

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΣΕ ΕΝΑΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1. Εισαγωγή

Η διεργασία της μεταφοράς θερμότητας είναι πολύ σημαντική για τη χημική βιομηχανία τόσο από τεχνική όσο και οικονομική άποψη. Για παράδειγμα, για τη διεξαγωγή μιας χημικής διεργασίας, απαιτείται συνήθως, θέρμανση των αντιδρώντων στη θερμοκρασία της αντίδρασης, παροχή ή απομάκρυνση θερμότητας κατά τη διάρκεια της αντίδρασης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, καθώς και ψύξη των προϊόντων για περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον, οι διεργασίες μεταφοράς θερμότητας καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, και αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα κόστους.

Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται με αγωγή (θερμική μοριακή κίνηση σε στερεά ή ακίνητα ρευστά), συναγωγή (ελεύθερη ή εξαναγκασμένη ροή ρευστών) και ακτινοβολία. Γενικά, τα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης χρησιμοποιούν και τους τρεις τρόπους μεταφοράς θερμότητας, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Στους εναλλάκτες θερμότητας, μπορεί να θεωρηθεί ότι η θερμότητα μεταφέρεται κυρίως με αγωγή και συναγωγή.

Σκοπός της παρούσας άσκησης είναι η πειραματική μελέτη της συμπεριφοράς ενός εναλλάκτη θερμότητας διπλού σωλήνα. Οι στόχοι της άσκησης είναι:

- Ο πειραματικός προσδιορισμός του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , χαρακτηριστικού μεγέθους της διεργασίας
- Ο θεωρητικός υπολογισμός του συντελεστή U με χρήση εμπειρικών σχέσεων που βασίζονται στην αρχή της ομοιότητας

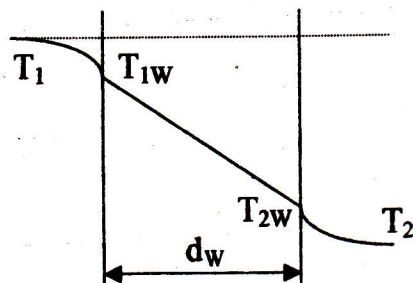
2. Θεωρία

2.1. Μεταφορά θερμότητας

Όταν δύο ρευστά με διαφορετική θερμοκρασία ρέουν εκατέρωθεν των δύο πλευρών ενός επίπεδου τοιχώματος, τότε, μεταφέρεται θερμότητα από το θερμό προς το ψυχρό ρευστό μέσω του τοιχώματος (Σχήμα 1α). Η

συνολική διεργασία μεταφοράς θερμότητας περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- I. Μεταφορά θερμότητας από το θερμό ρευστό προς το τοίχωμα (συναγωγή)
- II. Μεταφορά θερμότητας μέσω του τοιχώματος (αγωγή)
- III. Μεταφορά θερμότητας από το τοίχωμα προς το ψυχρό ρευστό (συναγωγή)



Σχήμα 1α. Μεταφορά θερμότητας με αγωγή και συναγωγή σε ένα επίπεδο τοίχωμα

Ο ρυθμός μεταφοράς (αγωγής) θερμότητας q_w μέσω ενός επίπεδου τοιχώματος πάχους d_w , εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασιών (την κινούσα δύναμη), σύμφωνα με το γενικό τύπο:

$$(1) \quad q_w = \lambda A (T_{1w} - T_{2w}) / d_w$$

όπου λ , ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, χαρακτηριστικός του υλικού, και A , η επιφάνεια του τοιχώματος.

Η μεταφορά (συναγωγή) θερμότητας μεταξύ του κινούμενου ρευστού και τοιχώματος είναι μια πολύπλοκη διεργασία που εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της ροής του ρευστού (γεωμετρία, ταχύτητα, ιξώδες, πυκνότητα). Ισχύει:

$$(2) \quad q_1 = h_1 A (T_1 - T_{1w})$$

$$(3) \quad q_2 = h_2 A (T_{2w} - T_2)$$

όπου h_1, h_2 οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας του ψυχρού ρευστού, και

Σε συνθήκες μόνιμης μεταφοράς, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας σταθερός, ίδιος και για τα δύο ρευστά:

$$(4) \quad q_1 = q_2 = q$$

Με συνδυασμό των σχέσεων (2) και (3) προκύπτει:

$$(5) \quad q_L = U A (T_1 - T_2)$$

$$(6) \quad 1/U = 1/h_1 + d_w/\lambda + 1/h_2$$

όπου U , είναι ο συντελεστής συνολικής μεταφοράς θερμότητας.

Στην περίπτωση κυλινδρικού τοιχώματος, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας εσωτερικό του οποίου κινείται το θερμό ρευστό, θα πρέπει γενικά να είναι ίσος με τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας προς το ψυχρό, θα πρέπει γενικά να ισχύει:

$$(7) \quad q_w = \lambda A_m (T_{1w} - T_{2w})$$

$$A_m = (A_2 - A_1) / \ln(d_2/d_1)$$

όπου d_2 και d_1 , η εσωτερική και η εξωτερική αντίστοιχα, l , το μήκος του τοιχώματος (λογαριθμική) τιμή της διαφοράς των επιφανειών.



Σχήμα 1β. Μεταφορά θερμότητας μέσω κυλινδρικού τοιχώματος

όπου h_1, h_2 οι συντελεστές συναγωγής από την πλευρά του θερμού και του ψυχρού ρευστού, αντίστοιχα.

Σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης, ο ρυθμός ροής θερμότητας είναι σταθερός, ίδιος και για τα τρία επιμέρους στάδια της διεργασίας:

$$(4) \quad q_L = q_2 = q_1 = q_w$$

Με συνδυασμό των σχέσεων (1)-(4), προκύπτει ότι:

$$(5) \quad q_L = U A (T_1 - T_2)$$

$$(6) \quad 1/U = 1/h_1 + d_w/\lambda + 1/h_2$$

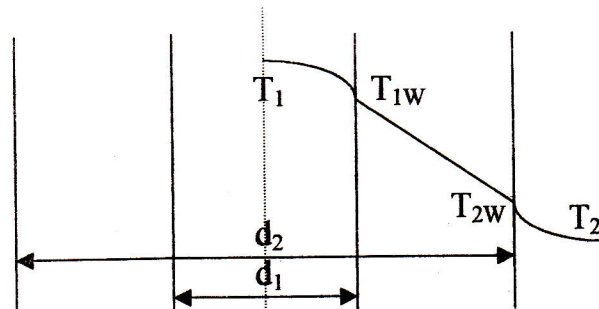
όπου U , είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (ή συντελεστής θερμοπερατότητας).

Στην περίπτωση κυλινδρικού τοιχώματος, π.χ ενός σωλήνα στο εσωτερικό του οποίου ρέει ένα θερμό ρευστό και στο εξωτερικό ένα ψυχρό, θα πρέπει γενικά να ληφθεί υπόψη η κυρτότητα των τοιχωμάτων. Ισχύει:

$$(7) \quad q_w = \lambda A_m (T_{1w} - T_{2w}) / [(d_2 - d_1)/2]$$

$$A_m = (A_2 - A_1) / \ln (A_2/A_1) = \pi l (d_2 - d_1) / \ln (d_2/d_1)$$

όπου d_2 και d_1 , η εξωτερική και εσωτερική διάμετρος του σωλήνα, αντίστοιχα, l , το μήκος του κυλινδρικού τοιχώματος, και A_m , η μέση (λογαριθμική) τιμή της επιφάνειας αγωγής.



Σχήμα 1β. Μεταφορά θερμότητας σε ένα κυλινδρικό τοίχωμα

Στην περίπτωση σωλήνα μικρού πάχους και μεγάλης διαμέτρου, οι υπολογισμοί μπορεί να γίνουν με βάση τη μέση αριθμητική τιμή της επιφάνειας εναλλαγής :

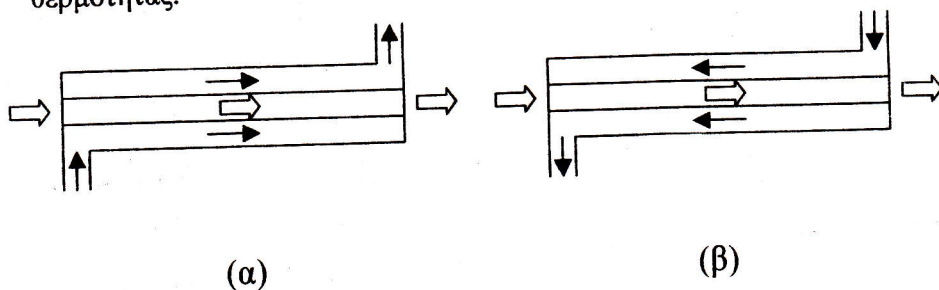
$$(8) \quad A_m = \pi l d_m = \pi l (d_1 + d_2) / 2$$

2.2. Εναλλάκτες θερμότητας

Η διεργασία της εναλλαγής θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και διαχωρίζονται από ένα τοίχωμα, πραγματοποιείται με συσκευές που καλούνται εναλλάκτες θερμότητας.

Η απλούστερη διάταξη εναλλάκτη θερμότητας είναι αυτή κατά την οποία το θερμό και το ψυχρό ρευστό κινούνται κατά την ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση σε δύο ομόκεντρους αυλούς (εναλλάκτες διπλού σωλήνα). Στους εναλλάκτες ομορροής (Σχήμα 2α), το θερμό και το ψυχρό ρευστό εισέρχονται από το ίδιο άκρο, ρέουν κατά την ίδια κατεύθυνση και εξέρχονται από το άλλο άκρο. Στους εναλλάκτες αντιρροής (Σχήμα 2β), τα ρευστά εισέρχονται από αντίθετα άκρα, ρέουν κατά την αντίθετη κατεύθυνση και εξέρχονται από αντίθετα άκρα. Άλλες συνήθεις διατάξεις είναι οι εναλλάκτες διασταυρούμενης ροής, όπου τα δύο ρευστά κινούνται σε κατευθύνσεις κάθετες η μία προς την άλλη, και οι εναλλάκτες κελύφους και αυλών.

Για την ανάλυση και το σχεδιασμό ενός εναλλάκτη θερμότητας, πρέπει να βρεθεί η εξάρτηση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας q , από τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ρευστών, το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U , και την ολική επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας.



Σχήμα 2. Εναλλάκτες διπλού σωλήνα α) ομορροής και β) αντιρροής

Από την εφαρμογή του (και υποθέτοντας ότι αμελητέα), προκύπτει:

$$(9) \quad q_h = m_h c_{ph} (T_{h,i} - T_{h,e})$$

$$(10) \quad q_c = m_c c_{pc} (T_{c,e} - T_{c,i})$$

όπου m ο ρυθμός ροής και c , αναφέρονται στους δείκτες i και o , αντιστοίχως.

Λαμβάνοντας υπόψη ρευστών μεταβάλλεται θερμότητας q , υπολογισμός της διαφοράς θερμοκρασίας ΔT_m .

$$(11) \quad q_L = U A \Delta T_{lm}$$

$$(12) \quad \Delta T_m = (\Delta T_g - \Delta T_k) / \ln(\Delta T_g / \Delta T_k)$$

όπου ΔT_g και ΔT_k είναι οι εναλλάκτη.

Όπως φαίνεται στο αντιρροής, ισχύει αντίστροφα.

$$(13a) \text{ Ομορροή: } \Delta T_m = (\Delta T_g - \Delta T_k) / \ln(\Delta T_g / \Delta T_k)$$

$$(13b) \text{ Αντιρροή: } \Delta T_m = (\Delta T_g - \Delta T_k) / \ln(\Delta T_g / \Delta T_k)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$(14) \quad q = m_h c_{ph} (T_{h,i} - T_{h,e})$$

$$\text{ή} \quad U = m_h c_{ph} (T_{h,i} - T_{h,e}) / (q / A)$$

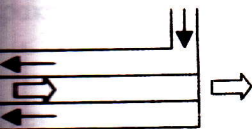
Σημειώνεται ότι c_{pc} και c_{ph} τα αντίστοιχα θερμοκρασιακά συντελεστές.

της διαμέτρου, οι
θερμοκρασιακή τιμή της

δύο ρευστών που
αυξάνονται από ένα
αλλάξονται εναλλάκτες

κατά την οποία
αν ή αντίθετη
διπλού σωλήνα).
το ψυχρό ρευστό
κατεύθυνση και
απορροής (Σχήμα 2β),
κατά την αντίθετη
συνήθειες διατάξεις
τα δύο ρευστά
την άλλη, και οι

θερμότητας, πρέπει
μότητας q , από τις
ων, το συντελεστή
επίφεια εναλλαγής



(β)

α β) αντιρροής

Από την εφαρμογή του ισοζυγίου ενέργειας στο θερμό και ψυχρό ρευστό (και υποθέτοντας ότι η μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον είναι αμελητέα), προκύπτει:

$$(9) \quad q_h = m_h c_{ph} (T_{h,i} - T_{h,o})$$

$$(10) \quad q_c = m_c c_{pc} (T_{c,o} - T_{c,i})$$

όπου m ο ρυθμός ροής μάζας, c_p η (μέση) ειδική θερμότητα. Οι δείκτες h και c , αναφέρονται στο θερμό και το ψυχρό ρευστό, αντίστοιχα, ενώ οι δείκτες i και o , αντιστοιχούν στις συνθήκες εισόδου και εξόδου.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών μεταβάλλεται κατά μήκος του εναλλάκτη, ο ρυθμός ροής θερμότητας q , υπολογίζεται ως συνάρτηση της μέσης (λογαριθμικής) τιμής της διαφοράς θερμοκρασίας ΔT_{lm} μεταξύ των δύο ρευστών:

$$(11) \quad q_L = U A \Delta T_{lm}$$

$$(12) \quad \Delta T_{lm} = (\Delta T_g - \Delta T_k) / \ln(\Delta T_g / \Delta T_k)$$

όπου ΔT_g και ΔT_k , οι θερμοκρασιακές διαφορές στα δύο άκρα του εναλλάκτη.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, για τους εναλλάκτες ομορροής και αντιρροής, ισχύει αντίστοιχα:

$$(13\alpha) \text{ Ομορροή: } \Delta T_g = (T_{h,i} - T_{c,i}) \Delta T_k = (T_{h,o} - T_{c,o})$$

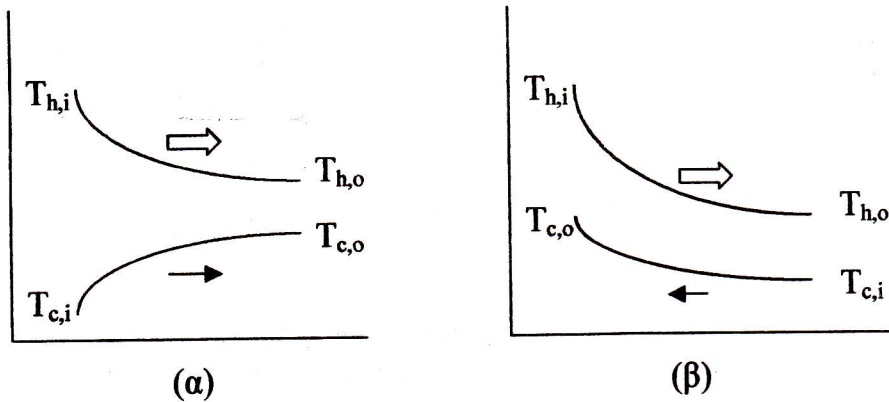
$$(13\beta) \text{ Αντιρροή: } \Delta T_g = (T_{h,i} - T_{c,o}) \Delta T_k = (T_{h,o} - T_{c,i})$$

Από τις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει

$$(14) \quad q = m_h c_{ph} (T_{h,i} - T_{h,o}) = m_c c_{pc} (T_{c,o} - T_{c,i}) = U A \Delta T_{lm}$$

$$\text{ή} \quad U = m_h c_{ph} (T_{h,i} - T_{h,o}) / A \Delta T_{lm} = m_c c_{pc} (T_{c,o} - T_{c,i}) / A \Delta T_{lm}$$

Σημειώνεται ότι c_{pc} , c_{ph} είναι οι μέσες τιμές της ειδικής θερμότητας για τα αντίστοιχα θερμοκρασιακά διαστήματα.



Σχήμα 3. Κατανομή θερμοκρασίας σε εναλλάκτες διπλού σωλήνα α) ομορροής και β) αντιρροής

2.3. Αρχή της ομοιότητας

Η αρχή της ομοιότητας βασίζεται στη γεωμετρική ομοιότητα και μπορεί να εφαρμοστεί στην περιγραφή των φυσικοχημικών διεργασιών. Η συνήθης διαδικασία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διεργασία, και ακολούθως, την έκφραση τους στη μορφή χαρακτηριστικών αδιάστατων ομάδων. Σύμφωνα με την αρχή της ομοιότητας, δύο φυσικοχημικές διεργασίες θα είναι όμοιες όταν οι τιμές όλων των χαρακτηριστικών αδιάστατων ομάδων είναι ίδιες, και επομένως κάθε παράμετρος της διεργασίας θα είναι συνάρτηση των υπολοίπων ομάδων.

Για παράδειγμα, σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, ο συντελεστής συναγωγής h , είναι συνάρτηση της θερμικής αγωγιμότητας του μέσου λ , του δυναμικού ιξώδους η , της πυκνότητας ρ , της ειδικής θερμότητας c_p , της ταχύτητας u , της διαμέτρου d και του μήκους l του σωλήνα, και δίνεται από μια σχέση της μορφής:

$$(15) \quad h = F(d, \rho, \eta, \lambda, u, c_p, l), \quad \text{ή} \quad F(hd/\lambda, u\rho/\eta, c_p\eta/\lambda, l/d) = 0$$

Οι παραπάνω χαρακτηριστικές ομάδες είναι γνωστές ως:

(16) Αριθμός Nusselt

(17) Αριθμός Reynold

(18) Αριθμός Prandtl

Πειραματικά αποτελέσματα συντελεστής h , μπορεί

(19) $Re < 2300, Nu =$

(20) $Re > 2300, 0.5 (d/l)^{2/3}$

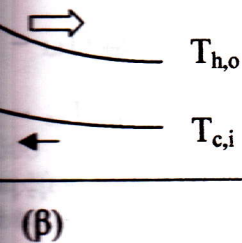
(21) $Re > 2300, 1.5 (d/l)^{2/3}$

3. Περιγραφή του

3.1. Πειραματική δ

Η πειραματική συσκευή

- δύο εναλλάκτες, V γυάλινο και ένα με δύο εναλλακτών πα
- σύστημα τροφοδοτριοδικές βάννες εναλλάκτη και απο
- σύστημα ροής με W1 (V4, V6) και λειτουργία τους σε
- δύο ροόμετρα για ψυχρού ρευστού α
- αντλία ανακυκλοφ και της θερμοκρασ
- οκτώ θερμοστοιχε των θερμοκρασιών ρευστού.



ς διακλού σωλήνα α)

ομοιότητα και μπορεί
ικών διεργασιών. Η
ορισμό όλων των
και ακολούθως, την
αδιάστατων ομάδων.
χημικές διεργασίες θα
ριστικών αδιάστατων
ος της διεργασίας θα

τας, ο συντελεστής
μότητας του μέσου λ ,
αδικής θερμότητας c_p ,
ς l του σωλήνα, και

$$c_p \eta / \lambda, l/d) = 0$$

ς ως:

(16) Αριθμός Nusselt: $Nu = h d / \lambda$

(17) Αριθμός Reynolds: $Re = u d \rho / \eta$

(18) Αριθμός Prandtl: $Pr = c_p \eta / \lambda$

Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι, ο αριθμός Nusselt και ο συντελεστής h , μπορεί να υπολογιστεί από τις εξής σχέσεις:

(19) $Re < 2300, Nu = [3.66^3 + 1.61^3 Re Pr (d/l)]^{1/3}$

(20) $Re > 2300, 0.5 < Pr < 1.5, Nu = 0.0214 (Re^{0.8} - 100) Pr^{0.4} [1 + (d/l)^{2/3}]$

(21) $Re > 2300, 1.5 < Pr < 500, Nu = 0.012 (Re^{0.87} - 280) Pr^{0.4} [1 + (d/l)^{2/3}]$

3. Περιγραφή του πειράματος

3.1. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική συσκευή περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- δύο εναλλάκτες, W1 (με δύο γυάλινους σωλήνες) και W2 (με ένα γυάλινο και ένα μεταλλικό σωλήνα). Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των δύο εναλλακτών παρουσιάζονται στους Πίνακες 1α και 1β.
- σύστημα τροφοδοσίας θερμού και ψυχρού ρευστού, με τέσσερις τριοδικές βάννες (V1, V2, V7, V8) για τη λειτουργία του ενός εναλλάκτη και απομόνωση του άλλου.
- σύστημα ροής με τέσσερις τριοδικές βάννες, δύο για τον εναλλάκτη W1 (V4, V6) και δύο για τον εναλλάκτη W2 (V3, V5), για τη λειτουργία τους σε συνθήκες ομοροής ή αντιροής
- δύο ροόμετρα για την μέτρηση της παροχής του θερμού και του ψυχρού ρευστού αντίστοιχα.
- αντλία ανακυκλοφορίας και θερμοστάτη για τη ρύθμιση της παροχής και της θερμοκρασίας του θερμού υγρού
- οκτώ θερμοστοιχεία, τέσσερα για κάθε εναλλάκτη, για τη μέτρηση των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του θερμού και του ψυχρού ρευστού.

Πίνακας 1α. Χαρακτηριστικά εναλλάκτη W1 (γαλί/γαλί)	
Πάχος γυάλινου σωλήνα, d_w	1 mm
Μήκος γυάλινου σωλήνα, l	96 cm
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας γυαλιού, λ_w	1 W / m*K
Εσωτερική διάμετρος του εξωτερικού γυάλινου σωλήνα, $d_{i,a}$	10 mm
Εξωτερική διάμετρος του εσωτερικού γυάλινου σωλήνα, $d_{a,i}$	7.3 mm
Εσωτερική διάμετρος του εσωτερικού γυάλινου σωλήνα, d_i	5.3 mm

Πίνακας 1β. Χαρακτηριστικά εναλλάκτη W2 (γαλί/μέταλλο)	
Πάχος μεταλλικού σωλήνα, d_w	1 mm
Μήκος μεταλλικού σωλήνα, l	96 cm
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετάλλου, λ_w	18 W / m*K
Εσωτερική διάμετρος του εξωτερικού γυάλινου σωλήνα, $d_{i,a}$	10 mm
Εξωτερική διάμετρος του εσωτερικού μεταλλικού σωλήνα, $d_{a,i}$	8 mm
Εσωτερική διάμετρος του εσωτερικού μεταλλικού σωλήνα, d_i	6 mm

3.2. Εκτέλεση πειρά

Θερμό νερό από το θ μέσω της αντλίας ανακ στον έναν από τους δ ψυχρού νερού από το παροχές του θερμού κα V1 και V2, αντίστοιχα

Το θερμό νερό ρέει π εναλλάκτη. Το ψυχρό V4, V6 (W1) ή V3, V5 προς το θερμό νερό.

Παρακολουθούνται κ εξόδου του θερμού τ τεσσάρων θερμοστοιχ εναλλάκτη.

Η άσκηση ολοκληρών παρουσιάζονται στον

Πίνακας 2. Κατάλογο		
N ο	Εναλλάκτ ης	Συνθ ροής
1	W1	ομορ
2	W1	αντιρ
3	W1	ομορ
4	W2	ομορ
5	W2	αντιρ
6	W2	ομορ

ουαλί)
mm
cm
W / m*K
mm
3 mm
3 mm

μέταλλο)
mm
5 cm
W / m*K
0 mm
mm
mm

3.2. Εκτέλεση πειράματος

Θερμό νερό από το θερμοστάτη (θερμοκρασίας 50°C), τροφοδοτείται μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας και το σύστημα των βαννών V1, V8 στον έναν από τους δύο εναλλάκτες (W1 ή W2). Η τροφοδοσία του ψυχρού νερού από το δίκτυο, γίνεται μέσω των βαννών V2 και V7. Οι παροχές του θερμού και του ψυχρού νερού ρυθμίζονται από τα ροόμετρα V1 και V2, αντίστοιχα.

Το θερμό νερό ρέει πάντοτε μέσα από τον εσωτερικό σωλήνα του κάθε εναλλάκτη. Το ψυχρό νερό μπορεί μέσω του συστήματος των βαννών V4, V6 (W1) ή V3, V5 (W2), να ρέει είτε σε ομορροή ή σε αντιρροή ως προς το θερμό νερό.

Παρακολουθούνται και καταγράφονται οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του θερμού και του ψυχρού νερού, μέσω των αντίστοιχων τεσσάρων θερμοστοιχείων, μέχρι να σταθεροποιηθεί η λειτουργία του εναλλάκτη.

Η άσκηση ολοκληρώνεται με την πραγματοποίηση των πειραμάτων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

N ο	Εναλλάκτης	Συνθήκες ροής	Παροχή θερμού νερού V1 (l/h)	Παροχή ψυχρού νερού V2 (l/h)
1	W1	ομορροή	70	120-125
2	W1	αντιρροή	70	120-125
3	W1	ομορροή	70	40
4	W2	ομορροή	70	120-125
5	W2	αντιρροή	70	120-125
6	W2	ομορροή	70	40

4. Συζήτηση αποτελεσμάτων

4.1. Πειραματικός προσδιορισμός του U

Από τις πειραματικές μετρήσεις των θερμοκρασιών στην είσοδο και την έξοδο του θερμού και του ψυχρού ρεύματος του εναλλάκτη, μπορεί να υπολογιστεί ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U, ως εξής:

- Υπολογισμός των q_h και q_c από την εξισώσεις (9) και (10) αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη ότι $m = v \rho$, και οι παράμετροι c_{pc} , ρ , είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας (να γίνει σύγκριση των τιμών q_h και q_c)
- Υπολογισμός της επιφάνειας A του εναλλάκτη (8) και του ΔT_m (12, 13), λαμβάνοντας υπόψη $d_m = (d_i + d_{a,1})/2$
- Υπολογισμός του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U (14) με βάση τη μικρότερη από τις δύο τιμές q_h ή q_c (γιατί?).

Να υπολογιστούν οι τιμές του συντελεστή U για όλα τα πειράματα με βάση τα θερμοκρασιακά δεδομένα. Να συζητηθούν τα αποτελέσματα σε σχέση με την ταχύτητα ροής, τον τρόπο λειτουργίας και το υλικό του εναλλάκτη.

4.2. Υπολογισμός του U από εμπειρικές σχέσεις

Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U, μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια των παραμέτρων και των σχέσεων ομοιότητας, ως εξής:

- Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής h_1 (θερμό νερό στον εσωτερικό σωλήνα), που περιλαμβάνει κατά σειρά, τον υπολογισμό του αριθμού Reynolds (17), του αριθμού Nusselt (19-21) και ακολούθως του h_1 (16). Σημειώνεται ότι, $d=d_i$, $u = 4 v / \pi d_i^2$ και οι παράμετροι ρ , η , Pr , h είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.
- Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής h_2 (ψυχρό νερό στον εξωτερικό σωλήνα) όπως παραπάνω, και λαμβάνοντας υπόψη ότι $d=d_{i,a} - d_{a,1}$
- Υπολογισμός του U από τις τιμές h_1 , h_2 , d_w και λ_w ()

Να υπολογιστούν οι τιμές του U για τα πειράματα 1 και 2. Να προσδιορίζονται πειραματικά οι τιμές των παραμέτρων h_1 και h_2 .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. QVF PILOT-TEC test unit, October 1998
2. F.P. Incropera, and D.P. Dewitt, Heat transfer, J. Wiley & Sons, 1996

Να υπολογιστούν οι τιμές του συντελεστή U , με τον παραπάνω τρόπο, για τα πειράματα 1 και 4. Να γίνει σύγκριση με τις τιμές που προσδιορίζονται πειραματικά και να συζητηθούν τα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. QVF PILOT-TEC GmbH, Apparatus Documentation, Heat transfer test unit, October 1998
2. F.P. Incropera, and D.P.DeWitt, Fundamentals of heat and mass transfer, J. Wiley & Sons, 1981.

την είσοδο και την
αλλάκτη, μπορεί να
θερμότητας U , ως

και (10) αντίστοιχα,
μετροι $c_{p,c}$, ρ , είναι
των τιμών q_h και q_c)
) και του ΔT_m (12,

της U (14) με βάση

τα πειράματα με
τα αποτελέσματα σε
και το υλικό του

της U , μπορεί να
και των σχέσεων

(θερμό νερό στον
πρά, τον υπολογισμό
Nusselt (19-21) και
 $h = 4 v / \pi d_i^2$ και οι
εξαρασίας.

(ψυχρό νερό στον
ποντας υπόψη ότι $d =$

- ()