

16

12

**ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ**

17

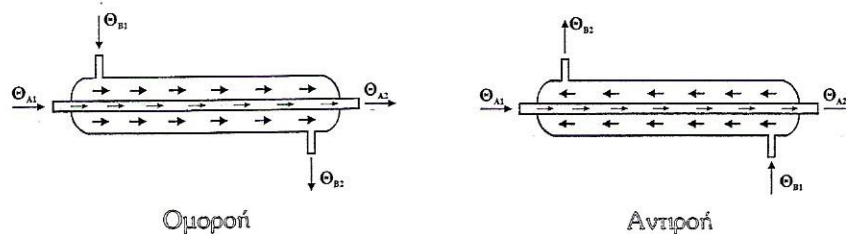
Σκοπός –Περίληψη

- Η κατανόηση της λειτουργίας ενός εναλλάκτη.
- Ο υπολογισμός του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη.
- Η σύγκριση της τιμής του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας στις περιπτώσεις «ομοροής» και «αντιροής».

Σχετική θεωρία

Για περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο βιβλίο «Μηχανικές και Θερμικές διεργασίες των Τροφίμων» από τους Αθαν. Ε. Λαμπρόπουλου και Στυλ. Ε. Ανέστης, κεφάλαιο 9.

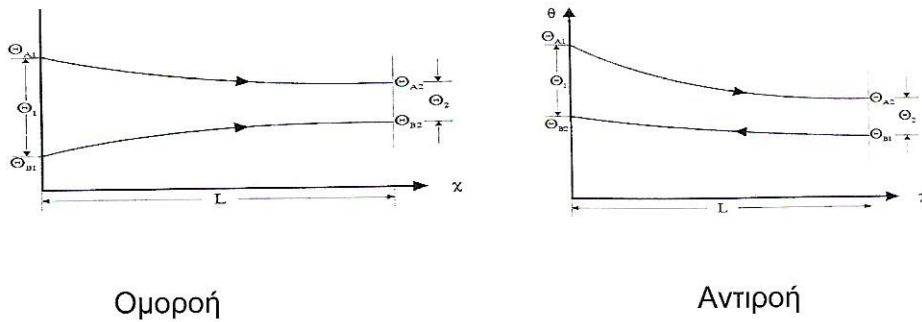
Δύο κλασικοί τύποι εναλλακτών θερμότητας είναι οι εναλλάκτες σωλήνα – σωλήνα οι οποίοι λειτουργούν σε «ομοροή» και «αντιροή». Έστω Θ_{A1} και Θ_{B1} , οι θερμοκρασίες εισόδου, στον εναλλάκτη, του προϊόντος και του ψυχρού ρευστού αντιστοίχως, ενώ Θ_{A2} και Θ_{B2} οι αντίστοιχες θερμοκρασίες στην έξοδο.



Σχήμα 6. Εναλλάκτες σωλήνα – σωλήνα (σε ομοροή και αντιροή)

Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου, είναι οι πιο απλοί από τους εναλλάκτες που διατίθενται στην πράξη. Αποτελούνται από δύο ομοαξονικούς σωλήνες, όπου το προϊόν ρευστό (A) ρέει στον κεντρικό σωλήνα, ενώ το ψυχρό ή θερμό ρευστό (B) διατρέχει δακτυλιοειδή χώρο που σχηματίζεται από τους δύο σωλήνες. Στον εναλλάκτη ομοροής, τα δύο ρευστά έχουν την ίδια φορά ροής, ενώ στην περίπτωση της αντιροής, οι φορές της ροής των ρευστών είναι αντίθετες. Η μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο ρευστών κατά μήκος του εναλλάκτη,

απεικονίζεται στα παρακάτω Σχ.7., για την περίπτωση της ομορροής και της αντιροής αντίστοιχα. Τα Σχ.8. είναι δύο άλλοι κλασικοί τύποι εναλλακτών (α) πολλαπλών αυλών και (β) κελύφους και σπείρας, οι οποίοι είναι πρακτικά εύχρηστοι στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών.

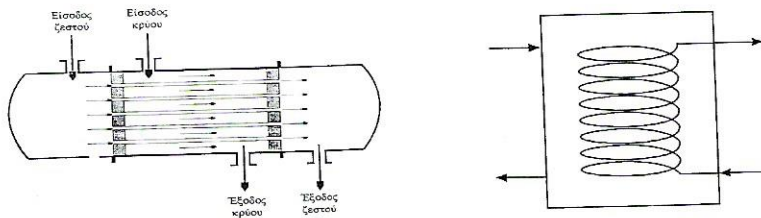


Σχ.7. Μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο ρευστών κατά μήκος του εναλλάκτη

Η σχέση μεταξύ του ρυθμού ροής θερμότητας μέσω επιφάνειας A και της συνολικής διαφοράς θερμοκρασίας δύο ρευστών A και B, εκφράζεται από την ισότητα:

$$Q = UA(\Theta_A - \Theta_B)$$

Η παραπάνω έκφραση μπορεί να πραγματοποιηθεί δίνοντας μια σχέση που να συνδέει το ρυθμό ροής θερμότητας με τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ρευστών, καθώς επίσης και με την επιφάνεια εναλλαγής. Για το σκοπό αυτό, κάνουμε τις εξής παραδοχές



Σχ.8. Κλασικοί εναλλάκτες βιομηχανικής χρήσης
(α) πολλαπλών αυλών (β) κελύφους και σπείρας

19

α) Η θερμική αντίσταση του διαχωριστικού τοιχώματος είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού πάχους και της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας, έτσι ώστε ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U να μπορεί να γραφεί:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + \frac{1}{h_B}$$

όπου, h_A ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το ρευστό Α στο τοίχωμα και h_B ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το τοίχωμα στο ρευστό.

β) Οι συντελεστές h_A και h_B αποτελούν μέσες τιμές, διότι η τιμή τους μεταβάλλεται συναρτήσει των θερμοκρασιών των ρευστών και του μήκους του εναλλάκτη.

γ) Τα ρευστά δε μεταβάλλουν τη φάση του κατά τη διαδρομή τους μέσα στον εναλλάκτη. Ύστερα από τις παραπάνω παραδοχές, μπορούμε να καταλήξουμε στην ακόλουθη σχέση:

$$Q = \frac{\pi D L U (\Theta_1 - \Theta_2)}{\ln\left(\frac{\Theta_1}{\Theta_2}\right)}$$

όπου, Q είναι ο ρυθμός ροής θερμότητας (W)

D είναι η μέση διάμετρος του κεντρικού σωλήνα (m)

L είναι το μήκος του εναλλάκτη (m)

U είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εναλλάκτη ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

Θ_1 είναι η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου ($^\circ C$)

Θ_2 είναι η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου ($^\circ C$)

Οι θερμοκρασιακές διαφορές Θ_1 και Θ_2 εισόδου και εξόδου του εναλλάκτη, ορίζονται στο Σχ.7, για τις περιπτώσεις ομορής και αντιρής αντιστοίχα και εκφράζονται με τις παρακάτω σχέσεις:

20

$$Q = UA\Theta_m \quad \text{και} \quad \Theta_m = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln\left(\frac{\Theta_1}{\Theta_2}\right)}$$

όπου, A η επιφάνεια εναλλαγής Θερμότητας του κεντρικού σωλήνα (m)
 Θ_m η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας του εναλλάκτη,

Η ογκομετρική παροχή ενός ρευστού σε μία διατομή ορίζεται με τη σχέση :

$$V = \frac{dv}{dt}$$

Όπου, dv είναι ο όγκος του ρευστού που διέρχεται της διατομής σε απειροστά μικρό χρονικά διάστημα dt . Η ογκομετρική παροχή των ασυμπιεστων ρευστών μπορεί ακόμη να υπολογιστεί και με βάση το νόμο της συνέχειας.

Η μέτρηση της ογκομετρικής παροχής στην πράξη γίνεται με διάφορα κατάλληλα όργανα ένα εκ των οποίων είναι το «ροόμετρο» ή «παροχόμετρο». Το όργανο αυτό μπορεί να μετρήσει απ' ευθείας την ογκομετρική παροχή των ρευστών όταν παρεμβληθεί στη γραμμή της ροής τους. Κατόπιν με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, χαράσσεται η βέλτιστη ευθεία και προσδιορίζονται οι όροι της εξίσωσης. Για την αναπτυξη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιούνται οι επόμενες σχέσεις:

$$\Psi = mx + b$$

$$b = \frac{\sum y_i \sum x_i - \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad m = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Από αυτές παίρνουμε τις γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της ογκομετρικής παροχής και της μεταβολής του όγκου του νερού.

Πειραματική Μεθοδολογία-Μετρήσεις-Υπολογισμοί.

Αφού κατανοηθεί το κύκλωμα και οι θέσεις των αισθητηρίων της θερμοκρασίας, θερμαίνεται το νερό της δεξαμενής έως ότου επιτευχθεί ισορροπία στους 50 C. Στη συνέχεια ρυθμίζονται οι παροχές του κρύου και του ζεστού νερού και τίθεται ο εναλλάκτης σε ομοροή. Μετά την επίτευξη θερμικής ισορροπίας, μετρώνται οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου ,του ζεστού και του κρύου νερού στον εναλλάκτη και καταγράφεται η ένδειξη του ροομέτρου. Επίσης σημειώνονται οι διαστάσεις του εναλλάκτη, δηλαδή το μήκος και οι διάμετροι των σωλήνων του.

Οι ίδιες μετρήσεις διεξάγονται και στην περίπτωση λειτουργίας του εναλλάκτη σε αντιροή , χωρίς όμως να μεταβληθούν οι παροχές του ζεστού και του κρύου νερού .

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που προαναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος, υπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και στις δύο περιπτώσεις ομοροής και αντιροής. Οι τιμές των συντελεστών αυτών συγκρίνονται και συζητούνται τα αποτελέσματα της εργαστηριακής άσκησης.

Επαναλαμβάνονται οι ανωτέρω μετρήσεις σε πέντε διαφορετικές ρυθμίσεις της τιμής της ογκομετρικής παροχής του ζεστού νερού, διατηρώντας σταθερή την παροχή του κρύου νερού. Η παροχή αυτή προσδιορίζεται κατά τη διάρκεια των ανωτέρω μετρήσεων με δύο επαναλήψεις, ζυγίζοντας τη μάζα του κρύου νερού που εξέρχεται από τον εναλλάκτη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Υπολογίζεται η τιμή του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας καθώς και οι θερμικές απώλειες για κάθε μια από τις παροχές του ζεστού νερού (βλέπε τις αντίστοιχες σχέσεις στο βιβλίο της θεωρίας). Κατασκευάζονται δύο διαγράμματα μεταβολής του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και των θερμικών απωλειών του εναλλάκτη, ως προς την ογκομετρική παροχή του ζεστού νερού.

Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

1. Να υπολογιστεί η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα του ζεστού και του κρύου νερού.

2. Να υπολογιστεί η ογκομετρική παροχή του κρύου και του ζεστού νερού με τη βοήθεια των εξισώσεων βαθμολόγησης των χρησιμοποιούμενων ροόμετρων.
3. Να υπολογιστεί η μαζική παροχή του κρύου και του ζεστού νερού.
4. Να υπολογιστεί ο ρυθμός αποβολής θερμότητας του ζεστού νερού
5. Να υπολογιστεί ο ρυθμός απορρόφησης θερμότητας του κρύου νερού.
6. Να υπολογιστεί ο ρυθμός απωλειών θερμότητας.
7. Να υπολογιστεί η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας στον εναλλάκτη.
8. Να υπολογιστεί η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας του εναλλάκτη.
9. Να υπολογιστεί ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας.
10. Τόσο οι μετρούμενες όσο και οι υπολογιζόμενες τιμές καταγράφονται στο φύλλο μετρήσεων που παρουσιάζεται στο τέλος και σχεδιάζονται τα ακόλουθα διαγράμματα:
11. Διάγραμμα συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με τετμημένη την ογκομετρική παροχή του ζεστού νερού και τεταγμένη τον συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.
12. Διάγραμμα ρυθμού θερμικών απωλειών του εναλλάκτη με τετμημένη την ογκομετρική παροχή του ζεστού νερού και τεταγμένη το ρυθμό θερμικών απωλειών.

Ερωτήσεις

1. Να σχολιαστούν τα διαγράμματα που κατασκευάσατε. Για πιο λόγο έχουμε απόκλιση στις τιμές των;
2. Ποιες είναι οι κυριώτερες αιτίες σφαλμάτων;
3. Τι έχετε να παρατηρήσετε για τις διαφορές μεταξύ της ομοροής και της αντιροής;

| Εναλλάκτης Θερμότητας – Στοιχεία εναλλακτών | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Φύλλο μετρήσεων και υπολογισμών | | | | | | | | | | |
| Ημερομηνία διεξαγωγής της άσκησης: | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Πειραματικές μετρήσεις | | | | | | | | | | |
| α/α | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ενδειξη ροομέτρου ζεστού | | | | | | | | | | |
| Ενδειξη ροομέτρου κρύου | | | | | | | | | | |
| Θερμοκρασία εισόδου ζεστού | | | | | | | | | | |
| Θερμοκρασία εξόδου ζεστού | | | | | | | | | | |
| Θερμοκρασία εισόδου κρύου | | | | | | | | | | |
| Θερμοκρασία εξόδου κρύου | | | | | | | | | | |
| Ογκομετρική παροχή | | | | | | | | | | |
| Ρυθμός αποβαλλόμενης θερμότητας ζεστού | | | | | | | | | | |
| Ρυθμός απορροφούμενης θερμότητας κρύου | | | | | | | | | | |
| Ρυθμός απωλειών θερμότητας | | | | | | | | | | |

24

| | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| εναλλάκτη | | | | | | | | | | |
| Μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας | | | | | | | | | | |