΤΙΠΡΟΗ ΣΤΑΘΕΡΟ Vhot				
Qh	507	829	879	1657	1214	653	766	879	942	1005
Qc	552	778	941	778	953	556	811	941	1020	1066
η	109%	94%	107%	47%	79%	85%	106%	107%	108%	106%
ηh	28.88	24.03	17.86	24.03	14.95	12.71	15.21	17.86	19.48	20.89
ηc	10.50	15.05	19.13	15.05	19.59	32.52	24.19	19.13	15.84	13.32
ΔT _{lm}	33.50	33.12	31.95	33.12	32.09	31.48	32.17	31.95	31.69	31.73
U	881	1256	1575	1256	1589	945	1349	1575	1722	1797
ΔT _{hot}	12.1	9.9	7	9.9	5.8	5.2	6.1	7	7.5	8
ΔT _{cold}	4.4	6.2	7.5	6.2	7.6	13.3	9.7	7.5	6.1	5.1
% U		42.56	25.39	-20.24	26.51		42.72	16.75	9.33	4.40

Παρατηρείται, ότι ο βαθμός απόδοσης η, παρουσιάζει αρκετά μεγάλη διακύμανση μεταξύ των διαφόρων μετρήσεων, με αρκετές τιμές να υπερβαίνουν το 100%. Από τα αποτελέσματα αυτά, δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Σφάλματα μπορεί να οφείλονται σε έλλειψη θερμοκρασιακής ισορροπίας, κατά τη λήψη των μετρήσεων και εγκλωβισμένος αέρας, εντός των αυλών.

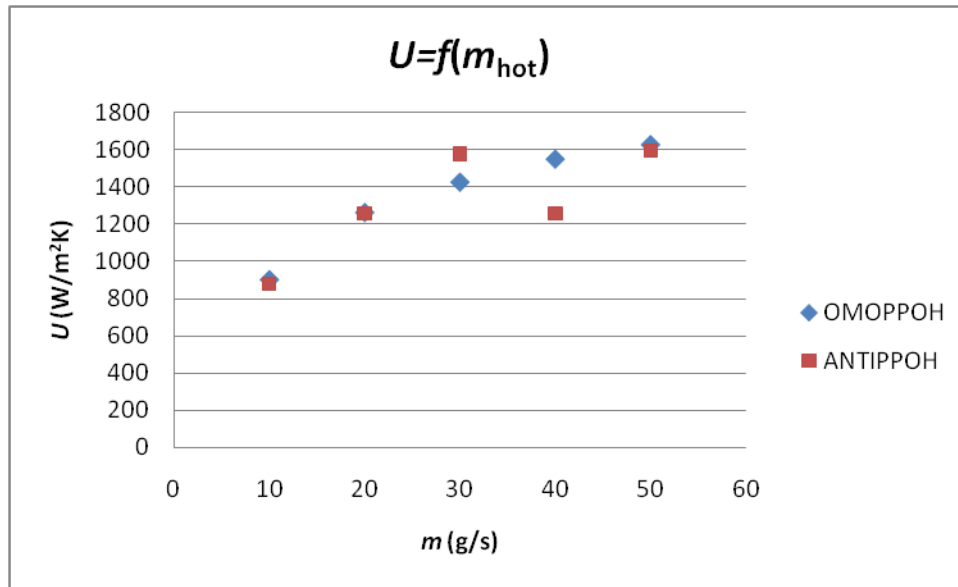
Αντιθέτως, οι θερμοκρασιακοί βαθμοί απόδοσης, ηh και ηc, ακολουθούν τις ίδιες μεταβολές όπως και στους προηγούμενους δύο εναλλάκτες.

Η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{lm} λαμβάνει παρόμοιες τιμές και στις δύο περιπτώσεις.

Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αυξάνει με αύξηση της παροχής, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό αύξησής του μειώνεται. Από τις μετρήσεις καθίσταται εμφανές, ότι η 4^η μέτρηση, υπό σταθερή ροή μάζας του ψυχρού, είναι εσφαλμένη.

Οι παρατηρήσεις για τα υπόλοιπα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω από τα αντίστοιχα διαγράμματα.

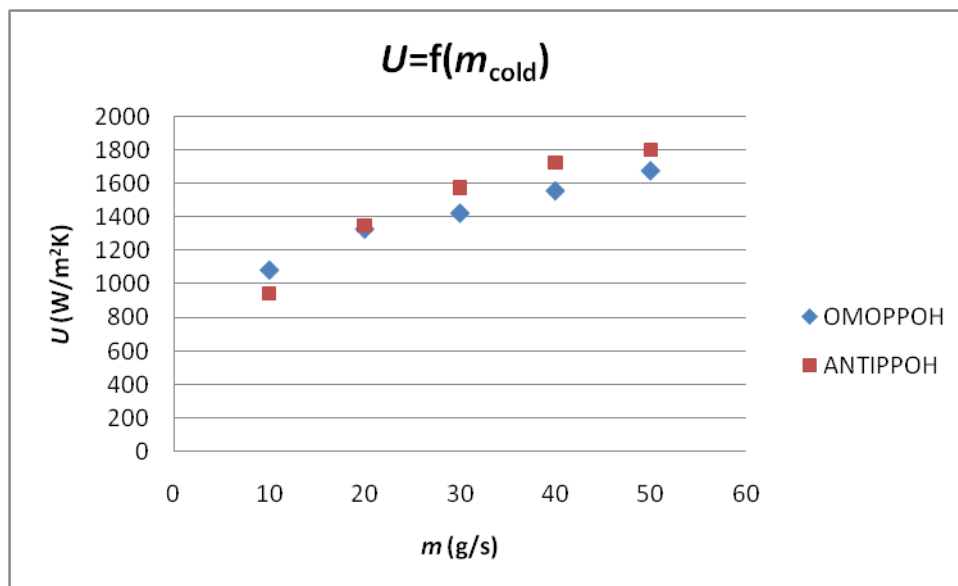
Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορορή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.19.



Σχήμα 4.19 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.19, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U , για το μεταβαλλόμενο θερμό ρεύμα μειώνεται, και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι τιμές σχεδόν ταυτίζονται, εκτός από την 3^η και 4^η μέτρηση.

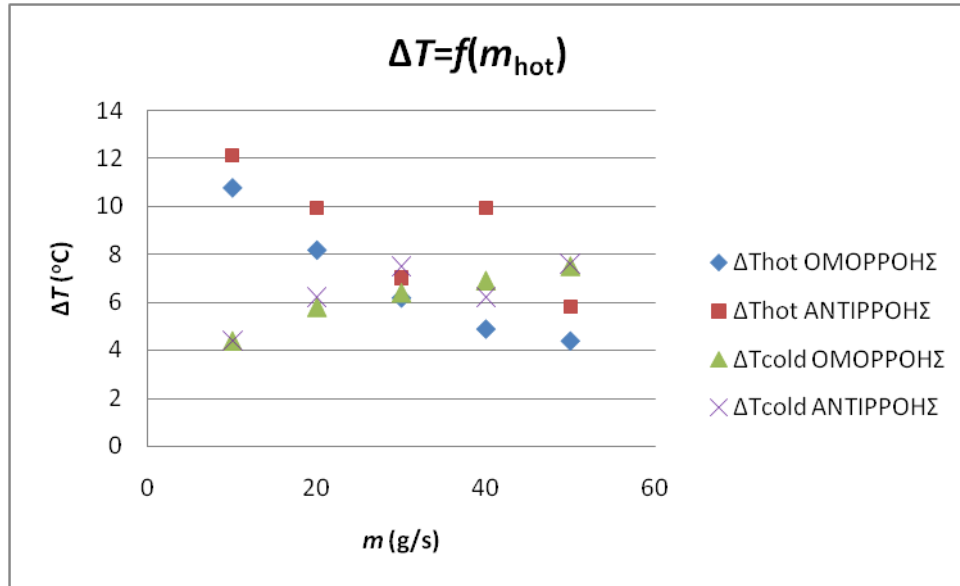
Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.20.



Σχήμα 4.20 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

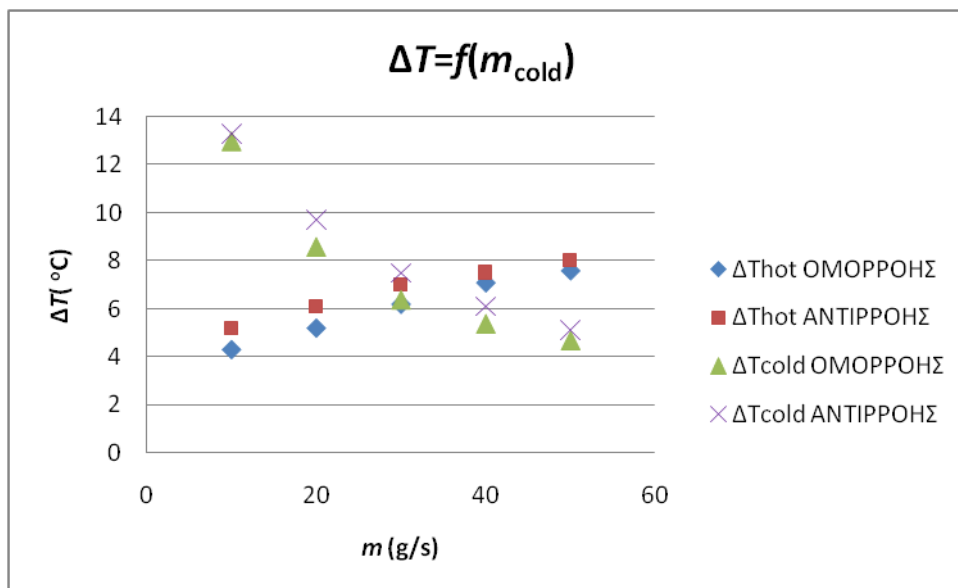
Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.20, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U , για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα αυξάνεται, και για τις δύο περιπτώσεις, ομορροής και αντιρροής. Οι διαφοροποιήσεις στις τιμές αποδίδονται σε σφάλματα.

Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται Σχήμα 4.21.



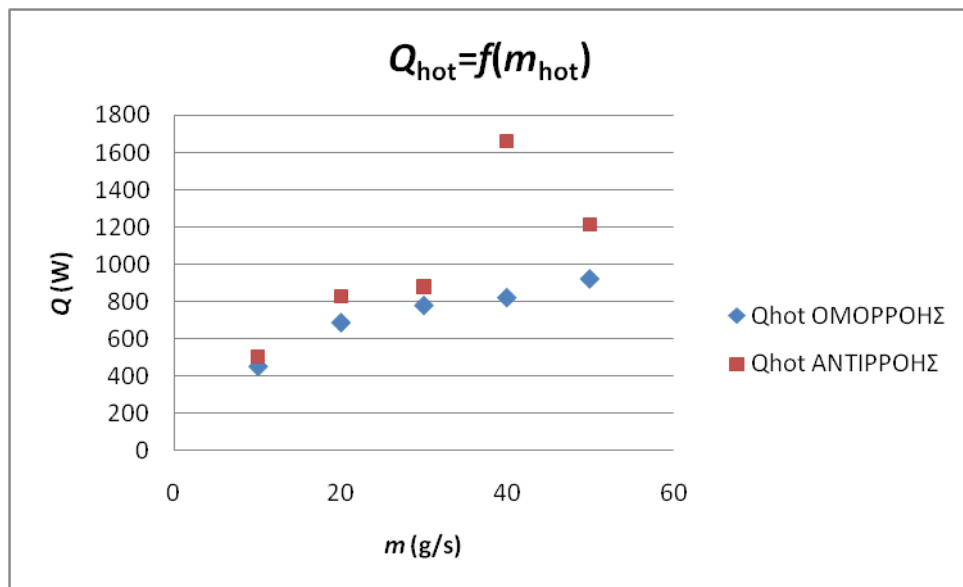
Σχήμα 4.21 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.22.



Σχήμα 4.22 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

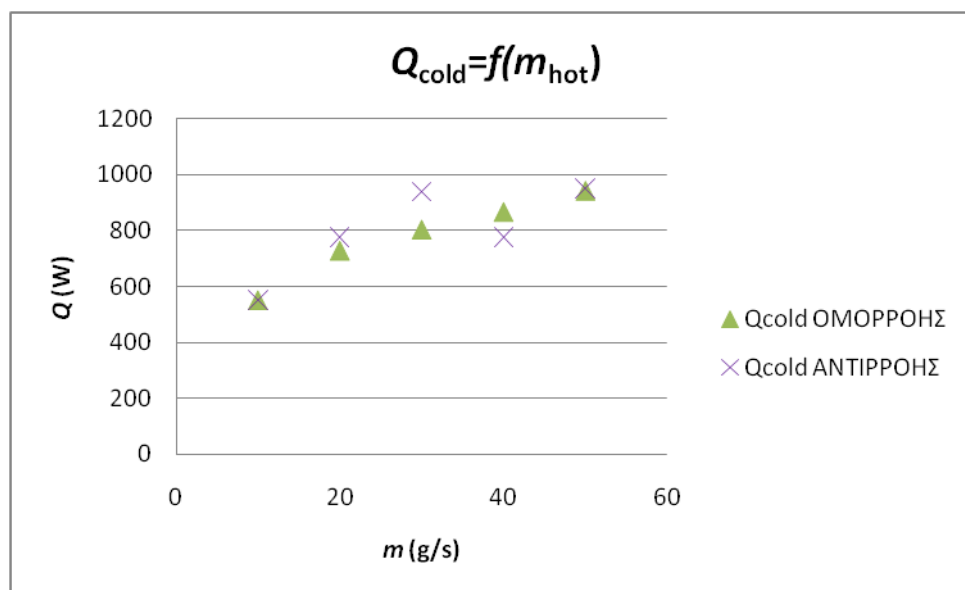
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.23.



Σχήμα 4.23 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

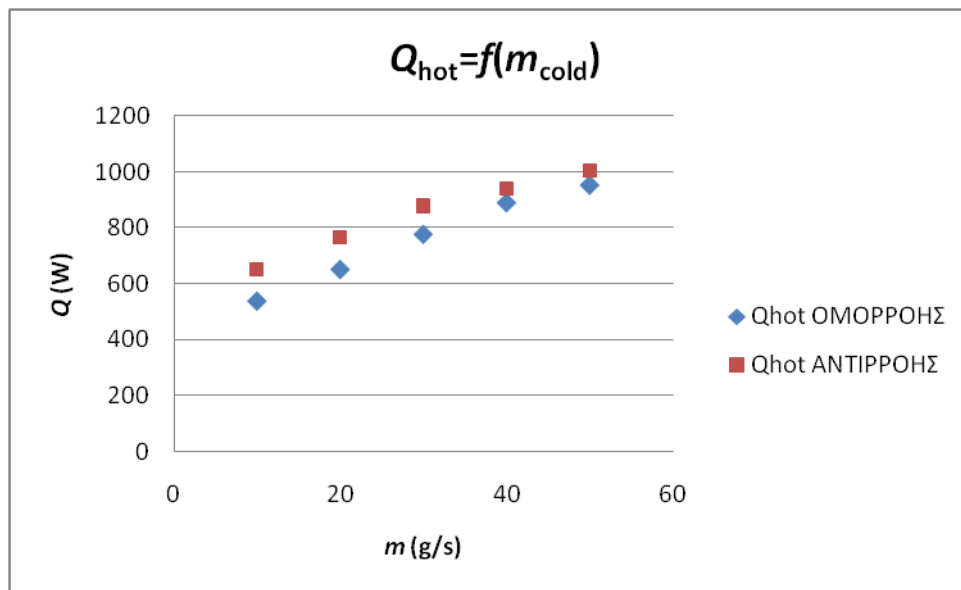
Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.23, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας είναι μεγαλύτερο στην αντιρροή, όπως είναι αναμενόμενο. Η 4^η μέτρηση είναι εμφανώς εσφαλμένη.

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.24.



Σχήμα 4.24 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

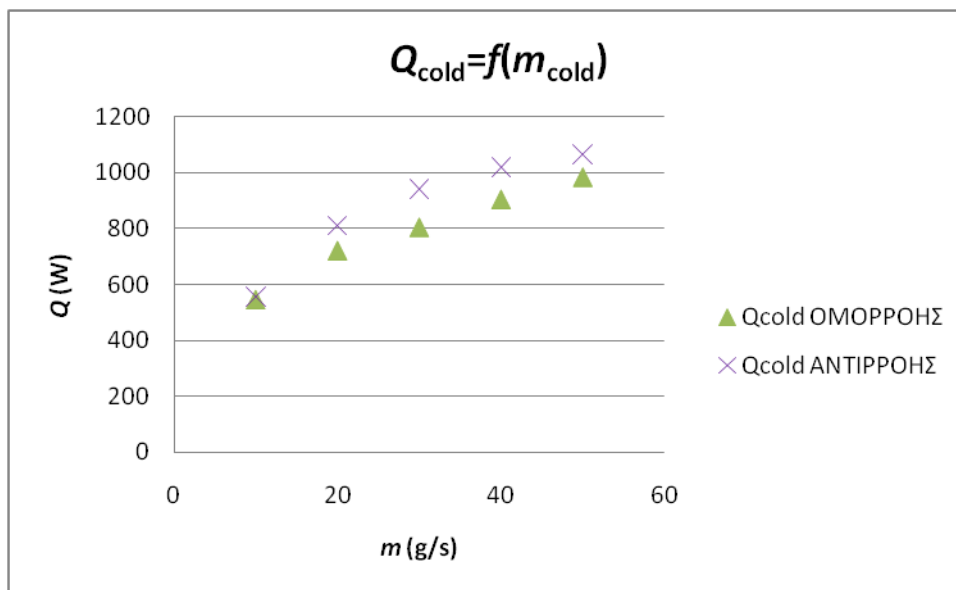
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.25.



Σχήμα 4.25 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.25, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας είναι μεγαλύτερο στην αντιρροή, όπως είναι αναμενόμενο, λόγω μεγαλύτερης μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς.

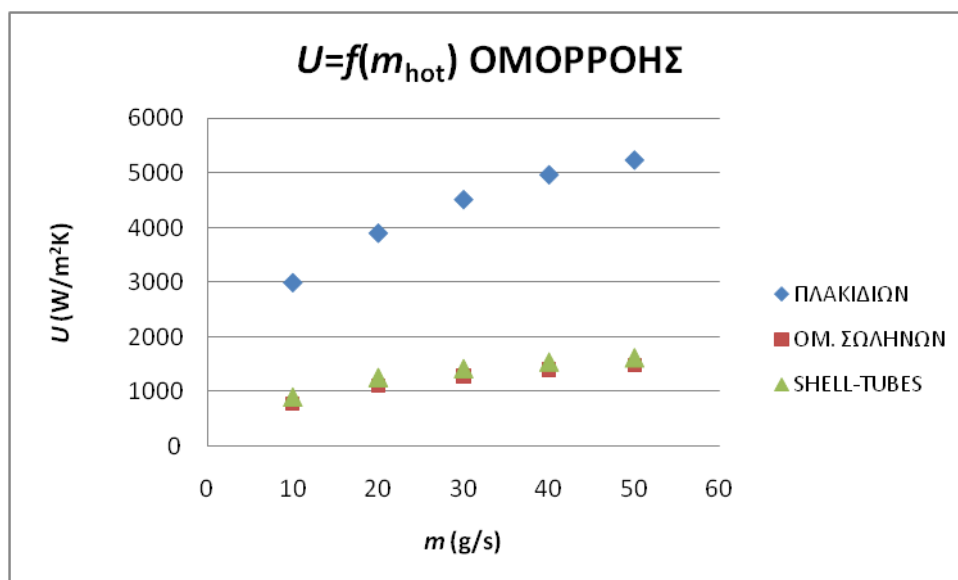
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή φαίνεται στο Σχήμα 4.26.



Σχήμα 4.26 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή και αντιρροή.

4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.27.

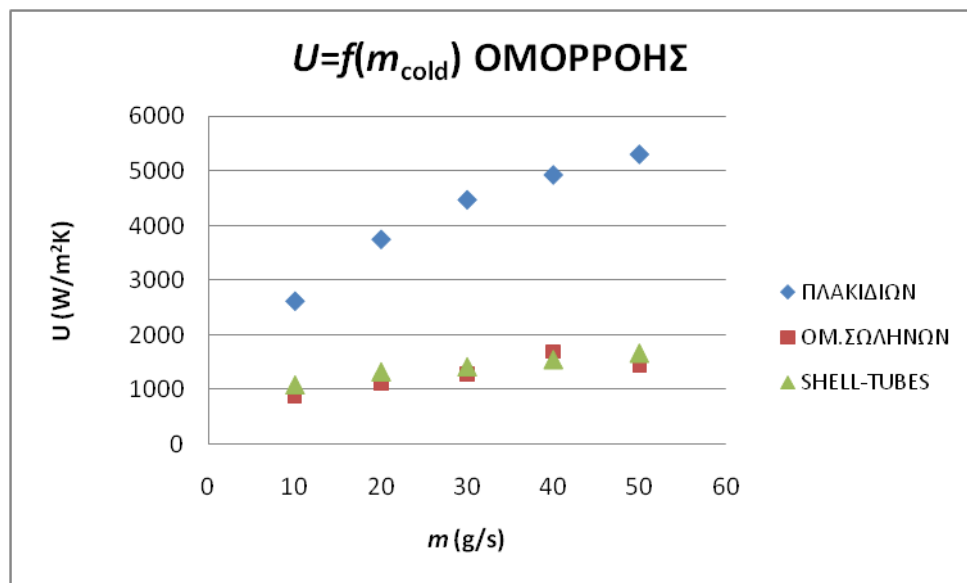


Σχήμα 4.27 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.27, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U ομορροής, για μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού ρεύματος, αυξάνει με αύξηση της ροής για

όλα τα είδη εναλλακτών. Οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες για τον εναλλάκτη πλακιδίων, ενώ παρόμοιες για τους εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων και κελύφους – αυλών.

Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.28.

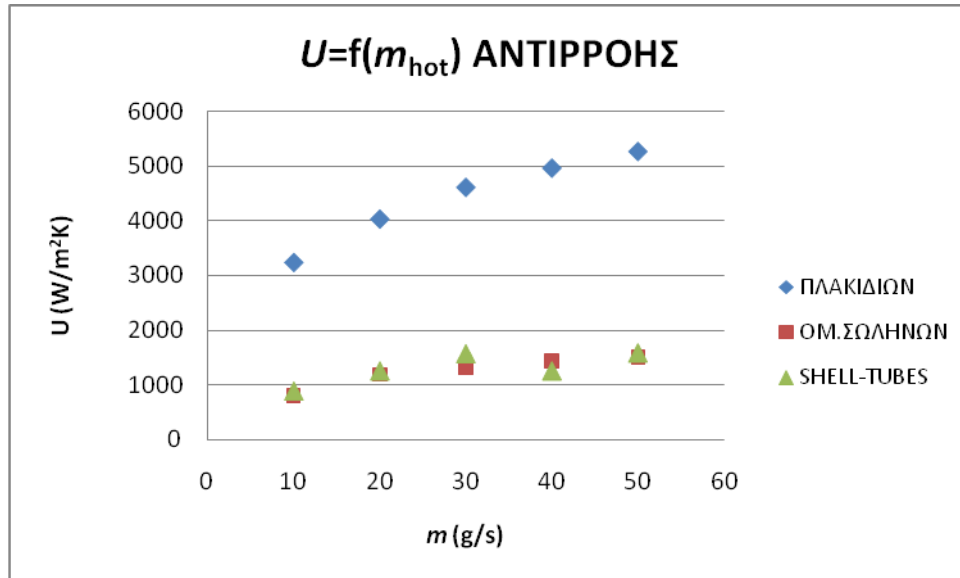


Σχήμα 4.28 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Αντίστοιχες παρατηρήσεις, ισχύουν και σε αυτήν την περίπτωση, όπως ακριβώς παραπάνω.

4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΠΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.29.

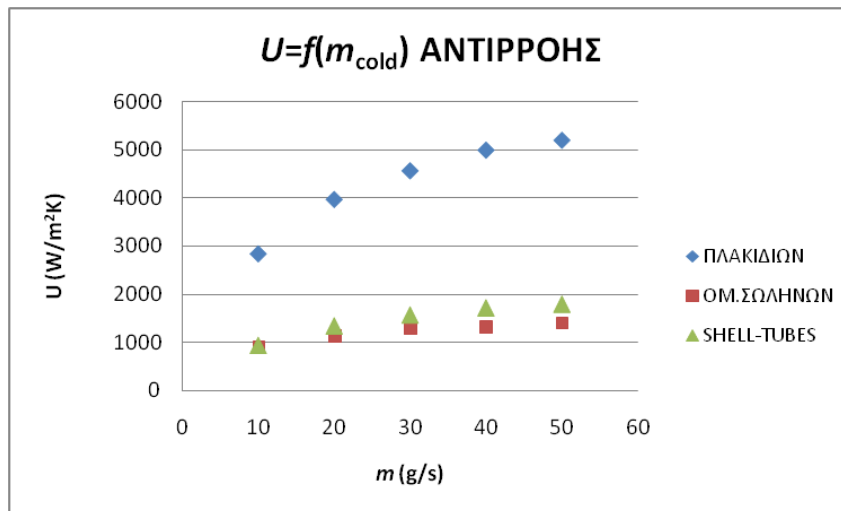


Σχήμα 4.29 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.29, ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U αντιρροής, για μεταβαλλόμενη ροή μάζας θερμού ρεύματος, είναι αυξανόμενες σε όλα τα είδη εναλλακτών, που μελετήθηκαν. Ιδιαίτερα μεγαλύτερος, παρουσιάζεται στον εναλλάκτη πλακιδίων, ενώ οι τιμές στους υπόλοιπους δύο εναλλάκτες (ομόκεντρων σωλήνων και κελύφους – αυλών) ταυτίζονται. Επισημαίνεται, ότι οι τιμές U , μεταξύ ομορροής και αντιρροής είναι παρόμοιες, γεγονός που ήταν αναμενόμενο.

Η σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.30.

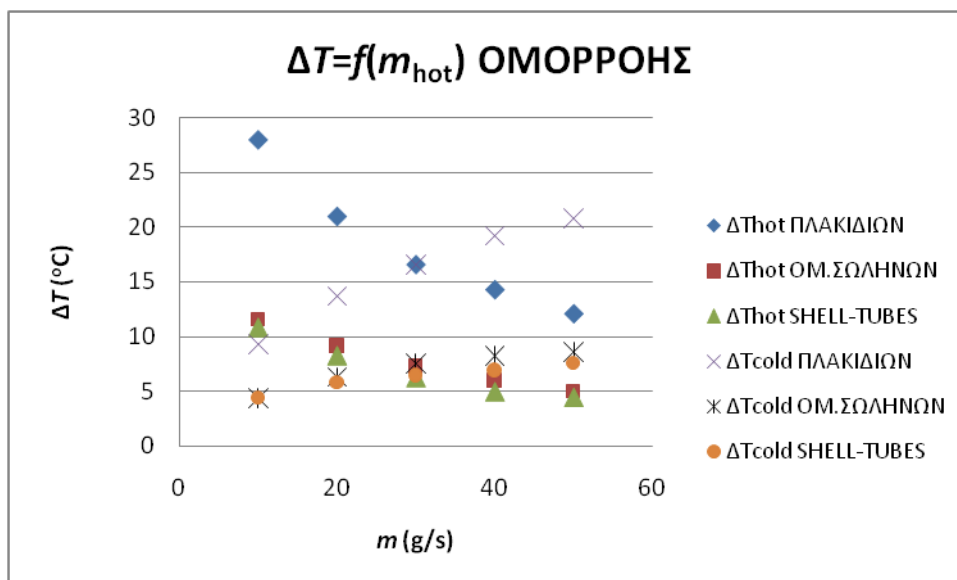
Αντίστοιχες παρατηρήσεις ισχύουν για την αντιρροή με μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος. Σε αυτό το διάγραμμα, παρατηρούνται, λίγο μεγαλύτερες τιμές του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας στον εναλλάκτη κελύφους – αυλών, απ'ότι στον εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων.



Σχήμα 4.30 Σύγκριση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΟΜΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.31.

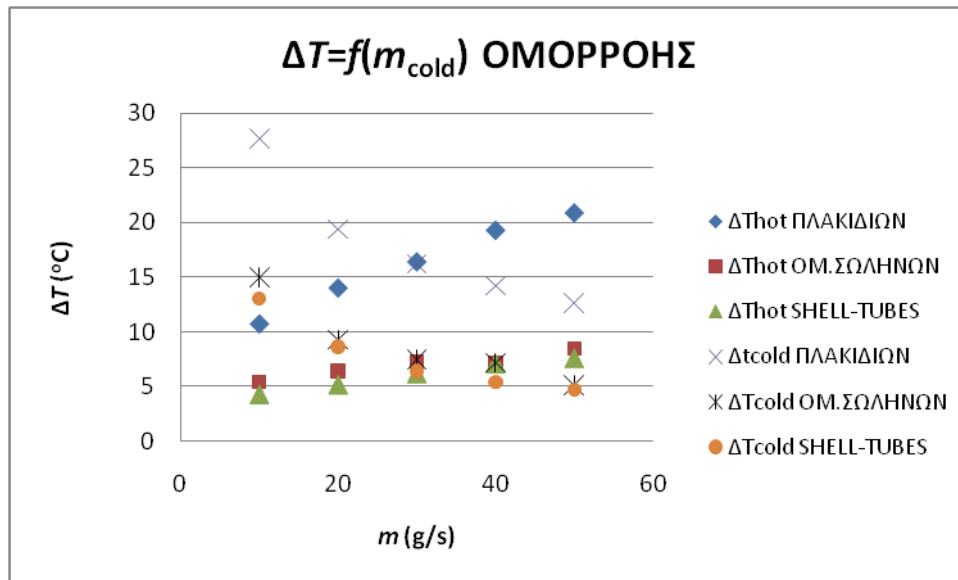


Σχήμα 4.31 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.31, η τάση μεταβολής της θερμοκρασίας με μεταβολή της ροής μάζας είναι η ίδια για όλα τα είδη εναλλακτών. Οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες για τον εναλλάκτη πλακιδίων, σε σύγκριση με τους άλλους δύο εναλλάκτες και για τα δύο ρεύματα

(ψυχρό – θερμό). Αντίθετα, οι τιμές ΔT ομόκεντρων σωλήνων και κελύφους – αυλών σχεδόν ταυτίζονται.

Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.32.

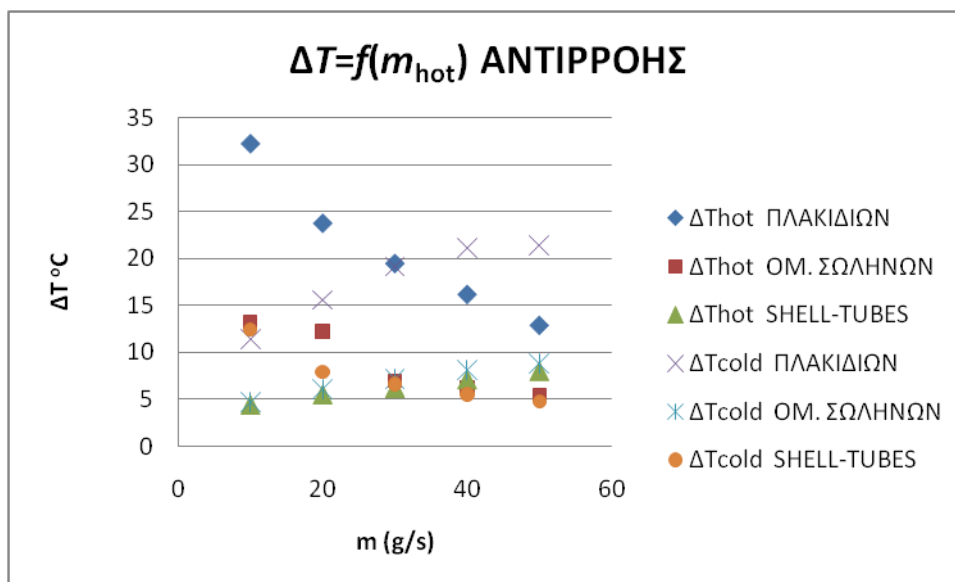


Σχήμα 4.32 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για την περίπτωση, που μεταβάλλεται η ροή μάζας του ψυχρού ρεύματος.

4.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΝΤΙΠΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

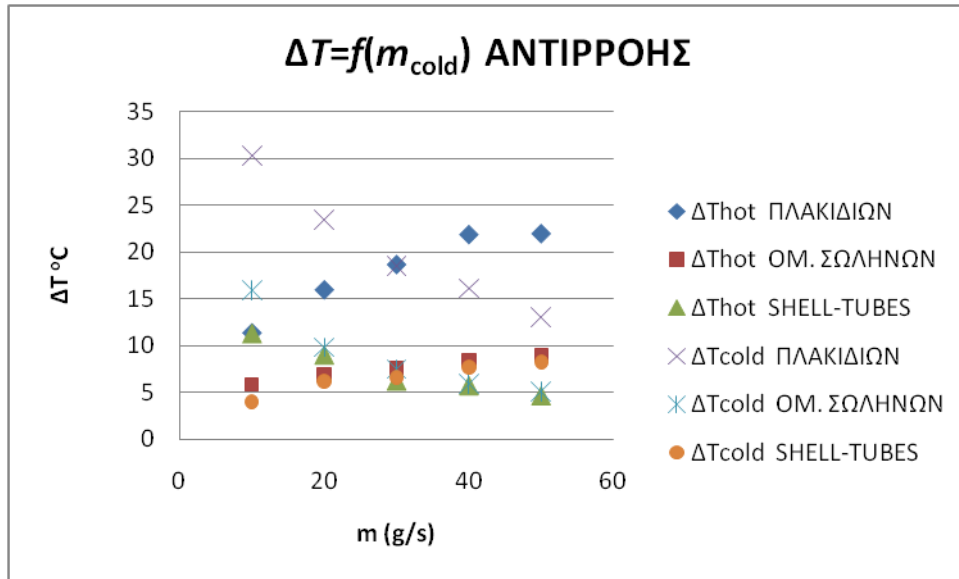
Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.33.



Σχήμα 4.33 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.33, η τάση μεταβολής της θερμοκρασίας με μεταβολή της ροής μάζας είναι η ίδια για όλα τα είδη εναλλακτών. Οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες για τον εναλλάκτη πλακιδίων, σε σύγκριση με τους άλλους δύο εναλλάκτες και για τα δύο ρεύματα (ψυχρό – θερμό). Αντίθετα, οι τιμές ΔT ομόκεντρων σωλήνων και κελύφους – αυλών σχεδόν ταυτίζονται.

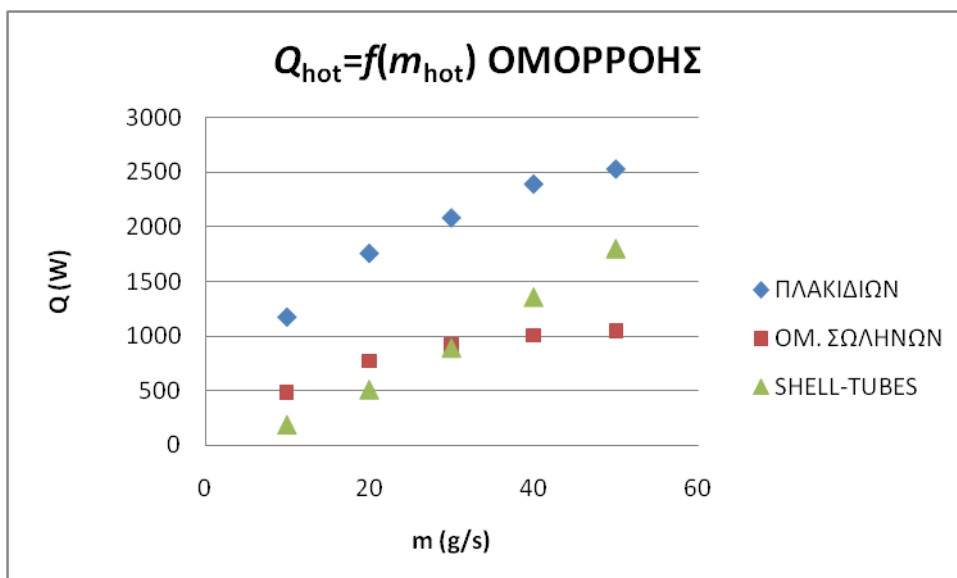
Η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.34, όπου ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις με παραπάνω.



Σχήμα 4.34 Σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

4.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΠΟΣΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.35.

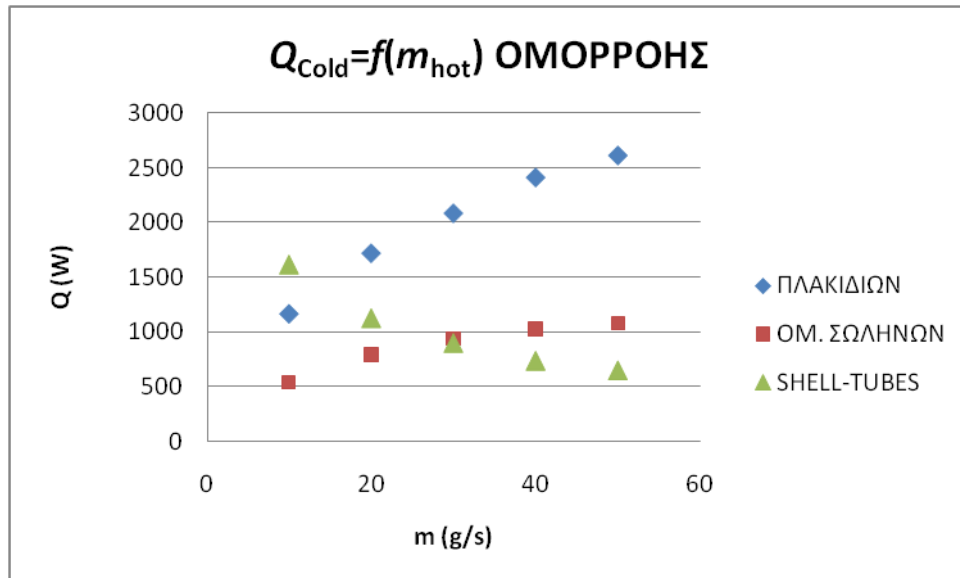


Σχήμα 4.35: Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.35, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας από το θερμό ρεύμα, αυξάνει σε όλους τους εναλλάκτες, με αύξηση της παροχής. Η τιμή είναι μεγαλύτερη

για τον εναλλάκτη πλακιδίων, ενώ για τον εναλλάκτη κελύφους – αυλών, παρουσιάζεται σχεδόν γραμμική, για το εξεταζόμενο εύρος παροχών.

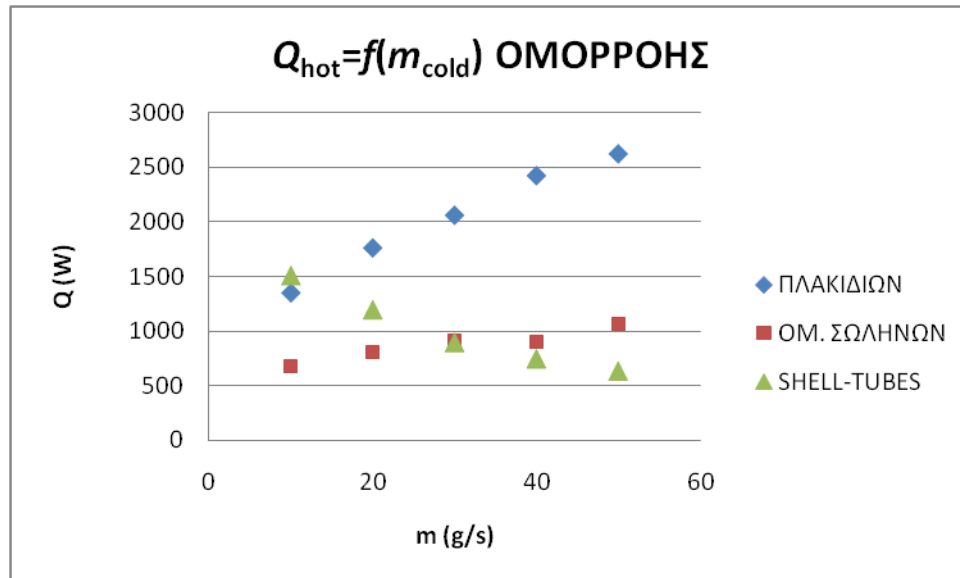
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.36.



Σχήμα 4.36 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.36, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, μειώνεται στον εναλλάκτη κελύφους-αυλών και αυξάνεται στους άλλους δυο, με αύξηση της ροής μάζας του θερμού ρεύματος. Σημειώνεται, ότι το θερμό ρεύμα κυκλοφορούσε στους αυλούς κατά τα πειράματα.

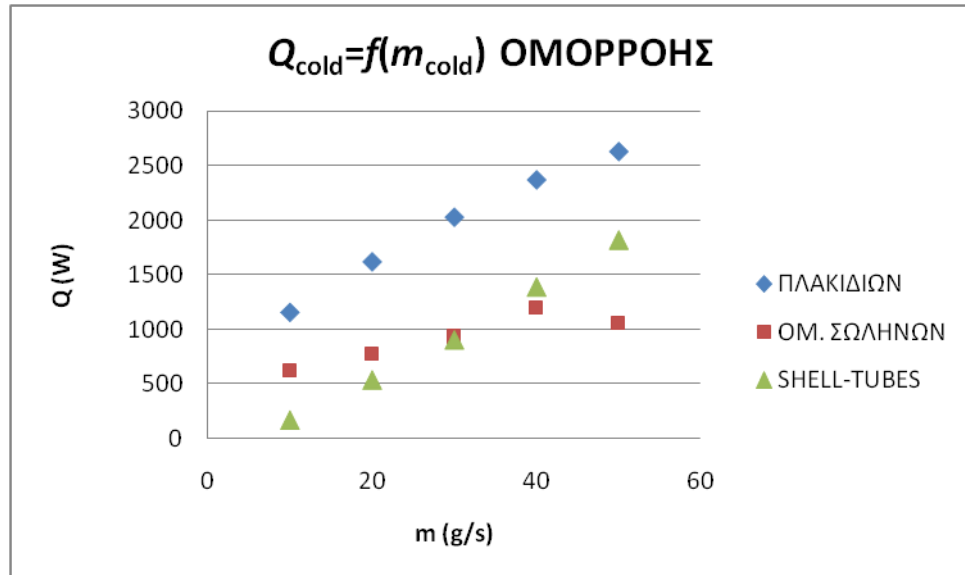
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.37.



Σχήμα 4.37 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Ισχύουν, οι ίδιες παρατηρήσεις, όπως και παραπάνω.

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.38.

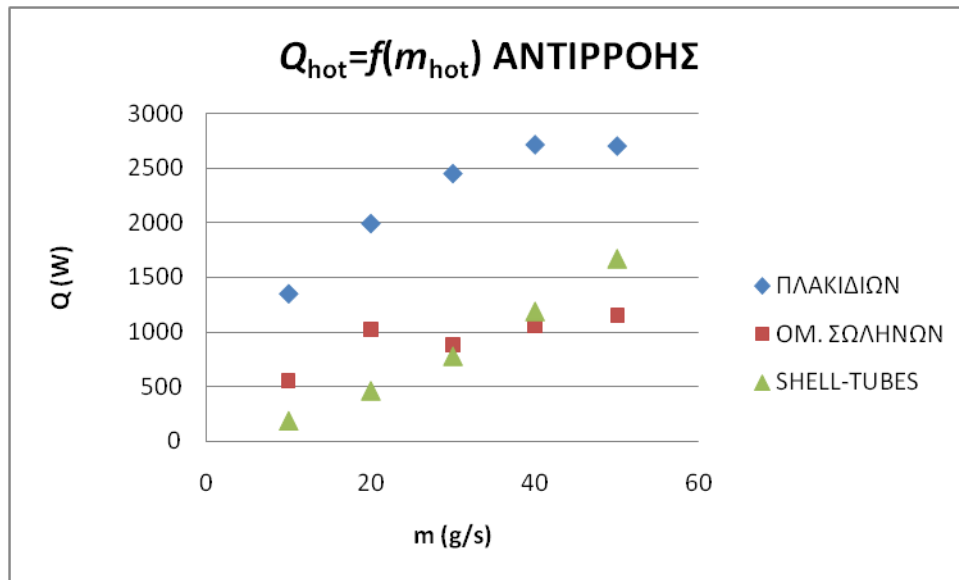


Σχήμα 4.38 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε ομορροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.38, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα, αυξάνει σε όλους τους εναλλάκτες, με αύξηση της ροής μάζας του ψυχρού ρεύματος. Οι τιμές είναι μεγαλύτερες για τον εναλλάκτη πλακιδίων.

4.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΠΟΣΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΙΠΡΟΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

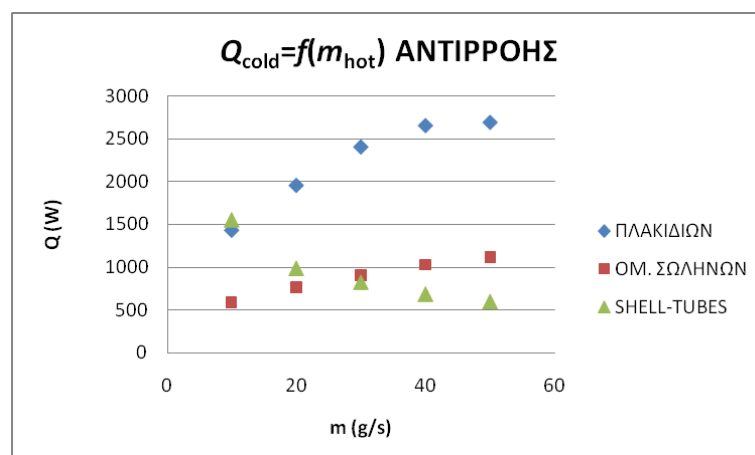
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.39.



Σχήμα 4.39 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.39, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του θερμού ρεύματος, για το μεταβαλλόμενο θερμό ρεύμα, αυξάνεται σε όλους τους εναλλάκτες. Οι τιμές είναι μεγαλύτερες για τον εναλλάκτη πλακιδίων.

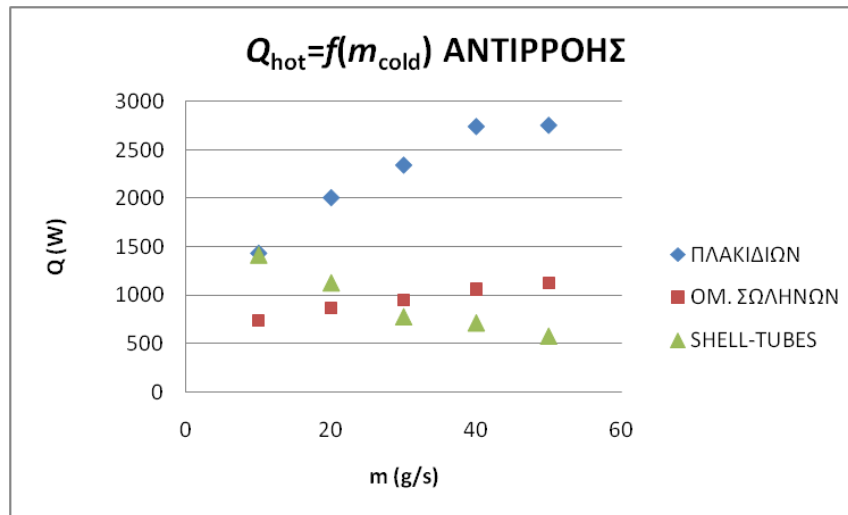
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.40.



Σχήμα 4.40 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή θερμού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.40, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για το μεταβαλλόμενο θερμό ρεύμα, μειώνεται στον εναλλάκτη κελύφους-αυλών και αυξάνει στους άλλους δυο, με αύξηση της παροχής. Η τιμή είναι μεγαλύτερη για τον εναλλάκτη πλακιδίων

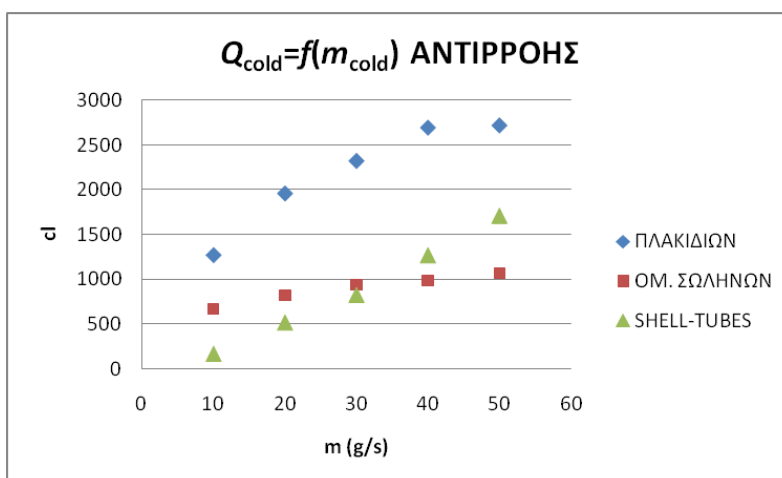
Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.41.



Σχήμα 4.41 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του θερμού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.41, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του θερμού ρεύματος, για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα, μειώνεται στον εναλλάκτη κελύφους-αυλών και αυξάνεται στους άλλους δυο. Η τιμή είναι μεγαλύτερη για τον εναλλάκτη πλακιδίων

Η σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών φαίνεται στο Σχήμα 4.42.



Σχήμα 4.42 Σύγκριση του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για μεταβαλλόμενη παροχή ψυχρού ρεύματος, σε αντιρροή των διαφορετικών εναλλακτών.

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4.42, το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας του ψυχρού ρεύματος, για το μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα, αυξάνει σε όλους τους εναλλάκτες. Η τιμή είναι μεγαλύτερη για τον εναλλάκτη πλακιδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στην παρούσα διπλωματική ορίσαμε τους εναλλάκτες θερμότητας και τους κατατάξαμε ανάλογα με τη μορφή συναλλαγής θερμότητας, δηλαδή ανάκτηση θερμότητας, αναγέννηση και άμεση επαφή, τη διευθέτηση ροής, δηλαδή ομορροή και αντιρροή, και την κατασκευή-γεωμετρία, δηλαδή ομόκεντρων σωλήνων, κελύφους-αυλών και πλακιδίων.

Περιγράψαμε αναλυτικά τους εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων, κελύφους-αυλών και πλακιδίων, αναφερθήκαμε στις εφαρμογές τους.

Εξηγήσαμε τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας ο οποίος αποτελεί κριτήριο για την αποδοτικότητα ενός εναλλάκτη και περιγράψαμε τις μεθόδους ανάλυσης των εναλλακτών θερμότητας, δηλαδή τη μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά και τη μέθοδο αποτελεσματικότητας-αριθμού μονάδων μεταφοράς. Επίσης αναφέραμε πότε εφαρμόζεται η κάθε μία. Τέλος κάναμε αναφορά στον κανόνα θερμιδομετρίας.

Περιγράψαμε την πειραματική συσκευή στην οποία έγιναν οι μετρήσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς των εναλλακτών.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τρεις διαφορετικούς εναλλάκτες θερμότητας, ομόκεντρων σωλήνων, πλακιδίων και κελύφους-αυλών, για τις δυο διευθετήσεις ροής, ομορροή και αντιρροή, και για δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα ρευστού, θερμό και ψυχρό.

Παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα και τη σύγκριση των δυο διευθετήσεων ροής, ομορροής και αντιρροής, για κάθε μεταβαλλόμενο ρεύμα, για κάθε εναλλάκτη μέσω των διαγραμμάτων του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , της διαφοράς θερμοκρασίας θερμού και ψυχρού ρεύματος ΔT και του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας για το θερμό και το ψυχρό ρεύμα.

Επίσης, κάναμε σύγκριση ομορροής μεταξύ διαφορετικών εναλλακτών θερμότητας όπως και σύγκριση της αντιρροής μεταξύ διαφορετικών εναλλακτών θερμότητας.

Η σύγκριση μας οδήγησε σε συμπεράσματα για το ποιος εναλλάκτης και ποια διεύθυνση ροής είναι πιο αποδοτικά.

5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα εξαγόμενα συμπεράσματα για τη διαμόρφωση της ροής στον εναλλάκτη πλακιδίων είναι ότι στην περίπτωση της αντιρροής, ο εναλλάκτης είναι ελαφρώς πιο αποδοτικός όσον αφορά στο μεταφερόμενο ποσό θερμότητας Q και στις διαφορές θερμοκρασίας ΔT , θερμού και ψυχρού ρεύματος και για τα δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα. Όσον αφορά στο συνολικό

συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , η απόδοση είναι ίδια για ομορροή και αντιρροή, και για τα δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα.

Τα εξαγόμενα συμπεράσματα για τη διαμόρφωση της ροής στον εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων είναι ότι και στις δυο περιπτώσεις ομορροής και αντιρροής, ο εναλλάκτης εμφανίζει σχεδόν ταυτόσημες τιμές όσον αφορά στο μεταφερόμενο ποσό θερμότητας Q , στις διαφορές θερμοκρασίας ΔT , θερμού και ψυχρού ρεύματος και για τα δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα και στο συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U . Οι τιμές εμφανίζονται ελαφρώς μεγαλύτερες για την περίπτωση αντιρροής.

Τα εξαγόμενα συμπεράσματα για τη διαμόρφωση της ροής στον εναλλάκτη κελύφους αυλών είναι ότι και στην περίπτωση της αντιρροής, ο εναλλάκτης είναι ελαφρώς πιο αποδοτικός όσον αφορά στο μεταφερόμενο ποσό θερμότητας Q , στις διαφορές θερμοκρασίας ΔT , θερμού και ψυχρού ρεύματος και για τα δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα.

Τα εξαγόμενα συμπεράσματα από τη σύγκριση των εναλλακτών για την ομορροή είναι ότι ο εναλλάκτης πλακιδίων είναι ο πιο αποδοτικός όσον αφορά στο μεταφερόμενο ποσό θερμότητας Q , στις διαφορές θερμοκρασίας ΔT , θερμού και ψυχρού ρεύματος, και στο συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , και για τα δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα.

Τα εξαγόμενα συμπεράσματα από τη σύγκριση των εναλλακτών για την αντιρροή είναι ότι ο εναλλάκτης πλακιδίων είναι, όπως και στην ομορροή, ο πιο αποδοτικός όσον αφορά στο μεταφερόμενο ποσό θερμότητας Q , στις διαφορές θερμοκρασίας ΔT , θερμού και ψυχρού ρεύματος, και στο συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , και για τα δυο μεταβαλλόμενα ρεύματα.

Ο εναλλάκτης κελύφους-αυλών είναι, επίσης, πιο αποδοτικός στις περιπτώσεις που η διαφορά θερμοκρασίας και το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας αφορούν το μεταβαλλόμενο ρεύμα ίδιας θερμοκρασίας, δηλαδή ΔT και Q ψυχρού ρεύματος για μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα, και στο συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για μεταβαλλόμενο ψυχρό ρεύμα, από τον εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων, ο οποίος είναι πιο αποδοτικός στις υπόλοιπες περιπτώσεις.

5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Η απόδοση των εναλλακτών θερμότητας, όπως υπολογίστηκε προϋποθέτει ότι οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας, είναι καθαρές, χωρίς αποθέσεις και σκουριά. Όταν υπάρχουν επιφανειακές αποθέσεις, τότε η θερμική αντίσταση αυξάνει, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η απόδοση. Αυτή η επιπρόσθετη αντίσταση, συχνά εκφράζεται με τη μορφή κάποιου *συντελεστή ρύπανσης*, ο οποίος πρέπει να συμπεριλαμβάνεται μαζί με τις άλλες θερμικές αντιστάσεις, στον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Οι συντελεστές ρύπανσης θα μπορούσαν να υπολογιστούν πειραματικά, δοκιμάζοντας τον εναλλάκτη κάτω από διάφορες συνθήκες (καθαρές επιφάνειες και επιφάνειες με αποθέσεις).

Επίσης σε αυτούς τους εναλλάκτες θερμότητας δεν έλαβε χώρα αλλαγή της φυσικής κατάστασης των δύο ρευστών (υγροποίηση ή εξάτμιση) πράγμα που σημαίνει ότι όλο το ποσό της μεταφερόμενης ενέργειας χρησιμοποιήθηκε για τη μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο ρευστών. Θα ήταν επιθυμητό να μπορούμε να εξετάσουμε πειραματικά την περίπτωση αλλαγής φάσης των ρευστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ», Κωνσταντίνος-Στέφανος Νίκας, Αθήνα 2010, σελ. 363-368
- [2] «ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΕΥΧΟΣ 1: ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ», Β. Μποντόζογλου, Βόλος Νοέμβριος 2013, σελ. 16
- [3] «ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ – ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ ΙΙ (Ε), Άσκηση 3^η, Εναλλάκτες Θερμότητας», Δρ. Νικόλαος Ορφανουδάκης, Δρ. Μαρία Κ. Κούκου, Απόστολος Ξενογιάννης, Ψαχνά 2003, σελ. 3,6
- [4] www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_ANAKTHSHS_THERMOTHTAS.pdf
- [5] ikaros.teipir.gr/heattransfer/lab_exercises/heat_exchangers_v3.pdf
- [6] www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/heat_exchangers/ch05_enallaktes_A4.pdf
- [7] www.metal.ntua.gr/uploads/2263/enallaktes.pdf
- [8] www.esofia.net/index.php?option=com_k2&view=item&task=download...
- [9] users.teiath.gr/kskourol/heat.pdf
- [10] P. A. HILTON LTD, «EXPERIMENTAL OPERATING AND MAINTENANCE PROCEDURES, OPTIONAL CONCENTRIC TUBE HEAT EXCHANGER H102A», H102AM/E/1/056, NOV 11