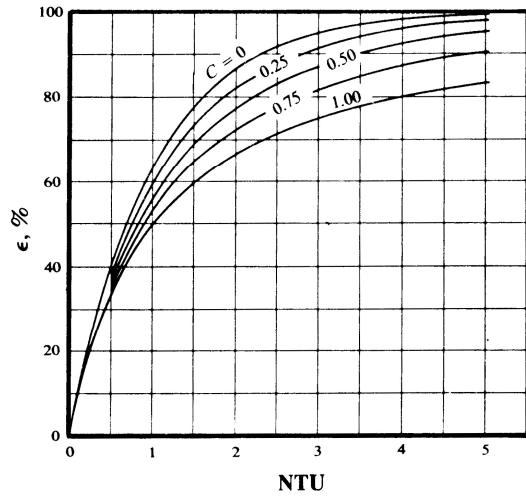
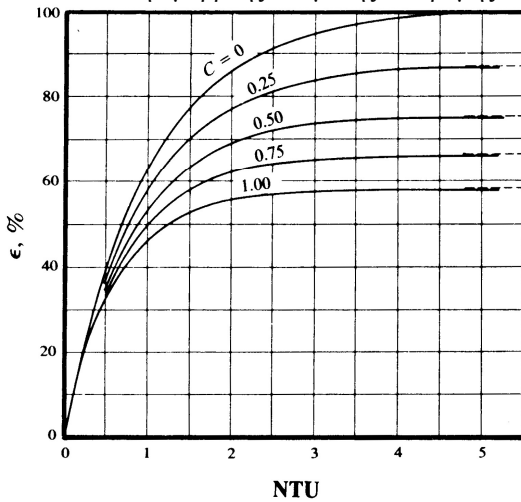


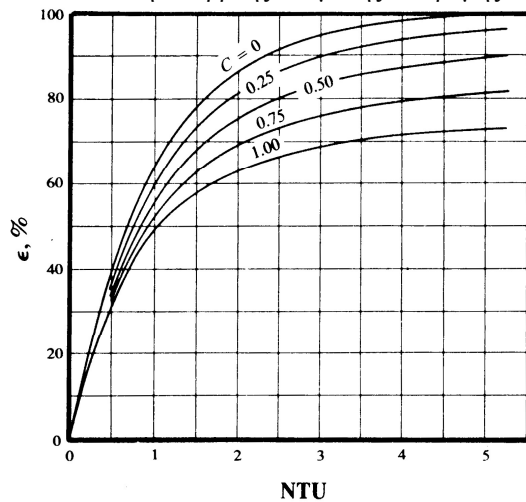
Σχήμα ΕΘ-9. NTU ως προς ϵ για εναλλάκτη ομορροής και μονής διαδρομής



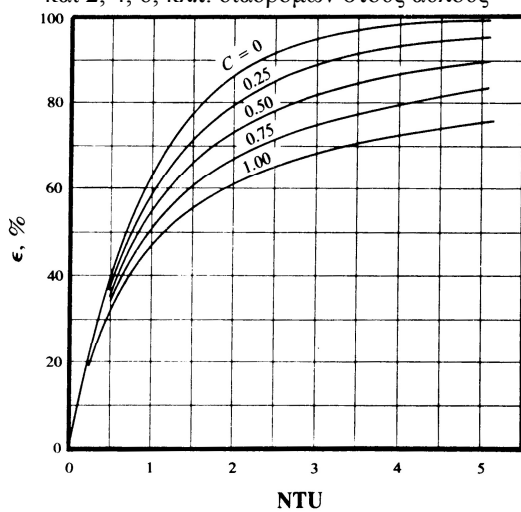
Σχήμα ΕΘ-10. NTU ως προς ϵ για εναλλάκτη αντιρροής και μονής διαδρομής



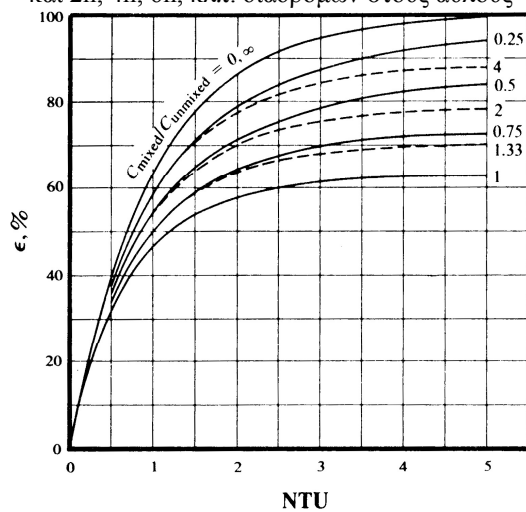
Σχήμα ΕΘ-11. NTU ως προς ϵ για εναλλάκτη αυλών-κελύφους μίας διαδρομής στο κέλυφος και 2, 4, 6, κλπ. διαδρομών στους αυλούς



Σχήμα ΕΘ-12. NTU ως προς ϵ για εναλλάκτη αυλών-κελύφους n διαδρομών στο κέλυφος και 2n, 4n, 6n, κλπ. διαδρομών στους αυλούς



Σχήμα ΕΘ-13. NTU ως προς ϵ για εναλλάκτη σταυρωτής ροής χωρίς ανάμιξη των ρευμάτων



Σχήμα ΕΘ-14. NTU ως προς ϵ για εναλλάκτη σταυρωτής ροής (συνεχείς γραμμές: χωρίς ανάμιξη στο ρεύμα με C_{max} / διακεκομμένες γραμμές: χωρίς ανάμιξη στο ρεύμα με C_{min})

θερμορροής και των θερμοκρασιών εξόδου, με τον τύπο και το μέγεθος του εναλλάκτη να είναι δεδομένα.

ΕΘ.5 Συντελεστές Ρύπανσης

Η απόδοση των εναλλακτών θερμότητας, όπως υπολογίστηκε παραπάνω, προϋποθέτει ότι οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας είναι καθαρές, χωρίς αποθέσεις και σκουριά. Όταν υπάρχουν επιφανειακές αποθέσεις παρατηρείται αύξηση της θερμικής αντίστασης, με συνακόλουθο αποτέλεσμα την ελάττωση της απόδοσης. Αυτή η επιπρόσθετη αντίσταση συχνά εκφράζεται με την μορφή κάποιου *συντελεστή ρύπανσης* R_f (fouling factor), ο οποίος πρέπει να συμπεριλαμβάνεται μαζί με τις λοιπές θερμικές αντιστάσεις στον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας.

Οι συντελεστές ρύπανσης υπολογίζονται πειραματικά, δοκιμάζοντας τον εναλλάκτη κάτω από διάφορες συνθήκες (καθαρές επιφάνειες και επιφάνειες με αποθέσεις), και ορίζονται από την σχέση (ΕΘ.28), ενώ μερικές τυπικές τιμές του συντελεστή φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας ΕΘ-3):

$$R_f \equiv \frac{1}{U_{dirty}} - \frac{1}{U_{clean}} \quad (\text{ΕΘ.28})$$

Πίνακας ΕΘ-3
Τυπικές τιμές του συντελεστή ρύπανσης για ορισμένα ρευστά

Ρευστό	R_f	
	hr·ft ² ·°F / Btu	m ² ·K / W
Νερό θαλάσσης (< 52°C, 125°F)	0.0005	0.00009
Νερό θαλάσσης (> 52°C, 125°F)	0.001	0.0002
Επεξεργασμένο νερό πλήρωσης βραστήρα (> 52°C, 125°F)	0.001	0.0002
Ορυκτέλαιο	0.005	0.0009
Λάδι βαφής (ψύξης)	0.004	0.0007
Ατμοί αλκοολών	0.0005	0.00009
Ατμός	0.0005	0.00009
Βιομηχανικός αέρας	0.002	0.0004
Ψυκτικό Υγρό	0.001	0.0002

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Παράδειγμα ΕΘ-1:

Ζεστό λάδι χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού, με παροχή 0.1kg/s, από τους 40°C στους 80°C σε εναλλάκτη αντιρροής διπλού σωλήνα. Αν ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι 300 W/m²·K, υπολογίστε την επιφάνεια του εναλλάκτη, θεωρώντας ότι το λάδι εισέρχεται με θερμοκρασία 105°C και εξέρχεται με θερμοκρασία 70°C. Η ειδική θερμότητα του νερού είναι 4181 J/kg·K.

Λύση:

Η θερμότητα που παίρνει το νερό, δίνεται από την εξίσωση $q = \dot{m}_w c_w (T_{wo} - T_{wi})$.

Αντικαθιστώντας τις δεδομένες τιμές, παίρνουμε $q = \dot{m}_w c_w (T_{wo} - T_{wi}) = 0.1 \cdot 4181 (80 - 40) = 1.67 \cdot 10^4 \text{ W}$

Χρησιμοποιώντας την σχέση (ΕΘ.12), όπου $\Delta T_2 = 70 - 40 = 30\text{K}$ και $\Delta T_1 = 105 - 80 = 25\text{K}$, προσδιορίζεται η επιφάνεια του εναλλάκτη, η εύρεση του οποίου αποτελεί και το ζητούμενο της παρούσας άσκησης:

$$A = \frac{q \ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{U \Delta T_2 - \Delta T_1} = \frac{1.67 \cdot 10^4}{300} \cdot \frac{\ln(30/25)}{(30-25)} = 2.03 \text{ m}^2$$

Παράδειγμα ΕΘ-2:

Ποια θα ήταν η απαιτούμενη επιφάνεια για τις συνθήκες του προβλήματος ΕΘ-1, αν ο εναλλάκτης διπλού σωλήνα αντικαθιστούνταν από εναλλάκτη αυλών-κελύφους; Δίνεται ότι το νερό εκτελεί μία διαδρομή στο κέλυφος και το λάδι δυο διαδρομές στους αυλούς.

Λύση:

Θεωρώντας ότι ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι και πάλι $300 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, πρέπει να βρούμε τον διορθωτικό συντελεστή F από το σχήμα ΕΘ-5 για να τον χρησιμοποιήσουμε στην εξίσωση (ΕΘ-14). Οι θερμοκρασίες που θα χρησιμοποιήσουμε για το σχήμα είναι:

$$T_i = 40^\circ\text{C}, T_o = 80^\circ\text{C}, t_i = 105^\circ\text{C}, t_o = 70^\circ\text{C}$$

Με βάση τις θερμοκρασίες, υπολογίζουμε τους αδιάστατους λόγους,

$$P = \frac{t_o - t_i}{T_i - t_i} = \frac{70 - 105}{40 - 105} = 0.54 \quad \& \quad Z = \frac{T_i - T_o}{t_o - t_i} = \frac{40 - 80}{70 - 105} = 1.18.$$

οι οποίοι αντιστοιχούν σε τιμή διορθωτικού συντελεστή ίση με $F \approx 0.6$, οπότε από την (ΕΘ-14) προκύπτει:

$$q = UAF\Delta T_{lm} \Leftrightarrow A = \frac{q}{UF\Delta T_{lm}} = \frac{q \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}{UF(\Delta T_2 - \Delta T_1)} \approx \frac{2.03}{0.6} = 3.38 \text{ m}^2$$

Παράδειγμα ΕΘ-3:

Για ποια τιμή του λόγου $\Delta T_2 / \Delta T_1$ η μέση αριθμητική θερμοκρασιακή διαφορά είναι 5% μεγαλύτερη από την μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά, ΔT_{lm} ; (Δίνεται ότι η μέση αριθμητική θερμοκρασιακή διαφορά ορίζεται ως $\overline{\Delta T}_{am} \equiv (\Delta T_2 + \Delta T_1) / 2$)

Λύση:

Έχουμε:

$$\frac{\overline{\Delta T}_{am}}{\Delta T_{lm}} = \frac{1/2(\Delta T_2 + \Delta T_1)}{(\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{1}{2} \frac{(\Delta T_2 / \Delta T_1) + 1}{(\Delta T_2 / \Delta T_1) - 1} \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)$$

$$\text{Για } \frac{\overline{\Delta T}_{am}}{\Delta T_{lm}} = 1.05, \text{ προκύπτει ότι } \frac{(\Delta T_2 / \Delta T_1) + 1}{(\Delta T_2 / \Delta T_1) - 1} \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) = 2.10$$

Λύνοντας με την βοήθεια της μεθόδου σφάλματος και δοκιμής, παίρνουμε $\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = 2.2$

Μπορεί να αποδειχτεί αναλυτικά ότι ο λόγος $\overline{\Delta T_{am}} / \Delta T_{lm}$ είναι μια αυστηρά αύξουσα συνάρτηση για $\Delta T_2 / \Delta T_1 \geq 1$. Συνεπώς, η μέση αριθμητική θερμοκρασιακή διαφορά δίνει αποτελέσματα μέσα στα όρια του 5%, όταν οι τελικές θερμοκρασίες δεν μεταβάλλονται περισσότερο από έναν παράγοντα 2.2.

Παράδειγμα ΕΘ-4:

Ένας καινούριος εναλλάκτης μεταδίδει 10% περισσότερη θερμότητα σε σχέση με την αντίστοιχη μετά από την πάροδο 6 μηνών λειτουργίας. Υποθέτοντας ότι λειτουργεί μεταξύ της ίδιας θερμοκρασιακής διαφοράς και ότι η απόθεση ακαθαρσιών δεν αλλάζει την επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας, υπολογίστε τον συντελεστή ρύπανσης με όρους ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (χωρίς αποθέσεις).

Λύση:

Ο λόγος μετάδοσης θερμότητας μπορεί να γραφτεί ως:

$$\frac{q_{clean}}{q_{dirty}} = \frac{U_{clean} A \overline{\Delta T}}{U_{dirty} A \overline{\Delta T}} = 1.10 \quad \text{ή} \quad U_{dirty} = \frac{U_{clean}}{1.10}$$

$$\text{Αντικαθιστώντας στην (ΕΘ.28) παίρνουμε } R_f \equiv \frac{1}{U_{dirty}} - \frac{1}{U_{clean}} = \frac{1.10}{U_{clean}} - \frac{1}{U_{clean}} = \frac{0.10}{U_{clean}}$$
