

ΑΕΝ / ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Εναλλάκτης Θερμότητας
Νερού - Νερού
Περίπτωση Αντιρροής

ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΝΕΡΟΥ - ΝΕΡΟΥ

ΜΟΡΦΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΣΩΛΗΝΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ

Μέση θερμοκρασία θερμού νερού :

$$\bar{t}_{\theta} = \frac{t'_{\theta} + t''_{\theta}}{2} \quad (1)$$

όπου \bar{t}_{θ} σε °C
 t'_{θ} η θερμοκρασία εισόδου του θερμού νερού, σε °C
 t''_{θ} η θερμοκρασία εξόδου του θερμού νερού, σε °C

Μέση θερμοκρασία ψυχρού νερού :

$$\bar{t}_{\psi} = \frac{t'_{\psi} + t''_{\psi}}{2} \quad (2)$$

όπου \bar{t}_{ψ} σε °C
 t'_{ψ} η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού νερού, σε °C
 t''_{ψ} η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού νερού, σε °C

Θερμοκρασιακές διαφορές :

$$\Delta t_{\theta} = t'_{\theta} - t''_{\theta} \quad (3)$$

$$\Delta t_{\psi} = t''_{\psi} - t'_{\psi} \quad (4)$$

$$\Delta t' = t'_{\theta} - t'_{\psi} \quad (5)$$

$$\Delta t_i = t'_{\theta} - t''_{\psi} \quad (6)$$

$$\Delta t_f = t''_{\Theta} - t'_{\Psi} \quad (7)$$

$$\Delta t_m = \bar{t}_{\Theta} - \bar{t}_{\Psi} \quad (8)$$

όπου	Δt_{Θ}	η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου - εξόδου θερμού νερού, σε K
	Δt_{Ψ}	η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου ψυχρού νερού, σε K
	$\Delta t'$	η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού, σε K
	Δt_i	η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εξόδου ψυχρού νερού, σε K
	Δt_f	η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού, σε K
	Δt_m	η μέση (αριθμητική) θερμοκρασιακή διαφορά θερμού νερού - ψυχρού νερού, σε K
	t'_{Θ}	η θερμοκρασία εισόδου του θερμού νερού, σε K
	t''_{Θ}	η θερμοκρασία εξόδου του θερμού νερού, σε K
	\bar{t}_{Θ}	η μέση θερμοκρασία του θερμού νερού, σε K
	t'_{Ψ}	η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού νερού, σε K
	t''_{Ψ}	η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού νερού, σε K
	\bar{t}_{Ψ}	η μέση θερμοκρασία του ψυχρού νερού, σε K

Η παροχή μάζας του θερμού νερού δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{m}_{\Theta} = \rho'_{\Theta} \frac{\dot{V}'_{\Theta}}{1000} \quad (9)$$

όπου	\dot{m}_{Θ}	σε Kg/h
	ρ'_{Θ}	η πυκνότητα του θερμού νερού στην είσοδο δηλαδή για $t = t'_{\Theta}$, σε Kg/m ³
	\dot{V}'_{Θ}	η παροχή όγκου του θερμού νερού στην είσοδο, σε lit/h

Η παροχή μάζας του ψυχρού νερού δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{m}_{\Psi} = \rho'_{\Psi} \frac{\dot{V}'_{\Psi}}{1000} \quad (10)$$

όπου	\dot{m}_{Ψ}	σε Kg/h
	ρ'_{Ψ}	η πυκνότητα του ψυχρού νερού στην είσοδο (δηλαδή για $t = t'_{\Psi}$, σε Kg/m ³
	\dot{V}'_{Ψ}	η παροχή όγκου του ψυχρού νερού στην είσοδο, σε lit/h

Η θερμότητα που στη μονάδα του χρόνου αποδίδει το θερμό νερό δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{Q}_\theta = \frac{\dot{m}_\theta}{3600} (1000c_\theta) \Delta t_\theta \quad (11)$$

όπου \dot{Q}_θ σε W
 \dot{m}_θ η παροχή μάζας του θερμού νερού, σε Kg/h
 c_θ η ειδική θερμοχωρητικότητα του θερμού νερού μεταξύ t'_θ και t''_θ , σε KJ/KgK
 Δt_θ η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου - εξόδου του θερμού νερού, σε K

Η θερμότητα που στη μονάδα του χρόνου απορροφά το ψυχρό νερό δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_\psi = \frac{\dot{m}_\psi}{3600} (1000c_\psi) \Delta t_\psi \quad (12)$$

όπου \dot{Q}_ψ σε W
 \dot{m}_ψ η παροχή μάζας του ψυχρού νερού, σε Kg/h
 c_ψ η ειδική θερμοχωρητικότητα του ψυχρού νερού μεταξύ t'_ψ και t''_ψ , σε KJ/KgK
 Δt_ψ η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου του ψυχρού νερού, σε K

Η θερμική παροχή του θερμού νερού δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{W}_\theta = \frac{\dot{m}_\theta}{3600} (1000c_\theta) \quad (13)$$

όπου \dot{W}_θ σε W/K
 \dot{m}_θ η παροχή μάζας του θερμού νερού, σε Kg/h
 c_θ η ειδική θερμοχωρητικότητα του θερμού νερού μεταξύ t'_θ και t''_θ , σε KJ/KgK

Η θερμική παροχή του ψυχρού νερού δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{W}_\psi = \frac{\dot{m}_\psi}{3600} (1000c_\psi) \quad (14)$$

όπου \dot{W}_ψ σε W/K
 \dot{m}_ψ η παροχή μάζας του ψυχρού νερού, σε Kg/h
 c_ψ η ειδική θερμοχωρητικότητα του ψυχρού νερού μεταξύ t'_ψ και t''_ψ , σε KJ/KgK

Ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\Delta t_{\Theta}}{\Delta t'} & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} < \dot{W}_{\Psi} \\ \frac{\Delta t_{\Psi}}{\Delta t'} & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} > \dot{W}_{\Psi} \end{cases} \quad (15)$$

όπου ε αδιάστατος αριθμός
 Δt_{Θ} η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου - εξόδου του θερμού νερού, σε Κ
 Δt_{Ψ} η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου του ψυχρού νερού, σε Κ
 $\Delta t'$ η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού, σε Κ
 \dot{W}_{Θ} η θερμική παροχή του θερμού νερού, σε W/K
 \dot{W}_{Ψ} η θερμική παροχή του ψυχρού νερού, σε W/K

Ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη αντιρροής μπορεί να υπολογισθεί και από τις σχέσεις : (29) (της σελίδας - 8 -) και (33) (της σελίδας - 10 -),

Η "Συνισταμένη" ή "Ενεργός" θερμοκρασιακή διαφορά (για όλη την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας) του εναλλάκτη αντιρροής $(\Delta t)_{\alpha}^*$, είναι η Μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά του εναλλάκτη αντιρροής $(\overline{\Delta t}_{in})_{\alpha}$, δίνεται δηλαδή από τη σχέση :

$$(\Delta t)_{\alpha}^* = \frac{\Delta t_i - \Delta t_f}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_f}} \quad (16)$$

όπου $(\Delta t)_{\alpha}^*$ σε Κ
 Δt_i η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εξόδου ψυχρού νερού, σε Κ
 Δt_f η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού, σε Κ

Η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, δηλαδή το γινόμενο του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας k επί την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας F του εναλλάκτη, δίνεται από τη σχέση :

$$(kF) = \frac{\dot{Q}_{\Theta}}{(\Delta t)_{\alpha}^*} \quad (17)$$

όπου (kF) σε W/K
 \dot{Q}_{Θ} η θερμότητα που στη μονάδα του χρόνου αποδίδει το θερμό νερό, σε W

$(\Delta t)_\alpha^*$ η "Συνισταμένη" ή "Ενεργός" θερμοκρασιακή διαφορά του εναλλάκτη αντιρροής, σε K

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

Μπορεί να γίνει και προσεγγιστικός υπολογισμός της ολικής αγωγιμότητας (kF) και ακολούθως των υπολοίπων μεγεθών, αν στη σχέση (17) χρησιμοποιηθεί η μέση (αριθμητική) θερμοκρασιακή διαφορά θερμού νερού - ψυχρού νερού Δt_m αντί της "Συνισταμένης" ή "Ενεργού" θερμοκρασιακής διαφοράς $(\Delta t)_\alpha^*$.

Η μέση διάμετρος των αυλών του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$d_m = \frac{d_i + d_e}{2} \quad (18)$$

όπου d_m σε m
 d_i η εσωτερική διάμετρος των αυλών, σε m
 d_e η εξωτερική διάμετρος των αυλών, σε m

Η εσωτερική επιφάνεια των αυλών του εναλλάκτη (δηλαδή η επιφάνεια που είναι σε επαφή με το θερμό νερό) δίνεται από τη σχέση :

$$F_i = \pi \nu d_i L \quad (19)$$

όπου F_i σε m^2
 ν ο αριθμός των αυλών
 d_i η εσωτερική διάμετρος των αυλών, σε m
 L το μήκος ενός αυλού, σε m

Η εξωτερική επιφάνεια των αυλών του εναλλάκτη (δηλαδή η επιφάνεια που είναι σε επαφή με το ψυχρό νερό) δίνεται από τη σχέση :

$$F_e = \pi \nu d_e L \quad (20)$$

όπου F_e σε m^2
 ν ο αριθμός των αυλών
 d_e η εξωτερική διάμετρος των αυλών, σε m
 L το μήκος ενός αυλού, σε m

Η επιφάνεια που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο των αυλών του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$F_m = \pi v d_m L \quad (21)$$

όπου F_m σε m^2
 v ο αριθμός των αυλών
 d_m η μέση διάμετρος των αυλών, σε m
 L το μήκος ενός αυλού, σε m

Η ισοδύναμη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$F^* = \pi v \frac{d_e - d_i}{\ln \frac{d_e}{d_i}} L \quad (22)$$

όπου F^* σε m^2
 v ο αριθμός των αυλών
 d_e η εξωτερική διάμετρος των αυλών, σε m
 d_i η εσωτερική διάμετρος των αυλών, σε m
 L το μήκος ενός αυλού, σε m

Αν σαν επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας θεωρηθεί η εσωτερική επιφάνεια των αυλών F_i , τότε ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$k_i = \frac{(kF)}{F_i} \quad (23)$$

όπου k_i σε W/m^2K
 (kF) η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, σε W/K
 F_i η εσωτερική επιφάνεια των αυλών, σε m^2

Αν σαν επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας θεωρηθεί η εξωτερική επιφάνεια των αυλών F_e , τότε ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$k_e = \frac{(kF)}{F_e} \quad (24)$$

όπου k_e σε W/m^2K

(kF) η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, σε W/K
 F_e η εξωτερική επιφάνεια των αυλών, σε m^2

Αν σαν επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας θεωρηθεί η επιφάνεια F_m , που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο των αυλών, τότε ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$k_m = \frac{(kF)}{F_m} \quad (25)$$

όπου k_m σε W/m^2K
 (kF) η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, σε W/K
 F_m η επιφάνεια που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο των αυλών, σε m^2

Ο αναφερόμενος στην ισοδύναμη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του εναλλάκτη, ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δίνεται από τη σχέση :

$$k^* = \frac{(kF)}{F^*} \quad (26)$$

όπου k^* σε W/m^2K
 (kF) η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, σε W/K
 F^* η ισοδύναμη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του εναλλάκτη, σε m^2

Ο αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο της ελάχιστης προς τη μέγιστη θερμική παροχή δίνεται από τη σχέση :

$$C_R = \begin{cases} \frac{\dot{W}_\Theta}{\dot{W}_\Psi} & \text{αν } \dot{W}_\Theta < \dot{W}_\Psi \\ \frac{\dot{W}_\Psi}{\dot{W}_\Theta} & \text{αν } \dot{W}_\Theta > \dot{W}_\Psi \end{cases} \quad (27)$$

όπου C_R αδιάστατος αριθμός
 \dot{W}_Θ η θερμική παροχή του θερμού νερού, σε W/K
 \dot{W}_Ψ η θερμική παροχή του ψυχρού νερού, σε W/K

Ο αριθμός μεταφερομένων μονάδων, δηλαδή ο αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο της ολικής αγωγιμότητας προς την ελάχιστη θερμική παροχή του εναλλάκτη δίνεται από τη σχέση :

$$NUT = \begin{cases} \frac{(kF)}{\dot{W}_\Theta} & \text{αν } \dot{W}_\Theta < \dot{W}_\Psi \\ \frac{(kF)}{\dot{W}_\Psi} & \text{αν } \dot{W}_\Theta > \dot{W}_\Psi \end{cases} \quad (28)$$

όπου NUT αδιάστατος αριθμός
 (kF) η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, σε W/K
 \dot{W}_Θ η θερμική παροχή του θερμού νερού, σε W/K
 \dot{W}_Ψ η θερμική παροχή του ψυχρού νερού, σε W/K

Οι αδιάστατοι αριθμοί C_R και NUT καθώς και ο βαθμός εκμεταλλεύσεως ϵ , χρησιμοποιούνται σε διαγράμματα (όπως αυτά των σελίδων 407 και 408 του βιβλίου του Κ. Ζ. Παγωνάρη : "Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική", Ίδρυμα Ευγενίδου, Β' έκδοση 1986, Ανατύπωση Αθήνα 1996).

Από διαγράμματα αυτού του είδους προσδιορίζεται ο NUT συναρτήσει των ϵ και C_R και ακολούθως η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη από τη σχέση :

$$(kF) = \begin{cases} (NUT)\dot{W}_\Theta & \text{αν } \dot{W}_\Theta < \dot{W}_\Psi \\ (NUT)\dot{W}_\Psi & \text{αν } \dot{W}_\Theta > \dot{W}_\Psi \end{cases}$$

Ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη αντιρροής μπορεί να υπολογισθεί και από τη σχέση :

$$\epsilon = \frac{1 - e^{-NUT(1 - C_R)}}{1 - C_R e^{-NUT(1 - C_R)}} \quad (29)$$

όπου ϵ αδιάστατος αριθμός
 NUT ο αριθμός μεταφερομένων μονάδων (αδιάστατος αριθμός)
 C_R ο αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο της ελάχιστης προς τη μέγιστη θερμική παροχή

Αν δεν είναι γνωστές οι θερμοκρασίες εξόδου θερμού και ψυχρού νερού, μπορούν να υπολογισθούν από τις παρακάτω σχέσεις :

$$t''_{\Theta} = \begin{cases} t'_{\Theta} - \varepsilon \Delta t' & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} < \dot{W}_{\Psi} \\ t'_{\Theta} - C_R \varepsilon \Delta t' & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} > \dot{W}_{\Psi} \end{cases} \quad (30)$$

$$t''_{\Psi} = \begin{cases} t'_{\Psi} + C_R \varepsilon \Delta t' & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} < \dot{W}_{\Psi} \\ t'_{\Psi} + \varepsilon \Delta t' & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} > \dot{W}_{\Psi} \end{cases} \quad (31)$$

όπου t''_{Θ} σε Κ
 t''_{Ψ} σε Κ
 t'_{Θ} η θερμοκρασία εισόδου του θερμού νερού, σε Κ
 t'_{Ψ} η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού νερού, σε Κ
 $\Delta t'$ η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού, σε Κ
 ε ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη (αδιάστατος αριθμός)
 C_R ο αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο της ελάχιστης προς τη μέγιστη θερμική παροχή
 \dot{W}_{Θ} η θερμική παροχή του θερμού νερού, σε W/K
 \dot{W}_{Ψ} η θερμική παροχή του ψυχρού νερού, σε W/K

Ο εκθέτης αντιρροής του εναλλάκτη αντιρροής δίνεται από τη σχέση :

$$\beta_{\alpha} = \frac{1}{\dot{W}_{\Theta}} - \frac{1}{\dot{W}_{\Psi}} \quad (32)$$

όπου β_{α} σε K/W
 \dot{W}_{Θ} η θερμική παροχή του θερμού νερού, σε W/K
 \dot{W}_{Ψ} η θερμική παροχή του ψυχρού νερού, σε W/K

Ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη αντιρροής μπορεί να υπολογισθεί και από τη σχέση :

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{1 - e^{-\beta_{\alpha}(kF)}}{1 - \frac{\dot{W}_{\Theta}}{\dot{W}_{\Psi}} e^{-\beta_{\alpha}(kF)}} & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} < \dot{W}_{\Psi} \\ \frac{1 - e^{-\beta_{\alpha}(kF)}}{\frac{\dot{W}_{\Psi}}{\dot{W}_{\Theta}} - e^{-\beta_{\alpha}(kF)}} & \text{αν } \dot{W}_{\Theta} > \dot{W}_{\Psi} \end{cases} \quad (33)$$

όπου ε αδιάστατος αριθμός
 β_{α} ο εκθέτης αντιρροής, σε K/W
 (kF) η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη, σε KW/K
 \dot{W}_{Θ} η θερμική παροχή του θερμού νερού, σε W/K
 \dot{W}_{Ψ} η θερμική παροχή του ψυχρού νερού, σε W/K

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Α. ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Να υπολογισθούν :
 - α. Η μέση θερμοκρασία του θερμού νερού
 - β. Η μέση θερμοκρασία του ψυχρού νερού

2. Να υπολογισθούν :
 - α. Η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου - εξόδου του θερμού νερού (Δt_{θ})
 - β. Η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου του ψυχρού νερού (Δt_{ψ})

3. Να υπολογισθεί η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού ($\Delta t'$)

4. Να υπολογισθούν :
 - α. Η θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου θερμού νερού - εξόδου ψυχρού νερού (Δt_i)
 - β. Η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου θερμού νερού - εισόδου ψυχρού νερού (Δt_r)

5. Να υπολογισθεί η μέση (αριθμητική) θερμοκρασιακή διαφορά θερμού νερού - ψυχρού νερού (Δt_m)

6. Να υπολογισθούν :
 - α. Η παροχή μάζας του θερμού νερού
 - β. Η παροχή μάζας του ψυχρού νερού

Σημείωση : Να ληφθούν $\rho'_{\theta} = \rho'_{\psi} = 1000 \text{ Kg/m}^3$

7. Να υπολογισθούν :
 - α. Η θερμότητα που στη μονάδα του χρόνου αποδίδει το θερμό νερό - [0δ]
 - β. Η θερμότητα που στη μονάδα του χρόνου απορροφά το ψυχρό νερό - [0δ]

Σημείωση : Να ληφθούν $c_{\theta} = c_{\psi} = 4,1868 \text{ KJ/KgK}$

8. Να υπολογισθούν :
 - α. Η θερμική παροχή του θερμού νερού - [0δ]
 - β. Η θερμική παροχή του ψυχρού νερού - [0δ]

9. Να υπολογισθεί ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη - [2δ]

10. Να υπολογισθεί η "Συνισταμένη" ή "Ενεργός" θερμοκρασιακή διαφορά του εναλλάκτη - [3δ]
11. Να υπολογισθεί η ολική αγωγιμότητα του εναλλάκτη - [1δ]
12. Να υπολογισθεί η μέση διάμετρος των αυλών του εναλλάκτη - [5δ]
13. Να υπολογισθούν :
 - α. Η εσωτερική επιφάνεια των αυλών του εναλλάκτη - [4δ]
 - β. Η εξωτερική επιφάνεια των αυλών του εναλλάκτη - [4δ]
 - γ. Η επιφάνεια που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο των αυλών του εναλλάκτη - [4δ]
 - δ. Η ισοδύναμη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του εναλλάκτη - [4δ]
14. Να υπολογισθούν :
 - α. Ο αναφερόμενος στην εσωτερική επιφάνεια των αυλών, ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη (k_i) - [0δ]
 - β. Ο αναφερόμενος στην εξωτερική επιφάνεια των αυλών, ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη (k_e) - [0δ]
 - γ. Ο αναφερόμενος στην επιφάνεια που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο των αυλών, ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη (k_m) - [0δ]
 - δ. Ο αναφερόμενος στην ισοδύναμη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη (k^*) - [0δ]
15. Να υπολογισθεί ο αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο της ελάχιστης προς τη μέγιστη θερμική παροχή του εναλλάκτη - [3δ]
16. Να υπολογισθεί ο αριθμός μεταφερομένων μονάδων του εναλλάκτη - [3δ]

B. ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

17. Να υπολογισθεί ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη αντιρροής συναρτήσει των C_R και NUT (σχέση (29)) - [2δ]
18. Να υπολογισθούν :
 - α. Η θερμοκρασία εξόδου του θερμού νερού - [1δ]
 - β. Η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού νερού - [1δ]
19. Να υπολογισθεί ο εκθέτης αντιρροής του εναλλάκτη - [6δ]

20. Να υπολογισθεί ο βαθμός εκμεταλλεύσεως του εναλλάκτη αντιρροής από τη σχέση (33) - [2δ]

ΔΙΝΟΝΤΑΙ :

1. Εσωτερική διάμετρος αυλού $d_i = 0,0085 \text{ m}$
2. Εξωτερική διάμετρος αυλού $d_e = 0,01 \text{ m}$
3. Μήκος αυλού $L = 0,325 \text{ m}$
4. Αριθμός αυλών $n = 4$