

## 4<sup>η</sup> ΑΣΚΗΣΗ: ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΜΕΘΟΔΟΣ LMTD

### Σκοπός της άσκησης

Ο υπολογισμός του μεταφερόμενου ποσού θερμότητας σε εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων, ο συνολικός θερμικός βαθμός απόδοσης και ο υπολογισμός του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας,  $U$ , με τη μέθοδο LMTD (Logarithmic Mean Temperature Difference), σε λειτουργία αντιρροής.

### Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Οι Εναλλάκτες θερμότητας είναι διατάξεις στις οποίες δύο ρεύματα ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας (ένα θερμό και ένα ψυχρό) ανταλλάσσουν μεταξύ τους θερμότητα, σε άμεση ή έμμεση επαφή.

Η πιο απλή, κατασκευαστικά, μορφή εναλλάκτη θερμότητας, είναι αυτή των ομόκεντρων σωλήνων.

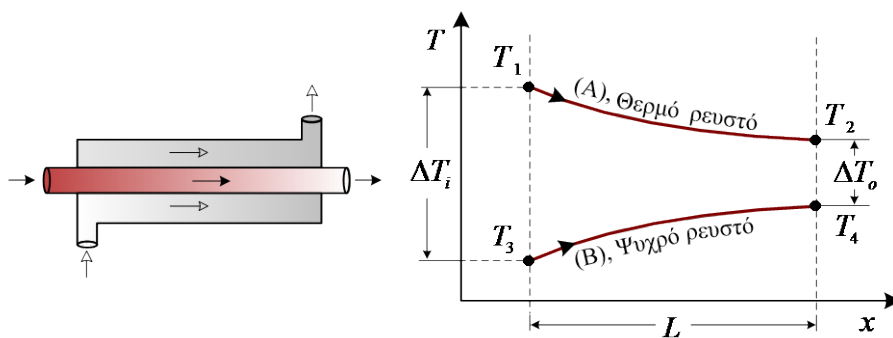


**Σχήμα 1:** Σχηματική απεικόνιση εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων αντιρροής

Σε αυτό το είδος εναλλάκτη θερμότητας, η διεύθυνση ροής των δύο ρευμάτων είναι παράλληλη.

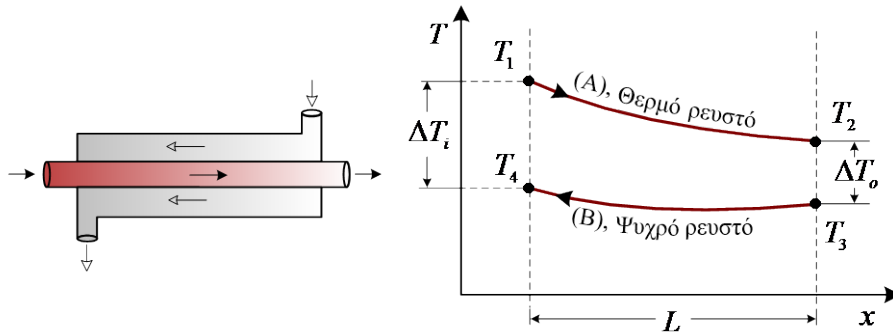
Ανάλογα με τη φορά των ρευμάτων των δύο ρευστών, η λειτουργία των εναλλακτών ομόκεντρων σωλήνων χαρακτηρίζεται ως ομορροής ή αντιρροής.

Στους εναλλάκτες ομορροής, τα δύο ρευστά εισέρχονται στην ίδια πλευρά και εξέρχονται από την ίδια πλευρά του εναλλάκτη.



**Σχήμα 2:** Διαγραμματική απεικόνιση εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων ομορροής

Στους εναλλάκτες αντιρροής, η ροή των δύο ρευστών είναι αντίθετης φοράς και τα ρευστά εισέρχονται από αντίθετη πλευρά και εξέρχονται κατά την αντίθετη πλευρά της διάταξης.



**Σχήμα 3:** Διαγραμματική απεικόνιση εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων αντιρροής

Στην περίπτωση, που τα δύο ρευστά δεν υπόκεινται σε αλλαγή φάσης και οι ειδικές θερμοχωρητικότητες,  $C_p$ , θεωρηθούν σταθερές, τότε το μεταφερόμενο ποσό θερμικής ισχύος από κάθε ρεύμα ρευστού δίνεται από τη σχέση (1):

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T \tag{1}$$

όπου  $\Delta T = T_1 - T_2$  ή  $\Delta T = T_4 - T_3$

Σε ιδανικές συνθήκες (μηδενικές απώλειες θερμότητας) λειτουργίας, το ποσό θερμότητας που απολλύει το θερμό ρεύμα, προσλαμβάνεται από το ψυχρό ρεύμα:

$$|\dot{Q}_h| = \dot{Q}_c \tag{2}$$

Σε διαφορετική περίπτωση, ορίζεται η συνολική θερμική απόδοση ως:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} \cdot 100(\%) \tag{3}$$

Η ακριβής αναπαράσταση της μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ θερμού και ψυχρού ρεύματος σε κάθε σημείο του εναλλάκτη, δίνεται από τη μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T_{lm}$ :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_i - \Delta T_o}{\ln \frac{\Delta T_i}{\Delta T_o}} \tag{4}$$

Μια επιπλέον σημαντική σχέση που συσχετίζει τη ροή θερμότητας με τη μέση θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θερμού και ψυχρού ρεύματος, είναι η εξής:

$$\dot{Q} = \frac{A_c(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i r_1} + \frac{1}{k} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{h_o r_2}} = UA_c(T_i - T_o) = UA_c \Delta T_{lm} \tag{5}$$

όπου  $U$  ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας.

$$U^{-1} = \frac{1}{h_i r_1} + \frac{1}{k} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{h_o r_2} \tag{8}$$

Οι εναλλάκτες ομόκεντρων σωλήνων χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές παστερίωσης, χώνευσης, ανάκτησης θερμότητας, προθέρμανσης, ψύξης καυσαερίων. Επίσης, μπορούν να

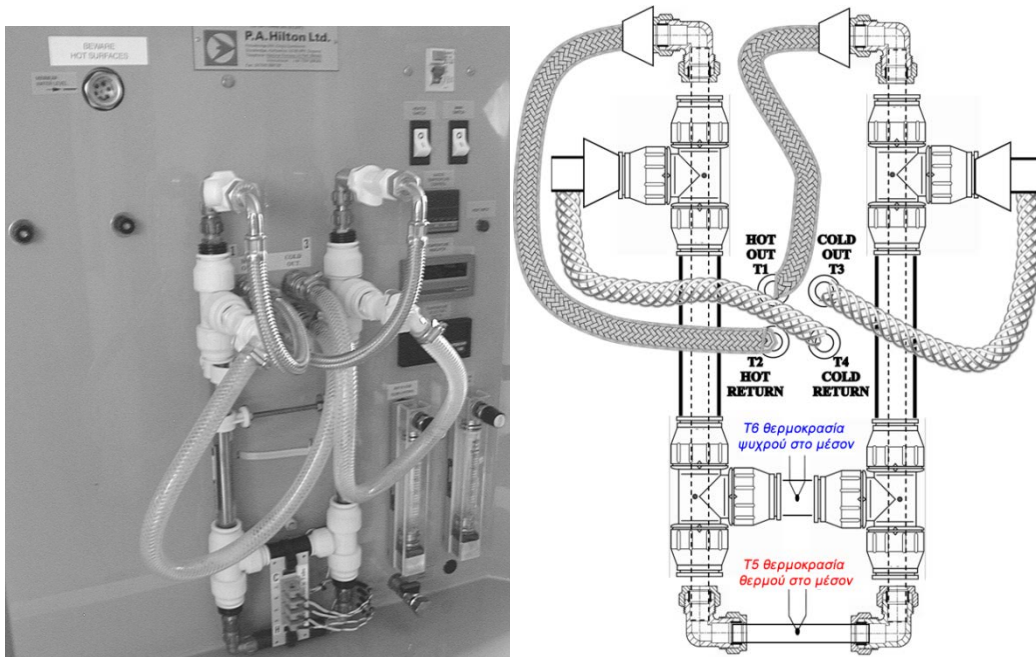
χρησιμοποιηθούν σε πιέσεις έως 350bar και σε εύρος θερμοκρασιών από -200 έως 700°C. Για την οικονομία του χώρου, διαμορφώνονται σε σχήμα U.

## Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1. Περιγραφή πειραματικής διάταξης:

Ο εναλλάκτης θερμότητας ομόκεντρων σωλήνων νερού-νερού περιλαμβάνει δύο ομόκεντρους αγωγούς, εντός των οποίων κυκλοφορεί νερό διαφορετικής θερμοκρασίας. Το θερμότερο των δύο ρευμάτων κυκλοφορεί στον εσωτερικό αγωγό, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα, ενώ το ψυχρότερο ρεύμα κυκλοφορεί στο διάκενο των δύο αγωγών.

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 4:** Φωτογραφία συσκευής H102 (P.A. Hilton) και σχέδιο εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων σε διαμόρφωση ομορροής

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.

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.

Τρία σταθερά θερμοζεύγη  $T_1$ ,  $T_5$ ,  $T_2$  είναι τοποθετημένα κατά μήκος του θερμού ρεύματος, στην είσοδο, στο μέσο και στην έξοδο του εναλλάκτη.

Αντίστοιχα, τρία σταθερά θερμοζεύγη  $T_3, T_6, T_4$  είναι τοποθετημένα κατά μήκος του ψυχρού ρεύματος, στην είσοδο, στο μέσο και στην έξοδο του εναλλάκτη.

**2. Διαδικασία Λήψης Μετρήσεων**

- a. Τοποθετείστε τον εναλλάκτη ομόκεντρων σωλήνων στο πάνελ και συνδέστε τον σε διαμόρφωση αντιρροής.
- b. Πατήστε τον κεντρικό διακόπτη “Main Switch”, ώστε να τεθεί σε λειτουργία η αντλία και το διακόπτη θέρμανσης “Heater Switch”, ώστε να ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρικός θερμαντήρας.
- c. Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε θερμοκρασία 60°C.
- d. Ρυθμίστε την παροχή μάζας του ψυχρού ρεύματος στα 10g/s και του θερμού στα 30g/s.
- e. Βεβαιωθείτε ότι οι θερμοκρασίες εισόδου των δύο ρευμάτων παραμένουν σταθερές και καταγράψτε τις θερμοκρασίες  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$  καθώς και τις παροχές μάζας  $\dot{m}_{hot}$  και  $\dot{m}_{cold}$ .
- f. Αυξήστε τη ροή μάζας του ψυχρού ρεύματος στα 20g/s (διατηρώντας τη ροή μάζας του ψυχρού ρεύματος σταθερή) και περιμένετε να σταθεροποιηθούν οι θερμοκρασίες  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ , οπότε και καταγράψτε τις τιμές τους, μαζί με τις ροές μάζας  $\dot{m}_{hot}$  και  $\dot{m}_{cold}$ .
- g. Ομοίως και για τη ροή μάζας του ψυχρού ρεύματος 30g/s, 40g/s, 50g/s.

**3. Φύλλο Μετρήσεων & Υπολογισμών**

Να συμπληρωθεί ο Πίνακας Μετρήσεων.

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Μέτρηση A/A	$T_1$ (°C)	$T_5$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_6$ (°C)	$T_4$ (°C)	$\dot{m}_{hot}$ (g/s)	$\dot{m}_{cold}$ (g/s)
1								
2								
3								
4								
5								

Δεδομένα

⇒ Εσωτερικός αυλός:

- Υλικό: ανοξείδωτος χάλυβας
- Εξωτερική διάμετρος: 0.012m
- Πάχος τοιχώματος: 1mm
- Ενεργό μήκος συναλλαγής θερμότητας: 2 x 0.3180m
- Επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας: 0.02198m<sup>2</sup>

⇒ Εξωτερικός αυλός:

- Υλικό: διαφανές ακρυλικό
- Εσωτερική διάμετρος: 0.022m
- Πάχος τοιχώματος: 3mm

### Γ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Να παρασταθεί γραφικά η θερμοκρασία ως συνάρτηση του μήκους του εναλλάκτη, για την πρώτη μέτρηση (μόνο).
2. Να υπολογισθεί η ροή θερμότητας για τα δύο ρεύματα ρευστών.
3. Να υπολογισθεί η ολική θερμική απόδοση του εναλλάκτη.
4. Να υπολογισθεί ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ( $U$ ), με υπόψη το ποσό θερμότητας που απολλύει το ψυχρό ρεύμα.
5. Να συμπληρωθεί ο ακόλουθος Πίνακας Υπολογισμών με τα παραπάνω αποτελέσματα.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ

Μέτρηση Α/Α	$\dot{Q}_c$ (W)	$\dot{Q}_h$ (W)	$\eta_{th}$ (%)	$\Delta T_{im}$ (°C)	$\Delta T_{hot}$ (°C)	$\Delta T_{cold}$ (°C)	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)
1							
2							
3							
4							
5							

6. Να παρασταθεί γραφικά η μεταβολή θερμοκρασίας των δύο ρευμάτων ως συνάρτηση της ροής μάζας του ψυχρού ρεύματος.
7. Να παρασταθεί γραφικά η μεταβολή του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη ρευμάτων ως συνάρτηση της ροής μάζας του ψυχρού ρεύματος.